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 MODERNÍ KOŘENOVÉ ČISTÍRNY PRO OBEC HLÍNA

THE STUDY OF MODERN TREATMENT WETLAND FOR THE HLÍNA VILLAGE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Denisa Komendová**

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **Ing. MICHAL KRIŠKA, Ph.D.**

SUPERVISOR

BRNO 2017

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	Denisa Komendová
Název	Studie moderní kořenové čistírny pro obec Hlína
Vedoucí práce	Ing. Michal Kriška, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1) Kriška, M., Němcová, M.: Kořenové čistírny odpadních vod - METODICKÁ PŘÍRUČKA PRO POVOLOVÁNÍ, NÁVRH, REALIZACI A PROVOZ, 2015
2) Rozkošný, M., Kriška, M., Šálek, J., Bodík, I., Istenič, D.: Natural Technologies of Wastewater Treatment, 2014., 138 p.,ISBN: 978-80-214-4831-5
3) Databáze vědeckých článků sciencedirect.com
4) Normy ČSN související s technologií kořenových ČOV

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Práce bude vycházet z požadavku obce - v současné době díky povolovacímu procesu je vše v jednání, posuzovány a porovnávány jsou různé technologické varianty.
Bakalářská práce se zaměří na přibližný návrh řešení, vycházející z přírodní technologie - kořenové čistírny, přičemž návrh bude zahrnovat nejnovější výzkumné výsledky (několik užitných vzorů VUT).
Samotná práce orientačně vyhodnotí a posoudí investiční i provozní náklady, společně s teoreticky možnými dosažitelnými odtokovými parametry.

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).

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

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem moderní kořenové čistírny odpadních vod pro obec Hlína, okres Brno – venkov (320 EO). Kořenové čistírny představují alternativní technologii pro čištění odpadních vod. V České republice se tato technologie často setkává s mnohými problémy vyplývajícími z chybného návrhu, případně nevhodného provozování. Tyto problémy způsobují nedostatečnou čistící účinnost, především v odstraňování amoniakálního dusíku. Aby byly kořenové čistírny schopny konkurovat jiným čistírenským technologiím, je třeba řešit jejich návrh jinak než doposud a zajistit tak vyšší čistící účinnosti především u ukazatele N-NH4+. Práce vychází z poznatků z výzkumných a provozních objektů, na kterých spolupracuje Ústav vodního hospodářství krajiny. V samotném návrhu jsou uplatněny nová řešení a uspořádání, včetně několika užitných vzorů.

První část práce tvoří rešerše, která shrnuje základní poznatky týkající se kořenových čistíren odpadních vod. Výsledkem druhé části práce je navržený čistírenský systém, který zahrnuje několik sériově i paralelně zapojených čistírenských prvků, jejichž cílem je eliminace nejen znečištění, které požaduje současné nařízení vlády, ale čistírna bude jako celek odstraňovat i celkový dusík a celkový fosfor. Součástí návrhu čistírny je i vlastní kalové hospodářství, založené na inovativně řešených kalových polích s mokřadní vegetací.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vertikální kořenová čistírna, Hlína, odstranění dusíku, odstranění fosforu, odpadní voda.

ABSTRACT

This thesis deals with the design of a modern constructed wetland for wastewater treatment for the Hlína village, Brno – venkov district (320 PE). Constructed wetlands are an alternative technology for wastewater treatment. In Czech Republic this technology often encounters a lot of problems arising from wrong design or improper operation. This problems cause insufficient cleaning efficiency, mainly in removing ammonia nitrogen. It is necessary to design the constructed wetland differently, thus make them a competitive against other waste-water treatment technologies, and ensure a higher cleaning efficiency mainly of ammonia nitrogen. The thesis is based on findings from exploratory and operating objects as results from cooperation with Institute of landscape water management. There are a new solutions and designs applied in this project, including several utility models.

The first part consists of literature research, which summarises basic knowledge on constructed wetlands for wastewater treatment. The result of the second part of the thesis is designed sewage treatment system, which comprises several serial and parallel connected sewage treatment elements. The aim is to not only eliminate the required pollution by decree law, but also to remove nitrogen and phosphorus. The part of the design is also a wastewater sludge treatment, based on innovated reed-bed systems with wetland vegetation.

KEYWORDS

Vertical flow constructed wetland, Hlína, nitrogen removal, phosphorus removal, wastewater.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

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 Kriška, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2017

Denisa Komendová

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji mému vedoucímu Ing. Michalu Kriškovi Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky i čas, který mi věnoval při konzultacích k bakalářské práci.

OBSAH

1 Úvod 1
2 Množství a jakost odpadních vod 3
2.1 Ukazatele znečištění odpadních vod 3
2.2 Množství odpadních vod 4
2.3 Emisní standardy 5
3 Typy kořenových čistíren 6
3.1 Horizontální kořenové čistírny s povrchovým průtokem 6
3.2 Horizontální kořenové čistírny s podpovrchovým průtokem 7
3.3 Vertikální kořenové čistírny 8
4 Čistící procesy v kořenových čistírnách 10
4.1 Odstraňování nerozpuštěných a organických látek 10
4.2 Odstraňování dusíku 10
4.2.1 Amonifikace 11
4.2.2 Nitrifikace 11
4.2.3 Denitrifikace 11
4.3 Odstraňování fosforu 12
4.4 Odstraňování ostatního znečištění 12
5 Vegetace v kořenových čistírnách 14
6 Proces kolmatace 16
7 Odpadové hospodářství kořenových čistíren 17
8 Výhody a nevýhody KČOV 19
9 Studie kořenové čistírny Hlína 20
9.1 Charakteristika zájmového území 20
9.1.1 Geomorfologické a geologicko - pedologické poměry 21
9.1.2 Hydrologické poměry 21
9.1.3 Klimatické poměry 22
9.2 Podklady pro návrh KČOV Hlína 22

9.2.1 Charakteristika řešeného území 22
9.2.2 Umístění kořenové čistírny odpadních vod 22
9.2.3 Stav kanalizační sítě 23
9.2.4 Množství a kvalita přitékajících odpadních vod 23
9.2.5 Způsob čištění odpadních vod 26
9.2.6 Kvalita vyčištěné vody 26
9.2.7 Vyústění OV 28
9.3 Technologické objekty KČOV Hlína 29
9.3.1 Mechanické předčištění 29
9.3.2 Rozdělovací šachta 33
9.3.3 Vertikální kořenový filtr 34
9.3.4 Potrubí 37
9.3.5 Terciální dočištění 38
9.3.6 Srážení fosforu 39
9.3.7 Měrný objekt 40
9.3.8 Kalové hospodářství 41
10 Odhad investičních a provozních nákladů na realizaci čistírny 44
11 Závěr 48
Seznam použitých zdrojů 50
Seznam použitých zkratek a symbolů 54
Seznam tabulek 55
Seznam obrázků 57
Seznam příloh 58

1 ÚVOD

Kořenové čistírny představují alternativní technologii pro čištění odpadních vod využívající přírodních procesů, které běžně probíhají v půdě, vodě a mokřadním prostředí. V České republice se tato technologie často setkává s mnohými problémy vyplývajícími z chybného návrhu, případně nevhodného provozování. Tyto problémy způsobují nedostatečnou čistící účinnost, především v odstraňování amoniakálního dusíku ($N\text{-}NH_4^+$) a následně negativní postoj provozovatelů, orgánů životního prostředí, správců vodních toků a nakonec i výrobců konkurenčních technologií, kteří rádi přijímají informace o nedostatečně fungujících kořenových čistírnách.

Tato skutečnost je daná především tím, že u čistíren do 500 ekvivalentních obyvatel není nutné $N\text{-}NH_4^+$ dle NV 401/2015 Sb. sledovat. Většina kořenových čistíren, realizovaných od začátku 90. let 20. století až do současné doby, tedy ani nebyla na odstraňování amoniakálního dusíku navržena. V praxi pak často dochází k situacím, kdy z kořenové čistírny odtéká voda splňující sledované emisní standardy, jedná se však i pro laika o evidentně zapáchající vodu s viditelnými příznaky fekálního znečištění (anaerobně čištěná voda, hluboký redoxní potenciál, zápach sirovodíku, šedý povlak na dně za vypouštěcím objektem apod.). Takto vyčištěná voda poté působí negativně na celý vodní ekosystém. Zhoršuje kyslíkové poměry ve vodním toku, často způsobuje toxicitu vodních nádrží a změnu druhového složení ekosystému. Vzhledem k těmto zkušenostem vzbuzují kořenové čistírny často rozporuplné reakce i u laické veřejnosti.

Vzhledem ke stále většímu důrazu na ochranu životního prostředí lze v budoucnu očekávat postupné zpřísňování emisních limitů vypouštěné odpadní vody. Aby byly kořenové čistírny schopny konkurovat jiným čistírenským technologiím (mechanicko biologickým ČOV), je třeba řešit jejich návrh jinak než doposud a zajistit tak vyšší čistící účinnosti především u ukazatele $N\text{-}NH_4^+$. Že jsou správně řešené kořenové čistírny schopné konkurovat klasickým technologiím, dokazují zkušenosti z Rakouska, kde je tato technologie všeobecně přijímaným fungujícím řešením již několik desetiletí.

Cílem mé bakalářské práce je vypracování studie kořenové čistírny odpadních vod pro obec Hlína. Předpokladem návrhu je vysoká čistící účinnost v ukazatelích BSK_5, CHSK, NL, $N\text{-}NH_4^+$ a P_{celk}. Návrh bude vycházet z nejnovějších poznatků týkajících se kořenových čistíren. Zdrojem těchto poznatků je výzkumný projekt MPO TIP FR-TI3/778 s názvem „BIOSTREAM“ – Čištění odpadních vod v integrovaném biotechnickém systému a z výzkumného projektu Technologické

agentury České republiky ev. č . TA02021032 s názvem ,,ANASEP“ – Anaerobní separátor nerozpuštěných látek a nutrientů.

Schopnost dosažení vysokých čistících schopností potvrzují nejnovější výsledky z kořenové čistírny v obci Dražovice (okres Vyškov), která byla jako nové technologické řešení uvedena po částečné rekonstrukci do testovacího provozu v listopadu roku 2016 (výsadba rostlin proběhla během května 2017). Na této čistírně v současnosti probíhá výzkumný projekt FAST-J-17-4530 s názvem Monitoring, optimalizace a vyhodnocení provozu nového typu filtračního pole na kořenové čistírně odpadních vod, v rámci kterého byly změřeny následující koncentrace znečištění na odtoku: $CHSK_{Cr}$ < 15 mg/l, NL < 2 mg/l, $N\text{-}NH_4^+$ < 0,3 mg/l.

První část práce tvoří literární rešerše, která shrnuje základní poznatky týkající se kořenových čistíren odpadních vod. Popisuji množství a jakost odpadních vod a ukazatele znečištění, z nichž vychází samotný návrh čistírny. Dále zmiňuji typy kořenových čistíren, vliv jejich uspořádání na čistící schopnost a jejich výhody i nevýhody. Další kapitola se zabývá objasněním čistících procesů, které probíhají v kořenových čistírnách, jelikož je to základní předpoklad jejich dobrého návrhu. Dále jsou uvedeny druhy vegetace používané v kořenových čistírnách a jejich funkce. Další kapitolu věnuji procesu kolmatace, který může negativně ovlivnit funkčnost a životnost systému. Dále popisuji hospodaření s odpady na kořenových čistírnách a možnosti likvidace kalů. Na konci první části uvádím výhody a nevýhody kořenových čistíren oproti klasickým čistírnám odpadních vod založených na aktivačním procesu.

V druhé části je zpracován hlavní cíl práce - návrh KČOV Hlína podle nejnovějších výzkumných zkušeností Ústavu vodního hospodářství krajiny. Popisuji zde charakter území, poté uvádím výpočet množství a kvality přitékajících odpadních vod a navrhuji jednotlivé technologické stupně, aby bylo dosaženo požadovaných čistících účinností. Nakonec jsou zhodnoceny celkové investiční a provozní náklady na realizaci čistírny. Tyto náklady jsou porovnány s náklady dvou dalších možných způsobů vyčištění odpadních vod obce Hlína.

Výsledkem druhé části práce je navržený čistírenský systém, který zahrnuje několik sériově i paralelně zapojených čistírenských prvků, jejichž cílem je eliminace nejen znečištění, které požaduje současné nařízení vlády, ale čistírna bude jako celek nad rámec požadavku NV 401/2015 Sb. odstraňovat celkový dusík i celkový fosfor. Neopomenutelným prvkem čistírny je absence přípojky elektrické energie, tzn. čistírna bude navržena na základě konfigurace terénu tak, aby se využilo tohoto potenciálu. V neposlední řadě je součástí návrhu čistírny i vlastní kalové hospodářství, založené na inovativně řešených kalových polích s mokřadní vegetací.

2 MNOŽSTVÍ A JAKOST ODPADNÍCH VOD

Při návrhu čistírny a volbě technologie čištění odpadních vod potřebujeme znát množství odpadních vod přitékajících na čistírnu a jejich jakost. Producenti odpadních vod transformují pitnou vodu na vodu odpadní a vytvářejí znečištění, které je charakterizováno ukazateli znečištění.

2.1 UKAZATELE ZNEČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Ukazatele znečištění jsou parametry, které ovlivňují kvalitu povrchových a podzemních vod a podílejí se na ekologické rovnováze. K ukazatelům znečištění patří:

- **nerozpuštěné látky (NL) -** látky organického nebo anorganického původu. NL rozlišujeme na látky usaditelné a neusaditelné. Většinou je toto znečištění patrné pouhým okem. Z vody je lze většinou odstranit mechanicky, což je relativně levná a snadná technologie. V kořenových čistírnách je nutné odstranit většinu NL již na vstupu, v mechanickém předčištění, čímž zamezíme procesu ucpávání materiálu filtru – procesu kolmatace. Z pohledu bezporuchového provozování čistírny je tedy nutné mechanické předčištění správně nadimenzovat a poté zajistit jeho správný provoz [1,2];
- **biochemická spotřeba kyslíku (BSK_5)** - spotřeba kyslíku, kterou mikroorganismy odeberou ze vzorku odpadní vody za 5 dní. Spotřeba kyslíku je mírou obsahu organických, biologicky rozložitelných látek a částečně i některých anorganických sloučenin. Kořenové čistírny odstraňují BSK_5 většinou bez problémů, účinnost odstranění se pohybuje v rozmezí od 80%, u horizontálních filtrů až po 95% u správně řešených vertikálních filtrů [1,2];
- **chemická spotřeba kyslíku ($CHSK_{Cr}$)**: Hodnota udává spotřebu kyslíku, která je nutná k oxidaci všech látek, nejen těch, které jsou odbourány biologicky. Na $CHSK_{Cr}$ i BSK_5 se podílejí NL i rozpuštěné znečištění. Čistící účinnost při odstraňování znečištění ve formě $CHSK_{Cr}$ se pohybuje v rozsahu 85 – 90 %, přičemž se většina znečištění odstraní filtrací u přítoku na filtrační pole, zbytek je odstraněn filtračními procesy [1,2];
- **dusík (N_{celk}) a fosfor (P_{celk})**: Dusík a fosfor jsou stavebními látkami všech živých tvorů, tvoří živiny (nutriety). Tyto prvky stimulují buněčné procesy, podporují tvorbu buněčné hmoty a následné množení organismů.

