ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Studijní program – Krajinné inženýrství

Obor – Regionální environmentální správa – kombinované studium

Diplomová práce

Příprava studie zájmového území pro možný návrh kořenové čistírny školícího centra „Hájenka“

Vypracoval: Bc. Roman Frodl, DiS.

Vedoucí práce: Ing. Lenka Pavlíčková, Ph.D.

Praha 2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Roman Frodl, DiS.

Krajinné inženýrství
Regionální environmentální správa

Název práce

Příprava studie zájmového území pro možný návrh kořenové čistírny školícího centra „Hájenka“

Název anglicky

Preparation of a study of the interest area for a possible design of the root treatment plant of the school center ”Hájenka”

Cíle práce

Cílem celé práce bude návrh předběžné studie, která řeší problematiku odkanalizování dané lokality za pomocí dvou základních typů kořenových čistíren. Do porovnání bude zapojen vertikální pulzně skrápěný filtr a horizontálně uspořádaný filtr.

Metodika

Práce bude vyhotovena jako předběžná studie možnosti odkanalizování dané lokality za pomoci kořenové čistírny. Prvotním podkladem je předešlá bakalářská práce. Pro zvýšení znalostí bude nutná návštěva některých realizovaných kořenových čistíren.

Finálním výsledkem bude návrh dvou kořenových filtrů v dané lokalitě, včetně doplňujících výkresů, situace a rozpočtu.

Doporučený rozsah práce

50

Klíčová slova

kořenová čistírna, mokřady, čistící procesy

Doporučené zdroje informací

- Kočková E., Kříž P., Legát P., Žáková L., Šálek J., 1994: Vegetační kořenové čistírny odpadních vod. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha, 67 s.
- Kriška M., Němcová M., Hnátková T., 2015: Metodická příručka pro povolování, návrh, realizaci a provoz – Kořenové čistírny odpadních vod. Vysoké technické učení v Brně, Dekonta, a.s., 45 s.
- Šálek J., Žáková Z., Hrnčíř P., 2008: Přírodní čištění a využívání vody – v rodinných domech a rekreačních objektech. ERA group spol. s r. o., Brno, 115 s.
- Vymazal J., 2004: Kořenové čistírny odpadních vod. Enki o. p. s. Třeboň.
- Vymazal J., 2016: Kořenové čistírny odpadních vod – Využití ve světě, České republice a Plzeňském kraji. Krajský úřad Plzeňského kraje, odbor životního prostředí, Plzeň, 65 s.

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Lenka Pavlíčková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2021

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 3. 2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 08. 03. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Příprava studie zájmového území pro možný návrh kořenové čistírny školícího centra „Hájenka“ vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

Praha: 2021 Podpis:

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem osloveným lidem, kteří semnou trpělivě konzultovali všechny mé myšlenky. Zejména bych však poděkoval mé vedoucí Ing. Lence Pavlíčkové, Ph.D. za odborné vedení a rady při psaní mé diplomové práce. Dále bych rád poděkoval rodině a kamarádům za psychickou podporu a za objektivní pohledy na věc.

V Praze: 2021

Abstrakt

Cílem této práce bylo vytvořit studii zájmového místa a vyřešit otázku týkající se nakládání s odpadními vodami. Obec Vrátkov prošla rekonstrukcí celého kanalizačního systému, ale z důvodu velké vzdálenosti koncového bodu (Hájenka) nepřipadala v úvahu žádná možnost napojení. Protože se v blízké době počítá s aktivním využíváním daného místa, bylo nutné přistoupit k alternativním možnostem čištění.

Práce byla rozdělena na dvě základní části. První část je převážně zaměřená na seznámení se s kořenovými čistírnami a také mokřady. Přiblížení těchto dvou hlavních směrů napomůže k pochopení vazeb, kombinací a principů v celém čistícím systému. Druhá část je směřována ke konkrétnímu místu a ke konkrétním návrhům. Jedná se tedy o návrh dvou odlišných typů kořenových čistíren v odlišných lokacích. Finálním výstupem jsou vizualizace, technické výkresy, hrubý rozpočet a srovnání obou variant.

Klíčová slova: Kořenová čistírna, vertikální a horizontální filtr, čištění odpadních vod, mokřady.

Abstract

The main aim of this thesis has been to compile a study of the interest place and solve its issue of wastewater management. The village Vratkov underwent the reconstruction of its entire sewerage system but due to the large distance from the end point (Hajenka) no interconnection was possible. As the active use of this area is expected in future, it was necessary to approach with the alternative cleaning options.

The thesis is divided in two basic parts. The first part is mainly focused on getting acquainted with root treatment plants and wetlands. An approach to these two main directions helps to understand the connections, combinations and principles throughout the cleaning system. The second part is aimed at the specific place and specific options. There are proposed two different types of root treatment plants in different locations. The final output is visualizations, technical drawings, a rough budget and the comparison of both variants.

Keywords: Root treatment plant, vertical and horizontal filter, wastewater treatment, wetlands.

OBSAH PRÁCE

1. Úvod 1
2. Cíl práce 2
3. Kořenové čistírny odpadních vod 2
   3.1. Kořenový filtr s horizontálním prouděním 3
   3.2. Kořenový filtr s vertikálním prouděním 4
      3.2.1. S prouděním směrem dolů 5
      3.2.2. S prouděním směrem vzhůru 5
   3.3. Hybridní systém KČOV 6
4. Mechanické předčištění odpadních vod 6
   4.1. Česle 7
   4.2. Lapáky písku a štěrku 7
   4.3. Vícekomorové septiky 7
   4.4. Usazovací nádrže 8
5. Mokřady 8
   5.1. Rozdělení mokřadů 9
      5.1.1. S plovoucí vegetací 10
      5.1.2. S ponořenou vegetací 10
      5.1.3. S rostlinami s plovoucími listy 10
6. Využívaná mokřadní vegetace 10
   6.1. Kosatec žlutý *(Iris pseudacorus)* 11
   6.2. Chrastice rákosovitá *(Phalaris - Baldingera arundinacea)* 11
   6.3. Orobinec širokolistý a úzkolistý *(Typha latifolia a Typha angustifolia)* 12
   6.4. Zblochan vodní *(Glyceria maxima = G. Aquatica)* 12
   6.5. Rákos obecný *(Phragmites australis)* 12
7. Účinnost vyčištěných vod 13
   7.1. Dusík 13
   7.2. Amoniakální dusík 13
   7.3. Těžké kovy 14
   7.4. Fosfor 14
   7.5. Nerozpuštěné látky 15
   7.6. Mikrobiální znečištění 15
   7.7. Organické znečištění 16
      7.7.1. Biochemická spotřeba kyslíku (BSK) 17
      7.7.2. Chemická spotřeba kyslíku (CHSK) 17

7.7.3. Nitrifikace a denitrifikace 17
8. Charakteristika řešeného území 19
8.1. Údaje o budoucí stavbě 19
8.2. Údaje o současném / budoucím účelu stavby 20
8.3. Údaje o místě stavby 20
9. Metodika 23
9.1. Vzorový výpočet 23
9.2. Vertikální filtr 28
9.2.1. Výpočet vertikálního filtru možnost A 28
9.2.2. Výpočet vertikálního filtru možnost B 29
9.2.3. Výpočet vertikálního filtru možnost C 30
9.2.4. Dopočet 30
9.2.5. Urbanisticko-architektonické řešení 31
9.2.6. Provozní řešení včetně dispozičního uspořádání 31
9.2.7. Návrh svislé skladby vertikálního kořenového pole 33
9.2.8. Nakládání s vyčištěnou odpadní vodou 35
9.3. Horizontální filtr 35
9.3.1. Plocha horizontálního filtru 36
9.3.2. Urbanisticko-architektonické řešení 36
9.3.3. Provozní řešení včetně dispozičního uspořádání 37
9.3.4. Návrh svislé skladby horizontálního kořenového pole 38
9.3.5. Nakládání s vyčištěnou odpadní vodou 39
10. Společné návrhové parametry pro oba typy filtrů 40
10.1. Návrh rozvodného potrubí 40
10.2. Septiky 41
10.3. Pulzní vypouštěč 42
10.4. Pulzní šachtice 44
10.5. Regulační, kontrolní, odběrná šachta 45
11. Výškopis – zaměření pozemku 45
12. Náležitosti a legislativa 47
12.1. Nařízení vlády č. 57/2016 Sb. 47
12.2. Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. 48
12.3. Jakost vody pro závlahu ČSN 75 7143 48
12.4. Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel ČSN 75 6402 49
12.5. Malé čistírny odpadních vod do 50 ekvivalentních obyvatel – Část 1: Prefabrikované septiky ČSN EN 12 566-1 ed. 2 50

13. Výsledky / zhodnocení 50
13.1. Vizualizace vertikálního + horizontálního filtru 50
13.2. Půdorys 52
13.3. Položkový rozpočet Vertikální + Horizontální filtr 53
13.4. Porovnání mezi sebou 58
14. Diskuse 59
15. Závěr 61
16. Přehled literatury a použitých zdrojů 62
Seznam obrázků: 68
Seznam tabulek: 69

1. Úvod

Kořenové čistírny odpadních vod (dále jen KČOV) lze využít pro rozmanité druhy znečištěných vod. Zejména se jedná o čištění odpadních vod z domovních, sídelních a obecních aglomerací, splachových dešťových vod, koupališť, ale i náročnějších skládkových a průmyslových vod. Výstavba těchto systémů je vhodná tam, kde není možnost zavedení kanalizace, taktéž kde je velmi špatná dopravní dostupnost a také tam, kde to svým koncepčním uspořádáním doplní přírodní charakter mokřadů. Stále větší poptávka veřejnosti a stále častější budování těchto typů čistíren je odrazem jejich téměř nulové potřeby energie a celkové provozní nenáročnosti (Kršňák a Šperling, 2010).

Pro důkladné předčištění, nejčastěji v biologickém septiku, se dají k čištění využít umělé mokřady, které tvoří podstatnou část kořenového filtračního pole. Mohou být využity jako samostatné čistící systémy či jako systémy sloužící k terciálnímu dočišťování. Kořenové čistírny jsou ve své podstatě rozděleny na dva základní typy: s horizontálním a vertikálním uspořádáním. Dále se dělí na menší pododvětví, které je charakterizováno způsobem průtoku čištěné vody (Vymazal, 2009).

Odpadní voda přitékající na čistírnu je čištěna pomocí mikroorganismů, které sídlí v kořenovém systému mokřadní vegetace. Bakterie, substrátový filtr, podíl vzduchu a dávkování odpadní vody tvoří ideální prostředí pro vznik fyzikálních, biologických a chemických procesů nezbytných k čištění. Výsledkem je pak přečištěná voda, která se svými vlastnostmi, může sloužit k opětovnému využití např. k závlaze.

2. Cíl práce

Cílem celé práce byl návrh předběžné studie, která řeší problematiku odkanalizování dané lokality za pomocí dvou základních typů kořenových čistíren. Do porovnání byl zapojen vertikální pulzně skrápěný filtr a horizontálně uspořádaný filtr. K oběma variantám jsou pro reálnou představu přiloženy půdorysy, příčné řezy a orientační položkový rozpočet. V závěru je vyhodnocení kladů a záporů obou variant. Už na samém začátku je nutné podotknout, že žádný jiný návrh čištění či odkanalizování, než KČOV nebyl brán v úvahu.

3. Kořenové čistírny odpadních vod

Kořenové čistírny, někdy také označovány jako vegetační čistírny odpadních vod, jsou řazeny do přírodních čistíren. Využívají zejména přirozené procesy samočištění a dočišťování téměř veškerých druhů znečištěných vod. Tento druh čistíren využívá procesy probíhající v půdním, mokřadním i vodním prostředí. Nejdůležitějším prvkem v těchto procesech je mokřadní vegetace v kombinaci s dostatečným přívodem vzduchu (Voda a krajina, 2001).

V současné době kořenové čistírny využívají praxí prověřené a sofistikované procesy a systémy sloužící k čištění odpadních vod. Základní myšlenka celého procesu je průtok znečištěné vody přes mechanické předčištění, dále distribuce vody na filtrační lože (podle konstrukce vertikální či horizontální nátok) a zdržení vody v substrátu spolu s mokřadní vegetací. V tomto řetězci dochází ke kombinaci chemických, biologických a fyzikálních procesů. Protože tyto čistírny k celému čistícímu procesu využívají vodu, dochází zde ke střetu dvou prostředí, a to aerobního a anaerobního. Mokřadní rostliny přivádějí kyslík směrem dolů ke kořenům, tedy do anaerobního prostředí, kde žijí aerobní bakterie. Kromě této funkce rostliny také z vodního prostředí odebírají živiny a rovněž plní funkci estetickou a doplňkovou. Vyšší účinnosti čištění je dosaženo kvalitním kořenovým systémem, zdravými oddenky rostlin a vypraným kamenným substrátem. Všechny tyto faktory jsou důležité pro existenci bakterií.

Dnešní výsledky prokazující vysokou kvalitu vyčištěných vod ukazují vhodnost KČOV zejména pro sekundární dočištění vod s různorodým podílem organických i anorganických látek. Je jen otázkou názoru a času, kdy se tyto systémy začnou v plném rozsahu využívat i pro zdánlivě nevyčistitelné vody jako jsou: průmyslové

odpadní vody, důlní vody, silniční splachy či průsaky z komunálních skládek tuhého odpadu (Bürgerová, 1998).

3.1. Kořenový filtr s horizontálním prouděním

Znečištěná odpadní voda je na horizontální filtr (Obr. 1) distribuována celoplošně po povrchu, kde pomalou gravitací protéká substrátovým podložím s vysázenou vegetací. Nevýhodou povrchového toku jsou velmi malé průtočné rychlosti, které ovlivňují zanášení půdního filtru. Aby nedocházelo k procesu sedimentace usaditelných částic, je nutno zajistit samovolné povrchové i podpovrchové proudění.

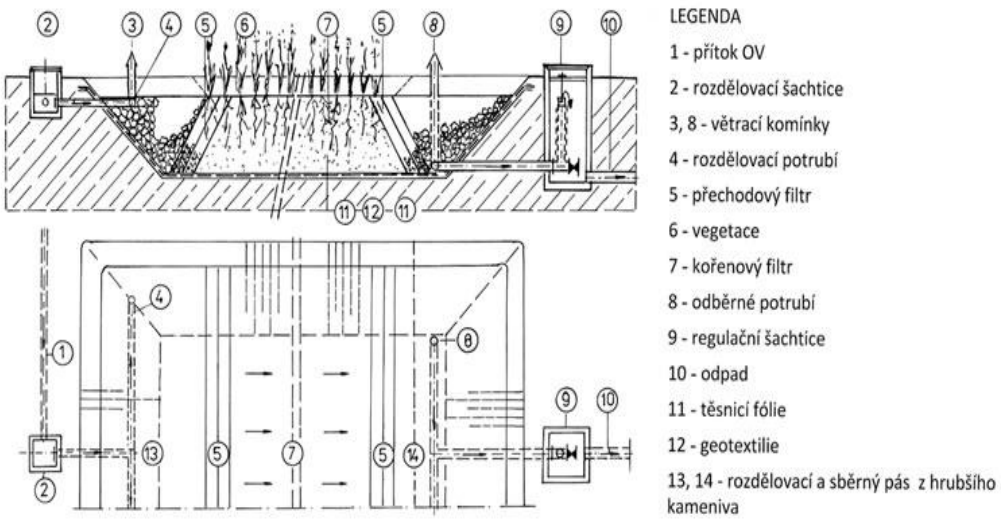
Už v samotném návrhu vegetační čistírny je třeba počítat s intenzitou povrchového průtoku, která se dá dobře predikovat díky správně navrženým vrstvám substrátu. Pokud nebudou tyto principy správně zachovány, může docházet ke kolmataci substrátového prostředí, a tudíž ke zhoršování propustnosti celého filtru.

Další důležitou vlastností vodomilných a mokřadních rostlin, krom odebírání živin z vodního prostředí či přivádění kyslíku do kořenového systému, je snižování průtočné rychlosti distribuované znečištěné vody. Je to velmi důležitý aspekt, díky kterému dochází k potřebnému kontaktu mezi vodním prostředím a vzduchem, jenž má za výsledek celkové provzdušňování / okysličování vody. Dodržení těchto podmínek urychluje proces čištění a také nitrifikace a významně napomáhá snižovat amoniakální hodnoty znečištění (Šálek, 1995).

Návrhy tvarového řešení kořenových čistíren nejsou nijak omezeny, ale nejčastěji bývají obdélníkových, čtvercových či kruhových průřezů. Výkopové jámy se pohybují v rozmezích mezi 1,2 až 1,4 m, jsou separovány buďto přírodními těsnícími jíly a minerály nebo umělo-gumovými fóliemi ze svařovaných pásů v kombinaci s krycími textiliemi.

U vstupu a výstupu filtračního pole je ukládán hrubší štěrk, obvykle frakce 32/63 a ve střední, tedy čistící zóně, pak frakce 4/8 nebo 8/16. Do štěrku je dále položeno rozvodné plastové potrubí s předem vyprofilovanými výtokovými otvory. Velikost výtokových otvorů musí být dostatečně velká kvůli bezproblémovému vytékání odpadní vody. Velikost kameninové filtrační vrstvy se dimenzuje mezi 0,8 až 1,2 m. Dále se osadí vegetace a další součásti potřebného potrubí (Kočková et al., 1994).

Pravidelná údržba porostu, mechanického předčištění či jiných částí čistírny, včetně provozních a čistících funkcí celého systému a taktéž kvalita a druh přiváděné odpadní vody spolu s klimatickými podmínkami, vede k výsledné kvalitě potřebných hodnot vytékající vyčištěné vody (Šálek, 1995).

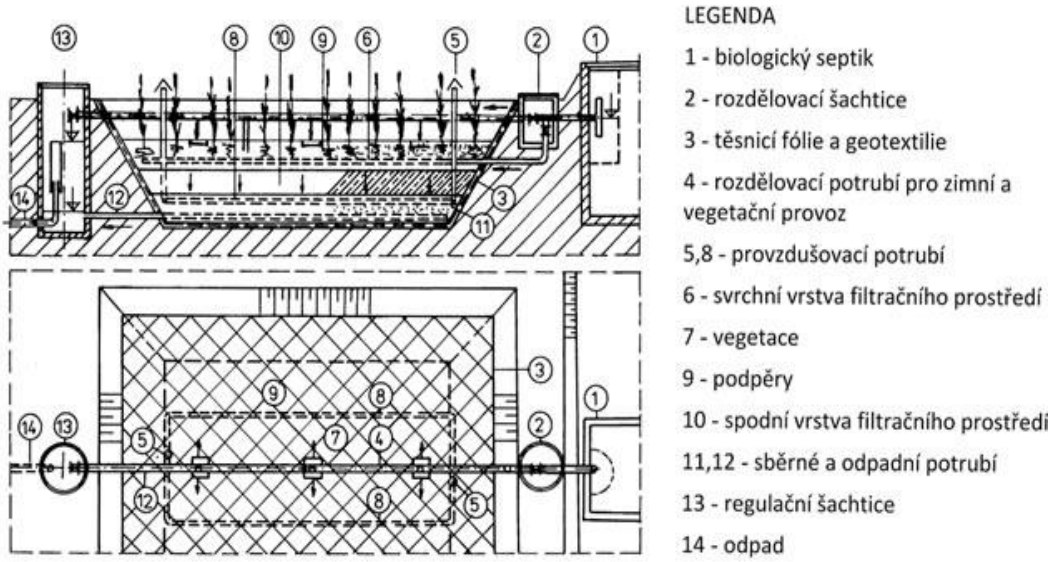


Obrázek 1. *Řez kořenovým filtrem s horizontálním prouděním a odtokovou regulační šachticí (Šálek et al., 2012).*

3.2. Kořenový filtr s vertikálním prouděním

Konstrukční řešení vertikálních kořenových čistíren (Obr. 2) je možno rozlišovat na proudění směrem dolů a proudění směrem vzhůru.

V České republice jsou vertikální čistírny méně rozšířené nežli v Německu a USA. Podle hodnot získaných z průzkumů jsou vertikální čistírny zdatné v odstraňování amoniakálního dusíku, a to více jak s dvojnásobnou úspěšností než horizontální čistírny (Luederitz et al., 2001).



Obrázek 2. *Řez filtru s mokřadní kořenovou vegetací a vertikálním prouděním (Šálek et al., 2012).*

3.2.1. S prouděním směrem dolů

Z technického pohledu je tento typ čištění více podobný přírodním, tedy přirozeným procesům. Distribuovaná voda samovolně protéká od shora filtračního pole až na dno. Zásadní problém přichází v mrazivých dnech, kdy dochází k povrchovému zamrzání, a tudíž je negativně omezena schopnost čištění. Proto je nutné s tímto aspektem počítat a opatřit čistírnu rozdělovacím potrubím, které je pečlivě uloženo pod terénem. Podle geologických podmínek lze určit nezámrznou hloubku. V České republice se počítá hloubka od 80–140 cm, podle soudržnosti zeminy a druhu terénu. Jak už bylo výše zmíněno, odpadní voda protéká skrze filtrační lože až na dno, kde je sbírána a odváděna pryč v drenážním potrubí. Volba materiálu jímky čili čistírny, je závislá na půdních podmínkách a správném projektu (Šálek, 1995).

Dalším důležitým aspektem je nutnost pulzního skrápění (plnění) z důvodu rovnoměrné distribuce odpadní vody na kořenový filtr. Zamezí se tak lokální kolmataci v počáteční fázi nátokového potrubí, které by ke konci své délky výrazně ztratilo na funkci přenosu znečištěné vody do filtru (Šperling, 2021).

3.2.2. S prouděním směrem vzhůru

Protikladem předešlého profilu je tento systém. Voda je vháněna na dno jímky, kde proudí v rozdělovacím potrubí či v perforovaném dně. Stoupá směrem vzhůru od přechodového filtru, skrz filtrační lože až k hladině do sběrného žlabu. Respektive odtéká ve sběrné drenáži položené u hladiny vody. V krátkodobém horizontu může být tento typ čistírny celoplošně zavodněn, např.: pro zastavení rostoucího plevele nebo pro potřebu propláchnutí přítokového potrubí.

