



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

STUDIE VERTIKÁLNÍHO FILTRU S VEGETACÍ PRO OBEC BEZDĚČÍN U TRNÁVKY

THE STUDY OF VERTICAL FILTER WITH VEGETATION FOR VILLAGE BEZDĚČÍN
U TRNÁVKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Klára Kacetlová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL KRIŠKA, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Klára Kacetlová
Název	Studie vertikálního filtru s vegetací pro obec Bezděčín u Trnávky
Vedoucí práce	Ing. Michal Kriška, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

Podklady a literatura

- 1) Křiška, M., Němcová, M.: Kořenové čistírny odpadních vod - METODICKÁ PŘÍRUČKA PRO POVOLOVÁNÍ, NÁVRH, REALIZACI A PROVOZ, 2015
- 2) ČSN 756402 Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel
- 3) Rozkošný, M., Křiška, M., Šálek, J., Bodík, I., Istenič, D.: Natural Technologies of Wastewater Treatment, 2014., 138 p., ISBN: 978-80-214-4831-5
- 4) Databáze vědeckých článků sciencedirect.com
- 5) Podklady dostupné z online databázi - geografické, hydrologické, mapové, apod.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Obec Bezděčín u Trnávky oslovila pracoviště VHK ohledně výpomoci s návrhem čistírny odpadních vod, která je založena na technologii bez využití elektrické energie.

Práce bude v první části zaměřena na popis aktuální problematiky v oblasti vertikálních filtrů s vegetací, úvodní část bude zahrnovat nejnovější poznatky z oblasti čištění vod pomocí vertikálních filtrů.

Druhá část práce se zaměří na návrh jednoho konkrétního uspořádání pro obec Bezděčín u Trnávky. Vznikající návrh bude konzultován s paní starostkou. V této části bude návrh řešen tak, aby bylo možné podle zpracované bakalářské práce realizovat projektovou dokumentaci pro územní řízení.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ 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).

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem moderní kořenové čistírny odpadních vod pro obec Bezděčín u Trnávky (250 EO). Moderní kořenová čistírna představuje alternativní způsob čištění odpadních vod. V České republice se kořenové čistírny setkávají s častými problémy v důsledku chybných návrhů či nevhodného provozování. To způsobuje nedostatečnou čistící účinnost v odstraňování především amoniakálního dusíku. Aby kořenové čistírny odpadních vod byly častějším řešením čištění odpadních vod, je třeba zajistit vyšší účinnost především u ukazatele NH_4^+ . Práce vychází z poznatků a výsledků, kterých dosahuje fungující kořenová čistírna v Dražovicích, a z Rakouska, kde jsou tyto technologie konkurenceschopné jiným čistírenským technologiím.

Studie kořenové čistírny odpadních vod pro obec Bezděčín u Trnávky je rozdělena na dvě části. První část tvoří rešerše, kde jsou zhrnuty základní informace a poznatky týkající se kořenových čistíren odpadních vod. V druhé části lze nalézt srovnání dvou čistírenských systémů. První z nich se skládá ze dvou čistících stupňů. Druhý systém obsahuje je složen ze tří stupňů. Cílem čistírenských prvků je nejen eliminace znečištění, které požaduje současná legislativa, ale i odstranění celkového dusíku a fosforu. Kalové hospodářství je řešeno jako kalová pole s mokřadní vegetací.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kořenová čistírna odpadních vod, vertikální filtr, Bezděčín u Trnávky, reed-bed systém, odpadní voda

ABSTRACT

This bachelor thesis follows up modern vertical flow constructed wetland for wastewater treatment for Bezděčín u Trnávky village in the Czech republic. This village has 250 inhabitants. Technology of constructed wetlands is alternative method of wastewater treatment. There are a lot of problems with this technology in the Czech republic. These problems are results from wrong design or improper operation. It causes insufficient cleaning efficiency. The worst cleaning efficiency is in removing ammonia nitrogen. To right functioning of constructed wetland is necessary change the approach to design of the constructed wetland. The thesis is based on results of the right designed constructed wetland in Dražovice village and on working technology in Austria as well.

All thesis is divided into two parts. The first part consists of literature research, which summarises basic knowledge related to constructed wetland of wastewater treatment. The second part includes two options of designing constructed wetland. The first one consists of two wastewater treatment elements and the second one includes three elements. The main aim of this technology is not only to eliminate the required pollution by decree law, but also to remove nitrogen and phosphorus. The wastewater sludge treatment is based on innovated reed-bed system with wetland vegetation.

KEYWORDS

Vertical flow constructed wetland, Bezděčín u Trnávky, reed-bed system, removal wastewater

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Klára Kacetlová *Studie vertikálního filtru s vegetací pro obec Bezděčín u Trnávky*. Brno, 2018. 60 s., 32 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Kriška, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2018

Klára Kacetlová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji mému vedoucímu Ing. Michalu Kříškovi Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, i za věnovaný čas při odborných konzultacích.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Množství a kvalita odpadních vod	3
2.1	Ukazatelé charakterizující znečištění OV	3
2.2	Množství odpadních vod.....	4
2.3	Emisní standardy.....	4
3	Kořenová čistírna	7
3.1	Typy kořenových čistíren	7
3.1.1	Dělení dle velikosti	7
3.1.2	Dělení dle typu průtoku	10
4	Čistící procesy probíhající na kořenové čistírně	12
4.1	Nerozpuštěné a organické látky	12
4.2	Odstranění dusíku.....	12
4.2.1	Amonifikace	12
4.2.2	Nitrifikace.....	13
4.2.3	Denitrifikace.....	13
4.3	Odstranění fosforu.....	13
4.4	Jiná znečištění	14
5	Vegetace	14
5.1	Rákos obecný (<i>Phragmites australis</i>)	15
5.2	Chrostice rákosovitá (<i>Phalaris arundinacea</i>)	15
6	Zanášení filtru	16
6.1	Regenerace filtru	16
6.1.1	Postup procesu kolmatace	16
7	Odpadové hospodářství.....	17
8	Shrnutí výhod a nevýhod	19
8.1	Výhody	19
8.2	Nevýhody	19
9	Studie vertikálního filtru pro obec Bezděčín u Trnávky	20
9.1	Charakteristika území	20
9.2	Stávající stav kanalizace	20
9.3	Výhledový stav	20
10	Podklady pro návrh kořenové čistírny	21
10.1	Charakteristika řešeného území	21

10.2	Zpracovaná studie odkanalizování obce.....	21
10.3	Umístění kořenové čistírny odpadních vod	22
10.4	Množství a kvalita přítékajících odpadních vod.....	24
11	Způsob čištění odpadních vod	26
11.1	Varianta A	26
11.1.1	Technologické objekty na KČOV	26
11.1.2	Kvalita vyčištěné vody pro variantu A.....	36
11.2	Varianta B	38
11.2.1	Technologické objekty na KČOV	38
11.2.2	Kvalita vyčištěné vody pro variantu B.....	44
12	Srážení fosforu	46
13	Měrný objekt	47
14	Kalové hospodářství.....	47
15	Odhad investičních nákladů.....	49
15.1	Varianta A	50
15.2	Varianta B	51
16	Závěr	52
	ZDROJE.....	53
	LEGISLATIVA.....	56
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	57
	SEZNAM TABULEK.....	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	59
	SEZNAM PŘÍLOH	60

1 Úvod

Kořenové čistírny jsou v dnešní době alternativou pro čištění odpadních vod. Tato technologie využívá fyzikální, chemické a biologické procesy, se kterými se běžně setkáváme v přírodě. Jedná se o souhrn procesů probíhajících v půdě, vodě a biotickém prostředí, zahrnujícím rostliny a bakterie. V České republice mají kořenové čistírny odpadních vod z historických důvodů špatnou pověst, jelikož ve většině případů z nich odtékala a do dnešního dne často odtéká silně zapáchající voda, obsahující zejména nedostatečně odstraněné rozpuštěné živiny. Tyto problémy byly způsobeny převážně chybným technologickým návrhem či nesprávným provozováním čistírny. Současně nelze opomenout absenci limitní koncentrace amoniakálního dusíku v nejmenší velikostní kategorii ČOV do 500 EO, což v minulosti vedlo k negativní motivaci projektantů, kteří navrhovali kořenové čistírny s minimální schopností odstraňovat amoniakální dusík. Chybný návrh a nesprávné provozování kalového hospodářství často v minulosti způsobovaly, že amoniakální dusík (N-NH_4^+) nebyl dostatečně odstraněn. Z čistírny pak byla často vypuštěna evidentně neúčinně vyčištěná odpadní voda, což mělo za následek negativní postoj orgánů životního prostředí, provozovatelů správců vodních toků a také výrobců konkurenčních technologií vůči kořenovým čistírnám horizontálního typu.

Většina kořenových čistíren navržených od začátku 90. let 20. století do současnosti nebyla na odstraňování amoniakálního dusíku navržena, jelikož u čistíren do 500 ekvivalentních obyvatel není dle nařízení vlády NV 401/2015 Sb. nutné sledovat a odstraňovat N-NH_4^+ . V praxi jsou známy situace, kdy z kořenové čistírny odpadních vod byla do recipientu vypouštěna voda vyhovující všem sledovaným emisním standardům, ale jednalo se o vodu s viditelným fekálním znečištěním, a téměř nesníženou koncentrací amoniakálního znečištění oproti přítoku. Tato vypouštěná voda negativně ovlivňuje ekologickou stabilitu vodního toku. V důsledku toho dochází ke zhoršení kyslíkových poměrů, toxicitě vodního prostředí a tím i ke změně druhového složení ekosystému.

V blízké budoucnosti se dá očekávat postupné zpřísňování emisních limitů vypouštěných odpadních vod, jelikož je kladen stále větší důraz na ochranu životního prostředí. Pokud kořenové čistírny chtějí konkurovat mechanicko-biologickým ČOV, je třeba začít je navrhovat jiným způsobem a zajistit vyšší účinnosti u ukazatele amoniakálního dusíku. Zkušenosti z Rakouska dokazují, že správně navržená a provozovaná kořenová čistírna je schopna vyčistit odpadní vodu se stejným výsledkem nebo lepším výsledkem, jako jiné čistírenské technologie. Příkladem může být účinnost odstraňování amoniaku v oblasti 90 – 95 %. Kořenové čistírny v Rakousku jsou již několik desítek let všeobecně uznávaným technologickým řešením, které pro velikost producenta 50 – 500 EO tvoří 25 % řešení (v konkurenci aktivačních čistíren, SBR reaktorů a biofiltrů).

Cílem této bakalářské práce je zpracování studie kořenové čistírny odpadních vod pro obec Bezděčín u Trnávky. Návrh vychází z předpokladů vysoké čistící účinnosti ve všech ukazatelích. Při zpracování bakalářské práce se budu opírat o správně fungující kořenovou čistírnu v Dražovicích a poznatků, o které se se mnou podělil můj vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Křiška Ph.D. Kořenová čistírna v obci Dražovice (okres Vyškov) dokazuje schopnost dosáhnout vysokých čistících účinností v parametrech CHSK_{Cr} , BSK_5 , NL a N-NH_4 . Tato kořenová čistírna byla po rekonstrukci (intenzifikaci, související ve výstavbě vertikálního filtru) uvedena do testovacího provozu v listopadu roku 2016. V současné době na čistírně probíhá výzkumný projekt FAST- J- 17- 4530 s názvem Monitoring, optimalizace a vyhodnocení provozu nového typu filtračního pole na kořenové čistírně odpadních vod. Tento projekt sleduje koncentrace znečištění všech ukazatelů na odtoku z horizontálního filtru, na který navazuje vertikální filtr a následně stabilizační nádrž. V únoru roku 2018 kořenová čistírna dosahovala přijatelných výsledků i přes mrazy, které dosahovaly až k teplotám -20°C .

Moje bakalářská práce je rozdělena do dvou částí. První z nich je literární rešerše, která popisuje základní poznatky o kořenových čistírnách odpadních vod. Pro výpočet je třeba znát zejména množství a kvalitu odpadních vod, proto se ve druhé kapitole první části práce věnuji právě jakosti odpadních vod a ukazatelům charakterizujícím znečištění odpadních vod. Ve třetí kapitole shrnuji obecně typy kořenových čistíren, které se dělí dle dvou hledisek. V dalších kapitolách jsou popsány čistící procesy probíhající na filtračním poli, rešerše doplňuje popis mokřadní vegetace, která se vysazuje do filtračního pole či na pole kalového hospodářství. V šesté kapitole je popsán proces kolmatace, který je nežádoucí a snižuje účinnost kořenové čistírny.

Druhou (stěžejní) část mé práce tvoří samotná studie vertikálního filtru s vegetací pro obec Bezděčín u Trnávky. V této části je popsán charakter území, množství a kvalita přitékajících odpadních vod a návrh dvou možných variant čištění. První varianta je tvořena dvěma čistícími stupni, druhá varianta se skládá ze tří čistících stupňů. Jsou zde zhodnoceny a srovnány odhady celkových investičních a provozních nákladů na realizaci čistírny.

Výsledkem mé bakalářské práce je návrh fungujícího čistírenského systému, který využívá poznatků z již fungující kořenové čistírny odpadních vod. Cílem systému je eliminace sledovaného znečištění dle NV 401/2015 Sb. s rezervou, ale i nesledovaného znečištění jako amoniakální dusík, celkový dusík a celkový fosfor. Povinně sledované parametry CHSK_{Cr} , BSK_5 , NL budou v běžném provozu dosahovat zlomku legislativou povolených vypouštěných koncentrací. Celá kořenová čistírna bude využívat samospádu území, tudíž může fungovat bez nutnosti přivedení elektické energie. Součástí návrhu je i vlastní kalové hospodářství pro minimalizaci nákladů na vyvážení kalu s cílem snížení provozních nákladů, resp. stočného pro obyvatele obce.

2 Množství a kvalita odpadních vod

Množství a jakost odpadních vod je potřeba znát pro správný návrh technologie čištění odpadních vod. Tyto vody jsou produkovány obyvateli, průmyslem a zemědělstvím. Nejčastěji se jedná o původně pitnou vodu znečištěnou organickým či anorganickým znečištěním. Jakost odpadní vody se určuje pomocí ukazatele znečištění.

2.1 Ukazatele charakterizující znečištění OV

Tyto ukazatele charakterizují množství nerozpustných látek (NL), biochemickou spotřebu kyslíku (BSK_5), chemickou spotřebu kyslíku ($CHSK_{Cr}$), dusík (N_{celk}), fosfor (P_{celk}) a amoniakální dusík ($N-NH_4$).

- Nerozpuštěné látky (NL) – mezi tyto látky se řadí organické i neorganické látky nerozpustné ve vodě. Dají se rozlišit na usaditelné a neusaditelné. Oba tyto druhy lze odstranit pomocí mechanického předčištění, které patří mezi levnější technologie. Spočívá v odstranění NL pomocí česlí, lapáků šterku nebo usazení částic v usazovací nádrži. Tím vzniká primární kal, který je potřeba zpracovat v kalovém hospodářství. V případě neodstranění těchto látek by mohlo dojít k zanesení a ucpání filtračního lože. Tento jev se nazývá kolmatace
- Biochemická spotřeba kyslíku (BSK_5) – je to množství kyslíku, kterou využijí mikroorganismy z vody během pěti dní. Určují obsah organických, biologických rozložitelných látek. Kořenové čistírny si s tímto znečištěním poradí většinou bez větších obtíží. Účinnost se pohybuje nad 80 %, v závislosti na typu filtru. Horizontální filtry mají účinnost 80 % a vertikální až 95 %.
- Chemická spotřeba kyslíku ($CHSK_{Cr}$) – udává množství spotřebovaného kyslíku potřebného k oxidaci všech látek. Účinnost odstranění je udávána kolem 85 - 90 %.
- Dusík (N_{celk}) a fosfor (P_{celk}) – Podílejí se na stavbě organismů. Tyto prvky podporují množení organismů a tím přibývání buněčné hmoty. S množením organismů souvisí i vyšší spotřeba kyslíku. Pokud mikroorganismy spotřebují dusík, fosfor nebo všechny kyslík, odumírají a vzniká druhotné znečištění. Toto znečištění se odstraňuje usazováním na dně nádrže.
- Amoniakální dusík ($N-NH_4$) – v odpadní vodě většinou nacházíme pouze nízkou koncentraci močoviny z důvodu rychlého rozkladu probíhajícím již v kanalizačním systému, přičemž produktem rozkladu je amoniakální dusík. S větší koncentrací amoniakálního dusíku vznikají anaerobní oxidační procesy a zpomalují se biochemické procesy v toku. Z tohoto důvodu je potřeba tento dusík odstranit. Na jeho odstranění je potřeba velké množství kyslíku.

