



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

NÁVRH TECHNOLOGIE KOŘENOVÉ ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD PRO OBEC DO 500 EO

DESIGN OF THE TECHNOLOGY OF THE CONSTRUCTED TREATMENT WETLAND FOR
THE MUNICIPALITY UP TO 500 EO

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Pavel Suchánek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MIROSLAVA PUMPRLOVÁ
NĚMCOVÁ

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Pavel Suchánek
Název	Návrh technologie kořenové čistírny odpadních vod pro obec do 500 EO
Vedoucí práce	Ing. Miroslava Pumprlová Němcová
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

ČSN 75 6402. Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel. Praha: Český normalizační institut, 2017.

KADLEC, R., WALLACE, S. 2009. Treatment wetlands, 2nd ed. CRC press, Boca Raton, FL.

KRIŠKA, K., NĚMCOVÁ, M. 2015. Kořenové čistírny odpadních vod. Metodická příručka pro návrh a realizaci. Vysoké učení technické v Brně.

Databáze vědeckých článků - sciencedirect.com

Podklady dostupné z online databází - geografické, hydrologické, mapové, apod.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Kořenové čistírny (KČOV) jsou ideálním řešením pro čištění odpadních vod pro malé obce, především díky nízkým provozním nákladům a jednoduché obsluze. Vysoká čistící účinnost KČOV je podmíněna správným návrhem každého objektu technologické linky.

Cílem diplomové práce je navrhnout řešení KČOV pro konkrétní lokalitu s požadavkem na co nejlevnější a nejefektivnější řešení, které by mělo vycházet z nejnovějších technologií a poznatků v oblasti kořenových čistíren odpadních vod. Diplomová práce by měla být návrhovým projektem, který bude podkladem pro realizaci konkrétního řešení KČOV.

Obsahem by měl být popis stávajícího stavu obce v oblasti nakládání s odpadními vodami, konkrétního řešení kořenové čistírny včetně výkresové a textové dokumentace a základních hydrotechnických výpočtů.

Výsledky zpracované v této diplomové práci budou podkladem pro podání návrhu na realizaci kořenové čistírny odpadních vod pro zvolenou obec.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

Ing. Miroslava Pumprlová Němcová
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na komplexní návrh kořenové čistírny odpadních vod pro reálnou obec Bezděčí u Trnávky, která potřebuje vyřešit problematiku nakládání s odpadní vodou. Úvodní část práce, která je zaměřena na rešerši odborných poznatků a informací, seznamuje s problematikou kořenových čistíren, zaměřuje se na popis technologických objektů kořenových čistíren a popis jejich funkcí. Uvedena je také relevantní legislativa, jejíž znalost je pro návrh nezbytná. Navazující praktická část diplomové práce se zabývá samotným návrhem kořenové čistírny. Návrh je řešen dle nejlepší dostupných technologií, které přenáší kvalitní výsledky z výzkumu do praxe. Navržená kořenová čistírna splňuje veškeré požadavky na kvalitu vypouštěné vody dle příslušné legislativy. Důležitou částí diplomové práce jsou přílohy, které obsahují kompletně zpracovanou projektovou dokumentaci pro vydání společného povolení k záměru realizace novostavby kořenové čistírny pro obec Bezděčí u Trnávky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kořenová čistírna odpadních vod, projektová dokumentace, odpadní voda, horizontální filtr, vetrkální filtr

ABSTRACT

This diploma thesis is focused on creation of complex design of constructed wetland for village Bezděčín near Trnávka, which needs to solve the problem of wastewater management. The introductory part of the thesis, which is focused on the research of professional knowledge and information, familiarizes with the problematics of constructed wetlands, focuses on description of technological objects of the constructed wetlands and the description of their functions. Relevant legislation is also mentioned because knowledge of legislation is necessary for the project. The following part of this diploma thesis deals with the design of the constructed wetland itself. Solution of the design is based on the best available technologies that deliver high-quality research results into practice. The proposed root plant meets all the requirements for the quality of the discharged water according to the relevant legislation. An important part of the diploma thesis are annexes, which contain a completely elaborated project documentation for the issuance of a joint permit for the purpose of realization of the new building of a constructed wetland plant for the village Bezděčín near Trnávka.

KLÍČOVÁ SLOVA

Constructed wetland, project documentation, wastewater, horizontal filter, vertical filter

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Pavel Suchánek *Návrh technologie kořenové čistírny odpadních vod pro obec do 500 EO*. Brno, 2019. 71 s., 141 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Miroslava Pumprlová Němcová

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Návrh technologie kořenové čistírny odpadních vod pro obec do 500 EO* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 2. 1. 2019

Bc. Pavel Suchánek
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Návrh technologie kořenové čistírny odpadních vod pro obec do 500 EO* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 2. 1. 2019

Bc. Pavel Suchánek
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí mé diplomové práce, Ing. Miroslavě Pumprlové Němcové za velkou pomoc při tvorbě této diplomové práce. Počínaje poskytnutím materiálů, ochotě během konzultací a na konec závěrečné korekci této diplomové práce.

Dále bych chtěl velice rád poděkovat Ing. Michalu Kříškovi-Dunajskému, Ph.D. za pomoc a odborné vedení při tvorbě výkresové dokumentace. Dále za poskytnutí velkého množství praktických rad, které budu dále využívat.

V neposlední řadě bych rád poděkoval mým rodičům a přítelkyni, kteří mi umožnili toto studium a celou dobu mě v něm podporovali.

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	CÍLE.....	3
3	KOŘENOVÁ ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD.....	4
3.1	PROCESY PROBÍHAJÍCÍ NA KČOV	6
3.1.1	NITRIFIKACE	7
3.1.2	DENITRIFIKACE.....	7
3.1.3	MINERALIZACE	8
3.1.4	KOLMATACE	8
3.2	LEGISLATIVA	9
3.3	SLEDOVANÉ UKAZATELE KVALITY VODY NA KČOV.....	10
3.3.1	BSK ₅	11
3.3.2	CHSK _{Cf}	12
3.3.3	NL.....	13
3.3.4	N _{CELK}	13
3.3.5	P _{CELK}	13
4	TECHNOLOGIE KČOV	15
4.1	MECHANICKÉ PŘEDČIŠTĚNÍ.....	15
4.1.1	ODLEHČOVACÍ KOMORA.....	15
4.1.2	ČESLE.....	16
4.1.3	LAPÁK PÍSKU	18
4.1.4	USAZOVACÍ NÁDRŽ	19
4.2	BIOLOGICKÉ ČIŠTĚNÍ	21
4.2.1	HORIZONTÁLNÍ FILTR	22
4.2.2	VERTIKÁLNÍ FILTR	23
4.2.3	STABILIZAČNÍ NÁDRŽ.....	26
4.2.4	DENITRIFIKAČNÍ NÁDRŽ	27
4.2.5	VEGETACE NA KČOV	28
5	KČOV BEZDĚČÍ U TRNÁVKY	32
5.1	ZÁKLADNÍ ÚDAJE O OBCI BEZDĚČÍ U TRNÁVKY	32
5.2	CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ.....	32
5.2.1	POLOHA OBCE	32
5.2.2	KLIMATICKÉ ÚDAJE.....	33
5.2.3	GEOLOGICKÉ POMĚRY	34

5.3	STÁVAJÍCÍ VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ.....	35
5.3.1	INFORMACE Z PRVKUK.....	35
5.3.2	INFORMACE Z ÚZEMNÍHO PLÁNU.....	36
5.4	NÁVRH NOVÉ KČOV BEZDĚČÍ U TRNÁVKY	38
5.5	OBJEKTY NA KČOV	39
5.5.1	ODLEHČOVACÍ KOMORA.....	40
5.5.2	SDRUŽENÝ OBJEKT LAPÁKU PÍSKU A ČESLÍ.....	41
5.5.3	ŠTĚRBINOVÁ NÁDRŽ.....	42
5.5.4	HORIZONTÁLNÍ FILTR.....	44
5.5.5	DÁVKOVACÍ ŠACHTY	45
5.5.6	VERTIKÁLNÍ FILTR.....	46
5.5.7	DENITRIFIKAČNÍ NÁDRŽ.....	47
5.5.8	MĚRNÝ OBJEKT.....	48
5.5.9	KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ	48
5.6	NÁVRHOVÉ PARAMETRY KČOV	48
5.7	POVOLENÉ LIMITY NA VYPOUŠTĚNÍ ODPADNÍ VODY	52
6	ZÁVĚR.....	54
7	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	55
	SEZNAM TABULEK.....	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ	59
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	60
	SEZNAM PŘÍLOH	61

1 ÚVOD

Kořenové čistírny odpadních (KČOV) vod nemají v České Republice příliš dobré jméno, což je způsobeno především špatnou zkušeností s provozováním těchto objektů, které byly projektovány v poslední dekádě dvacátého století. V dnešní době se pomalu daří tento trend obracet k lepšímu, jelikož se realizují kvalitní, a především funkční rekonstrukce starších kořenových čistíren, které se výrazně liší od původní nespolehlivé technologie. Vznikají i novostavby kořenových čistíren, které jsou spolehlivé, provozně nenáročně a s vysokou čistící účinností. Na takovýchto nově vznikajících kořenových čistírnách lze úspěšně prezentovat, že i přírodě blízká řešení čištění odpadních vod mají rozhodně své uplatnění mezi aktuálními čistírenskými technologiemi. Takovýmto příkladem je i obec Bezděčín u Trnávky která, na základě provedené studie, upřednostňuje kořenovou čistírnu před jiným typem čištění odpadních vod. Tento fakt se stal podnětem pro vznik předložené diplomové práce, která je zaměřena na návrh kořenové čistírny odpadních vod pro obec do 500 ekvivalentních obyvatel, s konkrétním řešením zpracovaným právě pro obec Bezděčín u Trnávky.

Jako každá čistírenská technologie mají i kořenové čistírny své nesporné výhody, kterými vynikají před jinými řešeními. Avšak stejně tak existují i faktické argumenty, které hovoří proti kořenovým čistírnám. Mezi největší výhody KČOV, oproti častěji uplatňovaným aktivačním čistírnám patří výrazně menší provozní náklady, které se mohou pohybovat v řádech korun za metr krychlový na osobu, v případě nutnosti zavedení elektrické energie se cena zvedá, ovšem těmito případy se snažíme při návrhu technologie KČOV vyhnout. Další nespornou výhodou je jednoduchost realizace, protože technické řešení kořenových čistíren většinou žádné složité technické řešení neobsahuje. Přírodní charakter kořenových čistíren napomáhá jejich zapojení do krajiny a nenarušuje tak přírodní ráz krajiny, dále vytváří přírodní biotop, který může sloužit jako úkryt drobným živočichům. V blízkosti kořenové čistírny odpadních vod dochází ke zlepšení místního klimatu. Kořenové čistírny dobře zvládají velké výkyvy v množství přítékajícího znečištění a odpadní vody. K nevýhodám patří například velká náročnost na zábor půdy a delší doba zdržení odpadní vody v objektech KČOV.

Při každém návrhu kořenové čistírny pro zvolený objekt, komplex objektů či obec je důležité zvážit řadu faktorů, které podmiňují samotný návrh technologického řešení. Po prvotním rozhodnutí investora by měla být zpracována studie nebo alespoň rešerše dostupných podkladů a legislativních dokumentů. Výchozím podkladem je samozřejmě územní plán, který podmiňuje jakoukoliv výstavbu. Pro vodohospodářské řešení je dalším důležitým dokumentem Plán rozvoje vodovodů a kanalizací území kraje. Pro vypracování kvalitní projektové dokumentace k výstavbě nebo rekonstrukci kořenové čistírny je nutné zajistit geodetické zaměření vybrané zájmové oblasti, aby byl pro návrh zajištěn kvalitní mapový podklad. Diskuze s dotčenými orgány, podrobná obhlídka lokality, jednání se zastupitelstvem obce i pamětníky výrazně pomáhají urychlit finální podobu projektu.

Hydrogeologické a hydrologické podklady jsou také nezbytnou součástí samotného návrhu. Návrh samotné technologie, to znamená jednotlivých objektů čistírny, je podmíněna kvalitními hydrotechnickými výpočty, ideálně podloženými platnou normou. Samotná podoba areálu kořenové čistírny zohledňuje mimo jiné i morfologii terénu, a tak při osazování jednotlivých objektů by měla být snaha o vyvážení výkopů a násypů zeminy.

Výsledná projektové dokumentace požadovaného stupně vzniká na základě prostudování a zohlednění všech výše zmíněných faktorů. Návrh projektové dokumentace musí být vypracován v rozsahu vyhlášky č. 499/2006 Sb. pro vydání společného povolení zpracovaná jako samostatná příloha diplomové práce. Čistírna musí být technologicky řešena tak, aby byla zajištěna dostatečná čistící účinnost, a tím byla splněna příslušná legislativa, nařízení vlády č. 401/2015 Sb. O ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod. Na návrh bude použita nejlepší dostupná technologie.

Podobný proces, jako je uvedený v odstavcích výše, je použitý i při vytvoření této diplomové práce, zejména pak její přílohy: projektové dokumentace pro novostavbu kořenové čistírny v obci Bezděčín u Trnávky. Některé kroky procesu či jednání byly pro potřeby diplomové práce zjednodušeny, avšak stále zde byla, z mé strany, snaha, o co největší autentičnost při jejím zpracování.

2 CÍLE

První část práce měla být zpracována jako literární rešerše, která by poskytla základní informace o problematice kořenových čistíren. Jednotlivé kapitoly by měly poskytovat ucelené informace o funkčních objektech, které tvoří technologii kořenových čistíren, probíhajících čistících procesech, legislativních předpisech, čistících účinností na kořenových čistírnách. Úvodní kapitoly jsou strukturovány tak, aby poskytli základní informace pro pochopení praktické části této práce.

Praktická část práce by měla využít všech uvedených teoretických poznatků k dosažení stanovených cílů. Cílem praktické části je návrh řešení kořenové čistírny pro obec Bezděčín u Trnávky pro 220 EO. Komplexní návrh kořenové čistírny, který zahrnuje popis stávající lokality, popis navrženého řešení technologie a zhodnocení čistících účinností daného návrhu. Technologie musí být navržena tak aby vždy plnila příslušné legislativní závazky dle nařízení vlády č. 401/2015 Sb.

V rámci diplomové práce bude zpracována projektová dokumentace vypracovaná v rozsahu vyhlášky č. 499/2006 Sb. pro vydání společného povolení zpracovaná jako samostatná příloha diplomové práce.

3 KOŘENOVÁ ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD

Jednou z alternativ, k nejčastěji používaným aktivačním čistírnám, jsou kořenové čistírny odpadních vod (KČOV), které jsou založeny na pomalém čištění odpadní vody přes vrstvu substrátu, který musí být dostatečně propustný (Kadlec a Wallace, 2009). Odpadní voda pomalu protéká, v ideálním případě gravitačně, přes filtr, kde dochází k odbourávání znečištění za pomoci fyzikálních, chemických a biologických procesů. Náplň filtru musí být dostatečně propustná a odpadní voda co nejlépe mechanicky předčištěna, aby nedocházelo ke kolmataci (Vymazal, 2005; Šálek a kolektiv, 2012; Langergraber a Haberl, 2001). Kořenové čistírny (KČOV) mají oproti častějším aktivačním čistírnám výhodu v snazším začlenění do krajiny, tomu napomáhá fakt, že jsou jednotlivé objekty ve většině případů zapuštěné do zeminy a nenarušují tak přírodní ráz krajiny (Šálek a kolektiv, 2008; Kadlec a Wallace, 2009). Lepšímu začlenění do krajiny napomáhá i výsadba mokřadních rostlin na filtračních polích. Mezi nejčastěji využívané rostliny patří rákos obecný (*Phragmites australis*), chrastice rákosovitá (*Phalaris Arundinacea*), orobinec (*Typha latifolia*). Výsadba mokřadních rostlin se provádí běžně, a to u všech kořenových čistíren. Mokřadní rostliny tak tvoří nedílnou součást kořenových čistíren i přes to, že nezajišťují žádný zásadní stupeň v čistícím procesu, mají pouze pomocnou funkci (Šálek a kolektiv, 2008). Kořenový systém rostlin slouží jako nosič bakterií, které zajišťují čistící schopnost (Zhao, 2012). Ve vegetačním období rostliny čerpají látky, které potřebují ke svému správnému růstu z odpadní vody a tím dochází k úbytku látek jako dusík, fosfor, těžké kovy, tenzidy. Díky této absorpci látek rostliny zvyšují účinnost KČOV (Šálek a kolektiv, 2008; Kadlec a Wallace, 2009).

Jednou z již zmíněných výhod KČOV je přirozený přírodní charakter čistírny, usnadňuje splynutí s okolní krajinou, mezi další výhody patří zlepšování mikroklimatu v blízkém okolí, estetický vliv na člověka a KČOV slouží jako přírodní biotop pro řadu živočichů (Křiška a Němcová, 2015).

Relativně jednoduchá a technologicky méně náročná výstavba je další výhodou kořenové čistírny. V případech malých domovních čistíren pro EO v řádu jednotek lze provádět stavbu i následný provoz svépomocí, což je nesporná výhoda především ve srovnání s jinými typy čistíren odpadních vod (nízko zatěžovaná aktivace apod.). Reálné využití kořenových čistíren je omezeno jejími velkými nároky na zábor půdy, což může být problémem při řešení situace v případě nedostatku místa. KČOV nemůžeme být řešena všude, jelikož mezi její největší nevýhody patří velká náročnost na plochu na 1 EO. Tato skutečnost se projevuje především u čistíren odpadních vod pro větší počet EO, kdy užitečná plocha se každým ekvivalentním obyvatelem zvětšuje. Náročnost KČOV na plochu se pohybuje v jednotkách metrů čtverečních na obyvatele v závislosti na zvolené technologii. Z tohoto hlediska jsou nejčastěji řešeny malé domovní KČOV, ale i pro větší skupiny domů zahrnující desítky EO a pro vesnice do 500 EO, ojediněle do 2000 EO (Kadlec a Wallace, 2009; Vymazal, 1996).

Správně navržená kořenová čistírny pak dokáže odstraňovat nežádoucí znečištění především ve sledovaných parametrech BSK₅, CHSK_{Cr}, NL, N-NH₄⁺ a částečně i P_c. Koncentrace na odtoku pro zmíněné parametry mohou dosahovat hodnot NL < 2 mg/l, BSK₅ < 2 mg/l, CHSK_{Cr} < 40 mg/l, N-NH₄⁺ < 0,1 mg/l, P_c < 1 mg/l (Němcová a Křiška, 2016; Kadlec a Wallace, 2009; Vymazal, 2005).

Horizontální filtry

Jedním z důležitých objektů na kořenové čistírně odpadních vod je horizontální filtr. Horizontální filtr je zemní nádrž, která musí být dokonale odizolovaná od okolního prostředí, aby nedocházelo k úniku odpadní vody, která by mohla kontaminovat okolní prostředí. Horizontální filtr je naplněn práným materiálem, šterk, písek, šterkopísek. Materiál musí být vždy praný, aby nedocházelo k pohybu prachových částic vázaných na daný materiál a tím se omezila kolmatace filtračního pole. Stálá hladina zajišťuje anaerobní prostředí, které je podmínkou pro denitrifikační procesy, které zajišťují odbourávání dusičnanů. Nižší účinnosti horizontálního filtru při odstraňování amoniakálního dusíku, lze řešit pomocí zavedení pulzního vypouštění, které zajistí zvýšení obsahu kyslíku při každém cyklu vypouštění horizontálního filtru a tímto přísunem kyslíku bude docházet k částečné nitrifikaci v náplni horizontálního filtru. Další nevýhodou je fakt, že v zimním období může docházet částečnému poklesu čistící schopnosti kvůli klimatickým podmínkám (dále i omezení příjmu látek od rostlin v období vegetačního klidu). Mezi další nevýhody spadá delší doba zdržení, kosení a odklizení vzrostlé vegetace (Kadlec a Wallace, 2009; Šálek a kolektiv, 2008).

Při návrhu horizontálních filtrů se uvažuje s orientační hodnotou cca 5 m² na 1 EO, toto číslo ovšem není nikterak závazné. Velice často se při návrhu uvažuje s osázením povrchu filtru mokřadní vegetací, která napomáhá čistící účinnosti. V takovém případě mluvíme o horizontálním filtru s vegetací (Kadlec a Wallace, 2009).

Vertikální filtry

Podobně jako horizontální filtr je i filtr vertikální zemní nádrž, která musí být dokonale odizolovaná od okolního prostředí, aby nedocházelo k úniku odpadní vody, která by mohla kontaminovat okolní prostředí. Avšak oproti horizontálnímu filtru se významně liší nároky a složením filtrační náplně. Náplň vertikálního filtru je nepravidelně zkrápěna odpadní vodou, což zajišťuje provzdušňování náplně a je tak zajištěno aerobní prostředí vhodné pro nitrifikaci, která přeměňuje amoniakální dusík na dusičnany. V náplni vertikálního filtru nesmí nikdy nastat situace se stálou hladinou vody, která by zamezila přístupu kyslíku.

Vertikální filtr je velice náchylný na kolmataci. Proto se vertikální filtr na kořenových čistírnách nejčastěji umísťuje za horizontální filtr, který má krom čistící schopnosti

za úkol ochránit vertikální filtr. Oproti vertikálnímu filtru je horizontální filtr výrazně méně náchylný na kolmataci.

