



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

PROJEKT PŘÍRODNÍ ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD PRO OBEC HVOZD

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lucie Šenková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MICHAL KRIŠKA, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	NPC-SIV Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Specializace	bez specializace
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Lucie Šenková
Název	Projekt přírodní čistírny odpadních vod pro obec Hvozd
Vedoucí práce	doc. Ing. Michal Kriška, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2021
Datum odevzdání	14. 1. 2022

V Brně dne 31. 3. 2021

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

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

PODKLADY A LITERATURA

- 1) ČSN 75 6402: Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel
- 2) Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech
- 3) DWA-A 262: Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Kläranlagen mit bepflanzten und unbepflanzten Filtern zur Reinigung häuslichen und kommunalen Abwassers (November 2017)
- 4) ÖNORM B 2505 – Kläranlagen – Intermittierend beschickte Bodenfilter („Pflanzenkläranlagen“)
- 5) Územní plán obce Hvozd
- 6) Výpis z katastru nemovitostí

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Práce bude rozdělena na dvě části - teoretickou a praktickou. V rámci teoretické části bude pozornost věnována teorii v oblasti přírodního čištění odpadních vod - nejnovějším trendům a dosažitelným výsledkům, které budou srovnávány s nařízením vlády pro vypouštění odpadních vod. Praktická část se zaměří na návrh přírodní čistírny pro obec Hvozd. Součástí návrhu budou hydrotechnické výpočty, technické zprávy a výkresová dokumentace pro územní řízení - s vybranými detaily, které již budou plynule přecházet do dokumentace pro stavební povolení. Výsledek práce bude korespondovat s praxí - paralelně bude dokončována i projektová dokumentace, tzn., práce bude přímo využita v reálných podmínkách.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

doc. Ing. Michal Kriška, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem přírodní čistírny odpadních vod pro 450 EO pro obec Hvozd (Olomoucký kraj). V první části práce je popsáno několik možných variant přírodních čistíren. V další části je detailněji popsána vybraná varianta. Spolu s tím se v práci objevují výpočty návrhových parametrů jednotlivých stavebních objektů. Důvodem pro volbu přírodní ČOV byla například nenáročnost na obsluhu, nezávislost na dodávce elektrické energie nebo možnost budoucího zpracování kalu. Podkladem pro vypracování projektu byl územní plán, ve kterém byla popsána stávající a plánovaná situace s odvodněním obce a s nakládání s odpadními vodami. Pro výpočet návrhových parametrů byla využita studie zaměřující se na přírodní čistírny odpadních vod francouzského typu. Součástí práce je projektová dokumentace, která bude sloužit jako podklad pro vydání společného povolení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Přírodní čistírna odpadních vod, vertikální filtr, francouzský systém, čištění odpadní vody, filtrační pole

ABSTRACT

The topic to Diploma Thesis is design of Biological Wastewater Treatment for 450 PE in Hvozd Commune (Region Olomoucký). First part is dedicated to description of multiple possible variants of design. In the following part is more detailed described chosen technology. Except from description of technology are also shown parameters calculations proposal. Some of the main reasons for preference of Biological Wastewater Treatment are low maintenance requirements, independence of energy supply or possibility of future sludge treatment. Foundational materials for the design were first, Local Zoning Plan which describes current and future drainage and wastewater disposal situation. Second, study aims at parameters calculations of French system. Project documentation is part and parcel of this thesis. Documentation will also be a basis for planning building permission.

KEYWORDS

Biological Wastewater Treatment, vertical filter, French system, wastewater treatment, filter bed

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Lucie Šenková *Projekt přírodní čistírny odpadních vod pro obec Hvozd*. Brno, 2022. 43 s., 26 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce doc. Ing. Michal Kriška, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

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

V Brně dne 14. 1. 2022

Bc. Lucie Šenková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

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

V Brně dne 14. 1. 2022

Bc. Lucie Šenková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing Michalu Kriškovi-Dunajskému, Ph.D. za vstřícnost, ochotu a odborné rady, které mi napomohly v řešení závěrečné práce. Rovněž bych chtěla poděkovat své rodině, která mi byla po celou dobu studia skálopevnou oporou.

Mé neskonalé díky patří i mým přátelům, díky kterým mám na studium jen dobré vzpomínky. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat paní Mgr. Anetě Němcové, která je mojí duševní podporou a rovněž provedla korekturu této práce.

Obsah

1.	Úvod	9
1.1	Cíle	11
2	Popis obce	11
2.1	Základní informace o obci	12
2.1.1	Současný stav odkanalizování a čištění odpadních vod	12
2.1.2	Návrh plánované kanalizace	13
2.1.3	Geologické poměry	13
2.1.4	Klimatické poměry	13
2.1.5	Hydrologické poměry	14
2.1.6	Dopravní infrastruktura.....	15
3	Legislativní rámec pro malé čistírny odpadních vod	15
4	Přírodní čistírna odpadních vod	17
4.1.1	Typy Přírodních čistíren odpadních vod.....	18
4.2	Francouzský systém přírodní ČOV.....	19
5	Návrh čistírny odpadních vod	21
5.1	Stavební objekty.....	22
5.1.1	Odlehčovací komora	22
5.1.2	Dešťová nádrž.....	22
5.1.3	Česle	22
5.1.4	Akumulační nádrž.....	23
5.1.5	Distribuční šachta	23
5.1.6	1. filtrační stupeň – vertikální filtr francouzského typu	24
5.1.7	2. filtrační stupeň – vertikální filtr	25
5.1.8	Měrný objekt.....	26
5.2	Hydrotechnické výpočty.....	27
5.2.1	Vstupní hodnoty.....	27

5.2.2	Výpočet objemu dešťové nádrže	29
5.2.3	Výpočet rozměru česlí.....	30
5.2.4	Výpočet plochy filtru prvního stupně čištění	32
5.2.5	Výpočet plochy filtru druhého stupně čištění.....	35
5.2.6	Výpočet dávky odpadní vody na 1. filtrační stupeň	38
5.2.7	Výpočet dávky odpadní vody na 2. filtrační stupeň	38
6	Provoz a údržba.....	39
6.1	Uvedení do provozu	39
6.2	Běžná údržba	39
6.3	Odstranění kalu z filtračního pole	39
7	Závěr.....	40
8	Citovaná literatura	41
9	Seznam obrázků	42
10	Seznam tabulek	42
11	Seznam použitých zkratk.....	43

1. Úvod

Ekologie a ochrana přírody je v posledních letech stěžejním tématem téměř po celém světě. Je tomu tak z důvodu dlouhodobého zanedbávání péče o Zemi, místo, na kterém lidstvo žije. Je tedy snahou, jak světových velmocí, tak i menší států, společně zabránit ekologické katastrově, která by byla fatální a nezvratná. V rámci diskuzí na toto téma a tvorby preventivních opatření na ochranu přírody, je často zmiňována také ochrana vod, jak slaných, tak sladkých. V případě České republiky se jedná spíše o ochranu vod sladkých. Protože je voda jednou ze základních podmínek pro život, je třeba jí věnovat obzvláště velkou pozornost. Sladká voda tvoří zhruba 3 % celkového množství vody na planetě, ale i tak je s ní nakládáno nevhodně, a tudíž zdrojů sladké vody ubývá, nebo se zdroje stávají méně kvalitní. Proto se nyní vyskytuje mnoho nových nápadů a postupů, jak negativnímu vývoji v oblasti vod zabránit.

Mezi taková opatření může patřit například úprava toků do původního (přírodního) stavu, tak aby voda neodtékala rychle z půdy. Nebo také tvorba mokřadů, biokoridorů, či zmenšování ploch obdělávaných jednou plodinou. Opatření v rámci pozemkových a krajinných úprav je mnoho. V souvislosti s touto diplomovou prací však stojí za zmínku opatření spojená s nakládáním s odpadními vodami.

Průměrná spotřeba vody je zhruba 110 l/den/osobu. Až 88 % spotřebované vody následně končí jako voda odpadní, kterou je třeba upravit, zbavit nečistot tak, aby ji bylo možné vrátit do přírody, tam aby se samočisticími procesy navrátila do původního stavu. Dle zákona č.254/2001 Sb., o vodách a zákona č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu má každý, kdo produkuje odpadní vody, povinnost tyto vody likvidovat v souladu s platnými právními předpisy. Toto ustanovení umožňuje snazší domahatelnost napojení se producentů odpadní vody na obecní stokovou síť vyústěnou na čistírně odpadních vod. V rámci ustanovení o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu je tedy i podporována výstavba nových čistíren také pro menší obce.

Především v případě obcí do 500 EO je možnost výstavby tzv. přírodních čistíren odpadních vod. Protože je zde předpoklad menšího znečištění odpadní vody, je možné využít principu samočisticích procesů bez využití chemikálií, které jsou používány u aktivačních ČOV.

Přírodní ČOV jsou v Čechách relativně mladou technologií ve způsobu čištění odpadních vod. Rozmach přírodních čistíren odpadních vod na území České republiky začíná v 90. letech minulého století. Ačkoliv už v té době již byly podklady a studie pro návrh takových čistíren ze zahraničí, na našem území se vyskytovaly problémy s účinností čistíren. Tyto problémy měly za efekt to, že se přírodní čistírny staly méně populárním způsobem čištění odpadních vod než

aktivační čistírny. V důsledku pečlivějšího studování problematiky a hledání možných řešení bylo vybudováno nespočet přírodních čistíren, které těmto obavám rozporují. Přírodní čistírny disponují hned několika výhodami. Jednou z nich je přírodě blízký proces čištění, tak i samotný vzhled. Díky osázení filtračních polí rostlinami může čistírna napomoci tvorbě mikroklima, rovněž může sloužit jako estetický prvek krajiny. Možností je i tvorba biotopu či biocentra v okolí areálu ČOV. Další neméně podstatnou výhodou této čistírny je nenáročnost provozu a v některých případech i úplná nezávislost na elektrické energii. S účinností 95-99 % jsou na tom tyto ČOV velice dobře ve srovnání s aktivačními čistírnami odpadních vod.

Výhod přírodních čistíren je více, avšak důležitým aspektem, který je potřeba vzít v potaz při návrhu, je množství ekvivalentních obyvatel, jež budou na čistírnu napojeni. V našich klimatických (mírných až chladných) podmínkách se zpravidla budují přírodní ČOV do 500 EO (ve výjimečných případech i pro vyšší počet). Je tedy třeba si uvědomit, že přírodní čistírny nejsou možným řešením pro všechna města či obce, ale určitě je dobré zvážit jejich vybudování v místech, kde to podmínky dovolují, jako je například případová obec Hvozd.

