# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT


# NÁVRH ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD PŘÍRODNÍHO TYPU S VYUŽITÍM INOVATIVNÍHO PRVKU PRO DISTRIBUCI VOD

THE DESIGN OF A NATURE-TYPE WASTEWATER TREATMENT PLANT USING AN INNOVATIVE FACILITY FOR WATER DISTRIBUTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS


AUTOR PRÁCE — Bc. Martin Kanta

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — doc. Ing. Michal Kriška-Dunajský, Ph.D.

SUPERVISOR



BRNO 2024

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

# Zadání diplomové práce

| | |
|---|---|
| Ústav: | Ústav vodního hospodářství krajiny |
| Student: | **Bc. Martin Kanta** |
| Vedoucí práce: | **doc. Ing. Michal Kriška-Dunajský, Ph.D.** |
| Akademický rok: | 2023/24 |
| Studijní program: | N0732A260025 Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby |

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Návrh čistírny odpadních vod přírodního typu s využitím inovativního prvku pro distribuci vod

**Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Práce bude zpracována na základě spolupráce s firmou Conwe s.r.o., která zajistí konkrétní malou obec, řešící nakládání s odpadními vodami prostřednictvím přírodní čistírny odpadních vod. Paralelní práce na vývoji nových technologických prvků/detailů, které vždy tvoří srdce čisítrny, bude do vlastního projektu zapracována tak, aby bylo možné prosadit vyvinuté detaily přímo do projektové dokumentace a následně realizace projektu ČOV.

**Cíle a výstupy diplomové práce:**

Diplomová práce se bude zaměřovat na kombinaci dvou témat/oblastí: v první části se provede návrh čistírny odpadních vod, využívající nejmodernější poznatky z oblasti přírodního čištění odpadních vod. Hlavní čistící stupeň bude řešen jako dvoustupňový vertikální filtr. Druhá část práce se zaměří na vývoj a testování nového systému nárazového vypouštění odpadních vod, umožňujícího výhodnější distribuci vody na povrch vertikálních filtrů a výhodné úspory investičních prostředků. Toto zařízení bude navrženo jako součást projektové dokumentace ve výše uvedené projekční části.

**Seznam doporučené literatury a podklady:**

ČSN 75 6402: Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel, 2017. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

- DWA, 2017: Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Kläranlagen mit bepflanzten und unbepflanzten Filtern zur Reinigung häuslichen und kommunalen Abwassers: Arbeitsblatt DWA-A 262. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. DWA-Regelwerk, A 262. ISBN 38-872-1547-8.

- ÖNORM B 2505- Kläranlagen – Intermittierend beschickte Bodenfilter („Pflanzenkläranlagen“)

- Dotro, Gabriela & Langergraber, Günter & Molle, Pascal & Nivala, Jaime & Puigagut, Jaume & Stein, Otto. (2017). Biological Wastewater Treatment Series, Volume 7: Treatment Wetlands.

- sciencedirect.com - databáze vědeckých článků, vyhledání klíčových slov "treatment wetland" v ostrovních státech, v tropickém a subtropickém klimatu, apod.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 31. 3. 2023

L. S.

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

doc. Ing. Michal Kriška-Dunajský, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

# ABSTRAKT

V souladu s aktuální legislativou má každá obec povinnost nakládat se svými odpadními vodami. Diplomová práce se zabývá inovativním řešením distribuce odpadní vody pro vertikální filtry přírodních čistíren. Přírodní čistírny mohou být vhodnou alternativou vůči klasickým obecním čistírnám. Úvod diplomové práce se zaměřuje na literární rešerši. Jsou zde popsány odpadní vody, objekty přírodních čistíren s detailnějším popisem distribuční šachty a jejího vybavení v podobě mechanických vypouštěčů. Literární rešerše je ukončena popisem materiálů potrubí používaných pro přírodní čistírny. V rámci diplomové práce se podařilo vyvinout nové zařízení jménem „Pulseswitch“. Zařízení je věnována celá kapitola, ve které je popsán vývoj zařízení, jeho popis, testování a jaké přináší výhody zařazení zařízení. Součástí práce je dokumentace územního rozhodnutí pro přírodní čistírnu v obci Olešenka s aplikací zařízení Pulseswitch.