Pro podporu čistícího účinku můžeme kombinovat různé druhy soustav čistíren např.: kombinace pulzních plnění, prázdnění a skrápění, kombinace hybridních čistíren, horizontálních a vertikálních uspořádání či kaskádovitých stupňů (Šálek, 1995).

3.3. Hybridní systém KČOV

Hybridní systém vznikne kombinací horizontálních a vertikálních systémů, kam je odpadní voda distribuována několikrát denně v přerušovaných intervalech. Zvýšení účinnosti čistících procesů v takto upravených systémech vede k lepším hodnotám odstraňovaného amoniaku / dusíku (Vymazal et al., 2014).

Zatímco u vertikálního či horizontálního systému se počítá s finálním čištěním ve filtračním poli, tak u hybridních neboli kombinovaných systémů se čištění rozděluje na více polí. Zjednodušeně se dá říct, že co se nevyčistí hned, bude vyčištěno později (Dell´Osbel, 2020).

Dříve byly kombinovány převážně jen horizontální a vertikální čistírny, které se navzájem doplňovaly v dodávání vzduchu do téměř anaerobního prostředí filtračních polí. Dnes už dochází k téměř neomezeným možnostem, jak nakombinovat celé procesy a systémy mezi sebou, aby splňovaly potřebná kritéria.

Odstraňování látek v hybridních systémech je založeno na dvou hlavních procesech. Nejdříve dochází k odstranění organických látek, nerozpuštěných látek a částečně amoniaku, poté jsou zredukovány dusičnany na plynné formy dusíku.

Historicky první systémy tohoto typu byly spuštěny v 70. letech 20. století ve Francii a říkalo se jim „Seidel systém“, podle jejich průkopnice Dr. Seidlové (Vymazal, 2016).

4. Mechanické předčištění odpadních vod

Hlavním úkolem mechanického předčištění je zachytit a odstranit velké nerozpuštěné látky v odpadních vodách. Podle své důležitosti je řazen jako primární způsob předčištění, protože zabraňuje kolmataci rozvodného potrubí a filtračního pole. Je nazýván jako mechanický způsob předčištění, ale někdy též hrubý či ochranný. Jak je níže popsáno, jedná se o několik způsobů, které spolu působí při procesu mechanického čištění (Vymazal, 2016).

Podle původu, množství a složení odpadních vod a také podle počtu ekvivalentních obyvatel (dále jen EO) se musí nadimenzovat kapacita a uspořádání celého systému (Kočková et al., 1994).

4.1. Česle

Základní typ mechanického předčištění plovoucích částic jsou česle. Představit si je můžeme jako mříž či síto, kudy protéká odpadní voda (max 1 m/s), ve které plují hrubé nečistoty. Zpravidla bývají železné, pro svojí dobrou mechanickou odolnost, ale k vidění jsou i betonové prefabrikáty. Půdorys česlí může být čtvercového, obdélníkového zřídka kruhového tvaru. Konstrukčně se jedná o rám se svislými česlicemi. Sklon česlic vůči vodě bývá mezi 30° až 60°. Česlice jsou osazeny kolmo na proud vody a podle potřeby mají různé průměry a tvary. Rozteč se řídí podle potřeby záchytu plovoucích nečistot. Podle toho rozlišujeme hrubé nebo jemné česle. U malých čistíren je třeba kontrolovat stav ucpání mezer mezi česlicemi a podle potřeby je stírat. U velkých čistíren stírání probíhá mechanicky, tedy řízeně. Shrabky jsou stírány vždy od spodu nahoru a dále likvidovány. Nejčastěji bývají odváženy na skládky či do kompostáren (Pošta et al., 2008).

4.2. Lapáky písku a štěrku

Na rozdíl od česlí lapáky písku nezachycují organické nerozpuštěné látky, ale pouze písek, drobný štěrk a látky jim podobným. Protože kamínky písku mají vysokou hustotu (až 2700 kg/m³), může docházet při nedokonalém odstranění k pozdějšímu ucpávání rozvodného potrubí a celého filtračního pole. Lapáky fungují na principu jednoduchých gravitačních sil a rozdílů hustot. Nerozpustné částice se začnou separovat od odpadní vody a začnou se usazovat na dně. Usazované částice mají velikost od 0,2 mm. Pískový sediment musí být pravidelně vybírán a zlikvidován (Pošta et al., 2008).

U kořenových čistíren se nejčastěji používá komorový lapák, který je rozdělen na dva žlaby. Výhodou je možnost řízení průtoku tak, aby jeden žlab byl vybírán a druhý v provozu. Při maximálním průtoku lze využít oba žlaby naráz (Mlejnská et al., 2009).

4.3. Vícekomorové septiky

Odpadní voda musí být před vypuštěním do filtračního lože řádně předčištěna ve vícekomorovém septiku, aby se minimalizovalo nebezpečí ucpání přítokového, výtokového a sběrného potrubí, včetně svislého filtračního lože (Brix, 2005).

Jako vhodný primární stupeň předčištění je intenzifikovaný nebo biologický septik. Někdy je řazen jako samostatný stupeň předčištění, ale svou účinnost značně zvýší ve skupině po sobě jdoucích předčišťujících systémů. Slouží zejména k anaerobnímu

vyhnívání přitékající odpadní vody a tvorbě kalu, který je třeba minimálně jednou za rok vybrat a odborně zlikvidovat. Podle objemu, konstrukce a uspořádání vnitřních příček a přepážek se musí vypočítat minimální doba zdržení odpadní vody. Při vtoku znečištěné vody do septiku dojde k mechanicko biologickému předčištění samotným septikem. Poté nastane fáze nitrifikace (odstranění NH4+), adsorpce tenzidů a ostatních látek. Denitrifikace zde také probíhá, a to ve spodní plně zatopené části. Dříve byly využívány dvou a tří komorové septiky, ale dnes se spíše přistupuje ke čtyřem až šesti komorovým septikům. Vnitřní nepravidelné uspořádání komor zajistí dostatečné odstranění nerozpuštěných látek. Takto předčištěná voda dále pokračuje k dalšímu stupni čištění (Mekl Projekt, 2018).

4.4. Usazovací nádrže

Usazovací nádrže, někdy také jako štěrbinové nádrže, slouží k zachycení toho nejmenšího organického kalu (Pošta et al., 2008).

Jsou tvořeny horním usazovacím prostorem a spodním vyhnívacím prostorem. Ve středu se nachází štěrbina, která zabraňuje průchodu plynových bublinek vznikajících vyhníváním. Odpadní voda zde protéká pomalu, kvůli minimální době zdržení, která je potřebná pro odstraňování organických látek (Kočková et al., 1994).

Kal musí být několikrát ročně vybírán, posléze odvodněn a zpracován. Může být použit v zemědělství jako hnojivo či spálen v bioplynkách (Pošta et al., 2008).

5. Mokřady

Přirozené mokřady můžeme najít téměř po celé Zemi, kromě Antarktidy. Nalezneme je ve všech klimatických pásmech, kde tvoří celkové zastoupení kolem 6 % zemského povrchu (Mitsch a Gosselink, 1986).

Společnou integraci v přírodních procesech čištění zajišťuje vzájemné propojení abiotických složek prostředí, rostlin, mikroorganismů, vody a také živočichů (Gelt J., 1997).

Ucelené spojení mezi suchozemskými a vodními ekosystémy v blízkosti říčních toků, jezer, a moří zajišťují pobřežní a mokřadní biotopy. Jsou to vlastně přechodová území dvou rozličných pásem (McKinstry et al., 2004)

Z pohledu ekologie to jsou velice vzácné a užitečné ekosystémy, které plní mnoho funkcí. Za vhodných okolností a příhodných podmínek zlepšují kvalitu vody v celých povodích či samostatných stanovištích, podílejí se na snižování sucha, desertifikaci území, zásobují podzemní nádrže vodou, podílejí se na přirozené

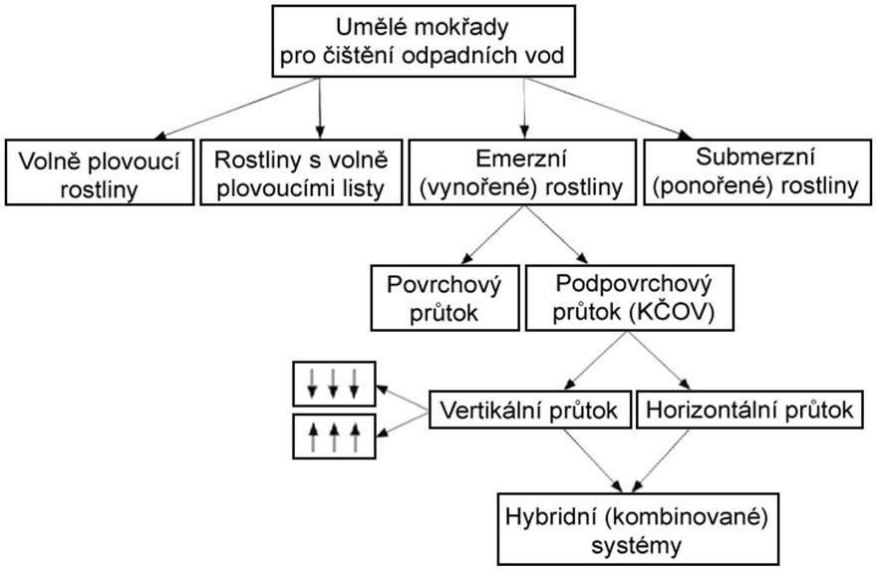
protipovodňové ochraně a stabilizaci pobřežních čar a v neposlední řadě tvoří potřebná útočiště pro vzácné druhy rostlin a živočichů.

Mokřady mohou být označovány jako dočasné (podle pravidelných etap vysychání), nebo jako trvalé (jsou neustále zaplavené, nedochází k vysychání).

V závislosti na klimatických podmínkách a zeměpisných polohách v kombinaci s výskytem rozdílných druhů rostlin rozlišujeme několik typů mokřadů. Ty nejznámější jsou: bažiny, močály, slatiny a ekotony. Bažiny jsou vlastně mokřady, které obsahují dřeviny odolné vůči vodě. Močály hostí naopak měkké dřeviny. Typy s mechovými porosty jsou někdy klasifikovány jako bažiny a někdy jako močály. Oba typy mohou snášet slané či sladkovodní prostředí a někdy i oboje. V mořských a oceánských podmínkách jsou nazývány mangrovy (Jaya a Vigneswaran, 2008).

Chybná politická rozhodnutí v 70. letech minulého století vedla k nenapravitelným změnám týkajících se mokřadních stanovišť. Právě na úkor zdánlivě nepotřebných mokřadů vznikala nová plocha pro možný růst společnosti, rezidenční výstavby a zvětšování zemědělské půdy. Dnešní pohled na situaci ohledně problematiky, jak zadržovat vodu v krajině je zcela jiný. Tato stanoviště mokřadů (Obr. 3) se začínají znovu obnovovat a je třeba jim věnovat potřebnou pozornost (Committee, 2001).

5.1. Rozdělení mokřadů



Obrázek 3. *Rozdělení umělých mokřadů (Vymazal, 2004).*

5.1.1. S plovoucí vegetací

Čistírny využívající plovoucí květenu musí mít zajištěný kontakt mezi kořeny a znečištěnou vodou. Je to nezbytná podmínka pro úspěšný proces čištění. Kromě primární vlastnosti čištění mohou tyto mokřady sloužit jako přírodní biotopy pro širokou škálu živočichů či plnit vysoké nároky na estetický dojem (Šálek et al., 2012).

Pro svoji schopnost vysoké spotřeby živin v čistících procesech je nejvíce využíván hyacint a okřehky. Dobře se podílejí na odstraňování fosforu a dusíku. Na druhou stranu vyžadují pravidelnou údržbu, respektive sklizeň a stálé klimatické podnebí, které je u nás nevyhovující (Vymazal, 2004).

5.1.2. S ponořenou vegetací

Submerzní neboli ponořená vegetace je vhodná jako terciální dočišťující systém. Tolerance těchto rostlin je specifikována spíše na vody s vysokým obsahem organických látek a s vysokou koncentrací nerozpuštěných látek (Vymazal, 2004).

Fotosyntéza u tohoto mokřadu probíhá nepřetržitě a výhradně pod vodou (Brix, 1993).

Svoji funkci dobře odvádí ve vodách s vysokým obsahem rozpuštěného kyslíku a dobře přijímají živiny jak ze sedimentu, tak i z tekoucích odpadních vod. Napomáhají k redukci amoniaku či fosforu a při vhodných podmínkách na sebe váží i anorganický uhlík (Šálek et al., 2008).

5.1.3. S rostlinami s plovoucími listy

Nejpoužívanější rostliny jako např.: lekníny (*Nymphaea spp.*) a stulíky (*Nuphar sp.*) tvoří sice vzhledný estetický doplněk, ale pro čistící vlastnosti jsou vhodné spíše k výslednému dočišťování. Bohužel kvůli svým velkým listům dochází k expanzi po celé vodní hladině, a tudíž k velmi omezenému průniku světla (Vymazal, 2004).

6. Využívaná mokřadní vegetace

Mokřadní rostliny využívané v našich čistírnách plní několik funkcí. Primárně se jedná o přísun kyslíku do kořenové zóny a také o odběr živin z odpadních vod. Také velmi dobře vážou minerální živiny a přeměňují ji na organickou hmotu (Mlejnská et al., 2009).

V České republice neexistují přesné pokyny, jak zacházet s biomasou. Zda by se měla pravidelně sklízet nebo ponechat na filtračních polích. Doporučuje se však před

zimním obdobím nadzemní biomasu pokácet a ponechat jako izolant před promrzáním filtračního pole. Stejně tak na jaře izolant sesbírat a umožnit regeneraci mokřadním rostlinám (Vymazal, 2020).

Souhrnný přehled nejvýznamnějších vlastností mokřadní vegetace, při komplexních procesech čištění.

- Kořeny, které jsou zcela ponořené ve vodním prostředí, vytvářejí biofilm, který ve velké míře usnadňuje proces látkové přeměny živin a organických složek.
- Napomáhají v procesu filtrace nežádoucích látek.
- Zvyšují sedimentaci.
- Vegetace rostoucí na vodní hladině poskytuje protekci před přímým slunečním zářením a také před povětrnostními vlivy.
- Udržují konstantní teplotu a nedochází tak k rozmnožování řas a sinic, které jsou příčinou vzniku eutrofizace.
- Vytváří útočiště pro drobné živočichy (Bendoricchio et al., 2000).
- Chrání substrátové lože.
- Vytváří potřebné prostředí pro výskyt mikroorganismů.
- Chrání substrát před kolmatací.
- Zvyšuje lokální transpiraci (Mlejnská et al., 2009).

6.1. Kosatec žlutý *(Iris pseudacorus)*

Původ této rostliny se přiřazuje k západní Asii, severní Africe a introdukovaně i do Evropy. Je to trvale rostoucí rostlina charakteristická svými listy ve tvaru meče. Květ je jasně žlutý dosahující výšky až 1,5 m o průměru 8 cm. Velmi snadno se rozšiřuje, a to pomocí semen nebo vegetativně větvením oddenků. Semena jsou imunní vůči dlouhodobé vlhkosti ale i dlouhodobým suchům. Potrpí si na vody s vysokým obsahem živin a uchytí se v hloubkách až do 1 m. Strpí půdy s pH 3,6 až 7,7 (Hill et al., 2017).

Hojně se vyskytuje na březích tekoucích, ale i stojatých vod, na březích rybníků, v tůních i bažinách. Vegetační období má od května do července (Žáková, 2009).

6.2. Chrastice rákosovitá *(Phalaris - Baldingera arundinacea)*

Chrastice má velmi mohutný kořenový systém, díky kterému rychle obrůstá a řadí se tak k nejvýnosnějším druhům trav. Snadno se rozmnožuje semeny nebo vegetativně plazivými oddenky (Weber, 2003).

Kořenový systém prorůstá do substrátu v hloubce 0,2 m až 0,5 m. Výška klasu dosahuje délky až 2 m. Je snadno zpracovatelný kosením, které probíhá 3x ročně. Často se využívá v zemědělství jako krmivo pro hospodářská zvířata (Kočková et al., 1994).

6.3. Orobinec širokolistý a úzkolistý *(Typha latifolia a Typha angustifolia)*

Orobinec vytváří během krátké chvíle velmi mohutné a husté porosty. Dosahuje výšky až 2,5 m a zakořeňuje v hloubce až 1 m. Je to vytrvalá, snášenlivá a často využívaná jako dekorativní rostlina. Květy Orobince připomínají tmavě hnědé až černé doutníky. Vstřebá teploty od 10 do 30 °C a pH 4-10. Daří se jí ve vodách s vysokým obsahem organických látek. Rozmnožuje se jak oddenky, tak i semeny. Je schopná existovat za různých podmínek a produkovat značné množství biomasy. Orobinec širokolistý a úzkolistý se dobře rozpozná podle květenství. Úzkolistý Orobinec snáší poloviční hloubku zatopení, něco kolem 0,5 m. Je vhodnější pro čistírny s nepravidelným využíváním (Žáková, 2009).

6.4. Zblochan vodní *(Glyceria maxima = G. Aquatica)*

Zblochan vodní často obsazuje břehy mělkých rybníků, mokřadů, bažin, močálů, tůní a slepých ramen vodních toků. Tato sytě zelená rostlina dosahuje výšky až 2,5 m a koření v hloubce 0,5 m. Květy zbarvuje do hnědočervené a jsou k vidění od června do srpna. Vyhovují jí mírně tekoucí vody s přechodem do trvale stojatých. Špatně snáší dlouhodobé zaplavení a celoroční vegetační období je podmíněno zimními teplotami (Chytrý, 2011).

6.5. Rákos obecný *(Phragmites australis)*

Rákos je nejrozšířenější mokřadní rostlina vyskytující se napříč celým světem. Je charakteristický pro stojaté vody, prameniště a bažiny. Má mohutný kořenový systém složený z kořenů a oddenků. Je velmi vhodný pro kořenové čistírny z důvodu velké snášenlivosti rozdílného zatížení (Vébr, 1982).

Díky silným kořenům se zvládne uchytit v hloubce od 0,7 m až 1,5 m. Výška stébla závisí na vhodných klimatických podmínkách, ale může se vyšplhat až k 6 m (Šálek et al., 2008).

Rostoucí cyklus začíná vyklíčením semene, pro které je rozhodující první až druhý měsíc. Semena špatně snáší dlouhodobější zamokření a může tak dojít k uhynutí. Rostlá stébla jsou pevná, přímá a v průměru až 3 cm mohutná. Vegetační období je od července do října (Hejný et al., 2000).

Pravidelná údržba rákosu je velmi důležitá pro jeho tendenci přerůstání. Je schopný vytlačovat ostatní druhy rostlin, prorůstat do rozvodného potrubí či úplně přerůstat mimo čistírnu (Šálek et al., 2008).

Rozmnožuje se velmi rychle přirozeně, ale také se dobře uchycuje vysázením ze semenáčků, trsy, stonkovými či oddenkovými řízky. Porost snáší nižší teploty okolo 13–23 °C a pH od 3–8. V přirozeném prostředí je velmi užitečnou rostlinou, která na sebe váže velké množství živin a dobře distribuuje kyslík do substrátu (Lukavská, 1992).

7. Účinnost vyčištěných vod

7.1. Dusík

Jednou ze základních složek živých těl rostlin je dusík. V čistících procesech je dusík za pomoci mokřadních rostlin několikrát transformován, translokován a transportován. Ve znečištěných odpadních vodách můžeme tento prvek pozorovat ve formě organického dusíku amonného (NH_4) nebo jako rozpuštěný plynný amoniak (NH_3) (Jaya a Vigneswaran, 2008).

Jako hlavní zdroj dusíku v odpadních vodách je považována moč. Močovina bývá velmi rychle rozložena na amoniakální dusík. Dochází tedy ke změně a navýšení koncentrace amoniaku v celém systému (Šálek et al., 2012).

Schopnost kořenových čistíren při odstraňování dusíku je velmi omezená. Je to způsobeno nedostatkem kyslíku. Ten pak snižuje oxidaci amoniaku (nitrifikaci), který je v odpadních vodách hlavní formou (Vymazal, 2004).

V praxi jde o činnost vertikálních filtrů, které jsou schopny s vysokou účinností odstraňovat amoniakální dusík. Takto přečištěné vody, zbavené amoniaku jsou dále přečerpávány či kontinuálně převáděny do horizontálního filtru, kde jsou odstraňovány další formy dusíku (Šperling, 2021).

7.2. Amoniakální dusík

Amoniakální dusík je velmi těžko odstraňován. Aby celý proces mohl dobře fungovat, je třeba splnit dvě nezbytné podmínky. Za prvé musí být vytvořeno ideální

prostředí pro bakterie a za druhé musí být zajištěn neustálý přísun vysokého množství kyslíku. Bakterie se podílejí na rozkladu $N\text{-}NH_4+$ (amoniakální dusík) na $N\text{-}NO_3$ (dusičnanový dusík). Protože ve stojatých vodách dochází k horší výměně vzduchu, je možný neúplný proces odbourávání či transformace $N\text{-}NH_4+$. Jako další problém se může jevit přeměna $N\text{-}NH_4+$ na NH_3 (amoniak), který se ve vyšších dávkách stává toxickým (Kriška et al., 2015).

7.3. Těžké kovy

Eliminace těžkých kovů v kořenových čistírnách se pohybuje okolo 80 %. Naměřené hodnoty v nadzemní biomase se udává cca 10 % a zbylých 90 % je uloženo do kořenů rostlin. V listech a stoncích se taktéž dají naměřit lehce zvýšené hodnoty těžkých kovů. Bližší hodnoty jsou otázkou potřeby získání nových dat, protože doposud naměřené výsledky z menších obcí a rodinných domů jsou téměř zanedbatelné.