S množením organismů vzrůstá potřeba kyslíku. Po vyčerpání živin (znečištění) nebo úbytku kyslíku organismy odumírají, vzniká tak druhotné organické znečištění. Fosfor je částečně odstraňován v rámci mechanického předčištění a ve filtračním poli. Ke zvýšení účinnosti jeho odstranění, je nutné využít terciární dočištění [1,2];

- **amoniakální dusík (N-NH_4^+)**: Močovina, která přitéká v čerstvé odpadní vodě, podléhá snadno rozkladu, při němž vzniká N-NH_4^+. Jeho vyšší koncentrace způsobuje vznik anaerobních procesů a zpomalení biochemických procesů v recipientu. Při vysokém pH je také možný přechod N-NH_4^+ na NH_3, který je vysoce toxický vůči rybám. K odstranění amoniakálního dusíku je nutné velké množství kyslíku. Pro dostatečné odstranění amoniakálního dusíku na kořenové čistírně je nutné použít pulzně skrápěný vertikální filtr, ve kterém převládá aerobní prostředí [1,2].

2.2 MNOŽSTVÍ ODPADNÍCH VOD

Mezi producenty, kteří vytvářejí znečištění, patří obyvatelstvo, živnostenské, průmyslové a zemědělské provozy. Znečištění z průmyslu a zemědělství bývá ideálně vyřešeno samostatně tak, aby se na odtoku odpadních vod z provozu nepodílelo. Pro usnadnění výpočtu byl vytvořen pojem ekvivalentní obyvatel (EO), který je definován produkcí znečištění 60 g BSK_5 za den [3].

Tab. 2.1 Průměrné znečištění vytvořené 1 ekvivalentním obyvatelem v g/obyv/den [3]

NL	BSK_5	CHSK	N_{celk}	P_{celk}
55	60	120	11	2,5

Množství odpadní vody závisí na spotřebě vody, která v České republice dlouhodobě klesá. Hodnoty potřeby vody pro jednotlivé obce jsou uvedeny v Plánu rozvoje vodovodů a kanalizací území krajů (PRVKÚK). Při návrhu je třeba počítat také s vodami balastními, které pronikají do kanalizační sítě netěsnostmi, nebo jiným nechtěným způsobem. Do kanalizace také mohou být sváděny srážkové vody ze zpevněných a zastavěných ploch. Kvalita srážkových vod je proměnlivá. Po dlouhém bezdeštném období jsou ve srážkových vodách vysoké koncentrace organického znečištění, při vysoké intenzitě deště je splachováno velké množství písku, v zimě může znečištění pocházet z tajícího sněhu s vysokým obsahem soli. Vody balastní i srážkové mohou velice výrazně ovlivňovat koncentrace znečištění [2].

2.3 EMISNÍ STANDARDY

V 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 jsou uvedeny emisní standardy ukazatelů přípustného znečištění odpadních vod. V kategorii do 500 EO jsou sledovány hodnoty koncentrace znečištění odpadních vod pro ukazatele $CHSK_{Cr}$, BSK_5 a NL, naopak není nutné sledovat výstupní hodnoty dusíku a fosforu.

Tab. 2.2 Emisní standardy: přípustné hodnoty (p) a maximální hodnoty (m) koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l [18]

Kategorie ČOV (EO)	$CHSK_{Cr}$		BSK_5		NL	
< 500	p	m	p	m	p	m
	150	220	40	80	50	80

3 TYPY KOŘENOVÝCH ČISTÍREN

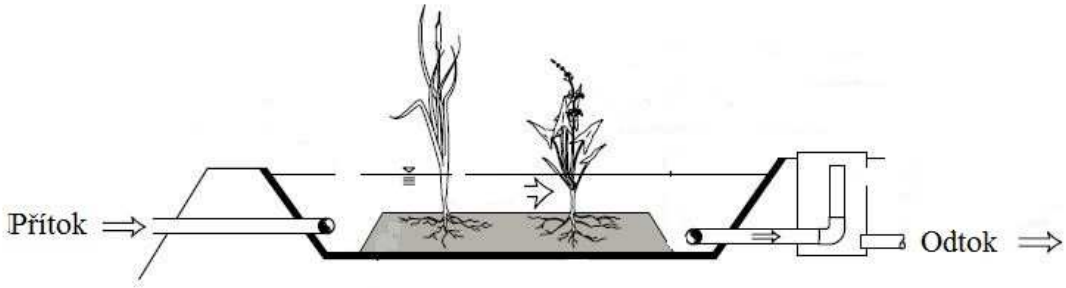
Vznik kořenových čistíren byl inspirován čistící schopností přirozeně se vyskytujících mokřadů. Mokřady jsou území, jež jsou díky své poloze v krajině po většinu roku, nebo po celý rok, pokrytá vodou. Jsou životně důležité pro nespočet rostlinných a živočišných druhů a patří k nejproduktivnějším ekosystémům na zemi. Navíc se podílejí na udržování vody v krajině a na koloběhu vody v přírodě. Jelikož mají mokřady větší míru biologické aktivity než většina ekosystémů, mají schopnost transformovat běžné znečišťující látky do neškodných vedlejších produktů, nebo nezbytných živin.

Návrh moderních kořenových čistíren odpadních vod spočívá ve využití těchto poznatků a jejich zdokonalení, za účelem zvýšení čistící schopnosti [5]. Již od 50. let 20. století probíhaly v Německu první pokusy s využitím mokřadních rostlin za účelem čištění odpadních vod. První čistírny byly uvedeny do provozu koncem 60. a začátkem 70. let v Německu a Nizozemí [4]. V dnešní době existují tři základní typy kořenových čistíren [5]:

- horizontální kořenové čistírny s povrchovým průtokem,
- horizontální kořenové čistírny s podpovrchovým průtokem,
- vertikální kořenové čistírny.

3.1 HORIZONTÁLNÍ KOŘENOVÉ ČISTÍRNY S POVRCHOVÝM PRŮTOKEM

Horizontální kořenové čistírny s povrchovým průtokem jsou umělé mokřady s volnou vodní hladinou. Jedná se o mělké nádrže prorostlé mokřadní vegetací. Voda protékající územím je čištěna především procesy sedimentace a filtrace. Jelikož jsou tyto čistírny velice podobné přírodním mokřadům, přirozeně přitahují velké množství rostlin a živočichů. Účinnost odstranění nerozpuštěných látek, BSK_5 a CHSK se pohybuje nad 70%, naopak celkový dusík a fosfor jsou odstraňovány s účinností nižší než 50%. Nejčastěji jsou tyto čistící nádrže navrhovány jako dočištění na výtoku ze sekundárního nebo terciárního čištění [5].

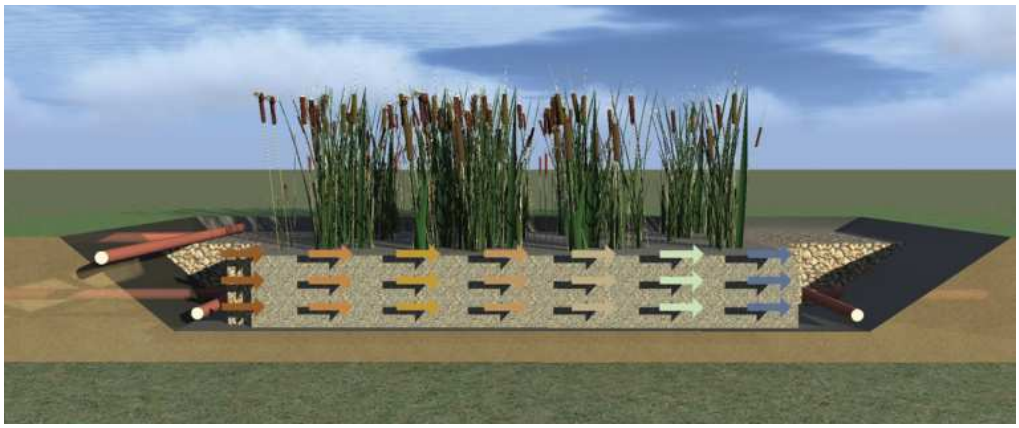


Obr. 3.1 Horizontální kořenová čistírna s povrchovým průtokem [5]

3.2 HORIZONTÁLNÍ KOŘENOVÉ ČISTÍRNY S PODPOVRCHOVÝM PRŮTOKEM

Horizontální kořenové čistírny s podpovrchovým průtokem se skládají z filtračního lože, které je osázeno mokřadními nebo vlhkomilnými rostlinami. Odpadní voda zůstává pod povrchem média a protéká půdním (kořenovým) filtrem v převážně horizontálním směru okolo kořenů rostlin, přičemž je rovnoměrně rozdělena po celé šířce filtračního pole a odváděna sběrnou drenáží. Jelikož se zde nenachází volná hladina, je minimalizován možný kontakt okolí s patogeny. Jímka, ve které se nachází filtrační materiál, je pečlivě utěsněna, aby nedocházelo k proniknutí odpadních vod do vod podzemních. V horizontálním filtru se nachází především anoxické a anaerobní prostředí, aerobní prostředí se nachází pouze blízko kořenů rostlin.

I přes negativní důsledky, které vyplývají ze vzniku anaerobního prostředí v horizontálním filtru, je tato technologie v České republice nejpoužívanější a nejčastěji navrhována. Důvodem je především jednoduchost návrhu a realizace. Odstranění organických a nerozpuštěných látek je efektivní a stabilní po celý rok [12,20]. Avšak horizontální filtrační pole vykazuje vysokou náročnost na plochu při požadavku odstraňování amoniakálního dusíku a fosforu (25 – 30 m^2/EO), což v praxi znamená, že téměř žádná kořenová čistírna v České republice, složená pouze z horizontálního pole, není schopna tyto látky dostatečně odstraňovat. Z tohoto důvodu je vhodnější zvolit technologii filtru s vertikálním prouděním, který má nároky na plochu nižší [1].



Obr. 3.2 Schéma horizontálního kořenového filtru [1]

3.3 VERTIKÁLNÍ KOŘENOVÉ ČISTÍRNY

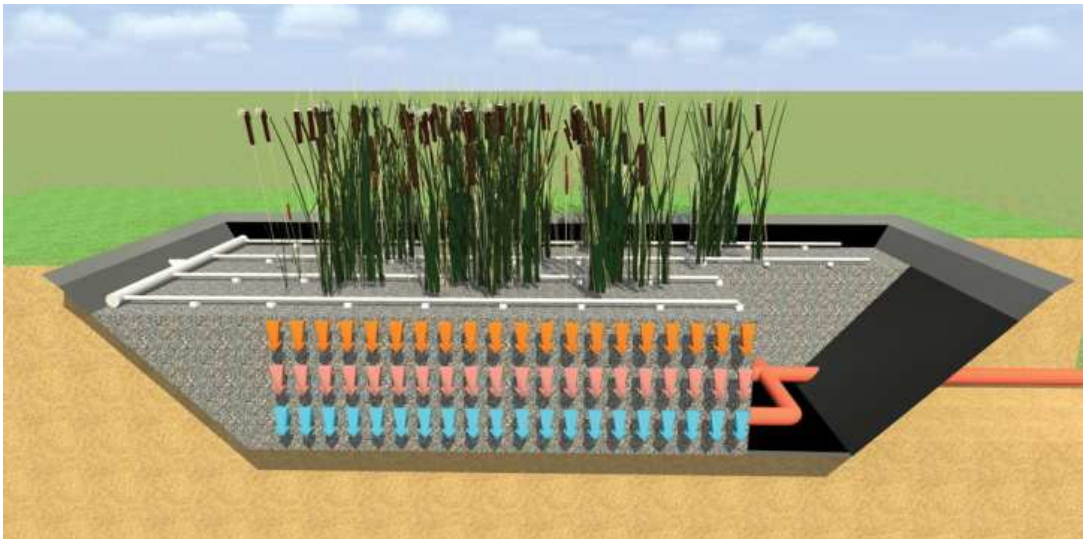
Existují dva typy vertikálních kořenových čistíren, které se liší směrem proudění vody: proudění směrem dolů a prouděním směrem nahoru. Oba typy se liší pouze v umístění přítokového a odtokového potrubí. Směr proudění nemá na čistící účinek vliv, pro čistící schopnost je především rozhodující, zda je filtrační prostředí nasycené vodou, nebo je nenasycené. Výhodou vertikálních filtrů je jejich schopnost odolávat silně rozkolísaným průtokům, přičemž mokřadní rostliny neuhynou i při dlouhodobých výpadcích přítoku. [6]

Jak horizontální, tak vertikální kořenové čistírny odstraňují znečištění BSK_5 a CHSK s vysokou účinností. Podle nejnovějších poznatků ze zahraničí, kde jsou vertikální čistírny daleko více rozšířené než v České republice, jsou vertikální kořenové čistírny schopny odstraňovat amoniakální dusík s až dvojnásobnou účinností než čistírny horizontální [27].

Také dle výzkumů, které byly provedeny na Ústavu vodního hospodářství krajiny, Vysokého učení technického v Brně, byly prokázány vyšší čistící účinnosti vertikálních filtrů. Výzkum byl proveden v roce 2014 na kořenové čistírně Kotenčice, která je spolu s nově rekonstruovanou čistírnou Dražovice jedinou provozovanou kořenovou čistírnou s vertikálními skrápěnými filtry v České republice, na níž probíhal monitoring a výzkum v rámci VUT. Výzkum byl součástí projektu MPO s názvem Biostream, který byl zaměřen na výzkum efektivního řešení a uspořádání vertikálních filtrů. Z měření na čtyřech samostatných tocích o různém uspořádání filtračních polí byla prokázána vyšší účinnost vertikálních skrápěných filtrů. Přesněji koncentrace $N\text{-}NH_4^+$ na odtoku byla u vertikálního pulzně skrápěného filtru o polovinu menší než koncentrace u filtru horizontálního. Také byla dokázána důležitost pulzního skrápění u vertikálních filtrů, kdy plně nasycený vertikální filtr měl téměř trojnásobné výstupní koncentrace $N\text{-}NH_4^+$ než

filtr pulzně skrápěný, přičemž tyto koncentrace byly vyšší než koncentrace na přítoku do filtru [28]. Tuto skutečnost lze vysvětlit malou propustností kyslíku do systému a tudíž nízkou schopností nitrifikace, při které je amoniakální dusík dál přeměňován na dusitany a dusičnany. Také pro ukazatel CHSK platí vyšší čistící účinnost u filtrů vertikálních než horizontálních. U vertikálních pulzně skrápěných filtrů byla také zaznamenána nejmenší průměrná hodnota zákalu [28].

Z výše uvedených důvodů bude pro kořenovou čistírnu Hlína volena technologie pulzně skrápěných vertikálních filtrů. Mezi slabé stránky vertikálních filtrů patří nízká schopnost denitrifikace, jelikož se zde nevyskytuje rozsáhlá anaerobní zóna. Proces denitrifikace je tak srovnatelný s horizontálními filtry.