Při návrhu vertikálního filtru je potřebná plocha nižší jak u HF a to cca 2 m² z důvodu intenzivnějších čistících procesů, ovšem tato plocha není nikterak závazná. Velice často se při návrhu uvažuje s osázením povrchu filtru mokřadní vegetací, která napomáhá čistící účinnosti. V takovém případě mluvíme o vertikálním filtru s vegetací (Kadlec a Wallace, 2009).

Stabilizační nádrž

Jako dalším terciálním stupněm čištění může být stabilizační nádrž, která vodu dále dočišťuje. Stabilizační nádrž je specifická dlouhou dobou zdržení, Břehy nádrže jsou často osázeny mokřadní vegetací, popřípadě jsou na hladině instalovány plovoucí ostrovy s mokřadní vegetací, které napomáhají dočištění vyčištěné vody z čistírny. Stabilizační nádrž musí být dokonale odizolovaná od okolního prostředí, aby nedocházelo k úniku odpadní vody, která by mohla kontaminovat okolní prostředí.

Při návrhu stabilizační nádrže se uvažuje až s plochou 10-15 m² na 1 EO. Tyto plochy jsou pouze orientační a pro každý jednotlivý případ jsou zvláště posuzovány (Kadlec a Wallace, 2009).

3.1 PROCESY PROBÍHAJÍCÍ NA KČOV

V přírodním prostředí probíhají různé biologické procesy, které se vyznačují specifickými podmínkami, za kterých se vyskytují. Kořenová čistírna se snaží využívat principů přirozeného samočištění vody, to v přírodě probíhá buď v prostředí bohatém na kyslík (aerobní) anebo v bezkyslíkatém prostředí (anaerobním). K odstranění biologicky rozložitelného znečištění se využívají mikroorganismy. Pokud chceme odstraňovat dusíkaté látky musíme navodit buď aerobní (kyslíkaté) nebo anaerobní (bezkyslíkaté) prostředí, v každém prostředí probíhají jiné děje, v aerobním probíhá nitrifikace a v bezkyslíkatém denitrifikace. Na odstraňování nerozpuštěných látek se používají fyzikální procesy jako sedimentace a filtrace. Malé množství fosforu KČOV dokáže odbourat, a to zachytáváním na filtračním materiálu a dále absorbcí pomocí mokřadní vegetace, která jej využívá pro svůj růst. Pokud ale chceme docílit účinného odstranění fosforu, je nezbytné ho chemicky srážet. (www.voda.tzb-info.cz, 2013).

V odpadní vodě jsou další látky než jen NL a biologické znečištění, dále například těžké kovy a farmaceutika, u kterých legislativa nepožaduje sledování na odtoku z čistíren. Nejvíce železa a těžkých kovů se ukládá v kořenech rostlin a v dnovém sedimentu, je to až kolem 90 %, zatím co v biomase rostlin nad dnem jen zbylých 10 %. Těžké kovy reagují při navození anaerobního prostředí, díky této reakci dochází k přesunu látek z vody do dnového sedimentu, který tyto látky naváže do sebe. (www.korenova-cisticka.cz, 2017).

3.1.1 NITRIFIKACE

Nitrifikací se nejčastěji rozumí biologická oxidace amoniaku na nitrit a nitrát. Obecnější definice popisuje nitrifikaci jako biologickou přeměnu amoniaku a organických sloučenin dusíku z redukovaných forem na oxidovanější. Nitrifikace probíhá ve dvou stupních činností chemolitotrofních bakterií. V prvním stupni je amoniak oxidován na dusitany bakteriemi rodu *Nitrosomonas* a *Nitrosooccus* a ve druhém stupni jsou dusitany oxidovány dále bakteriemi rodu *Nitrobacter* a *Nitrocystis* na dusičnany (Malý a Malá, 2006).



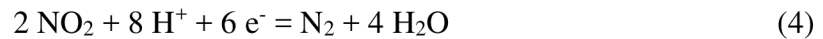
Jak je patrné z uvedených rovnic, je na oxidaci spotřebováno velké množství kyslíku. Na 1 mol amoniakálního dusíku při oxidaci N-NO₃ - 4 moly kyslíku. Skutečná spotřeba je menší, protože část dusíku přechází do biomasy nitrifikačních bakterií. Dalším důsledkem nitrifikace je tvorba silné kyseliny HNO₃ a z toho vyplývající pokles pH, zvláště u vod s malou tlumivou kapacitou.

Nitrifikační bakterie patří mezi pomalu rostoucí organismy. Jejich růstová rychlost je o řád nižší než růstová rychlost běžných organotrofních mikroorganismů. Nitrifikace je ovlivněna řadou faktorů. Jedním z nich je koncentrace rozpuštěného kyslíku, kdy kritická koncentrace, při níž se nitrifikační procesy zastavují, je cca 1 mg/l. Vliv má i hodnota pH, která se pro organismy *Nitrosomonas* pohybuje mezi 7,9 až 8,2 a pro rod *Nitrobacter* 7,2 až 7,6. Teplota má výrazný vliv na rychlost nitrifikace, kdy ideální je teplota kolem 30 °C, i když nitrifikace probíhá i při 5 °C, avšak s poklesem teploty o 10 °C se její rychlost zmenší na polovinu (Malý a Malá, 2006; Pitter, 2009).

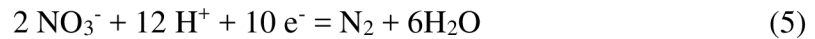
3.1.2 DENITRIFIKACE

Denitrifikace je biochemické redukci dusičnanů a dusitanů (N₂) nebo na oxid dusný (N₂O), ke které dochází za anoxických podmínek, tedy v prostředí bez molekulárního kyslíku. Tento mikrobiální proces je výsledkem metabolické činnosti chemoorganotrofních fakultativním anaerobních bakterií, které při rozkladu organických látek využívají jako akceptor elektronů molekulární kyslík, ale v jeho nepřítomnosti jsou schopny využít náhradní akceptory elektronů, a to dusitany a dusičnany, které redukují na N₂ a N₂O. V prvním stupni jsou redukovány na dusičnany a dusitany a ve druhém jsou tyto dále redukovány na dusík, resp. oxid dusný.

Redukci NO₂⁻ a NO₃⁻ lze vyjádřit rovnicemi:



A výsledná redukce:



Rychlost denitrifikace se řídí rychlostí rozkladu organické hmoty a je závislá na jejím složení, na koncentraci denitrifikačních bakterií, na jejich aktivitě a na podmínkách za nichž denitrifikační proces probíhá (teplota, pH aj.) (Malý a Malá, 2006).

3.1.3 MINERALIZACE

Je to biologicko-chemický děj, při kterém se za pomoci tepla rozkládají složité organické sloučeniny na jednodušší formy organického a anorganického charakteru. Při mineralizaci zaznamenáváme teplotu 70 °C i vyšší, ale to pouze v jádru kompostované hmoty, dále od středu teplota relativně rychle klesá. Zároveň s fyzikálními pochody působí i chemické degradační reakce, které mají za konečné produkty CO₂, dusík, vodu, a další látky. Odbourávání organických kyselin je pro mikroorganismy obsažené v mineralizující hmotě obtížné (nejsou takřka schopné jej odbourat), proto rychle roste objem těchto látek a dochází tak k okyselení skládky. Takováto situace vzniká v případě velkého množství dusíku ve směsi, kdy může docházet k jeho přeměně na amoniakální dusík. Aplikace do půdy bude možná až v případě ideálních vlastností, blízkých se humusu, dokud nedojde ke změně vzhledu, zmizení nepříjemného zápachu jako před začátkem mineralizace, tak nemá kompost tyto správné vlastnosti (Votoupal, 2009).

3.1.4 KOLMATACE

Kolmatace neboli také zanášení, je jev vznikající v důsledku nadměrného zatížení filtrační vrstvy usaditelným materiálem. Kolmatace je dlouhodobý proces při kterém postupně dochází k zanášení filtrační vrstvy až dojde k jeho úplnému zanešení a materiál se stává dále nepropustným. V případě kořenových čistíren se jedná především o HF a vertikální filtr (VF). VF jsou daleko více náchylné na kolmataci než HF, je to způsobeno rozdílností v použitém materiálu (Křiška, 2014).

Nejlepší ochranou proti kolmataci je dobře navržené a dobře fungující mechanické předčištění, to nám zajistí nepřetěžování septiku, či šterbinové usazovací nádrže, u kterých by při přetížení došlo k vyplavení sedimentovaného kalu a ten by se dále přesunul na HF, popřípadě VF, kde by došlo k usazování a tím k postupnému zacpávání svrchní vrstvy filtru. Takovéto problémy jsou viditelné na nejstarších čistírnách v ČR, a proto mají KČOV špatné reference. Bohužel i u nově vybudovaných čistíren dochází v dnešní době ke kolmataci a již po několika letech provozu, je to způsobeno podceněním

dostatečného mechanického předčištění (odlehčovací komora, septik nebo šterbinová nádrž) (Křiška a Němcová, 2015).

Problémem kolmatace jsou nejvíce zatěžovány systémy s kontinuálním průtokem, v takových to případech je lepší navrhnou paralelní systémy s více objekty, u kterých bude díky kvalitnímu návrhu zajištěn kontinuální průtok, díky dostatečné ploše a vhodně zvolenému materiálu se správně zvolenými rostlinami (Šálek, 2008).

Bohužel i přes velmi kvalitní mechanické předčištění, bude docházet k pomalé kolmataci filtračního pole. Kvalitním návrhem mechanického předčištění dokážeme pouze výrazně prodloužit jeho životnost. Nejvíce rizikové místo na kolmataci je přítok na šterkový filtr, od tohoto místa se zacpávání šíří dále. Špatným návrhem mechanického předčištění se může stát, že se nám filtr ucpe za několik málo let a v případě kvalitního návrhu si můžeme tuto životnost prodloužit klidně o několik let (Guipingfu, 2013).

3.2 LEGISLATIVA

Platná legislativa zavazuje k plnění limitů na odtoku vyčištěné odpadní vody z čistírny do recipientu, jedná se o nařízením vlády č. 401/2015 Sb. O ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod. Dle zmíněného dokumentu NV č. 401/2015 jsou na čistírnách odpadních vod sledovány emisní standardy $CHSK_{CR}$, BSK_5 , NL , $N-NH_4^+$, N_{CELK} , P_{CEKL} . U čistíren do 500 EO se musejí sledovat hodnoty $CHSK_{CR}$, BSK_5 , NL , do této kategorie spadá většina provozovaných KČOV u nás. Pro čistírny do 2000 EO přibývá požadavek na sledování hodnot $N-NH_4^+$. U větších čistíren a to nad 2000 EO, se vyžaduje sledování všech ukazatelů znečištění včetně N_{CELK} , P_{CEKL} . U menších čistíren se tyto parametry sledovat nemusí, pokud to není vyžádáno jinou institucí nad rámec legislativy (Povodí, Lesy ČR, atd.).

Tab. 1 Emisní standardy: přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) a hodnoty průměru koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l dle NV č. 401/2015 Sb.

Kapacita ČOV (EO)	$CHSK_{CR}$		BSK_5		NL		$N-NH_4^+$		N_{CELK}		P_{CEKL}	
	p	m	p	m	p	m	p	m	p	m	p	m
< 500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500 - 2000	125	180	30	60	35	70	20	40	-	-	-	-
2001 - 10 000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	10	10
10 001 - 100 000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	20	2	6
> 100 000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3
"p" - přípustné hodnoty												
"m" - maximální hodnoty												

Podle sbírky zákonů č. 57/2016 O ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod pozemních,

Ize taktéž vodu z odtoku zasakovat do podloží, ovšem je nutné dodržet nařízené limity (ČSN 75 6402, ČSN EN 12566-5).

Tab. 2 Ukazatele a emisní standardy pro odpadní vody vypouštěné z jednotlivých staveb pro bydlení a rodinnou rekreaci dle NV č. 57/2016 Sb.

Kategorie ČOV (EO)	"m" *					"m" **	
	CHSK _{Cr}	BSK ₅	N-NH ₄ ⁺	NL	P _{celk}	Escherichia	Enterokoky
<10	150	40	20	30	10	-	-
10 - 50	150	40	20	30	10	150	100
>50	130	30	20	30	8	150	100
"m" * je nepřekonatelná hodnota ukazatele znečištění odpadních vod vypouštěných do vod podzemních vyjádřená v koncentraci v mg/l							
"m" ** je nepřekonatelná hodnota ukazatele znečištění odpadních vod vypouštěných do vod podzemních vyjádřená v koncentraci v KTJ (kolonie tvořících jednotek) /100 ml							

Obsahující doporučení pro návrh kořenových čistíren odpadních vod (ČSN 75 6402, ČSN EN 12566-5). Jmenovitě norma ČSN 75 6402 Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel, dále norma ČSN EN 12566-5: Malé čistírny odpadních vod do 50 ekvivalentních obyvatel.

V novelizované normě ČSN 75 6402 ze září 2017 se řešené problematiky přímo týká kapitola 8. Objekty biologického čištění a její podkapitoly:

- 8.7 - Zemní filtry
- 8.8 - Vertikální filtr s dávkovacím systémem
- 8.9 - Vegetační čistírny odpadních vod
- 8.10 - Vertikální filtry s vegetací

3.3 SLEDOVANÉ UKAZATELE KVALITY VODY NA KČOV

Abychom dosáhli kvalitních výsledků kvality vody na odtoku z čistíren je zapotřebí, aby byl dobře proveden návrh všech objektů a dále aby byla kvalitně provedena realizace stavby a v neposlední řadě byla prováděna řádná údržba KČOV.

Tab. 3 Orientační hodnoty účinnosti (%) jednotlivých typů čistírenských technologií pro malé zdroje znečištění dle ČSN 75 6402

Technologie čištění	PARAMETRY				
	BSK ₅	CHSK _{CR}	NL	N-NH ₄ ⁺	P _{CELK}
Septik	15-30	0-20	50-60	-	-
Anerobní separátor	50-75	40-80	70-90	5-25	10-45
Sedimentace	20-30	10-30	30-60	0-5	0-8
Zemní filtry	85-95	70-90	85-95	20-90	5-25
Vertikální filtr s dávkovacím systémem	60-90	40-70	40-70	70-90	5-25

Vegetační čistírna s horizontálním průtokem	40-95	50-90	65-95	5-90	5-25
Vertikální filtr s vegetací	75-98	70-97	85-99	50 ¹⁾ -99 ²⁾	5-20
Biologické dočišťovací nádrže	65-70; 80-90 ¹⁾	60-85	85-90	20-90	5-20
¹⁾ v letním období (tj. pro $T > 12^{\circ}\text{C}$) ²⁾ v zimním období (tj. pro $T < 6^{\circ}\text{C}$)					

Tab. 4 Předpokládané čistící účinnosti (Vymazal, 1995)

PARAMETR	Horizontální filtr	Vertikální filtr
	Účinnost [%]	Účinnost [%]
BSK ₅	79.1	96.1
CHSK _{Cr}	69.5	87.4
NL	39.6	38
N-NH ₄	30	65.5
P _{CELK}	47.1	58.5

V tabulce č.3 jsou uvedeny orientační čistící účinnosti jak pro filtrační pole různých uspořádání (HF, VF), tak pro mechanické předčištění (septik, anaerobní separátor) a terciální dočištění (biologická dočišťovací nádrž) podle ČSN 75 6402 platné od září 2017. V tabulce č.4 jsou předpokládané účinnosti pro filtrační pole, které uvádí autor Vymazal (Vymazal, 1995). Při porovnání výsledků v obou tabulkách lze u některých sledovaných parametrů pozorovat podobné hodnoty dosažených čistících účinností pro vybrané typy filtračních polí. Avšak například dosažené účinnosti při odstranění amoniakálního znečištění se pro vertikální filtr liší. Vymazal uvádí průměrnou účinnost 65,5 %, kdežto dle ČSN to může až 99 %. Podobně je tomu u ukazatele P_{CEKL}, kde jsou hodnoty čistící účinnosti až o polovinu odlišné.

Při projektování čistíren odpadních vod se v ČR zpravidla vychází z hodnot produkce specifického znečištění v gramech na 1 den na 1 obyvatele (populační ekvivalent). Obvykle se předpokládá základní produkce znečištění 60 g BSK na 1 obyvatele za 1 den (Pitter, 2009).

3.3.1 BSK₅

Je definována jako hmotnostní koncentrace rozpuštěného kyslíku spotřebovaného za stanovených podmínek v oxickém prostředí biochemickou oxidací organických látek ve vodě. Vyjadřuje se v mg/l. Hodnota BSK závisí na době inkubace. BSK za n-dní se označuje jako BSK_n. BSK se používá jako míra koncentrace biologicky rozložitelných

látek. Stanovování BSK je běžnou součástí chemického rozboru povrchových a odpadních vod a jedním ze základních parametrů při posuzování účinnosti biologického čištění odpadních vod a při hodnocení biologické rozložitelnosti organických látek.

Pro určení hodnoty BSK se využívá standardní zředovací metody, ta měří úbytek rozpuštěného kyslíku ve vzorku vody v lahvičce na začátku a na konci. Celosvětově bylo dohodnuto, že inkubace bude probíhat při 20 °C. Aby nedošlo k úplnému vyčerpání rozpuštěného kyslíku (koncentrace kyslíku by neměla po inkubaci padnout pod 3 mg/l) je nutné vzorky dostatečně zředit, takto činíme pouze v případě velkého znečištění. Inkubace musí probíhat ve tmě, aby nedocházelo k fotosyntetické asimilaci řas obsažených ve vodě, při níž dochází k produkci kyslíku a ten by snižoval hodnotu BSK. Návrhová doba inkubace je 5-7 dní. Sedmi denní doba zkoušky se využívá především ve skandinávských zemích a je to z důvodu ryze praktického, jelikož při sedmidenním cyklu lze tyto testy zahojovat jakýkoli den v týdnu kromě víkendu. Mezi rozdílnými výsledky se stanovil poměr pro přepočítání mezi těmito hodnotami, je v rozmezí 1,05-1,3. Nejčastěji je využívána hodnota 1,15. Podmínky při této metodě nejsou totožné s podmínkami v přírodě, a proto laboratorní výsledky přesně neodpovídají skutečným poměrům (Pitter, 2009; Malý a Malá, 2006).

3.3.2 CHSK_{Cr}

CHSK neboli chemická spotřeba kyslíku, se využívá jako jeden ze základních kvalitativních parametrů určování jakosti vody, který dokáže určit koncentraci organických sloučenin. Je definován jako množství kyslíku, které je za přesně daných podmínek potřeba na oxidaci organických látek ve vodě se silným oxidačním činidlem (Malý a Malá, 2006; Pitter, 2009).

V dnešní době se pro odpadní vody využívá především dichroman draselný a pouze v ojedinělých případech manganistan draselný (Pitter, 2009).

Hodnoty CHSK_{Cr} pro odpadní vodu ve pohybu ve velkém rozmezí, to je zapříčiněno rozkolísaností množství přitékající vody a znečištění, které je velice proměnlivé, avšak dá se říci, že se pohybují ve stovkách mg/l. V případě povrchových vod se pohybujeme jen v desítkách mg/l (Pitter, 2009).

CHSK_{Cr} dokáže pracovat s biologicky rozložitelnými i nerozložitelnými látkami, zatím co BSK₅ udává informace pouze o biologicky rozložitelných látkách. Velmi důležitý je poměr mezi BSK₅ a CHSK_{Cr} který nám umožňuje zjistit orientační hodnotu látek podléhající biologickému rozkladu. Tento poměr je pro splaškové vody, u kterých předpokládáme snadno biologicky rozložitelné látky v rozmezí 0,5-0,75. V praxi se ovšem využívá hodnoty 1:2 (Malý a Malá, 2006; Pitter, 2009).

3.3.3 NL

Nerozpuštěné látky (NL) jsou látky organického či anorganického původu, které lze z vody odstranit pomocí fyzikálních jevů jako sedimentace a filtrace (Horáková, 2003). Na kořenových čistírnách jsou NL odstraňovány v části mechanického předčištění a dále na horizontálním filtru.

Pro určení množství se používá metoda ztráty žíháním při teplotě 550 °C, výsledky jsou uváděny v mg/l (Pitter, 2009; Kadlec a Wallace, 2009).

3.3.4 N_{CELK}

Patří do skupiny nutrientů. Dusík patří mezi nejvýznamnější prvky, je zapotřebí prakticky při všech biologických procesech v povrchových, podzemních a odpadních vodách a dále při procesu úpravy vody. Formy dusíku mohou být jak organické, tak anorganické. Vznik dusíku je podmíněn rozkladem organických látek rostlinného a živočišného původu.

Velmi významným zdrojem sloučenin dusíku jsou splaškové vody, dále splachy ze zemědělské půdy a odpady z živočišné výroby (především amoniakální dusík) a zemědělství. Specifická produkce dusíku je závislá na mnoha faktorech (nejvíce se rozlišuje vybavenost bytu), nejvíce se používá hodnota 12 g celkového dusíku na jednoho obyvatele za 1 den.