Odstranění amoniakálního dusíku probíhá u kořenových čistíren na aerobním pulzně skrápěném vertikálním filtru. [1,2]

2.2 Množství odpadních vod

Množství vypouštěných odpadních vod závisí na počtu obyvatel, občanské vybavenosti, průmyslové zástavbě a zemědělských družstvech v odkanalizovávaném území. Průmyslové a zemědělské znečištění se ideálně odstraňuje samostatně pomocí jímek a septiků. Občanská vybavenost se přepočítává na ekvivalentní obyvatele (EO). Tento pojem je definován spotřebou BSK₅ na obyvatele za den. Tato spotřeba je 60 g/os/den.

Množství odpadní vody je přímo úměrné ke spotřebě pitné vody, která dlouhodobě klesá. Spotřeba vody je rovna 108 litrům na osobu za den pro rok 2016. Dále se do odpadní vody započítávají vody balastní, které se do kanalizace dostávají z vod podzemních, díky netěsnostem potrubí. Jejich množství záleží na stáří a kvalitě kanalizace. Množství balastních vod se udává jako 5-15 % z odpadních vod z průmyslu a obyvatelstva za den. Balastní vody jsou v kanalizaci nežádoucí, jelikož nařezují odpadní vody.

V případě jednotné stokové sítě do kanalizace odvádíme vody dešťové. Jejich množství závisí na klimatických podmínkách, geologickém území a na zastavěném území. Kvalita těchto vod se liší v závislosti na množství, četnosti a intenzitě srážek. V případě prudkých dešťů po delším bezdeštném období se kvalita dešťových vod dá srovnat s kvalitou odpadních vod od obyvatelstva a průmyslu. Obecně lze ale říct, že dešťové vody odpadní vody ve stokové síti spíše nařezují [2] a je tedy vhodnější navrhování a výstavba splaškové kanalizace.

2.3 Emisní standardy

Emisní standardy určují přípustné znečištění odpadních vod vypouštěných do kanalizace. Tyto standardy vyplývají z nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod. Druhé nařízení vlády, které kontroluje vypouštění odpadních vod je nařízení vlády 57/2016 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních, vydané k datu 3.2. 2016. [21]

Do 500 EO je důležité sledovat znečištění pro ukazatele BSK, CHSK_{Cr} a NL. Sledování obsahu dusíku a fosforu není nezbytně nutné.

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

Tabulka 2-1 Emisní standardy: hodnoty koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l [22]

(1) Rozumí se kategorie čistírny odpadních vod vyjádřená v počtu ekvivalentních obyvatel. Ekvivalentní obyvatel (EO) je definovaný produkcí znečištění 60 g BSK₅ za den. Počet ekvivalentních obyvatel se pro účel zařazení čistírny odpadních vod do velikostní kategorie vypočítává z maximálního průměrného týdenního zatížení na přítoku do čistírny odpadních vod během roku s výjimkou neobvyklých situací, přívalových dešťů a povodní. Pro určení velikosti aglomerace se použije stejný postup pro všechny odpadní vody odváděné kanalizací pro veřejnou potřebu. Pro účely stanovení limitů se použije vyšší z obou hodnot. U kategorií ČOV pod 2000 EO lze použít pro účel zařazení čistírny do velikostní kategorie (v tabulce 1a nebo 1b v příloze č. 1 a v tabulce 1 v příloze č. 4 k tomuto nařízení) výpočet z bilance v ukazateli BSK₅ v kg za kalendářní rok na přítoku do čistírny vydělený koeficientem 18,7. U nových ČOV se pro zařazení do velikostní kategorie v prvním roce po výstavbě (zkušební provoz) použije návrhový parametr v zatížení BSK₅. Po prvotním provedení kategorizace je v případě změny zatížení další kategorizace prováděna až s ukončením platnosti povolení k vypouštění odpadních vod.

(2) Celkový dusík je ukazatel, který zahrnuje všechny formy dusíku.

(3) Uváděné přípustné koncentrace „p“ nejsou aritmetické průměry za kalendářní rok a mohou být překročeny v povolené míře podle hodnot uvedených v příloze č. 5 k tomuto nařízení. Vodoprávní úřad stanoví typ vzorku A nebo B nebo C podle poznámky 3) k tabulce 1 v příloze č. 4 k tomuto nařízení.

(4) Uváděné maximální koncentrace „m“ jsou nepřekročitelné. Vodoprávní úřad stanoví typ vzorku uvedený v tabulce 1 přílohy č. 4 k tomuto nařízení v souladu se stanovením hodnoty „p“.

(5) Uváděné hodnoty jsou aritmetické průměry koncentrací za kalendářní rok a nesmí být překročeny. Počet vzorků odpovídá ročnímu počtu vzorků stanovenému vodoprávním úřadem. Vodoprávní úřad stanoví typ vzorku A nebo B nebo C podle poznámky 3) k tabulce 1 v příloze č. 4 k tomuto nařízení

(6) Hodnota platí pro období, ve kterém je teplota odpadní vody na odtoku z biologického stupně vyšší než 12°C. Teplota odpadní vody se pro tento účel považuje za vyšší než 12°C, pokud z pěti měření provedených v průběhu dne byla tři měření vyšší než 12°C. V případě odběru vzorku A nebo prostého vzorku se stanovení teploty provedou v době odběru vzorku.

(7) Rozbory odtoků z biologických dočišťovacích nádrží zkolaudovaných do 3. 3. 2011 se provádějí ve filtrovaných vzorcích, koncentrace celkových nerozpuštěných látek však nesmí přesáhnout hodnotu 100 mg/l.

(8) Požadavky na dusík je možno kontrolovat pomocí denních průměrů, jestliže se prokáže, že je takto zajištěna stejná úroveň ochrany vod. V tomto případě denní průměr nesmí přesáhnout 20 mg/l celkového dusíku pro všechny vzorky, jestliže teplota na odtoku biologického stupně čistírny odpadních vod je vyšší nebo rovná 12°C. Zohlednění požadavků na funkci biologického odstranění dusíku a plnění limitů při teplotách na odtoku nižších než 12°C může být nahrazeno zohledněním pro časově určené zimní období podle oblastních klimatických podmínek, které stanoví vodoprávní úřad u tohoto ukazatele znečištění.

Velikost zdroje znečištění (EO) ¹⁾	Typ vzorku ²⁾	četnost
< 500 ⁴⁾	A ³⁾	4
500 – 2 000	A ³⁾	12
2 001 – 10 000	B ³⁾	12
10 001 – 100 000	C	26
> 100 000	C	52

Tabulka 2-2 Minimální roční četnosti odběrů vzorků vypouštěných městských odpadních vod pro sledování jejich znečištění

3 Kořenová čistírna

Kořenové čistírny využívají čistících procesů, které se vyskytují v přírodě. Nejčastěji tyto procesy probíhají v mokřadech, což jsou území, která jsou celoročně pokrytá vodou. Mokřady jsou domovem velkého spektra organismů – rostlinných i živočišných. Tyto mokřady zadržují vodu a jsou schopny znečištěnou vodu díky organismům vyčistit na neškodnou vodu.

Na čištění vody se podílí kořenové systémy rostlin i působení mikroorganismů, které pomalu a na velké ploše přefiltrují vodu. Výhodou kořenové čistírny je pozitivní působení na člověka a zlepšování mikroklima, což je v čím dál více zastavěném území důležitý fakt.

V České republice se setkáváme s častým odmítnutím jak ze strany správy toků, tak od odboru životního prostředí. Jejich pověst poškodil fakt, že prvotní čistírny nefungovaly správně z důvodu špatného navržení nebo nesprávného provozování. Dalším faktem je, že kořenové čistírny nejsou prvotně navrhované na odstraňování amoniakálního dusíku, dle NV 61/2003 Sb kořenové čistírny do 500 EO nemusí amoniakální dusík odstraňovat. Pokud investor požaduje odstranění i tohoto prvku musí se s ním počítat hned na začátku a navrhnout technologii skládající se z více prvků, než jen usazovací nádrže a horizontálního filtru.

Každopádně to, že kořenové čistírny mohou být konkurenceschopné jiným technologiím je fakt, že v Rakousku tyto čistírny běžně fungují a vykazují velice dobré výsledky, dokonce i v polohách nad 2000 m n.m. V České republice první kořenová čistírna, která se výsledky blíží rakouským standardům se nachází v Dražovicích. [3]

3.1 Typy kořenových čistíren

Kořenové čistírny lze rozdělit dle velikosti a dle používané technologie. Oba tyto ukazatele spolu souvisí.

3.1.1 Dělení dle velikosti

Podle technologického uspořádání lze čistírny dělit na:

- Domovní čistírny do 50 EO
- Kořenové čistírny do 500 EO
- Kořenové čistírny 500 - 2000 EO
- Kořenové čistírny pro 2001 - 5000 EO [1]

3.1.1.1 Domovní čistírny do 50 EO

Kořenové čistírny pro malé producenty odpadních vod jsou velice vhodným řešením zejména z důvodu, že nevyžadují ve srovnání s konkurenčními technologiemi dohled obsluhy. Nejčastější způsob čištění se skládá z horizontálně protékaného filtru, který ovšem nedokáže efektivně odstraňovat amoniakální dusík. Je ale potřeba znovu zmínit, že dle současné legislativy nevzniká požadavek na vyčištění amoniakálního dusíku. Mezi hlavní nevýhody vyčištěné vody pouze horizontálním filtrem patří to, že ji nelze opětovně použít (ani jako užitkovou) a že v recipientu ovlivňuje kyslíkové poměry. Z tohoto důvodu je výhodnější použít vertikální filtr, který je ve srovnání s horizontálním uspořádáním mnohem účinnější. Při důkladném mechanickém předčištění odpadní vody nezabírá takovou plochu jako horizontální filtr, vyčištěná odpadní voda nevykazuje fekální charakter, producenti mohou opětovně využít například pro závlahy nebo splachování toalety, nebo s klidným svědomím vypustit do recipientu, případně do podloží [1]. Po senzorké stránce odtok z vertikálního filtru vykazuje aroma pitné vody – odpadní voda velice pozvolna protéká pískovou vrstvou, má tedy po několikahodinovém zdržení „zemitou vůni“.

3.1.1.2 Kořenové čistírny do 500 EO

Tato velikost čistírny je nejčastěji navrhována. Sledují se zde stejné požadavky jako při čistírně do 50 EO, opět pro tuto kategorii nejsou definovány požadavky na odstranění amoniakálního dusíku. Přesto z důvodu ochrany životního prostředí bychom se měli snažit tento prvek také odstranit. [1]

Počet obyvatel	CHSK _{Cr} přípustné	CHSK _{Cr} max	BSK ₅ přípustné	BSK ₅ max	NL přípustné	NL max
Do 500	150	220	40	80	50	80

Tabulka 3-1 Emisní standardy pro čistírny do 500 EO (přípustné hodnoty v mg/l)

Emisní standardy pro čistírny do 500 EO (přípustné hodnoty v mg/l)

Prvky kořenové čistírny do 500 EO se zapojením vertikálních filtrů:

- Mechanické předčištění se sestává z více systematicky zapojených usazovacích nádrží, které poskytují větší prostor pro sedimentaci NL a tím lepší předčištění odpadní vody. Díky preciznímu předčištění nedochází ke kolmataci vertikálního filtru.
- Pulzní napouštění spočívá v napouštění více akumulacích nádrží, které svým objemem odpovídají ploše filtračního pole.
- Filtrační pole je rozděleno na více sektorů, ke kterým přivádíme vodu. Doporučuje velikost jedné části filtru v rozmezí 100 – 150 m².

3.1.1.3 Kořenové čistírny 500 – 2000 EO

V této kategorii se kořenových čistíren v České republice vyskytuje málo, kvůli problému s rovnoměrným napouštěním vody na velkou plochu filtru. Díky tomu se využíval pouze projekčně i stavebně nenáročný horizontální filtr, který, jak už bylo řečeno, nedokáže efektivně odstranit amoniakální dusík. V této kategorii už jsou stanoveny přípustné limity. Hodnota tohoto limitu je průměrně 20 mg/l. Díky těmto špatným zkušenostem rozhodně není možné prosadit ani vícestupňovou kořenovou čistírnu odpadních vod v této kategorii.

Problém s amoniakálním dusíkem lze vyřešit právě pomocí zařazení pulzně zkrápěného vertikálního filtru, který dusík odstraňuje efektivně dokonce i v zimním období s teplotami vody v oblasti 2 – 3°C. Odpadní voda nepřichází do styku s mrazivým vzduchem na dlouhou dobu, více se zdržuje ve spodních vrstvách, kde se teplota pohybuje nad bodem mrazu. Navíc v dnešní době se mrazivá zimní období vyskytují čím dál s menší frekvencí. [1]

Počet obyvatel	CHSK _{Cr} přípustné	CHSK _{Cr} max	BSK ₅ přípustné	BSK ₅ max	NL přípustné	NL max	N-NH ₄ ⁺ přípustné	N-NH ₄ ⁺ max
500-2000	125	180	30	60	40	70	20	40

Tabulka 3-2 Emisní standardy pro čistírny 500-2000 EO (přípustné hodnoty v mg/l)

3.1.1.4 Kořenové čistírny pro 2001 – 5000 EO

Kořenové čistírny pro takový počet ekvivalentních obyvatel jsou stále odmítány vodohospodářskými úřady stejně jako kořenovky nad 500 EO. Dle zkušebního provozu na intenzifikované ČOV pro obec Dražovice ale lze tvrdit, že kořenová čistírna při správném navržení je konkurenceschopná i při kategorii 2001 – 5000 EO. Při návrhu pro takto vysoký počet obyvatel je důležité správně rozmístit rozváděcí potrubí na samostatné filtrační pole. Dalším problémem je velká zabraná plocha, která je třeba právě k umístění vertikálních filtrů. Uvádí se, že na jednoho obyvatele je třeba 4 -5 m². [1], což při vysokém počtu obyvatel vede k nedostatečné velikosti obecních pozemků.

3.1.2 Dělení dle typu průtoku

Kořenové čistírny lze dělit dle typu průtoku filtračním polem na dva základní typy:

- Horizontální kořenové čistírny s podpovrchovým průtokem
- Vertikální kořenové čistírny s prouděním směrem dolů

Varianty s povrchovým průtokem u horizontálních filtrů nejsou z provozních důvodů vhodné. Varianta vertikálního filtru s prouděním vzhůru vykazuje velice podobné (neodstatečné) účinnosti, jako v případě horizontálních filtrů

Horizontální kořenové čistírny s podpovrchovým průtokem

Tento typ kořenové čistírny je v České republice nejpoužívanější, ale rozhodně ne nejefektivnější. Používá se hlavně z důvodu jednoduchosti návrhu a výstavby. Díky podpovrchovému průtoku dochází k zamezení znečištění vnějšími patogeními organismy. Filtrační pole je osázeno vlhkomilnými a mokřadními rostlinami. Voda protéká pod povrchem v anaerobním prostředí a přes kořeny rostlin dochází k její filtraci. Je rovnoměrně rozdělena po celém filtračním poli. Vyčištěná voda se pomocí jednoho sběrného podrubí v odtokové části sbírá a odvádí pryč. [5,6]

Horizontální čistírna s podpovrchovým průtokem efektivně odstraňuje NL, BSK₅ a CHSK_{Cr}. Odstranění fosforu a dusíku je velice náročné na plochu (25-30 m²/EO). Zabrání takové plochy je nereálné, proto kořenové čistírny dosáhly špatné pověsti u laické i u části odborné veřejnosti. [1]



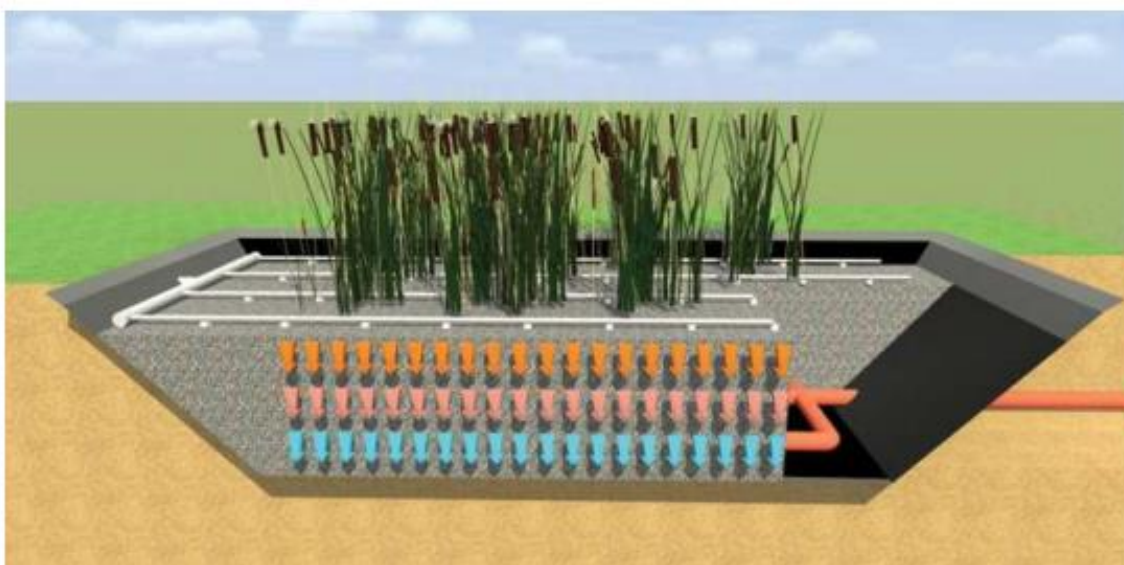
Obrázek 3-1 Schéma horizontální kořenové čistírny s podpovrchovým průtokem

Vertikální kořenová čistírna

Vertikální kořenové čistírny se dají rozdělit na čistírnu s prouděním shora dolů nebo zdola nahoru v závislosti na umístění přívodního a odtokového potrubí. V případě vodou nasyceném filtru nemá směr proudění žádný vliv na účinnost čištění. Naopak zásadní vliv má nasycenost vodou, resp. varianta nasyceného či nenasyceného prostředí. [7]

V nasyceném prostředí nedochází k účinnému odstranění N-NH_4^+ . Měření dokonce ukázalo, že na odtoku byl obsah amoniakálního dusíku vyšší než na přítoku. Při použití pulzně skrápěného vertikálního filtru lze snížit amoniakální dusík o 90-95 % [1]

Jak už bylo řečeno horizontální filtry účinně odstraňují NL, BSK5 a CHSKCr. Vertikální filtry jsou stejně tak účinné, přičemž odstranění dusíku a fosforu je srovnatelné s klasickou čistírnou odpadních vod. Tímto je řešen největší a nejpalčivější problém kořenových čistíren. Dle posledních výsledků na kořenové čistírně v Dražovicích, kde probíhá monitoring a výzkum v rámci VUT, bylo prokázáno, že pulzně skrápěný vertikální filtr je dvakrát účinnější než horizontální filtr. [8]



Obrázek 3-2 Schéma vertikálního kořenového filtru

4 Čistící procesy probíhající na kořenové čistírně

Mezi tyto procesy patří především sedimentace a filtrace nerozpuštěných látek, biologické čištění vody pomocí mikroorganismů, čištění fyzikální a chemické díky kořenovému systému. [7]

4.1 Nerozpuštěné a organické látky

Nerozpuštěné látky je třeba odstranit ještě přes vstupem na filtrační lože, a to z důvodu kolmatace filtru. Kolmatace neboli zanesení filtru výrazně snižuje účinek čistírny. Nerozpuštěné látky sedimentují v usazovací nádrži. Větší části se zachytí na česlích na přítoku do usazovací nádrže.