Obr. 3.3 Schéma vertikálního kořenového filtru [1]

4 ČISTÍCÍ PROCESY V KOŘENOVÝCH ČISTÍRNÁCH

Čistící procesy, které probíhají ve filtračním prostředí, tvoří procesy fyzikální (sedimentace a filtrace), fyzikálně – chemické (adsorpce), chemické (srážení sloučenin a rozklad látek, oxidace a redukce) a biologické, které jsou zajišťovány mikroorganismy [6].

4.1 ODSTRAŇOVÁNÍ NEROZPUŠTĚNÝCH A ORGANICKÝCH LÁTEK

Nerozpuštěné látky (NL) jsou efektivně odstraňovány v rámci mechanického předčištění procesy sedimentace a filtrace. Při nedokonalém předčištění se NL zadrží v okolí přítoku odpadní vody na filtru a způsobují ucpávání filtračního lože a povrchový odtok, což výrazně snižuje čistící účinek.

Organické látky jsou odstraňovány na kořenových čistírnách s vysokou účinností. Ve filtračním loži dochází k mikrobiálnímu rozkladu organických látek na jednodušší sloučeniny, tento proces probíhá za aerobních a anaerobních podmínek. Výhodou kořenových čistíren je jejich schopnost čistit i odpadní vody s nízkou vstupní koncentrací organických látek [12].

4.2 ODSTRAŇOVÁNÍ DUSÍKU

Zvýšené koncentrace dusíku a fosforu ve vodách způsobují nerovnováhu ve vodním ekosystému. Zvýšené množství živin ve vodách nejlépe využívají řasy a sinice, které svým růstem vytlačují ostatní rostliny. Po jejich odumření a rozkladu dochází ke snížení koncentrace kyslíku ve vodě, což může vést až k úhynu ryb a bezobratlých živočichů. K úhynu ryb také dochází při intenzivním množení řas a sinic, vinou zvýšené produkce kyslíku a uvolňováním toxického amoniaku. Problémy můžou sloučeniny dusíku způsobovat také při úpravě vody. V pitné vodě jsou zvýšené koncentrace dusičnanů a dusitanů nepřípustné.

Sloučeniny dusíku se vyskytují v organických a anorganických formách. Mezi anorganické formy patří amoniak (NH_3), dusitany (NO_2^-) a dusičnany (NO_3^-). Mezi organické formy patří močovina, aminokyseliny, aminy a puriny. Dusík se také vyskytuje v plynné formě jako N_2, oxid dusný (N_2O), oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO_2).

Mezi biologické procesy podílející se na transformaci dusíku patří: amonifikace, nitrifikace, denitrifikace a zachycení dusíku rostlinami. Amoniak je

v aerobním prostředí oxidován na dusičnany procesem zvaným nitrifikace. Dusičnany jsou poté odstraněny denitrifikací [2].

4.2.1 Amonifikace

Amonifikace je rozklad aminokyselin na amoniakální dusík. Při amonifikaci dochází k uvolňování energie, která je využívaná mikroorganismy pro jejich růst. Nejvíce probíhá amonifikace v horních vrstvách filtru, kde je aerobní prostředí. Průběh amonifikace se snižuje s hloubkou. V anoxickém a anaerobním prostředí její rychlost výrazně klesá. Amonifikace probíhá v aerobním prostředí výrazněji rychleji než nitrifikace [5].

4.2.2 Nitrifikace

Nitrifikace je oxidace amoniakálního dusíku na dusitany a dusičnany za přítomnosti chemolitotrofních bakterií. Proces probíhá ve dvou stupních. V prvním stupni je amoniak oxidován na dusitany procesem nitritace, který je popsán rovnicí (4.1). Ve druhém stupni jsou dusitany oxidovány na dusičnany procesem nitratace, který popisuje rovnice (4.2):

$$2\ NH_3 + 3\ O_2 = 2\ HNO_2 + 2\ H_2O, \tag{4.1}$$

$$2\ HNO_2 + O_2 = 2\ HNO_3\,. \tag{4.2}$$

Na oxidaci je spotřebováno velké množství kyslíku – teoreticky 4,57 g 0_2 /g N, avšak skutečná spotřeba kyslíku je menší, neboť část dusíku je využita do biomasy bakterií. Při nitrifikaci vzniká silná kyselina dusičná, která může způsobit pokles pH [2].

4.2.3 Denitrifikace

Denitrifikace probíhá za anoxických podmínek (v prostředí bez molekulárního kyslíku) za přítomnosti chemoorganotrofních bakterií. Proces má dva stupně. V prvním stupni jsou dusičnany redukovány na dusitany, což je znázorněno rovnicí (4.3). V druhém stupni jsou dusitany dále redukovány na dusík, resp. oxid dusný, což popisuje rovnice (4.4):

$$NO_3^- + 2\ H^+ + 2\ e^- = NO_2 + H_2O\ , \tag{4.3}$$

$$2\ NO_2^- + 8\ H^+ + 6\ e^- = N_2 + 4\ H_2O. \tag{4.4}$$

Výslednou redukci vyjadřuje rovnice (4.5):

$$2\ NO_3^- + 12\ H^+ + 10\ e^- = N_2 + 6\ H_2O \tag{4.5}$$

Denitrifikace probíhá v rozsahu pH od 6 do 9. Nad hodnotu pH 7,3 vzniká především N_2, při nižších hodnotách N_2O [2]. V anaerobním prostředí také dochází k redukci síranů na sirovodíky. Dostane-li se sirovodík do aerobní zóny, může být oxidován zpět na sírany, což může způsobit nárůst jejich koncentrace na odtoku [5].

4.3 ODSTRAŇOVÁNÍ FOSFORU

Schopnost moderních kořenových čistíren odstraňovat fosfor je oproti schopnosti odstraňovat BSK_5, CHSK, $N\text{-}NH_4^+$ relativně nízká. Čistící procesy, mezi které patří příjem rostlinami a asimilace mikroorganismy, se na odstraňování fosforu podílejí minimálně. Výzkumy v zahraničí, které zkoumají dynamiku fosforu ve filtračním poli, ukazují, že procesem adsorpce je odstraněna největší část znečištění (53,3% z celkového fosforového znečištění). Dále se na odstranění podílejí procesy extrakce fosforu (13,5%) a příjem rostlinami, který je však zanedbatelný (0,49%) [14]. Hlavní proces podílející se na odstranění fosforu je sorpce na filtrační médium.

Účinnost odstranění fosforu může být zvýšena použitím sorbentů jako filtračního média, které mají vysokou schopnost na sebe fosfor vázat, především se jedná o materiály obsahující CaO. Mezi materiály s vysokou sorpční schopností patří produkty vedlejšího původu z průmyslu (např. struska z vysokých pecí), přírodní materiály (slínovce), nebo vyrobená filtrační média. Sorpční kapacita těchto materiálů se však v čase snižuje a je proto nutné je po určité době vyměnit [32]. Tyto materiály nejsou na kořenových čistírnách v České republice využívány, jelikož koncentrace fosforu není nutné do 2000 EO sledovat. V zahraničí je situace jiná. Například v Norsku, Estonsku a Portugalsku, kde jsou velmi přísné limity na vypouštění fosforu, se jako filtrační matriál používá termicky expandovaný jíl [33].

4.4 ODSTRAŇOVÁNÍ OSTATNÍHO ZNEČIŠTĚNÍ

Při sledování nebezpečných látek v odpadních vodách je velká pozornost věnována odstraňování těžkých kovů. Těžké kovy se vyznačují vysokou toxicitou a karcinogenitou. Do odpadních vod se dostávají převážně z průmyslu, hlavní zastoupení mají kadmium, chrom, měď, nikl, stříbro, zinek nebo olovo. Hlavními mechanismy eliminace jsou sedimentace, filtrace a adsorpce na filtru, přičemž absorpce rostlinami je v porovnání s ostatními mechanismy malá [11].

Při měřeních provedených v České republice v letech 2006 - 2008 na třech kořenových čistírnách byla zkoumána účinnost odstranění 34 stopových prvků.

Nejvyšší účinnost odstranění byla zjištěna pro hliník (90%) a zinek (78%), které dokážou kořenové čistírny odstraňovat velice efektivně. Účinnost odstranění uranu, mědi, olova a železa se pohybovala mezi 50 a 75 procenty. Odstranění kadmia a selenu bylo naopak velmi nízké [10].

5 VEGETACE V KOŘENOVÝCH ČISTÍRNÁCH

Vodní makrofyty plní řadu významných funkcí při procesu čištění v kořenových čistírnách. Rostliny stabilizují filtrační lože, zpomalují proces kolmatace, zvyšují hydraulickou vodivost a poskytují prostředí pro růst bakterií, zároveň přijímají živiny a dodávají do vody kyslík a uhlík. V zimním období v chladnějších oblastech rostliny zateplují povrch kořenové čistírny. Rostliny také plní estetickou funkci v krajině [7].

Množství nutrientů, které je rostlina schopna přijmout, se mění v průběhu jejího růstu a podle ročního období. Růst rostlin závisí na kvalitě vody, vlastnostech filtru, teplotě a klimatu. Kořenový systém rostlin obsahuje velké množství bakterií, díky kterým se zvyšuje oxidačně-redukční potenciál a míra nitrifikace. Kořeny rostlin by měly zasahovat rovnoměrně do celého objemu filtračního lože. Jsou voleny rostliny, které rychle produkují velké množství biomasy a jsou odolné vůči silnému znečištění. Je dobré používat rostliny ze stejných klimatických oblastí, ve kterých se nachází čistírna [8].

V České republice je nejužívanější rostlinou rákos obecný a chrastice rákosovitá. Ostatní rostliny se využívají převážně na domovních čistírnách. Například na KČOV Kotenčice jsou filtry osázeny rákosem obecným, chrasticí rákosovitou, kosatcem žlutým a sibiřským, zblochanem vodním a kyprejem vrbicí [18]. Na většině čistíren v České republice je vegetace sklízena na konci zimního období, po odeznění větších mrazů. Ve většině případů je pokosená vegetace spalována v areálu čistírny.

Rákos obecný *(Phragmites australis)* – v našich podmínkách dorůstá nadzemní část do výšky 4 m (v teplejších oblastech až 6 m). Podzemní části (kořeny a oddenky) prorůstají do značných hloubek (v příznivých podmínkách až 1,5 m). Rákos se množí vegetativně, oddenky. Jedná se o vytrvalou, rychle rostoucí rostlinu, která je velice invazivní. Je tolerantní vůči teplotě, pH, organickému i anorganickému znečištění [9].

Obr. 5.1 Rákos obecný na KČOV Slavošovice [33]

Chrastice rákosovitá *(Phalaris arundinacea)* – jedná se o vytrvalou rostlinu, podobnou rákosu. Chrastice dorůstá do výšky 3 m, má mohutný kořenový systém, který neprorůstá do velké hloubky. Rychle se rozmnožuje semeny i oddenky. Dobře snáší znečištění i promrzání, optimální pH je v rozmezí 6,1 –7,5. Roste na podmáčených loukách a březích vod, v nížině i pahorkatině [9].

Obr. 5.2 Chrastice rákosovitá na KČOV Číčenice [33]

6 PROCES KOLMATACE

Při provozu kořenové čistírny dochází k zanášení filtračního prostředí, tzv. kolmataci. Zanášení filtru je progresivní proces a určitý stupeň zanesení je nevyhnutelný. Problém nastává, pokud dochází ke snížení čistící účinnosti a životnosti systému. Při samotném procesu dochází ke zmenšení a ucpání pórů v prostředí filtru, což může vyústit ve snížení infiltrace, následný vznik zkratových proudů a snížení doby zdržení vody ve filtru. Následně dochází ke značnému snížení čistící účinnosti. Nepříjemným doprovodným projevem kolmatace může být vznik zápachu a přítomnost hmyzu [23].

Mezi hlavní příčiny zanášení filtru řadí Knowles a kol. zadržení nerozpuštěných látek, růst biofilmu a jeho rozklad, růst vegetace a chemické vlivy, především srážení a adsorpci [24]. Hua a kol. dokázali, že rychlost procesu kolmatace závisí především na hydraulickém zatížení filtru a koncentraci znečištění, především znečištění BSK_5, CHSK a NL. Naopak vliv růstu rostlin a ucpávání pórů filtru jejich kořeny je zanedbatelný [23]. U filtrů kořenových čistíren, které jsou celé uložené pod zemí, se výskyt a rozsah kolmatace špatně posuzuje. Jedny z možných ukazatelů, které mohou poukazovat na začínající projevy kolmatace u vertikálních filtrů, jsou snížený obsah dusičnanů na odtoku z čistírny, jako důsledek snížené schopnosti nitrifikace, a snižování koncentrace kyslíku ve filtračním poli [25].

Proces kolmatace také ovlivňují materiálové charakteristiky filtru. Čím jemnější filtrační materiál je použit, tím vyšší je náchylnost filtru na ucpání. Z tohoto důvodu jsou vertikální kořenové filtry více náchylné na kolmataci než filtry horizontální. U vertikálních filtrů je tedy nutné klást mnohem větší důraz na účinné mechanické předčištění, které odstraní co nejlépe nerozpuštěné a organické látky. Kolmatace bývá hlavní příčinou nefunkčnosti vertikálních kořenových filtrů právě z důvodu špatně navrženého mechanického předčištění [19].

7 ODPADOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ KOŘENOVÝCH ČISTÍREN

Během čištění odpadní vody na kořenové čistírně odpadních vod vzniká několik druhů odpadů. Každý typ odpadu přitom vyžaduje jiný způsob likvidace. Mezi odpady, které vznikají na kořenové čistírně, patří:

- shrabky a kal vznikající na mechanickém předčištění (shrabky zachycené na česlích, písek z lapáku písku, kal z usazovacích nádrží a ze septiků),
- sklizená vegetace z filtračních a kalových polí,
- kal ze zakolmatované filtrační náplně,
- kal vznikající při srážení fosforu.

Likvidace odpadů patří k nejsložitějším problémům, které vznikají v procesu čištění odpadních vod. Při likvidaci kalu je nutné provést důkladný rozbor jeho složení. V kalu sledujeme především množství organických a minerálních látek. Velká pozornost musí být věnována obsahu těžkých kovů jako arsenu, kadmia, chromu, mědi, rtuti, niklu, olova a zinku. Při mikrobiologickém rozboru sledujeme přítomnost koliformních bakterií, enterokoků a salmonely. Při využití kalů v zemědělství sledujeme také obsah nutrietů, kterými jsou např. dusík, fosfor, draslík, vápník, hořčík a sodík. Rozbory jsou prováděny podle normy 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 [15].

Hlavními způsoby zpracování kalů jsou:

- aplikace v zemědělství,
- kompostování,
- skládkování,
- spalování,
- jiné.