Sumární metoda jednotlivých forem nebo přímé instrumentální stanovení to jsou dvě metody, kterými lze stanovit hodnoty koncentrace celkového vázaného dusíku (TN_b). Celkový dusík se dělí na organický a anorganický. Organický vázaný dusík zahrnuje bílkoviny a jejich rozkladné produkty (aminokyseliny, peptidy), močovinu. Anorganický vázaný dusík zahrnuje dusičnany, dusitany a amoniakální dusík. Dusíkaté sloučeniny jsou ve vodách málo stabilní a podléhají v závislosti na oxidačně redukčním potenciálu a hodnotě pH zejména biochemickým přeměnám (Pitter, 2009).

3.3.5 P_{CELK}

Zdroje fosforu můžeme rozdělit na 2 základní:

- přírodní – louhování půd, minerálů a zvětralých hornin
- antropogenní – prací, čistících, odmašťovacích a mycích prostředky, hnojiva

Dále je fosfor obsažen v živočišných odpadech, produkován jak od člověka, tak od zvířat. Denní produkce člověka odpovídá zhruba 1,5 g fosforu, dále ale musím připočítat fosfor z prostředků v domácnosti, čímž se specifická produkce fosforu zvyšuje až na 2-3 mg P na 1 obyvatele za den. Fosfor se vyskytuje ve vodě v mnoha formách, lze ho vyjádřit pomocí koncentrace celkového fosforu, ten se dále dělí na rozpuštěný (P_{rozp}) a nerozpuštěný (P_{nerozp}). Údaje o koncentraci sloučenin fosforu se často vyjadřují ve formě prvku (P), nikoli v iontové formě.

Sloučeniny fosforu jsou nezbytné pro mnoho druhů organismů, které je dále přeměňují na organický fosfor. Po odumření a rozkladu organismů se fosforečnany opět uvolňují a zakončují tak přírodní koloběh fosforu. Fosforečnany jsou nejvíce spojeny s eutrofizací, jelikož podporují růst zelených organismů ve vodě (řas a sinic). Při zvýšené koncentraci fosforečnanů dochází k přemnožení právě řas a sinic, a to má za následek zhoršení kvality vody. Celkový fosfor je vzhledem k problémům s eutrofizací uveden jako ukazatel přípustného znečištění, imisní hodnota pro povrchové vody je 0,2 mg/l a pro vodárenské účely je 0,1 mg/l.

Hygienické limity fosforečnanů nejsou ve vodě sledovány, a to ani u balené, jelikož jsou pro člověka zdravotně nezávadné (Malý a Malá, 2006; Pitter, 2009).

4 TECHNOLOGIE KČOV

4.1 MECHANICKÉ PŘEDČIŠTĚNÍ

Kořenová čistírna se jako celek skládá z několika na sebe navazujících objektů, které jsou na sebe napojeny do série. Prvním objektem, který by měl být zařazen na kořenové čistírně vždy, když je napojena na jednotnou kanalizaci, je odlehčovací komora, která odlehčuje přívalové srážky mimo čistírnu, a tak chrání mechanické předčištění před vypláchnutím usazeného kalu na hlavní čistící stupeň.

Dalším stupněm je žlab osazený jemnými česlemi, popřípadě i hrubými česlemi (jsou osazeny před jemnými česlemi), které chrání čistírnu před hrubým znečištěním (kamen, kusy dřeva atd.), jež by se mohlo dostat kanalizací na čistírnu. Česle mohou být jako samostatný objekt anebo mohou být sdruženy s lapákem písku, který slouží k odstranění jemnějšího mechanického znečištění (drobné kamínky, písek atd.). Důležitým objektem mechanického předčištění, který je zařazen za česlemi, resp. lapákem písku, je některý z typů usazovací (sedimentační) nádrže. Tím zpravidla může být buď septik, nebo šterbinová nádrž. Tyto mají za úkol zadržet poslední zbytky mechanického znečištění a část biologického znečištění. Účinnost usazovacích nádrží závisí především na době zdržení odpadní vody. Ze sedimentačních nádrží, které jsou většinou posledním stupněm mechanického předčištění, je voda odváděna na hlavní čistící stupeň, kterým je některý z typů filtračních polí (horizontální filtrační pole nebo vertikální filtrační pole). Filtrační pole mají za úkol odstranit hlavní část biologického znečištění (www.cisticka.info; Kadlec a Wallace, 2009).

Úkolem je zajistit co nejmenší koncentraci mechanického znečištění (nerozpuštěných látek) na odtoku z mechanického předčištění, aby bylo co nejméně namáháno následující filtrační pole, a tudíž došlo k jeho delší životnosti (Kriška a Němcová, 2015).

4.1.1 ODLEHČOVACÍ KOMORA

Odlehčovací komory patří k nejdůležitějším a zároveň k nejsložitějším objektům stokových sítí z hlediska hydraulického, hygienického i konstrukčního, přičemž tato jednotlivá hlediska se vzájemně ovlivňují a úzce spolu souvisejí. Zdravotně inženýrská problematika odlehčovacích komor souvisí s celkovým koncepčním řešením stokových sítí, s následným návrhem technologie čištění odpadních vod i otázkami čistoty recipientů (Hlavínek, 2016).

Hlavním úkolem odlehčovací komory (OK) je zajistit odvedení přebytečné odpadní vody mimo nátok na čistírnu, aby nedocházelo k přetížení čistírny. Konstrukční řešení OK musí zajistit odvod přebytečné vody z příváděcího žlabu, to je nejčastěji řešeno jako přeпад přes hranu příváděcího žlabu. Hrana žlabu je osazena do požadované výšky,

tak aby to odpovídalo maximálnímu přítoku na čistírnu. Odlehčená voda je odvedena buď do dešťové nádrže anebo přímo do recipientu (Hlavínek, 2016).

Při návrhu OK je nejdůležitější zajistit, aby usazovacím prostorem v usazovací nádrži neproudila voda tak, že by vyplavovala kal ze septiku či šterbinové nádrže, proto je Q_{\max} (l/s), na který navrhuje KČOV, nejdůležitější ukazatel pro návrh odlehčovací komory. Špatný návrh a provozování odlehčovací komory může mít za následek přetížení kořenové čistírny a tím i dopad na celkovou čistící účinnost (Křiška a Němcová, 2015).

V případě absence dešťové nádrže, která by zachytila prvotní nával nejvíce znečištěné vody při dešti, je problém že se dostává nejvíce znečištěná voda přímo do recipientu, i při vysokém naředění se do recipientu dostává fekální znečištění, které má neblahý vliv na životní prostředí. Fekální znečištění nepříznivě ovlivňuje esteticky vzhled potoka (kusy fekálii, toaletní papír atd.) ale hlavně mění kyslíkovou bilanci a tím i samočistící schopnost toku. Tomuto stavu se vyhneme tak že nastavíme stupeň naředění, který nám bude zajišťovat kvalitu vody na odtoku v požadovaných limitech (Nypl, 1998).



Obr. 1 Odlehčovací komora KČOV Dražovice

4.1.2 ČESLE

Jedná se o první mechanické čištění odpadní vody, dochází zde k cezení odpadní vody přes vlastní konstrukci česlí. Děj probíhá na principu zachycení rozměrově větší částice, než je prostor mezi česlicemi. Po zachycení částice na česlích je nezbytné zajistit odklizení zachycených částic z prostoru česlí, aby nedošlo k zacpaní profilu, a tak k navýšení hladiny na přítoku, což by dále mohlo ovlivnit čistírnu.

Česle chrání čistírnu před vniknutím nejrůznějších materiálů (kusů hadrů, kapesníků, papírů, obalů, štěrků atd.), které by mohly následně ucpat či poškodit další objekty nebo strojní zařízení.

Česle jsou tvořeny ocelovým rámem, do kterého jsou navařeny ocelové pruty (česlice), mezi česlicemi jsou mezery (průliny). Česlicový rám by měl být ideálně nakloněn pod úhlem 45°, ale je možné česle osadit i vertikálně. U každých česlí musí být v blízkosti umístěna odkapávací plocha, která slouží na uložení shrabků. Na ukládání shrabků před jejich odvozem musí být na čistírně vyhrazen speciální prostor (ČSN 756402; Hlavínek, 2003).

Vzdálenost jednotlivých česlic nám určuje druh česlí, dle velikosti máme česle hrubé (šířka průlin 40-120 mm) a jemné česle (šířka průlin 0,5-6 mm). Dále česle můžeme dělit podle způsobu odstraňování shrabků na ručně stírané nebo strojně stírané.

Pokud máme na ČOV umístěny v hlavním přívodním kanále strojně stírané česle, tak musíme vybudovat vedlejší paralelní žlab s ručně stíranými česlemi, pro případ převedení odpadní vody při poruše nebo údržbě strojních česlí (www.asio.cz, 2014).



Obr. 2 Česle s uzamykatelným poklopem, KČOV Biskoupky

4.1.3 LAPÁK PÍSKU

Navrhuje se proto, aby zachytil mechanické znečištění jako písek, minerální částice, které by mohli dále na čistírně působit problémy. Na lapáku písku by měly být zachyceny částice

o velikosti zrn 0,2 až 0,25 mm, zrna větší jak 0,25 mm musí být zachyceny minimálně v 95 %. Délka lapáku vychází z minimální rychlosti, kterou potřebujeme abychom usadily námi požadované částice, rychlost tedy závisí na velikosti a typu lapáku. Podle potřeby navrhujeme akumulaci na zachycený písek, dle ČSN 75 6401 se akumulaci prosto navrhuje na 2 až 4denní produkci písku.

Na KČOV jsou nejčastěji využívány štěrbinové lapáky písku s horizontálním průtokem. Lapáky písku se nejčastěji navrhují na jednotné kanalizaci, kde mají opodstatněné místo, ovšem v případě oddílné kanalizace je na individuálním zvážení umístění lapáku písku na čistírnu (Hlavínek, 2016; ČSN 75 6402).



Obr. 3 Sdružený objekt – lapák písku a česle

4.1.4 USAZOVACÍ NÁDRŽ

Fungují na základě prosté gravitační separace částic v odpadní vodě. Každá usazovací nádrž musí mít dostatečný objem, aby byla zajištěna dostatečná doba zdržení a dostatečně velký akumulací prostor na zachycené suspendované částice. Hustota, tvar a velikost částice jsou určující kritéria pro rychlost sedimentace (Hlavínek, 2016). Pokud uvažujeme usazovací nádrž, která má být osazena před přírodními způsoby čištění, pak by doba zdržení neměla klesnout pod 2 hodiny. Doporučená norma pro návrh čistírny do 500 EO je ČSN 75 6402 (Šálek, 2006; Kadlec a Wallace, 2009).

Pro kořenové čistírny se nejčastěji využívají 2 základní druhy usazovacích nádrží: septik a štěrbínová nádrž. Pro každý konkrétní případ bychom měli posuzovat, která z variant je pro danou situaci lepší (na základě složení odpadní vody, ekonomické hledisko, uspořádání a velikost čistírny atd.).

SEPTIK

Je nejvíce využívaným typem sedimentační nádrže pro technologii kořenových čistíren, jelikož KČOV vyžadují dokonalé mechanické předčištění, a to právě septiky splňují (Šálek, 2006). Kvalitní předčištění je zajištěno systémem tří komor vzájemně propojeným spojovacím potrubím, umístěným v dělicích příčkách mezi jednotlivými komorami, to zajišťuje delší dráhu, kterou musí voda urazit. Otvory v příčkách mezi jednotlivými komorami musí být minimálně 0,3 m pod hladinou od horního okraje otvoru a dále spodní okraj minimálně 0,4 m nad dnem. V septiku nesmí docházet k přesunu kalu mezi jednotlivými komorami, popřípadě do odtoku. Tomu je zamezováno nornými stěnami, které by měli být osazeny alespoň 0,15 m nad hladinou vody a zároveň minimálně 0,3 m pod hladinou vody v septiku. Do septiku musí být zajištěn vstup, kvůli revizi a vyvážení kalu, který se usazuje v nádrži. Přístup je zajištěn kruhovým či hranatým otvorem ve stropě o minimální světlosti 600 mm x 600 mm, u kruhu je průměr minimálně 600 mm (ČSN 75 6402, 2017).

Objem septiku se stanovuje na dobu 3-5 dnů, to zajišťuje dostatečnou dobu zdržení, aby mohli veškeré usaditelné látky sedimentovat. Celkový účinný prostor se stanovuje dle následující rovnice (ČSN 75 6402, 2017):

$$V = a \times n \times q \times t \quad (6)$$

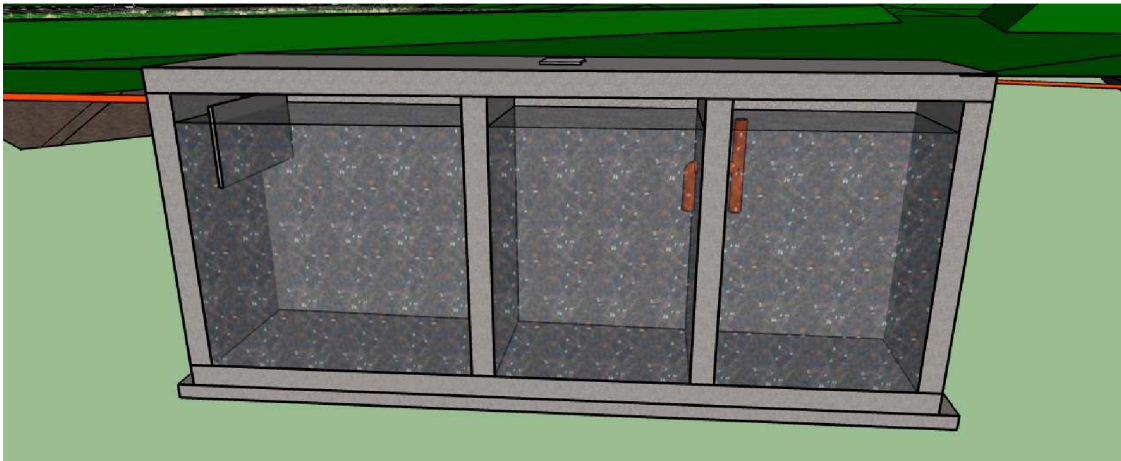
Kde je

- a součinitel vyjadřující kalový prostor (obvykle $a = 1,5$);
- n počet připojených obyvatel;
- q specifická potřeba vody na osobu v m^3/d ;
- t střední doba zdržení ve dnech (obvykle $t = 5$ d).

Minimální čistící účinnost septiku se pohybuje kolem 30 % je to zapříčiněno anaerobním prostředím, bez přístupu kyslíku, v kterém probíhají hnilobné procesy, které mají za následek rozklad znečištění (snížení koncentrace znečištění) (Kadlec a Wallace, 2009; Šálek, 2012).

Jako velká nevýhoda septiků se uvádí jejich velké investiční náklady, př. pro obec 300 EO může pořízení septiku stát i 1 000 000,-Kč. To jsou argumenty odpůrců kořenových čistíren odpadní vody, kteří tvrdí že právě tímto jsou KČOV drahé, v porovnání s klasickými čistírnami, ovšem markantní rozdíly přicházejí v provozních nákladech, kde KČOV jednoznačně poráží klasické čistírny, kdy septik s kalovým hospodářstvím může mít provozní náklady pro 300 EO cca 6000,-Kč/rok, což je minimální vliv na stočné. Z investičního hlediska se vyplatí septik max. pro 500 EO (Křiška a Němcová, 2015).

Pro septiky hovoří dlouhodobé zkušenosti s třikomorovými septiky v Rakousku, kde nemají ani po 15 letech problémy s ucpáváním filtračních polí (Křiška a Němcová, 2015).



Obr. 4 Tří komorový septik

ŠTĚRBINOVÁ NÁDRŽ

Oproti septikům se doba zdržení pohybuje v rámci hodin, na rozdíl od septiků, kde to jsou dny (Šálek, 2006). Štěrbínová nádrž je rozdělena na dvě části, v horní části je usazovací prostor tvořený žlabem, který má uprostřed štěrbinu, kterou propadává kal do vyhnívacího prostoru. Ve vyhnívacím prostoru dochází ke stabilizaci kalu, kal se ve vyhnívacím prostoru stabilizuje a je pravidelně vyvážen na kalové hospodářství případně na jinou čistírnu. Kal se vyváží minimálně dva krát ročně. Prostorově mohou být nádrže řešeny jako obdélníkové, kruhové či čtvercové (Hlavínek, 2006; Šálek, 2006). Stanovení potřebného objemu vyhnívací nádrže je stanoveno v závislosti na počtu obyvatel připojených na čistírnu, specifický objem na osobu je $0,135 \text{ m}^3$ (ČSN 75 6402).

Výsledky výzkumu ukazují, že septik je spolehlivější jak štěrbinová nádrž, ovšem je to vykoupeno vyššími investičními náklady, v porovnání s tím je štěrbinová nádrž méně kvalitní, co se týče mechanického předčištění odpadní vody, ale investiční náklady jsou

menší a s tím má výhodu i menšího záboru půdy, ale hrozí riziko rychlejšího zakolmatování filtračních polí (Křiška a Němcová, 2015).



Obr. 5 Štěrbínová usazovací nádrž, KČOV Dražovice

4.2 BIOLOGICKÉ ČIŠTĚNÍ

Hlavní čistící stupeň zabezpečují filtrační pole, která fungují na bázi biologického čištění odpadní vody, tím že odpadní voda protéká přes vrstvu filtračního materiálu, ve kterém jsou vázány bakterie zabezpečující biologické čistící procesy (Kadlec a Wallace, 2009). Filtrační pole na KČOV lze dělit dle různých kritérií například v závislosti na základě úrovně hladiny odpadní vody vzhledem k filtračnímu materiálu nebo podle převažujícího směru proudění. Šálkovo rozdělení dle různých směrů proudění odpadních vod (Šálek, 1999):

- Kořenové čistírny s horizontálním povrchovým prouděním.
- Kořenové čistírny s horizontálním podpovrchovým prouděním.
- Kořenové čistírny s vertikálním prouděním směrem dolů.
- Kořenové čistírny s vertikálním prouděním směrem vzhůru.
- Kořenové čistírny s radiálním prouděním.

Na kořenových čistírnách vybudovaných v České republice se nejčastěji setkáme s horizontálními filtračními poli s podpovrchovým prouděním a na nově vznikajících kořenových čistírnách odpadních vod i s vertikálními filtry s prouděním směrem dolů. Horizontální filtry jsou v ČR využívány od začátku jejich výstavby kořenových čistíren

odpadní vody, na rozdíl od vertikálních filtrů, které se do popředí dostávají teprve v posledních letech, a to zejména na základě kvalitních výsledků z výzkumu (Křiška a Němcová, 2015).

Filtrační pole (FP) lze dělit např. i na základě probíhajících procesů v náplni filtračního pole, to znamená, zdali tam probíhají procesy v prostředí s kyslíkem (aerobní) anebo v prostředí zcela bezkyslíkatém (anaerobní), to určuje poloha hladiny v FP (Kadlec a Wallace, 2009):

- vodou zcela nasycené
- vodou nenasycené

4.2.1 HORIZONTÁLNÍ FILTR

Jak bylo již výše napsáno, HF najdeme téměř na všech KČOV v České republice. Jsou převážně HF s kontinuálním podpovrchovým prouděním, ve kterých vzniká anaerobní prostředí vlivem zatopeného filtračního prostředí. Tato technologie se hojně využívá pro svoji jednoduchost jak v oblasti návrhu, tak v oblasti výstavby. Kontinuální průtok zajišťuje stálou hladinu, a tudíž nedochází ke kolísání hladiny a tím k okysličování filtračního materiálu a je tak udržováno stále anaerobní prostředí, v kterém probíhají denitrifikační procesy (Křiška a Němcová, 2015).

V propustném substrátu filtračního pole, kde je anaerobní prostředí, probíhají fyzikální, chemické a biologické procesy, které odbourávají příslušné znečištění. Na HF jsou vysázeny mokřadní rostliny, které budou nejvíce vyhovovat daným podmínkám (více v kapitole 4.3 Vegetace na KČOV) (Kadlec a Wallace, 2009).

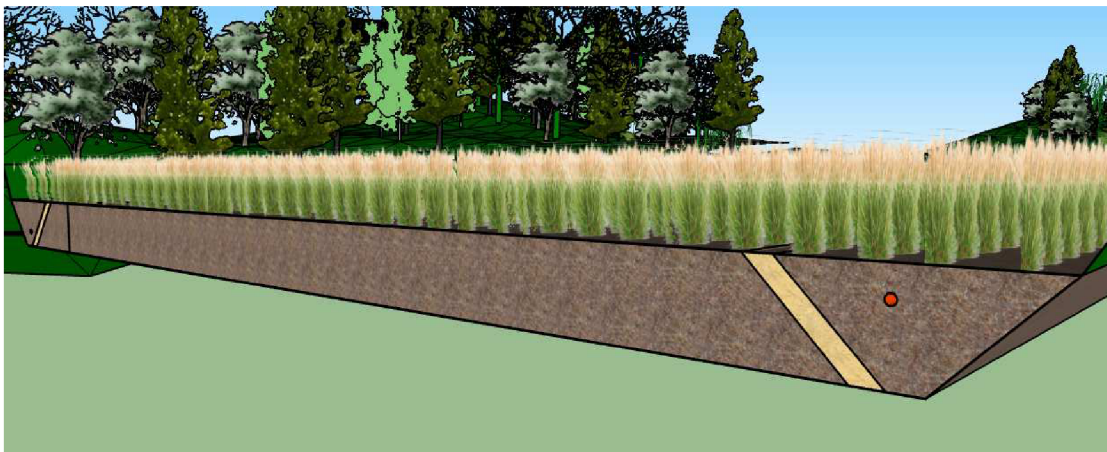
Volbu materiálu, který bude použit, ovlivňuje vždy více kritérií, jako je dostatečná propustnost, vzdálenost lomu či vhodnost kameniva. V případě, že by materiál byl málo propustný, mohlo by snáze docházet ke kolmataci filtračního pole. V dřívějších dobách byly na prvních KČOV používány těžké jílové zeminy s výbornými filtračními a čistícími vlastnostmi, ovšem u nich docházelo velmi brzy ke kolmataci filtračního pole a k následnému povrchovému odtoku, který má za následek, že odpadní voda jen proteče na povrchu a nedostane se vůbec k filtraci přes náplň filtru, a tak nedojde k jejímu čištění. V zimním období by pak mohlo docházet k zamrzaní a k problémům estetického rázu jako zápach.