Organické látky lze vyčistit velice efektivně. Jejich odstraňování probíhá ve filtračním loži v aerobních i anaerobních podmínkách. Mikrobiální organismy se rozkládají na jednodušší sloučeniny. Výhodou kořenových čistíren je možnost vyčistit odpadní vodu i s nízkou koncentrací organických látek. [5]

4.2 Odstranění dusíku

Při vysoké koncentraci dusíku ve vodních tocích dochází k přemnožení řas a sinic. Ty využívají dusík vyskytující se ve vodě. V případě odumření a rozkladu řas a sinic se sníží obsah kyslíku ve vodě, a to vede k úhynu ryb a bezobratlých živočichů. Naopak při intenzivním množení sinic a řas dochází k zvýšené produkci kyslíku a uvolňování toxického plynu v podobě amoniaku. Vysoký obsah dusíku je nepřípustný při úpravě pitné vody.

Dusík se vyskytuje jak v organické, tak anorganické formě sloučenin. Mezi organické formy patří močovina, puriny, aminy a aminokyseliny. Naopak amoniak, dusitany a dusičnany patří mezi formy anorganické. Další skupinou je plynný dusík, např. N_2 , oxid dusný, oxid dusnatý a oxid dusičitý.

Dusík lze odstranit z vody biologickými procesy, které se nazývají nitrifikace, denitrifikace, amonifikace a zachycení dusíku na kořenech rostlin [2].

4.2.1 Amonifikace

Amonifikace neboli mineralizace je proces přeměny aminokyselin na amoniakální dusík. Jedná se o komplexní několikastupňový biochemický proces, při kterém dochází k uvolňování energie. Proces probíhá ve dvou zónách jak v oxidovaných tak

redukovaných zónách. V oxidovaných zónách se aminokyseliny rozkládají na amoniakální dusík přes iminokyseliny a ketokyseliny. Amonifikační rychlost je v oxidovaných zónách nejvyšší a klesá s přechodem na anaerobní mikroflóru. V aerobním prostředí, na povrchu filtru, je amonifikace výrazně rychlejší než nitrifikace. V redukčních zónách jsou vstupní a výstupní formy stejné, ale proces probíhá skrz saturované kyseliny [10]

4.2.2 Nitrifikace

Dalším krokem k odstranění dusíku z vody je proces nitrifikace, kdy se produkty výše uvedené amonifikace přemění na dusitany a dusičnany. Tento proces probíhá za přítomnosti chemolitotrofních bakterií. Nitrifikace je dvoustupňovým procesem, přičemž v prvním stupni probíhá tzv. nitritace, kdy je amoniak oxidován na dusitany. Druhý stupeň je nazýván nitratice, kde se produkty z prvního stupně opět oxidují na dusičnany. Produktem je i kyselina dusičná, která může způsobit pokles pH. Nitrifikace probíhá za přítomnosti kyslíku, přičemž je kyslík spotřebován. Jeho teoretická spotřeba je asi 4,57 g O₂/g N. Skutečná spotřeba je menší, jelikož část dusíku je spotřebována do biomasy bakterií [10]

4.2.3 Denitrifikace

Denitrifikace je proces, při kterém jsou nitráty (NO₃⁻) redukovány na plynný dusík (N₂), jako meziprodukty vznikají dusitany (NO₂), oxid dusný (N₂O) a oxid dusnatý (NO). Probíhá současně s nitrifikací, ale za anaerobních nebo anoxických podmínek. Denitrifikační bakterie vstupující do reakce jsou chemoautotrofní. Při této reakci je důležité pH mezi 6-9. [10]

4.3 Odstranění fosforu

Odstranění fosforu je na kořenových čistírnách nejproblematictější. Obsah odstraněného fosforu pomocí kořenů rostlin a asimilací organismy je zanedbatelný. Výzkumy ze zahraničí, především z Rakouska, ukazují, že k nejúčinnějšímu odstranění fosforu dochází na filtračním poli pomocí adsorpce (53,3 % znečištění). Pro zvýšení účinnosti lze do filtračního pole přidat sorbenty, které mají schopnost fosfor na sebe navázat. V takovém případě je třeba filtrační médium po určitém období vyměnit, jelikož dochází k snížení sorpční kapacity. Mezi sorbenty nejčastěji patří materiály obsahující CaO. V České republice není fosfor sledován, tudíž není ani tlak ze strany vodohospodářských úřadů využívat tyto sorbenty. Jiná situace je například v Rakousku či Norsku, kde jsou vyšší požadavky na fosfor obsažený ve vypouštěné vodě do recipientu [11]

4.4 Jiná znečištění

Jiná znečištění odpadních vod mají svůj původ především v průmyslu. Nejčastěji se jedná o těžké kovy, které mohou být toxické a karcinogenní. Jedná se především o chrom, měď, nikl, kadmium, zinek, olovo či stříbro. Tyto prvky se odstraní nejčastěji sedimentací a filtrací na vtoku. Odstranění pomocí kořenových mechanismů je poměrně neúčinné [12].

Nejefektivněji, dle měření v letech 2006-2008 na třech kořenových čistírnách v České republice, lze odstranit hliník a zinek. Naopak účinnost odstranění kadmia byla velice nízká.

Z tohoto důvodu mají průmyslové objekty svůj způsob nakládání s odpadní vodou a na kořenovou čistírnu se často vůbec nedostanou. [13]

5 Vegetace

Vegetace je nedílnou součástí každé kořenové čistírny. Bez správného druhu vegetace kořenová čistírna nebude fungovat. Při správném návrhu vegetace ovlivňuje jakost i množství vyčištěné vody. Rostliny využívají minerální živiny z vody pro svůj růst a prosperitu. Dokáží na svých kořenech také zachytit těžké kovy a jiné stopové prvky. Druh vegetace vybíráme s ohledem na klimatické podnebí, v němž se kořenová čistírna nachází a složení odpadní vody, která nám na čističku přitéká. Kořeny rostlin by měly být rovnoměrně rozmístěné přes celé filtrační pole. [14]

1. Vegetační pokryv slouží na kořenových čističkách rovněž jako izolace půdy a odpadní vody v zimních měsících, což nám pomáhá udržovat čistírnu v chodu celoročně. O vegetační pokryv se musíme starat a sklízíme ho většinou na jaře, když už nehrozí přizemní mrazíky. (Vymazal, 2004). Mezi další funkce vegetace patří prostupování kořenů skrz půdu, což zvyšuje hydraulickou propustnost filtračního lože. Při odumření rostlin zůstávají v půdě po kořenech kanálky, kterými může proudit čištěná odpadní voda. [15]

Rostliny přivádějí do filtračního lože kyslík a uhlík. Kořenový systém také zvyšuje hodnotu oxidačně redukčního potenciálu a míru nitrifikace a to díky množství bakterií, které se zde nacházejí [16]

Pro Českou republiku je nejtypičtější rostlinou používanou při návrhu kořenové čistírny rákos obecný a chrastice rákosovitá. Tyto dva druhy lze doplnit, hlavně u domovních kořenových čistíren o další rostliny, které budou plnit i estetickou funkci, lze mezi ně zařadit například kosatec žlutý či sibiřský [17].

5.1 Rákos obecný (*Phragmites australis*)

Tato rostlina je vhodná především pro svoji schopnost odolávat různým druhům znečištění, pH a teplotě vody. Velice rychle bují a její kořeny se dostávají až do 1,5 m hloubky. Běžně dorůstá do 4 metrové výšky [18].



Obrázek 5-1 Rákos obecný [35]

5.2 Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*)

Tato rostlina má podobné vlastnosti jako rákos obecný. Nedorůstá do takové výšky, ale dosahuje asi tří metrů. Její kořenový systém je velice mohutný, ale neprorůstá do velkých hloubek. Je odolný vůči nízké teplotě a silnému znečištění. Můžeme ho najít v podmáčených oblastech jak v nížinách, tak v pahorkatinách [18].



Obrázek 5-2 Chrastice rákosovitá [35]

6 Zanášení filtru

Při průchodu odpadní vody filtrem může docházet k zanášení filtru, takzvanému procesu kolmatace. Tento proces negativně ovlivňuje schopnost filtru odstraňovat znečištění vody. Může vést ke zkratovým proudům a snížení propustnosti. Tomuto jevu nelze úplně předejít, ale lze ovlivnit rychlost kolmatace. Při použití vertikálních filtrů je proces kolmatace rychlejší než u horizontálních filtrů, a proto se při návrhu musí brát zřetel na správné navržení mechanického předčištění odpadní vody. Dalším způsobem, jak snížit rychlost zanášení je navržení správného materiálu do filtračního lože. Hrubozrnný materiál je proti kolmataci mnohem odolnější než jemnozrnné materiály [3].

Samotný princip kolmatace je způsoben ucpáváním pórů mezi zrna materiálu. Rychlost zanášení filtru ovlivňuje především hydraulické zatížení filtru a koncentraci znečištění. Vliv růstu kořenů rostlin a ucpávání filtru jejich kořeny je zanedbatelný [19]

U kořenových filtrů lze špatně posoudit rozsah kolmatace, jelikož je celý filtr uložen pod zemí a pokrytý vegetací. Jako indikátor znečištění může posloužit snížený obsah dusičnanů, kvůli snížení nitrifikačních procesů a snížení koncentrace kyslíku ve filtračním poli [20]

6.1 Regenerace filtru

V případě zanášení filtru, kvůli špatnému návrhu či špatnému provozování kořenových čistíren, je třeba věnovat pozornost i regeneraci filtru. Ucpávání se objevuje především při podhodnocení a špatném návrhu mechanického předčištění (usazovací nádrže, vícekomorové septiky).

6.1.1 Postup procesu kolmatace

1. fáze – postupné vyplavování nerozpuštěných látek, které se nachází na dně usazovací nádrže, při vyšších průtocích.
2. fáze – hromadění vyplavených částic v rozváděcím potrubí a vyplavování na filtrační lože
3. fáze – zachycení nerozpuštěných látek na filtračním poli. Pokud je pole horizontálně protékané, látky se usazují pouze do hloubky několika centimetrů.
4. fáze – odpadní voda, přiváděná na filtr není schopná se vsáknout do hlubších vrstev filtračního pole, kvůli nerozpuštěným částicím na filtr, na povrchu filtru vznikají viditelné potůčky, tzv. preferenční cesty.

5. fáze – voda se začíná vsakovat do filtračního pole až dále od přítoku, čímž dochází ke zmenšení účinné filtrační plochy a snížení účinnosti čistírny ve všech parametrech.

Z tohoto postupu můžeme posoudit nejlepší způsob regenerace. Vždy se musíme zaměřit především na mechanické předčištění odpadní vody, pulzní vypouštění odpadní vody a poté až na úpravu filtračního lože [1].

7 Odpadové hospodářství

Na kořenové čistírně vzniká při čištění odpadní vody několik druhů odpadů. Každý odpad je třeba likvidovat jiným způsobem.

Tyto odpady běžně pochází z:

- mechanického předčištění – kaly a shrabky z česlí, písek z lapáku písku, kal z usazovacích nádrží
- filtračního pole – sklizená vegetace z filtračních a kalových polí
- kolmatace – kal ze zakolmatovaného filtru
- procesu srážení fosforu

Při likvidaci kalů a odpadů z kořenové čistírny se musí vypořádat s rozborů těchto odpadů. Zkoumá se obsah organických a minerálních látek, přítomnost těžkých kovů jako kadmia, selenu, zinku, arsenu, chromu, mědi či rtuti. Při provádění mikrobiologického rozboru se zkoumá přítomnost koliformních bakterií, enterokoků a salmonely. Pokud bude kal využit v zemědělství je třeba se zaměřit také na výskyt a množství nutrientů, mezi něž patří fosfor, dusík, draslík, vápník a hořčík. Všechny rozborů se musí řídit normou a to konkrétně: ČSN ISO 5667- 13 Jakost vod - Odběr vzorků - Část 13: Návod pro odběr vzorků kalů a normy ČSN ISO 10381-6 Kvalita půdy - Odběr vzorků - Část 6: Pokyny pro odběr, manipulaci a uchovávání půdních vzorků určených pro studium aerobních mikrobiálních procesů v laboratoři [21].

Mezi běžné způsoby zpracování kalů patří:

- využití v zemědělství
- skládkování,
- pálení,
- kompostování

Využití kalů v zemědělství je velmi častým způsobem likvidace. Pokud kaly obsahují vysoký obsah nutrient, výborně slouží jako hnojivo. Je ale potřeba zmínit, že mohou kontaminovat vodní zdroje a půdu, kvůli obsahu polutantů.

Druhá nejčastější metoda v České republice je skládkování. Tato metoda je ale poměrně drahá a čím dál více odmítaná. V Evropě se snaží prosadit zákaz nebo rapidní snížení skládek. Skládkování nepřináší žádnou přidanou hodnotu, pouze může docházet k únikům skleníkových plynů, metanu a oxidu uhličitého do ovzduší a kontaminace okolí.

Kalové hospodářství je velice nákladné, jelikož je potřeba snížit obsah vody v kalu (sušina tvoří 0,5-15 % objemu). K tomu dochází při zahušťování a odvodňování kalů.

Nejvýhodnější metodou je řešení kalů přímo na místě kořenové čistírny. K tomu slouží kalová pole, což jsou mělké jímky izolované od podloží a pokryté mokřadní vegetací. Tyto zemní jímky se nazývají reed-bed systém. V tomto systému je přítomné aerobní, anoxická i anaerobní prostředí. Dochází zde k rozkladu organické hmoty. Kal je pomocí evapotranspirace rostlin odvodňován a přebytečná voda je vedena pomocí drenáže. Při procesu vzniká oxid uhličitý [22].

Reed-bed systémy mají spoustu výhod:

- nízké náklady na provoz a obsluhu
- energeticky nenáročné
- produktem je kvalitní humus bez zápachu
- fungují jako krajínotvorný prvek

Nevýhody:

- Velké požadavky na plochu

[21]

8 Shrnutí výhod a nevýhod

Každá technologie má svoje výhody a nevýhody. U kořenových čistíren výhody převažují, ale bohužel kvůli jejich špatnému návrhu v minulosti, je spousta lidí odmítá.

8.1 Výhody

Mezi výhody patří bezesporu schopnost čistírny vypořádat se s proměnlivými průtoky i s proměnlivou koncentrací znečištění. Tato vlastnost je s častými výskyty sucha a přívaleových dešťů čím dál důležitější.