Při využití v zemědělství fungují kaly jako výborné hnojivo, díky vysokému obsahu nutrietů, organické hmoty a stopových prvků. Na druhou stranu mohou kaly vzhledem k obsahu polutantů kontaminovat půdu a znečistit povrchové a podzemní vody. Druhá nejrozšířenější metoda zpracování kalů v České republice je skládkování, tato metoda je však relativně drahá. V celé Evropě probíhá snaha o snížení skládkování, případně jeho úplný zákaz. Skládkování je nejméně vhodný

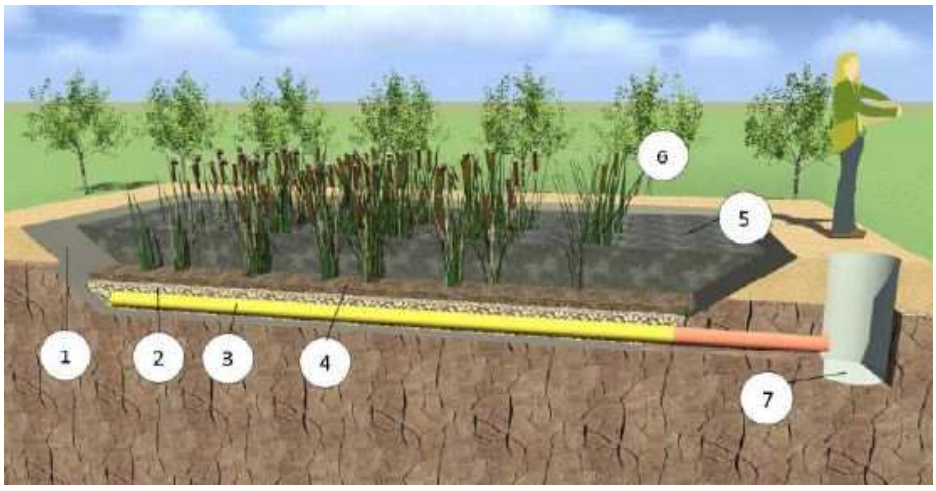
způsob likvidace kalů, jelikož při něm může docházet ke kontaminaci půdy a vody. Při skládkování také unikají do ovzduší skleníkové plyny oxid uhličitý a metan.

Kaly obsahují asi 0,5 až 15 % sušiny. Kalové hospodářství se tedy soustředí převážně na snižování objemu kalu. To se děje procesy zahušťování a odvodňování. Kalové hospodářství je spojeno s vysokými provozními náklady. Při čištění odpadních vod tvoří 20 až 60 % z celkových provozních nákladů.

Jelikož vyvážení kalu je nákladné, je velice výhodné řešit likvidaci kalu přímo na kořenové čistírně. Za tímto účelem je na kořenových čistírnách využíváno kalových polí s mokřadní vegetací nazývaných reed-bed systémy. Reed-bed systémy zajišťují odvodnění a stabilizaci kalů. Jedná se o mělké zemní jímky izolované od podloží a osázené mokřadní vegetací. V nádržích je přítomna aerobní, anoxická i anaerobní vrstva, ve kterých dochází k rozkladu organické hmoty. Kal je zároveň odvodňován evapotranspirací a přebytečná voda je odváděná drenáží. V procesu vzniká oxid uhličitý, voda a humus [13].

Nevýhodou reed-bed systémů jsou vyšší nároky na plochu než u mechanických metod odvodnění. Výhody reed-bed systému jsou:

- výrazně nižší náklady na provoz a obsluhu,
- nízká energetická náročnost systému,
- kvalitní humusovitá půda bez zápachu jako výsledný produkt likvidace kalu,
- kalová pole tvoří krajinotvorný prvek.



Obr. 7.1 Schéma reed-bed systému: 1 - izolovaná nádrž, 2 - drenážní vrstva, 3 - drenážní potrubí , 4 - substrát , 5 - vrstvy kalu , 6 - vegetace , 7 - revizní šachta [15]

8 VÝHODY A NEVÝHODY KČOV

V porovnání s klasickými aktivačními způsoby čištění odpadních vod mají kořenové čistírny řadu výhod i nevýhod [15,33].

Mezi výhody patří zejména:

- schopnost vypořádat se s proměnným množstvím a kvalitou odpadních vod a schopnost čistit i vody s malým organickým znečištěním,
- nízké provozní náklady, vyplývající z minimální údržby,
- schopnost fungovat bez elektrické energie,
- jednoduchost systému a menší náchylnost k havárii,
- schopnost pracovat přerušovaně, snášet krátkodobé i dlouhodobé výpadky,
- estetická funkce a dobré zakomponování do krajiny.

Mezi nevýhody patří zejména:

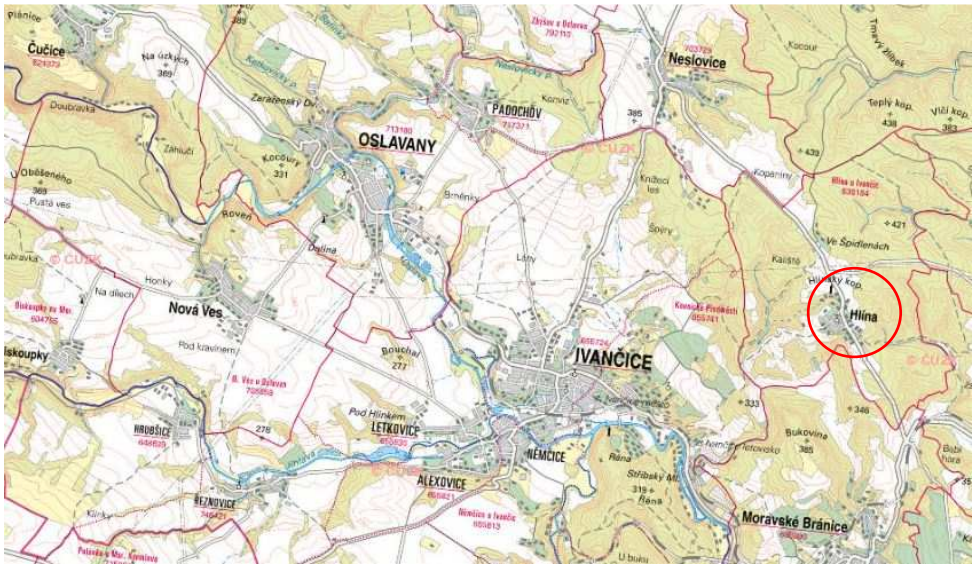
- velká náročnost na plochu,
- nízká účinnost odstraňování fosforu,
- ztížené řízení čistícího procesu,
- složitější analýza případných problémů.

9 STUDIE KOŘENOVÉ ČISTÍRNY HLÍNA

9.1 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Obec Hlína leží v Jihomoravském kraji, v okrese Brno - venkov, jihozápadně od Brna. Od roku 2003 je obec součástí mikroregionu Ivančicko, jež zahrnuje 12 obcí (Biskoupky, Čučice, Dolní Kounice, Hlínu, Ivančice, Ketkovice, Mělčany, Moravské Bránice, Němčičky, Novou Ves, Nové Bránice a Oslavany). Osu mikroregionu tvoří údolí střední části řeky Jihlavy a do ní přitékající dolní části řek Oslavy a Rokytné. Centrem mikroregionu je město Ivančice. V mikroreginou se nachází několik zvláště chráněných území. Většinou se jedná o skalní útvary různého původu s vyvinutými společenstvy skalních stepí a lesostepí (např. Budkovický potok na Rokytné, CHKO Údolí Oslavy a Chvojnice).

Reliéf území charakterizuje členitá pahorkatina, mírně se zvedající k severozápadu, s výrazně zahloubenými kaňony jmenovaných tří řek. Území má výškovou členitost 30 - 130 m, v zaříznutých údolích až 200 m. Typická nadmořská výška území je mezi 200 - 380 m n. m. Nejvyšší nadmořské výšky dosahuje území v severní části k.ú. Ketkovice (479,7 m n. m.), nejnižší bod území leží na řece Jihlavě (cca 190 m n. m). Mikroregion byl osídlen již od neolitu, což dokazují četné archeologické nálezy. Celkový ráz krajiny vytváří především pole, sady a vinice, jež obklopují rozsáhlé lesní komplexy [38].



Obr. 9.1 Obec Hlína v mikroregionu Ivančicko

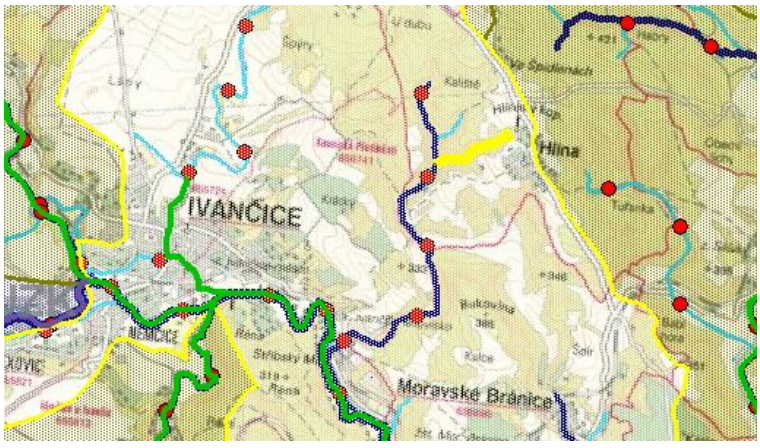
9.1.1 Geomorfologické a geologicko - pedologické poměry

Z geomorfologického hlediska leží obec v severovýchodní části provincie Česká vysočina, v Českomoravské subprovincii. Dále se nachází v Hlínské vrchovině, jež je součástí Bobravské vrchoviny. Bobravská vrchovina má členitý reliéf, je pokrytá listnatými a smíšenými lesy, které obklopují střední tok říčky Bobravy.

V západní části je mikroregion Ivančicko tvořen kyselými bítešskými ortorulami. Na plošinách se vyskytují převážně neogenní sedimenty – jíly, písky, štěrky, které jsou v různé míře vápnité a kryté pleistocenními terasovými štěrkopísky a sprašemi. V Bobravské vrchovině vyvstávají tvrdé horniny brněnského masivu (granodiorit a granit). Nejrozšířenějším půdním typem zde jsou kyselé kambizemě a hnědozemě na spraších a sprašových hlínách, jihovýchodně se vyskytují také černozemě a černice. V plochých zamokřených územích se vzácně vyskytují slatiny [37].

9.1.2 Hydrologické poměry

Celé území mikroregionu spadá pod povodí řeky Moravy. Řeka Morava se vlévá do Dunaje a následně do Černého moře. Centrum území odvodňuje řeka Jihlava, severní část řeka Oslava a jižní část řeka Rokytná. Významnějšími přítoky řeky Oslavy jsou levostranný přítok řeky Chvojnice a Balinky, pod Ivančicemi se do Jihlavy vlévá potok Martálka. Na území mikroregionu se nachází jen velmi málo umělých vodních nádrží, z nichž žádná nemá rekreační význam, některé jsou rybochovné. Přímo na Hlíně pramení říčka Šatava, která teče nejprve jako potok přes Prštice, Silůvky, Mělčany, Hrušovany u Brna, Vranovice a pod Ivání se nedaleko před Novomlýnskou nádrží vlévá do Jihlavy [36].



Obr. 9.2 Mapa povrchových vod v povodí, zeleně – řeka Jihlava, modře – potok Martálka, žlutě – bezejmenný přítok potoka Martálka

9.1.3 Klimatické poměry

Území náleží do teplé oblasti T4, jež je nejteplejší oblastí v ČR, a přechází do oblasti T2 (klasifikace dle Quitta, 1972). Vyskytuje se zde 50 – 70 letních dnů a 100 – 110 dnů mrazivých. Průměrná teplota v červenci se pohybuje v rozmezí 18 – 20 °C, průměrná teplota v lednu je -2 až -3 °C. Průměrný roční úhrn srážek je 500 – 650 mm. Vyskytuje se 40 – 50 dnů se sněhovou pokrývkou. Srážky ubývají směrem k východu, kde se již vyskytuje srážkový stín Českomoravské vrchoviny, toto území patří k nejsušším místům na Moravě. Na území se vyskytují západní a jihovýchodní větry, které způsobují letní sucho a bouřky a v předjaří silnou větrnou erozi [36].

9.2 PODKLADY PRO NÁVRH KČOV HLÍNA

9.2.1 Charakteristika řešeného území

Obec Hlína se rozprostírá na temeni Hlínského kopce v nadmořské výšce 420 m n. m., 4 km severozápadně od města Ivančice. Obec je velmi starou osadou, což dokládají archeologické vykopávky z mladší doby kamenné, z doby železné a z 11. století. První písemná zpráva o obci pochází z roku 1537. Jedná se o turisticky atraktivní obec s historickými památkami, lesním divadlem a rozhlednou. Obec je situována v blízkosti lesního komplexu Bučina a do části území obce zasahuje přírodní park Bobrava, který je rovněž atraktivním turistickým cílem. Původní jádro obce, tvořené selskými grunty se rozkládá na jih, stranou od hlavní průjezdné komunikace. Dominantou obce je kostel Svaté Kunhuty z roku 1793.

Rozsah zástavby je v rozmezí 405 – 445 m n. m. Obec Hlína je přístupná po silnici pro motorová vozidla č. II/395 vedoucí z Neslovic směrem na Dolní Kounice. V obci je k 31. 12. 2016 evidováno 296 obyvatel, průměrný věk je 42,6 let. Celková výměra obce je 834,36 ha, přičemž 157,36 ha tvoří zemědělská půda, zbytek zabírají převážně lesní pozemky.

V obci se nevyskytují žádná školská ani zdravotnická zařízení. V obci se nachází knihovna, restaurace, obchod s potravinami, hasičská zbrojnice. Nevyskytuje se průmyslová výroba, pouze zemědělský areál s živočišnou výrobou. Obec nemá vlastní zdroj pitné vody, je zásobována ze skupinového vodovodu Ivančice – Rosice. Obec má vodovod pro veřejnou potřebu, který je majetkem obce a provozován společností VAS a.s. Obec není plynofikována [30].

9.2.2 Umístění kořenové čistírny odpadních vod

Pro čistírnu odpadních vod byla vymezena oblast v jihozápadní části katastru obce. Pro návrh čistírny byly zvoleny parcely č. 399 (výměra: 1778 m^2,

druh pozemku: orná půda), č. 400 (výměra: 1837 m^2, druh pozemku: orná půda), k.ú. Hlína u Ivančic. Obě parcely jsou ve vlastnictví obce Hlína. Parcely se nacházejí 200 metrů od nejbližší obytné zástavby. Pásmo ochrany prostředí je dle TNV 75 6011 200 m od nejbližší obytné zástavby. Parcely sousedí s polní cestou, jež je ve vlastnictví obce. Cesta začíná na jihovýchodním cípu obce a spolu s modrou turistickou značkou vede do centra Ivančic. Obě parcely mají protáhlý tvar směrem na severozápad, leží v terénu svažujícímu se do údolí, jímž protéká bezejmenný potok, levý přítok potoka Martálka. Podélný sklon parcel je 6%.

Obr. 9.3 Umístění čistírny odpadních vod jihozápadně od obce Hlína

9.2.3 Stav kanalizační sítě

Splašková kanalizace se v současné době v obci nevyskytuje. V části obce je realizována dešťová kanalizace, která je vyústěna do příkopu pod zastavěným územím obce. Výhledově bude v obci vybudována nová splašková kanalizační síť. Dešťová kanalizace bude zrušena a občané budou s dešťovými vodami hospodařit samostatně na svých pozemcích. Vzhledem ke sklonovým poměrům, díky kterým není možné odkanalizovat celou obec gravitačně, budou splaškové vody z JV a JZ přečerpávány. K tomuto účelu bude navrženo šest čerpacích stanic. Odpadní vody ze zemědělského areálu budou likvidovány vlastním systémem opět v zemědělství. Projektová dokumentace ke kanalizaci bude zpracována souběžně s dokumentací k čistírně odpadních vod.