# KLÍČOVÁ SLOVA

odpadní voda, pulzní vypouštěč, vertikální filtr, přírodní čistírna, Pulseswitch, distribuční šachta



# ABSTRACT

In accordance with current legislation, each municipality is obliged to handle its wastewater. The thesis focuses on an innovative solution for the distribution of wastewater for vertical filters in natural purification plants. Natural purification plants can be a suitable alternative to traditional municipal treatment plants. The introduction of the thesis is devoted to a literature review, where wastewater is described along with the facilities of natural purification plants, providing a detailed description of the distribution shaft and its equipment in the form of mechanical discharge devices. The literature review concludes with a description of the pipeline materials used for natural purification plants. As part of the thesis, a new device called "Pulseswitch" has been developed. An entire chapter is dedicated to the device, covering its development, description, testing, and the advantages of incorporating the device. The thesis also includes documentation of the spatial decision for the natural purification plant in the village of Olešenka with the application of the Pulseswitch device.



# KEYWORDS

wastewater, pulse discharger, vertical filter, natural treatment plant, Pulseswitch, distribution shaft

# BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KANTA, Martin. *Návrh čistírny odpadních vod přírodního typu s využitím inovativního prvku pro distribuci vod*. Brno, 2024. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí doc. Ing. Michal Kriška-Dunajský, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Návrh čistírny odpadních vod přírodního typu s využitím inovativního prvku pro distribuci vod* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2024

Bc. Martin Kanta
autor

# PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Michalu Kriškovi, Ph.D. za poskytnutou možnost se tématu věnovat a za důvěru ve mě vloženou. Děkuji firmě ConWe, s.r.o., za poskytnuté podklady nezbytné pro vypracování dokumentace a materiální podporu při vývoji funkčního vzorku nového zařízení. Dále bych chtěl poděkovat Bc. Petru Hejčovi za jeho um a ochotu při výrobě zařízení Pulseswitch. Je třeba zmínit kamarádku Markétu Blateckou, bez které bych měl studium na vysoké škole o poznání těžší. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině, za nekonečnou podporu a zázemí, které mi vytváří.

OBSAH


1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY ..... 10

2 PŘÍRODNÍ ČISTÍRNA ..... 11

2.1 Zdroje odpadních vod pro přírodní ČOV ..... 11
2.1.1 Rozbory odpadní vody ..... 12

2.2 Objekty přírodních čistíren ..... 14
2.2.1 Odlehčovací komora ..... 15
2.2.2 Česle ..... 15
2.2.3 Lapák písku ..... 15
2.2.4 Anaerobní separátor (AS) ..... 15
2.2.5 Distribuční šachta a vypouštěcí zařízení odpadní vody na filtr ..... 16
2.2.6 Zemní filtry ..... 28

2.3 Materiál potrubí na přírodní čistírně odpadních vod ..... 32
2.3.1 Polyvinylchlorid (PVC) ..... 32
2.3.2 Polyethylen (PE) ..... 33
2.3.3 Polypropylen (PP) ..... 33

3 PULSESWITCH ..... 34

3.1 Pulseswitch Princip fungování ..... 35

3.2 Pulseswitch Komponenty ..... 40

3.3 Množství vypouštěčů v jedné nádrži ..... 46

3.4 Pulseswitch Nastavení v nádrži ..... 48

3.5 Pulseswitch Vývoj ..... 49

3.6 Metodika měření ..... 50
3.6.1 První etapa měření (č.1) ..... 50
3.6.2 Druhá etapa měření (č.2) ..... 51
3.6.3 Třetí etapa měření (č.3) ..... 52
3.6.4 Čtvrtá etapa měření (č.4) ..... 55
3.6.5 Shrnutí měření ..... 56

3.7 Výhody systému ..... 56
3.7.1 Porovnání rozpočtů s a bez Pulseswitch ..... 57

4 PŘÍRODNÍ ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD OLEŠENKA ..... 60

4.1 Charakteristika zájmového území ..... 60
4.1.1 Půdní poměry ..... 60
4.1.2 Odkanalizování území obce ..... 60

4.1.3 Umístění přírodní čistírny ... 61
4.1.4 Způsob čistění odpadní vody ... 62
4.1.5 Kvalita vypouštěné odpadní vody ... 62