1.1 Cíle

Cílem diplomové práce je návrh přírodní čistírny odpadních vod pro obec Hvozd. Pro návrh byl zvolen takzvaný Francouzský systém, jehož předností je absence primárního stupně předčištění surové odpadní vody. Čistírna bude navržena pro 450 EO. Pro výpočet potřebné velikosti bylo počítáno i s vyvážením fekálií fekálními vozy z okolních obcí.

V rámci práce bude navrženo umístění čistírny spolu s popisem následného provozu. Rovněž budou navrženy jednotlivé stavební objekty, kromě odlehčovací komory a dešťové nádrže. K tomu bude navrženo i zázemí čistírny. Rovněž bude vymezen i prostor pro kompostování.

Výsledná projektová dokumentace bude sloužit jako dokumentace pro vydání společného povolení.

2 Popis obce

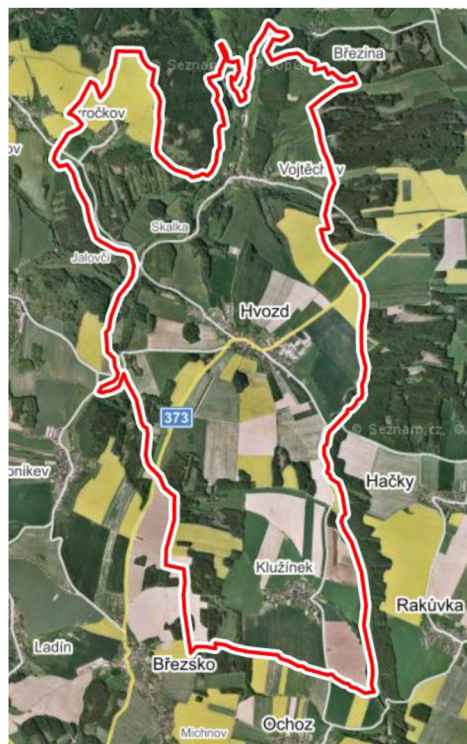
Název obce:	Hvozd
kraj:	Olomoucký (CZ071)
okres:	Prostějov (CZ0713)
obec s rozšířenou působností:	Konice
pověřená obec:	Konice
počet obyvatel:	622 (2017)
Povodí:	Povodí Moravy, s.p.
Správce vodního toku:	Povodí Moravy, s.p.
Vodoprávní úřad:	Městský úřad Konice
Odbor:	Odbor životního prostředí
Krajský úřad:	Olomoucký
Oddělení:	Oddělení vodního hospodářství

2.1 Základní informace o obci

Navrhovaná přírodní čistírna odpadních vod bude situována v obci Hvozď. Obec leží v nadmořské výšce 502 m a rozprostírá se na ploše 1237 ha. Součástí obce jsou 3 chalupářské osady - Klužínek, Otročkov a Vojtěchov. Obec se nachází na pomezí mezi obcemi Luká a Březsko. V obci z dlouhodobého hlediska probíhá rozvoj podnikatelské sféry a také individuální výstavba rodinných domů. V rámci občanské vybavenosti je možné v obci najít školu, poštu a zdravotní středisko.

Obcí Hvozď protéká bezejmenný tok, který je ve správě Lesy ČR, s.p. (1)

V obci je zaveden plynovod a vodovod. Kanalizační síť prozatím není vybudována.



Obr. 1 Zájmové území Hvozď

2.1.1 Současný stav odkanalizování a čištění odpadních vod

V obci je nyní funkční pouze nesoustavná dešťová kanalizační síť (DN 300-500). Převážná část kanalizace je vybudována z betonových trub a je vyústěna do místního potoka.

Do kanalizace jsou napojeny pouze vyústění ze septiků. To platí jen pro část obyvatel, kteří využívají předčištění odpadních vod tohoto typu. Zbýlá část obyvatel využívá systému jímek a vyvážení odpadních vod. (1)

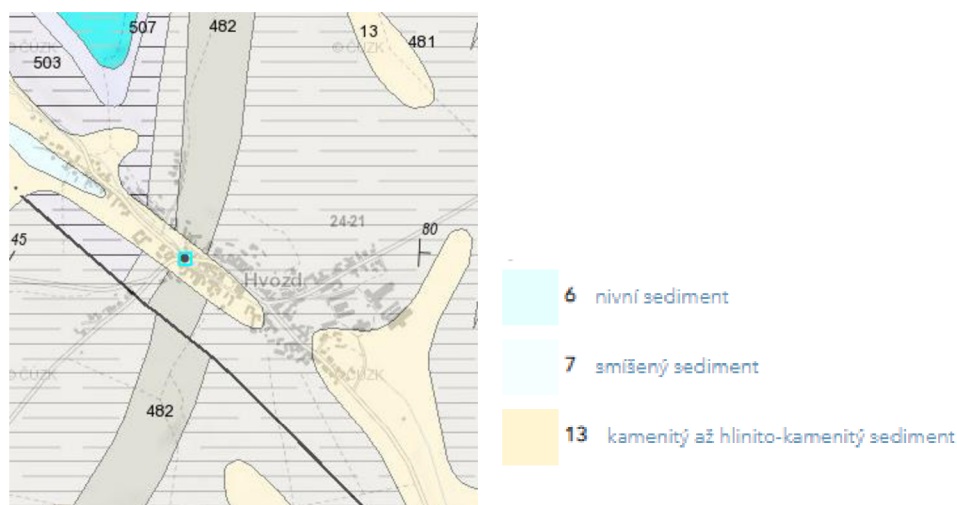
2.1.2 Návrh plánované kanalizace

Pro obec je naplánovaná výstavba splaškové kanalizace DN 250 v celkové délce cca 3000 m. Kanalizace bude rozdělena na dvě části. První část bude vedena do čerpací stanice a následně vedena na plánovanou ČOV. Délka výtlačku bude 500 m. Druhá část bude vedena gravitačně přímo na ČOV. Plánovaná čistírna odpadních vod bude navržena na objem do 450 EO.

2.1.3 Geologické poměry

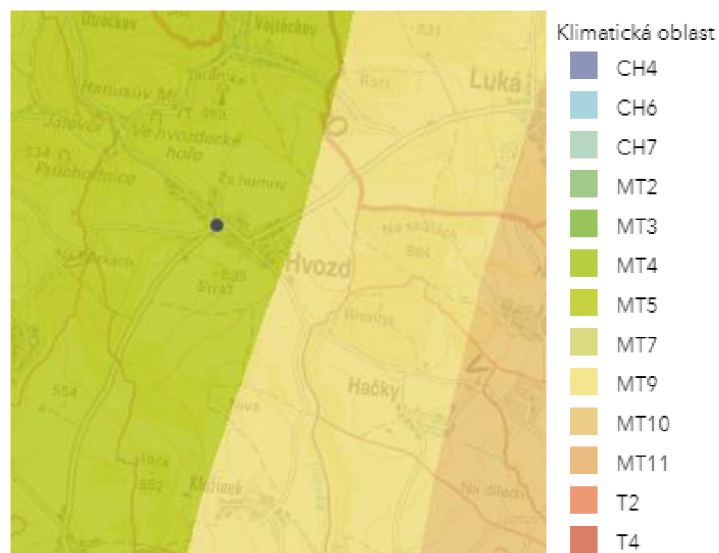
Obec se nachází v regionální jednotce Dražanská vrchovina. V dané oblasti se vyskytují například jílovité břidlice, prachovce a droby, kamenitý až hlinito-kamenitý sediment.

2.1.4 Klimatické poměry



Obr. 2 Geologická mapa obce Hvozd (zdroj: mapy.geology.cz)

Obec Hvozd se nachází na pomezí dvou klimatických oblastí dle Quitta, a to MT5 a MT9 (Quitt, 1971). Obě tyto oblasti jsou označovány jako oblasti mírně teplé. V průběhu roku nejsou citelné markantní výkyvy teplot jako například v teplé oblasti. Jaro bývá krátké a mírné. Mírné bývá i léto, kdy počet letních dní v průměru nepřekročí 50 dní. Průměrná teplota v červenci je 16-18 °C jde tedy o léto spíše chladnější. Srážkový úhrn ve vegetačním období je průměrně 350-450 mm. Podzim a zima bývají mírné a delší. Průměrný srážkový úhrn je zde 250-300 mm. Mírně teplá

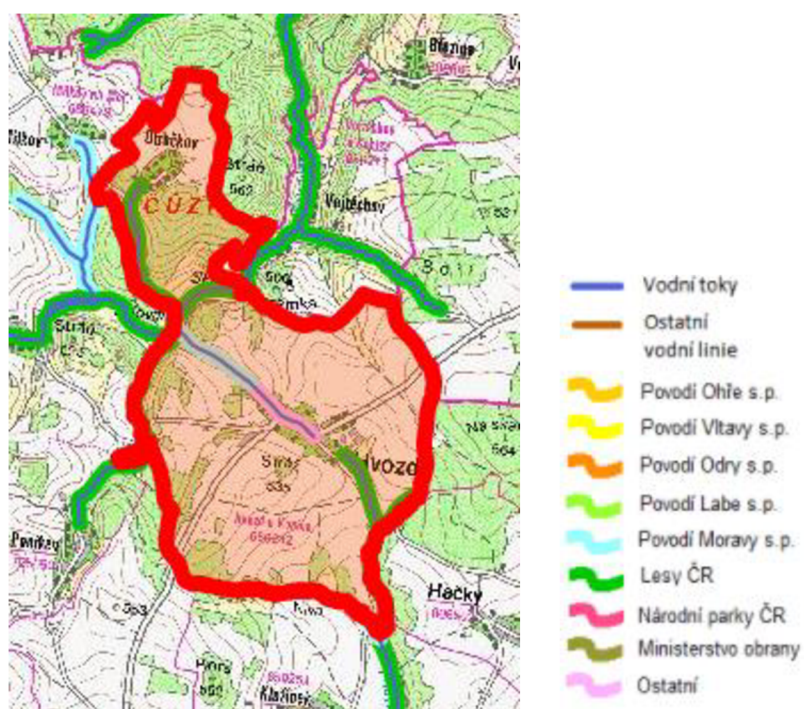


Obr. 3 Klimatická dle Quitta (zdroj: mapy.nature.cz)

oblast se vyznačuje v průměru vyšším počtem letních dní (30-50 dní) a s 140-160 dny s teplotou nad 10°C. Na rozdíl od teplých oblastí je zde v průměru více dní se srážkami nad 1 mm (100-120 dní). I přes to se jedná o sušší oblast (Quitt, 1971)

2.1.5 Hydrologické poměry

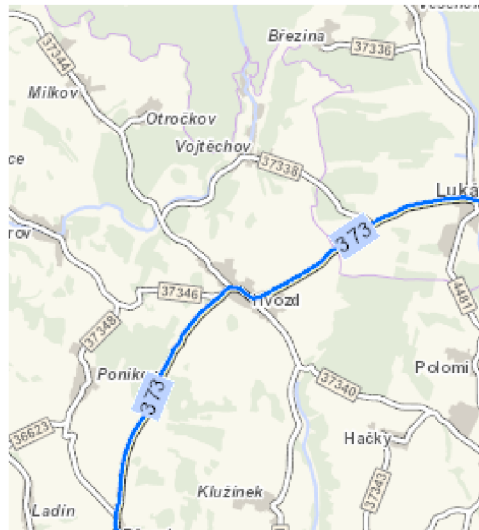
Obcí Hvozd protéká bezejmenný potok ve správě Povodí Moravy, s.p. Okolí toku není ohroženo povodňovými stavy.