9.2.4 Množství a kvalita přitékajících odpadních vod

Specifická produkce odpadních vod je odhadem stanovena na 130 l/obyv/den, balastní vody tvoří 10% z průměrného denního průtoku Q_{24}. Výhledový

počet obyvatel je 320. Při výpočtu bylo uvažováno s tím, že 1 obyvatel je roven 1 EO včetně zatížení, které produkuje občanská vybavenost. Jeden ekvivalentní obyvatel (EO) obecně produkuje 60 g BSK_5 za den. Jelikož produkce obyvatel obce Hlína je nižší (okolo 54 g BSK_5 za den), je občansko-technická vybavenost zahrnuta v počtu EO. Tyto vstupní parametry vychází ze Studie odkanalizování obce Hlína z roku 2013, která byla zpracována firmou AQUA PROCON s.r.o., na základě objednávky Svazku vodovodů a kanalizací Ivančice [35].

Tab. 9.1 Vstupní parametry pro výpočet množství odpadních vod

EO=	320	obyv	počet ekvivalentních obyvatel
q_{sp}=	130	l/obyv/d	specifická produkce odpadních vod
BAL=	10	%	balastní vody, procentuální množství
k_d=	1.5		součinitel denní nerovnoměrnosti dle ČSN 73 6701
k_h=	4.2		součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti dle ČSN 73 6701

Tab. 9.2 Součinitelé maximální hodinové nerovnoměrnosti k_h dle ČSN 73 6701

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

Množství splaškových odpadních vod přitékajících na čistírnu je vypočteno podle směrných hodnot s použitím hodnoty specifické produkce odpadních vod. Množství splaškových vod je vypočteno dle rovnic (9.1), (9.2),(9.3) a (9.4) a uvedeno v tab. 9.3.

$$Q_{24,m} = EO \times q_{SP} \quad (m^3/d) \tag{9.1}$$

$$Q_{24} = Q_{24,m} + Q_B \quad (m^3/d) \tag{9.2}$$

$$Q_d = Q_{24,m} \times k_d + Q_B \quad (m^3/d) \tag{9.3}$$

$$Q_h = Q_{24,m} \times k_d \times k_h + Q_B \quad (m^3/h) \tag{9.4}$$

Tab. 9.3 Výpočet přítoků na čistírnu odpadních vod

Q_B=	4.16	m^3/d	balastní vody
Q_{24}=	45.76	m^3/d	průměrný denní průtok
Q_d=	66.56	m^3/d	maximální denní průtok
Q_h=	11.15	m^3/h	maximální hodinový průtok

Tab. 9.4 Emisní standardy dle přílohy č. 1 k NV 401/2015 Sb.: přípustné hodnoty (p) a maximální hodnoty (m) koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l

Kategorie ČOV(EO)	$CHSK_{Cr}$		BSK_5		NL	
	p	m	p	m	p	m
< 500	150	220	40	80	50	80

Tab. 9.5 Orientační hodnoty produkce specifického znečištění So na 1 EO v g/d dle ČSN 75 6402

Ukazatel	S_o
	[g/os/d]
BSK_5	60
CHSK	120
NL	55
P_{celk}	2.5
N_{celk}	11

Průměrné denní znečištění přitékající na čistírnu S_{dp} v kg/d je vypočítáno dle rovnice (9.5), vstupní koncentrace znečištění c_o v mg/l jsou vypočítány dle rovnice (9.6).

$$Sdp = EO \times S_o \ \ [kg/d] \tag{9.5}$$

$$c_o = \frac{S_{dp}}{Q_{24}} \ \ [\text{mg/l}] \tag{9.6}$$

Tab. 9.6 Výpočet průměrného denního znečištění S_{dp}, vstupní koncentrace znečištění c_o a minimální potřebné účinnosti čištění E přitékající na čistírnu

Ukazatel	S_{dp} [kg/d]	c_o [mg/l]	E [%]
BSK_5	19.2	420	90.5
CHSK	38.4	839	82.1
NL	17.6	385	87.0

9.2.5 Způsob čištění odpadních vod

Čištění odpadních vod se bude skládat ze tří základních stupňů, které tvoří:

- mechanické předčištění,
- hlavní čistící stupeň – vertikální kořenový filtr,
- dočištění.

Odpadní voda z obce bude přitékat přes mechanické předčištění, které tvoří ručně stírané česle a vícekomorový septik. Ze septiku vytéká odpadní voda do rozdělovací šachty a poté vytéká pulzně na vertikální filtr. Voda je na dně filtru sbíraná drenáží a odváděna do dvou stabilizačních nádrží, které slouží jako terciální dočištění. Dále je voda přivedena do nádrže na srážení fosforu. Nakonec putuje voda přes měrný objekt do recipientu.

9.2.6 Kvalita vyčištěné vody

Technologie čištění je volena tak, aby vyčištěná odpadní voda splňovala emisní standardy dle NV 401/2015 Sb. Hodnoty účinnosti čištění jednotlivých technologických objektů jsou převzaty z normy ČSN 75 6402 a uvedeny v tab. 9.7. Pro další výpočet používám průměrné hodnoty účinností. V tab. 9.8 jsou uvedeny odtokové koncentrace z jednotlivých technologických objektů. V tab. 9.9 je uvedena celková účinnost čištění pro jednotlivé pozorované ukazatele a koncentrace znečištění na odtoku z čistírny c_1 v mg/l.

Tab. 9.7 Orientační hodnoty účinnosti jednotlivých typů čistírenských technologií pro malé zdroje znečištění dle ČSN 75 6402

Technologie čištění	Účinnost čištění v %					
	BSK_5		CKSK		NL	
	rozmezí	průměr	rozmezí	průměr	rozmezí	průměr
I. stupeň: Anaerobní separátor	50 až 75	**63**	40 až 80	**60**	70 až 90	**80**
II. stupeň: Vertikální filtr s vegetací	75 až 98	**87**	70 až 97	**84**	85 až 99	**92**
III. stupeň: Biologické dočišťovací nádrže	65 až 70	**68**	60 až 85	**73**	85 až 90	**88**

Tab. 9.8 Vypočtené koncentrace znečištění na přítoku a odtoku z jednotlivých objektů čistírny odpadních vod v mg/l

Technologie čištění	Koncentrace znečištění [mg/l]					
	BSK5		**CKSK**		**NL**	
	přítok	odtok	přítok	odtok	přítok	odtok
I. stupeň: Anaerobní separátor	420	155	839	336	385	77
II. stupeň: Vertikální filtr s vegetací	155	20	336	54	77	6.2
III. stupeň: Biologické dočišťovací nádrže	20	**6.5**	54	**14.5**	6.2	**0.8**

Tab. 9.9 Výpočet koncentrace znečištění na odtoku z čistírny c_1 a celková účinnost čištění E_c

Ukazatele znečištění	Koncentrace znečištění na odtoku z čistírny c_1	Celková účinnost čištění E_c
	mg/l	%
BSK_5	**6.5**	**98.5**
CHSK	**14.5**	**98.3**
NL	**0.8**	**99.8**

Vyčištěná voda vyhovuje přípustným hodnotám znečištění z NV 401/2015 Sb. (viz. tab. 9.4) ve všech sledovaných ukazatelích. Pro zajímavost přikládám i výpočet pro ukazatele $N\text{-}NH_4$ a P_{celk}, které není nutné sledovat. Účinnost odstranění amoniakálního dusíku je vysoká. Pro snížení koncentrace celkového fosforu je nutné navrhnout objekt na srážení fosforu.

Tab. 9.10 Účinnost čištění dle ČSN 75 6402 pro nesledované ukazatele N-NH_4 a P_{celk}

Technologie čištění	Účinnost čištění v %	
	N-NH_4	P_{celk}
I. stupeň: Anaerobní separátor	15	28
II. stupeň: Vertikální filtr s vegetací	50	13
III. stupeň: Biologické dočišťovací nádrže	75	13

Tab. 9.11 Výpočet koncentrace znečištění na přítoku c_o a odtoku c_1 a celková účinnost čištění E_c pro nesledované ukazatele N-NH_4 a P_{celk}

Ukazatele znečištění	Koncentrace znečištění na přítoku c_o	Koncentrace znečištění na odtoku z čistírny c_1	Celková účinnost čištění *Ec*
	mg/l	mg/l	%
N-NH_4	51	**5.4**	**89.4**
P_{celk}	17	**9.3**	**45.3**

9.2.7 Vyústění OV

Vyčištěná voda bude vypouštěna do bezejmenného potoka, levého přítoku potoka Martálka. Potok Martálka patří do povodí kaprových vod, ukazatele a hodnoty jakosti kaprových vod z přílohy č. 2 k NV 71/2003 Sb. jsou uvedeny v Tab. 14.

Bezejmenný levý přítok potoka Martálka – výpis dat [36]:

Identifikátor toku podle DIBAVOD/HEIS ČR:	419160000400
Celková délka toku:	0,903 km
Název recipientu:	Martálka
Název povodí:	Dunaj

Potok Martálka – výpis dat [36]:

Identifikátor toku podle DIBAVOD/HEIS ČR:	419160000100
Název toku:	Martálka
Celková délka toku:	5,13 km
Název recipientu:	Jihlava
Název povodí:	Dunaj
Typ vody:	Kaprové vody

Tab. 9.12 Ukazatele a hodnoty jakosti kaprových vod z NV 71/2003 Sb.

Ukazatel	Hodnoty pro vody kaprové [mg/l]
BSK_5	≤ 6
NL	≤ 25
$N\text{-}NH_4$	≤ 1

9.3 TECHNOLOGICKÉ OBJEKTY KČOV HLÍNA

Kořenová čistírna se skládá z několika na sebe navazujících zařízení, které jsou voleny s ohledem na množství a kvalitu přiváděné odpadní vody. Jak je uvedeno výše, hlavní prvky tvoří mechanický stupeň čištění, hlavní stupeň čištění a dočištění.

9.3.1 Mechanické předčištění

Během mechanického předčištění jsou z vody odstraněny plovoucí částice, které by jinak mohly způsobit závady na zařízeních nebo ucpání filtru a potrubí. U kořenových čistíren se z principu využívá zařízení, která potřebují minimální obsluhu, a které nevyužívají elektrickou energii. Mezi používaná zařízení patří ručně stírané česle, lapáky písku, usazovací nádrže nebo vícekomorové septiky [1]. Na KČOV Hlína budou navrženy ručně stírané česle a vícekomorové septiky. Jelikož na čistírnu bude zaústěna jen splašková kanalizace, lapák písku nebude navržen.

9.3.1.1 Ručně stírané česle

Česle slouží k odstranění hrubých nečistot a látek z vody. Česle se skládají z česlicové mříže, která je zabudována do otevřeného kanálu a vytváří překážku plovoucím pevným látkám. Shrabky, které se zachytí na mříži, jsou vyhrnovány ručně hrablem.

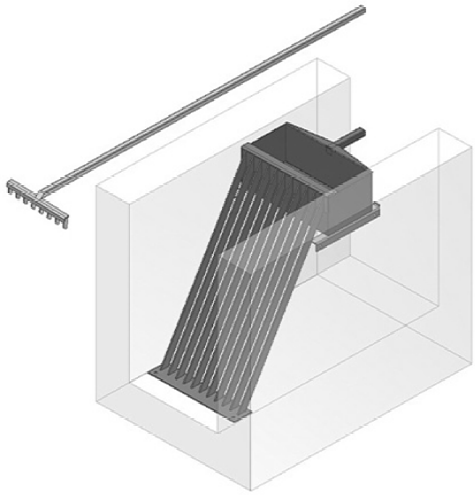
Česle navrhuji dle ČSN 75 6402 a knihy Čištění odpadních vod, Hlavínek a kol. [31]. Zásady návrhu jsou:

- rozměry průlin u jemných česlí mají být 15 – 20 mm,
- ručně stírané česle musí být vyjímatelné a stíratelné po celé ploše,
- sklon česlí 45° ke dnu žlabu,
- průtočná rychlost musí být větší než 0,5 m/s pro Q_{min}, v rozsahu 0,6 – 1,0 m/s pro Q_{24} a menší než 1,4 m/s pro Q_h .

Česle navrhuji na maximální hodinový průtok Q_h a průměrný denní průtok Q_d. Návrhové parametry jsou uvedeny v tab. 9.13. Česle tvoří česlicová mříž, která se skládá z profilových tyčí, přivařených na dno betonového kanálu a vyhrnovacím plechem zavěšena na odkapávací žlab. Vyhrnovací plech tvoří děrovaný žlab, na který jsou obsluhou vyhrnovány shrabky pomocí hrabla. Po částečném odvodnění budou shrabky obsluhou přesunuty do přistaveného kontejneru. Shrabky budou pravidelně odvážené k využití (kompostování, apod.), nebo skládkování. Množství shrabků je dle ČSN 75 6402 4 až 8 kg/obyv/rok, při výpočtu volím průměrnou hodnotu 6 kg/obyv/rok. Roční produkce shrabků je tedy 1920 kg. Při objemové hmotnosti čerstvých shrabků 960 kg/m^3 je objem shrabků přibližně 2 m^3/rok.

Tab. 9.13 Návrhové parametry ručně stíraných česlí

B=	0.32	m	šířka žlabu s česlemi
I=	0.17	-	sklon žlabu
α=	45	°	úhel sklonu česlí
Q_h=	11.15	m^3/h	maximální hodinový průtok
Q_{24}=	45.76	m^3/d	průměrný denní průtok
v_{24}=	0.6	m/s	rychlost před česlemi při Q_{24}
v_h=	1.4	m/s	rychlost mezi česlemi při Q_h
e=	0.02	m	šířka průlin
$h_č$=	0.005	m	ztrátová výška na česlích
H=	0.6	m	výška žlabu
L=	2.6	m	délka žlabu



Obr. 9.4 Ručně stírané česle [40]

9.3.1.2 Vícekomorový septik

V septiku dochází k částečnému anaerobnímu rozkladu organických látek a stabilizaci kalu. Jedná se o usazovací nádrž s přepadem. Soustava vícekomorových velkoobjemových septiků je v současné době považována za nejvhodnější řešení pro mechanické předčištění. Mezi jednotlivými komorami jsou osazeny norné stěny, které zabraňují plovoucímu kalu protékat z jedné komory do druhé. Tím se výrazně účinněji odstraní organické látky. Při jeho použití dle zkušeností z praxe nedochází k ucpávání filtračního materiálu ani po několika letech. Nevýhodou je jeho pořizovací cena. Provozní náklady jsou minimální [1,22].