**4.2 Výpočty dimenzí a průtoků čistírny ... 63**
4.2.1 Počet EO ... 63
4.2.2 Objemy přitékající odpadní vody ... 64
4.2.3 Produkce specifického znečištění ... 64
4.2.4 Uvažovaná účinnost čistírny ... 65
4.2.5 Česle ... 65
4.2.6 Podélný lapák písku ... 65
4.2.7 Přečerpávací stanice ... 66
4.2.8 Anaerobní separátor ... 66
4.2.9 Vertikální filtr č.1 ... 67
4.2.10 Vertikální filtr č.2 ... 67
4.2.11 Distribuční šachty ... 68
4.2.12 Kalové pole ... 68

**4.3 Popis objektů čistírny ... 69**
4.3.1 Kanalizace ... 69
4.3.2 Česle a lapák písku ... 69
4.3.3 Čerpací šachta ... 69
4.3.4 Anaerobní separátor ... 70
4.3.5 Distribuční šachty ... 70
4.3.6 Vertikální filtry ... 71
4.3.7 Kalové pole ... 72

**5 ZÁVĚR ... 73**

**6 SEZNAM PŘÍLOH ... 75**

**7 BIBLIOGRAFIE ... 76**

**8 SEZNAM TABULEK ... 79**

**9 SEZNAM OBRÁZKŮ ... 80**

**10 SEZNAM ZKRATEK ... 82**

# 1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Každé město, obec, sídlo, či rodinný dům má dle aktuálně platné legislativy povinnost nakládat s odpadními vodami, které vyprodukuje nebo vytvoří. Možností řešení likvidace odpadních vod je celá řada, ale jen málokteré z nich se v kombinaci spolehlivosti, účinnosti, provozních nákladů a ekologičnosti, vyrovná přírodním čistírnám. Přírodní čistírna je uměle vytvořený mokřad, který využívá rostliny a mikroorganismy k přirozené filtraci odpadních vod. Tento systém napodobuje přírodní procesy, čímž čistí vodu a zlepšuje její kvalitu předtím, než je opět vypuštěna do ekosystému. Další možností čištění odpadních vod jsou mechanicko-biologické čistírny, kde je hlavním stupněm buď aktivační nádrž, nebo biofilmový reaktor.

Tématu přírodních čistíren jsem se věnoval ve své bakalářské práci a již tehdy jsem si položil otázku, zdali by se dosud používaný systém nedal ještě zlepšit. Prostor pro zlepšení jsem tehdy nalezl v samotném srdci technologického systému – v distribučních šachtách, jejichž počet přímo úměrně roste s počtem obyvatel, resp. s velikostí producenta odpadních vod. S množstvím distribučních šachet současně rostou také investiční náklady a požadavky na provoz a údržbu. Proto se nalezení cesty, jak by bylo možné optimalizovat nebo rovnou snížit počet šachet na čistírně, ukázalo jako výzvou a poměrně náročným cílem s nejasným výsledkem.

Tato diplomová práce se zaměřuje na návrh, vývoj a testování nového technologického zařízení, které splní výše vytyčený cíl – snížení množství potenciálně problematických míst v rámci přírodní čistírny odpadních vod. Současně tedy zařízení snižuje investiční náročnost.

Jestliže se návrh technického řešení povede, bude navazovat výroba prvotního funkčního vzorku. Následně, v případě dostatku času, bude zařízení instalováno na výzkumném pozemku do speciálně připravené distribuční šachty v uzavřeném hydraulickém okruhu. V rámci testovacího režimu bude posouzeno, zdali je zařízení funkční, schopné plnit funkci, případně bude na základě zjištěných výsledků doporučeno upravení prvního technického řešení.

Technické řešení bude mít i praktický dopad – v případě vhodných výsledků bude toto řešení navrženo jako součást projektu nové přírodní čistírny odpadních vod pro obec Olešenka. Součástí diplomové práce bude zpracovaná projektová dokumentace přírodní čistírny pro obec Olešenka ve stupni „dokumentace pro územní řízení“.

Vzhledem k rostoucímu významu ochrany přírody a snižování zásob kvalitní pitné vody lze předpokládat, že diplomová práce a její výsledky přispějí k efektivnějšímu, úspornějšímu a ekologicky šetrnějšímu řešení čištění odpadních vod. Snížení investiční náročnosti zajistí, aby přírodní čistírny představovaly konkurenceschopné řešení mezi technologiemi čištění odpadních vod v České republice.