Pokud je zajištěna přítomnost rozpuštěného kyslíku, koncentrace dusičnanu, manganu, železa a organických látek, může být značně ovlivněn proces odstranění těžkých kovů.

Například ve znečištěných vodách a v aerobních podmínkách železo oxiduje, kdežto v anaerobních je redukováno (Vymazal, 2004).

Mezi kovy, které jsou dobře zachycované, patří např.: hliník, olovo, zinek a chrom. Oproti tomu arzén a mangan bývají obvykle vyplavovány na povrch (Kröpfelová et al., 2007).

7.4. Fosfor

Ve většině uměle vybudovaných mokřadech nedochází k efektivnímu odstraňování fosforu. Důsledkem je omezený kontakt mezi odpadní vodou a půdním substrátem. Pomocí experimentálních metod se zkouší různorodé materiály, které by mohly mít potenciál kladného dopadu na odstraňování fosforu. Zkouší se materiály samostatně nebo v různých kombinacích. Používá se expandovaná hlína s vysokým obsahem kameniva a s přídavky oxidů železa a hliníku, písek místo štěrku (pro větší retenci fosforu) nebo materiály typu kalcit, apatit a zbytková vysokopecní struska. Obecně se dá říct, že to jsou vhodné materiály s dobrými sorpčními vlastnostmi (EPA, 1993).

Fosfor společně s dusíkem jsou považovány za základní živiny a stavební prvky všech živých hmot. Dohromady spolu tvoří integrální podmínky nezbytné pro růst jak

vodních, tak suchozemských rostlin. Důležitou roli hrají při množení mikroorganismů potřebných v čistících procesech. Ve vodách s vysokým obsahem živin dochází k růstu řas a sinic, které později můžou být hlavním problémem při kolmataci filtračního pole. Vysoká koncentrace fosforu ve vodním prostředí vede k eutrofizaci, k nedostatku slunečního světla a ke zvýšené spotřebě kyslíku. Fosfor je odstraňován pomocí vazby na mokřadní vegetaci či vlivem sedimentace (Kriška et al., 2015).

V odpadních vodách se fosfor vyskytuje jako fosfát nebo ortofosfát (anorganický fosforečnan). Pomocí biologických procesů vznikají organické fosfáty, které můžeme najít např.: ve zbytcích potravin, v morku a kostech živočichů. V odpadních vodách se také nachází anorganický fosfor, který je přidáván do pracích, mycích a čistících prostředků. V neposlední řadě jsou fosforem obohaceny splaškové vody a smyvy ze silnic a polí, kde je hojně využíván ve formě hnojiv a postřiků (EPA, 1999).

V reálných měřeních dochází u kořenových čistíren více jak ke 40% účinnosti při odstraňování fosforu. V porovnání s aktivačními biologickými čistírnami jsou výsledky porovnatelné (Šperling, 2021).

7.5. Nerozpuštěné látky

Už v samotném mechanickém předčištění lze odstranit převážnou část nerozpuštěných látek, a to procesem jednoduché filtrace. Po vtoku do filtračního lože dojde k druhému velkému zachycení nerozpuštěných látek vlivem sedimentace. Pokud k sedimentaci dojde, měli bychom řešit problém s nedokonalým primárním mechanickým předčištěním, špatným návrhem projektu či neplánovaného zatížení provozu. Je nutné tomuto problému věnovat náležitou pozornost, neboť sedimentace ve filtračním poli vede k rychlejší kolmataci celého systému. Poměr nerozpuštěných látek v odpadní vodě se stanovuje výhradně laboratorně, ale může být posouzen i pouhým okem (Kriška et al., 2015).

7.6. Mikrobiální znečištění

Mikrobiální znečištění je odstraňováno kombinací fyzikálních, biologických a v neposlední řadě chemických procesů. Lze jen těžko určit, který z těchto procesů má větší či menší vliv na čistící proces v odpadních vodách. Na úhyn mikrobiálního znečištění v horizontálním typu čistíren mají největší podíl antibakteriální látky, které jsou vylučované z kořenů mokřadních rostlin a sedimentů. Legislativa rozlišuje dva postupy, jak nakládat s přečištěnou odpadní vodou. Je-li přečištěná voda vypouštěna volně do recipientu, nemá stanovené hodnoty přípustného znečištění. Na druhou

stranu, pokud je voda vypouštěna do vod podzemních (např.: vsaky, zalévání), jsou zde přesně stanovené hodnoty, které udávají nepřekročitelné, tedy maximálně přípustné znečištění. Jedná se zejména o *Escherichia coli* 150 KTJ/100 ml a enterokoky 100 KTJ/100 ml, které jsou označovány jako patogenní organismy. Hodnoty udává Nařízení vlády č. 57/2016 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních. Při srovnání horizontálních kořenových čistíren s domácími aktivačními čistírnami dostaneme téměř stejných výsledných hodnot účinnosti čištění (Tab. 1) (Vymazal, 2016).

– zkušební krok jmenovitý

Datum	Enterokoky (%)	*Escherichia coli* (%)
12.07.2018	99,938	99,975
18.07.2018	99,993	99,997
25.07.2018	99,998	99,997
01.08.2018	100,000	100,000
29.08.2018	100,000	100,000
07.09.2018	100,000	100,000
12.09.2018	100,000	100,000
19.09.2018	100,000	100,000
26.09.2018	99,962	99,996
24.10.2018	99,999	99,999
08.11.2018	98,875	99,886
14.11.2018	99,979	100,000
12.12.2018	99,985	99,999
27.12.2018	99,989	100,000
03.01.2019	100,000	100,000
09.01.2019	99,999	100,000
16.01.2019	99,999	100,000
28.02.2019	99,998	100,000
07.03.2019	99,999	100,000
13.03.2019	99,997	100,000
Průměr	**99,935**	**99,992**

Tabulka 1. *Účinnost odstraňování mikrobiálního znečištění, měření 2018-2019 (Šperling, 2021).*

7.7. Organické znečištění

Zastoupení organického znečištění je vyjádřeno následovně:

- biochemická spotřeba kyslíku (BSK)
- chemická spotřeba kyslíku (CHSK) (Sojka, 2004).

7.7.1. Biochemická spotřeba kyslíku (BSK)

Zkratka BSK udává biologickou spotřebu kyslíku, respektive počet biologicky rozložitelných organických látek. Ještě přesněji vyjadřuje, kolik kyslíku spotřebují mikroorganismy, které jsou v roztoku, při probíhající biochemické oxidaci. Tedy při procesu rozkladu organických látek ve vodním prostředí v aerobních podmínkách. Nepřímo udává počet organických látek vyskytujících se v odpadních vodách.

Pro stanovení BSK_5, využijeme klasickou metodu zřeďování, kde musí být splněny podmínky aerobního prostředí, teplota 20 °C a sledovaná doba pěti dnů. Výsledek je množství spotřebovaného kyslíku při biochemické oxidaci (Komínková et al., 2014).

7.7.2. Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)

Aby byla zjištěna hodnota CHSK, musí být známá spotřeba kyslíku v přesně stanovených uzančních podmínkách, ve vodě se silným oxidačním činidlem při oxidaci organických látek. Výsledná hodnota udává zastoupení organických i anorganických látek obsažených ve vodě (Komínková et al., 2014).

Jednotky výsledku jsou udávány v mg/l při větším množství kg/den. Nízké hodnoty, tedy hodnoty menší než 2, znázorňují lehce rozložitelné látky. Čísla vyššího charakteru znázorňují látky obtížně rozložitelné (Sojka, 2013).

7.7.3. Nitrifikace a denitrifikace

Nitrifikace je proces přeměny amoniakálního dusíku pomocí oxidace na dusitany. Z dusitanů se pomocí opětovné oxidace vytvoří dusičnany. Vše probíhá za účasti nitrifikačních bakterií. Dále si pomocí denitrifikace či rostlinného příjmu s takto rozloženým dusíkem poradí mokřadní vegetace.

Denitrifikace vzniká v místech, kde není obsažen elementární kyslík, jsou to tzv.: anoxické zóny. Je to proces rozkladu dusičnanů na plynný dusík. Příkladem vzniku denitrifikace může být filtrační pole, kde byla posečená mokřadní vegetace a ponechaná v místě spadu. Díky rozkladu posečené biomasy se nastartuje celý proces přeměny (Vymazal, 2016).

Nitrifikace probíhá hlavně ve vertikálním filtru, kde se výsledná účinnost pohybuje až pod 1 mg. Ve výsledných měřeních účinnost činní více jak 95 %. Oproti tomu denitrifikace probíhá v horizontálních filtrech, kde je odpadní voda znitrifikována

z předchozího vertikálního filtru. Tyto hodnoty dosahují více jak 75 % účinnosti čištění (Tab. 2,3) (Šperling, 2021).

Parametr	Počet KČOV*	Koncentrace (mg.l-¹)		Účinnost (%)**
		Přítok	Odtok	
BSK_5	505 (78)	163,0	13,7	85,3
CHSK-Cr	478 (46)	355,0	51	75,3
NL	489 (75)	180,0	11,6	82,8
Celk.P	288 (58)	6,5	3,56	36,7
Celk.N	66 (23)	52,1	25,6	44,5
$N\text{-}NH_4^+$	339 (56)	30,1	17,4	34,2

** První číslo je počet ročních odběrů, číslo v závorce je počet kořenových čistíren.*
*** Průměr účinností jednotlivých čistíren.*

Tabulka 2. *Účinnost čištění odpadních vod v kořenových čistírnách v České republice za období 1989-2010 (Vymazal, 2016).*

	CHSK (mg/l)	CHSK %	BSK_5	BSK $_5$ %	$N\text{-}NH_4$[1]	$N\text{-}NH_4$[1] %
Požadavek na dostupné technologie do 2000 EO	75	75	22	85	12	75
KČOV Rakousko [1]	25,6	-	2,2	-	0,7	-
KČOV Dražovice 850 EO [2]	2,95	97,99	-	-	0,47	98,96
KČOV Velká Jesenicev700 EO [3]	22,2	95,8	5	98,2	7	99,25
VUV – VUV Praha [4]	10,5	98	1,23	99,9	0,045	99,9

1) *Výsledky výzkumu země Salcbursko 10 náhodně vybraných KČOV*
2) *Výsledky výzkumu VUT Brno z roku 2017–2018*
3) *Výsledky 2017–2020*
4) *Firemní certifikační měření domovní KČOV pro CE kat III a PZV 2018 ve VUV TGM Praha*

Tabulka 3. *Emisní standardy pro čistírny a srovnání s výsledky realizovaných KČOV (Špeling, 2021).*

8. Charakteristika řešeného území

Řešené území se nachází v katastrálním území Vrátkov, ležící v těsné blízkosti stejnojmenné obce. Celková výměra obce Vrátkov tvoří 242 hektarů a žije zde 278 obyvatel. Obec leží v nadmořské výšce 275 metrů zhruba 3,5 km jihozápadně od Českého Brodu a 25 km severozápadně od Kolína. První zmínky o obci sahají až do 14. století, někde kolem roku 1381 (Cesty a památky, 2020).

V roce 2018 bylo zadáno tendrové řízení na odkanalizování celé obce. Protože členitý reliéf celého katastrálního území obce neumožňoval gravitační odkanalizování, bylo nezbytné přihlédnout k metodě tlakového přečerpávání. Princip tlakové kanalizace vyhovuje morfologickým podmínkám obce a také různým výškovým rozdílům připojitelných domů (Vrátkov, 2020)

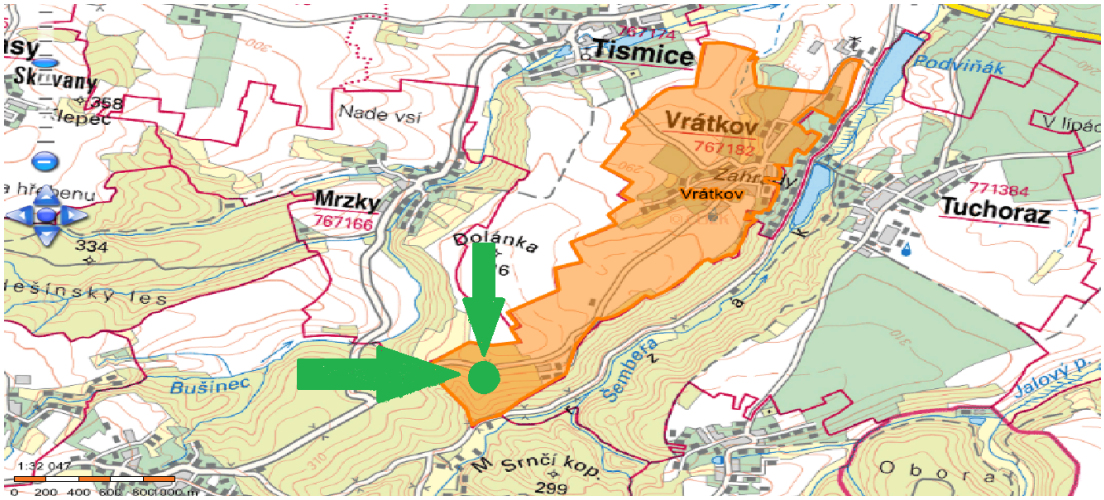
Předmětem veřejné zakázky v obci Vrátkov byla stavba tlakové kanalizace v celkové délce 3,1 km, včetně vedlejších tlakových stok v délce 1,783 km. Celkem bylo na celý rozvod připojeno 113 ks domovních čerpacích stanic a vše zakončeno čistírnou odpadních vod pro 300 ekvivalentních obyvatel. Dále se v projektu uvažuje s potrubím, které zásobuje čistírnu užitkovou vodou a taktéž s elektrickými rozvody potřebné k elektrifikaci čistírny. V trase kanalizačního rozvodu se vyskytují veškeré poklopy šoupat, armatur, proplachovacích a kontrolních souprav a čistících šachet. Čistírenská budova obsahuje česlovnu, dmýchárnu, samotný velín včetně potřebného zázemí pro obsluhu. Celá zakázka byla financována ze státního rozpočtu prostřednictvím Programu – „Podpora výstavby a technického zhodnocení infrastruktury vodovodů a kanalizací II“, Ministerstva zemědělství ČR, a to v hodnotě cca 39, 2 milionů Kč bez DPH (Zadávací dokumentace – Vrátkov, 2018).

8.1. Údaje o budoucí stavbě

Protože stávající poloha hájenky (Obr. 4) asi 2,2 km od obce Vrátkov neumožňuje připojení se na kanalizační a vodovodní řády a taktéž by se výrazně ovlivnila ekonomická stránka projektu, bylo nutné přistoupit na jiné řešení odkanalizování.

Jako vhodný budoucí návrh se jeví stavba samostatně stojící kořenové čistírny odpadních vod. Je to zařízení čistírenského charakteru, jehož prvky jsou: mechanické předčištění, vícekomorový septik, vertikální kořenový filtr, pulsní nádrž, revizní šachta, výustní objekt, větrací šachty, přívodní, sběrné, rozvodné a výustní potrubí a další komponenty nezbytné pro celkovou funkčnost systému. Z důvodu absence protékajícího vodního média, které by se dalo využít jako recipient přečištěné vody,

připadá v úvahu jediná možnost. A to buď vypouštění do zahradního jezírka nebo přímý podzemní vsak do okolní krajiny.



Obrázek 4. *Vyznačení polohy řešeného území, v katastrálním území Vrátkov (ČÚZK, 2020).*

8.2. Údaje o současném / budoucím účelu stavby

Vzhledem k tomu, že se v současné době v hájence natrvalo nachází jen jedna až dvě osoby, bylo zde odkanalizování řešeno pomocí stávající žumpy a pravidelného cca dvouměsíčního vyvážení.

Protože má hájenka v budoucnu potenciál pro vznik školícího centra, zejména pro školky, první a druhé stupně základních škol, ale i širokou veřejnost, bude kapacita čistírny nadimenzována na 15 EO (dále jen ekvivalentní obyvatel). Do čistírny bude svedena pouze splašková voda, a tudíž se předpokládá běžné zatížení s maximálně lehce zvýšenými hodnotami dusičnanů. Voda dešťová ze střech a smyvy ze zpevněných ploch jsou zadržovány na pozemku za účelem dalšího využití.

8.3. Údaje o místě stavby

Identifikační údaje:

Název obce:	Vrátkov [564826]
Název katastrálního území:	Vrátkov [767182]

Celková zájmová plocha je uvažována jako zastavěná plocha (objekt), nádvoří a nezastavěná plocha (ovocný sad).

Řešený pozemek je svahovaný a rozčleněný několika úrovněmi. Plocha zastavěná je 1481 [m2] a plocha nezastavěná má 8091 [m2]. Celková výměra tedy činí 9572 [m2] (ČUZK, 2020).

Bonitovaná půdně ekologická jednotka spadá do 3. klimatického regionu, tedy teplé a mírně vlhké prostředí. Půda je zde velmi málo produkční s převahou kambizemě. Hydropedologická charakteristika půdy s vysokou mírou infiltrace, při plném nasycení, zahrnuje převážně hluboké nadměrně odvodněné štěrky a písky. Celková sklonitost a expozice pozemku má hodnotu 1, tudíž se jedná o mírný sklon (VÚMOP, 2019).

Pozemek je vsazen do lesního prostředí a zabezpečen oplocením ze všech stran. Na Severní straně se nachází obecní komunikace, ze které je možný sjezd na pozemek. V samém středu pozemku je zastavěná plocha obdélníkového tvaru, která se skládá ze stávajícího objektu, který je rozčleněn na několik samostatně stojících budov. Stávající objekt tvoří část pro bydlení, kancelář a hygienické zázemí. Při pohledu shora na pravé části je z jedné strany pozemku vytvořena dančí obora, ve které je umístěné přírodní jezírko (Obr. 5). Druhá strana pozemku slouží ke zpracování dřeva, vytěženého v místních lesích (Obr. 6). Je zde velký manipulační prostor pro zpracování celých kmenů a taktéž pro jejich třídění a skladování. Nachází se zde i pila a štípačka palivového dříví.

Severní pohled na pozemek

Obrázek 5. *Severní pohled-ortofoto (google/maps, 2020).*

Jižní pohled na pozemek

Obrázek 6. *Jižní pohled-ortofoto 3D (google/maps, 2020).*

9. Metodika

Tento koncept studie jsem vytvořil jako sumarizaci podkladů, znalostí, postřehů a rad získaných během své prvotní bakalářské práce. Rozšířil jsem jej o odborná periodika a literaturu, včetně legislativy a samozřejmě jsem také oslovil některé odborníky zabývající se touto problematikou.

V počáteční fázi jsem oslovil zastupitele Českého Brodu Ing. Milana Majera, se kterým jsem vytvořil prvotní verzi tématu. Dále jsem požádal kolegu z komise životního prostředí a vedoucího odboru životního prostředí a zemědělství Ing. Rostislava Vodičku, který mi spolu se správcem městských lesů Ing. Janem Kopáčkem poskytl veškeré informace a taktéž tendrovou a projektovou dokumentaci k řešenému území „Vrátkovská hájenka“. Dále jsem oslovil starostu obce Vrátkov, který mi dal potřebná vysvětlení k veřejné zakázce odkanalizování obce a vybudování obecní čistírny. Po profesní schůzce v obci Velká Jesenice, jsem komunikoval se starostou Ing. Petrem Jeništou o jejich obecní kořenové čistírně, která v roce 2014 prošla rozsáhlou intenzifikací. Z částečně akademického a částečně realizačního prostředí jsem oslovil Ing. Terezu Hnátkovou Ph.D., která se mi stala externí konzultantkou již v dřívějších situacích a její připomínky byly pro mě vždy velmi přínosné.

Během fáze přípravy a sběru dat pro tuto diplomovou práci jsem několikrát navštívil dotčené území, které jsem si řádně zdokumentoval. Zaměřil jsem si půdorys pozemku, včetně umístění objektu, jezírka, studny a taktéž jsem zaměřil členitost pozemku pro budoucí návrh usazení kořenového pole.

Celá práce je ještě doplněna o orientační položkový rozpočet (Tab. 11,12), který slouží k porovnání a představě o finanční náročnosti obou variant. Pro přehled technického uspořádání a rozměrů jsem vypracoval vzorové půdorysy (Obr. 21,22) a příčné řezy, které jsou doplněny o reálné rozměry a hodnoty vypočítané v terénu. V neposlední řadě nesmí chybět pohledové vizualizace (Obr 19,20).

9.1. Vzorový výpočet

Návrh kořenové čistírny bude uvažován pro 15 ekvivalentních obyvatel, kteří filtr budou zatěžovat v nepravidelných návštěvních intervalech.

Celková spotřeba vody se v různých informačních pramenech liší, dříve se uvažovalo cca 150 litrů na osobu, ale s příchodem moderních technologií a také s větším důrazem na čím dál lepší hospodaření s pitnou vodou se udává snížená

spotřeba mezi 100–130 litry na osobu. V našem výpočtu jsem použil hodnotu 130 litrů / osoba.den.

- Návrh pro 15 EO
- Celková spotřeba vody na 1 EO = 130 l/os.den

Výpočet slouží pro návrh horizontálního kořenového pole.