Jelikož kořenová čistírna při správném návrhu může fungovat téměř bez obsluhy a bez přívodu elektřiny, jsou náklady na její údržbu velice nízké ve srovnání s klasickými čistírnami odpadních vod.

Systém, který je dobře navržen a provozován, je velmi málo náchylný k haváriím. Na systému, kromě kolmatace, je velmi málo mechanických částí, které by byly poruchové.

Pro kořenovou čistírnu není problém vypořádat se s krátkodobými i dlouhodobými výpadky.

Poslední, ale ne nepodstatnou výhodou, je krajinnotvorná a estetická funkce kořenové čistírny.

8.2 Nevýhody

Mezi nevýhody kořenových čistíren odpadních vod patří zejména velká náročnost na plochu. Tato plocha se zvětšuje s vyšším počtem obyvatel a se zakomponováním například stabilizační nádrže, či kalových polí.

Nejvíce problematickou částí, co se týče účinnosti, je odstraňování fosforu z odpadních vod.

Jelikož kořenová čistírna funguje víceméně samostatně, je nevýhodou stížené řízení čistících procesů.

Kořenová čistírna je celá pokrytá vegetací a pokud je účinnost menší, než má být, je složitější analyzovat a odstranit problém [9].

9 Studie vertikálního filtru pro obec Bezděčín u Trnávky

9.1 Charakteristika území

Obec Bezděčín u Trnávky se nachází ve východní části pardubického kraje v okrese Svitavy. Svitavy se nachází asi 30 km od našeho zájmového území. Okres Svitavy se rozkládá na obou stranách historické hranice mezi Moravou a Čechy. Téměř polovina okresu je pokryta ornou půdou. Dalších 30 % tvoří lesy. Hlavním vodním tokem je řeka Svitava, která ústí do řeky Svratky v Brně. [28]

Bezděčín u Trnávky je malá obec ležící v 318 m n.m. na pomezí Boskovické brázdy a Zábřežské vrchoviny. Žije zde 250 obyvatel v původně dochované zástavbě. K obci Bezděčín u Trnávky náleží menší obec Unerázka, která leží 1,4 km severozápadně. V této obci žije 57 obyvatel.

Obcí Bezděčín u Trnávky protéká místní potok, který se vlévá do potoku Jevíčko a ten se následně vlévá do řeky Třebůvka, jenž je levostranným přítokem řeky Moravy.

9.2 Stávající stav kanalizace

V obci Bezděčín u Trnávky i části Unerázky je v současné době vybudovaná jednotná kanalizace, vybudovaná asi před 70 lety z betonových trub o rozměru DN400. Do této kanalizace ústí přes septiky více než 80 % přípojek od obyvatelstva. Zbývajících 20 % tvoří žumpy, které se pravidelně vyvážejí. Do kanalizace je zaústěna i odvodňovací drenáž. [29]

9.3 Výhledový stav

V případě použití varianty klasické čistírny odpadních vod by bylo třeba vybudovat v Bezděčín u Trnávky novou splaškovou kanalizaci. Stávající stoky by byly využity pro dešťové odpadní vody. Nová kanalizace by vedla skrz celou obec v hlavní silnici směrem k silnici do obce Unerázka. Došlo by ke zrealizování jedné přečerpávací stanice, která by čerpala splaškové vody ze zástavby levého břehu potoka. [29]

Tato studie kořenové čistírny se bude týkat pouze Bezděčín u Trnávky, jelikož svedení odpadních vod z obou obcí do jednoho bodu by bylo investičně náročné.

10 Podklady pro návrh kořenové čistírny

10.1 Charakteristika řešeného území

Obec Bezděčín u Trnávky se rozkládá na území okresu Svitavy. Jedná se o malou obec, která čítá na 250 trvale žijících obyvatel. Nejstarší zmínka o obci pochází z roku 1258. Nejsou zde evidovány žádné významné historické památky, ale za zmínku jistě stojí kříž na návsi z roku 1857. [28]

Katastrální výměra obce je 700 ha. Celá obec je obklopena zemědělskými plochami s ornou půdou. Na severozápadě obce se nachází lesy, které nesou název Močidla. V těchto lesích lze najít i nejvyšší kopec okolí s názvem Plániva a 559 m n.m. Z těchto lesů do obce přitéká i potok, který protéká celou obcí až k zájmovému území, vhodnému pro stavbu kořenové čistírny odpadních vod.

V obci se nachází obchod se smíšeným zbožím a dětské hřiště. Na jihovýchodní straně obce můžeme najít zemědělské družstvo. Odpadní voda z tohoto družstva nebude svedena ke kořenové čistírně. Do obce vede pouze jedna příjezdová cesta. [30]

10.2 Zpracovaná studie odkanalizování obce

Čistírna odpadních vod se v současné době v obci nenachází a společnost ProVenkov, spol. s r.o. zpracovala Variantní studii odkanalizování obce. V této studii se řeší více možností, jak se vypořádat s odpadní vodou pro tuto obec. Je zde popsáno 5 variant se zaměřením na stěžejní výhody a nevýhody řešení, doplněné ekonomickou náročností – investiční zátěží a provozními náklady jednotlivých variant:

- Varianta č. 1: Splašková kanalizace + čistírna odpadních vod – v souladu s ÚP obce
- Varianta č. 2: Tlaková, podtlaková kanalizace + čistírna odpadních vod
- Varianta č. 3: Dočištění odpadních vod na čistírně s vertikálním šterkovým filtrem a využitím stávající (jednotné) kanalizace
- Varianta č. 4: Dočištění odpadních vod ve stabilizačních nádržích s mechanickým předčištěním
- Varianta č. 5: Čištění odpadních vod domovními čistírnami odpadních vod.

Ve variantě č. 3 se počítá s vertikálním filtrem jak pro obec Bezděčín u Trnávky, tak pro místní část obec Unerázka. Byla by zde využita stávající jednotná kanalizace. Právě této variantě se nejvíce blíží detailněji zpracované řešení v této bakalářské práci.[29]

10.3 Umístění kořenové čistírny odpadních vod

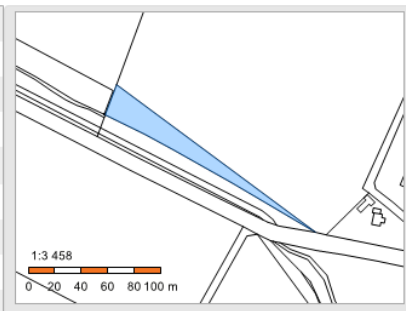
Pro čistírnu odpadních vod byla vymezena nejpříhodnější oblast západně od obce, vedle silnice, která vede do obce. Vedle této silnice po pravé straně směrem od obce ke křižovatce teče Bezděčský potok. Za ním se nachází soukromé pozemky, které by byly vhodné pro stavbu kořenové čistírny. Jedná se o pozemkové parcely č. 338/1 a 338/2 v katastrálním území Bezděčín u Trnávky. Obě parcely mají stejného vlastníka, pana Pavla Novotného. Dotčené pozemky mají celkovou výměru 4474 m² a protáhlý trojúhelníkovitý tvar. Z jedné strany se nachází silnice a Bezděčský potok, druhá strana se stoupá směrem zemědělskému obhospodářovanému pozemku. Podélný sklon pozemku je 2,7 %. [29]



Obrázek 10-1 Lokalizace zájmového území [34]

Informace o pozemku

Parcelní číslo:	338/1
Obec:	Bezděčín u Trnávky [574309]
Katastrální území:	Bezděčín u Trnávky [603376]
Číslo LV:	56
Výměra [m ²]:	1957
Typ parcely:	Parcela katastru nemovitostí
Mapový list:	DKM
Určení výměry:	Graficky nebo v digitalizované mapě
Druh pozemku:	zahrada



Sousední parcely

Vlastníci, jiní oprávnění

Vlastnické právo	Podíl
Novotný Pavel, č. p. 34, 56943 Bezděčín u Trnávky	

Způsob ochrany nemovitosti

Název
zemědělský půdní fond

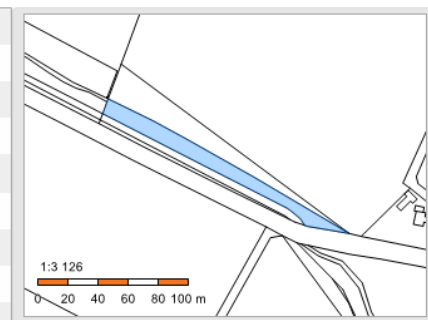
Seznam BPEJ

BPEJ	Výměra
31410	1957

Obrázek 10-2 Výpis z katastru nemovitostí pro parcelu č. 338/1

Informace o pozemku

Parcelní číslo:	338/2
Obec:	Bezděčín u Trnávky [574309]
Katastrální území:	Bezděčín u Trnávky [603376]
Číslo LV:	56
Výměra [m ²]:	1579
Typ parcely:	Parcela katastru nemovitostí
Mapový list:	DKM
Určení výměry:	Graficky nebo v digitalizované mapě
Způsob využití:	jiná plocha
Druh pozemku:	ostatní plocha



Sousední parcely

Vlastníci, jiní oprávnění

Vlastnické právo	Podíl
Novotný Pavel, č. p. 34, 56943 Bezděčín u Trnávky	

Obrázek 10-3 Výpis z katastru nemovitostí pro parcelu č. 338/2

10.4 Množství a kvalita přitékajících odpadních vod

Specifická produkce odpadních vod je odhadována na 125 l/d/obyvatele. Balastní vody tvoří 30 % z průměrného denního průtoku Q₂₄. Současný stav obyvatelstva obce je 250 obyvatel, přičemž počítáme jednoho obyvatele rovného jednomu ekvivalentnímu obyvateli (1 obyv = 1 EO). Průměrná produkce 1 ekvivalentního obyvatele (EO) je 60 g BSK₅.

q _{spec}	125	l/d/obyt	specifický průtok
EO	250		počet ekvivalentních obyvatel
Q _{bal}	30	%	balastní vody (procentuální množství)
k _d	1.5		součinitel denní nerovnoměrnosti dle ČSN 73 6701
k _h	5.15		součinitel hodinové nerovnoměrnosti dle ČSN 73 6701

Tabulka 10-1 Zadané veličiny pro výpočet množství přitékajících vod

Počet připojených obyvatel	30	40	50	75	100	300	400	500
Součinitel max. hodinové nerovnoměrnosti k _h	7,2	6,9	6,7	6,3	5,9	4,4	3,5	2,6

Tabulka 10-2 Tabulka pro určení součinitele maximální hodinové nerovnoměrnosti

Množství splaškových odpadních vod je vypočteno podle směrných hodnot s použitím specifické produkce odpadních vod na obyvatele za den. K výpočtu byly použité níže uvedené rovnice (10.1), (10.2), (10.3) a (10.4) Výsledky jsou uvedeny v tabulce 10-3.

$$Q_{24,m} = EO * q_{sp} \quad \left[\frac{m^3}{d} \right] \quad (10.1)$$

$$Q_{24} = Q_{24,m} + Q_B \quad \left[\frac{m^3}{d} \right] \quad (10.2)$$

$$Q_d = Q_{24,m} * k_d + Q_B \quad \left[\frac{m^3}{d} \right] \quad (10.3)$$

$$Q_h = Q_{24,m} * k_d * k_h + Q_B \quad \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (10.4)$$

Q_{bal}	9.38	m ³ /d	Balastní vody
Q_{24}	40.63	m ³ /d	Průměrný denní průtok
Q_d	56.25	m ³ /d	Maximální denní průtok
Q_h	2.90	l/s	Maximální hodinový průtok

Tabulka 10-3 Výpočet přítoků na čistírnu odpadních vod

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

Tabulka 10-4 Emisní standardy dle přílohy č.1 k NV 401/2015 Sb.

Průměrné denní znečištění odpadních vod je vypočítáno dle rovnice (9.5) a koncentrace znečištění jsou spočítány dle rovnice (9.6)

$$S_{dp} = EO * S_0 \quad [kg/d] \quad (9.5)$$

$$c_0 = \frac{S_{dp}}{Q_{24}} \quad [mg/l] \quad (9.6)$$

Ukazatel	S_0
	[g/os/d]
BSK ₅	60
CHSK	120
NL	55
P _{celk}	2.5
N _{celk}	11

Tabulka 10-5 Orientační hodnoty produkce specifického znečištění S_0 na 1 EO v g/d dle ČSN 75 6402

UKAZATEL	Sdpo [g/d]	Sdpo [kg/d]	c_0 [mg/l]
BSK	12420.00	12.42	545.45
CHSK	24840.00	24.84	1090.91
N	2277.00	2.28	100.00
P	517.50	0.52	22.73

Tabulka 10-6 Výpočet průměrného denního znečištění S_{dp} a vstupní koncentrace znečištění c_0

11 Způsob čištění odpadních vod

Pro čištění odpadních vod budeme uvažovat o dvou variantách. Jedna z variant se bude skládat z anaerobního separátoru a vertikálního filtru s vegetací, druhá varianta bude obsahovat 3 stupně čištění (předčištění sedimentací, vertikální filtr s horizontálním průtokem a vertikální filtr s vegetací). U obou variant porovnáme odhad nákladů jak provozních, tak nákladů na realizaci. Porovnáme náročnost na plochu, jelikož plocha vymezená pro stavbu kořenové čistírny je poměrně malá.

11.1 Varianta A

Varianta A se skládá pouze ze dvou stupňů čištění odpadní vody. Jedná se o stupeň mechanického předčištění v podobě anaerobního separátoru a samotného vertikálního filtru s vegetací.

11.1.1 Technologické objekty na KČOV

Kořenovou čistírnu tvoří postupně na sebe navazující objekty, které se navrhnou s ohledem na kvalitu a množství odpadní vody

Mechanické předčištění – první stupeň

Voda přitékající z kanalizační stoky obsahuje pevné a usaditelné částice, které se separují právě v prvním stupni čištění. U kořenových čistíren se dává přednost zařízení s minimální obsluhou a nejlépe bez potřeby elektrické energie. Mezi taková zařízení patří ručně stírané česle, lapáky písku, usazovací nádrže nebo anaerobní separátory [1]. Na kořenovou čistírnu odpadních vod pro obec Bezděčín u Trnávky budou navrženy ručně stírané česle, lapák písku a anaerobní separátor. Lapák písku zde bude umístěn z důvodu připojení na jednotnou kanalizaci, která s sebou přináší minerální částice prachu a písku – zejména během zimního období.

- Odlehčovací komora

Jelikož na kořenovou čistírnu odpadních vod je zaústěna jednotná kanalizace při intenzivních deštích se může výrazně zvýšit průtok. Tento průtok se zredukuje v odlehčovací komoře, která bude umístěna ještě před septikem.

Bude se jednat o žlabovou odlehčovací komoru o rozměrech 2x2 metry, která přebytečnou dešťovou vodu pošle do recipientu. Odlehčovací komora bude betonována na místě a bude vybudována s bočním přepadem. Přesnější návrh odlehčovací komory bude součástí rozsáhlejší projektové dokumentace.

- Ručně stírané česle

Česle se umísťují na vtok do anaerobního separátoru a slouží k zachytávání hrubého znečištění a pevných látek z vody. Česle tvoří mříž z vertikálně umístěných tyčí a tvoří překážku plovoucím pevným látkám, které se zachycují na mříži. Tyto látky jsou poté odstraňovány ručně pomocí hrabla.

Pro návrh česlí musí být dodrženy zásady dle ČSN 75 6402: [25]

- Rozměry průlin u jemných česlí: 15-20 mm
- Ručně stírané česle musí být vyjímatelné a stíratelné pro celé ploše
- Sklon česlí ke žlabu by měl být 45°
- Musí být dodrženy průtočné rychlosti:
 - $Q_{\min} > 0.5 \text{ m/s}$
 - $Q_{24} = <0.6 - 1.0> \text{ m/s}$
 - $Q_h < 1.4 \text{ m/s}$

[23]

Česle jsou z česlicové mříže, která je tvořena z profilových tyčí. Celá česlicová mříž je zabudovaná v plastovém boxu. Box se osazuje do otevřeného kanálu, který má obdelníkový průřez. Další součástí česlí je vyhrnovací děrovaný žlab, na který jsou obsluhou vyhrnovány shrabky pomocí hrabla. [32] Shrabky musí být částečně zbaveny vody a přesunuty do kontejneru, odkud dál budou vyvážené k dalšímu využití (kompostování) nebo ke skládce. Množství shrabků se podle ČSN 75 6402 pohybuje mezi 4- 8 kg/obyt./rok. Při výpočtu jsem zvolila průměrnou hodnotu, tedy 6 kg/obyt./rok. Roční produkce je tedy při 250 EO 1500 kg. Objemová hmotnost čerstvých shrabků je 960 kg/m³. Objem shrabků tudíž vychází asi na 1,6 m³/rok.

Mechanicky stírané česle budou dodány společností Asio, bude se jednat o produkt AS- ČESLE 80/30/65.