Vertikální filtry mají vzhledem k jemnějšímu materiálu filtrační náplně vyšší náchylnost na ucpání filtru než filtry horizontální. Z tohoto důvodu nestačí jako mechanické předčištění volit pouze štěrbinovou usazovací nádrž, ale musí zde být předřazen správně hydraulicky vyřešený vícekomorový septik, u kterého lze předpokládat vyšší účinnost v odstranění nerozpuštěných látek a organického znečištění [19]. Jelikož nové realizace ukazují složitost provedení betonáže velkoobjemových nádrží, z důvodu zjednodušení samotné stavby se preferuje použití prefabrikovaných hranatých betonových nádrží, které vzhledem k velikosti stačí přivézt na stavební pozemek a následně pouze osadit na podkladní beton.

Obr. 9.5 Plastový vícekomorový septik [41]

Při návrhu septiku vycházím z normy ČSN 75 6402: Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel. Za účelem předčištění odpadní vody před vtokem na vertikální filtr je na KČOV Hlína navržena soustava velkoobjemového vícekomorového septiku.

Soustavu tvoří čtyři tříkomorové septiky, celkem tedy 12 prefabrikovaných nádrží. Každý ze čtyř septiků je umístěn na samostatném toku, celkem se tedy jedná o čtyři toky po třech nádržích, odpadní voda je v tocích rozdělena rovnoměrně. Každá komora septiku přitom bude obsahovat norné stěny z plastu na přítoku a odtoku, které budou na prefabrikované nádrže osazeny na místě. Norné stěny zabraňují plovoucímu kalu protékat z jedné sekce do druhé, nebo do odtoku. Přesné rozměry norných stěn budou předmětem matematického modelu proudění směsi voda+kal. Podle nejvýhodnějšího řešení bude poté provedena projektová dokumentace. Všechny komory septiku budou kryty tak, aby byl zajištěn bezpečný provoz, krytí bude provedeno betonovým panelem. Předčištěná odpadní voda odchází ze septiku do rozdělovací šachty.

Celkový objem septiku se skládá z objemu účinného prostoru a objemu kalového prostoru. Celkový objem septiku navrhuji podle rovnice (9.7). Střední dobu zdržení v účinném prostoru volím 5 dní. K objemu účinného prostoru připočítávám objem kalového prostoru o velikosti 50 % z objemu účinného prostoru, což vyjadřuje součinitel *a* v rovnici (9.7).

$$V = a \times Q \times t = 1{,}5 \times 66{,}56 \times 5 = \ 500\ m^3 \qquad (9.7)$$

kde a – součinitel vyjadřující navýšení objemu o kalový prostor,
Q – maximální denní průtok v m^3/d,
t – střední doba zdržení kalu ve dnech.

Z důvodu zjednodušení výstavby navrhuji 12 pravoúhlých prefabrikovaných nádrží PNO 240/610/278/14 BZP od firmy Prefa Brno, a.s. (každá o objemu 40,69 m^3).

9.3.2 Rozdělovací šachta

Předčištěná voda ze septiku odtéká pomalu a nerovnoměrně. Rozdělovací šachta zajistí rovnoměrnou distribuci přitékající vody na vertikální filtr, distribuce probíhá pulzně v 5 – 10 denních dávkách. Rovnoměrná distribuce vody na filtr je zajištěna automatickým dávkovacím zařízením – pulzním vypouštěčem, který nese obchodní název AS-PULZ, užitný vzor č. 25544, původce Michal Kriška, 2013 [16]. Zařízení funguje bez nutnosti napojení na elektrickou energii a nutnosti obsluhy. Princip zařízení spočívá v postupné akumulaci pomalu přitékající vody. Po dosažení maximální hladiny je akumulovaná voda rychle vypuštěna na povrch vertikálního filtru [17].

Celkový počet navržených rozdělovacích šachet je 4 ks, každá šachta je napojena mezi poslední komoru septiku a vertikální kořenový filtr. V půdorysném uspořádání je šachta kruhového průřezu o průměru 2,0 metru, vnitřní prostor je rozdělen na čtyři čtvrtkruhy (hydraulicky oddělené pomocí svislých stěn). Nad čtyřmi částmi je překlápěcí mechanismus, zajišťující přesné rozdělení vody na čtyři čtvrtiny. Každá ze čtyř částí zásobuje vodou jednu čtvrtinu vertikálního filtru. Navržená výška šachty je 1,3 m, návrh vychází z objemu jednoho pulzu.

9.14 Výpočet distribuce vody na filtr

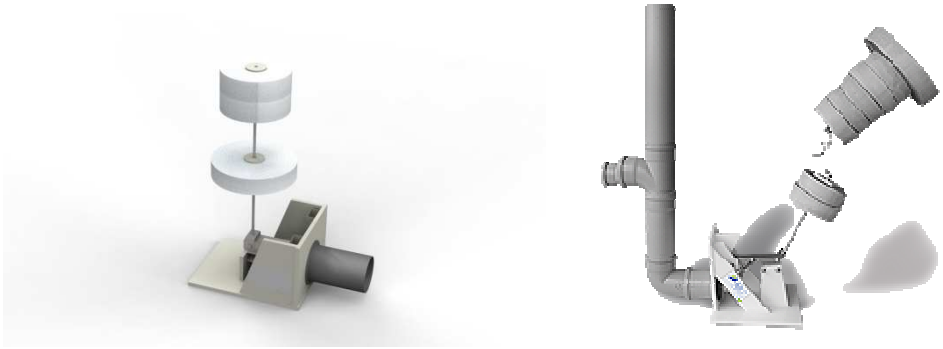
Q_d=	45.76	m^3/den	maximální denní průtok
a=	4	pole	počet filtračních polí
b=	16	jednotek	počet filtračních jednotek
Q_{pole}=	11.44	m^3/den	denní průtok na 1 pole
Q_j=	2.86	m^3/den	denní průtok na jednu jednotku
p=	6	pulzů	počet pulzů za den
V_{pulz}=	0.48	m^3	objem jednoho pulzu

Tab. 9.15 Výpočet vypouštěcí výšky v šachtě

V_{pulz}=	0.48	m^3	objem jednoho pulzu
r=	1.0	m	poloměr šachty
S_{komora}=	0.79	m^2	obsah jedné komory
h_{komora}=	0.61	m	výška při vypouštění

Tab. 9.16 Výpočet výšky rozdělovací šachty

h_{min}=	0.4	m	min. hladina
h_{komora}=	0.61	m	výška při vypouštění
h_p=	0.15	m	překlapěč
h_k=	0.1	m	kryt
h=	**1.3**	**m**	celková výška šachty



Obr. 9.6 AS-PULZ - pulzní vypouštěč [17]

9.3.3 Vertikální kořenový filtr

Hlavní čistící stupeň KČOV Hlína představuje vertikální kořenový filtr, který zajistí nitrifikaci amoniakálního dusíku. Předpokladem návrhu je vysoká účinnost v odstranění CHSK, BSK, NL a zejména N-NH_4^+. Vzorem k dimenzování vertikálních filtrů je Rakousko, kde dokážou vertikální kořenové čistírny bez problémů konkurovat jiným typům čistíren odpadních vod [1].

Návrh velikosti filtrační plochy vychází z koncentrace znečištění $CHSK_{Cr}$, jelikož amoniak je při maximálním hydraulickém zatížení bez problémů odstraňován. Při výzkumech, které byly provedeny na Ústavu vodního hospodářství krajiny, Vysokého učení technického v Brně, byla kontrolovaným měřením zjištěna účinnost vertikálního pulzně skrápěného filtru 13,0 g_{CHSK}/m^2/den. Pro návrh je dále důležité znát celkové denní zatížení $CHSK_{Cr}$, které přiteče na filtr. Předpokládáme, že účinnost septiku, který je předřazen jako vícestupňové mechanické předčištění, je 60% [1].

Výsledkem výpočtu půdorysné velikosti vertikálního filtru tedy je:

- denní zatížení přitékající na filtr

$$\mathrm{CHSK_{Cr}} = 120\ \mathrm{g/obyv/den} \times (60\%) = 48\ \mathrm{g/obyv/den} \tag{9.8}$$

- potřebná plocha filtru k odstranění $\mathrm{CHSK_{Cr}}$

$$(48\ \mathrm{g/obyv/den})\ /\ (13\ \mathrm{g/m^2/den}) = 3{,}69\ \mathrm{m^2/obyv} \tag{9.9}$$

- celková potřebná plocha filtru

$$3,69\ \mathrm{m^2/obyv} \times 320\ \mathrm{obyv} = 1181\ \mathrm{m^2} \tag{9.10}$$

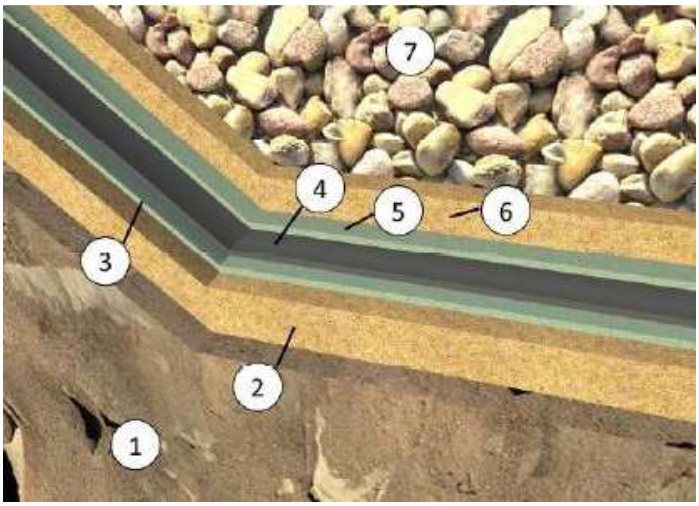
V systému navrhuji 4 filtrační pole, z nichž každé má plochu 315 m^2. Celková plocha všech filtrů je 1260 m^2. Pole budou uspořádána kaskádovitě.

Vertikální filtr je složen z několika vrstev. Možné uspořádání a výšky jednotlivých vrstev jsou uvedeny níže v tab. 9.17, která vychází z ČSN 75 6402.

Tab. 9.17 Doporučené uspořádání vrstev vertikálního filtru

Název vrstvy	Materiál	Výška [mm]
Svrchní vrstva	Praný říční štěrk 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 ≤ d10 ≤ 0,4)	500 - 600
Přechodový filtr	Drcený štěrk (praný) 4/8P mm	50 - 100
Drenážní vrstva	Drcený štěrk (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

Na dně v drenážní vrstvě je uloženo drenážní potrubí, kterým je odváděna voda z filtru. Pozornost musí být věnována dokonalému odizolování filtru od podloží. Jako hydroizolaci je možné použít fólie z PVC, PP nebo PE, které musí být vždy z obou stran kryté geotextilií [15].



Obr. 9.7 Složení hydroizolační vrstvy: 1 - podloží, 2 – pískový podsyp, 3 – geotextilie, 4 – fólie, 5 – geotextilie, 6 – pískový zásyp, 7 – těleso filtru [15]

Filtr na KČOV Hlína bude složen ze čtyř filtračních vrstev. Svrchní vrstvu filtru tvoří praný říční štěrk frakce 4/8P o výšce 100 mm. Aby byla voda distribuována rovnoměrně, je nutné zajistit vodorovný povrch filtru. Hlavní filtrační vrstva je tvořena praným pískem frakce 0/4P o výšce 600 mm. Přechodový filtr, který zabraňuje zanesení drenážní vrstvy a drenážního potrubí, tvoří drcený štěrk praný frakce 4/8P mm o výšce 100 mm. Spodní část filtru tvoří drenážní vrstva drceného štěrku praného frakce 8/16P mm o výšce 200 mm, která zabraňuje ucpání drenážního potrubí. Dno filtračního lože bude vyspádováno směrem k odtoku z filtračního pole. Hydroizolaci tvoří fólie z PVC umístěná na přechodu filtru a podloží. Fólie bude z obou stran krytá geotextilií o plošné hmotnosti 500 g/m^2. Jelikož se na stavebním pozemku vyskytuje skalní podloží, bude pod geotextilií kompenzační vrstva z písku frakce 0/4P o výšce 50 mm, která zabrání možnému protržení hydroizolace. Celková výška filtru je 1,0 m.

Materiál na všechny vrstvy filtru bude přivezen z pískovny Hrušovany u Brna, která se nachází 15 km od obce Hlína. Budou tak výrazně sníženy náklady na dopravu.

Tab. 9.18 Vrstvy vertikálního filtru na KČOV Hlína

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

Povrch filtru bude osázen mokřadními rostlinami, které plní spíše funkci estetickou a ochrannou. Rostliny kryjí potrubí před slunečním zářením a chrání ho před mrazem. Filtr na KČOV Hlína bude osázen rákosem obecným. Rákos je vytrvalá, rychle rostoucí rostlina, která je velice invazivní a jeho kořeny dosahují do velké hloubky. Z těchto důvodů můžeme předpokládat, že se ve filtru dobře ujme a rychle se rozroste. Výhodou je také tolerance rákosu vůči teplotě, pH a organickému i anorganickému znečištění [9]. Rostliny se většinou vysazují v hustotě 4 - 8 sazenic na 1 m^2. Rostlina bude kosena a sklízena na konci zimního období, po odeznění větších mrazů.

9.3.4 Potrubí

Rozdělovací potrubí se nachází na povrchu filtru a tvoří základní pilíř pro jeho správnou funkci. Při návrhu potrubí vycházíme ze známé velikosti filtru. Pro dostatečné okysličení filtru je nutné pulzní napouštění potrubí, přičemž voda přitéká v maximálně 5 – 10 dávkách za den. Tím je dosaženo rovnoměrného rozdělení odpadní vody na celou plochu filtru.

Optimální volbou z hlediska materiálu je plastové potrubí, které je určeno pro vnitřní kanalizace – šedý polypropylen PP-HT. Polypropylen je vysoce odolný proti nárazům a deformacím, má široký teplotní rozsah použití. Při volbě dimenzí potrubí vycházím z metodické příručky Kořenové čistírny odpadních vod, Kriška, Němcová, 2015 [1,22]. Dávkování odpadní vody bude optimálně zajištěno pulzním vypouštěčem [16].

Celá plocha filtru je rozdělena na čtyři samostatná filtrační pole. Každé filtrační pole se skládá ze čtyř filtračních jednotek. Na každou filtrační jednotku přichází pulzně voda ze čtvrtiny rozdělovací šachty. Voda je z rozdělovací šachty na povrch filtru přivedena přívodním potrubím DN 110 mm a dále na kolmo po

vzdálenosti 0,8 m rozvedena rozdělovacím potrubím DN 40 mm na celou filtrační jednotku.

Tab. 9.19 Navržené potrubí

Potrubí	Délka [m]
Přívodní potrubí PP-HT DN 110 mm	507
Rozdělovací potrubí PP-HT DN 40 mm	1340
Drenážní potrubí DN 80 mm	400

Potrubí bude uloženo nad filtrem a podkládáno dlažebními kostkami ve vzdálenostech 3 – 4 ks/m. Eliminuje se tak ucpávání potrubí kořeny a listy a posun potrubí vlivem husté vegetace. Do rozdělovacího potrubí budou na místě ze spodní strany vyvrtány otvory o průměru 5,0 mm, po vzdálenosti 0,25 m. Každé rozdělovací potrubí bude na konci vyvedeno alespoň o 25 cm výše. Toto vyvýšení zajistí hydraulické vyrovnání hladiny, odvzdušnění a možnost čištění v případě mechanické poruchy. Na přívodním potrubí budou osazeny kontrolní kusy, pro kontrolu a tlakové čištění potrubí.