Průměrný denní přítok

Q_{24} = q * O [l/den] q – specifická spotřeba vody [l/obyv.den]

O – výhledový počet obyvatel (navrhovaný)

Q_{24} = 130 * 15 = 1 950 l/den = 1,95 m^3 /den = 0,02256 l/s

Maximální denní přítok odpadní vody

Q_{dmax} = Q_{24} * k_d [m^3/den] k_d – koeficient denní nerovnoměrnosti (k_d = 1,5) (Obr. 7)

Q_d – maximální denní průtok

Q_{dmax} = 1,95 * 1,5 = 2,925 m^3/den = 0,03385 l/s

Maximální hodinový přítok odpadní vody – bezdeštný

Q_h = (Q_{24} * k_d * k_h) / 24 [l/s] k_h – Koeficient hodinové nerovnoměrnosti (k_h = 7,2)

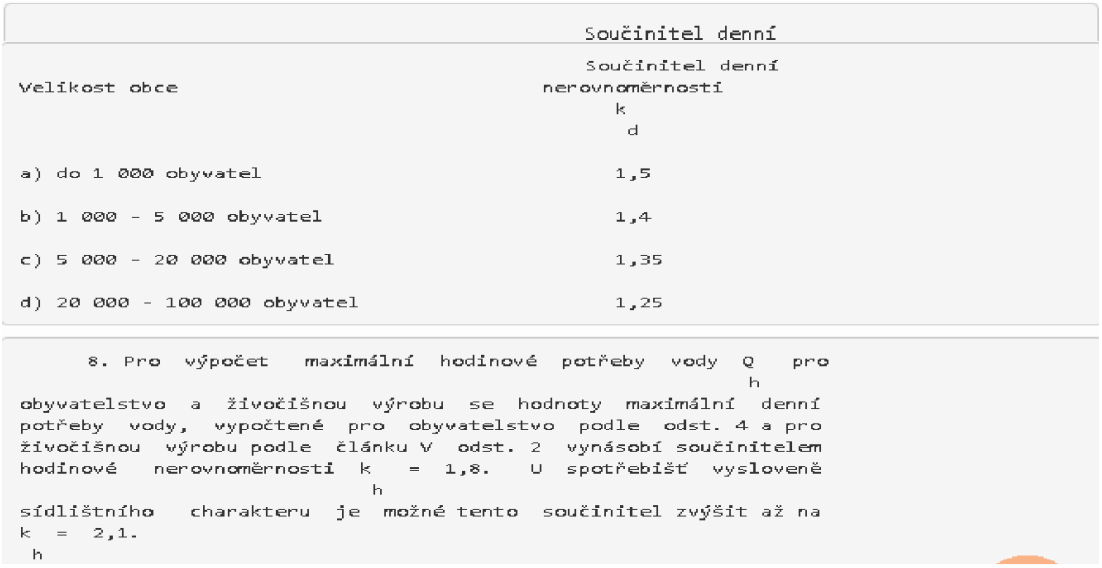
Q_h = (2,925 * 1,5 * 7,2) / 24 = 1,316 m^3/den = 0,015 l/s

Pro celkový přehled spotřeby jsem vypočítal mimo denní hodnoty i měsíční a roční.

Q_{dmax} = 1,95 * 1,5 = 2,925 m^3/den

$Q_{měs}$ = 2,925 * 31 = 90,7 m^3/měsíc

Q_{rok} = 2,925 * 365 = 1068 m^3/rok



Velikost obce	Součinitel denní nerovnoměrnosti k_d
a) do 1 000 obyvatel	1,5
b) 1 000 - 5 000 obyvatel	1,4
c) 5 000 - 20 000 obyvatel	1,35
d) 20 000 - 100 000 obyvatel	1,25

8. Pro výpočet maximální hodinové potřeby vody Q_h pro obyvatelstvo a živočišnou výrobu se hodnoty maximální denní potřeby vody, vypočtené pro obyvatelstvo podle odst. 4 a pro živočišnou výrobu podle článku V odst. 2 vynásobí součinitelem hodinové nerovnoměrnosti k_h = 1,8. U spotřebišť vysloveně sídlištního charakteru je možné tento součinitel zvýšit až na k_h = 2,1.

Obrázek 7. *Součinitelé nerovnoměrnosti potřeby vody.*

Produkce znečištění na KČOV (Tab. 4)

BSK_5 - 60 g = 15 * 60 g/os.den = 0,9 kg/den

$CHSK_{Cr}$ - 120 g = 15 * 120 g/os.den = 1,8 kg/den

NL- 55 g = 15 * 55 g/os.den = 0,825 kg/den

N_{celk} -11 g = 15 * 11 g/os.den = 0,165 kg/den

P_{celk} – 2,5 g = 15 * 2,5 g/os.den = 0,0375 kg/den

Ukazatele znečištění	BSK	CHSK	NL	N	P
Produkce znečištění (g/den)	60	120	55	11	3
Produkce znečištění (mg/l)	462	923	423	85	19

Tabulka 4. *Průměrná produkce znečištění jedním obyvatelem na den při 130 l / den (MŽP, 2010).*

Koncentrace na přítoku

Q_{24} = 1,95 m^3/den

BSK_5 15 * 60 = 900 g/den / 1,95 m^3/den = 462 g/m^3

$CHSK_C$ 15 * 120 = 1800 g/den / 1,95 m^3/den = 923 g/m^3

NL 15 * 55 = 825 g/den / 1,95 m^3/den = 423 g/m^3

N_{celk} 15 * 11 = 165 g/den / 1,95 m^3/den = 85 g/m^3

P_{celk} 15 * 2,5 = 38 g/den / 1,95 m^3/den = 19,5 g/m^3

Přibližné množství a účinnost odstranění organických látek (BSK_5+NL) v kořenové čistírně

Účinnost odstranění organických látek-BSK_5

c = 0,09 * c0 + 1,95

c = 0,09 * 462 +1,95

c = 43,53 mg/l

Účinnost odstranění nerozpuštěných látek-NL

c = 0,07 * c0 + 4,88

c = 0,07 * 423 + 4,88

c= 34,49 mg/l

Odhadovaná koncentrace organických látek na odtoku z kořenové čistírny získaná výpočtem činní 43,53 mg/l BSK_5 a 34,49 mg/l NL.

Návrh plochy kořenového filtru

$A = Q_d * (\ln C_o - \ln C_t) / K_{bsk}$

A = 1,95 * (ln 462 – 43,53) / 0,1

A = 46,06 m^2

Minimální plocha kořenového pole dle výpočtu činní 46,06 m^2.

A – plocha filtračních polí (m^2)

Q_d – Průměrný denní průtok znečištěné vody ($m^3.d^{-1}$)

C_o – průměrná denní koncentrace BSK_5 na přítoku

C_t – požadovaná koncentrace BSK_5 na odtoku

K_{BSK} – reakční konstanta 0,1 m.den

Objem filtračního pole V [m^3]

V = A * d

V = 46,06 * 1,2

V = 55,3 m^3

Hloubkový profil kořenového tělesa byl stanoven na 1,2m a celkový objem činní 55,3 m^3.

Hydraulická doba zdržení t [den]

$t = V * n / Q_{24}$

$t = A * d * n / Q_{24}$

t = 46,06 * 1,2 * 0,35 / 1,95

t=9,9 dnů

Příčný průřez filtračního lože

$Sp = Q_{24} / kf * i$

Sp = 1,95 / 500 * 1

Sp = 0,0039 m^2

Výpočet hydraulického zatížení (LH)

$LH = Q_{24} / A$

LH = 1,95 / 46,06

LH = 0,042 m/d = 42 mm/d

9.2. Vertikální filtr

Vegetační čistírny s vertikálními filtry velmi často přejímají návrh a uspořádání celého systému od metodiky zemních filtrů. Povrch filtrů, stejně jako u horizontálního uspořádání, je osázen vhodnou mokřadní vegetací. Taktéž se uplatňuje vertikální průtok nenasyceným filtračním materiálem pomocí gravitačních sil. Jako primární předčištění splaškových vod u vertikálních filtrů nejsou doporučovány štěrbinové nádrže z důvodu malé účinnosti odloučení nerozpuštěných látek. Řešením je např.: vložení horizontálního pole jako mezistupeň čištění či úplná výměna štěrbinové nádrže za více komorové septiky. Distribuce vody na vertikální filtr je prováděna diskontinuálně neboli přerušovaně pomocí pulzního dávkování znečištěné vody do distribučního potrubí. Při použití rozvodného potrubí z materiálu s hydraulickou vodivostí k = 10^{-4} m/s by intervaly jednotlivých dávek vody měly nastat mezi 3 až 6 hodinami, s maximální dobou jedné dávky 15 minut. Samotný návrh vertikálních kořenových filtrů je odvozen z hodnot znečištění za 24 hodin zejména CHSK a hydraulického zatížení. Jestliže je tento typ vertikálních filtrů postaven jako samostatný biologický stupeň, je doporučeno počítat se 4 m^2 na jednoho EO (ČSN 75 6402, 2017).

Podle dalších několika zemí se udávají různé normované hodnoty pro dimenzování kořenových polí. Například v Rakousku a Německu uvažují se 4 m^2 / EO nebo v Dánsku, kde dokonce doporučují 3 m^2 / EO (Vymazal, 2016).

9.2.1. Výpočet vertikálního filtru možnost A

Pro výpočet plochy vertikálního filtru musíme zjistit poměr $CHSK_{cr}$ a BSK_5, který je udáván hodnotou (<2), indikuje tedy lehce rozložitelné látky. Překročením této hodnoty jsou opačné těžce rozložitelné látky (Mžp, 2007).

$$CHSK_{cr} = BSK_5 * 2 * EO = 60 * 2 * 15 = \underline{1\ 800\ mg.l^{-1}}$$

V případě použití pulzně skrápěného filtru lze uvažovat s plošným zatížením $CHSK_{cr}$ 15–20 $g.m^2$.den (ČSN 75 6402, 2017).

Dále množství $CHSK_{cr}$ /den přitékající do kořenového pole s teoretickým uvažováním o účinnosti filtrační pěny 40 %.

$$C_{pv} = CHSK_{cr} * [g.m^{-3}] * Q_d * [m^3d^{-1}] * (1 – účinnost\ pěny)$$

C_{pv} = 1800 * 1,95 *(1 – 0,4)

C_{pv} = <u>2106 g.den^{-1}</u>

Protože se uvažuje běžné znečištění, a tudíž čištění jen šedé vody, budeme počítat s hodnotou 20 g.m^2.

A_v = (C_{pv} / 20) = 2106 / 20 = <u>105,3 m^2</u>

Plocha vertikálního kořenového pole dle tohoto výpočtu vychází na 105,3 zaokrouhleno 105 m$^{2.}$ Při přepočtu na 1 EO by plocha činila 7 m^2.

(Netopilík, 2020).

9.2.2. Výpočet vertikálního filtru možnost B

Současným průkopníkem v dimenzování vertikálních kořenových filtrů je Rakousko, kde mají bohaté, více jak 10tileté zkušenosti s osázenými zemními filtry. Výsledkem jejich snažení jsou funkční filtry bez projevujícího se zápachu, a hlavně bez zakolmatování filtračního materiálu, včetně rozvodného potrubí. Největším úspěchem je však výsledné znečištění na odtoku N-NH_4^+ <1 mg/l.

Taktéž jak u předchozího příkladu je návrh plochy kořenového pole odvozen od koncentrace znečištění $CHSK_{cr}$.

Pro výpočet tedy použijeme hodnotu denního zatížení $CHSK_{cr}$, které se nachází v mechanicky předčištěné vodě přitékající z vícekomorového septiku. Účinnost septiku je uvažována jako poloviční hodnota, tedy 50 %.

A v neposlední řadě jsou uvažovány hodnoty získané během výzkumu vhodného a účinného dimenzování vertikálních systémů, tedy účinnost filtrů 15 g_{CHSK}/m^2/den) (Kriška et al., 2015).

A = 60 (g.obyv./den) / 15 (g/m^2/den) = (60 * 15) / 15 = 60 m^2

Vypočtená plocha dle tohoto vzorce činní 60 m^2. Pakliže přepočítáme výslednou plochu na jednoho obyvatele, vyjde nám výsledek 4 m^2. Tento výsledek budeme uvažovat jako výchozí, protože je tak udáváno i v technické normě ČSN 75 6402.

9.2.3. Výpočet vertikálního filtru možnost C

Podle normy ČSN 75 64 02, lze návrh kořenového vertikálního filtru navrhnout dle parametrů vycházejících z výpočtu zemních filtrů. Platí zde vzorec:

$A = (k * Q_{24}) / V_f$ A – plocha zemního filtru (m^2)

K – součinitel místních podmínek (1–1,3)

Q_{24} – průměrný denní přítok odpadní vody m^3/den

$A = (1,2 * 1,95) / 0,042$

$A = \underline{55,7\ m^2}$

Plocha vertikálního filtru osázeného vegetací dle normy a dle zásad pro výpočet zemních filtrů činní 55,7 m^2. Přepočtená hodnota na 1 EO je 3,7 m^2, což po zaokrouhlení také vychází na 4 m^2 / EO.

9.2.4. Dopočet

Pro kompletní dopočet, potřebný pro návrh filtračního materiálu, tedy objemu filtračního pole, hydraulické doby zdržení, příčného řezu a hydraulického zatížení, je třeba přepočítat následující položky s hodnotou plochy A = 60 m^2 a výškou filtračních vrstev 0,95m.

Objem filtračního pole V [m^3]

$V = A * d$

$V = 60 * 0,95$

$V = \underline{57\ m^3}$

Hloubkový profil kořenového tělesa byl stanoven na 0,95 m a celkový objem činní 57 m^3.

Hydraulická doba zdržení t [den]

$t = V * n / Q_{24}$

$t = A * d * n / Q_{24}$

$t = 60 * 0,95 * 0,35 / 1,95$

$t = \underline{10,2 dnů}$

Příčný průřez filtračního lože

$Sp = Q_{24} / kf * i$

$Sp = 1,95 / 500 * 1$

$Sp = \underline{0,0039\ m^2}$

Výpočet hydraulického zatížení (LH)

$LH = Q_{24} / A$

$LH = 1,95 / 60$

$LH = \underline{0,033\ m/d = 33\ mm/d}$

9.2.5. Urbanisticko-architektonické řešení

Vzhledem k rozloze cca 60 m^2 a svým dispozičním řešením obdélníkového tvaru se zaoblenými rohy, bude čistírna tvořit nenápadný biotop osázený mokřadní vegetací. Celý koncept bude co nejpřirozeněji zasazen do členitého reliéfu území tak, aby spolu s přírodním akumulačním jezírkem zatraktivnil prostředí dančí obory. Mokřadní rostlinstvo bude zvoleno co nejvíce podobné vegetaci vyskytující se v našich lesích, loukách a pastvinách. Zejména to bude rákos obecný, chrastice rákosovitá a orobinec. Uspořádání všech objektů nezbytných pro fungování čistírny bude ukryto pod povrchem, aby nenarušovalo přírodní vzhled prostředí.

Určené návrhové parametry kořenového filtru činí délka = 10 m, šířka = 6 m, hloubka 0,95 m filtrační zóna + (0,05m srovnávací vrstva).

9.2.6. Provozní řešení včetně dispozičního uspořádání

1) Akumulační jímka

Pro vertikální kořenovou čistírnu lze využít současnou jímku nacházející se v blízkosti stávající hájenky. Je však nutné ověřit její aktuální stav, zejména její vodotěsnost (Fortina, 2016). Pokud vyhoví, tak disponuje objemem 6 m^3, což v našem případě postačí. Pokud ne, tak jako nejvhodnější náprava se jeví vyhotovení nového svařovaného boxu v místě uložení.

2) Vícekomorový septik.

Předtím, nežli bude septik vybudován, je třeba zmapovat trh, který septiky nabízí a seznámit se s pokyny pro výstavbu. Musí být udány pokyny nejen pro uložení, ale i pro montáž, propojení veškerého potrubí, a i uvedení do provozu. Stejně tak výrobce udá pokyny pro údržbu a obsluhu (ČSN EN 12 566-1 ed 2., 2017)

Rozhodujícím faktorem při návrhu septiku je střední doba zdržení v účinném prostoru. Výchozí doporučená hodnota střední doby zdržení se udává 5 dní. Příchozí šedá / odpadní voda do septiku musí být oddělená od vody dešťové. Účinný prostor nesmí být menší než 3 m^3 a měl by mít minimálně 3 komory.

V našem případě jsem navrhl septik (Obr.8) od firmy Špačekplast s.r.o. za 47 990 kč s DPH, který pro naše účely vyhoví. Septik má vnitřní kapacitu 15 m^3, což při výpočtu nabízí ještě skoro 0,5 m^3 rezervu.

Výpočet objemu septiku

$V = a * n * q * t$

$V = 1,5 * 15 * 0,13 * 5$

$V = 14,6\ m^3$

Celkový objem septiku by měl činit minimálně 14,6 m^3, což ve standardizovaných rozměrech výrobců odpovídá 15 m^3.

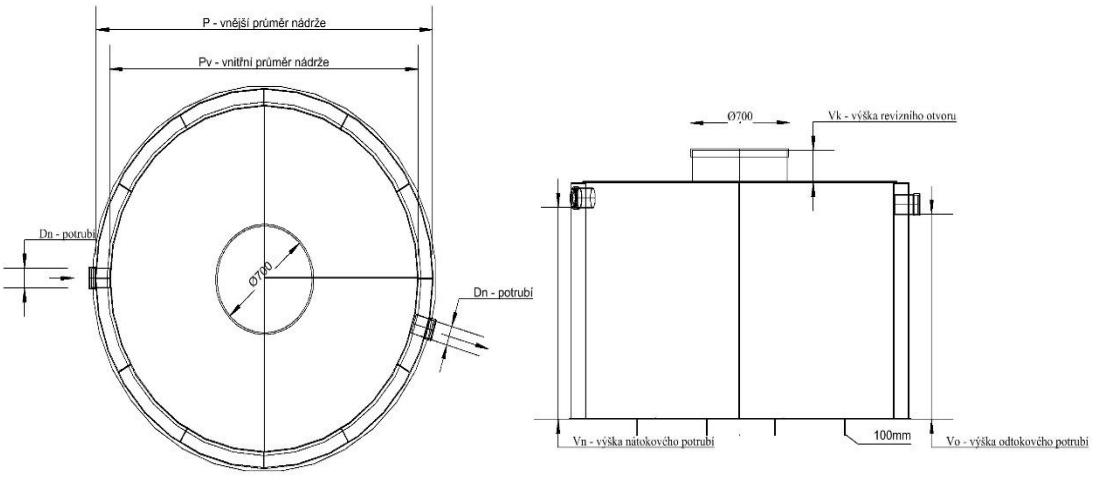
a součinitel vyjadřující kalový prostor (obvykle a = 1,5)

n počet připojených obyvatel

q specifická potřeba vody na osobu v m^3/den

t střední doba zdržení ve dnech (obvykle t = 5 d)

(ČSN 75 6402, 2017).



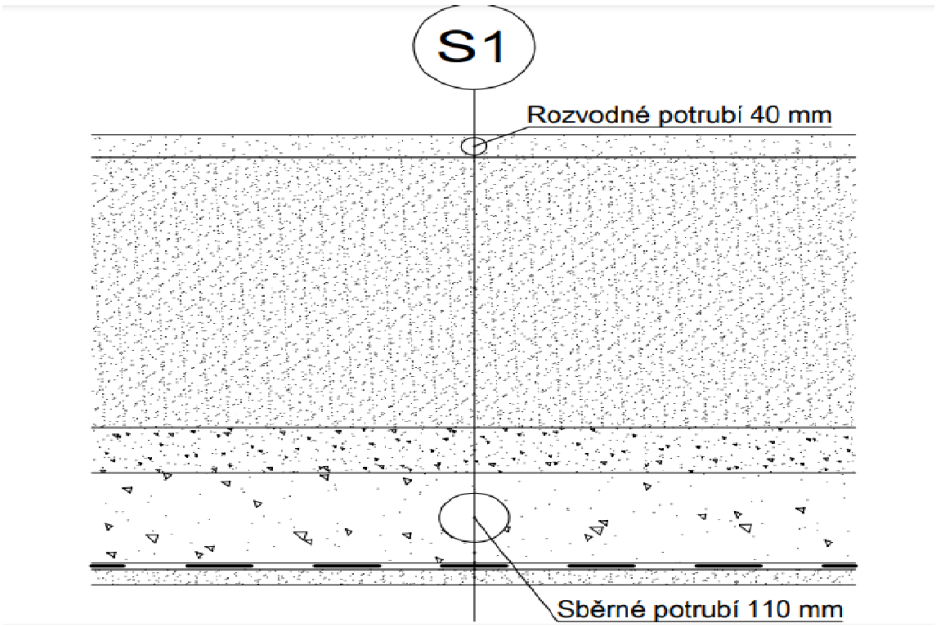
Obrázek 8. *Technický nákres septiku (Špačekplast, 2020).*

9.2.7. Návrh svislé skladby vertikálního kořenového pole

Filtrační lože vertikálního pole v našem případě tvoří několik vrstev (Obr. 9) o celkové hloubce 0,95 m. Materiál musí být vypraný, tedy jednotný, a zbavený prachových nečistot. Důraz kladený na kvalitu filtračního materiálu je v budoucnu odražen od rychlosti postupující kolmatace celého systému.

Prvotním stavebním zásahem začneme těžit zeminu až na požadované dno, které musíme důkladně zhutnit, a pokud je potřeba nerovnosti v celé ploše, dorovnáme pískem zrnitosti maximálně 4 mm. Dilatační vrstvu zajistíme vložením geotextílie (500 g.m^2) v celé ploše jámy. Dále vytvoříme hydroizolační vrstvu, nejlépe ze svařované fólie (PE, PVC, guma) o tloušťce minimálně 1,5 mm. Přeložením další vrstvy geotextílie zajistíme potřebnou ochranu před prvním násypem filtračního materiálu. Drenážní vrstvu o mocnosti 0,2 m vysypeme praným drceným štěrkem, nejlépe říčního charakteru, a to velikostí frakce 8/16P mm. Pro přechodovou zónu postačí výška 0,05m až 0,1 m z drceného štěrku velikosti zrn 2/5P mm, popřípadě v kombinaci s 4/8P mm. Nejdůležitější hlavní filtrační vrstvu zaplníme říčním štěrkopískem o velikosti 0/4P mm, v celkové výši 0,6 m. Pro poslední svrchní vrstvu zbývá doplnit 0,05 m praným říčním štěrkem 4/8P mm.

Návrh skladby je udáván podle (Tab. 5) vzestupně, ode dna výkopu po rostlý terén.