Hloubka filtrační vrstvy je daná výpočtem a charakterem lokality, pohybuje se nejčastěji v rozmezí 0,6-1,0 m, konkrétní hodnota vychází z úvahy projektanta. Jako materiál se v nynější době používá nejvíce prané drcené kamenivo anebo prané těžené kamenivo (kačírek), frakce 4/8 mm nebo 8/16 mm. Abychom eliminovali možnost vzniku tzv. zkratových proudů, volíme pouze jeden druh kameniva. Pro zajištění rovnoměrného rozlivu odpadní vody je dobré v oblasti přítoku a odtoku udělat rozvodnou zónu z hrubšího kameniva (50-200 mm) a to po celé šířce filtru. Při výběru kameniva si musíme

vždy dát pozor, jestli používáme praný materiál, v případě že ne tak nám hrozí brzké zakolmatování filtračního pole, jelikož těžené i drcené kamenivo na sebe váže velké množství prachových částic.

Celou oblast pod HF, musíme vždy dokonale odizolovat od okolního prostředí, aby nebyla možnost kontaminace okolního prostředí odpadních vod a ohrožení zásob podzemní vody. Jako izolační materiál nejčastěji volíme PVC fólii, kterou raději z obou stran chráníme geotextílií, aby bylo zmenšeno riziko protržení během výstavby a následného provozu (Vymazal, 2004).

Přívodní potrubí rozvádí odpadní vodu na celou šíř HF, v případě nutnosti či ochrany je možné přívodní potrubí opatřit ochranou konstrukcí, které jej bude chránit proti klimatickým vlivům a vandalům. Potrubí je osazeno mírně nad terénem, aby bylo zajištěno rozvedení odpadní vody po celé délce rovnoměrně. Na druhé straně HF je osazeno sběrné potrubí, které odvádí odpadní vody na další objekty na KČOV. Výška hladiny je nastavitelná pomocí flexibilní trubice, a to v kontrolní šachtě za HF (Kadlec a Wallace, 2009). Rozměry HF musí úměrně velikosti mechanického předčištění před HF (Šálek, 2006).



Obr. 6 Horizontální filtr s vegetací

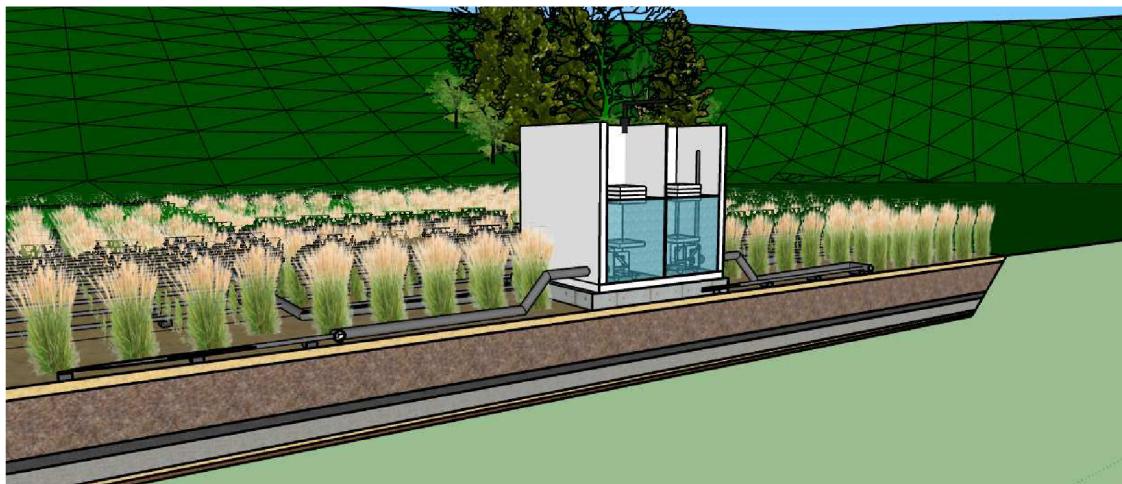
4.2.2 VERTIKÁLNÍ FILTR

Směr proudění u VF je určující a naprosto odlišný například o horizontálně protékaných filtrů, odborná literatura uvádí dva druhy vertikálních filtrů, a to protékané směrem dolů nebo směrem nahoru (Šálek, 1999).

Vertikální filtr se velmi výrazně liší od horizontálního filtru, a to nejen směrem proudění, ale také systémem pro přívod odpadní vody na povrch filtru. Na vertikálním filtru je odpadní voda dávkována ve formě jednotlivých dávek (pulzů), které následně protékají okysličeným (aerobním) prostředím VF, kde tedy dochází k nitrifikaci, a tudíž je spolehlivě odstraňován amoniakální dusík. Rozvodné potrubí umístěné na celé ploše zajišťuje rovnoměrnou distribuci odpadní vody. Podobnost s horizontálním filtrem je

v mocnosti filtrační vrstvy cca 0,6-0,8 m, nikoli však jeho složením, frakce použitého materiálu je 0/4 a vždy se musí jednat o praný materiál, jelikož Vertikální filtr je více náchylný na kolmataci ve srovnání s horizontálním filtrem. Jako filtrační náplň může být použitý těžený, tak i drcený materiál (štěrkopísek). Filtrační materiál musí být vždy praný. Jelikož je vertikální filtr velice náchylný na kolmataci je důležité kvalitní mechanické předčištění, a proto se často uvádí, že hlavní funkce horizontálního filtru je ochrana vertikálního filtru, jakožto hlavní čistící jednotky. V případě nekvalitního mechanického předčištění bude docházet k vyplavování jemných částic na horizontální filtr, který je zachytí a ochrání tak vertikální filtr.

Rozvodné potrubí je vedeno z pulzní šachty na celé pole, na rozvodné potrubí DN 110 je napojeno rozdělovací potrubí DN 50, které má v sobě udělané otvory o velikosti 5 mm a těmito otvory dochází k rovnoměrnému rozložení dávky odpadní vody na celou plochu vertikálního filtru. Následně se voda filtruje přes materiál ve vertikálním filtru, kde dochází k nitrifikačním procesům. Na dně vertikálního filtru je uložena drenážní soustava, která odvádí vyčištěnou odpadní vodu do výpustného objektu nebo do terciálního čistícího stupně. Nejčastěji využívaným materiálem na řešení rozvodného potrubí je polypropylen (PP-H), v DN110 pro rozvodné potrubí a v DN 50 pro rozdělovací potrubí. Rozdělovací potrubí by mělo být maximálně 8 m dlouhé a osově vzdálené 0,6 m-0,8 m, aby bylo zaručeno rovnoměrné rozložení dávky odpadní vody. Z nabytých zkušeností víme, že je lepší rozdělovací i rozvodné potrubí ukládat nad povrch svrchní vrstvy vertikálního filtru, výborně se osvědčila zámková dlažba, ale lze využít jakoukoliv dlažbu. V případě, že je potrubí nad povrchem vertikálního filtru, tak nedochází k jeho zarůstání vysazenou vegetací (Kriška a Němcová, 2015, Kadlec a Wallace, 2009).

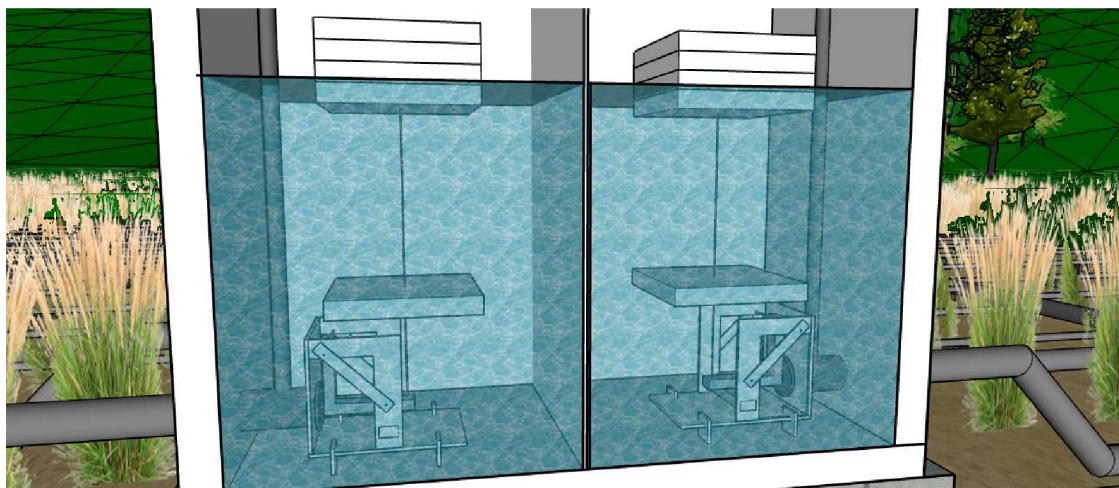


Obr. 7 Vertikální filtr s vegetací

PUZNÍ VYPOUŠTĚNÍ

Pulzní vypouštění zajišťuje nepravidelný přísun odpadní vody na povrch vertikálního filtru, nepravidelné vypouštění odpadní vody nám zajišťuje, že nedojde k nasycení vertikálního filtru, tudíž bude docházet k okysličování a tím je zajištěno stabilní aerobní prostředí. Pulzní vypouštěč dávkuje odpadní vodu na vertikální filtr, v požadovaných dávkách, které můžeme nastavit pomocí plováků z extrudovaného polystyrénu. Ideální počet pulzních dávek se pohybuje mezi 5-10 dávkami za den, v tomto množství nebude docházet k nasycení VF, dále musí pohlídat, aby nedošlo k překročení hydraulického zatížení 150 mm/den/m^2 . Pulzní šachty mohou být různých rozměrů a tvarů podle potřeby (kruhové, čtvercové). Podle potřeby se pulzní šachta rozdělí na počet sekcí, podle stejného počtu sekcí, jak byl rozdělen vertikální filtr, jedna sekce má plochu maximálně 100 m^2 . Velikost pulzní nádrže odpovídá velikosti pulzní dávky a počtu pulzu. V každé sekci je umístěn vlastní pulzní vypouštěč, který lze nastavit podle potřeby. Pro gravitační řešení vertikálního filtru je potřeba minimální převýšení $1,0 \text{ m}$ mezi maximální hladinou v pulzní šachtě a dnem rozvodného potrubí, tak aby bylo zajištěno rovnoměrné rozložení odpadní vody po celé ploše. V případě nepříznivého morfologického rozložení pozemku je nutné dovést elektrickou energii a zahájit čerpání do pulzní šachty, abychom zajistili dostatečné převýšení pro pulzní vypouštění.

Pulzní šachtu lze vyrábět ze svařovaných PVC desek, výhodou je relativně jednoduchá a spolehlivá konstrukce, ale jde zajisté využít i jiných konstrukčních materiálů. Ať využijeme jakéhokoliv materiálu je důležité myslet na zimní provoz a v případě pulzní šachty, která není zapuštěná v zemi (viz. obr.3) je důležité zateplení obvodových stěn a vyřešení střešní konstrukce proti promrzání, abychom eliminovali možnost zamrznutí v extrémních podmínkách (Křiška a Němcová, 2015, Kadlec a Wallace, 2009).



Obr. 8 Distribuční šachta s pulzním vypouštěčem

4.2.3 STABILIZAČNÍ NÁDRŽ

Stabilizační nádrže slouží jak terciální čistící stupeň, který lze napojit na odtok z filtračních polí, za účelem dočištění a stabilizace vyčištěné odpadní vody před odtokem do recipientu. Nádrže jsou nejvíce využívány u čistíren do 500 EO, jelikož mají velké nároky na plochu a pro větší čistírny by jejich výstavba byla z investičního hlediska neekonomická. Stabilizační nádrž je z velké míry ovlivňována okolními klimatickými podmínkami, které mají vliv na čistící účinnost, na druhou stranu dobře zvládají rozkolísanost přítoku znečištění (přítoky malých koncentrací i velkých koncentrací) (Kadlec a Wallace, 2009).

V případě, že je stabilizační nádrž využívána jako terciální stupeň čištění, tak takřka nejsou problémy s následným zmenšováním objemu nádrže, ovšem v případě, kdy by byla nádrž užívána jako hlavní čistící stupeň je důležité zajisti kvalitní mechanické přečištění, aby nedocházelo k zanášení objemu nádrže a tím k zmenšování funkčního objemu.

Nádrž je nutno zajistit proti průsakům kontaminované OV do podloží, aby nehrozilo ohrožení podzemní vody. Těsnící prvek může být jílové těsnění, těsnící plastová fólie nebo využito umělé kolmatace dna. Je důležité zajisti stabilitu návodního líce v místě styku hladiny s návodním lícem, lze využít umělého opevnění (dlažba, beton) nebo využít vegetačního opevnění ve formě mokřadních rostlin (Šálek, 1997).

Pro návrh biologické nádrže, je důležité určit si hlavní kritéria jako hloubku vody, okolní klimatické podmínky, požadovanou čistící účinnost a s tím související velikost nádrže, dobu zdržení, látkové zatížení. Pro návrh platí norma ČSN EN 12255-5. Velikost nádrže je určená možnostmi pozemku, na který má být budoucí nádrž osazena, proto nejsou nepravidelné tvary žádnou výjimkou. Samočištění schopnost nádrže je závislá na probíhání fyzikálních, chemických a biologických procesů, které jsou ovlivňovány množstvím rozpuštěného kyslíku ve vodě. Množství rozpuštěného kyslíku v nádrži ovlivňují mokřadní rostliny, které umožňují přenos kyslíku do vody, což se jeví jako hlavní funkce. Mokřadní vegeta má vliv na samočištění procesy, teplotu, pH, průnik světla do vody a slouží jako zdroj potravy pro řadu živočichů (Šálek, 1996; www.asio.cz, 2015; Kadlec a Wallace, 2009).

U stabilizační nádrže se více jak u VF či HF projevuje vliv klimatických podmínek na čistící účinnost, jelikož jsou mikrobiální procesy (amonifikace, nitrifikace a denitrifikace) citlivé na nižší teploty, dochází tak k snížení čistící účinnosti v odstraňování amoniakálního dusíku, a to především v zimních měsících (Šálek, 1997).

Pro zvýšení čistící účinnosti při odstraňování dusíku, lze denitrifikační funkci HF, přesunout na stabilizační nádrž, která se bude nacházet za VF kde probíhá nitrifikace, takže proces denitrifikace bude efektivnější v stabilizační nádrži. Pro efektivnější čistící schopnost lze nádrž opatřit plovoucími ostrovy (Křiška a Němcová, 2015).



Obr. 9 Stabilizační nádrž, KČOV Dražovice (archiv ÚVHK)

4.2.4 DENITRIFIKAČNÍ NÁDRŽ

Denitrifikační nádrž se uplatňuje jako terciální čistící stupeň. V ideálním případě se osazuje za vertikálním filtrem, který slouží jako hlavní čistící stupeň. Procesy nitrifikace probíhající ve vertikálním filtru přeměňují amoniakální dusík na dusitany a dusičnany. Nitrifikací dochází pouze k přeměně dusíku na jinou formu nikoli k odbourání, a proto je za nitrifikační stupeň vhodné osadit denitrifikační stupeň, ve kterém budou navozeny denitrifikační procesy, které přeměňují dusičnany na oxidy dusíku a dále na elementární dusík, čímž dochází k jeho odbourání z odpadní vody.

Nádrž je nutné důkladně odizolovat od okolního prostředí, aby bylo zabráněno negativním průsakům do okolního podloží a byla tak eliminována možnost kontaminace podzemní vody. Jako náplň filtru v denitrifikační nádrži se nejčastěji používají organické materiály, například mulč, dřevní štěpka, mulčovací kůra.

Doba zdržení v nádrži odpovídá počtu obyvatel a požadavkům na množství odbouraného dusíku. Podle velikosti obce dle EO, pro kterou má být denitrifikační nádrž navržena jsou určovány limity znečištění na odtoku z ČOV. Celkový dusík je nutno sledovat až u větších čistíren, pro více jak 2 000 EO. Takto veliké kořenové čistírny jsou velmi neobvyklé, takže pro případ kořenových čistíren se odbourávání celkového dusíku uvažuje spíše v případě, kdy jsou pro ČOV zpřísněny limity na odtoku z nějakých důvodů (např. blízkost vodárenské nádrže atd.) (Kadlec a Wallace, 2009, Malý a Malá, 2006).

4.2.5 VEGETACE NA KČOV

Mokřadní rostliny jsou nedílnou součástí technologie kořenových čistíren. Výběr rostlin pro osázení filtru by měl respektovat vegetační charakter lokality, kde bude kořenová čistírna umístěna. Vegetace zaujímá mnoho funkcí. Napomáhá v čistících procesech, v zimním období slouží jako izolace filtračního pole, kořeny rostlin slouží jako nosič pro biofilm. Při návrhu neuvažujeme s podpůrnou čistící funkcí od rostlin, víme že čistící schopnost rostlin podléhá sezónní dynamice. Kosení a odklizení rostlin probíhá zpravidla jednou ročně, a to před začátkem nového vegetačního období, avšak až po skončení zimních měsíců, kdy již nepředpokládáme velké mrazy. Mikroorganismy vytvářejí vrstvu biofilmu na materiálu filtru a dále využívají plochu kořenové systému. Díky výskytu kořenového systému dochází k přenosu kyslíku do anoxického prostředí, tento proces probíhá díky tomu, že jsou mokřadní rostliny geneticky uzpůsobeny k přenosu kyslíku z atmosféry ke kořenům v podzemí. Takto získaný kyslík je z části přenášen do okolního prostředí, kde vytváří malé aerobní zóny. Výsadba rostlin se provádí zcela bez hlíny (substrátu), pouze do filtračního materiálu. Po výsadbě je nutné rostlinám zajistit dostatečný přísun vody a živin, aby nedošlo k jejich zaschnutí a naopak, aby se co nejrychleji zakořenili. Dostatek vody zajistíme umělým zvýšením hladiny ve filtru na dobu nezbytně nutnou (Vymazal, 2004; Kadlec a Wallace, 2009; Zhao, 2012).

Rostliny volíme tak, abychom co nejvíce zlepšovali vlastnosti filtru, to znamená zvýšení poréznosti, zvýšení absorpce látek z OV, zvýšení plochy na tvorbu biofilmu, zlepšení estetického vlivu na člověka, zvýšení evapotranspirace do okolního prostředí (Abou-Elala, 2012).

RÁKOS OBECNY (Phragmites Australis)

Jedná se o velice invazivní druh, který je schopen vytlačit všechny ostatní rostliny. Je to způsobeno jeho rychlým růstem a malé náročnosti z hlediska výživy, proto většina rostlin nedokáže vzdorovat a hynou. Může dorůstat výšky až 4 m v teplých jižních oblastech výjimečně až 6 m a jeho listy dorůstají až 0,5 m délky. Rákos jako nenáročná rostlina dobře snáší velké výkyvy v pH a zároveň též vysoké hodnoty znečištění. Jeho hustý kořenový systém dosahuje hloubky 0,6-0,7 m (www.cisticka.info). Rozmnožování se provádí hlavně pomocí oddenků, ale lze i pomocí semen (Šálek, 2008).



Obr. 10 Rákos Obecný (*Phragmites Australis*) (zdroj botanika.wendys.cz)

CHRASTICE RÁKOSOVITÁ (Phalaris Arundinacea)

Není ani zdaleka tak invazivní jako Rákos Obecný. Vysoce fixovaná na vodu, potřebuje velké množství vody, proto se vyskytuje v blízkosti vodních toků a podmáčených luk. Nevýhodou oproti Rákosu je že není tak odolná vůči výkyvům v pH (6,1-7,5). Její vysoká náročnost na vodu a živiny ji umožňuje velmi rychlý růst, a tudíž umožňuje velkou produkci biomasy, proto se ve skandinávských zemích dělají výzkumy na další zvýšení nárůstu biomasy, které by se dalo použít na biopalivo. Maximální výška se pohybuje v rozmezí 2,5-3,0 m. Chrastice Rákosovitá vyhledává vody s vysokým obsahem fosforu, to je naprosto ideální pro KČOV (www.korenova-cisticka.cz, 2017; Šálek, 2008).