Obr. 4 Toky protékající zájmovým územím

2.1.6 Dopravní infrastruktura

Obcí prochází silnice II. třídy číslo 373, která se v obci větví na silnice III. třídy číslo 37 346, 37 340 a 37 344. Silnice II/373 je hlavním spojem mezi okolními mi většími městy, tj. Litovel a Konice.



Obr. 5 Dopravní infrastruktura obce

3 Legislativní rámec pro malé čistírny odpadních vod

Pro návrh ČOV v obce Hvozď byl jako primární legislativní podklad použita ČSN 75 6402 Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel. V případě, že by byla čistírna navrhována pro větší počet obyvatel, je potřeba se odkázat na ČSN 75 6401 Čistírny odpadních vod na 500 ekvivalentních obyvatel. V normách se pak mimo jiné objevují požadované hodnoty účinnosti čištění odpadních vod, které jsou jedním z kritických parametrů při navrhování čistíren obecně (viz.Tab.1). V případě navrhované čistírny v obci Hvozď se pak soustředíme na řádek s názvem „Vegetační čistírny“. Dále je zde možné najít postup pro výpočet množství přítékajících vod.

Jako dalším nedílným legislativním podkladem je Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), Zákon č. 254/2001 Sb. Tento zákon popisuje základní nakládání s vodami (povrchovými i podpovrchovými), mimo jiné vymezuje a popisuje postup a potřebnou dokumentaci při schvalování vodních staveb, ale také při jakékoliv manipulaci s vodami či vodními díly. Krom těchto problémů rovněž popisuje ochranu vod.

Tab. 1 Orientační hodnoty účinnosti jednotlivých typů čistírenských technologií pro malé zdroje znečištění dle ČSN 75 6402

Technologie čištění odpadních vod	Účinnost čištění %				
	BSK ₅	CHSK	NL	N-NH ₄	P-celk.
Septik	15 - 30	0 - 20	50 - 60	-	-
Sedimentace	20 - 30	10 - 30	30 - 60	0 - 5	0 - 8
Rotační biofilmové reaktory	80 - 90	60 - 85	65 - 90	0 - 70	5 - 20
Aktivační proces s biofilmovým reaktorem	80 - 95	70 - 90	80 - 90	65 - 95	15 - 25
Aktivační proces s $B_x \leq 0,3$ kg/kg*d	80 - 90	60 - 85	85 - 90	5 - 30	15 - 25
Aktivační proces s $B_x = 0,05$ kg/kg*d	80 - 95	70 - 90	85 - 90	65 - 95	15 - 25
Biologické dočišťovací nádrže	65 - 70				
	80 - 90	60 - 85	85 - 90	20 - 90	5 - 50
Zemí fitry	85 - 95	70 - 90	85 - 95	10 - 15	5 - 25
Vegetační filtry	65 - 95	70 - 90	85 - 95	10 - 15	5 - 25

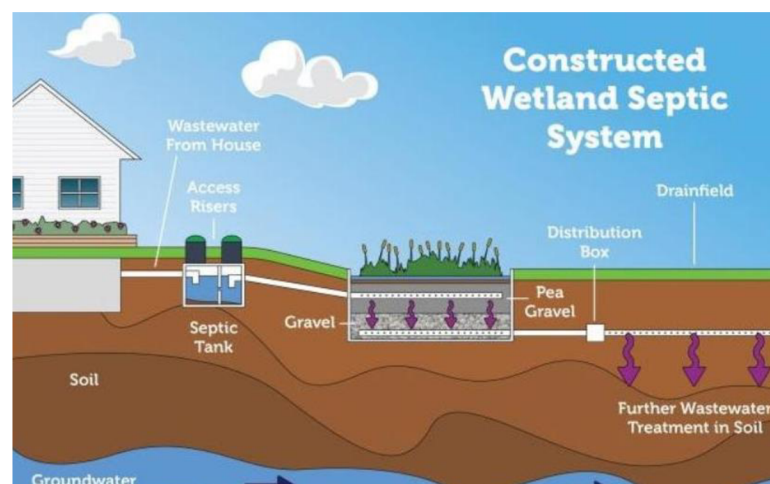
4 Přírodní čistírna odpadních vod

Přírodní ČOV je technologie, která svým způsobem čištění odpadní vody napodobuje přírodní procesy čištění vod. Takové čistírny jsou schopny efektivně čistit nejrůznější typy odpadních vod. Oproti jiným způsobům čištění odpadních vod (např. aktivační ČOV) vyžadují přírodní ČOV minimální nároky na provoz a údržbu. Přírodní ČOV jsou schopny efektivně čistit surovou odpadní vodu, primární, sekundární i terciální stupeň čištění odpadní vody a mnoho dalších průmyslových vod. (2)

Základní princip vychází ze samočisticích procesů v řekách či přirozených mokřadech. Surová odpadní voda, či voda zbavená nerozpuštěných látek je přiváděna na filtrační pole. Filtr je tvořený štěrkovým ložem, na kterém se nachází bakterie, které jsou nezbytnou součástí čistícího procesu. Rostliny osazené na filtračním poli mají sekundární funkci-dodávají kyslík do vody proudící filtrem (podpora čistícího procesu), odebírají si živiny, v zimě plní odumřelé rostliny izolační funkci.

Přírodní čistírny lze rozdělit na dvě skupiny, a to na povrchové a podpovrchové. Dělí se tak podle polohy proudu odpadní vody. Podle směru proudění vody filtrem dále dělíme čistírny (filtry) na horizontální filtry (HF) a na vertikální filtry (VF). Vzhledem k předejití zanesení filtračního pole sedimenty, je mnohdy doporučováno používat PČOV jako sekundární stupeň čištění tzn. před filtrační pole předsadit usazovací nádrž. Nicméně je již prokázáno, že například francouzský systém vertikálních filtrů je schopen zastoupit i primární stupeň čištění. Jedná se tedy o méně nákladnou variantu PČOV, protože není nutná výstavba dalších (nejčastěji) betonových objektů.

Volný prostor nad filtračním médiem je silně zarostlý vhodnými rostlinami. Do tohoto prostoru je přiváděna odpadní voda, která se přivádí potrubím přímo na filtrační povrch, jež je nejčastěji tvořen jemnější frakcí štěrku.



Obr. 6 Schéma přírodní čistírny odpadních vod

4.1.1 Typy Přírodních čistíren odpadních vod

- Horizontální ČOV

Odpadní voda proudí horizontálně skrz štěrkové lože filtru, kdy je hladina vody neustále udržována pod povrchem. Tento systém je využíván pouze jako sekundární stupeň čištění, proto je zde vyžadován primární stupeň čištění, tak aby bylo zabráněno zanášení filtračního pole velkými nečistotami. Povrch filtračního pole je osázen vodními rostlinami.

- Vertikální ČOV

Odpadní voda na filtry přitéká v intervalech a ve vertikálním směru skrze ně protéká. V mezičase mezi dávkami odpadní vody se do pórů filtrů dostává vzduch, který pak podporuje aerobní rozkladný proces. Stejně jako u horizontálních filtrů je zapotřebí primární fáze předčištění odpadní vody, tj. usazovací nádrž. Povrch filtračního pole je osázen vodními rostlinami.

- Francouzský systém ČOV

Jedná se o systém vertikálních filtrů, který je složen ze dvou stupňů. Na rozdíl od vertikálních a horizontálních ČOV není u francouzského systému primární předčištění. Surová voda přitéká přímo na 1. filtrační stupeň. Oba stupně jsou na povrchu osázeny vhodnými vodními rostlinami.

- Mokřadní ČOV

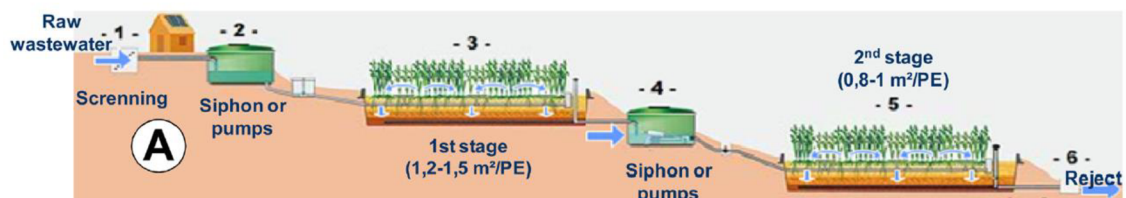
Tento typ přírodní čistírny je vzhledově podobný mokřadům. Pro její zbudování je vyžadována velká plocha a z pravidla jsou jen lehce zatěžovány odpadní vodou. Tak jako u všech předchozích typů čistíren je povrch této čistírny osázen vodními rostlinami. Škála vhodných druhů je však oproti předchozím typům širší. (2)

4.2 Francouzský systém přírodní ČOV

Pro tento projekt byla zvolena varianta francouzského systému přírodní ČOV. Tento systém se liší od ostatních výše zmíněných systémů tím, že nepotřebuje primární stupeň předčištění. Skládá se tedy pouze ze dvou stupňů, kdy oba stupně čištění jsou vertikální filtrační pole. Surová odpadní voda přitéká přímo na první filtr, kde dochází k odstranění nerozpustných látek a částečně probíhá i nitrifikace. Kal, který se usadí na povrchu filtru po odstranění vody následně mineralizuje a za rok vytvoří zhruba 2 až 3 cm vrstvu vysušeného a zmineralizovaného kalu. Mineralizace a vysoušení trvá zhruba 2 týdny v době, kdy je dané filtrační pole mimo provoz. Zhruba po 10 až 15 letech dosáhne výška nahromaděného kalu zhruba 20 cm. Toto množství je následně mechanicky odstraněno s možností dalšího zpracování, např. kompostování.