S1

- SVRCHNÍ VRSTVA - PRANÝ ŘÍČNÍ PÍSEK 4/8 mm - 50mm
- HLAVNÍ FILTRAČNÍ VRSTVA - ŘÍČNÍ ŠTĚRKOPÍSEK 0/4P - 600mm
- PŘECHODOVÝ FILTR - DRCENÝ ŠTĚRK 2/5P - 100mm
- DRENÁŽNÍ VRSTVA - PRANÝ DRCENÝ ŠTĚRK (ŘÍČNÍ) 8/16P - 200mm
- GEOTEXTÍLIE 500g.m2
- SVAŘOVANÁ FOLIE min. tl. 1,5 mm
- GEOTEXTÍLIE 500g.m2
- PÍSEK - zrnitost max. 4 mm - 40mm

-TERÉN

Obrázek 9. *Příčný řez vertikálního filtru.*

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	neurčeno	Hydroizolace (PVC, PE, guma) 1,5 mm krytá oboustranně geotextilií 500 g/m^2
Kompenzační vrstva	0 až 50	Písek

Tabulka 5. *Složení vrstev u vertikálního filtru s vegetací (ČSN 75 6402, 2017).*

9.2.8. Nakládání s vyčištěnou odpadní vodou

Jako nejužitečnější a nejhospodárnější varianta se jeví vypouštění vyčištěných vod do vod povrchových, tedy do stávajícího jezírka. Kvalita vyčištěné vody je určena podle vládního nařízení č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod.

Jezírko, jakožto vodní dílo, je zásobováno především dešťovými srážkami a povrchovým odtokem. Hráz jezírka je zhotovena ze soudržných materiálů, zeminy a jílu, s opevněným návodním lícem s kamenným záhozem. Hráz v ploše přechází do okolního terénu. Typická spodní výpust zde chybí a v případě zvýšeného přítoku je voda převedena přes hráz (LNConsult, 2016).

Parametry vodní nádrže

Tok (povodí toku)	Šembera
ID toku	vodní plocha neleží na vodním toku
Říční kilometr	není
Číslo hydrologického pořadí	1-04-06-0360
Normální hladina	298,53 m n.m.
Zatopená plocha při H_N	214 m^2
Maximální hladina	298,80 m n.m.
Délka vzdutí při max. hladině	20,0 m

9.3. Horizontální filtr

Kořenové filtry s horizontálním průtokem jsou vždy navrhovány podle druhu a typu přitékající znečištěné vody a také podle koncentrace a intenzity průtoku. Před horizontální filtry jsou vždy řazeny až za mechanické předčištění, které má na starosti nejčastěji vícekomorový septik, štěrbinová nádrž či usazovací nádrž. Distribuce odpadní vody do kořenového pole musí být zajištěna celoplošně a rovnoměrně. Přítokové potrubí musí umožňovat kontrolu a čistitelnost v případě, že by došlo ke kolmataci. Nemělo by tedy být kryté žádným filtračním materiálem.

Je nutné si uvědomit, že vegetační čistírny nejsou určeny k účinnému odstraňování fosforu, a to platí dvojnásob u horizontálního uspořádání. Pokud jsou kladeny přísnější limity na odstraňování fosforu, nežli udávají normy pro vypouštění

odpadních vod, je nutné za kořenové pole dosadit technologickou linku na srážení právě zmíněného fosforu (ČSN 75 6402, 2017).

9.3.1. Plocha horizontálního filtru

Plocha kořenové čistírny s horizontálním průtokem je stanovena v m^2 pomocí výpočtu, který je odvozen ze znečištění BSK_5.

$$A = Q_d * (ln_{Cp} – ln_{Co}) / (k_{bsk} * n * h)$$

$$A = 1,95 * (462 – 43,53) / (0,1 * 0,4 * 1,2)$$

$$A = 96\ m^2$$

A plocha filtru (m^2)
Q_d průměrný denní přítok vody v m^3/den
C_p předpokládaná koncentrace znečištění BSK_5 na přítoku do filtru v mg/l
C_o požadovaná koncentrace znečištění BSK_5 na odtoku z filtru v mg/l
K_{bsk} rychlostní konstanta úbytku znečištění BSK_5 v m/d (doporučovaná hodnota je 0,10 m/d)
n pórovitost (bezrozměrná forma, často 0,40 až 0,45)
h hloubka filtru v m

(ČSN 75 6402, 2017).

9.3.2. Urbanisticko-architektonické řešení

Oproti vertikálnímu filtru je tento typ horizontálního kořenového filtru znatelně větší a náročnější na rozlohu. Protože se filtr bude nacházet mimo aktivní část pozemku, nejsou na vizuální stránku kladeny tak vysoké nároky jako u vertikálního, ba naopak, čistírna bude vybavena širokým výběrem barevných kombinací mokřadní vegetace. Z bezpečnostního hlediska taktéž všechny objekty budou schovány pod úroveň terénu, s podmínkou přístupu k otevíratelným poklopům.

Pro horizontální uspořádání kořenového filtru jsem určil parametry délka 12 m, šířka 8 m, hloubka filtrační zóny 1,2m.

9.3.3. Provozní řešení včetně dispozičního uspořádání

1 – Akumulační jímka

Protože objem septiku vychází na 14,6 m^3, po zaokrouhlení 15 m^3, využijeme tuto hodnotu pro návrh objemu akumulační jímky 7 m^3. U akumulačních jímek rozlišujeme dva základní druhy, samonosná nebo k obetonování. V našem případě jsem se rozhodl pro jímku k obetonování, aby v budoucnu nevznikaly žádné problémy s uložením, zatížením nebo možným pohybem. Jímka se ukládá na betonovou základovou desku o tloušťce 0,15 m až 0,35 m. Po usazení se jímka sváže ocelovými pruty a ze stran se včetně poklopu zalije betonem. Celý postup se řídí pokyny výrobce, včetně statického posouzení.

2 – Vícekomorový septik

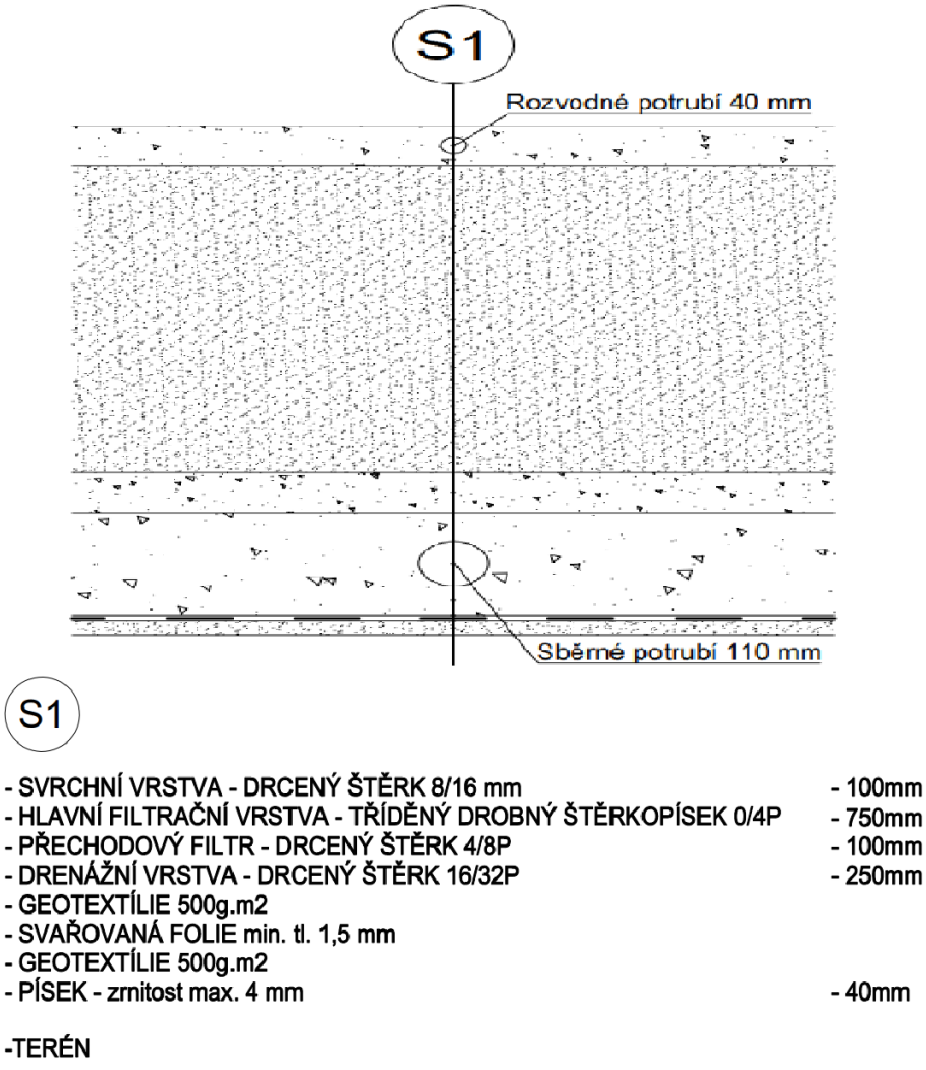
Protože horizontálně uspořádané systémy mají na rozdíl od těch vertikálně uspořádaných nižší účinnost čištění, pokusil jsem se navrhnout více než tříkomorový septik. Při průzkumu trhu jsem narazil i na pár zajímavých možností. Jednou z nich byla nabídka šestikomorového septiku z webové stránky „Českánádrž“. Nabídka byla standardně rozdělená na samonosné, k obetonování a dvouplášťové šestikomorové septiky. Bohužel nulová zpětná odezva od nabízejícího prodejce mi neumožnila zjistit jakékoliv bližší údaje. Další možnost se vyskytla u firmy „Asio s.r.o.“. Podle průzkumu jejich nabídky a referencí se tato firma jeví jako jedna z předních lídrů v oblasti čištění odpadních vod. Jako vhodnou variantu jsem zvolil anaerobní separátor „AS-Anasep“ (Obr. 10), což je v podstatě čtyřkomorový septik, opatřený přepážkami pro pomalejší průtok odpadní vody. Dle emailové komunikace mi byla doporučena varianta AS – anasep 14.0 o celkovém objemu 14,04 m^3. Standardně využívaná až pro 21 EO. Rozdíl mezi vypočteným objemem a doporučeným od výrobce je – 0,6 m^3. Bohužel cena výrobku (162 500 kč bez DPH) ve finálním zpracování činí více jak trojnásobek obyčejného tříkomorového septiku. Pro naši potřebu a porovnání použijeme stejný septik jako u vertikálního systému.

Obrázek 10. *Anaerobní separátor AS - Anasep (Asio, 2020).*

9.3.4. Návrh svislé skladby horizontálního kořenového pole

Skladba filtračních vrstev v horizontálně uspořádaném poli (Obr. 11) činí hloubku 1,2 m od hydroizolační vrstvy po horní úroveň filtračního tělesa.

Dno výkopové jámy musí být zhutněné a podle potřeby srovnané podsypem např. jemným pískem zrnitosti maximálně do 4 mm. Jako separační vrstva nám poslouží netkaná geotextílie, která plní funkci ochrannou a oddělovací. Další velmi podstatnou vrstvou je hydroizolační těsnění. Jako jedna z variant se jeví klasické svařování asfaltových pásů, které jsou dnes vyráběné jako oxidované či modifikované kvality. Ovšem průkopníkem moderní doby se staly svařované fólie (tl. 1,5 mm), které se dělají v několika kombinacích ať už pevnostních, velikostních či barevných. Nutné je dodržet předepsané krytí fólií, aby došlo k co nejdokonalejšímu sváru, a tudíž k soudržnosti nepropustné vrstvy. Aby nedošlo k protržení hydroizolace, je třeba položit další vrstvu geotextílie splňující parametr 300 lépe 500 g/m^2. Spodní drenážní vrstva bude tvořena praným, drceným štěrkem o mocnosti 0,25 m a velikostí kamene frakce 16/32P mm. Pro přechodový filtr postačí vrstva 0,1 m drceného štěrku frakce 4/8P mm. Hlavní filtrační vrstva tloušťky 0,75 m bude tvořena z tříděného drceného štěrkopísku 0/4 P mm. A v neposlední řadě svrchní část tloušťky 0,1 m vyplněná frakcí 8/16 P mm.



Obrázek 11. *Příčný řez horizontálního filtru.*

9.3.5. Nakládání s vyčištěnou odpadní vodou

Pro horizontální uspořádání kořenové čistírny jsem zvolil podzemní nádrže, ve kterých bude vyčištěná voda akumulována a dále využívána k závlaze. Na pozemku se voda využije pro část, kde je lesní školka, tedy kde jsou pěstovány jehličnaté stromky. Mimo pozemek může být voda využívána k zavlažování luk, pastvin, lesních kultur, ale také může být využívána k čištění zpevněných ploch atd.

Pokud využijeme vodu k závlaze, musí být dodrženy ukazatele z předpisu normy ČSN 75 7143, jakost vody pro závlahu a taktéž nařízení vlády č. 57/2016 o ukazatelích maximálního přípustného znečištění při vypouštění odpadních vod do vod podzemních. Vsakování lze řešit tam, kde není možnost napojení do vodního recipientu např.: tekoucí povrchové vody. Musí být splněny parametry dle nařízení

vlády č. 57/2016 a také musí vyhovovat geologické podmínky podloží. Vsak nesmí mít nežádoucí účinky na okolní prostředí. Platí zde zásada, že čím větší je účinný vsakovací prostor, tím menší je postupné zakolmatování podloží. Proto se jako uvažované možnosti využívají vsakovací nádrže, pole, příkopy a drenáže.

Po splnění předepsaných chemických, biologických a fyzikálních ukazatelů může být vyčištěná voda použita pro závlahu bodovou nebo postřikem.

Nutným poznatkem je fakt, že v zimním období není možnost využití závlahových systémů a akumulovaná voda musí být odváděna jinými způsoby. Např. odvozem na čistírnu do obce Vrátkov či přečerpáváním do okrasného jezírka na pozemku (ČSN 75 6402, 2017).

10. Společné návrhové parametry pro oba typy filtrů

10.1. Návrh rozvodného potrubí

Odpadní voda přiváděna ke kořenovému filtru je dle ČSN 75 6402 v přiváděcím potrubí až o velikost DN 150. V našem případě do 25 EO se využívá nejčastěji DN 110. Rozdělovací potrubí, které dále distribuuje přiváděnou odpadní vodu do plochy filtru, může mít světlost DN 40–50. Pro délku jedné větve rozdělovacího potrubí se udává maximálně 16 m lépe však 10–12 m (ČSN 75 6402, 2020).

Zásady pokládky potrubí

- Veškeré potrubí musí být uloženo v maximální toleranci 1 cm z důvodu rovnoměrné distribuce vody po celé ploše.
- Aby nedošlo k zanášení, je nutné zajistit podložení trub a celý systém uložit nad filtrační zónu. Taktéž je třeba zabránit průhybům a výchylkám směru trub.
- Nutno rozlišovat přiváděcí potrubí, které je v plném profilu a rozvodné potrubí, které je opatřeno vypouštěcími dírkami.
- Kvůli vyrovnání tlaku a hladiny odpadní vody, musí být perforované potrubí vyvedeno asi o 0,25 m nad celý systém.
- Optimální rozestupy mezi rozváděcími řadami je 0,6 m až 0,8 m (Kriška et al., 2015).

Ve spodní části kořenového filtru se dále nachází sběrné potrubí, které musí být obsypáno praným štěrkem. Platí zde podmínka, že velikost štěrku musí být větší než sběrné otvory v perforované trubce. Sběrné potrubí musí být opatřené větracím výduchem, minimálně 0,5 m nad povrch terénu (ČSN 75 6402, 2020).

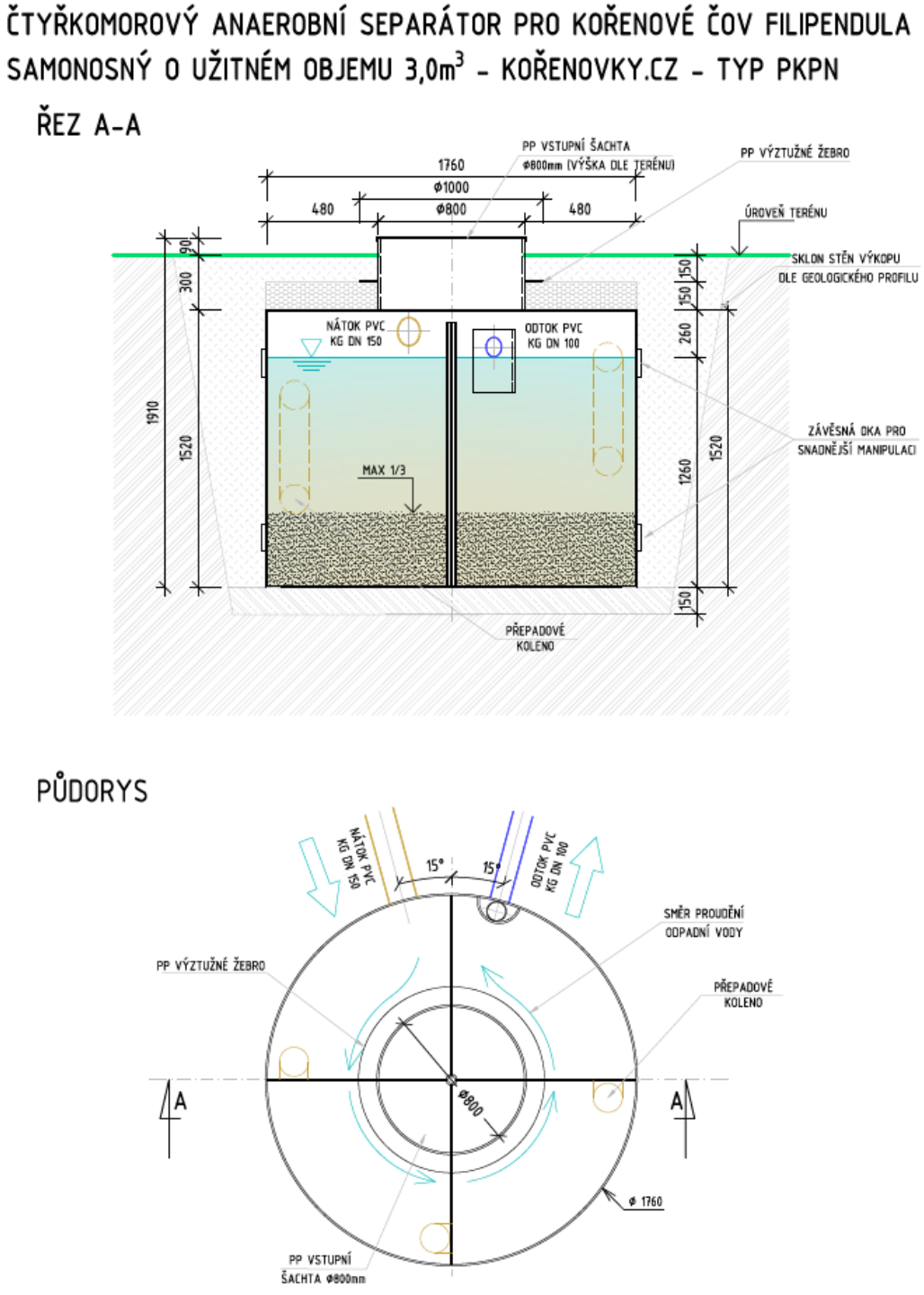
10.2. Septiky

Po důkladné analýze trhu s nabídkou septiků (Tab. 6) o objemu 15 m^3 jsem vytvořil srovnávací tabulku těchto parametrů. Všechny poptávané septiky jsou kruhového průřezu s dvojím opláštěním. Dvojitý plášť slouží jako ochrana před mechanickými vlivy, zejména proti tlaku podzemní vody. Při ukládání septiku se současně vyplňuje vzduchová mezera betonem a vnější strana zasypává hlínou. Z tabulky je patrné, že rozměry septiků se téměř neliší. Ani cena zde není příliš odlišná. Rozdíl mezi nejlevnějším a nejdražším septikem je cca 5 tisíc korun. Septiky nesplňují parametry pojezdového zatížení, ale po zasypání bez problému zvládají běžné pochozí zatížení, které je roznášeno zeminou. Revizní poklop pochozího či pojezdového charakteru je za příplatek u všech dodavatelů. Všechny septiky mají garantovanou, certifikovanou 100 % voděodolnost a vodonepropustnost podle ČSN EN 12 566-1 ed.2.

Mimo tabulku jsem dostal doporučení na čtyřkomorový separátor pro kořenové čistírny od firmy Kořenovky.cz (Obr. 12). Bohužel jejich septik disponuje s kapacitou 3 m^3, a tudíž pro nás nevyhovující. Avšak po osobní konzultaci mi byla navrhnuta kombinace tohoto septiku a nutnosti nového vybudování velké akumulační jímky cca 10–15 m^3 a celkově odlišného uspořádání celého systému. Nicméně je nutno tento separátor zmínit a vědět, že existuje mnoho dalších způsobů a produktů, které se dají využít i v jiných kombinacích.

Výrobce	Objem (m3)	Výška (mm)	Vnější pr. (mm)	Vnitřní pr. (mm)	Pr. revizního komínu (mm)	Výška revizního komínu (mm)	Odtok (DN)	Nátok (DN)	Váha (Kg)	Cena s (DPH)
Spacekplast	15	2000	3050	-	200 - 250	-	dle přání	dle přání	290	47 990
Hydroplast	15	2000	3300	3100	600	200	110 - 160	110 - 160	350	49 463
Mravecplast	15	2000	3300	3100	600	200 - 300	100 - 150	100 - 150	350	49 610
Nasejimky	15	2000	3300	-	700	200	dle přání	dle přání	-	53 845
Topnadrze	15	2000	3300	-	700	200	150	160	-	53 845

Tabulka 6. *Sjednocení analýzy trhu tříkomorových septiků.*



Obrázek 12. *Čtyřkomorový separátor (Kořenovky.cz, 2021).*

10.3. Pulzní vypouštěč

V obou případech filtrů jsem použil pulzní vypouštěč „AS-pulz“ (Tab. 7). Hlavní předností tohoto produktu je fakt, že ho lze použít v obou případech, avšak pokaždé s jiným koncepčním uspořádáním. Dalším neopomenutelným faktorem je to, že

zařízení funguje bez přidané elektrické energie. Princip vypouštění funguje tak, že po maximální (námi určené) úrovni hladiny dojde k nadzvednutí plováku, který zajistí samovolný odtok vody do recipientu. Vypouštěč (Obr. 13) lze zakoupit v kombinaci se šachticí, ve které je uložen a taktéž se tam kumuluje přečištěná voda či samostatně, kde vzniká další variabilita zhotovení šachtice.