- Lapák písku

V případě zaústění jednotné kanalizace, která s sebou přináší větší množství písku a štěrku je nutnost navrhnout lapák písku, kde dochází k odstranění písku a drobného štěrku s velikostí zrn nad 0,2 mm. Písek by se mohl hromadit v dalších částech čistírny a tím snižovat jejich čistící účinnost. Principem odstanění je sedimentace těchto částic, díky snížení průtočné rychlosti (0,15 m/s – 0,45 m/s). Při nižších průtočných rychlostech by docházelo k sedimentaci i organických příměsí a usazený materiál by

zahníval. K sedimentaci organických usaditelných látek bude použitý anaerobní separátor. [27]

Lapák písku se skládá ze stavební a strojní části. Strojní část je tvořena jemnými ručně stíranými česly typu 600 x 550 x 30 -(02) - NKS 70 086 – 69. Stavební část je tvořena přítokovým potrubím, nádrží a odtokovým potrubím. Vnitřní délka lapáku je 6 metrů a vnitřní šířka je 1,2 metry. Objem prostoru na usazený písek je 1,6 m³. Podle parametru, který sleduje počet obyvatel, by stačil lapák písku 400. Tento typ ale nebyl vyhovující z důvodu vysokých průtokových hodnot.

Typ	Počet obyv.	Q _d [m ³ /den]	Q ₂₄ [m ³ /hod - l/s]	Výška plnění h [m]	Průtočná plocha S [m ²]	Délka lapáku [m]	Průtoková rychlost v [m/s]	Doba zdržení T [s]	Hydraulické povrch. zatíž. [m ³ /m ² /hod]
			Q _{max} [m ³ /hod - l/s]						
			Q _{děšť} [m ³ /hod - l/s]						
LPŠ 600	400	80	3,33 - 0,93	0,054	0,0061	6,0	0,15	40	4,85
			11,65 - 3,25	0,088	0,0130		0,25	24	13,10
			-	-	-		-	-	-

• Tabulka 11-1 Parametry lapáku písku [36]



Obrázek 11-1 Lapák písku

- Anaerobní separator

V anaerobním separátoru dochází k rozkladu organických látek a stabilizaci kalu v anaerobních podmínkách. Jedná se o inovativní řešení klasického septiku s několikanásobně zvýšenou účinností čištění [24]. Anaerobní separator se navrhuje jako

anaerobní reaktor s ohledem na teplotu a znečištění obvyklých splaškových vod. Konstrukce separátoru lze dodat jako prefabrikát nebo vybetonovat na místě. Konstrukce musí zabezpečit maximální využití prostoru a zamezit zkratovému proudění. Střední doba zdržení je minimálně 4 dny a objem separátoru minimálně 4 m³. Separátor je tvořen nejméně třemi komorami a na odtoku je umístěn vyjímatelný filtr plovoucích nečistot.

V případě variant A použijeme 6 prefabrikovaných pravoúhlých betonových nádrží typu SL 290-40 o objemu 40 m³, vážících 24,2 tuny, a 3 nádrže typu SL 230 – 16 o objemu 16 m³, které budou přivezeny na pozemek a osazeny na vybetonovanou podkladní desku. Tyto nádrže vyrábí společnost Jímky Hradec.

Při návrhu anaerobního separátoru vycházím z normy ČSN 75 6402: Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel. Soustava bude tvořena třemi tříkomorovými septiky, celkem tedy devíti nádržemi. Každý ze septiků bude samostatně na jednom toku před vertikálním filtrem. Odpadní voda bude v tocích rozdělena rovnoměrně. Každá komora obsahuje norné stěny na přítoku a odtoku. Tyto stěny zabraňují plovoucím nečistotám protékat z jedné komory do druhé a budou osazeny na místě. Předčištěná odpadní voda bude ze septiku odváděna do rozdělovací šachty.

Celý septik se skládá z kalového a účinného prostoru. Kalový prostor tvoří 49 m³, kalový prostor bude vyvážen 4krát za rok. Dobu zdržení kalu zvolím 92 dní. Střední dobu zdržení vody v anaerobním separátoru volím 5 dní.

Výpočet objemu anaerobního separátoru najdeme v tabulce 11-1 a 11-2

2.16	Specifická produkce kalu (L/EO/den)
4	Četnost vyvážení (1/rok)
540	Denní produkce kalu (L/den)
91.25	Doba zdržení kalu v septiku (dny)
49.3	Nutný objem kalového prostoru (m ³)

Tabulka 11-2 Výpočet nutného objemu kalového prostoru

203.1	účinný objem (m ³)
49.3	kalový objem (m ³)
252.4	Celkový objem septiku (m ³)

Tabulka 11-3 Výpočet objemu anaerobního separátoru

Kal vyklízený ze septiku bude přemísťován na kalové pole v místě kořenové čistírny. [25]

Rozdělovací šachta

Pro rovnoměrnou distribuci přitékající odpadní vody na vertikální filtr bude použita rozdělovací šachta, která pomocí pulzního vypouštěče je schopna distribuovat vodu na vertikální filtr v 5-10 denních dávkách. Pulzní vypouštěč můžeme najít pod obchodním názvem AZ-PULZ, který je vyráběn prostřednictvím licenční smlouvy VUT, která zahrnuje užitný vzor č. 25544, původce Michal Kříška, 2013 [30]. Výhodou zařízení je fungování bez nutnosti elektrické energie a bez nutnosti zásahu obsluhy. Principem pulzního vypouštěče je pomalé přitékání vody, která se akumuluje a jakmile hladina dosáhne svého maxima je shromážděná voda rychle vypuštěna do potrubí, které ji okamžitě rozvede na povrch filtru. [31].

Na kořenové čistírně v Bezděčíně u Trnávky budou navrženy tři rozdělovací šachty. Každá šachta bude napojena mezi poslední komoru septiku a jeden vertikální kořenový filtr. Rozdělovací šachta je kruhového průřezu o průměru 2,0 metru. Vnitřek je rozdělen pomocí svislých stěn a na 2 oddělené části. Nad nimi je překlápěcí mechanismus, který zajišťuje přesné rozdělení vody na 2 stejné díly, které pak zásobují jednu polovinu vertikálního filtru. Rozdělovací výška šachty je navržena na 1,2 metry.

$Q_d =$	40.63	m^3/den	průměrný denní průtok
$a =$	3	pole	počet filtračních polí
$b =$	6	jednotek	počet filtračních jednotek
$Q_{pole} =$	13.54	m^3/den	denní průtok na 1 pole
$Q_j =$	6.77	m^3/den	denní průtok na 1 jednotku
$p =$	4	pulzů	počet pulzů za den
$V_{pulz} =$	0.75	m^3	objem jednoho pulzu

Tabulka 11-4 Výpočet objemu jednoho pulzu vypouštěného z rozdělovačí šachty

$V_{pulz} =$	0.75	m^3	objem jednoho pulzu
$r =$	1	m	poloměr šachty
$n =$	2	ks	počet komor v jedné šachtě
$S_{komora} =$	1.57	m^2	obsah jedné komory
$h_{komora} =$	0.48	m	výška při vypouštění

Tabulka 11-5 Výpočet obsahu jedné komory

$h_{\min}=$	0.5	min. hladina
$h_{\text{komora}}=$	0.48	výška při vypouštění
$h_p=$	0.15	překlapěč
$h_k=$	0.1	kryt
$h=$	1.2	celková výška šachty

Tabulka 11-6 Výpočet celkové výšky šachty

Vertikální filtr s vegetací

Vertikální filtr s vegetací slouží jako hlavní čistící stupeň KČOV. Tento filtr zajistí odstranění amoniakálního dusíku díky nitrifikaci. Pro návrh jsou předpokládány vysoké účinnosti BSK, CHSK, NL a N-NH_4^+ . Inspirace k dimenzování je vzata z Rakouska, kde kořenové čistírny fungují jako spolehlivé technologické řešení, které je konkurencí pro intenzivní čištění odpadních vod [1].

Návrh a velikost filtračního pole vychází z koncentrace znečištění CHSK_{Cr} . Amoniak je bez problému odstraněn při maximálním hydraulickém zatížení. Na Ústavu vodního hospodářství krajiny byly provedeny výzkumy, které dokázaly, že účinnost pulzně skrápěného filtru je $13 - 26 \text{ g}_{\text{CHSK}}/\text{den}/\text{m}^2$ podle zrnitosti filtračního materiálu. Pro návrh vertikálního kořenového filtru je tedy třeba znát celkové denní zatížení CHSK_{Cr} , které na filtrační pole přiteče. Předpokládaná účinnost anaerobního separátoru je 60 %. [1]

Na vertikální filtr přiteče každý den z anaerobního separátoru $11538 \text{ g}/\text{den}$ CHSK_{Cr} . Při účinnosti odstranění $20 \text{ g}/\text{m}^2/\text{den}$ plocha vertikálního filtru vychází na 577 m^2 . Výsledky jsou uvedeny níže v tab. 11-6.

EO	250
$Q_{24, \text{m}} [\text{m}^3/\text{d}]$	31.25
$Q_{24} [\text{m}^3/\text{d}]$	40.625
$S_{\text{dpo}} [\text{g}/\text{d}]$	30000
$c_0 [\text{mg}/\text{l}]$	738
$\text{CHSK}_{\text{Cr}} [\text{mg}/\text{l}]$	369
$\text{CHSK}_{\text{Cr}} [\text{g}/\text{d}]$	11,538
$S [\text{m}^2]$	577

Tabulka 11-7 Výpočet plochy vertikálního filtru

Popis veličin a použité vzorce

EO – počet ekvivalentních obyvatel

$Q_{24, m}$ – průměrný denní přítok odpadních vody (11.1)

$$Q_{24, m} = EO * q_{spec}$$

Q_{24} – průměrný denní přítok odpadních vod zahrnující balastní vody (11.2)

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

S_{dpo} – denní znečištění od obyvatel přitékající na čistírnu (11.3)

$$S_{dpo} = s_o * EO$$

c_0 – koncentrace $CHSK_{Cr}$ přitékající na čistírnu (11.4)

$$c_0 = S_{dpo} * Q_{24}$$

$CHSK_{Cr}$ – Chemická spotřeba kyslíku přitékající na vertikální filtr (11.5)

$$CHSK_{Cr} = 0,4 * c_0$$

S – plocha (11.6)

$$S = CHSK_{Cr} / 20$$

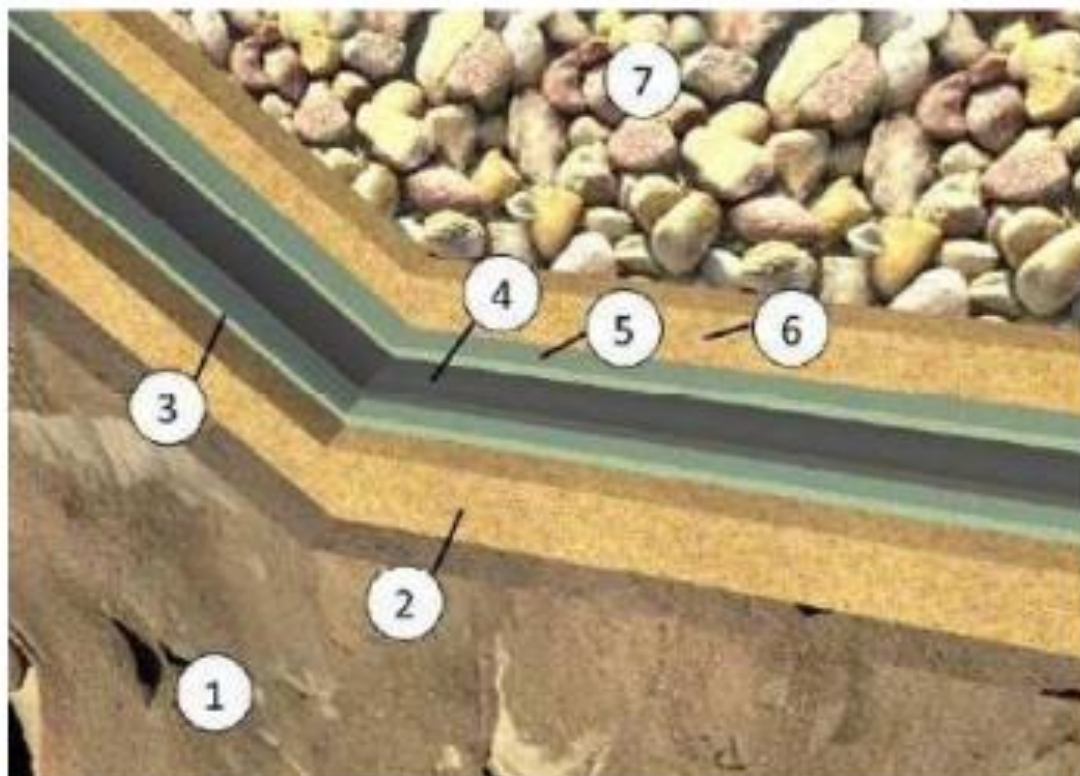
Budou navrženy 3 filtrační pole, každé z nich bude ležet na jednom přítoku od rozdělovací šachty. Jedno filtrační pole bude mít velikost 200 m². Celková plocha tudíž bude 600 m².

Uspořádání a mocnosti jednotlivých vrstev filtračního pole vychází z ČSN 75 6402 a jsou uvedeny v tabulce 11-7

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

Tabulka 11-8 Uspořádání jednotlivých vrstev vertikálního filtru

V drenážní vrstvě bude uloženo drenážní potrubí, které bude odvádět přefiltrovanou vodu z filtru. Drenážní vrstva musí být dokonale odizolována, aby voda neprosakovala dál do podloží. Jako hydroizolace lze použít materiály PVC, PE, gumu minimálně 1,5 mm tlustou, krytou oboustranně geotextilií. [21]



Obrázek 11-2 Složení hydroizolační vrstvy

1 – podloží, 2 – pískový podsyp, 3- geotextilie, 4-fólie, 5- geotextilie, 6- pískový zásyp, 7 – těleso filtru [21]

Vertikální filtr pro obec Bezděčín u Trnávky bude navržen 4 vrstvý filtr. Pro správné fungování filtru a rovnoměrné rozložení vody je nutností, aby všechny vrstvy byly vodorovné. Složení vychází z tabulky uvedené výše. Svrchní vrstva bude tvořena praným říčním štěrkem frakce 8/16P mm o mocnosti 100 mm. Pod svrchní vrstvou se nachází hlavní filtrační vrstva tvořena praným pískem frakce 0/4P o výšce 600 mm. Další vrstvou v celkové skladbě je přechodový filtr tvořený drceným praným štěrkem frakce 4/8P mm o výšce 200 mm. Hlavní funkce přechodového filtru zabraňuje zanesení drenážní vrstvy a drenážního potrubí. Nejhlouběji uložená vrstva je drenážní vrstva tvořená také praným drceným štěrkem 8/16P mm o výšce 200 mm. Díky této vrstvě nedochází k zanášení drenážního potrubí.

Pro správný odtok z filtračního pole je třeba vyspádovat dno filtračního lože. Hydroizolace bude tvořena pískovým podsypem o tloušťce 50 mm, dále bude položena geotextilie o plošné hmotnosti 500 g/m², PVC fólie, znovu geotextilie o plošné hmotnosti 500 g/m², která bude zasypána pískovou vrstvou znovu o tloušťce 50 mm. Pískové vrstvy jsou umístěny tak, aby chránily textilie proti protržení.

Celková tloušťka filtru i s kompenzační vrstvou je 1,2 m.

Název vrstvy	Materiál	Mocnost (mm)
Svrchní vrstva	Praný říční štěrka 4/8P mm	100
Hlavní filtrační vrstva	Praný písek 0/4P mm	600
Přechodový filtr	Drcený štěrka praný 4/8P mm	200
Drenážní vrstva	Drcený štěrka praný 8/16P mm	200
Pískový zásyp	Písek	50
Těsnění	Hydroizolace z PVC 1,5 mm krytá oboustranně geotextilií 500 g/m ²	-
Kompenzační vrstva	Písek	50

Tabulka 11-9 Uspořádání a mocnost jednotlivých vrstev použitých na KČOV pro obec Bezděčín u Trnávky

Jelikož kořenová čistírna má plnit kromě čistící funkce i funkci krajinnotvornou a estetickou, bude povrch filtru osázen mokřadními rostlinami. Tyto rostliny budou plnit funkci i ochrannou. Ochranná funkce spočívá v krytí potrubí před slunečním zářením a chrání ho před mrazem. Bude vysázen rákos obecný. Jedná se o vytrvalou a rychle rostoucí rostlinu. Kořeny rákosu prorůstají do velké hloubky. Rákos je dobře odolný vůči vysokým a nízkým teplotám, pH a organickému i anorganickému znečištění [18]. Každé jaro bude rostlina kosena a sklízena.