Na druhý vertikální filtr (druhý stupeň čištění) přitéká voda zbavená nerozpuštěných látek. Zde dochází k finálnímu odstranění organických látek spolu s nitrifikací. Takto vyčištěná voda je vypouštěna do recipientu.

Mezi největší výhody tohoto systému patří jeho jednoduchost. Tím, že se primárně skládá pouze ze dvou filtračních polí a není zapotřebí složitá konstrukce usazovací nádrže. Před celý systém je v případě jednotné kanalizační soustavy (případ obce Hvozď) potřeba osadit odlehčovací komoru. Návrh odlehčovací komory není předmětem této diplomové práce. (3)



Obr. 7 Schéma Francouzského systému (3)

Účinnost tohoto systému je popsána v několika studiích. Jednou z nich je například *Effect of climate, wastewater composition, loading rates, system age and design on performances of French vertical flow constructed wetlands: A survey based on 169 full scale systems*.

V této studii bylo popsáno 169 čistíren francouzského typu. Z každého stupně byl v periodě po 24 hodinách odebírán a zkoumán vzorek vody. Hodnoceny byly jak vstupní parametry např. umístění čistírny, počet napojených EO, složení filtrů a výšky jednotlivých vrstev (viz tab. 3) atd., tak především parametry čištěné odpadní vody např. CHSK, BSK₅, NL, N_{celk} atd. (3)

Výsledné hodnoty byly sumarizovány do tabulky (tab. 2)

Tab. 2 Materiálové složení jednotlivých vrstev

Design characteristics of the classical and the compact VFCWs studied (layers are presented from the surface to the bottom of the filter).

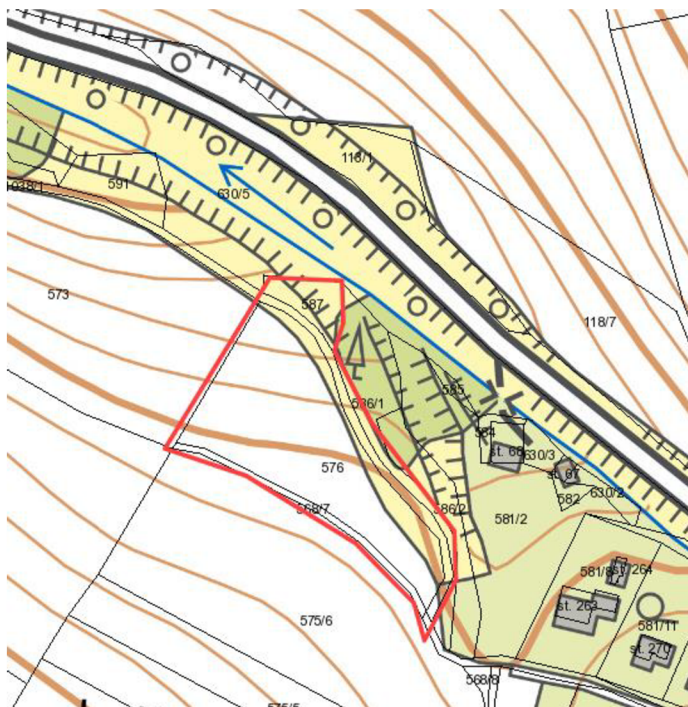
	"Classical" French system (VF+VF)		Compact VF system
	1st stage (VF1) 1.2–1.5 m ² /PE	2nd stage (VF2) 0.8–1 m ² /PE	Single stage (compact) 1.2–1.5 m ² /PE
Surface ratio			
Filter media	40–50 cm gravel 2/8 mm 15–20 cm gravel 10/20 mm 20 cm gravel 20/40 mm	40 cm sand 0/4 mm 15–20 cm gravel 4/10 or 4/20 mm 20 cm gravel 10/20 or 20/40 mm	30 cm Mayennite® 2/4 mm 20 cm gravel 4/10 mm 20 cm Mayennite® 0.5/4 mm 10 cm gravel 4/10 mm 20 cm gravel 10/20 mm

Tab. 3 Srovnání výsledků jednotlivých čistících stupňů

		TSS	BOD ₅	COD	TKN	TN	TP
1st stage (VF1)	Mean	85%	86%	80%	62%	40%	30%
	S.D.	15%	13%	11%	16%	33%	26%
	Nb	86	85	86	57	61	49
2nd stage (VF2)	Mean	53%	79%	59%	78%	–2%	–12%
	S.D.	78%	21%	28%	18%	56%	105%
	Nb	61	60	61	34	39	30
Global VF1 + VF2	Mean	96%	98%	93%	93%	39%	30%
	S.D.	4%	1%	4%	7%	30%	28%
	Nb	202	203	203	199	196	189
Guarantees		>90%	>90%	>85%	>80%		

5 Návrh čistírny odpadních vod

Pro navrhovaný projekt byly obcí poskytnuty pozemky (ve vlastnictví obce) 576 a 1038/1. Z důvodu naleziště ložiska nerostných surovin (vápenec vysokoprocentní Ludmírov B 3064100) však není možné využít celou plochu pozemku 576.



Obr. 8 Plocha určená pro výstavbu ČOV

Prvotním záměrem bylo navrhnout čistírnu s nutností využití elektrické energie nezbytné pro čerpadla, která by vynášela odpadní vodu do akumulčních nádrží. Toto opatření je nutné pro získání potřebného spádu odpadní vody při nátoku na jednotlivá filtrační pole. Pro rovinatost stávajícího pozemku by však byla zapotřebí dvě taková čerpadla.

Druhou variantou byla možnost energeticky zcela soběstačné ČOV (bez nutného připojení na elektrickou síť). Takové řešení vyžaduje v místních podmínkách hluboké výkopy jam pro filtrační pole, tak aby byl obstarán potřebný spád odpadní vody. V důsledku objemných výkopových prací se však jedná o značně nákladnější variantu.

Na základě diskusí se zastupitelstvem a panem starostou bylo rozhodnuto o projekci čistírny zcela nezávislé na elektrické energii, tj. druhá z uvažovaných variant. Ačkoliv je investice do druhé varianty vyšší, její následný provoz ušetří následné provozní náklady za energie. Rovněž se předpokládá, že na projektovanou ČOV se bude pravidelně (dvakrát denně) vyvážet fekální automobil z okolních obcí, proto je nutné lehce navýšit kapacitu ČOV.

5.1 Stavební objekty

Z důvodu jednotné stokové sítě v obci, bude jako první objekt před čistírnou navrhována odlehčovací komora. Ta bude za vydatných dešťů odvádět přebytečnou vodu do dešťové nádrže, tak aby nebyla zahlcena kapacita čistírny. V rámci výstavby čistírny bude zařazena i výstavba dešťové nádrže.

5.1.1 Odlehčovací komora

První objekt, na který odpadní voda z kanalizace natéká je odlehčovací komora. Její funkcí je oddělovat zvýšené množství zředěné odpadní vody při srážkových událostech. Tím se zamezuje nátok velkému množství vody na navazující objekty ČOV a zabraňuje se tím tak zahlcení kapacity čistírny. Návrh odlehčovací nádrže není součástí této diplomové práce, jak již bylo řečeno výše.

5.1.2 Dešťová nádrž

Jedná se o přidružený objekt odlehčovací komory. Přesněji jde o detenční nádrž. V případě zvýšeného množství srážek má dešťová nádrž za úkol dočasně zadržet velké množství zředěné odpadní vody přiváděné z odlehčovací komory. Zachyceno bude celé množství přitékající vody. V případě, že by samotná kapacita nádrže nebyla dostačující, odtéká voda přes výústní objekt požerákového typu do recipientu. Zbylá zachycená voda je posléze přečerpávána na ČOV. Nádrž bude otevřená, její hrany budou v rovině s okolním terénem. (4)

5.1.3 Česle

Za odlehčovací komorou bude osazeno jediné mechanické předčištění v podobě hrubých česlí, které budou zachytávat hrubé nečistoty jako jsou například toaletní papír, ubrousky, hygienické pomůcky, či jiné větší nečistoty. Česle budou shrabávány ručně. K česlicím bude přidělán koš na shrabky, kde proběhne jejich primární odvodnění. Odvodněné shrabky budou ukládány do kontejneru umístěného v blízkosti česlí.



Obr. 9 Ručně stírané česle (zdroj: asio.cz)

Navržené česle mají rozměr 800/650/300 mm. Rozteč mezi jednotlivými česlicemi je 25 mm. Podrobný výpočet česlí je v kapitole 5.2 Hydrotechnické výpočty.

5.1.4 Akumulační nádrž

Po odstranění největších hrubých nečistot bude voda přitékat do akumulární komory. Komora je navržena tak, aby v pravidelných intervalech a po stejných objemech vypouštěla odpadní vodu na filtrační pole. Součástí akumulární nádrže bude pulzní vypouštěč odpadní vody do rozdělovací šachty. Voda z nádrže bude vypouštěna pouze tehdy, když objem akumulované vody dosáhne předem stanoveného objemu. Vypouštěč bude zcela nezávislý na elektrické energii.



Obr. 10 Pulzní vypouštěč (zdroj: asio.cz)

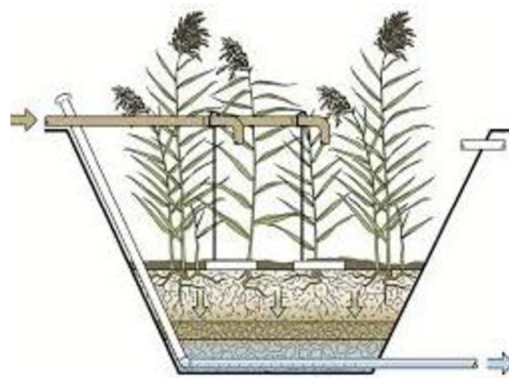
5.1.5 Distribuční šachta

Na akumulární nádrž navazuje distribuční šachta. Ta má za úkol usměrnit tok odpadní vody z akumulární nádrže na filtr, který je právě v provozu. Šachta bude vybavena třemi samostatnými potrubími, která budou udávat směr toku vody. Pro správný chod a periodičnost střídání jednotlivých odtoků je zapotřebí pověřeného pracovníka.

Tak jako v případě akumulární nádrže, tak se i zde bude jednat o vybetonovanou nádrž o půdorysných 2,00x2,75 m rozměrech a celkovém objemu $V = 13,00 \text{ m}^3$.