A – Vertikální filtr

Pulzní vypouštěč u vertikálního kořenového systému se zařadí mezi vícekomorový septik a samotný kořenový filtr. Jeho úkolem je, po naplnění požadované hladiny ve sběrné šachtici, vypustit odpadní vodu do distribučního potrubí. Tímto principem dochází k pulznímu skrápění (distribuci) odpadní vody do filtračního prostředí.

Určeno primárně pro napouštění vertikální kořenové čistírny s trváním jednoho impulzu do 120 s			
Typ	PV110	PV125	PV150
Maximální počet obyvatel (EO)	100	200	300
Průměr odtokového potrubí	110	125	150
Max. odtok Q_{max} (L/s) při hloubce vody 1,00 m	13,5	33,0	47,0
Doporučený objem vody v šachtici (m^3)	1,00	2,40	3,60
Hmotnost (kg)	6	8	10

*) Pro účely přesně definované vypouštěcí hladiny v šachtici je potřeba pečlivá instalace, pevné uchycení a přesné seřízení.

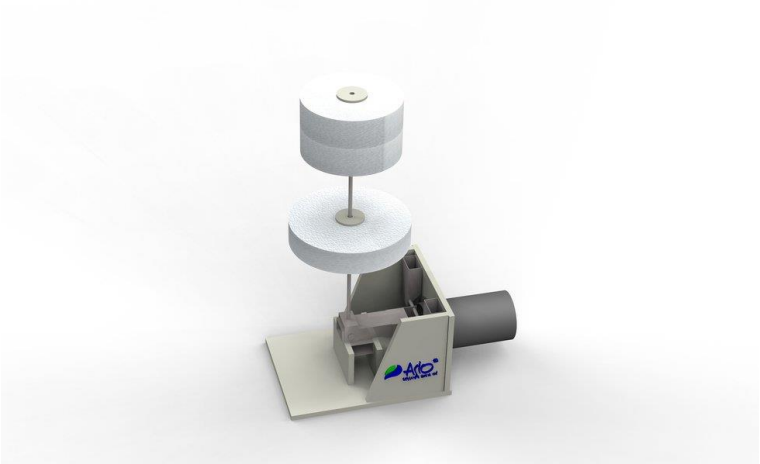
***Tabulka 7**. Hodnoty pulzního vypouštěče AS-pulz (Asio, 2020).*

B – Horizontální filtr

U horizontálně uspořádaného filtru se pulzní vypouštěč řadí až za celý filtrační systém, tedy do vypouštěcí šachty či odtokového potrubí.

Výhody vypouštěcího zařízení

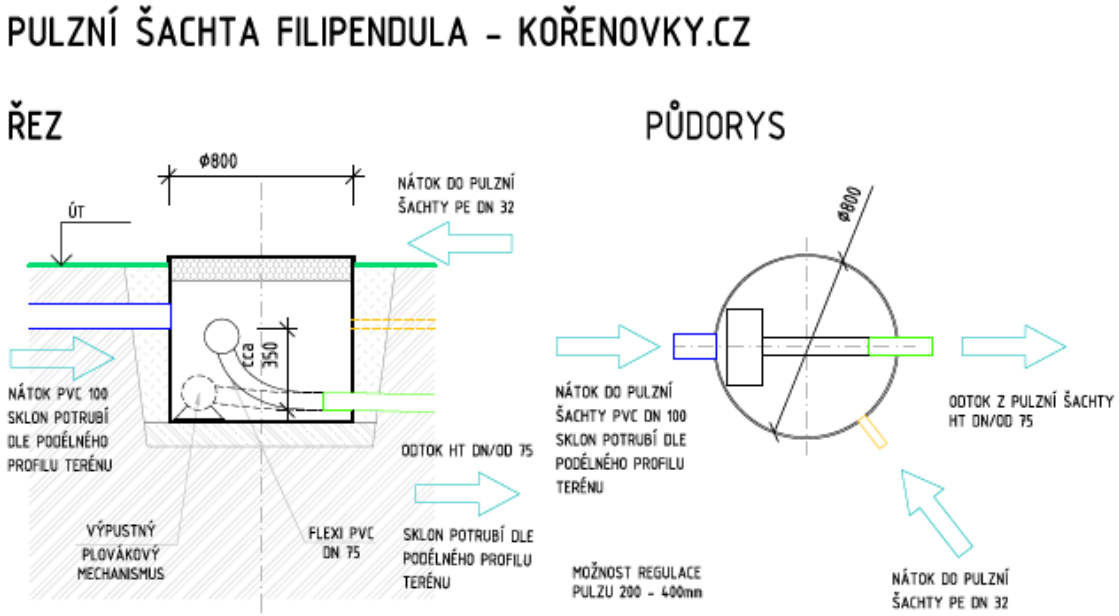
- zvýšení účinnosti horizontálních kořenových čistíren až o 50 % (CHSK, NH4-N)
- pro vertikální kořenové čistírny jediné dostupné fungující zařízení v ČR
- nulové provozní náklady (nevyžaduje připojení elektřiny)
- snadná instalace a seřízení (do betonových i plastových šachtic, nových nebo stávajících)
- vyrobeno z nerezových a plastových součástí, zaručena dlouhodobá životnost



***Obrázek 13**. Pulzní vypouštěč AS - pulz (Asio, 2020).*

10.4. Pulzní šachtice

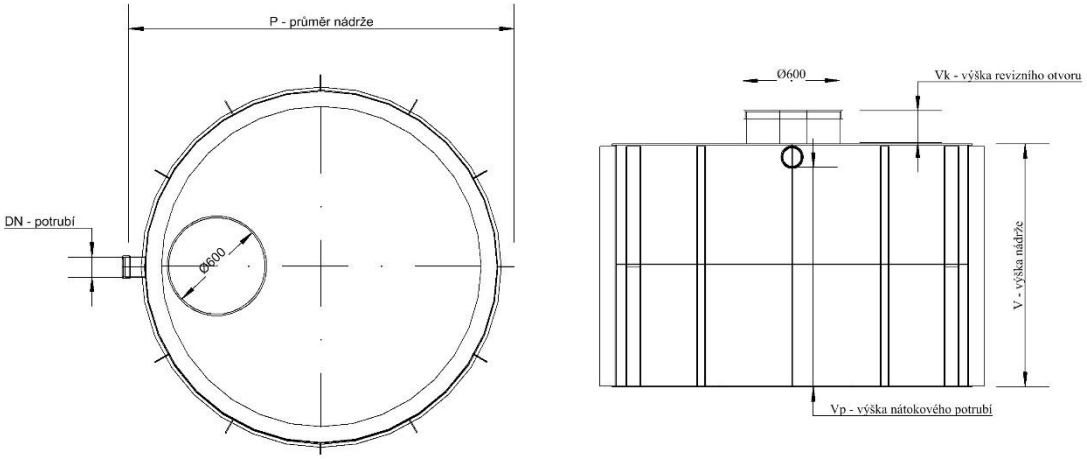
Firma Kořenovky.cz pod vedením Michala Šperlinga nabízí možnost instalace pulzní šachtice (Obr. 14), včetně pulzního vypouštěče. Princip spočívá na základě vztlakového mechanismu, který po požadovaném napuštění hladiny v pulzní šachtě rázově vypustí odpadní vodu do kořenového filtru. Systém se osazuje mezi septik, kde dochází k přečišťování odpadní vody a kořenový filtr, kde dochází k finálnímu dočištění. Celý princip je samočinný bez nutnosti přidané elektrické energie (Šperling, 2021).



***Obrázek 14.** Pulzní šachta včetně pulzního vypouštěče (Kořenovky.cz, 2021).*

10.5. Regulační, kontrolní, odběrná šachta

Jako regulační šachtici jsem zvolil dvouplášťovou kruhovou jímku (Obr. 15) o celkové kapacitě 1,5 m^3. Světlá výška bez revizního komínu činí 1,5 m a vnější průměr 1,4 m. Cena jímky je 15 113 kč s DPH. Jímka se uloží na podkladový beton tloušťky 0,15 m v celé ploše. Před betonáží svislých stran se do jímky napustí voda, které by měla být vždy o 0,3 m výš než beton. Pokud chceme zajistit statické vlastnosti jímky z pohledu pojezdových požadavků, je třeba zabetonovat i horní víko. V našem případě to potřeba nebude (Plastjimka, 2020).

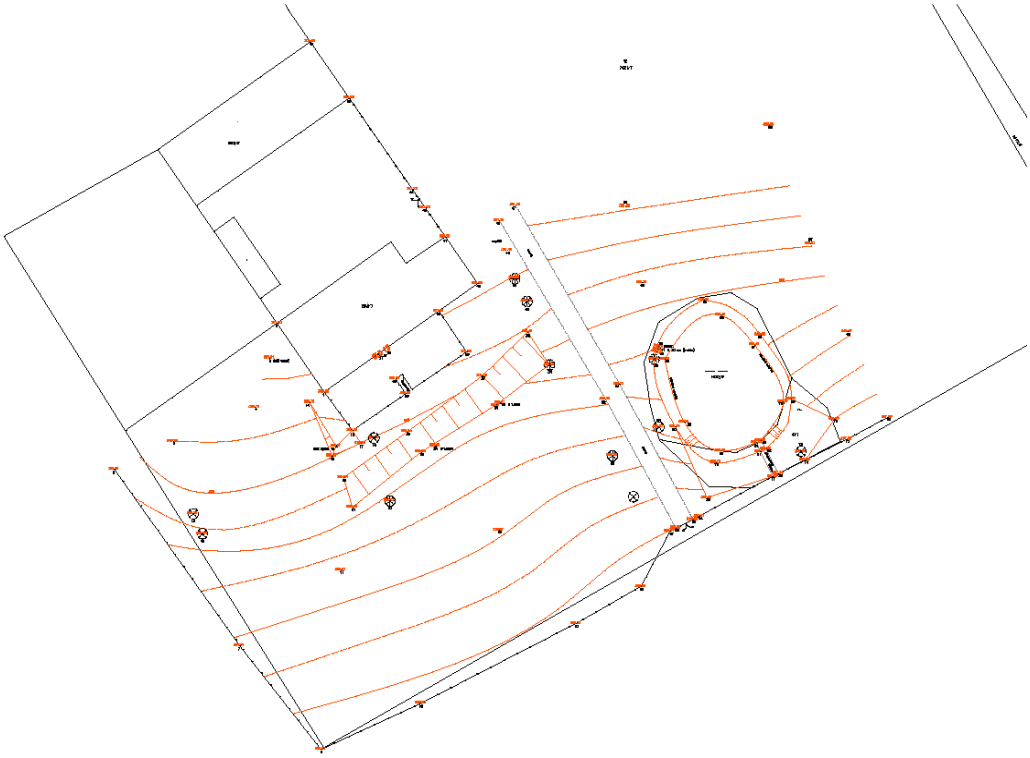


Obrázek 15. *Technický list jímky (Plastjimka, 2020).*

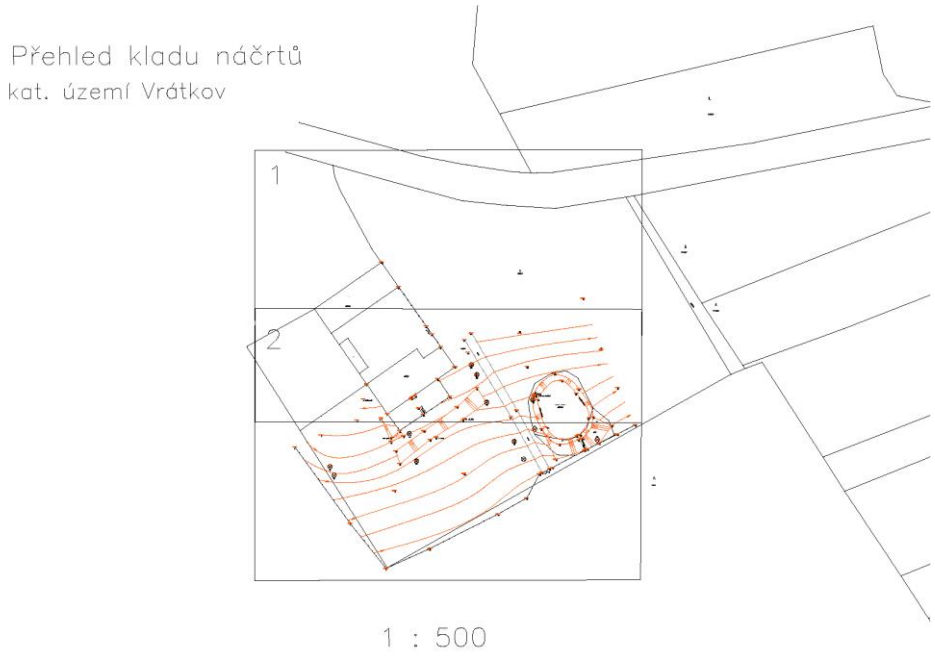
11. Výškopis – zaměření pozemku

Bylo provedeno zaměření veškerých prvků polohopisu a výškopisu (Obr. 16,17,18) v rozsahu potřebném pro moji diplomovou práci. Zaměřeny byly stavby, vjezdy, zpevněné povrchy, terénní hrany a stávající oplocení, zdi, vzrostlé stromy, povrchové znaky inženýrských sítí. Jedná se o hájenku v katastrálním území Vrátkov parc. č. 1421/1, 1421/8 a 411. Výkres byl vyhotoven na podkladu aktuální katastrální mapy. Výkres byl vyhotoven pouze v digitální formě ve formátu pdf. V tištěné mapě je pouze přehled kladu náčrtů ve formátu pdf. Použité stroje a pomůcky SOUTH S-82 T, Leica TC 703, neboli nivelační přístroj, měřičská lať a GNNS – (gps) polohový lokátor.

Obrázek 16. *Zaměření stávajícího jezírka (vlastní zdroj).*



Obrázek 17. *Výškopis, zaměření pozemku, včetně významných bodů (vlastní zdroj).*



Obrázek 18. *Přehled kladů náčrtů (vlastní zdroj).*

12. Náležitosti a legislativa

12.1. Nařízení vlády č. 57/2016 Sb.

„Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních“.

Nařízení předepisuje hodnoty přípustného a maximálně přípustného znečištění (Tab. 8), které může být obsaženo v přečištěných vodách, které jsou dále vypouštěné do podzemních vod. Poukazuje také na nezbytné podmínky, které musí být naplněny před samotným počátkem vypouštění vod do vod podzemních, včetně ukazatelů dohlížejících na kvalitu vypouštěné vody (Nařízení vlády, 2016).

Velikost kategorie (EO)*	**"m"** (mg/l)**				
	CHSK-Cr	**BSK_5**	**$N\text{-}NH_4^+$**	**NL**	**N.celk**
<10	150	40	20	30	x
10-50	150	40	X	30	30
> 50	130	30	X	30	20

Tabulka 8. *Ukazatele a emisní standardy pro odpadní vody vypouštěné z jednotlivých staveb pro bydlení a rodinnou rekreaci (Nařízení vlády, 2016).*

12.2. Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.

„Nařízení vlády ze dne 14. prosince 2015 o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech“.

Tato směrnice udává podobnou charakteristiku jako směrnice předešlá. Stanovuje náležitosti a kritéria vypouštěných vod do vod povrchových (Tab. 9), vymezuje přípustné a maximálně přípustné ukazatele pro vypouštěné odpadní vody, ale také udává kvalitu povrchových vod ještě nezměněných o právě tyto vypouštěné vody. Zaměřuje se například na průmyslové vody, ale neopomíná i povrchové vody, sloužící k rekreaci (Nařízení vlády, 2015).

Kategorie ČOV	**$CHSK_{cr}$**		**BSK_5**		**NL**		**$N\text{-}NH_4^+$**		**N_{celk}**	**P_{celk}**
Přípustné / maximální	P	M	P	M	P	M	P	M	-	-
<500 EO	150	220	40	80	50	80	X	X	X	X

Tabulka 9. *Emisní standardy: přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l (Nařízení vlády, 2015).*

12.3. Jakost vody pro závlahu ČSN 75 7143

Norma závazně neudává nároky na jakost a druh vody při přepravě, ani její dopad na rozvodné a distribuční potrubí, včetně rozstřikujících komponentů. Platí zejména pro lokalizované závlahy a pro klasifikaci závlahové vody plnící funkci doplňkové závlahy.

Pro závlahy mohou být využity jak podzemní, tak povrchové vody, včetně patřičně upravených odpadních vod, splňujících předepsané náležitosti. Závlahová voda nesmí negativně působit na zdraví osob a zvířat, a taktéž nesmí ovlivnit ekologickou složku životního prostředí. Nesmí být tedy změněna kvalita podzemních ani povrchových vod včetně půdních a ekonomických vlastností dané lokality. Samotnou jakost vody výrazně ovlivňují nejen faktory životního prostředí, jako jsou půdní a

klimatické podmínky, hydrologické poměry, ale i samotný druh a způsob využívaných technologií závlah nebo i druh zavlažovaných plodin.

Jakost vody dělíme do několika tříd: (Tab. 10)

I. Třída-vody vhodné k závlaze
II. Třída-vody podmíněně vhodné k závlaze
III. Třída-vody nevhodné k závlaze

Třídu jakosti získáme porovnáním čísel maximálně přípustných hodnot znečištění jednotlivých ukazatelů a naměřených hodnot. Mezi primárně řešené ukazatele řadíme tato: NL-nerozpuštěné látky, velikost částic a jejich vliv, teplotu, pach i barvu. Podle důležitosti kritérii někdy i biologické, chemické a i radioaktivní ukazatele (ČSN 75 7143).

Ukazatel	Jednotka	Třída		
		I.	II.	III.
		Voda vhodná	Voda podmíněně vhodná	Voda nevhodná
Teplota	°C	35	40	>40
Chloridy (Cl^-)	$mg.l^{-1}$	300	400	>400
Sírany (SO_4^{2+})	$mg.l^{-1}$	250	300	>300
Železo (Fe)	$mg.l^{-1}$	10	100	>100
Fekální koliformní bakterie	$KTJ . Ml^{-1}$	10	100	>100
Enterokoky	$KTJ . Ml^{-1}$	10	100	>100

Tabulka 10. *Výběr několika ukazatelů jakosti, - nejvýše přípustných hodnot pro jednotlivé třídy (ČSN 75 7143).*

12.4. Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel ČSN 75 6402

Aktualizovaná norma sjednocuje nové poznatky se starými ve věci problematiky čistíren odpadních vod. Dále určuje směr kalového hospodářství, včetně pozdější likvidace vyčištěných odpadních vod. Norma je vymezena velikostí zdroje znečištění, tedy maximálně 500 EO. V normě se dále nachází parametry pro navrhování čistíren s poznatky získanými jak v tuzemsku, tak v zahraničí. Nechybí zde ani zmínka o nových technologických postupech čištění nebo výsledcích a orientačních hodnotách účinnosti a znečištění (ČSN 75 6402, 2017).

12.5. Malé čistírny odpadních vod do 50 ekvivalentních obyvatel – Část 1: Prefabrikované septiky ČSN EN 12 566-1 ed. 2

Norma předepisuje požadavky na septiky prefabrikovaného charakteru, nevztahuje se na septiky vytvářené svépomocí a ani na místě. Udává požadavky na příslušné vybavení, průměry trub, značení, vodotěsnost i zatížení. Zaobírá se septiky, které slouží k částečnému přečišťování splaškových vod vznikajících v domovních aglomeracích o zatížení maximálně 50 ekvivalentních obyvatel (ČSN EN 12566-1 ed. 2, 2017).