Obr. 11 Chrastice Rákosovitá (*Phalaris Arundinacea*) (zdroj luzs.cz)

***OROBINEC ŠIROKOLISTÝ* (*Typha latifolia*)**

Je velmi druhově rozmanitá rostlina, u nás je nejvíce rozšířen Orobinec Širokolistý. Řadí se mezi rostliny, které snesou takřka všechno i velmi kyselé prostředí s pH od 2-10, tak snese i velmi vysoké dávky znečištění (www.cisticka.info). V prostředí, kde najde ideální podmínky k životu roste velmi rychle a je schopen dorůstat až 4 m s listy šířkou 2 cm a je schopna zcela vytlačit ostatní vegetaci a vytváří monokulturní prostředí (www.korenova-cisticka.cz, 2017).



Obr. 12 Orobinec Širokolistý (*Typha latifolia*) (zdroj zahrada-cs.com)

KOSATEC ŽLUTÝ (Iris Pseudacorus)

Bahenní rostlina, která vyhledává spíše kyslejší podmínky k životu. Kosatec se řadí mezi rostliny mírně jedovaté, díky malému množství třísloviny a glykosidu obsaženého v odenku. Využívá se na KČOV pro svoje vysoce estetické vlastnosti, díky velkým žlutým květům, které má od května do června. Jelikož je kosatec bahenní rostlinou je pro jeho správný růst důležité občasné zatopení, které lze na KČOV zajistit. Dorůstá maximální výšky 0,5-1,5 m. Vyžaduje vyšší dávky dusíku a fosforu, které ovšem na kořenové čistírně jsou (www.korenova-cisticka.cz, 2017; www.cisticka.info; Šálek,2008).



Obr. 13 Kosatec Žlutý (Iris Pseudacorus) (zdroj jezirkanaklic.cz)

5 KČOV BEZDĚČÍ U TRNÁVKY

5.1 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O OBCI BEZDĚČÍ U TRNÁVKY

Bezděčí u Trnávky leží na východním okraji okresu Svitavy, Pardubického kraje. Obec leží cca 11 km jihovýchodně od města Moravská Třebová.

V obci Bezděčí u Trnávky žije 202 obyvatel (dle ČSÚ k roku 2018). Obec předpokládá další vývoj obce, a proto nově navrhovaná KČOV bude navržena na 220 EO.

V obci se nenalézají žádné historicky významné památky. V obci nejsou žádní významní producenti znečištění, v obci se sice nachází zemědělské družstvo, to si ovšem nakládá samo se svými odpadními vodami.

Obytná zástavba v Bezděčí u Trnávky je vesměs rodinnými domy venkovského charakteru. Jedná se o tradiční komplexy statků a zemědělských usedlostí, menší stavení bývalých domkařů a mladší a novodobá zástavba 1-2 podlažních rodinných domků řadových a dvojdomků se sedlovými střechami. Některé usedlosti jsou využívány k rekreaci. Většina odpadní vody je soustředěna především podél silnic a místních komunikací.

V obci se nachází OÚ, prodejna, hasičská zbrojnice a kaple.

Starosta obce: Petra Klíčová

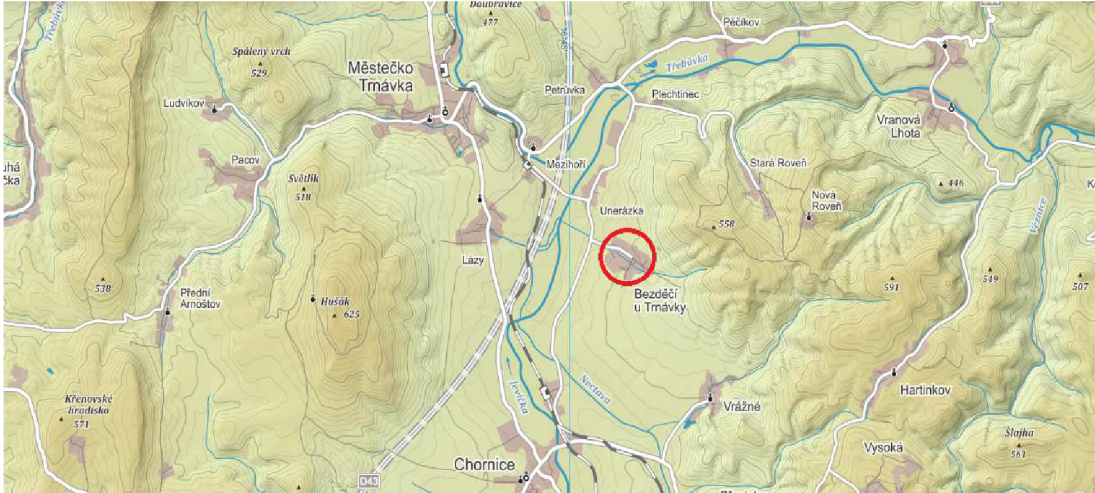
5.2 CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ

Území je situováno do mírného svahu, které se táhne celou obcí. Obec je výškově umístěna v rozmezí 335–355 m n. m. V okolí obce jsou rozsáhlé zemědělské oblasti, které jsou využívány pro pěstování užitkových plodin. Nad horní částí obce se nachází souvislý pás lesa, který je situován do příkrého svahu s nejvyšším bodem 559 m n. m.

Obcí protéká bezejmenný potok, do kterého je na konci obce vyústěna stávající jednotná kanalizace. V místě stávajícího vyústění kanalizace se uvažuje napojení nově navrhované kořenové čistírny odpadních vod. Odtok z kořenové čistírny odpadních vod bude vyústěn zpět do místního potoka. Potok pramení nad obcí, kde se stéká ještě s dvěma bezejmennými prameny a dále vede středem obce. Kvalita vody v potoce je na velice špatné úrovni, a to především z důvodu napojení odpadů z okolních domů v obci. Potok se pod obcí napojuje na vodní tok Jevička, který dále ústí do řeky Třebůvky. Obec spadá do povodí Moravy.

5.2.1 POLOHA OBCE

Bezděčí u Trnávky leží na východním okraji okresu Svitavy, Pardubického kraje. Obec leží cca 11 km jihovýchodně od města Moravská Třebová.

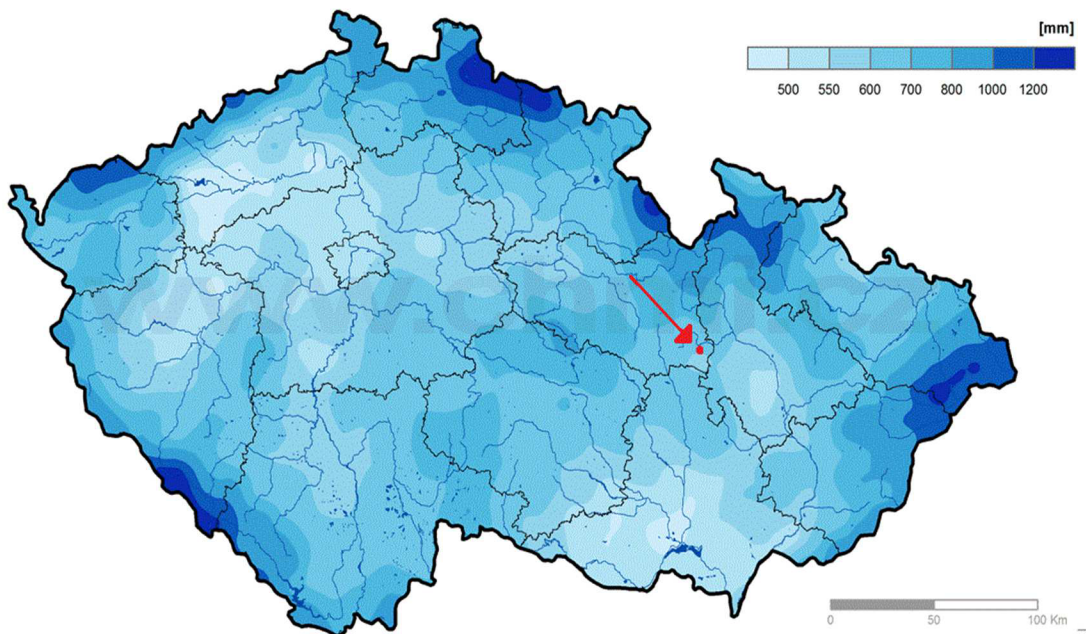


Obr. 14 Mapa obce Bezdčín u Trnávky (zdroj www.mapy.cz)

5.2.2 KLIMATICKÉ ÚDAJE

SRÁŽKOVÉ PODMÍNKY

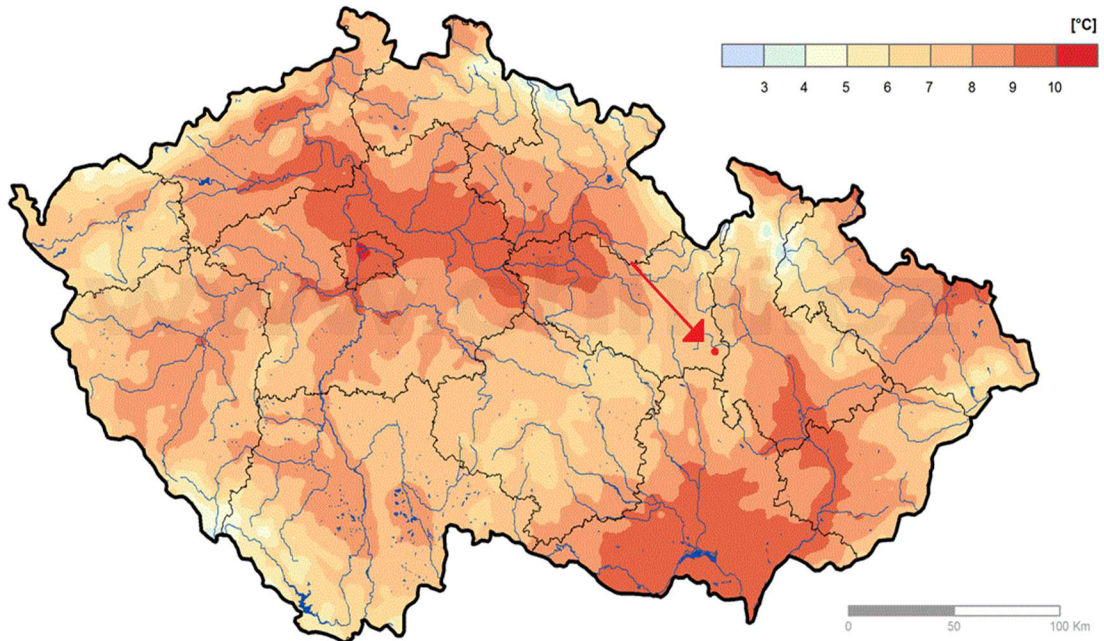
Dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek se pohybuje v rozmezí 500–600 mm (ČHMÚ).



Obr. 15 Mapa dlouhodobého průměrného ročního úhrnu v ČR (zdroj ČHMÚ)

TEPLOTNÍ PODMÍNKY

Dlouhodobá průměrná roční teplota vzduchu se pohybuje v rozmezí 7-8 °C (ČHMÚ).



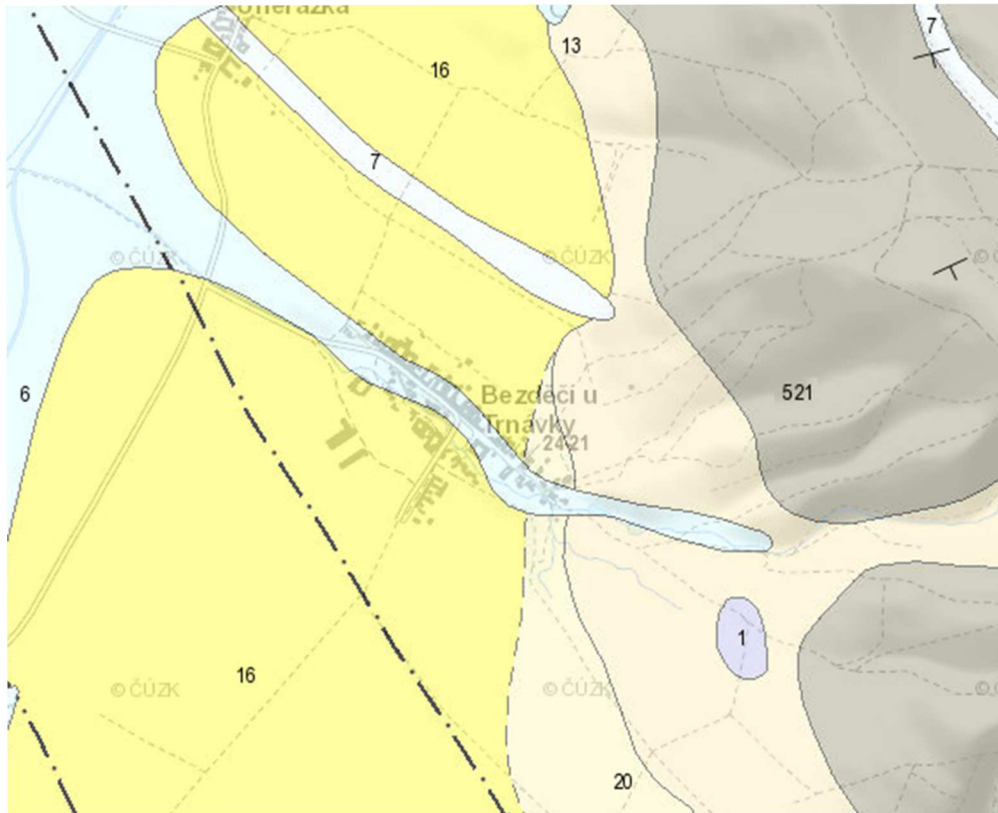
Obr. 16 Mapa dlouhodobé průměrné roční teploty vzduchu v ČR (zdroj ČHMÚ)

5.2.3 GEOLOGICKÉ POMĚRY

Oblast se nachází v Hercynském geomorfologickém systému, další členění viz tabulka níže.

Tab. 5 Geomorfologické zařazení území (zdroj www.mapy.geology.cz)

SYSTÉM	Hercynský
PROVINCIE	Česká vysočina
SUBPROVINCIE	Česko-moravská soustava
OBLAST	Brněnská vrchovina
CELEK	Boskovická brázda
PODCELEK	Malá Haná



Obr. 17 Geologická mapa (zdroj www.mapy.geology.cz)

LEGENDA:

- 1 - navážka
- 6 - nivní sediment
- 7 - smíšený sediment
- 13 - kamenitý až hlinito-kamenitý sediment
- 16 - spraš a sprašová hlína
- 20 - sediment deluvioeolitický
- 521 - břidlice, prachovce, droby

5.3 STÁVAJÍCÍ VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ

5.3.1 INFORMACE Z PRVKUK

VODOVOD

V místní části je vybudovaný vodovod, který je majetkem obce, ale provoz zajišťuje firma VHOS a.s. Moravská Třebová.

V roce 2000 bylo zásobeno 171 obyvatel, ve výhledu v roce 2020 se předpokládá se zásobením 181 obyvatel.

Zásobení pitnou vodou je zajištěno ze skupinového vodovodu Městečka Trnávka. Hlavním zdrojem pitné vody je skupina vrtů (Petrůvka, Plechtinec, Pacov).

Vlastní zásobení místní části je přímo z přívodního řadu pro obec Bezděčí u Trnávky. Z něho je zásobena rozvodná síť dolního tlakového pásma, zásobení horního tlakového pásma je pomocí AT stanice Bezděčí u Trnávky s akumulací, o objemu $1 \times 66 \text{ m}^3$, s max. hladinou 338,80,0 m n.m., která je doplňována vodou z rozvodné sítě dolního tlakového pásma.

Vodovod je v dobrém technickém stavu. V budoucích letech se budou provádět oprav vzniklých poruch. V řešeném období nebude v obci probíhat žádná nová výstavba.

Obec má vyřešený plán pro nouzové zásobování pitnou vodou za krizové situace.

KANALIZACE

V obci se nachází stará kanalizační síť, která byla vybudována v 70. letech. Kanalizace je postavena z betonových trub DN 400. Na stávající kanalizaci je napojeno cca 80 % obyvatel obce.

Kanalizace je v relativně dobrém stavu a v případě odkanalizování zbytku obce se bude uvažovat s napojením na stávající kanalizaci a pouze nevhodné úseky stávající kanalizace by prošli rekonstrukcí. V obci bude vybudovaná centrální čistírna odpadních vod, aktuálně obec nemá řešeno centrální čištění odpadních vod.

5.3.2 INFORMACE Z ÚZEMNÍHO PLÁNU

VODOVOD

Obec Bezděčí u Trnávky a její část Unerázka jsou zásobovány vodou ze skupinového vodovodu „Městečko Trnávka“, který zásobuje 12 samostatných spotřebišť. Vodovod je ve vlastnictví jednotlivých obcí a správě VHOS, a.s. Moravská Třebová.

Vodovodní sítě jsou mezi jednotlivými částmi propojeny a tvoří jeden funkční celek.

Ze zdroje vrtu je voda čerpána pomocí čerpací stanice do vodojemu Petrůvka I, o objemu $1 \times 420 \text{ m}^3$. Z tohoto vodojemu je voda dopravována zásobovacím řadem „C“, který odbočuje z řadu „A“ od vodojemu Petrůvka. Délka řadu je 2997 m a je proveden z litiny Js 150 mm. V obci Bezděčí u Trnávky ústí do ATS s akumulační nádrží o objemu 66 m^3 . Automatická tlaková stanice je vybavena dvěma čerpadly, tlakovou nádobou a kompresorem a ovládá výše položenou zástavbu obce Bezděčí u Trnávky. Z ATS je provedena odbočka z PE Js 110 mm v délce 160 m do zemědělského areálu. Rozvodné řady po obci jsou provedeny z PVC Js 90 a 110 mm.

Vodovodní síť je v dobrém technickém stavu, v budoucích letech se budou provádět opravy vzniklých poruch. Rozvodné řady – stávající litinové řady navrhujeme postupně vyměnit za řady z PVC, které budou rozšířeny o krátké vodovodní řady z PVC v lokalitách s předpokládanou výstavbou. Na tyto řady se napojí přípojky z PE pro jednotlivé obytné objekty. Navržené řady doporučujeme v rámci možností z okruhovat.

Ve vzdáleném výhledu se předpokládá rozšíření vodovodu z Bezděčí u Trnávky do Vražného s vybudováním vodojemu o objemu 50 m³.

KANALIZACE

V obci Bezděčí u Trnávky, včetně části Unerázka jsou vybudovány pouze dílčí stoky dešťové kanalizace z betonových trub DN 400, které jsou staré cca 75 let. Do této kanalizace je napojeno přes septiky cca 80 % obyvatel obce, zbývající obyvatelé mají žumpy s odvozem. Do kanalizace jsou vyústěny vody z drenážních systémů. Kanalizační stoky jsou vyústěny do místních vodotečí. Splaškové vody od obyvatel z jižní části Bezděčí u Trnávky jsou ze septiků vyústěny přímo do vodoteče.

Stav kanalizačních stok je různý.

Dešťová kanalizace

Stávající stoky budou rekonstruovány v původní trase, prodlouženy a doplněny o další úseky pro odvedení srážkových vod z lokalit nově navrhované výstavby bytové zástavby, občanské vybavenosti a průmyslu. Při provádění staveb, nebo jejich změn, nebo změn jejich užívání budou stavebníci povinni podle charakteru a účelu užívání těchto staveb zajistit vsakování nebo zadržování a odvádění povrchových vod vzniklých dopadem atmosférických srážek (dále jen „srážkové vody“) na tyto stavby v souladu se stavebním zákonem. To znamená, že stavby, z nichž budou odtékat srážkové vody, musí mít zajištěno jejich odvádění, pokud nebudou srážkové vody zadržovány pro další využití. Znečištění těchto vod závadnými látkami, nebo jejich nadměrné množství bude řešeno vhodnými technickými opatřeními, Odvádění srážkových vod bude zajištěno přednostně zasakováním. Nebude-li možné zasakování, bude zajištěno jejich zadržování a odvádění do povrchových vod; pokud nebude možné srážkové vody odvádět samostatně budou se odvádět jednotnou kanalizací. Ke stavbám, z kterých budou odtékat srážkové vody, tedy bude muset být proveden geologický průzkum, který zhodnotí možnost vsakování srážkových vod. Způsob, rozsah a výstupy geologického průzkumu pro vsakování podrobně stanoví ČSN 75 9010. V případě nedostatečné vsakovací schopnosti půdního a hominového prostředí v místě, prokázané geologickým průzkumem, je nutné buď kombinovat vsakování s regulovaným odtokem, nebo zajistit odvádění srážkových vod pouze regulovaným odtokem. Regulovaný odtok bude činit max. 3 l/s/ha odvodňované plochy, z provozních důvodů však min. 0,5 l/s, periodicita přetížení retenčního objemu max. 0,2 rok⁻¹.

Splašková kanalizace

Dle starší verze územního plánu bylo navrženo vybudování nové splaškové kanalizace o celkové délce sběračů cca 2,5 km, o profilu DN 250 vyústěné do mechanicko – biologické ČOV umístěné na pravém břehu potoka u obce Unerázka. Navržená ČOV byla mechanicko – biologickou čistírnou pro 300 obyvatel (výstavba 2020) s nízkou nebo středně zatěžovanou aktivací. Výstupní garantované parametry měli splňovat nařízení vlády č. 61 ze dne 29. ledna 2003 o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod.