Potrubí

Na povrchu filtru se nachází rozváděcí potrubí, které přivádí odpadní vodu na plochu filtru. Při návrhu musíme vycházet ze známé plochy filtračního pole. Potrubí bude napouštěno pulzně v 5-10 dávkách denně. Pulzní napouštění potrubí je třeba kvůli dostatečnému okysličení filtru a dosažení rovnoměrného rozdělení odpadní vody po celé ploše. Optimální dávkování denně je zajištěno pulzním vypouštěčem [26].

Bude použito plastové potrubí, které se používá i pro vnitřní kanalizace. Jedná se o šedý polypropylen PP-HT. Tento materiál se vyznačuje vysokou odolností proti nárazům a deformacím. Nemusíme se ani obávat výkyvů tepla. Pro dimenzování potrubí budeme vycházet z metodické příručky Kořenové čistírny odpadních vod, Křiška, Němcová, 2015 [1].

Filtrační pole máme rozděleno na 3 samostatná filtrační pole. Každé se skládá ze 2 filtračních jednotek. Na tuto filtrační jednotku je přiváděna voda z rozdělovací šachty. Hlavní přívodní potrubí bude o dimenzi dn110 a z něj povedou kolmo rozdělovací větve o dn40. Tyto větve od sebe budou vzdálené 1 m a 0,5 metru od kraje pole. Na konci každého přívodního i rozdělovacího potrubí bude umístěn ventil pro případné vypustění potrubí. Délka přívodního potrubí je 96 metrů a délka rozdělovacího potrubí je 600 metrů.

Pro eliminaci ucpávání potrubí kořeny a listy bude potrubí podloženo dlaždicemi (1ks/30 cm). Je nutné potrubí vyspádovat. Na konci musí být alespoň o 25 cm výše pro

zajištění hydraulického vyrovnání hladiny, odvědušení a možnosti propláchnutí. Ze spodní strany potrubí budou navrtány otvory o průměru 5,0 mm po 25 cm. Na přívodním potrubí budou umístěny kontrolní kusy pro tlakové čištění potrubí. Vyčištěná voda je drenážním potrubím DN 80 mm odváděna v nejnižším bodě filtru.

Voda, která proteče filtrem je odváděna drenážním potrubím o dn80 ven v nejnižším bodě. Drenážní potrubí bude uloženo pod celou plochou filtru po vzdálenosti 2,0 metrů. Celková délka drenážního potrubí bude 380 m.

Potrubí	PP-HT dn40	600	m
	PP-HT dn110	96	m
	Drenáž dn80	380	m

Tabulka 11-10 Délka potrubí pro variantu A

11.1.2 Kvalita vyčištěné vody pro variantu A

Vyčištěná odpadní voda musí splňovat emisní standardy dle NV 401/2015 Sb. Hodnoty účinností jednotlivých objektů jsem převzala z normy ČSN 75 6402 a uvedla v tabulce 11-10.

Ve výpočtu jsou použity průměrné hodnoty účinností. V další tabulce 11-11 jsem uvedla odtokové koncentrace jednotlivých čistících stupňů.

Ukazatele, které není třeba v této době sledovat jsou uvedeny v tabulce 11-12. Účinnost odstranění amoniakálního dusíku je dostatečně vysoká, avšak pro snížení koncentrace celkového fosforu je nutné navrhnout objekt na srážení fosforu.

Technologie čištění	Účinnost čištění v %					
	BSK ₅		CHSK		NL	
	rozmezí	průměr	rozmezí	průměr	rozmezí	průměr
I. Stupeň Anaerobní separátor	50-75	63	40-80	60	70-90	80
II. Stupeň Vertikální filtr s vegetací	75-98	87	70-97	84	85-99	92

Tabulka 11-11 Hodnoty čistících účinností dle normy ČSN 75 6402

Technologie čištění	Koncentrace znečištění [mg/l]					
	BSK ₅		CHSK		NL	
	přítok	odtok	přítok	odtok	přítok	odtok
I. Stupeň Anaerobní separátor	369	148	738	369	338	68
II. Stupeň Vertikální filtr s vegetací	148	7	369	37	68	5

Tabulka 11-12 Odtokové koncentrace po jednotlivých čistících stupních

Vyčištěná voda vyhovuje přípustným hodnotám znečištění z nařízení vlády (NV 401/2015 Sb.) ve všech sledovaných ukazatelích.

Technologie čištění	Účinnost čištění v %	
	N-NH ₄	P _{celk}
I. Stupeň Anaerobní separátor	15	28
II. Stupeň Vertikální filtr s vegetací	90	13

Tabulka 11-13 Účinnost čištění jednotlivých stupňů pro ukazatele, které není třeba sledovat

Ukazatele znečištění	Koncentrace znečištění na přítoku c ₀	Koncentrace znečištění na odtoku z čistírny c ₁
	mg/l	mg/l
N-NH ₄	68	5.8
P _{celk}	15	9.6

Tabulka 11-14 Koncentrace na odtoku pro ukazatele amoniakálního dusíku a celkového fosforu

11.2 Varianta B

Pro variantu B bude využito třístupňové čištění. Pro mechanické předčištění odpadní vody využijeme anaerobní separátor. Dalšími stupni bude vegetační čistírna s horizontálním průtokem a za ní následuje vertikální filtr, který byl použit i ve variantě A.

11.2.1 Technologické objekty na KČOV

Jako u varianty A musí být na přítoku odpadní vody umístěny česle a lapák písku a odlehčovací komora. Tyto objekty jsou popsány v kapitole 10.1.1.1.1 a 10.1.1.1.2. a 10.1.1.1.3. Funkce i rozměry budou stejné u obou variant.

Anaerobní separátor

Funkce anaerobního separátoru je popsána ve variantě A.

V této variantě se přítok bude rozdělovat pouze na dva proudy, které budou přitékat do samostatných čtyřkomorových septiků. Tyto septiky budou dovezeny na místo kořenové čistírny z Hradce z firmy Jímky Hradec a bude se jednat o 6 prefabrikovaných nádrží typu SL 290-40 o objemu 40 m³, vážících 24,2 tuny a o dvě malé nádrže typu SL 215 - 8,6 o objemu 8,6 m³.

Při návrhu anaerobního separátoru vycházím z normy ČSN 75 6402: Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel. Soustava bude tvořena dvěma čtyřkomorovými septiky, celkem tedy 8 nádržemi. Každý ze septiků bude samostatně na jednom toku před vertikálním filtrem. Odpadní voda bude v tocích rozdělena rovnoměrně. Každá komora obsahuje norné stěny na přítoku a odtoku. Tyto stěny zabraňují plovoucím nečistotám protékat z jedné komory do druhé a budou osazeny na místě. Předčištěná odpadní voda bude ze septiku odváděna do rozdělovací šachty.

Celý septik se skládá z kalového a účinného prostoru. Kalový prostor tvoří 49 m³, kalový prostor bude vyvážen 4krát za rok, stejně jako u varianty A. Dobu zdržení kalu volím opět 92 dní. Střední doba zdržení vody v anaerobním separátoru bude 5 dní

Výpočet objemu anaerobního separátoru najdeme v tabulce 11-14 a 11-15

2.16	Specifická produkce kalu (L/EO/den)
4	Četnost vyvážení (1/rok)
540	Denní produkce kalu (L/den)
91.25	Doba zdržení kalu v septiku (dny)
49.3	Nutný objem kalového prostoru (m ³)

Tabulka 11-15 Výpočet nutného kalového objemu pro variantu B

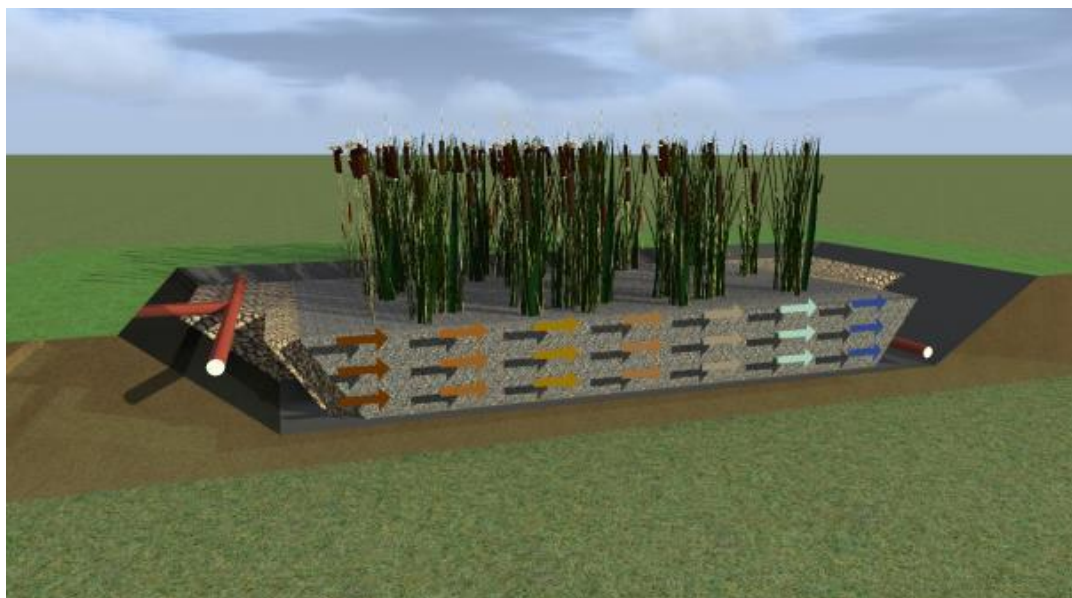
203.1	účinný objem (m ³)
49.3	kalový objem (m ³)
252.4	Celkový objem septiku (m ³)

Tabulka 11-16 Výpočet celkového objemu anaerobního separátoru

Vegetační čistírna s horizontálním podpovrchovým průtokem

Vegetační čistírna s horizontálním průtokem zde bude umístěna hlavně kvůli dlouhé životnosti vertikálního filtru, zmírní se proces kolmatace a zvýší se účinnost odstranění znečišťujících látek.

Horizontální filtr je tvořen zemní jámkou. Dno i stěny nádrže je třeba patřičně zhutnit a natáhnout izolační plastovou fólii, chráněnou geotextilií z obou stran. Folie je vytažena až nad provozní hladinu a řádně upevněna. Filtrační material se používá stejný jako u vertikálně protékajících filtrů. Jedná se o plavené říční stěrky křemičitého původu či drcené lomové kamenivo. Zrnitost se doporučuje 8-16 mm. [33] Celé pole je osázeno rostlinami, nejčastěji se jedná o rákos obecný nebo chřastici rákosovitou s výsadbou 4 až 6 ks na 1 m² [1]. Voda protéká horizontálně a kontinuálně pod povrchem a na konci filtračního pole se sbírá do drenážního potrubí. [33]



Obrázek 11-3 Schéma horizontálního filtru s podpovrchovým průtokem [1]

V našem případě se bude jednat o dvě filtrační pole, každé o ploše 125m². Tyto pole budou umístěny těsně vedle sebe, ale na každé bude přiváděna voda zvlášť ze septiku. Hloubka filtračního pole bude dosahovat hloubky 1,5 metru.

Výpočet plochy horizontálně protékaného filtru vychází ze vzorce 11.7

$$A = Q_d * (\ln c_p - \ln c_0) / (k_{bsk} * n * h) \text{ kde, } \quad (11.7)$$

Q_d – průměrný denní přítok vody v m³/d,

c_p – předpokládaná koncentrace znečištění BSK₅ na přítoku do filtru v mg/l

c_0 – požadovaná koncentrace znečištění BSK₅ na odtoku z filtru v mg/l

k_{bsk} – rychlostní konstanta úbytku znečištění BSK₅ v m/d (doporučeno 0,10 m/d)

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

h – hloubka filtru v m.

A	(1-1.5)	m ² /obyt
c_p	147.60	mg/l
c_0	87	mg/l
k_{bsk}	0.1	
n	0.45	
h	1.5	m
Q_d	31.25	m ³ /d
A	250	m ²
c_0	87	mg/l

Tabulka 11-17 Výpočet plochy horizontálně protékaného filtru

Rozdělovací šachta

Ve variantě B bude voda předčištěná jak mechanicky, tak v horizontálním filtru přiváděna na do rozdělovacích šachet. Bude se jednat o dvě rozdělovací šachty s dvěma komorami. I zde bude použit pulzní vypouštěč, který bude vodu distribuovat na filtrační pole ve 4 dávkách za den.

Každá šachta bude napojena mezi jedno pole horizontálního filtru, a jedno pole vertikálního kořenového filtru. Rozdělovací šachta je kruhového průřezu o průměru 2,0 metru. Vnitřek je rozdělen pomocí svislých stěn na 2 oddělené části. Nad nimi je překlápěcí mechanismus, který zajišťuje přesné rozdělení vody na 2 stejné díly, které pak zásobují jednu polovinu vertikálního filtru. Rozdělovací výška šachty je navržena na 1,1 metr. Výpočet rozdělovací šachty najdeme v tabulce 11-17

$Q_d =$	40.63	m^3/den	průměrný denní průtok
$a =$	2	pole	počet filtračních polí
$b =$	4	jednotek	počet filtračních jednotek
$Q_{pole} =$	20.31	m^3/den	denní průtok na 1 pole
$Q_j =$	10.16	m^3/den	denní průtok na 1 jednotku
$p =$	4	pulzů	počet pulzů za den
$V_{pulz} =$	0.5	m^3	objem jednoho pulzu

Tabulka 11-18 Výpočet objemu jednoho pulzu

$V_{pulz} =$	0.5	m^3	objem jednoho pulzu
$r =$	1	m	poloměr šachty
$n =$	2	ks	počet komor v jedné šachtě
$S_{komora} =$	1.57	m^2	obsah jedné komory
$h_{komora} =$	0.32	m	výška při vypouštění

Tabulka 11-19 Výpočet obsahu jedné komory v rozdělovací šachtě

$h_{min} =$	0.5	min. hladina
$h_{komora} =$	0.32	výška při vypouštění
$h_p =$	0.15	překlapěč
$h_k =$	0.1	kryt
$h =$	1.1	celková výška šachty

Tabulka 11-20 Výpočet výšky šachty

Vertikální kořenový filtr

Funkce a skladba vertikálního kořenového filtru byla popsána v kapitole 10.1.1.3. V této variantě bude navrženo vertikální 4 vrstvé filtrační pole o celkové ploše $300 m^2$. Toto pole je rozděleno na dvě stejné části o ploše $150 m^2$. Pro správné fungování filtru musíme zajistit vodorovné rozložení všech vrstev filtru. Svrchní vrstva bude tvořena praným říčním štěrkem frakce 8/16P mm o mocnosti 100 mm. Pod svrchní vrstvou se nachází hlavní filtrační vrstva tvořená praným pískem frakce 0/4P o výšce 600 mm. Další vrstvou v celkové skladbě je přechodový filtr tvořený drceným praným štěrkem frakce 4/8P mm o výšce 200 mm. Hlavní funkce přechodového filtru zabraňuje zanesení drenážní vrstvy a drenážního potrubí. Nejhlouběji uložená vrstva je drenážní vrstva tvořená také praným drceným štěrkem 8/16P mm o výšce 200 mm. Díky této vrstvě nedochází k zanášení drenážního potrubí. Uspořádání a mocnosti jednotlivých vrstev filtračního pole vychází z ČSN 75 6402.

Pro správný odtok z filtračního pole je třeba vyspádovat dno filtračního lože. Hydroizolace bude tvořena pískovým podsypem o tloušťce 50 mm, dále bude položena

geotextilie o plošné hmotnosti 500 g/m², PVC fólie, znovu geotextilie o plošné hmotnosti 500 g/m², která bude zasypána pískovou vrstvou znovu o tloušťce 50 mm. Pískové vrstvy jsou umístěny, aby chránily textilie proti protržení.

Celková tloušťka filtru I s kompenzační vrstvou je 1,2 m.

Název vrstvy	Materiál	Mocnost (mm)
Svrchní vrstva	Praný říční štěrka 4/8P mm	100
Hlavní filtrační vrstva	Praný písek 0/4P mm	600
Přechodový filtr	Drcený štěrka praný 4/8P mm	200
Drenážní vrstva	Drcený štěrka praný 8/16P mm	200
Pískový zásyp	Písek	50

Tabulka 11-21 Složení a mocnost vrstev na vertikálním filtru

Filtrační pole bude osázeno mokřadními rostlinami. Tyto rostliny budou plnit estetickou a ochrannou funkci. Bude vysázen rákos obecný. Jedná se o vytrvalou a rychle rostoucí rostlinu. Kořeny rákosu prorůstají do velké hloubky. Rákos je dobře odolný vůči vysokým a nízkým teplotám, pH a organickému i anorganickému znečištění [18]. Každou zimu bude rostlina kosena a sklízena.