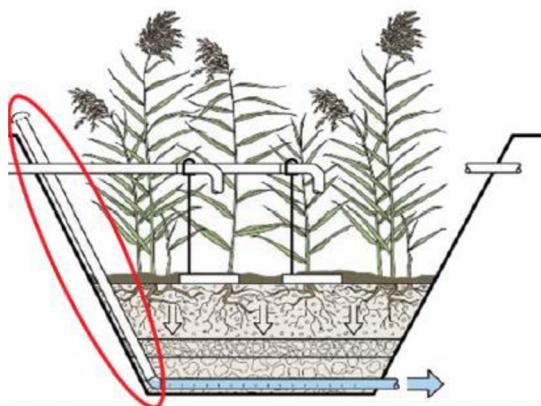
5.1.6 1. filtrační stupeň – vertikální filtr francouzského typu

Z akumulární nádrže bude přitékat odpadní voda na 1. filtrační stupeň složený ze tří vertikálních filtrů. Pro správný chod a účinnost prvního stupně jsou zapotřebí právě tři filtrační pole, která se pravidelně (v intervalu po 3,5 dnech) střídají v provozu. Veškerý kal přivedený na filtr se během „vegetační“ doby (doba mimo provoz, tj. 7 dní) odvodní a zmineralizuje. Tento proces za sebou zanechává zhruba 2 až 3 cm vrstvu vysušeného kalu za rok. Nahromaděný kal se z pole odstraňuje po 10 až 15 letech, kdy vrstva dosahuje zhruba 20 cm. Zmineralizovaný a vysušený kal lze dále využít například pro kompostování, či jiné potřeby.



Obr. 11 Schéma 1. stupně vertikální filtrace

Filtrační lože se bude skládat ze tří vrstev štěrku o různé zrnitosti. Vrchní vrstva bude tvořena jemnou frakcí štěrku, 4/8 mm. Zde bude docházet k odseparování tuhých látek od vody. Voda bude protékat do druhé vrstvy tvořené z hrubší frakce, 11/22 mm. Bude zde zvolena hrubší frakce, aby docházelo k provzdušňování odpadní vody a tím byly podpořeny čistící procesy. Spodní vrstva bude složená ze štěrku frakce 22/63 mm (hrubší směs). V poslední vrstvě bude docházet především ke shromažďování přefiltrované vody do drenážního potrubí. Kromě kyslíku, který se nachází v mezerách filtračního média, bude do filtračního do pole uměle přiváděn i drenážním potrubím. Drenážní potrubí bude na opačném konci než je jeho výustí vyvedeno nad povrch filtru a tím bude dosaženo proudění kyslíku do filtračního lože i ze spodních vrstev (viz. Obr. 10). Filtrační pole bude osázeno mokřadními rostlinami vhodnými pro území České republiky. Mezi tyto rostliny se řadí například rákos obecný (*Phragmites australis*).



Obr. 12 Schéma přívodu kyslíku do filtračního pole pomocí drenážního potrubí

Z důvodu přivádění nepředčištěné odpadní vody od tuhých nečistot a následného hromadění vysušeného kalu, bylo zapotřebí přívodní potrubí navrhnout nad filtračním polem (viz obr. 9). Tímto se zcela nahrazuje stupeň mechanického předčištění (usazovací nádrž, lapák písku atd.). Kromě odstranění tuhých nečistot bude docházet i k filtraci vody protékající skrz filtrační lože. Poté přefiltrovaná voda bude odtékat drenážním potrubím do druhé akumulární nádrže, která bude předsazena před 2. filtrační stupeň.

Dimenze přívodního potrubí DN 200 bude dostačující pro průtok surové odpadní vody. Jako materiál potrubí bude zvolena nerezová ocel, jež je odolná vůči vlivům vnějšího okolí, jako je mráz, nebo sluneční záření, kterým bude potrubí z počátku vystaveno přímo.

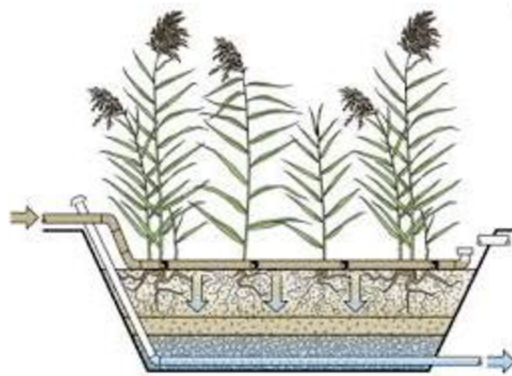
Drenážní potrubí bude vedeno pod spodní vrstvou hrubého štěrku. Navržené potrubí se bude tvořeno polypropylenem.

5.1.7 2. filtrační stupeň – vertikální filtr

Na druhý filtrační stupeň bude přiváděna voda zbavena tuhých nečistot. Druhý filtrační stupeň se bude skládat ze dvou polí, které se střídají ve funkčním a vegetačním stavu. Přívodní potrubí bude položeno těsně nad filtračním ložem (viz obr. 11). Přiváděná voda pak zcela zaplavuje povrch právě funkčního pole. Vyfiltrovaná voda bude odtékat drenážním potrubím do měrného objektu.

Tak jako v případě prvního filtračního stupně, tak i u druhého stupně se filtrační pole bude skládat ze tří rozdílných vrstev. Rozložení i složení vrstev bude totožné s prvním stupněm. Krom vhodně zvolených frakcí bude podstatný také faktor, zda bude použité kamenivo drcené či těžené. V případě drceného kameniva zůstává na štěrku prach, který bude snižovat účinnost

filtračního procesu. Pro vytvoření filtračních loží se předpokládá dovoz šterku z nedaleké šterkovny Náklo i v požadovaných frakcích.



Obr. 13 Schéma 2. stupně vertikálního filtru

5.1.8 Měrný objekt

Vyčištěná voda bude následně odváděna přes měrný objekt do recipientu. Měrný objekt se bude skládat z betonové nádrže o rozměrech 0,9x1,2 m. Nádrž bude vybavena Parshallovým žlabem, díky kterému bude možno měřit průtok vyčištěné vody. Spolu se žlabem bude v nádrži osazeno i ultrazvukové čidlo pro měření průtoku.



Obr. 14 Parshallův žlab (zdroj: pars-aqua.cz)

5.2 Hydrotechnické výpočty

Rozhodujícím kritériem pro volbu PČOV byl počet EO. Pro obce Hvozd je navrženo 450 EO, což je objem, který čistírna dokáže bez problému vyčistit. Na základě počtu EO a zvolené denní spotřeby vody $Q = 125$ l/d se odvíjí další výpočet potřebné velikosti filtračních polí, tak aby byla zajištěna dostatečná účinnost čistícího procesu. Účinnosti prvního a druhého stupně jsou popsány v Tab. 4. Požadované orientační hodnoty účinností čistícího procesu stanovené normou ČSN 75 6402 jsou popsány v Tab. 1.

Tab. 4 Účinnosti čištění 1. a 2. stupně

Stupeň čištění	Hydraulické zatížení [m ³ /m ² .d]	CHSK [g/m ² .d]	BSK ₅ [g/m ² .d]	NL [g/m ² .d]	N _{celk} [g/m ² .d]
1. vertikální filtr	-	80 x M _i	90 x M _i	90 x M _i	1,1128 x M _i ^{0,8126}
2. vertikální filtr	-	75 x M _i	80 x M _i	80 x M _i	1,194 x M _i ^{0,8622}

5.2.1 Vstupní hodnoty

Dle dohody obce Hvozd s okolními obcemi budou dvakrát denně na ČOV vyvážena dvě fekální auta, jedno o objemu 8 m³. Tento fakt byl rovněž zahrnut do výpočtu potřebné velikosti filtru.

EO	450	[-]
Q =	125	[l/d]

5.2.1.1 Vstupní hodnoty pro přitékající odpadní vody na ČOV.

Tab. 5 Orientační hodnoty produkce specifického znečištění na 1 EO [g/d]

Látky	BSK ₅	CHSK	N _{elk}	NL
	[g/d]	[g/d]	[g/d]	[g/d]
Celkem	60	120	11	55

Tab. 6 Maximální přípustné hodnoty znečištění přitékající odpadní vody

V _{fek} [m ³]	V _j [m ³]	CHSK [mg/l]	BSK ₅ [mg/l]	NL [mg/l]	Nc [mg/l]
8	16	3000	1500	1540	308

Tab. 7 Odhadované koncentrace znečištění jednoho fekálního vozu

Stupeň čištění	Hydraulické zatížení [m ³ /m ² .d]	CHSK [g/m ² .d]	BSK ₅ [g/m ² .d]	NL [g/m ² .d]	N _{celk} [g/m ² .d]
1. vertikální filtr	0,37	350	150	150	30
2. vertikální filtr	0,37	70	20	30	15

5.2.1.2 Výpočet přítoku surové odpadní vody na ČOV

Průměrný bezdeštný přítok

$$Q_{24} = 101250 \text{ [l/d]} = 101,25 \text{ [m}^3\text{/d]}$$

$$Q_{24,m} = 56250 \text{ [l/d]}$$

$$Q_B = 45000 \text{ [l/d]}$$

$$Q_{24} = Q_{24,m} + Q_B \quad 5.1$$

Q_{24} Průměrný bezdeštný denní přítok

$Q_{24,m}$ Průměrný denní přítok odpadních vod, dle ČSN 75 6402

Q_B Balastní vody, 80% $Q_{24,m}$

Maximální hodinový bezdeštný přítok

$$Q_h = 13019,53 \text{ [l/h]} = 13,02 \text{ [m}^3\text{/d]}$$

$$K_d = 1,5 \text{ [-]}$$

$$K_h = 3,17 \text{ [-]}$$

$$Q_h = \frac{Q_{24,m} * K_d * K_h * Q_B}{24} \quad 5.2$$

Q_h maximální hodinový bezdeštný přítok

K_d součinitel denní nerovnosti

K_h součinitel hodinové nerovnosti

Návrh pro jednotnou stokovou síť

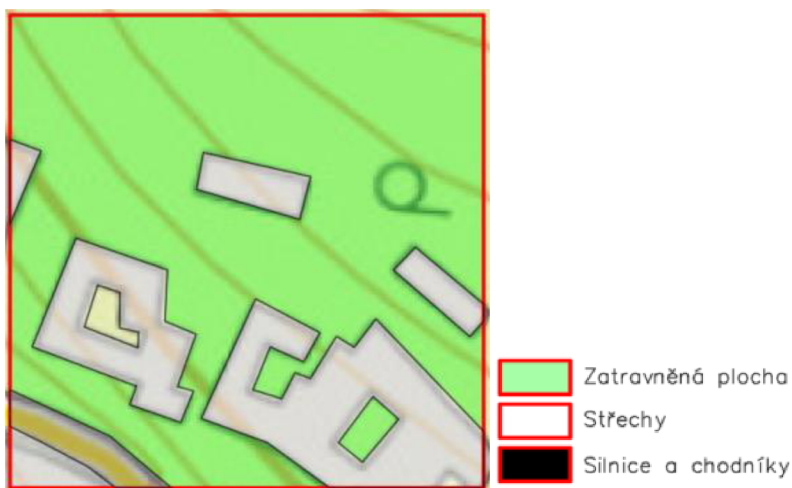
$$Q_{max} = 143214,84 \text{ [l/h]} = 143,21 \text{ [m}^3\text{/d]}$$

$$n = 11$$

$$Q_{max} = Q_h * n \quad 5.3$$

5.2.2 Výpočet objemu dešťové nádrže

Pro výpočet objemu dešťové nádrže je prvotně vypočítat odtokový součinitel Φ , který se stanoví pomocí vzorového hektaru. Společně s hodnotou návrhového deště (15 min) dle Truplových tabulek a celkovou odvodňovanou plochou je možné vypočítat objem vody přitékající na ČOV za deště. Je nutné, aby se celé množství vody vešlo do dešťové nádrže.