13. Výsledky / zhodnocení

13.1. Vizualizace vertikálního + horizontálního filtru

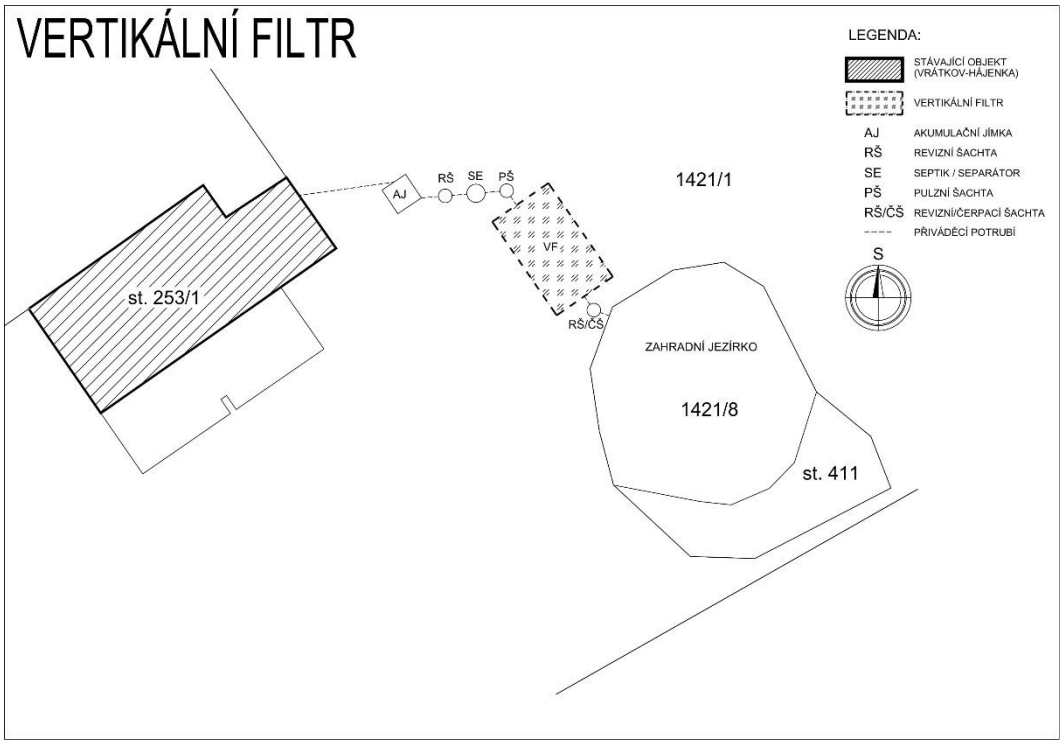
Vertikální kořenová čistírna

Obrázek 19. *Vertikální filtr s vypouštěním do stávajícího jezírka.*

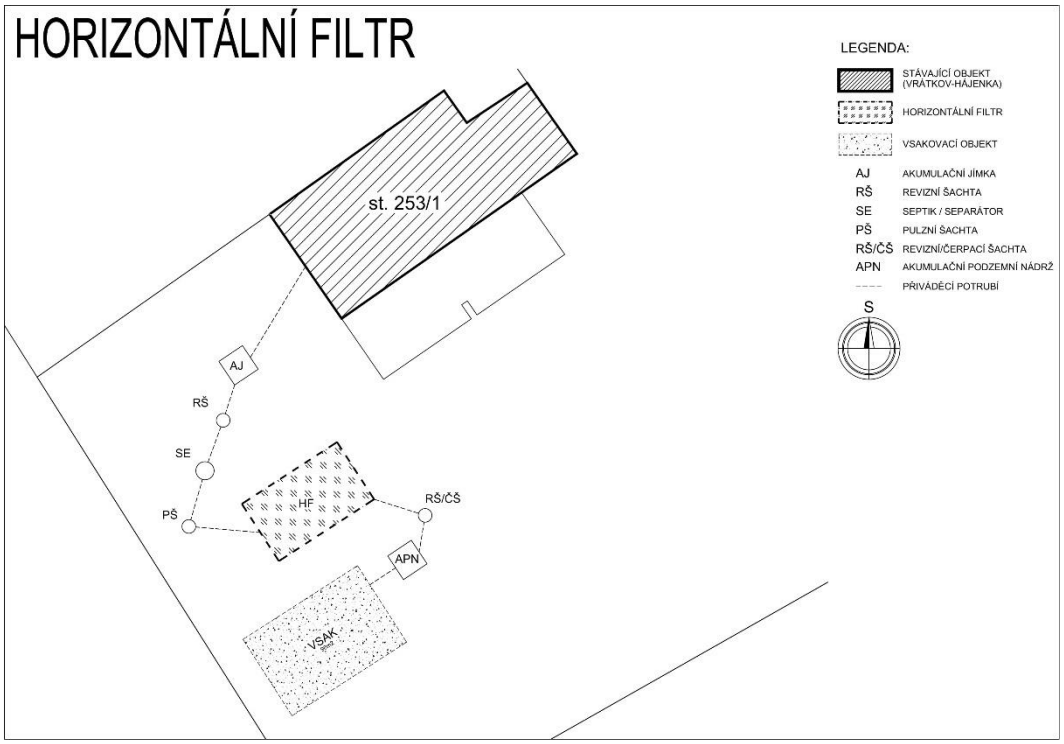
Horizontální kořenová čistírna

Obrázek 20. *Horizontální filtr s možností zásaku.*

13.2. Půdorys



Obrázek 21. *Půdorysné usazení (Vertikální filtr).*



Obrázek 22. *Půdorysné usazení (Horizontální filtr).*

13.3. Položkový rozpočet Vertikální + Horizontální filtr

Položkový rozpočet vertikálního filtru

Položkový rozpočet

S:	00111111	
O:	01	
R:	001	Vertikální filtr

P.č.	Číslo položky	Název položky	MJ	Množství	Cena / M	Celkem
Díl: 1		**Zemní práce**				**45 716,04**
1	121101101R00	Sejmutí ornice s přemístěním do 50 m	m3	6,00000	74,70	448,20
		Sejmutí ornice uvažováno 100 mm a přemístění do 50 metrů na mezideponii				
		(10x6)*0,100		6,00000		
2	131201111R00	Hloubení nezapaž. jam hor. 1-4 do 100 m3, STROJNĚ	m3	51,00000	132,00	6 732,00
		Hloubení zapažených jam a zářezů s urovnáním dna do předepsaného profilu a spádu v hornině tř. 1-4 do 100 m3				
		(10*6)*0,85		51,00000		
3	131201119R00	Příplatek za lepivost - hloubení nezap.jam v hor.3	m3	51,00000	23,60	1 203,60
		Hloubení zapažených jam a zářezů s urovnáním dna do předepsaného profilu a spádu Příplatek k cenám za lepivost horniny tř. 4				
		(10*6)*0,85		51,00000		
4	161101101R00	Svislé přemístění výkopku z hor.1-4 do 2,5 m	m3	51,00000	127,00	6 477,00
5	162201102R00	Vodorovné přemístění výkopku z hor.1-4 do 50 m	m3	51,00000	44,90	2 289,90
		Vodorovné přemístění výkopku nebo sypaniny po suchu na obvyklém dopravním prostředku, bez naložení výkopku, avšak se složením bez rozhrnutí z horniny tř. 1 až 4 na vzdálenost přes 1 000 do 1 500 m				
		(10*6)*0,85		51,00000		
6	162701105R00	Vodorovné přemístění výkopku z hor.1-4 do 10000 m	m3	45,00000	264,50	11 902,50
		Vodorovné přemístění výkopku do 10000 m horniny tř. 1 až 4				
7	162701109R00	Příplatek k vod. přemístění hor.1-4 za další 1 km	m3	45,00000	20,80	936,00
		Příplatek ZKD 1000 m nad 10000 m u přemístění výkopku horniny tř. 1 až 4				
8	167101101R00	Nakládání výkopku z hor.1-4 v množství do 100 m3	m3	6,00000	262,50	1 575,00
		Nakládání výkopku z hornin tř. 1 až 4 do 100 m3 pro zpětný zásyp				
9	171201201R00	Uložení sypaniny na skl.-sypanina na výšku přes 2m	m3	45,00000	16,30	733,50
10	174101101R00	Zásyp jam, rýh, šachet se zhutněním	m3	6,00000	122,50	735,00
		Zásyp jam, šachet rýh nebo kolem objektů sypaninou se zhutněním				
11	175101101R00	Obsyp potrubí bez prohození sypaniny	m3	6,00000	584,00	3 504,00
		Obsypání potrubí strojně sypaninou z vhodných hornin tř. 1 až 4 nebo materiálem připraveným podél výkopu ve vzdálenosti do 3 m od jeho kraje, pro jakoukoliv hloubku výkopu a míru zhutnění bez prohození sypaniny				
12	182301121R00	Rozprostření ornice, svah, tl. do 10 cm, do 500 m2	m2	30,40000	69,90	2 124,96

		Rozprostření a urovnání ornice v rovině nebo ve svahu sklonu do 1:5 při souvislé ploše do 500 m2, tl. vrstvy do 100 mm				
		(10+10+6+6)*0,95		30,40000		
13	183405211R00	Výsev trávníku na ornici	m2	30,40000	22,40	680,96
		Výsev trávníku na ornici				
		(10+10+6+6)*0,95		30,40000		
14	199000005R00	Poplatek za skládku zeminy 1- 4	t	45,00000	140,00	6 300,00
		Odvezení přebytečné zeminy na nejbližší skládku				
15	00572472R	Směs travní luční III. - dlouhodobá PROFI á 25 kg	kg	0,76000	96,60	73,42
		osiva pícnin směsi travní balení obvykle 25 kg technická - svahová (10 kg)				
		30,40*0,76'Přepočtené koeficientem množství		0,76000		
Díl: 2		**Základy a zvláštní zakládání**				**62 743,60**
16	273321411R00	Železobeton základových desek C 25/30	m3	6,80000	2 960,00	20 128,00
17	273351215R00	Bednění stěn základových desek - zřízení	m2	10,50000	791,00	8 305,50
18	273351216R00	Bednění stěn základových desek - odstranění	m2	2,30000	127,00	292,10
19	273361821R00	Výztuž základových desek z svařovaných sítí (R)	t	0,85000	38 680,00	32 878,00
20	289971211R00	Zřízení vrstvy z geotextilie š.do 3 m	m2	60,00000	19,00	1 140,00
Díl: 3		**Svislé a kompletní konstrukce**				**117 785,00**
21	311361821R00	Výztuž nadzáklad. zdí z betonářské oceli 10505 (R)	t	1,75000	38 710,00	67 742,50
22	341321410R00	Beton nosných stěn železový C 25/30	m3	8,50000	3 405,00	28 942,50
23	341351101R00	Bednění stěn nosných jednostranné - zřízení	m2	26,00000	602,00	15 652,00
24	341351102R00	Bednění stěn nosných jednostranné - odstranění	m2	24,00000	227,00	5 448,00
Díl: 4		**Vodorovné konstrukce**				**75 756,00**
25	452311141R00	Desky podkladní z betonu C 16/20	m3	5,00000	3 090,00	15 450,00
26	RT3	Říční stěrkopísek 0/4P	t	64,80000	300,00	19 440,00
		(10*6)*0,6	m3	36,00000		
		36*1,8'Přepočtené koeficientem množství	t	64,80000		
27	RT4	Drcený štěrk 2/5P	t	10,80000	530,00	5 724,00
		(10*6)*0,1	m3	6,00000		
		6*1,8'Přepočtené koeficientem množství	t	10,80000		
28	RT5	Písek	t	4,32000	250,00	1 080,00
		(10*6)*0,04	m3	2,40000		
		2,4*1,8'Přepočtené koeficientem množství	t	4,32000		
29	69366199R	Geotextilie FILTEK 500 g/m2 š. 200cm 100% PP	m2	60,00000	65,20	3 912,00
		10*6		60,00000		
30	RT1	Praný říční písek 4/8 mm	t	5,40000	290,00	1 566,00
		(10*6)*0,05	m3	3,00000		
		3*1,8'Přepočtené koeficientem množství	t	5,40000		
31	RT13	Svařovaná folie min. tl. 1,5 mm	m2	60,00000	300,00	18 000,00
		10*6		60,00000		
32	RT2	Praný drcený štěrk (říční) 8/16P	t	21,60000	490,00	10 584,00
		(10*6)*0,2	m3	12,00000		

		12*1,8'Přepočtené koeficientem množství	t	21,60000		
Díl: 8		**Trubní vedení**				**246 156,00**
33	998276101R00	Přesun hmot, trubní vedení plastová, otevř. výkop	t	50,00000	138,00	6 900,00
34	RT10	Pulzní vypouštěč (před filtrem)	kpl	1,00000	9 700,00	9 700,00
35	RT11	Pulzní šachtice (průměr 800 – 1000 mm) s přítokem a odtokem vody	kpl	1,00000	6 900,00	6 900,00
36	RT12	Regulační / revizní šachtice	kpl	2,00000	15 113,00	30 226,00
37	RT6	Vícekomorový septik (15 m3) s 2jitým opláštění	kpl	1,00000	47 990,00	47 990,00
38	RT21	Kanalizační potrubí DN 125	m	25,00000	2 080,00	52 000,00
39	RT7	Přiváděcí potrubí DN 110	m	10,00000	2 080,00	20 800,00
40	RT9	Sběrné potrubí DN 110	m	8,00000	2 080,00	16 640,00
41	RT21	Montáž a napojení potrubí	kpl	1,00000	35 000,00	35 000,00
42	RT20	Příslušenství - odbočky, kolena, víčka atd.	kpl	1,00000	20 000,00	20 000,00
43	RT11	Distribuční potrubí DN 40	m	55,00000	2 080,00	114 400,00
Díl: M23		**Montáže potrubí**				**808,40**
43	230170013U00	Tlakové zkoušky těsnosti potrubí - zkouška DN do 125	m	43,00000	18,80	808,40
		Tlakové zkoušky vodou na potrubí DN do 80				
		Celkem				548 965,04

Tabulka 11. *Položkový rozpočet – vertikálního filtru (vlastní zdroj).*

Položkový rozpočet horizontálního filtru

Položkový rozpočet

S:	00111111	
O:	01	
R:	002	Horizontální filtr

P.č.	Číslo položky	Název položky	MJ	Množství	Cena / MJ	Celkem
Díl: 1		**Zemní práce**				**91 082,82**
1	121101101R00	Sejmutí ornice s přemístěním do 50 m	m3	9,60000	74,70	717,12
		Sejmutí ornice uvažováno 100 mm a přemístění do 50 metrů na mezideponii				
		(12x8)*0,100		9,60000		
2	131201111R00	Hloubení nezapaž. jam hor.3 do 100 m3, STROJNĚ	m3	95,20000	132,00	12 566,40
		Hloubení zapažených jam a zářezů s urovnáním dna do předepsaného profilu a spádu v hornině tř. 1-4 do 100 m3				
		(12x8)*1,1		105,60000		
3	131201119R00	Příplatek za lepivost - hloubení nezap.jam v hor.3	m3	105,60000	23,60	2 492,16
		Hloubení zapažených jam a zářezů s urovnáním dna do předepsaného profilu a spádu Příplatek k cenám za lepivost horniny tř. 4				
		(12x8)*1,1		105,60000		
4	161101101R00	Svislé přemístění výkopku z hor.1-4 do 2,5 m	m3	105,60000	127,00	13 411,20
5	162201102R00	Vodorovné přemístění výkopku z hor.1-4 do 50 m	m3	105,60000	44,90	4 741,44
		Vodorovné přemístění výkopku nebo sypaniny po suchu na obvyklém dopravním prostředku, bez naložení výkopku, avšak se složením bez rozhrnutí z horniny tř. 1 až 4 na vzdálenost přes 1 000 do 1 500 m				
		(12x8)*1,1		105,60000		
6	162701105R00	Vodorovné přemístění výkopku z hor.1-4 do 10000 m	m3	80,00000	264,50	21 160,00
		Vodorovné přemístění výkopku do 10000 m horniny tř. 1 až 4				
7	162701109R00	Příplatek k vod. přemístění hor.1-4 za další 1 km	m3	80,00000	20,80	1 664,00
		Příplatek ZKD 1000 m nad 10000 m u přemístění výkopku horniny tř. 1 až 4				
8	167101101R00	Nakládání výkopku z hor.1-4 v množství do 100 m3	m3	15,00000	262,50	3 937,50
		Nakládání výkopku z hornin tř. 1 až 4 do 100 m3 pro zpětný zásyp				
9	171201201R00	Uložení sypaniny na skl.-sypanina na výšku přes 2m	m3	80,00000	16,30	1 304,00
10	174101101R00	Zásyp jam, rýh, šachet se zhutněním	m3	15,00000	122,50	1 837,50
		Zásyp jam, šachet rýh nebo kolem objektů sypaninou se zhutněním				
11	175101101R00	Obsyp potrubí bez prohození sypaniny	m3	15,00000	584,00	8 760,00
		Obsypání potrubí strojně sypaninou z vhodných hornin tř. 1 až 4 nebo materiálem připraveným podél výkopu ve vzdálenosti do 3 m od jeho kraje, pro jakoukoliv hloubku výkopu a míru zhutnění bez prohození sypaniny				
12	182301121R00	Rozprostření ornice, svah, tl. do 10 cm, do 500 m2	m2	44,00000	69,90	3 075,60
		Rozprostření a urovnání ornice v rovině nebo ve svahu sklonu do 1:5 při souvislé ploše do 500 m2, tl. vrstvy do 100 mm				

		(10+10+6+6)*0,95		44,00000		
13	183405211R00	Výsev trávníku na ornici	m2	44,00000	22,40	985,60
		Výsev trávníku na ornici				
		(10+10+6+6)*0,95		44,00000		
14	199000005R00	Poplatek za skládku zeminy 1- 4	t	80,00000	140,00	11 200,00
		Odvezení přebytečné zeminy na nejbližší skládku				
15	00572472R	Směs travní luční III. - dlouhodobá PROFI á 25 kg	kg	33,44000	96,60	3 230,30
		osiva pícnin směsi travní balení obvykle 25 kg technická - svahová (10 kg)				
		44*0,76'Přepočtené koeficientem množství		33,44000		
Díl: 2		**Základy a zvláštní zakládání**				**94 229,40**
16	273321411R00	Železobeton základových desek C 25/30	m3	10,20000	2 960,00	30 192,00
17	273351215R00	Bednění stěn základových desek - zřízení	m2	15,75000	791,00	12 458,25
18	273351216R00	Bednění stěn základových desek - odstranění	m2	3,45000	127,00	438,15
19	273361821R00	Výztuž základových desek z beton. oceli 10505 (R)	t	1,27500	38 680,00	49 317,00
20	289971211R00	Zřízení vrstvy z geotextilie š.do 3 m	m2	96,00000	19,00	1 824,00
Díl: 3		**Svislé a kompletní konstrukce**				**176 677,50**
21	311361821R00	Výztuž nadzáklad. zdí z betonářské oceli 10505 (R)	t	2,62500	38 710,00	101 613,75
22	341321410R00	Beton nosných stěn železový C 25/30	m3	12,75000	3 405,00	43 413,75
23	341351101R00	Bednění stěn nosných jednostranné - zřízení	m2	39,00000	602,00	23 478,00
24	341351102R00	Bednění stěn nosných jednostranné - odstranění	m2	36,00000	227,00	8 172,00
Díl: 4		**Vodorovné konstrukce**				**135 399,60**
25	452311141R00	Desky podkladní pod potrubí z betonu C 16/20	m3	7,00000	3 090,00	21 630,00
26	RT2	Tříděný drobný stěrkopísek 0/4P	t	129,60000	300,00	38 880,00
		(12*8)*0,750	m3	72,00000		
		72*1,8'Přepočtené koeficientem množství	t	129,60000		
27	RT3	Drcený štěrk 8/16	t	17,28000	530,00	9 158,40
		(12*8)*0,100	m3	9,60000		
		9,6*1,8'Přepočtené koeficientem množství	t	17,28000		
28	RT4	Písek	t	6,912	250,00	1 728,00
		(12*8)*0,040	m3	3,84000		
		3,84*1,8'Přepočtené koeficientem množství	t	6,912		
29	69366199R	Geotextilie FILTEK 500 g/m2 š. 200cm 100% PP	m2	96,00000	65,20	6 259,20
		12*8		96,00000		
30	RT1	Drcený štěrk 4/8	t	17,28	450,00	7 776,00
		(12*8)*0,100	m3	9,60000		
		9,6*1,8'Přepočtené koeficientem množství	t	17,28		
31	RT5	Svařovaná folie min. tl. 1,5 mm	m2	96,00000	300,00	28 800,00
		12*8		96,00000		
32	RT6	Drcený štěrk 16/32	t	43,2	490,00	21 168,00
		(12*8)*0,250	m3	24,00000		
		24*1,8'Přepočtené koeficientem množství	t	43,2		
Díl: 8		**Trubní vedení**				**450 092,00**
33	998276101R00	Přesun hmot, trubní vedení plastová, otevř. výkop	t	25,00000	138,00	3 450,00
34	RT7	Akumulační jímka (7m3)	kpl	1,00000	22 022,00	22 022,00
35	RT8	Vícekomorový septik (15m3)	kpl	1,00000	47 990,00	47 990,00
36	RT9	Podzemní nádrž pro akumulaci vody (10m3)	kpl	2,00000	23 022,00	46 044,00

37	RT10	Přiváděcí potrubí DN 110	m	12,00000	2 080,00	24 960,00
38	RT11	Distribuční potrubí DN 40	m	80,00000	2 080,00	166 400,00
39	RT12	Sběrné potrubí DN 110	m	10,00000	2 080,00	20 800,00
40	RT13	Pulzní vypouštěč 2x	kpl	2,00000	9 700,00	19 400,00
41	RT14	Pulzní šachtice (průměr 800 – 1000 mm) s přítokem a odtokem vody	kpl	2,00000	6 900,00	13 800,00
42	RT15	Regulační / revizní šachtice	kpl	2,00000	15 113,00	30 226,00
43	RT16	Montáž a napojení potrubí	kpl	1,00000	35 000,00	35 000,00
44	RT17	Příslušenství - odbočky, kolena, víčka atd.	kpl	1,00000	20 000,00	20 000,00
43	RT21	Kanalizační potrubí DN 125	m	25,00000	2 080,00	52 000,00
Díl: M23		**Montáže potrubí**				**470,00**
27	230170013U00	Tlakové zkoušky těsnosti potrubí - zkouška DN do 125	m	25,00000	18,80	470,00
		Tlakové zkoušky vodou na potrubí DN do 80				
		Celkem				947 951,32

Tabulka 12. *Položkový rozpočet – horizontálního filtru (vlastní zdroj).*

13.4. Porovnání mezi sebou

Při porovnání vertikálního a horizontálního filtru v našem případě jsem došel tohoto závěru. Vertikální pulzně skrápěný filtr je se svými 60 m^2 méně náročnější na zastavěnou plochu a znatelně levnější. Při vypouštění odpadních vod do stávajícího jezírka jsou ušetřeny náklady na budování podzemních akumulačních nádrží. Další úspory přináší použití stávající akumulační jímky, která je předřazená před vícekomorovým septikem. Naopak horizontální filtr s rozlohou 96 m^2 je znatelně ekonomicky dražší. Zejména proto, že disponuje navíc s akumulační jímkou (před separátorem), pulzním vypouštěčem včetně pulzní šachty za kořenovým filtrem a dvěma akumulačními jímkami o kapacitě dvakrát 10 m^3 pro úschovu vyčištěné vody.

Výsledkem srovnání je fakt, že vertikální pulzně skrápěné filtry jsou ve všech ohledech výhodnější. Neznamená to ale, že musíme variantu horizontálních filtrů zcela zavrhnout. Můžeme filtry mezi lokacemi přehodit, sloučit či různě nakombinovat. V našem případě však šlo o ukázku možností, jak by se daný požadavek na čištění odpadních vod školícího centra „Hájenka“ dal vyřešit.