Vyčištěná voda je odváděna drenážním potrubím DN 80 mm ven v nejnižším bodě filtru. Drenážní potrubí je navrženo po vzdálenostech 2,5 m pod celou plochou filtru. Celková délka drenážního potrubí je 400 m.

9.3.5 Terciální dočištění

U čistíren odpadních vod v kategorii do 500 EO není v současnosti nutné sledovat výstupní hodnoty dusíku a fosforu [18]. Avšak spolu s vývojem společnosti vzniká prostor pro zvyšování povědomí o kvalitě životního prostředí, lze tedy v budoucnu očekávat zpřísnění emisních limitů vypouštěného znečištění.

Amoniakální dusík je na pulzně skrápěném vertikálním filtru účinně odstraňován procesem nitrifikace. Filtr má však nízkou schopnost denitrifikace, dusičnany vzniklé nitrifikací nejsou dále redukovány, což způsobuje jejich vysokou koncentraci na výtoku z čistírny.

Denitrifikace bude zajištěna pomocí terciálního stupně čištění, kterým budou dvě malé stabilizační nádrže s plovoucími ostrovy s mokřadními rostlinami. Nádrže se budou nacházet za posledním filtračním polem. Stabilizační nádrže budou podrobněji navrženy při zpracování projektové dokumentace.

9.3.6 Srážení fosforu

Fosfor je v systému KČOV Hlína odstraňován s nízkou účinností (45 %), koncentrace fosforu na odtoku ze stabilizační nádrže je 9,3 mg/l. Je tedy nutné zajistit jeho intenzivnější odstraňování. Fosfor bude odstraněn chemickou metodou, která spočívá ve tvorbě málo rozpustných sloučenin fosforu a jejich následnou separací. Pro vysrážení bude použit koagulant síran železitý (obchodní název Prefloc).

Objekt pro srážení fosforu bude řešen jako ostrovní systém, dávkování chemikálií bude zajišťovat automatické dávkovací čerpadlo, které bude napojeno na elektrickou energii. Energie bude pocházet z fotovoltaického panelu, umístěného na krytu sedimentační nádrže.

Denní dávka koagulantu je vypočtená pro odtokovou koncentraci fosforu 1 mg/l. Podle předběžného odhadu se předpokládá kruhová nádrž, doplněná o příslušenství. Předpokládaná dávka koagulantu (síranu železitého) vychází 3,8 kg/den, výsledkem je produkce 2,7 kg chemického kalu za den. Objekt srážení fosforu bude podrobněji navržen při zpracování projektové dokumentace.

Tab. 9.20 Výpočet chemického srážení fosforu

Počet obyvatel		320	EO		
Specifická produkce P		2.50	g/EO/den		
Specifická produkce OV		130	l/EO/den	41.6	m^3/d
Denní produkce OV		45.8	m^3/den		
Vstupní koncentrace P	P_{in}	0.80	kg/den	17.48	mg/l
Odtoková koncentrace P (požadovaná)	P_{out}	0.05	kg/den	1.00	mg/l
Snížení obsahu P v kořenovém poli		45.00	%	0.440	kg/den
Chemické srážení fosforu v aktivaci (ČSN EN 12255-13)					
	Značení	**Hodnota**	**Jednotka**	**Poznámky**	
Použitý koagulant	Vyber	síran železitý (Prefloc)			
Koncentrace použitého koagulantu		41 % vodný roztok Fe2(SO4)3			
Měrná hmotnost koagulantu	ρ	1520	kg/m^3		
Celkové denní množství fosforu	P_{ods}	0.4	kg/d	$Pods=Pc_{in}-Pc_{inkor}-Pc_{out}$	

k odstranění				
	Značení	**Hodnota**	**Jednotka**	**Poznámky**
Specifická dávka koagulantu (pouze kationtu Fe^{3+}, Al^{3+})	SDK	2.7	kg/kg $(P)_{ods}$	ODK [n(Me)] =β. M (Me^{3+})/M (P)
Celková dávka koagulantu (pouze kationtu Fe^{3+}, Al^{3+})	DD_{Kat}	1.1	kg/d	
Celková denní dávka koagulantu (sloučeniny - 100%)	CDK	3.8	kg/d	CDK = DD_{Kat} . M (koagulant)/M(Me)
Denní dávka koagulantu (sloučeniny - x %)	DDK	9.3	kg/d	
Denní objemová dávka koagulantu	DODK	6.1	l/d	DODK = DDK/ρ
Specifická produkce chemického kalu	ξ	2.5	g/g	
Denní produkce chemického kalu	DPCHK	**2.7**	kg/d	DPCHK = CDK · ξ

9.3.7 Měrný objekt

Před vyústěním vyčištěné vody do recipientu potřebujeme znát množství odtékající vody. Měrný objekt je navržen z desek z polypropylenu o tloušťce 15 mm. Vyčištěná voda přepadá přes Thomsonův přeliv, přepadová výška je měřena pomocí ultrazvukového hladinoměru. Průtok je vypočítán pomocí rovnice (9.11) pro Thomsonův přeliv, kde h je přepadová výška [29]:

$$Q = 1{,}46\, h^{\frac{5}{2}} \tag{9.11}$$

Obr. 9.8 Thomsonův přeliv [17]

9.3.8 Kalové hospodářství

Z důvodu výrazně nižších nákladů bude kal ze septiků likvidován v areálu čistírny. K tomuto účelu bude sloužit kalové pole, tzv. reed-bed systém. Kalové pole tvoří mělká nádrž, izolovaná od podloží. Odizolování kalového pole je řešeno stejně jako u vertikálního filtračního pole fólií z PVC krytou z obou stran geotextilií. U dna nádrže je uloženo drenážní potrubí obsypané štěrkem. Drenážní vrstva je kryta vrstvou substrátu, která bude osazena rákosem obecným. Výhodou rákosu je jeho vysoká míra evapotranspirace, mineralizace a velká tolerance vůči znečištění. Na tuto vrstvu bude vyvážen kal, přičemž zde bude docházet k jeho odvodnění a stabilizaci.

Při návrhu velikosti kalového pole uvažuji specifickou produkci primárního kalu 2,16 l/os/d. Kal ze septiků bude vyvážen na kalové pole fekálním vozem 4 krát za rok. Výpočet velikosti kalového pole uvedené v tab. 9.21 vychází ze vzorců (9.12), (9.13), (9.14), (9.15) a (9.16).

$$V_{kc} = \frac{EO \times 365 \times P_k}{1000} \tag{9.12}$$

kde V_{kc} – celkový objem kalu [m^3 kalu/rok],
EO – počet ekvivalentních obyvatel,
P_k – specifická produkce primárního kalu [l/EO/d].

$$A = Z_{kspec} \times EO \tag{9.13}$$

kde A – plocha kalového pole [m^2],
Z_{kspec} – specifické zatížení [m^2/EO],
EO – počet ekvivalentních obyvatel [EO].

$$H_r = \frac{V_{kc}}{A} \tag{9.14}$$

kde H_r – roční zátěž kalem na plochu [m],
V_{kc} - celkový objem kalu [m^3 kalu/rok],
A – plocha kalového pole [m^2].

$$H_k = \frac{H_r}{T_k} \tag{9.15}$$

kde H_k – výška jedné dávky kalu [m],
H_r – roční zátěž kalem na plochu [m],
T_k – četnost dávkování kalu za rok [-].

$$H = \frac{H_r \times N_{let} \times S_k}{100} \tag{9.16}$$

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 [%].

Tab. 9.21 Návrh kalového pole

Četnost dávkování kalu za rok	T_k	4	-
Specifická produkce primárního kalu	P_k	2.16	l/EO/d
Počet ekvivalentních obyvatel	EO	320	EO
Celkový roční objem kalu	V_{kc}	252.3	m^3 kalu/rok
Objem kalu na jedno vyvezení	V_k	63.1	m^3/vyvezení
Plocha kalového pole	A	139.5	m^2
Specifické zatížení	Z_{kspec}	0.44	m^2/EO
Výška jedné dávky kalu	H_k	0.45	m
Roční zátěž kalem na plochu	H_r	1.81	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}	306.9	m^3

Celkové investiční a provozní náklady na kalové pole jsou uvedeny v tab. 9.22. Pokud by byla likvidace řešena metodou odvážení kalu na jinou ČOV, celkové náklady na tento vývoz jsou počítány podle vzorce (9.17). Vidíme, že při realizaci kalového pole již v prvním roce ušetříme přibližně 150 tis. Kč oproti variantě vývozu kalu. Za 20 let životnosti kalového pole budou celkové náklady přibližně 500 tis. Kč. Pokud bychom kal po 20 let vyváželi na jinou ČOV, celkové náklady by překročily 5 mil. Kč. Investice do kalového pole je tedy více než výhodná.

Tab. 9.22 Celkové investiční a provozní náklady na kalové pole

Název	Cena [Kč/m^2]	Cena	
PVC fólie	160	22 320	Kč
Geotextilie	31	4 325	Kč
Rostliny	80	11 160	Kč
Práce	-	40 000	Kč
Celkové investiční náklady		**77 805**	Kč
Celkové provozní náklady		**20 000**	Kč/rok

$$CV = EXP \times V_{kc} = 1000 \times 252{,}3 = 252300\ Kč\ /rok \quad (9.17)$$

kde CV – celkové náklady na vývoz kalu [Kč/rok]
EXP – cena za vývoz kalu na jinou ČOV [Kč/m^3]
V_{kc} - celkový objem kalu [m^3 kalu/rok]

10 ODHAD INVESTIČNÍCH A PROVOZNÍCH NÁKLADŮ NA REALIZACI ČISTÍRNY

Celkové investiční a provozní náklady na realizaci kořenové čistírny Hlína jsou uvedeny v tab. 10.1 a tab. 10.2. V rámci Studie odkanalizování obce Hlína z roku 2013, která byla zpracována firmou AQUA PROCON s.r.o. byly navrženy a posuzovány dvě varianty řešení pro čištění odpadních vod obce Hlína [35]. Varianta 1 navrhuje čištění odpadních vod na stávající ČOV Ivančice. Za tímto účelem by byla vybudována pneumatická čerpací stanice Hlína, ze které by byla odpadní voda čerpána na stávající pneumatickou čerpací stanici v Moravských Bránicích a odtud dále čerpána na ČOV Ivančice. Varianta 2 navrhuje výstavbu vlastní ČOV v obci Hlína. ČOV Hlína je navržená jako balená, mechanicko-biologická ČOV. Provozní a investiční náklady obou variant jsou uvedeny v tab. 10.3 až 10.6, náklady jsou uvažované v pevných cenách roku 2013.

Z porovnání nákladů dvou uvedených variant čistíren odpadních vod a mé třetí varianty KČOV uvedeného v tab. 10.7 vyplývá, že nejvýhodnější variantou je varianta KČOV. Z pohledu investičních nákladů je KČOV přibližně o polovinu levnější než zbylé dvě varianty (investiční náklady na KČOV jsou 4,2 mil. Kč). Provozní náklady KČOV jsou 6 Kč/m^3, tedy pětinové oproti zbylým variantám. Menší provozní náklady kořenové čistírny jsou dány převážně menšími náklady na likvidaci kalů a obsluhu i nulovými náklady na elektrickou energii.

Při pohledu na investiční náklady KČOV vidíme, že nejdražší položku tvoří septiky – přibližně třetinu z celkových nákladů. Investice do kvalitního mechanického předčištění se vrátí v podobě vysoké životnosti systému, nízkých provozních nákladů a v neposlední řadě vyhovujících odtokových parametrů.

Tab. 10.1 Výpočet investičních nákladů na stavbu KČOV Hlína

Položka	Množství	Jednotka	Cena za jednotku [Kč]	Náklady bez DPH [Kč]
Česle	1	ks	7 000	**7 000**
Septik	12	ks	107 000	**1 284 000**
Rozdělovací šachta	4	ks	80 000	**320 000**
Filtr:				**845 256**
Praný říční štěrk 4/8P mm	314	t	205	64 319
Praný písek 0/4P mm	1815	t	135	245 025
Drcený štěrk praný 4/8P mm	288	t	205	58 938
Drcený štěrk praný 8/16P mm	560	t	205	114 800
Hydroizolace PVC	2000	m^2	140	280 000
Geotextilie 500 g/m2	4000	m^2	18	72 000
Písek	138	t	74	10 175
Stabilizační nádrž	1	ks	10 744	**10 744**
Srážení fosforu	1	ks	150 000	**150 000**
Kalové pole:				**33 201**
PVC fólie	140	m^2	140	19 530
Geotextilie 500 g/m^2	140	m^2	18	2 511
Rostliny	140	m^2	80	11 160
Vozovka	480	m^2	880	**422 400**
Potrubí:				**129 510**
PP DN 40	1340	m	40	53 600
PP DN 110	507	m	130	65 910
Drenáž DN 80	400	m	25	10 000
Práce				**1 000 000**
Celkem				**4 202 111**

Tab. 10.2 Výpočet provozních nákladů KČOV Hlína

Položka	Suma	[-]
Likvidace shrabků	10 000	Kč/rok
Likvidace kalů	20 000	Kč/rok
Kosení vegetace	7 500	Kč/rok
Obsluha	18 250	Kč/rok
Spotřební materiál	30 000	Kč/rok
Legislativní rozbory	15 000	Kč/rok
	100 750	Kč/rok
	6.0	Kč/m^3

Tab. 10.3 Investiční náklady na Variantu 1 - výtlak [35]

Položka	Náklady [Kč]
Výtlačné potrubí - nezpevněný povrch	4 050 000
Výtlačné potrubí - zpevněný povrch	440 000
ČS - Hlína (SO)	1 900 000
ČS - Hlína (PS)	1 800 000
Přenosy dat z ČS Hlína	150 000
Úprava ASŘTP ČOV Ivančice	50 000
Celkem	**8 390 000**

Tab. 10.4 Provozní náklady Varianty 1 – výtlak [35]

Položka	Suma	[-]
Údržba výtlaku	2 245	Kč/rok
Údržba pneumatické ČS	60 000	Kč/rok
Provoz kompresorů	72 177	Kč/rok
Provoz kompresorů	16 561	Kč/rok
Náklady na čištění odpadních vod na ČOV Ivančice	417 560	Kč/rok
Celkem	**568 543**	Kč/rok
	34.0	Kč/m^3

Tab. 10.5 Investiční náklady na Variantu 2 - balená ČOV [35]

Položka	Náklady [Kč]
ČOV 320 EO (SO)	4 700 000
ČOV 320 EO (PS)	4 000 000
Celkem	**8 700 000**

Tab. 10.6 Provozní náklady Varianty 2 - balená ČOV [35]

Položka	Suma	[-]
Elektrická energie	80 300	Kč/rok
Likvidace shrabků	10 000	Kč/rok
Likvidace kalů	150 000	Kč/rok
Spotřeba vody	1 000	Kč/rok
Obsluha	200 000	Kč/rok
Spotřební materiál	10 000	Kč/rok
Legislativní rozbory	15 000	Kč/rok
Celkem	**466 300**	Kč/rok
	27.9	Kč/m^3

Tab. 10.7 Porovnání investičních a provozních nákladů jednotlivých variant

Varianta		Investiční náklady v tis. Kč bez DPH	Provozní náklady v tis. Kč/rok bez DPH	Investiční náklady v Kč bez DPH na 1 EO	Provozní náklady v Kč bez DPH na 1 m^3 odpadní vody
1	Výtlak	8 390	569	26 220	34.0
2	Balená ČOV	8 700	569	27 190	27.9
3	**KČOV**	**4 202**	**101**	**13 132**	**6.0**

11 ZÁVĚR

Cílem mé práce bylo vytvořit návrh moderní kořenové čistírny odpadních vod, který vychází z nejnovějších výzkumných poznatků. Předpokladem návrhu bylo dosažení vysokých čistících účinností u sledovaných ukazatelů BSK_5, CHSK, NL a navržení čistírny tak, aby ve vysoké míře odstraňovala amoniakální dusík (N-NH_4^+). Návrh vychází z pochopení čistících procesů, které probíhají ve filtračním prostředí a ve vytvoření takového prostředí, ve kterém by bylo dosahováno co největších čistících účinností.