Tab. 9 Výpočet odtokového součinitele

POVRCH	BARVA	PLOCHA	ψ
		[ha]	[-]
střecha	bílá	0,225	0,6
silnice chodník	šedá	0,030	0,8
zeleň	zelená	0,715	0,1
		$\psi_{\phi} =$	0,23

Tab. 8 Výpočet průtoku na ČOV za návrhového deště

S	ψ	q_s	Q_{ND}
[ha]	[-]	[l/s/ha]	[l/s]
12,27	0,231	113	319,591

Výpočet množství vody množství odtékající do dešťové nádrže:

$Q_{ND} =$	0,320	[m ³ /s]	přítok dešťových vod z obce
$Q_h =$	0,004	[m ³ /s]	přítok splašků z obce
$Q_{max} =$	0,040	[m ³ /s]	průtok vody za deště, odtéká na ČOV..
$Q =$	0,283	[m ³ /s]	průtok vody, který odtéká za deště do dešťové nádrže
V =	255	[m ³]	Objem vody, odtékající do dešťové nádrže

Tab. 10 Návrh rozměrů dešťové nádrže

	střední rozměry	rozměry dna	rozměr při terénu
	[m]	[m]	[m]
a=	11	8,80	13,20
b=	11	8,80	13,20
v=	2,20	-	-
V_d=	266,20	m³	

Výpočtem byl stanovený potřebný objem dešťové nádrže. Protože je tvar nádrže koncipován jako komolý jehlan, bylo přistoupeno k výpočtu objemu za pomoci střední vzdálenosti protilehlých stěn. Celkový objem nádrže je $V_d = 266,20 \text{ m}^3$, půdorysné rozměry jsou 13,2x13,2 m.

5.2.3 Výpočet rozměru česlí

Česle budou napojeny na přívodní potrubí DN 250 s maximálním denním průtokem $Q_{\max} = 143,21 \text{ m}^3/\text{d}$ (maximální hodinový průtok $Q_h = 0,54 \text{ m}^3/\text{h}$). O množství přitékající vody se pak odvíjí výpočet rozměrů česlí. Kromě množství přitékající vody je třeba vzít v potaz další parametry, jako je šířka česlic, číška průlin mezi česlicemi, sklon a výška česlí, všechny tyto parametry následně určí vhodné rozměry česlí.

Pro výpočet celkového množství shrabků bylo využito předpokladu, že na 1 EO připadne $0,2 \text{ m}^3$ odpadu zachyceného na česlích. Dá se tedy očekávat, že průměrně se za rok česlemi odstraní 90 m^3 shrabků.

Na začátku byly zvoleny návrhové parametry pouze odhadem. Až po dosažení výsledku (výška hladiny vody při Q_{\max} , Q_h), se dále rozhodovalo o tom, zda jsou stávající parametry vyhovující, nebo se musí změnit. Pro výpočet se využívá Chézyho rovnice.

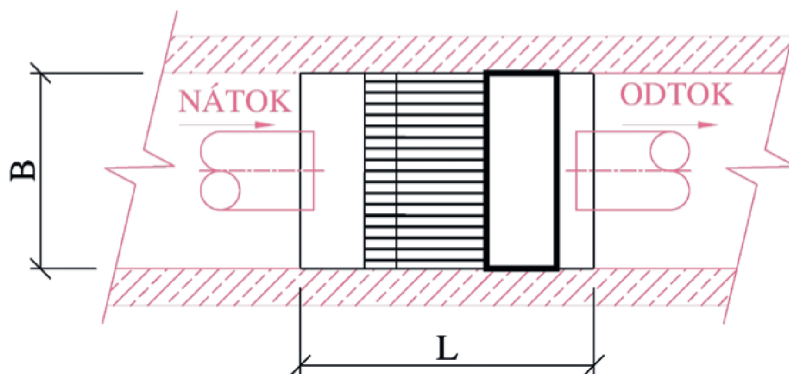
Pro zajištění dostatečné výšky hladiny přitékající vody byly zvoleny šířka česlí 500 mm s roztečí česlic 30 mm. Tímto rozměrem je dosaženo i dostatečné výšky hladiny přitékající vody. Tímto rozměrem je i dosaženo minimálních hydraulických ztrát Z_ξ .

Z česlí je dále voda odváděna potrubím DN 200 do akumulární nádrže.

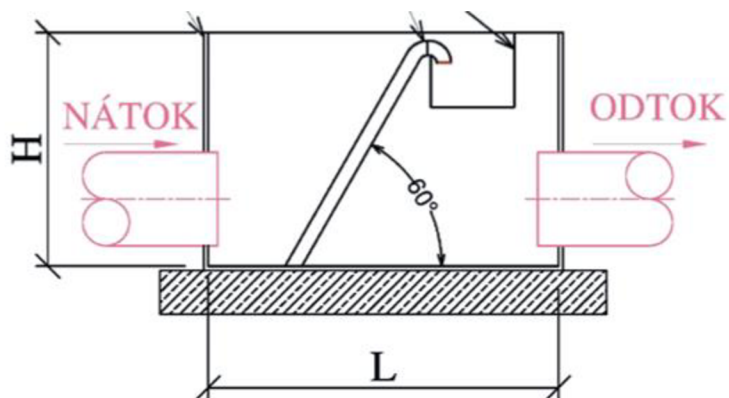
Vstupní parametry

b=	0,5	[m]	šířka česlí
b ₂ =	0,03	[m]	rozteč česlí
b ₁ =	0,008	[m]	šířka česlic
h=	1,20	[m]	výška česlí
β=	2,42	[-]	tvárový součinitel
α=	60	[°]	sklon česlí

	h	S	O	R	C	v	Q	Z_č
	[m]	[m ²]	[m]	[m]	[m ^{0,5} /s]	[m/s]	[m ³ /s]	[m]
Q_h	0,02	0,01	0,54	0,019	46,760	0,201	0,002	0,0007
	0,03	0,015	0,56	0,027	49,727	0,257	0,004	0,0012
	0,04	0,02	0,58	0,034	51,865	0,305	0,006	0,0017
	0,06	0,03	0,62	0,048	54,878	0,382	0,011	0,0027
	0,08	0,04	0,66	0,061	56,976	0,444	0,018	0,0036
	0,1	0,05	0,7	0,071	58,558	0,495	0,025	0,0045
Q_{max}	0,12	0,06	0,74	0,081	59,808	0,539	0,032	0,0053
	0,14	0,07	0,78	0,090	60,829	0,576	0,040	0,0061
	0,16	0,08	0,82	0,098	61,681	0,609	0,049	0,0068
	0,18	0,09	0,86	0,105	62,407	0,638	0,057	0,0075
	0,2	0,1	0,9	0,111	63,033	0,664	0,066	0,0081



Obr. 15 Půdorys česlí (zdroj: asio.cz)



Obr. 16 Podélný řez česlemi (zdroj: asio.cz)

5.2.4 Výpočet plochy filtru prvního stupně čištění

Pro vhodné navržení velikosti filtračního pole bylo použito několik způsobů výpočtů navrhované plochy. V každém z výpočtů vyšla jiná velikost plochy, byla proto zvolena největší z vypočtených ploch tzn. výběr na stranu bezpečnou.

Výpočet plochy filtru na základě hydraulického zatížení filtru

$$\begin{aligned} A_1 &= 316,89 && [\text{m}^2] \\ q &= 0,37 && [\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}] \\ A_1 &= \frac{Q_{\max} + V_j}{q} && 5.5 \end{aligned}$$

A_1 Výsledná plocha filtračního pole
 q hydraulické zatížení filtru

Výpočet plochy filtru na základě BSK₅

$$\begin{aligned} M_{1,BSK5}^{OV} &= 27000 && [\text{g/d}] \\ M_{1,BSK5}^J &= 24000 && [\text{g/dávku}] \\ C_1 &= 434,97 && [\text{mg/l}] \\ M_{1,BSK5} &= 150 && [\text{g/m}^2 \cdot \text{d}] \\ A_1 &= 340,00 && [\text{m}^2] \\ M_{1,BSK5}^{OV} &= EO * BSK_5 && 5.6 \\ C_i &= \frac{M_{1,BSK5}^{OV} + M_{1,BSK5}^J}{Q_{24} + V_j} && 5.7 \\ A_1 &= \frac{M_{1,BSK5}^{OV} + M_{1,BSK5}^J}{M_{i,BSK5}} && 5.8 \end{aligned}$$

$M_{1,BSK5}^{OV}$ Celkové množství BSK₅ odpařené vody
 M_1^J Celkové zatížení BSK₅ vývoz jímky
 $M_{1,BSK5}$ Maximální přípustné hodnoty BSK₅ na přítoku na filtr na m²
 C_1 Maximální přípustné hodnoty BSK₅ na přítoku na filtr BSK₅
 A_1 Výsledná plocha filtračního pole