14. Diskuse

S postupně rostoucí praxí a nabýváním nových poznatků o účinnosti kořenových čistíren můžeme prokazatelně konstatovat, že rozdíly mezi porovnávanými aktivačními / biologickými čistírnami a zmiňovanými kořenovými čistírnami jsou téměř zanedbatelné (Šperling, 2021).

Avšak nezbytným poznatkem je, že toto tvrzení platí pouze u nerozpuštěných a organických látek. Pokud se zaměříme na látky jako fosfor či amoniak, bude toto téma střetem diskusí a dohadů. Nicméně aktuální výsledky prokazují vysokou účinnost KČOV i u těchto prvků, a to v rozmezí 94–100 % účinnosti. Zejména u použití hybridních či vertikálních pulzně skrápěných systémů (Vymazal, 2016).

Z hlediska realizace se jedná o plně „ekologickou stavbu“, která v kombinaci s různými činnostmi a technologiemi výrazně přispívá k novodobému trendu udržitelnosti. Nejenže při správném návrhu a umístění esteticky přispívá k lokální architektuře, ale také kladně pozměňuje mikroklima, zadržuje vodu v krajině a v případě potřeby slouží jako zdroj vody pro závlahu či jiné potřeby. V České republice je nakládání s odpadní vodou regulováno dle zákona o vodách a také několika nařízeními a směrnicemi (Hnátková a Šereš, 2016).

Při osobní konzultaci s jedním z předních odborníků v oblasti kořenových čistíren M. Šperlingem jsem byl upozorněn na důležitý fakt z reálné praxe. Zatímco vertikální filtry (pulzně skrápěné) dosahují v dosavadních měřeních čím dál prokazatelně lepších čistících výsledků, u horizontálních filtrů tomu je naopak. Respektive abychom dosáhli stanovených limitů na odchodu z čistírny, museli bychom několika násobně zvětšovat půdorysné rozměry samotného filtru, čímž se nám výrazně zvětšují náklady na výstavbu a také ne vždy nám to umožňují parametry pozemků. Vhodným řešením je potom kombinace horizontálních a vertikálních filtrů čili hybridních systémů, kde by nejprve odpadní voda byla distribuována na vertikální filtr a poté přečerpávána na dočištění do horizontálního filtru. Tyto principy můžeme často vidět při intenzifikaci stávajících horizontálních filtrů, kde se dobudovávají vertikální filtry pro zlepšení výsledné účinnosti čištění. Vyplývá z toho fakt, že je ze všech pohledů hospodárnější budovat rovnou od prvotní chvíle vertikální pulzně skrápěné filtry než kombinace horizontálních filtrů. Z logického hlediska se v současnosti od právě zmíněných horizontálních filtrů začíná ustupovat k převládajícím vertikálním filtrům. Neznamená to však, že schopnost horizontálních filtrů je nevyhovující. Je vždy nutné konzultovat celou akci a procesy s odborníky, kteří umí vhodnou záležitost posoudit a navrhnout nejvhodnější řešení.

Z opačné strany celé problematiky je nutno podotknout, že při laickém zájmu o kořenové čistírny hned v prvotních řádcích jsou čtenáři informování o tom, že kořenové čistírny řadíme do dvou základních typů, a to: horizontální nebo vertikální filtr. V mnoha odborných periodikách se dočteme, že vertikální systémy jsou ještě v plenkách či že se u nás zdaleka nevyužívá jejich plný potenciál. Zřejmě to bude tím, že ne všechny nově získané informace jdou ruku v ruce s vydáváním a aktualizováním publikací.

Přehled výhod a nevýhod kořenových čistíren

Výhody:

- Efektivní výsledky účinnosti čištění odpadních, zemědělských, průmyslových a komunálních ploch.
- Při nepravidelné distribuci vody je provoz čistírny téměř nepřerušen.
- Téměř nulové nároky na provoz a údržbu (Dekonta a.s., 2014).
- Funkčnost bez elektrické energie.
- Kladné ovlivnění lokálního mikroklima.
- Nižší provozní náklady než mechanicko-biologické čistírny.
- Přirozené přírodní čistící procesy.
- Dlouhá životnost při pravidelné údržbě (Kořenovky, 2019).

Nevýhody:

- Vysoké nároky na zastavěnou plochu.
- Údržba křovin (sečení, sklízení).
- Náchylnost na nárazové extrémní přetížení (oleje, detergenty).
- Citlivost na extrémní koncentrace toxických látek (Dekonta a.s., 2014).

15. Závěr

S rostoucí lidskou populací a čím dál větším zájmem o rodinné domy na okraji velkých měst dochází k závažnému problému nevyhovujících čistíren odpadních vod. Mnoho menších měst a obcí řeší současnou situaci poddimenzovaných kanalizačních sítí včetně koncových čistíren. Jednou z možných variant jsou právě kořenové čistírny odpadních vod. V našem případě se vybudování kořenové čistírny jeví jako nejrelevantnější varianta, která hospodárně doplní přírodní funkci dané lokality.

Při srovnání obou variant kořenových čistíren v této práci dostaneme jasnou odpověď, která varianta vyhrála. Vertikální filtr v našem případě vyjde levněji skoro o polovinu než horizontální filtr. Také zabere menší plochu, spotřebuje méně materiálu a taktéž méně přípojných věcí, jakožto jímek nebo akumulačních nádrží. Oproti tomu horizontálně uspořádaná čistírna nabízí praktičtější využití a nakládání s vyčištěnou odpadní vodou. Dalším nezbytným poznatkem je možnost, že se v budoucnu přestanou využívat samostatné horizontální filtry, které nebudou schopny vyhovět rostoucím nárokům na podmínky a parametry čistících výsledků.

Mé vlastní zjištění je fakt, že narůstající spotřeba a potřeba vody je otázkou budoucnosti, a tudíž je nezbytné efektivně nakládat se všemi jejími formami. Jsem velice rád, že jsem svoji bakalářskou práci na téma „Kořenové čistírny odpadních vod a jejich využití pro závlahy“ mohl propojit s touto diplomovou prací a uzavřít tak celou myšlenku daného tématu.

Má snaha o vybudování takovéto čistírny nekončí napsáním této práce, či ukončením studia ale dává naději k možnosti spolupráce s městem Český Brod, které zaujímá místo investora a mohlo by tuto práci využít jako prvotní podklad pro realizaci.

Závěrem bych rád upozornil, že práce neslouží jako metodický pokyn či projekt k vytvoření těchto systémů, ale spíše poukazuje na možnost využití KČOV, pozemku a kombinací technologií nabízených současným trhem.

16. Přehled literatury a použitých zdrojů

- **Bürgerová K., 1998:** Nové poznatky při řešení vegetačních kořenových čistíren – Sborník přednášek ze semináře. Ústav vodního hospodářství krajiny, FAST VUT Brno, 125 s.
- **Hejný S.**, 2000: Rostliny vod a pobřeží. East West Publishing Compan & East West Publishing Praha, Praha, 118 s.
- **Hnátková T., Šereš M., 2016:** Kořenové čistírny odpadních vod a využití přečištěných odpadních vod – opatření pro snižování rizik sucha a eutrofizace povrchových zdrojů vody v návaznosti na zemědělskou výrobu. Vodní hospodářství 8: 19 – 21.
- **Chytrý M., 2011:** Vegetace České republiky. Vodní a mokřadní vegetace, 3, Academia Praha, 387 – 417 s.
- **Kočková E., Kříž P., Legát P., Žáková L., Šálek J., 1994:** Vegetační kořenové čistírny odpadních vod. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha, 67 s.
- **Komínková D., Benešová L., Šťastná G., 2014:** Úprava pitných a čištění odpadních vod. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Operační program Praha Adaptabilita, 238 s.
- **Kriška M., Němcová M., Hnátková T., 2015:** Metodická příručka pro povolování, návrh, realizaci a provoz – Kořenové čistírny odpadních vod. Vysoké technické učení v Brně, Dekonta, a.s., 45 s.
- **Kršňák J., Šperling M., 2010:** Kořenové čistírny odpadních vod – ekonomika výstavby a provozu. TZB Haustechnik 3: 36 – 38.
- **Kröpfelová, L., Vymazal, J., Švehla, J., Chrastný, V., Štíchová, J., 2007:** Odstraňování těžkých kovů a dalších rizikových prvků v kořenových čistírnách. - Sborník přednášek ze semináře, přírodní způsoby čištění vod. Brno, VUT, 40 – 45 s.
- **Lukavská J., 1992:** Množení, výsadba a ošetřování porostu na kořenových čistírnách. In: Účelové kultivace vodních a mokřadních rostlin. Třeboň, 83-86 s.
- **Ministerstvo životního prostředí, 2007:** Čištění odpadních vod jako nástroj k ochraně životního prostředí v zemědělské praxi a na venkově. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita.
- **Ministerstvo životního prostředí, 2010:** Metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí k vypouštění odpadních vod do vod podzemních, (k nařízená vlády č. 416/2010 Sb. O ukazatelích a hodnotách

přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních).

- **Mlejnská E., Rozkošný M., Baudišová D., Váňa M., Wanner F., Kučera J., 2009:** Extenzivní způsoby čištění odpadních vod. Praha, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce.
- **Netopilík J., 2020:** Studie pro návrh kořenové čistírny na konkrétní lokalitu. Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojního inženýrství, energetický ústav, Brno. 60 s. Diplomová práce. „nepublikováno“. Dep. www. Vutbr.cz.
- **Pošta et al., 2008:** Čistírny odpadních vod. Česká zemědělská univerzita, Praha, 211 s.
- **Sojka J., 2004:** Malé čistírny odpadních vod. ERA, Brno, 98 s.
- **Sojka J., 2013:** Čistírny odpadních vod pro rodinné domy. Grada, Praha, 95 s.
- **Šálek J., 1995:** Přírodní způsoby čištění odpadních vod. Vysoké učení technické v Brně, PC-DIR spol. s r. o., Brno.
- **Šálek J., Žáková Z., Hrnčíř P., 2008:** Přírodní čištění a využívání vody – v rodinných domech a rekreačních objektech. ERA group spol. s r. o., Brno, 115 s.
- **Šálek et al., 2012:** Voda v domě a na chatě – Využití srážkových a odpadních vod. Grada Publishing, a.s., Praha, 144 s.
- **Šperling M.**, **2021:** Kořenové čističky odpadních vod.
- **Vébr K.**, **1982:** Biologické základy pěstování a využití rákosu obecného v Československu. Academia Praha, 135 s.
- **VODA A KRAJINA, 2001:** ZO ČSOP Veronica, Brno 2001, 12str.
- **Vymazal J., 2004:** Kořenové čistírny odpadních vod. Enki o. p. s. Třeboň.
- **Vymazal J., Kröpfelová L., Hrnčíř P., 2014:** Hybridní kořenová čistírna se zvýšeným účinkem při odstraňování dusíku. Vodní hospodářství 4: 9 - 12.
- **Vymazal J., 2016:** Kořenové čistírny odpadních vod – Využití ve světě, České republice a Plzeňském kraji. Krajský úřad Plzeňského kraje, odbor životního prostředí, Plzeň, 65 s.
- **Žáková Z., 2009:** Výběr mokřadních rostlin pro malé přírodní čistírny odpadních vod. Přírodní způsoby čištění VI, sborník přednášek ze semináře. Brno, VUT, 120 – 134 s.

Zahraniční zdroje:

- **Bendoricchio G., Cin D. L., Persson J., 2000:** Guidelines for free water surface wetland design. EcoSys Bd. 8, Padova-Italy, Hillerød-Denmark, København-Denmark, 51-91 s.
- **Brix H., 1993:** Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, removal processed and treatment performance. Boca Raton: CRC Press, Lewis Publishers.
- **Brix H.**, Arias A. C., 2005: The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: Ecological Engineering, New Danish guidelines, Department of Biological Sciences, University of Aarhus, Denmark.
- **Committee, on Mitigating Wetland Losses, and on Environmental Studies and Toxicology Board., 2001:** Compensating for Wetland Losses under the Clean Water Act, National Academies Press. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral-proquest-com.infozdroje.czu.cz/lib/czup/detail.action?docID=3375192 >.
- **Dell´Osbel N., Colares S. G., Oliveira A. G., Rodrigues R. L., Silva P. F., Rodriguez L. A., López A.R. D., Lutterbeck A. C., Silveira O. E., Kist T. L., Machado L. E., 2020:** Hybrid constructed wetlands for the treatment of urban wastewaters: Increased nutrient removal and landscape potential. Ecological Engineering, University of Santa Cruz do Sul, Brazil.
- **EPA – Environmental Protection Agency U. S., 1993:** Subsurface Flow – Constructed Wetlands For Wastewater Treatment, A Technology Assessment, Washington DC.
- **EPA - Environmental Protection Agency U.S., 1999:** EPA Manual - Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development, Ohio, 165 s.
- **Gelt J**., 1997: Constructed wetlands, using human integrity, natural processes to treat water, build habitat. Arroyo, Volume 9, No.4.
- **Hill J. D., Tarasoff C., Whitworth E. G., Baron J., Bradshaw L. J. & Church S. J., 2017:** Utility of unmanned aerial vehicles for mapping invasive plant species: a case study on yellow flag iris *(Iris pseudacorus L.)*, International Journal of Remote Sensing, 38:8-10, 2083-2105, DOI: 10.1080/01431161.2016.1264030.

- **Jaya K., Vigneswaran S., 2008:** Constructed Wetlands, Nova Science Publishers, Incorporated. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral-proquest-com.infozdroje.czu.cz/lib/czup/detail.action?docID=3020308>.
- **Luederitz V., Eckert E., Lange-Weber M., Lange A., M Gersberg R., 2001:** Nutrient removal efficiency and resource economics of vertical flow and horizontal flow constructed wetlands. Ecological Engineering, Volume 18, Issue 2, 157 – 171 s.
- **Mitsch W. J., Gosselink J. G., 1986**: Wetlands. Van Nostrand Reinhold Company, Inc. New York.
- **McKinstry C. M., et al., 2004:** Wetland and Riparian Areas of the Intermountain West - Ecology and Management. University of Texas Press. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral-proquest-com.infozdroje.czu.cz/lib/czup/detail.action?docID=3443141 >.
- **Vymazal J., 2020:** Removal of nutrients in constructed wetlands for wastewater treatment through plant harvesting – Biomass and load matter the most. Ecological Engineering, Czech University of Life Science, Prague.
- **Weber E., 2003**: Invasive plants of the world, Reference guide to environmental weeds, CABI publishing, Wallingford, United kingdom 548 s.

Internetové zdroje:

- **Asio, ©2020:** (online) [cit.2020.25.11], <dostupné z https://www.asio.cz/cz/as-anasep>.
- **Cesty a památky, ©2019:** (online) [cit.2020.16.10], dostupné z <https://www.cestyapamatky.cz/kolinsko/vratkov>.
- **ČÚZK, ©2020:** Český úřad zeměměřický a katastrální, Státní správa zeměměřictví a katastru, Praha, (online) [cit.2020.16.10], dostupné z <https://www.cuzk.cz/>.
- **Hydroplast, ©2020:** (online) [cit.2020.24.11], <dostupné z https://www.hydroplast.cz/cs/trikomorove-septiky/72-septik-dvouplastovy-kruhovy-15m3.html>.
- **Kořenovky, ©2021:** Kořenová čistička, stavba (online) [cit.2021.1.1], dostupné z <https://www.korenova-cisticka.cz/o-korenovkach/fungovani/Korenova-cisticka%E2%80%93korenova-cistirna%E2%80%93schema-fungovani.html>.

- **Mekl Projekt, ©2018:** Mekl Projekt, Kořenové čistírny (online) [cit.2020.11.11], dostupné z <http://www.korenova-cistirna.cz/korenovky-2/>.
- **Mravecplast, ©2020:** (online) [cit.2020.24.11], <dostupné z https://www.mravecplast.cz/kategorie/trikomorove-septiky/dvouplastove/kruhove/septik-dvouplastovy-kruhovy-15m/>.
- **Nasejimky, ©2020:** (online) [cit.2020.24.11], <dostupné z https://www.nasejimky.cz/kategorie/septiky/dvouplastove/kruhove/septik-dvouplastovy-kruhovy-15-m-njs-dv-15/>.
- **Plastjimka ©2020:** (online) [cit.2020.25.11], <dostupné z http://www.plast-jimka.cz/cs/dvouplastova-jimka>.
- **Spacekplast, ©2020:** (online) [cit.2020.24.11], <dostupné z http://www.spacek-plast.cz/septik-dvouplastovy-proti-spodni-vode-15-m3.html>.
- **Topnadrze, ©2020:** (online) [cit.2020.24.11], <dostupné z https://www.topnadrze.cz/dvouplastovy-septik-kruhovy-15-m-15-000-l-njs-dv-15>.
- **Vrátkov, ©2020:** (online) [cit.2020.1.11], <dostupné z http://www.vratkov.cz/kanalizace.htm>.
- **VÚMOP, ©2019:** eKatalog BPEJ, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., aplikace Ministerstva zemědělství, Česká republika, (online) [cit.2020.16.10], dostupné z <https://bpej.vumop.cz/33114>.

Projektová dokumentace:

- **Fortina, 2016:** Tendrová zadávací dokumentace, vegetační čov. 19 s. „nepublikováno“. Český Brod.
- **LNConsult s.r.o., 2016:** Pasport vodního díla, vodní plocha na p.p.č. 1421/1 v k.ú. Vrátkov. 11 s. „nepublikováno“. Škvorec.
- **Obec Vrátkov, Pažout V., 2018:** Zadávací dokumentace, část 2 – Požadavky na zpracování nabídky, Vrátkov – splašková kanalizace a čistírna odpadních vod, 11 s. „nepublikováno“. Dep.: Vrátkov 17, 282 01 Český Brod.

Legislativa:

- **ČSN EN 12 566-1 ed. 2:** Malé čistírny odpadních vod do 50 ekvivalentních obyvatel – Část 1: Prefabrikované septiky, Praha, 2017, 44 s.

- **ČSN 75 6402:** Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel, Praha, 2017, 29 s.
- **ČSN 75 7143:** Jakost vody pro závlahu. Praha: Vydavatelství norem, 1991, 24 s.
- **Nařízení vlády č. 57/2016 Sb.:** Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních. Platné znění 2016, (online) [cit.2020.22.11.], dostupné z <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-57/zneni-20160301#p6-1>.
- **Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.:** Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. Platné znění 2015, (online) [cit.2020.22.11.], dostupné z <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-401>.

Seznam obrázků:

Obrázek 1. Řez kořenovým filtrem s horizontálním prouděním a odtokovou regulační šachticí (Šálek et al., 2012). 4
Obrázek 2. Řez filtru s mokřadní kořenovou vegetací a vertikálním prouděním (Šálek et al., 2012)..... 4
Obrázek 3. Rozdělení umělých mokřadů (Vymazal, 2004). 9
Obrázek 4. Vyznačení polohy řešeného území, v katastrálním území Vrátkov (ČÚZK, 2020). 20
Obrázek 5. Severní pohled-ortofoto (google/maps, 2020). 22
Obrázek 6. Jižní pohled-ortofoto 3D (google/maps, 2020).....22
Obrázek 7. Součinitelé nerovnoměrnosti potřeby vody.....25
Obrázek 8. Technický nákres septiku (Špačekplast, 2020). 33
Obrázek 9. Příčný řez vertikálního filtru.....34
Obrázek 10. Anaerobní separátor AS - Anasep (Asio, 2020).....38
Obrázek 11. Příčný řez horizontálního filtru.....39
Obrázek 12. Čtyřkomorový separátor (Kořenovky.cz, 2021). 42
Obrázek 13. Pulzní vypouštěč AS - pulz (Asio, 2020). 44
Obrázek 14. Pulzní šachta včetně pulzního vypouštěče (Kořenovky.cz, 2021). 44
Obrázek 15. Technický list jímky (Plastjimka, 2020).....45
Obrázek 16. Zaměření stávajícího jezírka (vlastní zdroj).....46
Obrázek 17. Výškopis, zaměření pozemku, včetně významných bodů (vlastní zdroj). 46
Obrázek 18. Přehled kladů náčrtů (vlastní zdroj).....47
Obrázek 19. Vertikální filtr s vypouštěním do stávajícího jezírka. 50
Obrázek 20. Horizontální filtr s možností zásaku.....51
Obrázek 21. Půdorysné usazení (Vertikální filtr).....52
Obrázek 22. Půdorysné usazení (Horizontální filtr). 52

Seznam tabulek:

Tabulka 1. Účinnost odstraňování mikrobiálního znečištění, měření 2018-2019 (Šperling, 2021). 16
Tabulka 2. Účinnost čištění odpadních vod v kořenových čistírnách v České republice za období 1989-2010 (Vymazal, 2016). 18
Tabulka 3. Emisní standardy pro čistírny a srovnání s výsledky realizovaných KČOV (Špeling, 2021). 18
Tabulka 4. Průměrná produkce znečištění jedním obyvatelem na den při 130 l / den (MŽP, 2010).....25
Tabulka 5. Složení vrstev u vertikálního filtru s vegetací (ČSN 75 6402, 2017).....34
Tabulka 6. Sjednocení analýzy trhu tříkomorových septiků. 41
Tabulka 7. Hodnoty pulzního vypouštěče AS-pulz (Asio, 2020). 43
Tabulka 8. Ukazatele a emisní standardy pro odpadní vody vypouštěné z jednotlivých staveb pro bydlení a rodinnou rekreaci (Nařízení vlády, 2016). 47
Tabulka 9. Emisní standardy: přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l (Nařízení vlády, 2015). 48
Tabulka 10. Výběr několika ukazatelů jakosti, - nejvýše přípustných hodnot pro jednotlivé třídy (ČSN 75 7143). 49
Tabulka 11. Položkový rozpočet – vertikálního filtru (vlastní zdroj).....55
Tabulka 12. Položkový rozpočet – horizontálního filtru (vlastní zdroj).....58