Výpočet filtračního pole je uveden v následující tabulce 11-21

EO	250
$Q_{24, m}$ [m ³ /d]	31.25
S_{dpo} [g/d]	30000.00
c_0 [mg/l]	738
CHSK [mg/l]	174
CHSK [g/d]	5,438
plocha [m ²]	300

Tabulka 11-22 Výpočet plochy vertikálního filtru

Popis veličin a použité vzorce

EO – počet ekvivalentních obyvatel

$Q_{24, m}$ – průměrný denní přítok odpadních vod (11.8)

$$Q_{24, m} = EO * q_{spec}$$

Q_{24} – průměrný denní přítok odpadních vod zahrnující balastní vody (11.9)

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

S_{dpo} – denní znečištění od obyvatel přitékající na čistírnu (11.10)

$$S_{dpo} = s_o * EO$$

c_0 – koncentrace $CHSK_{Cr}$ přitékající na čistírnu (11.11)

$$c_0 = S_{dpo} * Q_{24}$$

$CHSK_{Cr}$ – Chemická spotřeba kyslíku přitékající na vertikální filtr (11.12)

$$CHSK_{Cr} = 0,4 * c_0$$

S – plocha (11.13)

$$S = CHSK_{Cr}/20$$

Potrubí

Potrubí použité na přivádění vody na vertikální filtr bude napouštěno pulzně 4krát denně.

Použijeme plastové potrubí, bude se jednat o šedý polypropylen PP-HT. Tento materiál se běžně používá pro vnitřní kanalizace. Vyznačuje se odolností proti deformacím a nárazům.

Filtrační pole je rozděleno na dvě samostatná filtrační pole. Každé z nich má dvě samostatné jednotky. Na tuto jednotku je přiváděna voda z jedné komory v rozdělovací šachtě. Na hlavní přívodní potrubí budou použity trubky o dimenzi dn110 a dále na rozdělovací větve bude použita dimenze dn40. Větve budou rozmístěny ve vzdálenosti 1 metr mezi sebou a 0,5 metru od okraje filtračního pole. Dimenze dn110 bude na stavbě o délce 60 metrů a rozdělovací potrubí o délce 320 metrů.

Na povrchu filtru se nachází rozváděcí potrubí, které přivádí odpadní vodu na plochu filtru. Při návrhu musíme vycházet ze známé plochy filtračního pole. Potrubí bude napouštěno pulzně v 5-10 dávkách denně. Pulzní napouštění potrubí je třeba kvůli dostatečnému okysličení filtru a dosažení rovnoměrného rozdělení odpadní vody po celé ploše. Optimální denní dávkování je zajištěno pulzním vypouštěčem [26].

Pro eliminaci ucpávání potrubí kořeny a listy bude potrubí podloženo dlažebními kostkami (1ks/30 cm). Je nutné potrubí vyspádovat. Na konci musí být alespoň o 25 cm výše pro zajištění hydraulického vyrovnání hladiny, odvzdušnění a možnosti propláchnutí. Ze spodní strany potrubí budou navrtány otvory o průměru 5,0 mm po 25 cm. Na přívodním potrubí budou umístěny kontrolní kusy pro tlakové čištění

potrubí. Vyčištěná voda je drenážním potrubím dn 80 mm odváděna v nejnižším bodě filtru.

Voda, která proteče filtrem je odváděna drenážním potrubím o dn80 ven v nejnižším bodě. Drenážní potrubí bude uloženo pod celou plochou filtru po vzdálenostech 2,5 metru. Celková délka drenážního potrubí bude 200 metrů

Potrubí	PP-HT dn40	320	m
	PP-HT dn110	60	m
	Drenáž dn80	200	m

Tabulka 11-23 Délka potrubí pro vertikální filtr ve variantě B

Potrubí použité na filtr s horizontálním průtokem bude z materiálu PVC, bude se jednat o KG potrubí pro kanalizace, o dimenzi dn250 o délce 20 metrů, tímto potrubím bude voda přiváděna na začátek filtru. Do potrubí budou po každém půl metru navrtány otvory. Po protečení filtračním polem bude sbírána na konci do drenážního potrubí dn250 o délce 20 metrů. Dál voda poteče do rozdělovacích šachet a odtud na vertikální filtry.

PVC-KG dn250	20	m
Drenáž dn250	20	m

Tabulka 11-24 Délka potrubí pro horizontální filtr

11.2.2 Kvalita vyčištěné vody pro variantu B

Vyčištěná odpadní voda musí splňovat emisní standardy dle NV 401/2015 Sb. Hodnoty účinností jednotlivých objektů jsem převzala z normy ČSN 75 6402 a uvedla v tabulce 11- 24

Ve výpočtu jsou použity průměrné hodnoty účinností. V další tabulce 11-25 jsem uvedla odtokové koncentrace jednotlivých čistících stupňů.

Ukazatele, které není třeba v této době sledovat jsou uvedeny v tabulce 11-26. Účinnost odstranění amoniakálního dusíku je dostatečně vysoká, avšak pro snížení koncentrace celkového fosforu je nutné navrhnout objekt na srážení fosforu.

Technologie čištění	Účinnost čištění v %					
	BSK ₅		CHSK		NL	
	rozmezí	průměr	rozmezí	průměr	rozmezí	průměr
I. Stupeň Anaerobní separátor	50-75	63	40-80	60	70-90	80
II. Stupeň Filtr s horizontálním podpovrchovým průtokem	40-95	67.5	50-90	70	65-95	80
III. Stupeň Vertikální filtr s vegetací	75-98	87	70-97	84	85-99	92

Tabulka 11-25 Hodnoty účinnosti jednotlivých objektů dle ČSN 75 6402

Technologie čištění	Koncentrace znečištění [mg/l]					
	BSK ₅		CHSK		NL	
	přítok	odtok	přítok	odtok	přítok	odtok
I. Stupeň Anaerobní separátor	369	148	738	369	338	68
II. Stupeň Filtr s horizontálním podpovrchovým průtokem	148	87	369	174	68	14
II. Stupeň Vertikální filtr s vegetací	87	4	174	9	14	1

Tabulka 11-26 Odtokové koncentrace jednotlivých stupňů

Technologie čištění	Účinnost čištění v %	
	N-NH ₄	P _{celk}
I. Stupeň Anaerobní separátor	15	28
II. Stupeň Filtr s horizontálním podpovrchovým průtokem	35	15
II. Stupeň Vertikální filtr s vegetací	90	13

Tabulka 11-27 Účinnost čištění jednotlivých stupňů pro amoniakální dusík a celkový fosfor

Ukazatele znečištění	Koncentrace znečištění na přítoku c ₀	Koncentrace znečištění na odtoku z čistírny c ₁
	mg/l	mg/l
N-NH ₄	68	3.7
P _{celk}	15	8.2

Tabulka 11-28 Koncentrace znečištění na odtoku z čistírny pro amoniakální dusík a celkový fosfor

12 Srážení fosforu

Fosfor není třeba na výtok sledovat, ale jelikož normy se zpřísňují bude navrženo srážení fosforu v podobě dávkování koagulantu, který vysráží málo rozpustné sloučeniny fosforu, které se poté vyseparují. Jako koagulant bude použitý síran hlinitý (PAX).

Objekt pro srážení fosforu bude řešen jako nádrž o objemu 1 m³, který bude umístěn před přítokem odpadní vody do anaerobního separátoru. Dávkování bude zajištěno pomocí dávkovacího čerpadla, které bude využívat jako zdroj elektrické energie fotovoltaický panel.

13 Měrný objekt

U obou variant čištění je třeba měřit množství vypouštěných vod do recipientu. Toto měření se provádí přes Thomsonův přeliv s ultrazvukovým hladinoměrem. Jedný se o pravoúhlý přeliv, který je schopen zaznamenat i nízké průtoky. Měrný objekt bude navržen s polypropylenových desek o tloušťce 15 mm. Na výpočet průtoku je používán níže uvedený vzorec (12.1), přičemž h je přepadová výška.

$$Q = 1,46 h^{\frac{5}{2}} \quad (12.1)$$



Obrázek 13-1 Thomsonův přeliv

14 Kalové hospodářství

Pro obě varianty bude kalové hospodářství řešeno stejným způsobem a to likvidací kalu v areálu čistírny. Pro tento záměr bude navrženo kalové pole, tzv. reed-bed systém. Prostor pro likvidaci kalu je tvořen mělkou nádrží, která je od podloží odizolována PVC fólií krytou geotextilií z obou stran. Stejná izolační skladba je použita u vertikálního filtračního pole. Dno nádrže je tvořeno drenážním potrubím uloženým ve štěrkové vrstvě. Drenáž je tvořena drenážním potrubím o dn80 a o délce 65 metrů. Nad drenážní vrstvou se nachází vrstva substrátu, do které bude osázen rákos obecný. Rákos je použit pro svoji schopnost velké míry evapotranspirace, mineralizace a odolností vůči znečištění. Kal bude vyvážen na toto pole a dojde zde k odvodnění a stabilizaci.

Kalové pole navrhují pro specifickou produkci primárního kalu 2,16 l/os/den. Kal se na pole přemísť pomocí fekálního vozu, který přijede na místo kořenové čistírny 4krát do roka. Výpočet kalového pole je uvedený v tabulce 14-1, a vychází z vzorců (14.1), (14.2), (14.3), (14.4), (14.5),

$$V_{kc} = \frac{EO \times 365 \times P_k}{1000} \quad (14.1),$$

Kde V_{kc} – celkový objem kalu [m³/rok]

EO – počet ekvivalentních obyvatel

P_k – specifická produkce primárního kalu [l/EO/d]

$$A = Z_{k\text{spec}} * EO \quad (14.2),$$

Kde A – plocha kalového pole [m²]

$Z_{k\text{spec}}$ – specifické zatížení [m²/EO]

EO – počet ekvivalentních obyvatel

$$H_r = \frac{V_{kc}}{A} \quad (14.3),$$

Kde H_r – roční zátěž kalem na plochu [m]

V_{kc} – celkový objem kalu [m³/rok]

A – plocha kalového pole [m²]

$$H_k = \frac{H_r}{T_k} \quad (14.4),$$

Kde H_k – výška jedné dávky kalu [m]

H_r – roční zátěž kalem na plochu [m]

T_k – četnost dávkování kalu za rok

$$H = \frac{H_r * N_{let} * S_k}{100} \quad (14.5),$$

Kde H – výška kalového pole [m]

H_r – roční zátěž kalem na plochu [m]

N_{let} – životnost kalového pole [roky]

S_k – koncentrace sušiny v kalu [%]

Četnost dávkování kalu za rok	T_k	4	-
specifická produkce primárního kalu	P_k	2.16	[l/EO/d]
počet ekvivalentních obyvatel	EO	250	[EO]
celkový objem kalu	V_{kc}	197.1	[m ³ _{kalu} /rok]
objem kalu na jedno vyvezení	V_k	49.3	[m ³ /vyvezení]
plocha kalového pole	A	110	[m ²]
specifické zatížení	$Z_{k\text{spec}}$	0.44	[m ² /EO]
výška jedné dávky kalu	H_k	0.45	[m]
roční zátěž kalem na plochu	H_r	1.79	[m]
životnost kalového pole	N_{let}	20	[let]
koncentrace sušiny v kalu	S_k	6	[%]
výška kalového pole	H	2.2	[m]
objem kalového pole	V_{kp}	237	[m ³]

Tabulka 14-1 Výpočet kalového pole

15 Odhad investičních nákladů

Celkový odhad investičních nákladů na výstavbu kořenové čistírny pro obec Bezděčín u Trnávky je uvedený v tabulce 15.1 a 15.2. Porovnala jsem investiční náklady pro obě varianty a dle výpočtu vyplývá, že náklady na variantu B by měly být asi o 150 000 CZK nižší než pro variantu A. Provozní náklady KČOV jsou asi 6 CZK/m². Nízké provozní náklady jsou dány převážně menšími náklady na likvidaci kalů a obsluhu. Tyto náklady také výrazně snižuje nepotřebnost elektrické energie. Nejdražší položku tvoří u obou variant septiky (přibližně třetinu nákladů). Tyto investice se ale odrazí na dlouhé životnosti zbylých prvků v kořenové čistírně.

15.1 Varianta A

Varianta A					
Položka		Množství	Jednotka	Cena za jednotku [CZK]	Náklady bez DPH [CZK]
Česle		1	ks	7,000 Kč	7,000 Kč
Septik	SL 290-40	6	ks	120,000 Kč	720,000 Kč
	SL 230 – 16	3	ks	49,400 Kč	148,200 Kč
Rozdělovací šachta		3		80,000 Kč	240,000 Kč
Filtr	Praný říční štěrť 4/8P mm	90	t	205 Kč	18,450 Kč
	Praný písek 0/4P mm	540	t	135 Kč	72,900 Kč
	Drcený štěrť praný 4/8P mm	159.84	t	205 Kč	32,767 Kč
	Drcený štěrť praný 8/16P mm	159.84	t	205 Kč	32,767 Kč
	Hydroizolace PVC	700	m ²	140 Kč	98,000 Kč
	Geotextilie 500g/m ²	700	m ²	18 Kč	12,600 Kč
	Písek	45	t	74 Kč	3,330 Kč
Srážení fosforu		1	ks	150,000 Kč	150,000 Kč
Kalové pole	PVC fólie	110	m ²	140 Kč	15,400 Kč
	Geotextilie 500g/m ²	110	m ²	18 Kč	1,980 Kč
	Rostliny	110	m ²	80 Kč	8,800 Kč
Vozovka		966	m ²	880 Kč	850,080 Kč
Potrubí	PP-HT dn40	600	m	40 Kč	24,000 Kč
	PP-HT dn110	96	m	130 Kč	12,480 Kč
	Drenáž dn80	380	m	25 Kč	9,500 Kč
Práce					1,000,000 Kč
Celkem					3,458,254 Kč

Tabulka 15-1 Odhad celkových investičních nákladů pro variantu A

15.2 Varianta B

Varianta B					
Položka		Množství	Jednotka	Cena za jednotku [CZK]	Náklady bez DPH [CZK]
Česle		1	ks	7,000 Kč	7,000 Kč
Septik	SL 290-40	6	ks	120,000 Kč	720,000 Kč
	SL 230 – 16	2	ks	29,700 Kč	59,400 Kč
Filtr horizontální	Drcený štěrk praný 8/16P mm	333	t	205 Kč	68,265 Kč
Rozdělovací šachta		3		80,000 Kč	240,000 Kč
Filtr vertikální	Praný říční štěrk 4/8P mm	45	t	205 Kč	9,225 Kč
	Praný písek 0/4P mm	270	t	135 Kč	36,450 Kč
	Drcený štěrk praný 4/8P mm	79.92	t	205 Kč	16,384 Kč
	Drcený štěrk praný 8/16P mm	79.92	t	205 Kč	16,384 Kč
	Hydroizolace PVC	400	m ²	140 Kč	56,000 Kč
	Geotextilie 500g/m ²	400	m ²	18 Kč	7,200 Kč
	Písek	22.5	t	74 Kč	1,665 Kč
Srážení fosforu		1	ks	150,000 Kč	150,000 Kč
Kalové pole	PVC fólie	110	m ²	140 Kč	15,400 Kč
	Geotextilie 500g/m ²	110	m ²	18 Kč	1,980 Kč
	Rostliny	110	m ²	80 Kč	8,800 Kč
Vozovka		966	m ²	880 Kč	850,080 Kč
Potrubí	PP-HT dn40	320	m	40 Kč	12,800 Kč
	PP-HT dn110	60	m	130 Kč	7,800 Kč
	Drenáž dn80	200	m	25 Kč	5,000 Kč
	PVC-KG dn250	20	m	200 Kč	4,000 Kč
	Drenáž dn250	20	m	55 Kč	1,100 Kč
Práce					1,000,000 Kč
Celkem					3,294,932 Kč

Tabulka 15-2 Odhad celkových investičních nákladů pro variantu B

16 Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo navrzení moderní kořenové čistírny odpadních vod pro obec Bezděčín u Trnávky. Vycházela jsem s nejnovějších výzkumných poznatků. Navržená kořenová čistírna splňuje vysoké čistící účinnosti u sledovaných ukazatelů (BSK_5 , CHSK a NL) i u amoniakálního dusíku. Celý návrh je založen na pochopení čistících procesů, které probíhají v jednotlivých čistících stupních, především ve vertikálním filtračním poli.

Pro obec Bezděčín u Trnávky, která spadá do kategorie do 500 EO, jsem porovnávala dvě varianty uspořádání čistících stupňů, abych našla optimální řešení, které bude splňovat požadavky na kvalitu vyčištěné vody a zároveň, aby celá kořenová čistírna zabrala co nejmenší plochu. V první variantě byly použity pouze dva stupně – anaerobní separátor a vertikální filtr. Tato varianta se na začátku mé práce zdála výhodnější právě kvůli malému prostoru. Po výpočtech a umístění všech stavebních objektů jsem usoudila, že varianta B, která se skládá ze tří čistících stupňů, je nejen plošně, ale dokonce i finančně úspornější. Z toho vyplývá, že optimálním řešením pro obec Bezděčín u Trnávky je výstavba tří čistících stupňů (anaerobního separátoru, horizontálního filtru a vertikálního filtru). Horizontální filtr funguje jako pojistka pro dlouhou životnost vertikálního filtru, a zároveň mi umožnila zmenšit vertikální pole na polovinu (300 m^2). Náklady na variantu B jsou přibližně o 150 000 CZK nižší než pro variantu A.