Výpočet plochy filtru na základě CHSK

$$M_{1,CHSK}^{OV} = 54000 \quad [g/d]$$

$$M_{1,CHSK}^J = 3000 \quad [g/dávku]$$

$$C_{1,CHSK} = 486,141 \quad [mg/l]$$

$$M_{1,CHSK} = 350 \quad [g/m^2.d]$$

$$A_1 = 162,86 \quad [m^2]$$

$$M_1^H = EO * CHSK \quad 5.9$$

$$C_{1,CHSK} = \frac{M_{1,CHSK}^{OV} + M_{1,CHSK}^J}{Q_{24} + V_j} \quad 5.10$$

$$A_1 = \frac{M_{1,CHSK}^{OV} + M_{1,CHSK}^J}{M_{1,CHSK}} \quad 5.11$$

$M_{1,CHSK}^{OV}$	Celkové množství CHSK odpadní vody
M_1^J	Celkové množství CHSK vývoz jímky
$M_{1,CHSK}$	Maximální přípustné hodnoty CHSK na přítoku na filtr na m ²
$C_{1,CHSK}$	Maximální přípustné hodnoty BSK ₅ na přítoku na filtr CHSK
A_1	Výsledná plocha filtračního pole

Výpočet plochy filtru na základě NL

$$M_{1,NC}^{OV} = 24750 \quad [g/d]$$

$$M_{1,NC}^J = 1540 \quad [g/dávku]$$

$$M_{CHSK} = 26290 \quad [g/d]$$

$$C_{1,NC} = 44,844 \quad [mg/l]$$

$$M_{1,NL} = 150 \quad [g/m^2.d]$$

$$A_1 = 175,27 \quad [m^2]$$

$$M_{1,NL}^{OV} = EO * NL \quad 5.12$$

$$C_{1,NL} = \frac{M_{1,NL}^{OV} + M_{1,NL}^J}{Q_{24} + V_j} \quad 5.13$$

$$A_1 = \frac{M_{1,NL}^{OV} + M_{1,NL}^J}{M_{1,NL}} \quad 5.14$$

$M_{1,NL}^{OV}$	Celkové množství NL odpadní vody
M_1^J	Celkové množství NL vývoz jímky
$M_{1,NL}$	Maximální přípustné hodnoty NL na přítoku na filtr na m ²
$C_{1,NL}$	Maximální přípustné hodnoty BSK ₅ na přítoku na filtr NL
A_1	Výsledná plocha filtračního pole

Výpočet plochy filtru na základě N_c

$$M_{1,NC}^{OV} = 4950 \quad [g/d]$$

$$M_{1,NC}^J = 308 \quad [g/dávku]$$

$$C_{1,NC} = 44,844 \quad [mg/l]$$

$$M_{1,NC} = 30 \quad [g/m^2.d]$$

$$A_1 = 165,00 \quad [m^2]$$

$$M_i^H = EO * NC \quad 5.15$$

$$C_{1,NC} = \frac{M_{1,NC}^{OV} + M_{1,NC}^J}{Q_{24} + V_j} \quad 5.16$$

$$A_1 = \frac{M_{1,NC}^{OV} + M_{1,NC}^J}{M_{1,NC}} \quad 5.17$$

$M_{1,NC}^{OV}$	Celkové množství NC odpadní vody
M_1^J	Celkové množství NC vývoz jímky
$M_{1,NC}$	Maximální přípustné hodnoty NC na přítoku na filtr na m^2
$C_{1,NC}$	Maximální přípustné hodnoty BSK ₅ na přítoku na filtr NC
A_1	Výsledná plocha filtračního pole

Na základě výše uvedených výpočtů byla vybrána plocha jednoho filtračního pole podle výpočtu na základě BSK₅. Výsledná plocha je $A_1 = 340 \text{ m}^2$. Pro návrh je třeba tuto plochu znásobit třikrát, protože pro funkčnost a plynulý chod prvního stupně ČOV jsou zapotřebí 3 filtrační pole. Výsledná plocha prvního stupně je tedy $A_{1c} = 1020 \text{ m}^2$.

5.2.5 Výpočet plochy filtru druhého stupně čištění

Postup výpočtu plochy druhého filtračního stupně je obdobný jako výpočet plochy prvního stupně. Plocha jednoho pole je vypočítána na základě znečištění vody přitékající z prvního stupně. Koncentrace znečištění se vypočítá dle Tab. 4. Z takto získaných hodnot se dále vypočítá plocha pole druhého filtračního stupně. Jednotlivé výpočty přináší různé výsledné plochy. Pro daný projekt se bere v úvahu největší vypočtená plocha.

Výpočet plochy filtru na základě BSK₅

BSK₅ odstraněné na 1. vertikálním filtru

$$135 \quad [\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}]$$

BSK₅ na výtoku z 1 vertikálního filtru na jeden den

$$15 \quad [\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}]$$

Objem BSK₅ na výtoku z 1. vertikálního filtru

$$5100 \quad [\text{g}/\text{d}]$$

Koncentrace BSK₅ z 1. vertikálního filtru

$$32,03 \quad [\text{mg}/\text{l}]$$

$$A_2 = 34,0 \quad [\text{m}^2]$$

$$M_{2,BSK5} = 150 \quad [\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}]$$

$$\text{Odstraněné BSK}_5 = 0,9 * M_{1,BSK5} \quad 5.18$$

$$\text{Zbytkové BSK}_5 = \text{BSK}_{5, \text{přítok}} - \text{Odstraněné BSK}_5 \quad 5.19$$

$$\text{Množství BSK}_5 \text{ na výtoku z 1. filtračního stupně} = \text{Zbytkové BSK}_5 * A_{1c} \quad 5.20$$

$$\text{Koncentrace BSK}_5 = \frac{\text{Množství BSK}_5 \text{ na výt. 1. filtr. st.}}{V_{fek} + Q_{max}} \quad 5.21$$

Výpočet plochy filtru na základě hydraulického zatížení filtru

$$A_2 = 387,07 \quad [\text{m}^2]$$

$$q = 0,37 \quad [\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}]$$

$$A_2 = \frac{Q_{max} + V_j}{q} \quad 5.22$$

A₂ Výsledná plocha filtračního pole

q hydraulické zatížení filtru

Výpočet plochy filtru na základě CHSK

CHSK odstraněné na 1. vertikálním filtru

$$280 \quad [\text{g}/\text{m}^2.\text{d}]$$

CHSK na výtoku z 1 vertikálního filtru na jeden den

$$70 \quad [\text{g}/\text{m}^2.\text{d}]$$

Objem CHSK na výtoku z 1. vertikálního filtru

$$23800 \quad [\text{g}/\text{d}]$$

Koncentrace CHSK z 1. vertikálního filtru

$$149,48 \quad [\text{mg}/\text{l}]$$

$$A_2 = 68,0 \quad [\text{m}^2]$$

$$M_{2,\text{CHSK}} = 350 \quad [\text{g}/\text{m}^2.\text{d}]$$

$$\text{Odstraněné CHSK} = 0,8 * M_{1,\text{CHSK}} \quad 5.23$$

$$\text{Zbytkové CHSK} = \text{CHSK}_{\text{přítok}} - \text{Odstraněné CHSK} \quad 5.24$$

$$\text{Množství CHSK na výtoku z 1. filtračního stupně} = \text{Zbytkové CHSK} * A_{1c} \quad 5.25$$

$$\text{Koncentrace CHSK} = \frac{\text{Množství CHSK na výt. 1. filtr. st.}}{V_{\text{fek}} + Q_{\text{max}}} \quad 5.26$$

A_2 Výsledná plocha filtračního pole

$M_{2,\text{CHSK}}$ Maximální přípustné hodnoty CHSK na přítoku na filtr na m^2

Výpočet plochy filtru na základě NL

NL odstraněné na 1. vertikálním filtru

$$135 \quad [\text{g}/\text{m}^2.\text{d}]$$

NL na výtoku z 1 vertikálního filtru na jeden den

$$15 \quad [\text{g}/\text{m}^2.\text{d}]$$

Objem NL na výtoku z 1. vertikálního filtru

$$5100 \quad [\text{g}/\text{d}]$$

Koncentrace NL z 1. vertikálního filtru

$$32,03 \quad [\text{mg}/\text{l}]$$

$$A_2 = 34,0 \quad [\text{m}^2]$$

$$M_{2,\text{NL}} = 150 \quad [\text{g}/\text{m}^2.\text{d}]$$

$$\text{Odstraněné NL} = 0,8 * M_{1,\text{NL}} \quad 5.27$$

$$\text{Zbytkové NL} = \text{NL}_{\text{přítok}} - \text{Odstraněné NL} \quad 5.28$$

$$\text{Množství NL na výtoku z 1. filtračního stupně} = \text{Zbytkové NL} * A_{1c} \quad 5.29$$

$$\text{Koncentrace NL} = \frac{\text{Množství NL na výt. 1. filtr. st.}}{V_{\text{fek}} + Q_{\text{max}}} \quad 5.30$$

A_2 Výsledná plocha filtračního pole

$M_{2,\text{NL}}$ Maximální přípustné hodnoty NL na přítoku na filtr na m^2

Výpočet plochy filtru na základě N_c

NC odstraněné na 1. vertikálním filtru

$$17,649 \quad [\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}]$$

NC na výtoku z 1 vertikálního filtru na jeden den

$$12,351 \quad [\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}]$$

Objem NC na výtoku z 1. vertikálního filtru

$$4199,261 \quad [\text{g}/\text{d}]$$

Koncentrace NC z 1. vertikálního filtru

$$26,37 \quad [\text{mg}/\text{l}]$$

$$A_2 = 140,0 \quad [\text{m}^2]$$

$$M_{2,NC} = 30 \quad [\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}]$$

$$\text{Odstraněné NC} = 0,8 * M_{1,NC} \quad 5.31$$

$$\text{Zbytkové NC} = NC_{\text{přítok}} - \text{Odstraněné NC} \quad 5.32$$

$$\text{Množství NC na výtoku z 1. filtračního stupně} = \text{Zbytkové NC} * A_{1c} \quad 5.33$$

$$\text{Koncentrace NC} = \frac{\text{Množství NC na výt. 1. filtr. st.}}{V_{fek} + Q_{max}} \quad 5.34$$

A_2 Výsledná plocha filtračního pole

$M_{2,NC}$ Maximální přípustné hodnoty NC na přítoku na filtr na m^2

Dle výpočtů je zřejmé, že nejvyšší vypočtená plocha je na základě koncentrace celkového dusíku. $A_2 = 140 \text{ m}^2$. Protože jsou ve druhém filtračním stupni zapotřebí 2 pole, je třeba získanou plochu vynásobit dvěma tak, abychom dostali výslednou plochu celého druhého stupně $A_{2,c} = 280 \text{ m}^2$.