Avšak v roce 2017 proběhlo jednání o změně územního plánu, kdy byla krajem schválena možnost vybudovat v obci vegetační čistírnu odpadních vod, která by splňovala příslušnou aktuální legislativu – nařízení vlády č. 401/2015 Sb. O ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod.

5.4 NÁVRH NOVÉ KČOV BEZDĚČÍ U TRNÁVKY

Na základě požadavku orgánů státní správy musela obec Bezděčí u Trnávky přistoupit k řešení likvidace odpadních vod v obci. Z jednání zastupitelstva a předběžných studií o možnostech řešení čištění odpadních vod, vzešlo jako optimální vybudování centrální obecní čistírny, která by fungovala na principu kořenových čistíren odpadních vod.

Dle požadavků zastupitelstva obce Bezděčí u Trnávky, byl proveden kompletní návrh kořenové čistírny, který vychází z nejnovějších dostupných technologií pro realizaci kořenových čistíren. Tato technologie bude splňovat příslušné legislativní požadavky (NV č. 401/2015 Sb.). KČOV Bezděčí u Trnávky a za podmínek pravidelné a správné údržby a provozování bude splňovat dokonce BAT limity na odtoku, což jsou nejpřísnější limity pro čistírny odpadních vod.

Konkrétní návrh podoby technologie kořenové čistírny zpracovaný do projektové dokumentace byl v celém rozsahu konzultován s projektantem kořenových čistíren odpadních vod, který má v tomto oboru letitou praxi. Navržený areál kořenové čistírny odpadních vod je situován na pozemcích p.č.338/1, p.č.338/3, p.č.337/2, p.č.452, p.č.518/2, p.č.339/3, p.č.518/1, p.č.339/1, p.č.337/1, k. ú. Bezděčí u Trnávky (603376). Tyto pozemky byly dle požadovaných kritérií, dostupnost pozemků, morfologie pozemků, blízkost vodního toku, vyhodnoceny jako nejvíce vhodné. Hlavní část celého návrhu se nachází na pozemku p.č. 338/1. Pozemek se nachází z morfologického hlediska pod obcí, což umožňuje gravitační napojení, bez nutnosti čerpání.



Obr. 18 Zájmová lokalita, k.ú. Bezděčín u Trnávky 603376 (zdroj cuzk.cz)

Stručný popis uspořádání technologie:

- Odlehčovací komora
- Lapák písku + česle
- Dešťová nádrž
- Srážení fosforu
- Štěrbínová usazovací nádrž
- Horizontální pole s vegetací
- Dávkovací šachty
- Vertikální filtr s vegetací
- Denitrifikační nádrž
- Měrný objekt
- Kalové hospodářství reed-bed

V následujících kapitolách bude popsáno navržené řešení vegetační čistírny odpadních vod, které bylo navrženo na základě všech dostupných podkladů. Finální podoba projektu je pak součástí příloh této diplomové práce a má podobu Projektové dokumentace pro stavební povolení a územní rozhodnutí.

5.5 OBJEKTY NA KČOV

Před zahájením výkopových prací budou na dotčené části pozemku odstraněny náletové dřeviny a sejmuta ornice v tl. 0,25 m a podorniční vrstva o tl. 0,10 m.

Čistírna odpadních vod se skládá z mechanického předčištění a biologického stupně, kdy hlavní čistící stupeň tvoří sestava mechanického předčištění (odlehčovací komora, česle,

lapák písku), štěrbínová usazovací nádrž, horizontální filtr s vegetací, vertikálního filtru s vegetací, vyčištěná voda bude dále odváděna do denitrifikační nádrže a objekt měrné šachty do místního bezejmeného potoka. Odlehčená voda bude při dešťových událostech z odlehčovací komory odváděna na objekt dešťové nádrže a dále do místního bezejmeného potoka.

Objekty zapuštěné do podzemí odlehčovací komora, lapák písku + česle, dešťová nádrž, štěrbínová usazovací nádrž budou z prefabrikovaného vodostavebního betonu, uloženého na podkladní železobetonové desce, dle pokynů výrobce prefabrikátů. Horizontální filtr tvoří stavební výkop o hloubce 1,65 m, která nevyžaduje pažení, svahy jsou budovány takovém sklonu, aby nedošlo k sesuvu zeminy. Dno i svahy jsou pokryty hydroizolací, chráněnou oboustranně pomocí geotextilie.

5.5.1 ODLEHČOVACÍ KOMORA

Technologický objekt odlehčovací komory slouží k odlehčení dešťových průtoků před objektem ČOV. Jedná se o prefabrikovanou betonovou nádrž SL 150 – 5,9 m³ z vodostavebního betonu o rozměrech 2550 x 2050 mm, a hloubce 1600 mm. Tloušťka stěn je 150 mm, objekt je umístěn na podkladní železobetonové podkladní betonové desce tl. 150 mm. Objekt odlehčovací komory je krytý uzamykatelným poklopem tvořeným dřevoplastovými kompozity.

Do odlehčovací komory je zaústěna jednotná kanalizace stoky DN 400. Přítokové kanalizační potrubí je v objektu odlehčovací komory napojeno na plastový otevřený půlkruhový žlab, který zajistí oddělení dešťových průtoků. Průtoky splaškové vody, které budou přiváděny dál na objekty ČOV protékají žlabem a jsou napojeny na vnitřní kanalizační síť čistírny PVC KG DN 200. Průtoky splaškové vody při bezdeštném stavu jsou $Q_{\text{hmax}} < 2,5$ l/s a v případě deště bude násobek bezdeštného průtoku podle ČSN 756402 hodnota $n = 2,0$, tzn. $Q_{\text{max}} = 5,0$ l/s. Splašková voda je na další objekt technologické linky lapák písku + česle.

Odhlečené dešťové průtoky jsou přiváděny potrubím PVC KD DN 300, umístěným ve spodní části objektu odlehčovací komory, na technologický objekt dešťové nádrže. Odlehčený dešťový průtok tedy prochází systémem čištění – dešťová nádrž se sedimentací a s plovoucími ostrovy pro zvýšení čistícího účinku.

DEŠŤOVÁ NÁDRŽ

Je prefabrikovaná betonová nádrž o rozměrech 6580 x 2450 mm, a hloubce 2930 mm. Tloušťka stěn nádrže je 180 mm. Betonový objekt je umístěn na podkladní železobetonové desce tl. 150 mm. Dešťová nádrž slouží k zachycení všech hrubých nečistot, které byly v objektu odlehčovací komory odlehčeny při dešťových událostech. Dále bude zachycovat znečištěné dešťové vody, aby nedocházelo k ohrožení místního recipientu. Zadržovaná voda bude čištěna přirozenou čistící schopností vody a dále

za využití plovoucí technologie na hladině, fungující na přírodních procesech. Přítokové potrubí na objekt dešťové nádrže je PVC KG DN 300, odtok z dešťové nádrže je přiveden do místního potoka. Na hladině v dešťové nádrži bude instalována čistící technologie, fungující na přírodních čistících procesech. Tato technologie bude umístěna na hladině v dešťové nádrži.

5.5.2 SDRUŽENÝ OBJEKT LAPÁKU PÍSKU A ČESLÍ

Pro zadržení větších plovoucích částic a pískových frakcí v odpadní vodě slouží sdružený objekt česlí a lapáku písku. Horizontální lapák písku je umístěný v prefabrikované betonové nádrži SL 150 – 5,9 m³ o rozměrech 2550 mm x 2050 mm, a hloubce 1600 mm. Tloušťka stěn je 150 mm, prefabrikovaný objekt je umístěn na podkladní železobetonové desce tl. 150 mm. Samotný trojúhelníkový žlab lapáku písku je vytvořený z plastových PP desek tl. 15 mm. Desky jsou ke stěnám přichyceny pomocí nerezových nebo plastových konzolí. Mezi deskami žlabu je průlina, která umožňuje pevným částicím posun do akumulárního prostoru, kde dochází k jejich zadržení. Průlina má šířku 80 mm. Žlab je vyztužen ztužujícími žebry, která jsou přivařena ke žlabu ve vzdálenosti nejvíce 440 mm. Objekt lapáku písku je krytý uzamykatelným poklopem tvořeným dřevoplastovými kompozity. Žlab je navržen tak aby vyhověl na všechny návrhové průtoky.

K prefabrikovanému objektu lapáku písku je přidružena monolitická betonová konstrukce pro umístění jemných česlí. Rozměry této betonové žlabovité konstrukce jsou 1 150 mm x 850 mm, hloubka je 810 mm. Samotné česlice jsou nerezové a odvodňovací žlab je z PP. Česle jsou ručně stírané s průlinami 20 mm, prostorem pro sběr shrabků je při horním okraji objektu. Objekt česlí je umístěn na podkladní železobetonové desce tl. 150 mm a zároveň obetonován, betonem C25/30 XC1, tl. Stěny 150 mm.

Objekt lapáku písku je krytý uzamykatelným poklopem tvořeným dřevoplastovými kompozity. Přítokové i odtokové potrubí z objektu je potrubí PVC KG DN 200. Detailnější specifikace objektu bude součástí dalšího stupně projektové dokumentace.

Před osazením jednotlivých nádrží je nutné se přesvědčit, že vnitřní prostory jsou bez cizích předmětů a srážkové vody. V případě přítomnosti srážkové vody je nutné před manipulací vodu vyčerpat. Dále je doporučeno překontrolovat celkový stav nádrží. Při zjištění případného poškození nádrže by se nemělo pokračovat v osazování, současně je potřeba kontaktovat dodavatele. Případnou opravu je nutno provést před osazením do výkopu. Před osazením na podkladní betonovou desku je nutné se přesvědčit, že na železobetonové podkladové desce nejsou žádné předměty, kameny, hlína apod. V případě, že železobetonová podkladní deska není čistá, je potřeba ji důkladně očistit (zamést, opláchnout). Po osazení jednotlivých komor do stavební jámy na železobetonovou podkladní desku se provede jejich napojení na přítokové potrubí DN

200 a zároveň na odtokové potrubí DN 200. Nádrž lapáku písku se může napouštět rovnoměrně vodou do výšky odtokového potrubí, současně je nutné provedení betonáže mezi stěnami nádrží. Při obsypu zeminou je nutné postupovat rovnoměrně po zhutňovaných vrstvách výšky 300 mm. Doporučuje se zeminu po vrstvách důkladně slít vodou (cca po 0,5 m), aby se zemina důkladně usadila. Zemina nesmí obsahovat kameny, stavební materiál a ostatní předměty, tyto by mohly mechanicky poškodit betonové nádrže. Při zasypávání je nutné postupně naplnit nádrže vodou.

Nádrž není dimenzovaná na případné další vnější zatížení způsobené tlakem vozidel, základem stavby apod. Vzdálenost fekálního vozu od nádrže bude řešit provozní řád čistírny.

SRÁŽENÍ FOSFORU

Technologie srážení fosforu se skládá se zásobníku na srážedlo PAX, které je tvořeno nádrží typu IBC o objemu 1,0 m³. Součástí objektu je malé dávkovací čerpadlo, které je poháněno fotovoltaickým panelem, umístěným na nerezové konstrukci nad nádrží. Čerpadlo je uloženo v uzamykatelném boxu, tvořeném nerezovým materiálem. Obdobně je chráněn měnič napětí a akumulátor elektrické energie. Zásobníkem na srážedlo je nadzemní objekt. Dávkovací čerpadlo je pomocí potrubí napojeno na objekt lapáku písku a česlí, kde je chemické srážedlo dávkováno. Po nadávkování, je uvažována reakční doba, která bude volena tak aby docházelo ke srážení až ve šterbinové nádrži, množství srážedla bude vyladěno ve zkušebním provozu čistírny.

5.5.3 ŠTĚRBINOVÁ NÁDRŽ

Jako šterbinová usazovací nádrž je navržena soustava dvou paralelních toků, přičemž každý je tvořen jednou prefabrikovanou nádrží SL 290,0 – 40,0 m³. Návrh tělesa šterbinové usazovací nádrže vychází ČSN 75 6402: Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel. Principem šterbinové usazovací nádrže je zadržetí co možná největšího množství nerozpuštěných látek, zadržovaných prostřednictvím sedimentace, doprovázené anaerobním rozkladem akumulovaného znečištění. Pro správnou funkci šterbinové usazovací nádrže je potřeba dodržet zejména dobu zdržení odpadní vody při maximálním možném hydraulickém zatížení.

Kompletní objekt šterbinové usazovací nádrže se tedy skládá ze dvou dílčích šterbinových nádrží, zapojených paralelně vedle sebe, které jsou technologicky a konstrukčně naprosto totožné. V prostoru nádrže dochází k usazování kalu a nerozpuštěných látek. Nádrže jsou betonové prefabrikáty o plošných rozměrech 6580 mm x 2450 mm a výšce 2930 mm, ocelkovém užitém objemu 31,4 m³. Tloušťka stěn je 180 mm. Celkový užitný objem obou nádrží je 62,8 m³.

Každá nádrž musí mít zajištěn (podle ČSN 75 6402) vstup do nádrže, aby byla možná kontrola správné funkce šterbinové usazovací nádrže, případně sledování množství

akumulovaného kalu v usazovacím prostoru. Jako kryt šterbinové nádrže jsou zvoleny dřevoplastové kompozity o rozměrech 140 mm x 80 mm, které se vedle sebe budou skládat na nerezové jekly. Toto řešení bude opatřeno uzamykatelným zařízením, aby byly zaručeny požadavky na bezpečnost. Konkrétní specifikace bude upřesněna v dalších stupních projektové dokumentace.

Zároveň je každá nádrž opatřena normou stěnou (opět podle ČSN 75 6402) prostřednictvím svisle umístěných normých stěn na přítoku i odtoku z nádrže. Přesné konstrukční řešení bude řešeno v dalším stupni projektové dokumentace.

Do každé nádrže bude po nainstalování PP žlab, který bude sloužit jako sedimentační prostor pro znečištění. Žlab bude vyroben z PP desek, které budou svařované na místě dle přiložené projektové dokumentace. Žlab bude zkonstruován mimo těleso nádrže. Žlab bude vyjímatelný z prostoru šterbinové nádrže, žlab je vyjímatelný z důvodu eliminace poškození žlabu při odkalování šterbinové nádrže. Uchycení žlabu bude specifikováno v dalších stupních projektové dokumentace.

Výpočet šterbinové usazovací nádrže:

Průměrný denní přítok OV:

$$Q_{24} = 27,5 + 8,25 = 35,75 \text{ m}^3/\text{d} = 1,49 \text{ m}^3/\text{h}$$

Potřebný sedimentační prostor:

T_{MIN} – doporučená doba zdržení = 5 hodin

$$T = Q_{24} \times T_{\text{MIN}} = 1,49 \times 5 = 7,5 \text{ m}^3$$

$$7,5 \text{ m}^3 = 2 \text{ nádrže} \Rightarrow 3,75 \text{ m}^3 = \text{nádrž}$$

Usazovací plocha:

Délka nádrže – dvě normé stěny $L = 6,28 - 0,6 = 5,68 \text{ m}$

$$S_{\text{USAZ.}} = 3,75 / 5,68 = 0,66 \text{ m}^2$$

Navrhují $S_N = 0,83 \text{ m}^2$

Skutečná doba zdržení:

$$T_{\text{SKUT.}} = (S_N \times L \times 2) / Q_{24} = (0,83 \times 5,68 \times 2) / 1,49 = 6,3 \text{ h}$$

$$T_{\text{SKUT.}} > T_{\text{MIN}}$$

$$6,3 \text{ h} > 5 \text{ h} \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

Plnění kalového prostoru:

Specifická produkce 1 EO - $S_p = 150 \text{ l/EO/rok} = 0,00041 \text{ l/EO/den}$

Kalový prostor $S_{\text{KAL}} = 1,83 \text{ m}^2$

$$V_{KAL} = S_{KAL} \times L = 1,83 \times 6,28 = 11,49 \text{ m}^3$$

$$T_{VYVÁŽENÍ} = V_{KAL} / (S_p \times 220) = 11,49 / (0,00041 \times 220) = 127 \text{ dní}$$

Přibližně za 130 dní se naplní kalový prostor, z toho vyplývá, že štěrbínová nádrž bude odkalována minimálně 3krát ročně. Maximální hladina kalu je uvažována 450 mm pod spodní hranou štěrbiny.

Jednotlivé prefabrikované nádrže, které tvoří systém štěrbínové usazovací nádrže, která musí být umístěné na urovnaném terénu, na podkladní železobetonové desce tl. 150 mm vyztužené KARI sítí. Rozměry základové desky pro celý objekt štěrbínové usazovací nádrže, tvořeného dvěma paralelními toky vedle sebe, jsou 7 080 x 5 400 mm.

Před osazením jednotlivých komor štěrbínové usazovací nádrže je nutné se přesvědčit, že vnitřní prostory jsou bez cizích předmětů a srážkové vody. V případě přítomnosti srážkové vody je nutné před manipulací vodu vyčerpát. Dále je doporučeno překontrolovat celkový stav nádrží. Při zjištění případného poškození nádrže by se nemělo pokračovat v osazování, současně je potřeba kontaktovat dodavatele. Případnou opravu je nutno provést před osazením do výkopu. Před osazením na podkladní betonovou desku je nutné se přesvědčit, že na železobetonové podkladové desce nejsou žádné předměty, kameny, hlína apod. V případě, že železobetonová podkladní deska není čistá, je potřeba ji důkladně očistit (zamést, opláchnout). Po osazení jednotlivých komor do stavební jámy na železobetonovou podkladní desku se provede jejich napojení na přítokové potrubí DN 110 a zároveň na odtokové potrubí DN 110. Nádrže štěrbínové usazovací nádrže se můžou napouštět rovnoměrně vodou do výšky odtokového potrubí, současně je nutné provedení betonáže mezi stěnami nádrží. Při obsypu zeminou je nutné postupovat rovnoměrně po zhutňovaných vrstvách výšky 300 mm. Doporučuje se zeminu po vrstvách důkladně slít vodou (cca po 0,5 m), aby se zemina důkladně usadila. Zemina nesmí obsahovat kameny, stavební materiál a ostatní předměty, tyto by mohly mechanicky poškodit betonové nádrže. Při zasypávání je nutné postupně naplnit nádrže vodou.

Nádrž není dimenzovaná na případné další vnější zatížení způsobené tlakem vozidel, základem stavby apod. Vzdálenost fekálního vozu od nádrže bude řešit provozní řád čistírny.

5.5.4 HORIZONTÁLNÍ FILTR

Čistící stupeň – horizontální filtr s vegetací, je zemní nádrž (výkopová jáma) o celkové povrchové ploše 330 m². Horizontální filtr je rozdělen na dva horizontální filtry po 165 m². Objekt horizontálního filtru je odizolován od okolního terénu. Samotná hydroizolace odpadní vody od podloží je realizována fólií PVC o tl. 1,0 mm, oboustranně kryté netkanou geotextilií s hustotou minimálně 300 g/ m².

Podklad pod touto hydroizolací musí být zarovnan pískovým podsypem o výšce cca 50 mm. Na hydroizolačním podkladu je umístěno drenážní potrubí DN 110 pro odtok vyčištěné odpadní vody z prostředí filtru. Filtrační vrstva horizontálního filtru tvoří hlavní čistící zónu. Hlavní filtrační náplň horizontálního filtru je tvořena praným drceným šterkem 4/8 mm o výšce 1400 mm. Svrchní vrstva o výšce 100 mm je tvořena praným pohledovým kačírskem frakce 4/8 mm. Celková výška filtrační náplně je 1,5 m.

Na horizontální filtr je odpadní voda přiváděna pomocí přiváděcího PVC KG DN 110 a to pouze na jedno místo na začátek filtru, kde je rovnoměrně rozděleno na celou plochu horizontálního filtru. Drenážní potrubí z horizontálního filtru bude umístěno uvnitř zemní nádrže nad hydroizolační fólií v hloubce 1,5 m. Drenážní potrubí bude obsypáno vrstvou šterku fr. 8/16P cca 300 mm. Odpadní voda bude z horizontálního filtru odtékat odtokovým potrubím, které bude vyústěno v revizní šachtě. Odtokové potrubí bude z horizontálního filtru odvedeno v hloubce 1,05 m. Oba horizontální filtry mají jednu výkopovou jámu (zemní nádrž), která bude v půlce rozdělena pomocí PVC fólie o tl. 1,0 mm na dva horizontální filtry. Uprostřed filtrů bude postavena provizorní dřevěná konstrukce, přes kterou bude přeložena PVC fólie, která bude rozdělovat zemní nádrž na dva horizontální filtry, aby nedocházelo k mísení odpadní vody v jednotlivých nádržích.

Povrch horizontálního filtru je osázen mokřadní vegetací, výběr vegetace by měl respektovat vegetaci typickou pro Českou republiku. Navržena je výsadba rostlin v počtu 4 ks/m², doporučenou mokřadní rostlinou rákos obecný. Hlavní funkce rostlin je ochrana rozvodného potrubí proti slunečnímu záření a klimatickým podmínkám. Mezi vedlejší funkce patří vnos kyslíku. V neposlední řadě rostliny budou do nadzemní části akumulovat přibližně 10 % celkového přítokového množství živin (N, P) a kořenovým systémem zajistí vhodnější hydraulické podmínky pro rozdělení vody ve filtračním materiálu.