Kořenová čistírna odpadních vod se zpravidla skládá ze tří čistících stupňů – předčištění, hlavního čistícího stupně, který tvoří filtrační pole, a dočištění. Aby byla čistírna schopna účinně odstraňovat amoniakální dusík, musíme vytvořit podmínky pro vznik aerobní zóny ve filtračním poli. V těchto podmínkách je možná jeho nitrifikace. Proto je nutné filtrační pole dostatečně prokysličit. Prokysličení je možné dosáhnout jedině v nenasyceném filtračním prostředí, ve kterém se nevyskytuje hladina odpadní vody. Nenasycené prostředí lze realizovat pouze u vertikálních pulzně skrápěných filtrů.

Studie se zabývá návrhem kořenové čistírny odpadních vod pro obec Hlína, která patří do kategorie menší než 500 EO. Při návrhu technologických objektů jsem především vycházela z normy ČSN 75 6402: Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel.

Hlavní čistící stupeň je navržen jako vertikální pulzně skrápěný filtr. Před filtrem je navrženo kvalitní mechanické předčištění – vícekomorové septiky, které zamezí ucpávání jemného materiálu filtru. Za hlavním čistícím stupněm jsou navrženy stabilizační nádrže, které zajistí denitrifikaci. Účinnost odstranění fosforu je zvýšena pomocí technologie srážení fosforu. Čistírna bude mít své vlastní kalové hospodářství, které výrazně sníží provozní náklady. Celá čistírna je navržena tak, že nevyžaduje připojení do elektrické sítě. Provedený návrh je znázorněn na přiložených výkresech. Podrobnější výkresová dokumentace bude vytvořena při zpracování projektové dokumentace.

Předpokládané celkové čistící účinnosti jsou následující: BSK_5 98,5 %; CHSK 98,3 %; NL 99,8 %; N-NH_4^+ 89,4 %. Předpokládané koncentrace na odtoku z čistírny jsou: 6,5 mg/l BSK_5; 14,5 mg/l CHSK; 0,8 mg/l NL; 5,4 mg/l N-NH_4^+. Při využití technologie srážení fosforu budou odtokové koncentrace fosforu do 1 mg/l.

Navržené řešení dokáže čistící účinností bez problému konkurovat klasickým aktivačním čistírnám odpadních vod. Investiční náklady na realizaci čistírny jsou přibližně o polovinu nižší než předpokládané náklady na realizaci aktivační ČOV. Provozní náklady bez zahrnutých odpisů jsou pouhých 6 Kč/m^3.

Stavba kořenové čistírny Hlína by měla začít na jaře roku 2018 a do konce téhož roku by měla být dokončena. Návrh uspořádání čistírny pro obec Hlína proběhl v konzultaci s projekční kanceláří AGPOL, přičemž spolupráce dále pokračuje. V současné době je ve spolupráci s Ústavem vodního hospodářství krajiny řešen detailní návrh jednotlivých částí s účelem zpracování dokumentace pro stavební povolení. V samotném řešení je uplatněno několik užitných vzorů, chránících právě toto použité řešení. Současně jsou v návrhu uplatněny poznatky z výzkumných a provozních objektů, na kterých spolupracuje Ústav vodního hospodářství krajiny v rámci výzkumných i dalších komerčních aktivit.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[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] Zneškodňování odpadních vod v obcích do 2 000 ekvivalentních obyvatel: metodická příručka [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2009.

[4] VYMAZAL, Jan. Kořenové čistírny odpadních vod. Třeboň: Lokša PrePress Rakovník, 2004.

[5] KADLEC, Robert H. a Scott D. WALLACE. Treatment wetlands: Second edition. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 2009. ISBN 978-1-56670-526-4.

[6] 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.

[7] Dongqing Zhang, Richard M. Gersberg, Tan Soon Keat, Constructed wetlands in China, Ecological Engineering, Volume 35, Issue 10, October 2009, Pages 1367-1378, ISSN 0925-8574. Dostupné z: tps://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.07.007

[8] 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.

[9] MLEJNSKÁ, Eva. Extenzivní způsoby čištění odpadních vod. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 2009. ISBN 978-80-85900-92-7.

[10] Lenka Kröpfelová, Jan Vymazal, Jaroslav Švehla, Jana Štíchová, 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.

[11] 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.

[12] 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.

[13] 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 Kriška, Ph.D.

[14] Ying Ouyang, Lihua Cui, Gary Feng, John Read, Simulating phosphorus removal from a vertical-flow constructed wetland grown with C. alternifolius species, Ecological Engineering, Volume 77, April 2015, Pages 60-64, ISSN 0925-8574. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.01.004.

[15] ROZKOŠNÝ, Miloš, Michal KRIŠKA, Jan ŠÁLEK, Igor BODÍK a Darja ISTENIČ. Natural technologies of wastewater treatment. Praha: Global Water Partneship Central and Eastern Europe, 2014. ISBN 978-80-214-4831-5.

[16] Vysoké učení technické v Brně. Zařízení k automatickému vypouštění vody z nádrže po dosažení definované maximální hladiny. Původce: Michal Kriška-Dunajský. Česká republika. Užitný vzor CZ 25544 U1.17.6.2013.

[17] AS-PULZ [online]. Dostupné z: http://www.asio.cz/cz/as-pulz

[18] KČOV pro čištění komunálních odpadních vod: Rekonstrukce a přístavba kořenové čistírny odpadních vod v obci Kotenčice [online]. Dostupné z: http://www.dekonta.cz/sluzby-a-produkty/korenove-cistirny-odpadnich-vod/kcov-pro-cisteni-komunalnich-odpadnich-vod

[19] KRIŠKA, Michal a Miroslava NĚMCOVÁ. Kořenové čistírny: rekapitulace a budoucnost v České republice [online]. Dostupné z: http://vodnihospodarstvi.cz/korenove-cistirny/

[20] 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.

[21] Jan Vymazal, Removal of nutrients in various types of constructed wetlands, Science of The Total Environment, Volume 380, Issues 1–3, 15 July 2007, Pages 48-65, ISSN 0048-9697. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.09.014.

[22] KRIŠKA, Michal. Domovní vegetační ČOV [online]. Dostupné z: http://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/11260-domovni-vegetacni-cov

[23] 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.

[24] Paul Knowles, Gabriela Dotro, Jaime Nivala, Joan García, Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: Occurrence and contributing factors, Ecological Engineering, Volume 37, Issue 2, February 2011, Pages 99-112. Dostupné z: ISSN 0925-8574, https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.08.005.

[25] A. 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.

[26] Yong Jun Zhao, Bo Liu, Wen Guang Zhang, Yan Ouyang, Shu Qing An, Performance of pilot-scale vertical-flow constructed wetlands in responding to variation in influent C/N ratios of simulated urban sewage, Bioresource Technology, Volume 101, Issue 6, March 2010, Pages 1693-1700, ISSN 0960-8524. Dostupný z: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.002.

[27] Volker Luederitz, Elke Eckert, Martina Lange-Weber, Andreas Lange, Richard M Gersberg, Nutrient removal efficiency and resource economics of vertical flow and horizontal flow constructed wetlands, Ecological Engineering, Volume 18, Issue 2, December 2001, Pages 157-171, ISSN 0925-8574. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/S0925-8574(01)00075-1.

[28] Jan Opletal Čistící účinnost vertikálních kořenových filtrů. Brno, 2014. 53 s., 53 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Kriška, Ph.D.

[29] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. Příručka stokování a čištění. Brno: NOEL 2000, c2001. ISBN 80-86020-30-4.

[30] Obec Hlína u Ivančic [online]. Dostupné z: http://www.obec-hlina.cz

[31] HLAVÍNEK, Petr a Jiří HLAVÁČEK. Čištění odpadních vod: praktické příklady výpočtů. Brno: Noel 2000, 1996.

[32] Christina Vohla, Margit Kõiv, 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

[33] 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

[34] Xinshan Song, Yi Ding, Yuhui Wang, Wei Wang, Gang Wang, Bin Zhou, Comparative study of nitrogen removal and bio-film clogging for three filter media packing strategies in vertical flow constructed wetlands, Ecological Engineering, Volume 74, January 2015, Pages 1-7, ISSN 0925-8574. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.08.008.

[35] Studie odkanalizování obce Hlína: Technicko-ekonomické zhodnocení variant. Brno: AQUA PROCON, 2013.

[36] HYDROEKOLOGICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM VÚV TGM [online]. Dostupné z: http://www.heisvuv.cz/

[37] Česká geologická služba [online]. Dostupné z: http://www.geology.cz

[38] Mikroregion Ivančicko [online]. Dostupné z: http://www.ivancicko.com

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

BSK5	Biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní
ČOV	Čistírna odpadních vod
EO	Ekvivalentní obyvatel
CHSK, CKSKCr	Chemická spotřeba kyslíku
KČOV	Kořenová čistírna odpadních vod
Ncelk	Dusík celkový
NL	Nerozpuštěné látky
N-NH4+	Amoniakální dusík
Pcelk	Fosfor celkový

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Průměrné znečištění vytvořené 1 ekvivalentním obyvatelem v g/obyv/den [3] 4

Tab. 2.2 Emisní standardy: přípustné hodnoty (p) a maximální hodnoty (m) koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l [18] 5

Tab. 9.1 Vstupní parametry pro výpočet množství odpadních vod 24

Tab. 9.2 Součinitelé maximální hodinové nerovnoměrnosti kh dle ČSN 73 6701 24

Tab. 9.3 Výpočet přítoků na čistírnu odpadních vod 25

Tab. 9.4 Emisní standardy dle přílohy č. 1 k NV 401/2015 Sb.: přípustné hodnoty (p) a maximální hodnoty (m) koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l 25

Tab. 9.5 Orientační hodnoty produkce specifického znečištění So na 1 EO v g/d dle ČSN 75 6402 25

Tab. 9.6 Výpočet průměrného denního znečištění Sdp, vstupní koncentrace znečištění co a minimální potřebné účinnosti čištění E přitékající na čistírnu 25

Tab. 9.7 Orientační hodnoty účinnosti jednotlivých typů čistírenských technologií pro malé zdroje znečištění dle ČSN 75 6402 26

Tab. 9.8 Vypočtené koncentrace znečištění na přítoku a odtoku z jednotlivých objektů čistírny odpadních vod v mg/l 27

Tab. 9.9 Výpočet koncentrace znečištění na odtoku z čistírny c1 a celková účinnost čištění Ec 27

Tab. 9.10 Účinnost čištění dle ČSN 75 6402 pro nesledované ukazatele N-NH4 a Pcelk 28

Tab. 9.11 Výpočet koncentrace znečištění na přítoku co a odtoku c1 a celková účinnost čištění Ec pro nesledované ukazatele N-NH4 a Pcelk 28

Tab. 9.12 Ukazatele a hodnoty jakosti kaprových vod z NV 71/2003 Sb. 29

Tab. 9.13 Návrhové parametry ručně stíraných česlí 30

9.14 Výpočet distribuce vody na filtr 33

Tab. 9.15 Výpočet vypouštěcí výšky v šachtě 33

Tab. 9.16 Výpočet výšky rozdělovací šachty 34

Tab. 9.17 Doporučené uspořádání vrstev vertikálního filtru 35

Tab. 9.18 Vrstvy vertikálního filtru na KČOV Hlína 37

Tab. 9.19 Navržené potrubí 38

Tab. 9.20 Výpočet chemického srážení fosforu 39

Tab. 9.21 Návrh kalového pole 42

Tab. 9.22 Celkové investiční a provozní náklady na kalové pole 43
Tab. 10.1 Výpočet investičních nákladů na stavbu KČOV Hlína 45
Tab. 10.2 Výpočet provozních nákladů KČOV Hlína 46
Tab. 10.3 Investiční náklady na Variantu 1 - výtlak [35] 46
Tab. 10.4 Provozní náklady Varianty 1 – výtlak [35] 46
Tab. 10.5 Investiční náklady na Variantu 2 - balená ČOV [35] 46
Tab. 10.6 Provozní náklady Varianty 2 - balená ČOV [35] 47
Tab. 10.7 Porovnání investičních a provozních nákladů jednotlivých variant 47

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1 Horizontální kořenová čistírna s povrchovým průtokem [5] 7

Obr. 3.2 Schéma horizontálního kořenového filtru [1] 8

Obr. 3.3 Schéma vertikálního kořenového filtru [1] 9

Obr. 5.1 Rákos obecný na KČOV Slavošovice [33] 15

Obr. 5.2 Chrastice rákosovitá na KČOV Číčenice [33] 15

Obr. 7.1 Schéma reed-bed systému: 1 - izolovaná nádrž, 2 - drenážní vrstva, 3 - drenážní potrubí , 4 - substrát , 5 - vrstvy kalu , 6 - vegetace , 7 - revizní šachta [15] 18

Obr. 9.1 Obec Hlína v mikroregionu Ivančicko 20

Obr. 9.2 Mapa povrchových vod v povodí, zeleně – řeka Jihlava, modře – potok Martálka, žlutě – bezejmenný přítok potoka Martálka 21

Obr. 9.3 Umístění čistírny odpadních vod jihozápadně od obce Hlína 23

Obr. 9.4 Ručně stírané česle [40] 31

Obr. 9.5 Plastový vícekomorový septik [41] 32

Obr. 9.6 AS-PULZ - pulzní vypouštěč [17] 34

Obr. 9.7 Složení hydroizolační vrstvy: 1 - podloží, 2 – pískový podsyp, 3 – geotextilie, 4 – fólie, 5 – geotextilie, 6 – pískový zásyp, 7 – těleso filtru [15] 36

Obr. 9.8 Thomsonův přeliv [17] 40

SEZNAM PŘÍLOH

1 Celková situace KČOV M 1:300

2 Situační schéma M 1:300

3 Schéma potrubí M 1:300

4 Schéma drenážního potrubí M 1:300

5 Řez A – A‘ M 1:150