5.2.6 Výpočet dávky odpadní vody na 1. filtrační stupeň

Přiváděnou odpadní vodu je potřeba dávkovat na filtrační pole tak, aby čištění probíhalo rovnoměrně a nedocházelo případnému zahlcení filtračního pole. Doporučené množství odpadní vody na jednu dávku by se mělo pohybovat mezi 2 až 5 cm vody. Pro výpočet jedné dávky byly brány v potaz 4 cm vody na filtru na jednu dávku. (2)

$A_1 =$	340,00	$[m^3]$	Počet dávek za den		
$h_d =$	0,04	$[m]$	$V =$	143,21	$[m^3/d]$
$V_d =$	13,60	$[m^3]$	$P_d =$	11	$[-]$
				$P_d = \frac{V}{V_d}$	5.35
	$V_d = A_1 * h_d$	$[m^3]$			5.36

- A_1 plocha 1 filtračního pole
- h_d výška hladiny při jedné dávce
- V_d objem jedné dávky

Za běžné (bezdeštné) situace je předpoklad, že na filtrační pole bude přivedeno 11 dávek odpadní vody o objemu 13,60 m³. V případě vyššího zatížení stokové sítě a tím zvětšeného množství přiváděných odpadních vod, bude zvýšen počet dávek přivedených na filtr, nikoliv objem jedné dávky, ten v každém případě zůstává stejný.

5.2.7 Výpočet dávky odpadní vody na 2. filtrační stupeň

Pro výpočet objemu dávky odpadní vody na 2. filtrační stupeň se využívá stejného principu, jako v případě prvního stupně. Změna je pouze ve výšce hladiny vody přivedené na filtr. Pro tento případ byla rovněž zvolena výška 4 cm na jednu dávku.

$A_2 =$	774,13	$[m^3]$	Počet dávek za den		
$h_d =$	0,02	$[m]$	$V =$	143,21	$[m^3/d]$
$V_d =$	15,48	$[m^3]$	$P_d =$	10	$[-]$
				$P_d = \frac{V}{V_d}$	5.37
	$V_d = A_2 * h_d$	$[m^3]$			5.38

- A_1 plocha 1 filtračního pole
- h_d výška hladiny při jedné dávce
- V_d objem jedné dávky
- V celkový objem odpadní vody za den
- P_d počet dávek za den

Za běžné (bezdeštné) situace je předpoklad, že na filtrační pole bude přivedeno 13 dávek odpadní vody o objemu 11,20 m³. Není zde předpoklad nutnosti zvýšení počtu dávek vody. V případě nutnosti může být počet dávek navýšen, opět však o stejném objemu.

6 Provoz a údržba

6.1 Uvedení do provozu

Z počátku uvedení ČOV do provozu bude zásadní dobrý růst rákosí. Ten napomáhá udržení plynulé infiltrace vody a pasivnímu provzdušňování filtru. Krom rutinních úkonů spojených s údržbou chodu ČOV bude rovněž velice důležitá péče o filtrační lože a vegetaci na něm. Jedná se především o zamezování růstu plevele mezi osazenými rostlinami, který by bránil růstu rákosu, který je pro správnou funkčnost filtru zásadní. (2)

Dalším možným problémem na počátku provozu může být nízké, či nerovnoměrné hydraulické zatížení filtru. To by mělo za příčinu infiltraci vody pouze v místech výústí potrubí. Tím by mohlo být způsobené přesycení rákosí, které může vést ke špatnému růstu, či úhynu. Na druhou stranu je potřeba se vyvarovat i příliš velkým dávkám vody na filtrech. V tomto případě by docházelo k úplnému zaplavení dosud malých rostlin rákosu. Kromě zaplavení by hrozilo kompletní zanešení rostlin organickou hmotou. (2)

6.2 Běžná údržba

Je doporučováno, aby správce ČOV navštěvovala areál alespoň dvakrát do týdne. Během obhlídek areálu by měla být především zkontrolována funkce systému dávkování vody na filtr. Společně s tím bude třeba dohlížet na pravidelné střídání filtrů ve fázi funkční a vegetační (střídání filtrů po 3,5 dnech). V případě zanedbávání střídání by mohlo způsobovat přílišné zahlcení právě funkčních filtrů a neschopnost mineralizace kalu na jeho povrchu. Na druhou stranu i dlouhé odstávky jsou nepříznivé pro mikrobi ve filtračním loži. Ostatní úkony údržby bude možné provádět s větším časovým intervalem, jedná se například o sekání rákosu (1 za rok), vytrhávání plevele z filtru, kontrola výšky zmineralizovaného kalu atd. (2)

6.3 Odstranění kalu z filtračního pole

V průměru se za rok na povrchu filtru usadí 2 až 3 cm zmineralizovaného kalu. Je doporučeno celou vrstvu odstraňovat až ve chvíli, kdy vrstva dosahuje výšky okolo 20 cm. Jednoduchým výpočtem lze odvodit, že kalová vrstva se bude odjímat zhruba jednou za 10 až 15 let. V případě, že by byla markantně překročena výška usazené vrstvy, docházelo by k omezení přístupu kyslíku do filtru. Jak bylo řečeno výše, odstraněná vrstva kalu může být dále využívána např. ke kompostování. (2)

7 Závěr

Předmětem diplomové práce bylo vytvořit projektovou dokumentaci pro spojené územní a stavební řízení. Navrhovaným objektem byla přírodní čistírna odpadních vod pro obec Hvozď. Naplánovaná ČOV se bude nacházet mimo zástavbu obce a ani svým ochranným pásmem (50 m) nebude zástavbu narušovat.

Pro danou obec byl zvolen Francouzský systém přírodní ČOV, který se především vyznačuje absencí stupně mechanického předčištění (lapák písku, usazovací nádrž atd.). Systém se bude skládat z dílčích stavebních objektů, kde budou primární první a druhé vertikální filtrační pole. V případě prvního filtračního pole bude celková plocha rozdělena na 3 pole, která se budou v pravidelných intervalech (3,5 dní) střídat v provozu. V případě druhého filtračního pole se pak bude jednat o dvě dílčí pole, která se rovněž budou střídat v provozu po 3,5 dnech. Periodičností a střídáním bude umožněno vysušení a zmineralizování kalu na prvním filtračním stupni..

Kvalita a množství vyčištěné vody bude kontrolováno na měrném objektu napojeném na drenážní potrubí druhého filtračního stupně. Následně bude voda odtékat výústním objektem do přilehlého bezejmenného potoka. Množství vypuštěných vod by neměl významně ovlivnit průtok v recipientu.

Celkově bude ČOV koncipována jako gravitační. Není tedy zapotřebí využívat například čerpací stanice, tak aby se dosáhlo požadovaného spádu při nátoku odpadní vody na filtrační pole. Tímto bude tedy chod ČOV zcela oprostěn závislosti na připojení na elektrickou síť.

8 Citovaná literatura

1. **Sládek, Ing. Roman.** *Variantní studie odkanalizování obce Hvozď.* Brno : ProVenkov, s.r.o., 2017.
2. **Gabriela Dotro, Günter Langergraber, Pascal Molle, Jaime Nivala, Jaume Puigagut, Otto Stein, Marcos von Sperling.** *Biological Wastewater Treatment Series, VOLUME SEVEN, Treatment Wetlands.* Londýn : IWA Publishing, 2017.
3. *Effect of climate, wastewater composition, loading rates, system age and design on performances of French vertical wetlands: A survey based on 169 full scale systems.* **Joëlle Paing, Aurore Guilbert, Vincent Gagnon, Florent Chazarenc.** Beaumont-la-Ronce : Jean VOISIN Company, 2014.
4. **OHÁŇKA, Tomáš.** *Dešťové nádrže na stokových sítích.* Brno, 2012. 79 s., 2 s. příl.

Legislativa

- ČSN 75 6402. Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel. Praha: Český normalizační institut, 2017.
- ČSN 75 6560. Čerpací stanice odpadních vod na kanalizační síti. Praha: Český normalizační institut, 2016.
- ČSN P ENV 1991-2-3 (73 0035). Zásady navrhování a zatížení konstrukcí. Část 2-3: Zatížení konstrukcí. Zatížení sněhem. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- 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.
- Vyhláška č. 499/2006 Sb. Vyhláška o dokumentaci staveb. Ministerstvo pro místní rozvoj, 2006.
- Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). Parlament, 2001.

9 Seznam obrázků

Obr. 1 Zájmové území Hvozď	12
Obr. 2 Geologická mapa obce Hvozď (zdroj: mapy.geology.cz	13
Obr. 3 Klimatická dle Quitta (zdroj: mapy.nature.cz)	14
Obr. 4 Toky protékajícím zájmovým územím.....	14
Obr. 5 Dopravní infrastruktura obce.....	15
Obr. 6 Schéma přírodní čistírny odpadních vod.....	17
Obr. 7 Schéma Francouzského systému (3)	19
Obr. 8 Plocha určená pro výstavbu ČOV	21
Obr. 9 Ručně stírané česle (zdroj: asio.cz)	22
Obr. 10 Pulzní vypouštěč (zdroj: asio.cz)	23
Obr. 11 Schéma 1. stupně vertikální filtrace.....	24
Obr. 12 Schéma přívodu kyslíku do filtračního pole pomocí drenážního potrubí	25
Obr. 14 Schéma 2. stupně vertikálního filtru	26
Obr. 15 Parshallův žlab (zdroj: pars-aqua.cz).....	26
Obr. 16 Půdorys česlí (zdroj: asio.cz)	31
Obr. 17 Podélný řez česlemi (zdroj: asio.cz)	31

10 Seznam tabulek

Tab. 1 Orientační hodnoty účinnosti jednotlivých typů čistírenských technologií pro malé zdroje znečištění dle ČSN 75 6402	16
Tab. 2 Materiálové složení jednotlivých vrstev.....	20
Tab. 3 Srovnání výsledků jednotlivých čistících stupňů	20
Tab. 4 Účinnosti čištění 1. a 2. stupně	27
Tab. 5 Orientační hodnoty produkce specifického znečištění na 1 EO [g/d]	27
Tab. 6 Maximální přípustné hodnoty znečištění přítékající odpadní vody	27
Tab. 7 Odhadované koncentrace znečištění jednoho fekálního vozu	28
Tab. 9 Výpočet odtokového součinitele.....	29
Tab. 8 Výpočet průtoku na ČOV za návrhového deště	29
Tab. 10 Návrh rozměrů dešťové nádrže.....	30

11 Seznam použitých zkratk

BSK ₅	Biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní
CKSK _{Cr}	Chemická spotřeba kyslíku
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČSN	Česká technická norma
EO	Ekvivalentní obyvatel
N _{celk}	Dusík celkový
NL	Nerozpuštěné látky
NV	Nařízení vlády
P _{celk}	Fosfor celkový
PČOV	Přírodní čistírna odpadních vod