5.5.5 DÁVKOVACÍ ŠACHTY

Dávkovací šachty jsou speciální typy podzemních šachet, které rovnoměrně rozděleny na dvě oddělené komory. Každá z navržených dávkovacích šachet je plastová, kruhová nádrž o průměru 1,6 m, vnitřní prostor je rozdělený na 2 komory o stejném objemu, celkem vznikají prostřednictvím dvou šachet 4 komory (každá připojena na dílčí část vertikálního filtru). V každé z komor je odtokové potrubí, na němž je instalováno speciální výpustné zařízení, které v intervalech dávkuje odpadní vodu na plochu vertikálního filtru. Výpustné zařízení funguje bez přívodu elektrické energie, pouze na plovákovém principu. Odpadní voda je na vertikální filtr dávkována v samostatných dávkách, vždy při dosažení určitého objemu (hladiny) odpadní vody v každé z komor dávkovací šachty. Celkem jsou tedy pro navržené řešení potřeba 4 kusy vypouštěcích zařízení, v každé z dávkovacích šachet je umístěno po 2 kusech (vždy v jedné komoře 1 ks). Z každé dávkovací šachty, respektive z každé komory je vyvedeno rozvodné potrubí PP-HT DN 100, na které je napojen systém rozvodného distribučního potrubí

DN 50, které zajišťuje rovnoměrné dávkování odpadní vody na povrch vertikálního filtru. Systém rozvodného potrubí PP-HT DN 50, je při spodním okraji opatřen otvory velikosti cca 5 mm, kterými je tlakem dávkována voda na filtr. Výška každé z dávkovacích šachet je 1,75 m. Dávkovací šachty jsou podzemní objekty. Viditelný je pouze vstupní poklop dávkovací šachty, který je uzamykatelný. Dávkovací šachta je celá zapuštěná do země, aby nedocházelo k promrzání vlivem venkovních teplot, především v zimním období. Obsypáním šachty je zajištěn minimální negativní vliv na vzhled čistírny, je tak zamezeno neestetickému vzhledu.

Dávkovací šachta bude obestavena vegetačními pískovými vaky, které zajistí dostatečnou stabilitu okolního svahu proti sesuvu a dále zajistí přírodní vzhled.

5.5.6 VERTIKÁLNÍ FILTR

Hlavní čistící stupeň – vertikální filtr s vegetací, je zemní nádrž (výkopová jáma) o celkové povrchové ploše 400 m². vertikální filtr je rozdělen na dva vertikální filtry po 200 m², každý vertikální filtr je dále rozdělen na 2 pole o ploše 100 m². Objekt vertikálního filtru je odizolován od okolního terénu. Samotná hydroizolace odpadní vody od podloží je realizována fólií PVC o tl. 1,0 mm, oboustranně kryté netkanou geotextilií s hustotou minimálně 300 g/m².

Podklad pod touto hydroizolací musí být zarovnan pískovým podsypem o výšce cca 50 mm. Na hydroizolační fólii je umístěno drenážní potrubí DN 80 pro odtok vyčištěné odpadní vody z prostředí filtru. Drenážní potrubí je od sebe osově vzdálené 2000 mm a je rozloženo po celé ploše vertikálního filtru. Filtrační vrstva vertikálního filtru tvoří hlavní čistící zónu. Filtrační náplň vertikálního filtru je ve směru ode dna tvořena praným říčním štěrkem 4/8 mm o výšce 100 mm (drenážní vrstva), ve které je umístěno drenážní potrubí DN 80. Hlavní filtrační vrstva o tloušťce 750 mm má frakci 0/4P (0,2 < d₁₀ < 0,4) mm a je tvořena praným štěrkopískem. Svrchní vrstva o výšce 100 mm je tvořena praným pohledovým kačírskem frakce 4/8 mm. Celková výška filtrační náplně je 0,95 m.

Vertikální filtr je skrápěn odpadní vodou pomocí systému rozvodného PP-HT DN 100 a distribučního potrubí PP-HT DN 50 potrubí v několika denních dávkách tak, že filtrační náplň není vodou zatopená, ale vytváří jen vlhký substrát. Distribuční potrubí je opatřeno otvory velikosti 5 mm, vzdálenost jednotlivých otvoru je 500 mm. Odtokové potrubí z vertikálního filtru bude umístěno uvnitř zemní nádrže nad hydroizolační fólií v hloubce 0,95 m. Odpadní voda bude z vertikálního filtru odtékat systémem drenážního potrubí, které bude vyústěno v revizní šachtě. Z důvodu lepší a rovnoměrné distribuce odpadní vody bude celá plocha dvou vertikálních filtrů – 400 m² rozdělena do dílčích částí – na celkem 4 pole, každé o ploše 100 m². Každé z těchto polí bude zásobenou z jedné dílčí komory dávkovací šachty pomocí výpustného zařízení. Dílčí rozdělení se týká pouze distribučního potrubí, avšak celý objekt jednoho vertikálního pole bude řešen jako jeden výkop se souvislou izolací, jednotným drenážním systémem a filtrem.

Distribuční potrubí podle výkresové dokumentace, je realizováno z materiálu PP-HT DN 50 (polypropylén pro vnitřní kanalizace). Přívodní rozvodné potrubí má vnitřní průměr DN100. Ve spodní části distribučního potrubí se nachází otvory o průměru $d = 5$ mm po vzdálenosti 500 mm. Vzájemná vzdálenost rozdělovacího potrubí je 800 mm, délka potrubí je taková, aby bylo ukončeno cca 500 mm od okraje filtračního materiálu (v půdorysném pohledu). Podrobnosti k uložení a uspořádání jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci.

Povrch vertikálního filtru je osázen mokřadní vegetací, výběr vegetace by měl respektovat vegetaci typickou pro Českou republiku. Navržena je výsadba rostlin v počtu 4 ks/m^2 , doporučenou mokřadní rostlinou rákos obecný. Hlavní funkce rostlin je ochrana rozvodného potrubí proti slunečnímu záření a klimatickým podmínkám. Mezi vedlejší funkce patří vnos kyslíku. V neposlední řadě rostliny budou do nadzemní části akumulovat přibližně 10 % celkového přítokového množství živin (N, P) a kořenovým systémem zajistí vhodnější hydraulické podmínky pro rozdělení vody ve filtračním materiálu.

5.5.7 DENITRIFIKAČNÍ NÁDRŽ

Denitrifikační nádrž je osazena jako terciální čistící stupeň. Slouží pro navození denitrifikačních procesů, které přeměňují dusičnany na oxidy dusíku a dále na elementární dusík, čímž dochází k jeho odbourání z odpadní vody. Objekt bude řešen z důvodů potřeby odbourání celkového dusíku, před vrácením vody do blízkého recipientu.

Objekt denitrifikační nádrže je odizolován od okolního terénu. Samotná hydroizolace odpadní vody od podloží je realizována fólií PVC o tl. 1,0 mm, oboustranně kryté netkanou geotextilií s hustotou minimálně 300 g/m^2 . Denitrifikační nádrž je zemní nádrž (výkopová jáma) o celkové povrchové ploše $97,2 \text{ m}^2$.

Podklad pod touto hydroizolací musí být zarovnan pískovým podsypem o výšce cca 50 mm. Na hydroizolačním podkladu je umístěno drenážní potrubí DN 80 pro odtok vyčištěné odpadní vody z prostředí nádrže. Filtrační vrstva denitrifikační nádrže tvoří hlavní čistící zónu. Hlavní filtrační náplň denitrifikační nádrže je tvořena biologickým materiálem – dřevní štěpkou o výšce 1500 mm. Svrchní vrstva o výšce 200 mm je tvořena stejnou dřevní štěpkou, tato vrstva není průtočná. Celková výška filtrační náplně je 1,7 m. Na denitrifikační nádrž je odpadní voda přiváděna pomocí přiváděcího PP-HT DN 80 a to pouze na jedno místo na začátek filtru, kde je rovnoměrně rozděleno na celou plochu denitrifikační nádrže. Drenážní potrubí z denitrifikační nádrže bude umístěno uvnitř zemní nádrže nad hydroizolační fólií v hloubce 1,7 m. Odpadní voda bude z denitrifikační nádrže odtékat potrubím do revizní šachty za denitrifikační nádrží, kde bude vyústěna. Pomocí flexibilní hadice bude zajištěna možnost manipulace s hladinou vody v denitrifikační nádrži. Napojení flexibilní hadice bude provedeno

v revizní šachtě za denitrifikační nádrží. Zároveň tak bude v případě nutnosti možnost úplného vypuštění denitrifikační nádrže. Z revizní šachty bude vyčištěná odpadní voda odtékat na měrný objekt.

5.5.8 MĚRNÝ OBJEKT

Měrným objektem je plastová šachta, resp. kanalizační šachta DN 1200 je vyrobená z UV stabilizovaného polypropylénu a je vybavena Parshallovým žlabem s čidlem pro snímání výšky hladiny. Připojovací nátrubky jsou voleny DN 200. Strop šachy DN1000 je umístěn 210 mm pod horní hranou šachty a je s poklopem 60/60 cm (tř. B125 ČSN EN 124). Vstup na dno šachty je zajištěn nerezovým žebříkem (hranaté stupačky). Vnitřní prostor a prostor okolo šachty se betonuje betonem C20/25 V4. Ultrazvukové čidlo je napájeno autobaterií se zdrojem elektřiny prostřednictvím fotovoltaického panelu. Snímač hladiny je doplněn GSM modulem pro odesílání dat.

5.5.9 KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

Kalové hospodářství je tvořené jedním kalovým polem, na které bude dávková kal vyčerpaný ze šterbinové usazovací nádrže s předpokládaným intervalem 2-4 x ročně. Kalové hospodářství je tvořeno kalovým polem, založeným na systému reed-bed o ploše 154,6 m². Kalové pole je ohraničené vegetačními pískovými vaky, které jsou umístěné na podkladní vrstvě šterku. Objekt kalového pole je izolovaný plastovou folií o tl. 1,0 mm, krytou z obou stran geotextílií. Pískové vaky jsou na sebe poskládány do výšky nad předpokládanou hladinu kalu, v případě potřeby je vždy možné přistavět další řadu z pískových vaků, aby se zvětšil objem na kal ze šterbinové nádrže. Plocha kalového pole je osázená mokřadní vegetací. Vegetační pískové vaky mají speciální náplň, která obsahuje travní směs, která následně zajistí lepší začlenění do krajiny.

Předpokládaný provoz při standardním zatížení zajistí plnění funkce (odvodňování, stabilizace, mineralizace) po dobu 15 let. Při procesu odvodnění bude odpadní voda sváděna zpět do rozdělovací šachty před šterbinová usazovací nádrž. Každá dávka anaerobního kalu o výšce 30 – 40 cm bude odvodněním snížena na 2 – 3 cm.

5.6 NÁVRHOVÉ PARAMETRY KČOV

Kořenová čistírna odpadních vod svým charakterem kladně ovlivňuje životní prostředí, umožňující další rozvoj obce. Provoz ČOV při správné obsluze nezpůsobuje žádné hygienické ani pachové závady.

Množství odpadních vod přitékajících na čistírnu, je stěžejní údaj pro kvalitní návrh kořenové čistírny odpadních vod. Ovlivňuje množství přitékajícího znečištění, což je jeden z hlavních údajů pro kvalitní návrh. Průtok a množství znečištění určují velikost, popřípadě čistící účinnost jednotlivých objektů.

Množství odpadních vod:

Průměrný denní přítok OV – splašky (1 EO = 125 l/d):

$$Q_{24,m} = 220 \text{ EO} \times 0,125 \text{ m}^3/\text{d} = 27,5 \text{ m}^3/\text{d} = 1,15 \text{ m}^3/\text{h} = 0,32 \text{ l/s}$$

Denní přítok balastních vod po úpravě kanalizace 30 %:

$$Q_B = 8,25 \text{ m}^3/\text{d} = 0,34 \text{ m}^3/\text{h} = 0,10 \text{ l/s}$$

Průměrný denní přítok OV:

$$Q_{24} = 27,5 + 8,25 = 35,75 \text{ m}^3/\text{d} = 1,49 \text{ m}^3/\text{h} = 0,41 \text{ l/s}$$

Maximální denní přítok OV:

$$Q_d = k_d \times Q_{24,m} + Q_B = 1,5 \times 27,5 + 8,25 = 49,5 \text{ m}^3/\text{d} = 2,06 \text{ m}^3/\text{h} = 0,57 \text{ l/s}$$

Maximální hodinový přítok OV:

$$Q_{h,max} = (k_d \times k_h \times Q_{24,m} + Q_B)/24 = (1,5 \times 5,0 \times 27,5 + 8,25)/24 = 8,94 \text{ m}^3/\text{h} = 2,5 \text{ l/s}$$

Maximální hodinový přítok OV – přívalové vody

$$Q_{h,děšť} = (2 \times Q_{h,max}) = (2 \times 8,94) = 17,88 \text{ m}^3/\text{h} = 5,0 \text{ l/s}$$

Tab. 6 Přehled množství odpadních vod na kořenové čistírně odpadních vod Bezděčí u Trnávky

	[m ³ .d ⁻¹]	[m ³ .h ⁻¹]	[l.s ⁻¹]	[³ .r ⁻¹]
Q ₂₄	35,75	1,49	0,41	-
Q _d	49,5	2,06	0,57	-
Q _{h,max}	-	8,94	2,5	-
Q _{rok}	-	-	-	13049

Tab. 7 Specifická produkce znečištění v g/d na 1 EO

SPECIFICKÁ PRODUKCE ZNEČIŠTĚNÍ				
BSK ₅	CHSK	NL	N _{celk}	P _{celk}
[g/d]	[g/d]	[g/d]	[g/d]	[g/d]
60	120	55	11	2,5

Tab. 8 Koncentrace znečištění na přítoku na KČOV Bezděčí u Trnávky

KONCENTRACE ZNEČIŠTĚNÍ, PŘÍTOK NA ČOV				
BSK ₅	CHSK	NL	N _{celk}	P _{celk}
[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
369	738	338	68	15

V tabulce č.8 jsou uvedeny hodnoty znečištění, které jsou v odpadní vodě na přítoku na KČOV. Následující znečištění je nutné vyčistit na hodnoty odpovídající platné legislativě, a to nařízení vlády č. 401/2015 Sb. (více viz. kapitola 3.2 Legislativa). Každý čistící stupeň má jisté čistící účinnosti, všechny čistící stupně následně udávají dohromady celkovou čistící účinnost. Čistící účinnosti jednotlivých čistících stupňů vycházejí z nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Pro výpočet zbylého znečištění za jednotlivými stupni jsou využívány průměrné hodnoty čistící účinnosti pro daný objekt.

ŠTĚRBINOVÁ USAZOVACÍ NÁDRŽ

Tab. 9 Čistící účinnost štěrbínové usazovací nádrže

ÚČINNOST ŠTĚRBINOVÉ USAZOVACÍ NÁDRŽE					
	BSK₅	CHSK	NL	N-NH₄⁺	P_{celk}
	%	%	%	%	%
MINIMÁLNÍ	20	10	30	0	0
MAXIMÁLNÍ	30	30	60	5	8
PRŮMĚRNÁ	25	20	45	2,5	4

Tab. 10 Zbytkové znečištění za štěrbínovou usazovací nádrží

HODNOTY ZNEČIŠTĚNÍ ZA SEDIMENTAČNÍ NÁDRŽÍ					
	BSK₅	CHSK	NL	N-NH₄⁺	P_{celk}
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
MINIMÁLNÍ	295,4	664,6	236,9	67,7	15,4
MAXIMÁLNÍ	258,5	516,9	135,4	64,3	14,2
PRŮMĚRNÁ	276,9	590,8	186,2	66,0	14,8

HORIZONTÁLNÍ FILTR S VEGETACÍ

Tab. 11 Čistící účinnost horizontálního filtru s vegetací

ÚČINNOST HORIZONTÁLNÍHO FILTRU S VEGETACÍ					
	BSK₅	CHSK	NL	N-NH₄⁺	P_{celk}
	%	%	%	%	%
MINIMÁLNÍ	40	50	65	5	5
MAXIMÁLNÍ	95	90	95	60	25
PRŮMĚRNÁ	67,5	70	80	32,5	15

Tab. 12 Zbytkové znečištění za horizontálním filtrem s vegetací

HODNOTY ZNEČIŠTĚNÍ ZA HORIZONTÁLNÍM FILTREM					
	BSK₅	CHSK	NL	N-NH₄⁺	P_{celk}
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
MINIMÁLNÍ	177,2	332,3	82,9	64,3	14,6
MAXIMÁLNÍ	12,9	51,7	6,8	25,7	10,6
PRŮMĚRNÁ	90,0	177,2	37,2	44,6	12,6

VERTIKÁLNÍ FILTR S VEGETACÍ

Tab. 13 Čistící účinnosti vertikálního filtru s vegetací

ÚČINNOST VERTIKÁLNÍHO FILTRU S VEGETACÍ					
	BSK₅	CHSK	NL	N-NH₄⁺	P_{celk}
	%	%	%	%	%
MINIMÁLNÍ	75	70	85	50	5
MAXIMÁLNÍ	98	97	99	99	25
PRŮMĚRNÁ	86,5	83,5	92	74,5	15

Tab. 14 Zbytkové znečištění za vertikálním filtrem s vegetací

	HODNOTY ZNEČIŠTĚNÍ ZA VERTIKÁLNÍM FILTREM				
	BSK₅	CHSK	NL	N-NH₄⁺	P_{celk}
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
MINIMÁLNÍ	44,3	99,7	12,4	32,2	13,9
MAXIMÁLNÍ	0,3	1,6	0,1	0,3	8,0
PRŮMĚRNÁ	12,2	29,2	3,0	11,4	10,7

V tabulce č.14 máme zbytkové znečištění, které musí být nižší než nejvyšší přípustné znečištění dle platného nařízení vlády č. 401/2015 Sb. (více viz. kapitola 3.2 LEGISLAIVA).

5.7 POVOLENÉ LIMITY NA VYPOUŠTĚNÍ ODPADNÍ VODY

Povolené limity pro vypouštění odpadní vody jsou dány příslušnou legislativou, pro náš případ platí nařízení vlády č. 401/2015 Sb., které udává přípustné a maximální hodnoty znečištění.

Tab. 15 Emisní standardy ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l dle NV č. 401/2015 Sb.

Kapacita ČOV (EO)	CHSK_{CR}		BSK₅		NL		N-NH₄⁺		N_{CELK}		P_{CELK}	
	p	m	p	m	p	m	p	m	p	m	p	m
< 500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500 - 2000	125	180	30	60	35	70	20	40	-	-	-	-
"p" - přípustné hodnoty "m" - maximální hodnoty												

Když porovnáme vypouštěné zbytkové znečištění (dle výpočtu dle ČSN 756402), za vertikálním filtrem z tab.14 s přípustnými a maximálními hodnotami v tab.15 zjistíme že, technologie kořenové čistírny dokáže bez problému vyčistit odpadní komunální vody. Bezděčí u Trnávky spadá svojí velikostí v počtu ekvivalentních obyvatel do kategorie obcí < 500 EO. Námi navrhovaná technologie kořenové čistírny odpadních vod splňuje limity pro kategorii obcí o řád vyšší, to znamená 500 – 2000 EO.

Vypouštěné zbytkové znečištění odpadních vod (při výpočtu dle ČSN 756402), uvedeny průměrné hodnoty:

Tab. 16 Vypouštěné zbytkové znečištění odpadních vod (při výpočtu dle ČSN 756402), uvedeny průměrné hodnoty

UKAZATEL	mg/l	kg/d	kg/r
CHSK _{Cr}	29,2	1,03	378
BSK ₅	12,2	0,43	158
N-NH ₄	11,4	0,40	147
NL	3	0,11	39

Tyto hodnoty splňují i přísnější limity z Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., příl. č. 7, při použití nejlepší dostupné technologie při zneškodňování městských odpadních vod (BAT) pro kategorii ČOV 501 < 2000 EO. To znamená, že navržené řešení bude splňovat přísnější kritéria pro vyšší kategorii čistíren.

Tab. 17 Hodnoty znečištění dle NV. č. 401/2015 Sb., příl. 7 BAT-limity

BSK ₅		CHSK _{Cr}		NL		N-NH ₄ ⁺		P _{celk.}
[mg/l]		[mg/l]		[mg/l]		[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
p	m	p	m	p	m	p	m	-
22	30	75	140	25	30	12	20	-
"p" - přípustné hodnoty								
"m" - maximální hodnoty								

Odtoková koncentrace celkového fosforu (P_c) bude upravována prostřednictvím technického prvku, resp. dávkováním koagulantu na přítoku před lapákem písku. Během zkušebního provozu bude upravováno množství koagulantu na požadované odtokové množství v konzultaci se správcem vodního toku.

Vzhledem k lokalizaci a rozsahu záměru, ke způsobu využití a individuálního charakteru vypouštění odpadních vod by případný dopad na okolní ekosystémy, chráněná území, chráněné druhy živočichů a rostlin z hlediska změny vzhledu, složení a vývoje vegetačního pokryvu a skladby ekosystémů byl spíše zanedbatelný.