Varianta B se tudíž skládá ze tří stupňů. Prvním stupněm jsou dva čtyřkomorové anaerobní separátory, které zajišťují mechanické předčištění a zamezí ucpávání jemného materiálu filtru. Jako druhý stupeň jsem navrhla již zmiňované horizontální filtry s podpovrchovým průtokem. Poslední a hlavní čistící stupeň je pulzně skrápěný vertikální filtr. Účinné odstranění fosforu je zajištěno pomocí dávkování koagulantu síranu železitého před anaerobním separátorem. Vedle anaerobních separátorů se bude nacházet kalové hospodářství, které bude osázeno rostlinami a dojde zde k odvodňování a stabilizaci kalu. Voda, která se shromáždí v drenážním potrubí, bude samospádem odvedena opět před anaerobní separátory k dalšímu čištění. Celá čistírna je navržena takovým způsobem, aby se obešla bez napojení k elektrické síti.

Celý návrh pro obě varianty je schematicky znázorněn na přiložené projektové dokumentaci. Podrobnější výkresová dokumentace bude zpracována při dalších stupních projektové dokumentace.

Při návrhu technologických objektů pro obě varianty jsem vycházela z normy ČSN 75 6402: Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel.

ZDROJE

- [1] KRIŠKA, Michal a Miroslava NĚMCOVÁ. Kořenové čistírny odpadních vod: Metodická příručka pro povolování, návrh, realizaci a provoz. 2015.
- [2] MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. Chemie a technologie vody. 2., dopl. vyd. Brno: ARDEC, c2006. ISBN 80-86020-50-9.
- [3] KRIŠKA, Michal a Miroslava NĚMCOVÁ. Kořenové čistírny: rekapitulace a budoucnost v České republice [online]. Dostupné z: <http://vodnihospodarstvi.cz/korenove-cistirny/>
- [4] KADLEC, Robert H. a Scott D. WALLACE. Treatment wetlands: Second edition. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 2009. ISBN 978-1-56670- 526-4
- [5] Jan Vymazal, Long-term performance of constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: Ten case studies from the Czech Republic, Ecological Engineering, Volume 37, Issue 1, January 2011, Pages 54-63, ISSN 0925-8574. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.11.028>.
- [6] J. Vymazal, The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater, Ecological Engineering, Volume 35, Issue 1, 8 January 2009, Pages 1-17, ISSN 0925-8574. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.08.016>.
- [7] ŠÁLEK, Jan a Václav TLAPÁK. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2006. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-74-7.
- [8] Denisa Komendová Studie moderní kořenové čistírny pro obec Hlína. Brno, 2017. 58 s., 12 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Křiška, Ph.D.
- [9] VYMAZAL, Jan. Kořenové čistírny odpadních vod: Využití ve světě, České republice a Plzeňském kraji. Plzeň: Krajský úřad Plzeňského kraje, odbor životního prostředí, 2016. Dostupné z: www.plzensky-kraj.cz
- [10] Koloběh živin ve vodě a půdě, prezentace. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2013/Bi9535/um/Kolobeh_zivin_ve_vode_a_pude.pdf
- [11] Christina Vohla, Margit Kőiv, H. John Bavor, Florent Chazarenc, Ülo Mander, Filter materials for phosphorus removal from wastewater in treatment wetlands—A review, Ecological Engineering, Volume 37, Issue 1, January 2011, Pages 70-89, ISSN 0925-8574. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.08.003>

- [12] Lim PE, Mak KY, Mohamed N, Noor AM, Removal and speciation of heavy metals along the treatment path of wastewater in subsurface-flow constructed wetlands. Penang: Universiti Sains Malaysia, 2003.
- [13] Lenka Kröpfelová, Jan Vymazal, Jaroslav Švehla, Jana Štichová, Removal of trace elements in three horizontal sub-surface flow constructed wetlands in the Czech Republic, Environmental Pollution, Volume 157, Issue 4, April 2009, Pages 1186-1194, ISSN 0269-7491. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.12.003>.
- [14] ŠÁLEK, J. & MARCIÁN, F. (1992): Požadavky na vlastnosti rostlin pro vegetační čistírnu, In: ČÍŽKOVÁ-KONČALOVÁ, H. & HUSÁK, Š. (eds.): Sborník semináře "Účelové kultivace vodních a mokřadních rostlin", Třeboň, 11. - 12.2.1992
- [15] Mundoková, Mariana, Stavba s funkce kořenových čistíren odpadních vod na příkladu dvou staveb v biosférické rezervaci Třeboňsko. České Budějovice, 2009. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra biologických disciplín. Vedoucí práce RNDr. Lukáš Šimek
- [16] ABOU-ELELA, SI. a HELLAL, MS. (2012) : Municipal wastewater treatment using vertical flow constructed wetlands planted with Canna, Phragmites and Cyprus. Ecological Engineering. (47). ISSN 0925-8574. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.06.044>.
- [17] VYMAZAL, Jan. Kořenové čistírny odpadních vod. Třeboň: Lokša PrePress Rakovník, 2004.
- [18] MLEJNSKÁ, Eva. Extenzivní způsoby čištění odpadních vod. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 2009. ISBN 978-80-85900-92-7
- [19] G.F. Hua, L. Li, Y.Q. Zhao, W. Zhu, J.Q. Shen, An integrated model of substrate clogging in vertical flow constructed wetlands, Journal of Environmental Management, Volume 119, 15 April 2013, Pages 67-75, ISSN 0301-4797. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.023>.
- [20] Petitjean, N. Forquet, C. Boutin, Oxygen profile and clogging in vertical flow sand filters for on-site wastewater treatment, Journal of Environmental Management, Volume 170, 1 April 2016, Pages 15-20, ISSN 0301-4797. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.033>.
- [21] ROZKOŠNÝ, Miloš, Michal KRIŠKA, Jan ŠÁLEK, Igor BODÍK a Darja ISTENIČ. Natural technologies of wastewater treatment. Praha: Global Water Partnership Central and Eastern Europe, 2014. ISBN 978-80-214-4831-5
- [22] MRVOVÁ, Michaela. Odpadové hospodářství kořenových čistíren odpadních vod. Brno, 2014. 114 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Křiška, Ph.D.

- [21] Nařízení vlády o vypouštění odpadních vod do podzemních. Dostupné z: https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/186D495D3DC3DB63C12580A70046A839/%24file/NV%2057_2016.pdf
- [22] 401 NAŘÍZENÍ VLÁDY ze dne 14. prosince 2015 o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech
- [23] HLAVÍNEK, Petr a Jiří HLAVÁČEK. Čištění odpadních vod: praktické příklady výpočtů. Brno: Noel 2000, 1996.
- [24] Projekční a instalační podklady AS-ANASEP společnosti Asio dostupné z www.asio.cz
- [25] Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel, ČSN 75 6402, vydal Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2017
- [26] Vysoké učení technické v Brně. Zařízení k automatickému vypouštění vody z nádrže po dosažení definované maximální hladiny. Původce: Michal KřiškaDunajský. Česká republika. Užité vzor CZ 25544 U1.17.6.2013.
- [27] Článek BIOLOGICKÉ NÁDRŽE VYUŽÍVANÉ K ČIŠTĚNÍ A DOČIŠŤOVÁNÍ ODPADNÍCH VOD, Ing. Eva MLEJNSKÁ, 22.1.2015, dostupné z internetových stránek: <http://www.asio.cz/cz/356.biologicke-nadrze-vyuzivane-k-cisteni-a-docistovani-odpadnich-vod>
- [28] informace o obci ze stránek obce, www.bezdeci-unerazka.cz/obec-1
- [29] STUDIE, zpracovatel ProVenkov, spol. s r.o. OBEC BEZDĚČÍ U TRNÁVKY – UNERÁZKA Variantní studie odkanalizování obce, 4/2016
- [30] Vysoké učení technické v Brně. Zařízení k automatickému vypouštění vody z nádrže po dosažení definované maximální hladiny. Původce: Michal KřiškaDunajský. Česká republika. Užité vzor CZ 25544 U1.17.6.2013.
- [31] AS-PULZ [online]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/as-pulz>
- [32] Projekční a instalační podklady AS-ČESLE společnosti ASIO dostupné z www.asio.cz
- [33] Prof.Ing. Jan Šálek, CSc, Ing. Michal Křiška, PhD., Ing. Oldřich Pírek, Ing. Karel Plotěný, Ing. Miloš Rozkošný, PhD., RNDr. Zdeňka Žáková, CSc., Voda v dome a na chatě, Nakladatelství GRADA, 2012
- [34] internetový portál www.mapy.cz
- [35] Bahenní rostliny dostupné ze stránek www.kcov-rostliny.cz

LEGISLATIVA

ČSN 75 6402. Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel. Praha: Český normalizační institut, 1998.

Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. O ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, 2015

Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
Zákon č. 274/2001 Sb.

Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

BSK ₅	Biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní
ČOV	Čistírna odpadních vod
EO	Ekvivalentní obyvatel
CHSK, CKSK _{Cr}	Chemická spotřeba kyslíku
KČOV	Kořenová čistírna odpadních vod
N _{celk}	Dusík celkový
NL	Nerozpuštěné látky
N-NH ₄ ⁺	Amoniakální dusík
P _{celk}	Fosfor celkový

SEZNAM TABULEK

TABULKA 2-1 EMISNÍ STANDARDY: HODNOTY KONCENTRACE UKAZATELŮ ZNEČIŠTĚNÍ VYPOUŠTĚNÝCH ODPADNÍCH VOD V MG/L [22]	5
TABULKA 2-2 MINIMÁLNÍ ROČNÍ ČETNOSTI ODBĚRŮ VZORKŮ VYPOUŠTĚNÝCH MĚSTSKÝCH ODPADNÍCH VOD PRO SLEDOVÁNÍ JEJICH ZNEČIŠTĚNÍ	6
TABULKA 3-1 EMISNÍ STANDARDY PRO ČISTÍRNY DO 500 EO (PŘÍPUSTNÉ HODNOTY V MG/L)	8
TABULKA 3-2 EMISNÍ STANDARDY PRO ČISTÍRNY 500-2000 EO (PŘÍPUSTNÉ HODNOTY V MG/L)	9
TABULKA 10-1 ZADANÉ VELIČINY PRO VÝPOČET MNOŽSTVÍ PŘITÉKAJÍCH VOD	24
TABULKA 10-2 TABULKA PRO URČENÍ SOUČinitele MAXIMÁLNÍ HODINOVÉ NEROVNOMĚRNOSTI	24
TABULKA 10-3 VÝPOČET PŘÍTOKŮ NA ČISTÍRNU ODPADNÍCH VOD	25
TABULKA 10-4 EMISNÍ STANDARDY DLE PŘÍLOHY Č.1 K NV 401/2015 SB.	25
TABULKA 10-5 ORIENTAČNÍ HODNOTY PRODUKCE SPECIFICKÉHO ZNEČIŠTĚNÍ S_0 NA 1 EO V G/D DLE ČSN 75 6402	25
TABULKA 10-6 VÝPOČET PRŮMĚRNÉHO DENNÍHO ZNEČIŠTĚNÍ S_{DP} A VSTUPNÍ KONCENTRACE ZNEČIŠTĚNÍ C_0	25
TABULKA 11-1 PARAMETRY LAPÁKU PÍSKU [36]	28
TABULKA 11-1 VÝPOČET NUTNÉHO OBJEMU KALOVÉHO PROSTORU	29
TABULKA 11-2 VÝPOČET OBJEMU ANAEROBNÉHO SEPARÁTORU	29
TABULKA 11-3 VÝPOČET OBJEMU JEDNOHO PULZU VYPOUŠTĚNÉHO Z ROZDĚLOVAČÍ ŠACHTY	30
TABULKA 11-4 VÝPOČET OBSAHU JEDNÉ KOMORY	30
TABULKA 11-5 VÝPOČET CELKOVÉ VÝŠKY ŠACHTY	31
TABULKA 11-6 VÝPOČET PLOCHY VERTIKÁLNÍHO FILTRU	31
TABULKA 11-7 USPOŘÁDÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VRSTEV VERTIKÁLNÍHO FILTRU	33
TABULKA 11-8 USPOŘÁDÁNÍ A MOCNOST JEDNOTLIVÝCH VRSTEV POUŽITÝCH NA KČOV PRO OBEC BEZDĚČÍN U TRNÁVKY	35
TABULKA 11-9 DÉLKA POTRUBÍ PRO VARIANTU A	36
TABULKA 11-10 HODNOTY ČISTÍCÍCH ÚČINNOSTÍ DLE NORMY ČSN 75 6402	36
TABULKA 11-11 ODTOKOVÉ KONCENTRACE PO JEDNOTLIVÝCH ČISTÍCÍCH STUPNÍCH	37
TABULKA 11-12 ÚČINNOST ČIŠTĚNÍ JEDNOTLIVÝCH STUPŇŮ PRO UKAZATELE, KTERÉ NENÍ TŘEBA SLEDOVAT	37
TABULKA 11-13 KONCENTRACE NA ODTOKU PRO UKAZATELE AMONIAKÁLNÍHO DUSÍKU A CELKOVÉHO FOSFORU	37
TABULKA 11-14 VÝPOČET NUTNÉHO KALOVÉHO OBJEMU PRO VARIANTU B	38
TABULKA 11-15 VÝPOČET CELKOVÉHO OBJEMU ANAEROBNÍHO SEPARÁTORU	39
TABULKA 11-16 VÝPOČET PLOCHY HORIZONTÁLNĚ PROTÉKANÉHO FILTRU	40
TABULKA 11-17 VÝPOČET OBJEMU JEDNOHO PULZU	41
TABULKA 11-18 VÝPOČET OBSAHU JEDNÉ KOMORY V ROZDĚLOVACÍ ŠACHTĚ	41
TABULKA 11-19 VÝPOČET VÝŠKY ŠACHTY	41
TABULKA 11-20 SLOŽENÍ A MOCNOST VRSTEV NA VERTIKÁLNÍM FILTRU	42
TABULKA 11-21 VÝPOČET PLOCHY VERTIKÁLNÍHO FILTRU	42
TABULKA 11-22 DÉLKA POTRUBÍ PRO VERTIKÁLNÍ FILTR VE VARIANTĚ B	44
TABULKA 11-23 DÉLKA POTRUBÍ PRO HORIZONTÁLNÍ FILTR	44
TABULKA 11-24 HODNOTY ÚČINNOSTÍ JEDNOTLIVÝCH OBJEKTŮ DLE ČSN 75 6402	45
TABULKA 11-25 ODTOKOVÉ KONCENTRACE JEDNOTLIVÝCH STUPŇŮ	45
TABULKA 11-26 ÚČINNOST ČIŠTĚNÍ JEDNOTLIVÝCH STUPŇŮ PRO AMONIAKÁLNÍ DUSÍK A CELKOVÝ FOSFOR	46
TABULKA 11-27 KONCENTRACE ZNEČIŠTĚNÍ NA ODTOKU Z ČISTÍRNY PRO AMONIAKÁLNÍ DUSÍK A CELKOVÝ FOSFOR	46
TABULKA 14-1 VÝPOČET KALOVÉHO POLE	49
TABULKA 15-1 ODHAD CELKOVÝCH INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ PRO VARIANTU A	50

TABULKA 15-2 ODHAD CELKOVÝCH INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ PRO VARIANTU B	51
--	----

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 3-1 SCHÉMA HORIZONTÁLNÍ KOŘENOVÉ ČISTÍRNY S PODPOVRCHOVÝM PRŮTOKEM	10
OBRÁZEK 3-2 SCHÉMA VERTIKÁLNÍHO KOŘENOVÉHO FILTRU.....	11
OBRÁZEK 5-1 RÁKOS OBECNÝ [35]	15
OBRÁZEK 5-2 CHRASTICE RÁKOSOVITÁ [35]	15
OBRÁZEK 10-1 LOKALIZACE ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ [34]	22
OBRÁZEK 10-2 VÝPIS Z KATASTRU NEMOVITOSTÍ PRO PARCELU Č. 338/1	23
OBRÁZEK 10-3 VÝPIS Z KATASTRU NEMOVITOSTÍ PRO PARCELU Č. 388/2	23
OBRÁZEK 11-1 LAPÁK PÍSKU	28
OBRÁZEK 11-2 SLOŽENÍ HYDROIZOLAČNÍ VRSTVY	34
OBRÁZEK 11-3 SCHÉMA HORIZONTÁLNÍHO FILTRU S PODPOVRCHOVÝM PRŮTOKEM [1]	39
OBRÁZEK 13-1 THOMSONŮV PŘELIV	47

SEZNAM PŘÍLOH

1. Celková situace KČOV M 1:300
2. Situační schema KČOV M 1:300
3. Schéma potrubí KČOV M 1:300
4. Schéma drenážního potrubí KČOV M 1:300