6 ZÁVĚR

Dle stanovených cílů je v první části diplomové práce sepsána stručná teoretická rešerše věnující se problematice kořenových čistíren. Rešerše uvádí informace o jednotlivých objektech na KČOV. Postupně jsou popsány objekty mechanického předčištění (odlehčovací komora, lapák písku, česle, šterbinová usazovací nádrž), a objekty biologického čištění (horizontální filtr s vegetací, vertikální filtr s vegetací, stabilizační a denitrifikační nádrž). Uvedeny jsou základní informace o procesech (nitrifikace, denitrifikace atd.) probíhajících v jednotlivých objektech KČOV, které mají za úkol odbourávat látky a znečištění v odpadní vodě (BSK_5 , $CHSK_{Cr}$, NL a $N-NH_4^+$). Dále seznamuje s příslušnou legislativou NV č. 401/2015 Sb. O ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, která určuje čistící účinnosti a limity vypouštěného znečištění.

Praktická část je řešena jako komplexní návrh kořenové čistírny odpadních vod, který vychází z popisu stávajícího stavu, který byl proveden před samotným návrhem. V popisu území jsou popsány informace týkající se stávající vodohospodářské infrastruktury (územní plán, PRVKUK), popisu morfologie a geologie území a obecné informace o obci. Samotná čistírna je navržena z mechanického předčištění, biologického předčištění a terciálního čistícího stupně. Mechanické předčištění ve složení odlehčovací komora, sdružený objekt lapáku písku a jemných česlí, šterbinová usazovací nádrž. Biologické čištění je složeno z horizontálního filtru s vegetací a vertikálního filtru s vegetací. Jako terciální stupeň dočištění zde byla zvolena denitrifikační nádrž, která má za úkol snižovat hodnoty celkového dusíku. Pro čistírnu jsou určující hodnoty znečištění na odtoku, pro takto navrženou čistírnu jsou hodnoty znečištění na odtoku hluboko pod požadovanými hodnotami, určené příslušnou legislativou NV č. 401/2015 Sb. Hodnoty na odtoku budou dokonce splňovat i přísnější limity z Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., příl. č. 7, takzvané „BAT-limity“ pro kategorii ČOV 501 < 2000 EO. To znamená, že navržené řešení bude splňovat přísnější kritéria pro vyšší kategorii čistíren.

V rámci diplomové práce jsem dále zpracoval projektovou dokumentaci vypracovanou v rozsahu vyhlášky č. 499/2006 Sb. pro vydání společného povolení, zpracovaná jako samostatná příloha diplomové práce. Věřím, že diplomová práce splnila všechny výše uvedené cíle a poskytuje dostatečné informace o návrhu projektové dokumentace kořenové čistírny Bezděčí u Trnávky. Doufám, že na základě této projektové dokumentace dojde ke schválení povolení stavby a následně i k realizaci.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ODBORNÉ ČLÁNKY A PUBLIKACE

1. ABOU-ELELA, SOHAIR I. a MOHAMED S. HELLAL. Municipal wastewater treatment using vertical flow constructed wetlands planted with Canna, Phragmites and Cyprus. *Ecological Engineering*. 2012, vol. 47, s. 209-213. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.06.044>.
2. GUIPINGFU, JIAHONGZHANG, WEICHEN, ZHUANGRUICHEN, Medium clogging and the dynamics of organic matter accumulation in constructed wetlands, *Ecological Engineering*, Volume 60, November 2013, Pages 393-398, ISSN 0925-8574, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.012>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857413003583>]
3. HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍK, Petr PRAX a Petr HLUŠTÍK. *Stokování a čištění odpadních vod: modul 1*. 2006. VUT BRNO, 2006.
4. HLAVÍNEK, P.-MIČÍN, J.- PRAX, P.: *Stokování a čištění odpadních vod* (2003), VUT, Brno, CERM, 283 s., ISBN 8021425350.
5. HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍK, Petr PRAX a Petr HLUŠTÍK. *Stokování a čištění odpadních vod: modul 2*. 2006. VUT BRNO, 2006.
6. HORÁKOVÁ, M. *Analytika vody*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2003, 335 s. ISBN 80-708-0520-X.
7. HUANG, J., CAI, W., ZHONG, Q., WANG, S., 2013. Influence of temperature on micro-environment, plant eco-physiology and nitrogen removal effect in subsurface flow constructed wetland. *Ecol. Eng.* 60, 242–248.
8. KADLEC, R., WALLACE, S. 2009. *Treatment wetlands*, 2nd ed. CRC press, Boca Raton, FL.
9. KADLEC, R.H., KNIGHT, R.L., 1996. *Treatment Wetlands*. CRC Press/Lewis Publishers, New York, p. 893.
10. KRIŠKA, Michal a Miroslava NĚMCOVÁ. *Kořenové čistírny odpadních vod: METODICKÁ PŘÍRUČKA PRO POVOLOVÁNÍ, NÁVRH , REALIZACI A PROVOZ*. 4/2011. Brno, 2015.
11. KRIŠKA-DUNAJSKÝ, M.; NĚMCOVÁ, M.; HNÁTKOVÁ, T. Předpov_koncentrací znečištění na odtoku z kořenové čistírny – matematické modely. In. Přírodní způsoby čištění vod VIII, Sborník přednášek, 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2014, 11 s.
12. KRIŠKA-DUNAJSKÝ, M.; NĚMCOVÁ, M.; HRADILOVÁ, I.; HNÁTKOVÁ, T.; ROZKOŠNÝ, M. Kořenové čistírny odpadních vod v České republice- cesta k nápravě. In *Odpadové vody 2014 : Zborník 8. bienálnej konferencie s medzinárodnou účasťou*. 1. Bratislava: NOI, 2014. s. 250-256. ISBN: 978-80-970896-7- 2.
13. KRIŠKA-DUNAJSKÝ, M.; NĚMCOVÁ, M.; HRADILOVÁ, I.; HNÁTKOVÁ, T.; ROZKOŠNÝ, M., Kořenové čistírny odpadních vod v České republice- cesta k nápravě, příspěvek na konferenci *Odpadové vody 2014 : Zborník 8. bienálnej konferencie s medzinárodnou účasťou*, ISBN 978-80-970896-7-2, NOI, Bratislava, 2014
14. LANGERGRABER, Gunter a Raimund HABERL. *Constructed wetlands for water treatment. : Minerva Biotechnologica; Torino*. Torino: Edizioni Minerva Medica, 2001, 13(2), 123. ISSN 11204826.

15. MAEHLUM, T., STALNACKE, P., 1999. Removal efficiency of three cold-climate constructed wetlands treating domestic wastewater: effects of temperature, seasons, loading rates and input concentrations. *Water Sci. Technol.* 40 (3), 273–281.
16. MALÝ, J.; MALÁ, J. *Chemie a technologie vody*, Ardec s.r.o., Brno, 2006, ISBN 80-86020-50-9.
17. NĚMCOVÁ M. *Modelování biochemických pochodů ve filtračním prostředí kořenových čistíren*. Brno, 2015. 88 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Kriška, Ph.D.
18. NĚMCOVÁ, M.; KRIŠKA-DUNAJSKÝ, M. Development of constructed treatment wetlands in Czech Republic for five years term. In *SGEM Conference Proceedings. International multidisciplinary geoconference SGEM. Ecology, Economics, Education and Legislation*. 51 Alexander Malinov Blvd., 1712, Sofia, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd., 2016. s. 225-232. ISBN: 978-619-7105-66-7. ISSN: 1314-2704.
19. NYPL, Vladimír a Marcela SYNÁČKOVÁ. *Zdravotně inženýrské stavby 30: stokování*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998, 149 s. ISBN 80-010 1729-X., Čížek, Pavel, František Herel a Zdeněk Koníček. *Stokování a čištění odpadních vod*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1970. 400 s.
20. PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. vyd. Praha: VŠCHT, 2009, viii, 579 s. ISBN 978-80-7080-701-9.
21. PUMPRLOVÁ NĚMCOVÁ, M. Intenzifikace kořenové čistírny odpadních vod pro 850 EO. In *Sborník abstraktů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2017. s. 1-8. ISBN: 978-80-214-5462-0.
22. ŠÁLEK, J., MALÝ, J., Čistící procesy ve stabilizačních nádržích využívaných k čištění odpadních vod v krajině, příspěvek na konferenci *Krajina, meliorace a vodní hospodářství na přelomu tisíciletí*, VUT, MZLU, ICID, Brno, 1999
23. ŠÁLEK, J.: *Vodní hospodářství krajiny I.* (1997). Scriptum, depon in FAST VÚT Brno, 151 s.
24. ŠÁLEK, Jan a Václav TLAPÁK. *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2006, 283 s. : il. ISBN 80-86769-74-7.
25. ŠÁLEK, Jan, Zdeňka ŽÁKOVÁ a Petr HRNČÍŘ. *Přírodní čištění a využívání vody v rodinných domech a rekreačních objektech*. Praha: Era group, 2008, viii, 115 s. : il. (některé barev.). ISBN 978-80-7366-125-0.
26. ŠÁLEK, Jan. *Malé vodní nádrže v životním prostředí*. Praha: MŽP, 1996, 141 s. ISBN 8070783702.
27. ŠÁLEK, Jan. *Voda v domě a na chatě: využití srážkových a odpadních vod*. Praha: Grada, 2012, 144 s. : il. (některé barev.) ; 21 cm. ISBN 978-80-247-3994-6.
28. šálek, VOTOUPAL, Bohuslav. *Zpracování čistírenských kalůna ČOV metodou intenzivního kompostování na technický substrát*. České Budějovice, 2009.
29. VYMAZAL, J., Constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: the first 5 years experience, *Water Science Technology*, 24, 159-164.1996.
30. VYMAZAL, J.: *Kořenové čistírny odpadních vod*. ENKKI, Třeboň, 2004, 14 str.
31. VYMAZAL, Jan. Constructed wetlands for wastewater treatment. *Ecological Engineering*. 2005, 25, 5. DOI: 27708-0333.
32. VYMAZAL, Jan. *čištění odpadních vod v kořenových čistírnách*. Třeboň: ENVI, 1995, 147 s., [22] s. il. příl.

33. VYMAZAL, Jan. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment: Review. *Ecological Engineering*. 2005, 2005(2), 478–490. ISSN 0925-8574.)
34. ZHAO, Y. J., LI, J.H., WANG, Z.F., YAN, C., WANG, S.B., ZHANG, J.B. (2012) Influence of the plant development on microbial diversity of vertical-flow constructed wetlands.

INTERNETOVÉ ZDROJE

35. *Jak funguje mechanická čistírna odpadních vod* [online]. , 1 [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: http://www.cisticka.info/potrebuji-chci-cisticku/jak-funguje-mechanicka-cisticka-odpadnich-vod/?utm_source=copy&utm_medium=paste&utm_campaign=copypaste&utm_content=http%3A%2F%2Fwww.cisticka.info%2Fpotrebuji-chci-cisticku%2Fjak-funguje-mechanicka-cisticka-odpadnich-vod%2F
36. KRIŠKA, Michal a Mírosava NĚMCOVÁ. *Kořenové čistírny: rekapitulace a budoucnost v České republice* [online]. , 25 [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: <http://vodnihospodarstvi.cz/korenove-cistirny/>
37. MATYSÍKOVÁ, Jana. Česle a síta. In: *Asio.cz* [online]. 26.6.2014 [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/285.cesle-a-sita>.
38. MLEJNSKÁ EVA. *Biologické nádrže využívané k čištění a dočišťování odpadních vod* [online]. , 10 [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: <http://www.vymza.cz/356.biologicke-nadrze-vyuzivane-k-cisteni-a-docistovani-odpadnich-vod>
39. *Rostliny pro kořenovou čistírnu* [online]. , 1 [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: <http://www.cisticka.info/potrebuji-chci-cisticku/rostliny-pro-korenovou-cisticku/>
40. ŠÁLEK, Jan, Michal KRIŠKA, oldřich PÍREK a Miloš ROZKOŠNÝ. *Vegetační kořenové čistírny* [online]. , 10 [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/10058-vegetacni-korenove-cistirny>
41. *Význam mokřadních rostlin v procesu čištění* [online]. , 5 [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: <http://www.korenova-cisticka.cz/o-korenovkach/fungovani/Korenova-cisticka%E2%80%93korenova-cisticka%E2%80%93rostliny-pro-korenovou-cisticku.html>

LEGISLATIVA A NORMY

42. ČSN 75 6402. *Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel*. Praha:český normalizační institut, 2017.
43. ČSN EN 12566-5. *Malé čistírny odpadních vod do 50 ekvivalentních obyvatel*. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 2008.
44. Nařízení vlády č. 401/2015. In: *Sb. O ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech*, 2015
45. ČSN 75 6401. *Čistírny odpadních vod pro více než 500 ekvivalentních obyvatel*. Praha:český normalizační institut, 2006.

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Emisní standardy: přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) a hodnoty průměru koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l dle NV č. 401/2015 Sb.	9
Tab. 2 Ukazatele a emisní standardy pro odpadní vody vypouštěné z jednotlivých staveb pro bydlení a rodinnou rekreaci dle NV č. 57/2016 Sb.	10
Tab. 3 Orientační hodnoty účinnosti (%) jednotlivých typů čistírenských technologií pro malé zdroje znečištění dle ČSN 75 6402	10
Tab. 4 Předpokládané čistící účinnosti (Vymazal, 1995)	11
Tab. 5 Geomorfologické zařazení území (zdroj www.mapy.geology.cz)	34
Tab. 6 Přehled množství odpadních vod na kořenové čistírně odpadních vod Bezděčí u Trnávky	49
Tab. 7 Specifická produkce znečištění v g/d na 1 EO	49
Tab. 8 Koncentrace znečištění na přítoku na KČOV Bezděčí u Trnávky	49
Tab. 9 Čistící účinnost šterbinové usazovací nádrže	50
Tab. 10 Zbytkové znečištění za šterbinovou usazovací nádrží	50
Tab. 11 Čistící účinnost horizontálního filtru s vegetací	51
Tab. 12 Zbytkové znečištění za horizontálním filtrem s vegetací	51
Tab. 13 Čistící účinnosti vertikálního filtru s vegetací	51
Tab. 14 Zbytkové znečištění za vertikálním filtrem s vegetací	52
Tab. 15 Emisní standardy ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l dle NV č. 401/2015 Sb.	52
Tab. 16 Vypouštěné zbytkové znečištění odpadních vod (při výpočtu dle ČSN 756402), uvedeny průměrné hodnoty	53
Tab. 17 Hodnoty znečištění dle NV. č. 401/2015 Sb., příl. 7 BAT-limity	53

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Odlehčovací komora KČOV Dražovice	16
Obr. 2 Česle s uzamykatelným poklopem, KČOV Biskoupky.....	17
Obr. 3 Sdružený objekt – lapák písku a česle	18
Obr. 4 Tří komorový septik	20
Obr. 5 Štěrbínová usazovací nádrž, KČOV Dražovice	21
Obr. 6 Horizontální filtr s vegetací	23
Obr. 7 Vertikální filtr s vegetací	24
Obr. 8 Distribuční šachta s pulzním vypouštěčem	25
Obr. 9 Stabilizační nádrž, KČOV Dražovice (archiv ÚVHK)	27
Obr. 10 Rákos Obecný (<i>Phragmites Australis</i>) (zdroj botanika.wendys.cz)	29
Obr. 11 Chrastice Rákosovitá (<i>Phalaris Arundinacea</i>) (zdroj luzs.cz)	29
Obr. 12 Orobinec Širokolistý (<i>Typha latifolia</i>) (zdroj zahrada-cs.com).....	30
Obr. 13 Kosatec Žlutý (<i>Iris Pseudacorus</i>) (zdroj jezirkanaklic.cz).....	31
Obr. 14 Mapa obce Bezděčí u Trnávky (zdroj www.mapy.cz)	33
Obr. 15 Mapa dlouhodobého průměrného ročního úhrnu v ČR (zdroj ČHMÚ)	33
Obr. 16 Mapa dlouhodobé průměrné roční teploty vzduchu v ČR (zdroj ČHMÚ).....	34
Obr. 17 Geologická mapa (zdroj www. mapy.geology.cz)	35
Obr. 18 Zájmová lokalita, k.ú. Bezděčí u Trnávky 603376 (zdroj cuzk.cz).....	39

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

KČOV ...	KOŘENOVÁ ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD
BSK ₅ ...	BIOCHEMICKÁ SPOTŘEBA KYSLÍKU
CHSK _{Cr} ...	CHEMICKÁ SPOTŘEBA KYSLÍKU
NL ...	NEROZPUŠTĚNÉ LÁTKY
P _{CELK} ...	CELKOVÝ FOSFOR
N _{CELK} ...	CELKOVÝ DUSÍK
HF ...	HORIZONTÁLNÍ FILTR
ČR ...	ČESKÁ REPUBLIKA
EO ...	EKVIVALENTNÍ OBYVATEL
ČOV ...	ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD
ČSN ...	ČESKÁ STÁTNÍ NORMA
NV ...	NAŘÍZENÍ VLÁDY
OV ...	ODPADNÍ VODA
VF ...	VERTIKÁLNÍ FILTR
Sb ...	SBÍRKY
DN ...	DIMENZE
PVC ...	POLYVINYLCHLORID
PP ...	POLYPROPYLEN
KG ...	KORUGOVANÉ
N ...	DUSÍK
P ...	FOSFOR
ČSÚ ...	ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD
V ...	OBJEM
ATS ...	AUTOMATICKÁ TLAKOVÁ STANICE
OÚ ...	OBECNÍ ÚŘAD

SEZNAM PŘÍLOH

A. PRŮVODNÍ ZPRÁVA	
B. SOUHRNNÁ TECHNICKÁ ZPRÁVA	
C. SITUAČNÍ VÝRESY	
C.1 SITUAČNÍ VÝKRES ŠIRŠÍCH VZTAHŮ	M 1:6000, 1500
C.2 KATASTRÁLNÍ SITUAČNÍ VÝKRES	M 1:1000
C.3 KOORDINAČNÍ SITUAČNÍ VÝKRES	M 1:1500
C.4 SITUAČNÍ VÝKRES ČISTÍRNY	M 1:250
D. DOKUMENTACE OBJEKTŮ	
TECHNICKÁ ZPRÁVA STAVEBNÍCH OBJEKTŮ	txt
D.1.2.1-01 ODLEHČOVACÍ KOMORA – PŮDORYS	M 1:25
D.1.2.1-02 ODLEHČOVACÍ KOMORA – ŘEZ A – A´	M 1:25
D.1.2.1-03 ODLEHČOVACÍ KOMORA – ŘEZ B – B´	M 1:25
D.1.2.1-04 LAPÁK PÍSKU – PŮDORYS	M 1:25
D.1.2.1-05 LAPÁK PÍSKU – ŘEZ A – A´	M 1:25
D.1.2.1-06 LAPÁK PÍSKU – ŘEZ B – B´	M 1:25
D.1.2.1-07 ŠTĚRBINOVÁ USAZOVACÍ NÁDRŽ – PŮDORYS	M 1:25
D.1.2.1-08 ROZDĚLOVACÍ ŠACHTA – ŘEZ A – A´	M 1:25
D.1.2.1-09 ROZDĚLOVACÍ ŠACHTA – ŘEZ B – B´	M 1:25
D.1.2.1-10 ŠTĚRBINOVÁ USAZOVACÍ NÁDRŽ – ŘEZ A – A´	M 1:50
D.1.2.1-11 ŠTĚRBINOVÁ USAZOVACÍ NÁDRŽ – ŘEZ B – B´	M 1:50
D.1.2.1-12 HORIZONTÁLNÍ FILTR – PŮDORYS	M 1:100
D.1.2.1-13 HORIZONTÁLNÍ FILTR – ŘEZ A – A´	M 1:25
D.1.2.1-14 HORIZONTÁLNÍ FILTR – ŘEZ B – B´	M 1:25
D.1.2.1-15 VZOROVÝ ŘEZ DÁVKOVACÍ ŠACHTOU	M 1:25
D.1.2.1-16 VERTIKÁLNÍ FILTR – PŮDORYS	M 1:100
D.1.2.1-17 VERTIKÁLNÍ FILTR – PODÉLNÝ ŘEZ A – A´	M 1:25
D.1.2.1-18 VERTIKÁLNÍ FILTR – ŘEZ B – B´	M 1:25
D.1.2.1-19 VERTIKÁLNÍ FILTR – ŘEZ C – C´	M 1:25
D.1.2.1-20 VERTIKÁLNÍ FILTR – ŘEZ D – D´	M 1:25
D.1.2.1-21 VERTIKÁLNÍ FILTR – ŘEZ E – E´	M 1:25
D.1.2.1-22 DENITRIFIKAČNÍ NÁDRŽ – PŮDORYS	M 1:100
D.1.2.1-23 DENITRIFIKAČNÍ NÁDRŽ – A – A´	M 1:25
D.1.2.1-24 DENITRIFIKAČNÍ NÁDRŽ – B – B´	M 1:25
D.1.2.1-25 KALOVÉ POLE – PŮDORYS	M 1:25
D.1.2.1-26 KALOVÉ POLE – VZOROVÝ ŘEZ	M 1:25
D.1.2.1-27 MĚRNÝ OBJEKT	M 1:25
D.1.2.1-28 DEŠŤOVÁ NÁDRŽ – PŮDORYS	M 1:25
D.1.2.1-29 DEŠŤOVÁ NÁDRŽ – ŘEZ A – A´	M 1:25
D.1.2.1-30 DEŠŤOVÁ NÁDRŽ – ŘEZ B – B´	M 1:25
D.1.2.1-31 PODÉLNÝ PROFIL HLAVNÍHO TOKU	M 1:2000/1000