# 2 PŘÍRODNÍ ČISTÍRNA

Přírodní čistírny odpadních vod jsou zařízení určené pro vyčištění odpadní vody, fungují na podobných principech, které probíhají i ve volné přírodě – tedy bez nutnosti vkladu elektrické energie do čistícího procesu. Na přírodní čistírně probíhá nejprve zachytávání největších částí znečištění na česlích, které jsou obvykle navrhovány jako ručně stírané (bez připojení na el. energii). V případě jednotné kanalizace je jako další stupeň připojen lapák písku, který se opět z důvodu eliminace elektrické energie navrhuje jako horizontálně protékaný, ručně čištěný. V rámci lapáku písku probíhá sedimentace pískových částic na základě působení gravitačních sil na minerální částice. Navazujícím stupněm je usazovací nádrž, která zachycuje částice převážně organického původu. Přírodní čistírna využívá pro zajištění vyšší účinnosti anaerobní separátor, který oproti běžným usazovacím nádržím představuje efektivnější řešení z pohledu účinnosti. Za usazovací nádrží je již systém distribučních šachtic s hlavním stupněm čištění – filtračními poli. Filtrace je možná buď v horizontálním nebo vertikálním směru, přičemž účinnější vertikální filtry se u moderních přírodních čistíren uplatňují ve dvoustupňovém zapojení.

Přírodní čistírny mohou při vhodné morfologii pozemku fungovat zcela bez elektrické energie a to gravitačně. Při vhodném návrhu jsou přírodní čistírny velmi účinné v odstraňování hodnocených látek. Jejich jednoduchost vyžaduje pouze minimální obsluhu a kontrolu systému. Nevýhoda přírodních čistíren je jejich náročnost na plochu, proto je uplatnění v České republice povětšinou pro obce do 500 ekvivalentních obyvatel (EO) a pro domovní čistírny. Přírodní čistírny začínají nabývat na popularitě i díky zdařilým realizacím, příkladem může být obecní čistírna v Hlíně, která byla oceněna stavbou roku Jihomoravského kraje pro rok 2022 a současně Vodohospodářskou stavbou roku 2022.

Existují vědecké články porovnávající negativní dopady konvenčních čistíren a přírodních čistíren odpadních vod na životní prostředí. Konvenční čistírny mají dvakrát až pětkrát vyšší dopady oproti přírodním čistírnám, a to zejména díky vysoké spotřebě elektrické energie a používání chemikálií. [1]

## 2.1 ZDROJE ODPADNÍCH VOD PRO PŘÍRODNÍ ČOV

Odpadní voda je voda, která byla využita člověkem a jeho působením došlo k zhoršení její kvality. [2] Odpadní vody se dělí na splaškové, srážkové, balastní a odpadní vody průmyslové. [3]

***Splaškové odpadní vody*** jsou vody vypuštěné do veřejné kanalizace z domů, bytů, občanské vybavenosti jako jsou školy, školky, restaurace, hotely apod. Množství splaškové vody se počítá na EO, průměrně je to 150 l/os/den, v případě splaškových vod se jejich množství přibližně rovná množství spotřebované pitné vody. [3]

***Odpadní vody srážkové*** jsou vody zachycené v intravilánu obce a odváděné jednotnou kanalizací. Množství srážkové vody závisí na velikosti odvodňovaného území, na sklonu a povrchu a zejména na intenzitě deště. Množství srážkových vod za deště mohou

několikanásobně překračovat množství splaškových vod a průmyslových vod. Kvalita srážkových vod je proměnlivá, záleží na předchozím bezdeštném období. Pokud dlouho nepršelo, v počátcích deště je voda velmi znečištěná. Dále záleží na ročním období, například v zimě může voda obsahovat velký podíl solí. Ve vodě může být i velké množství písku a dalších látek smytých z vozovky, případně z polí. [3]

***Balastní odpadní vody*** vnikají do kanalizace její netěsností, případně balastní voda může přitékat i kanalizačními poklopy. Balastní vody jsou vody přírodní, jsou tedy velmi málo znečištěné a díky tomu dochází k takzvanému nařeďování. Nařeďování může na některých typech čistíren působit provozní problémy. [3]

***Průmyslová odpadní voda*** vzniká v průmyslových podnicích. Charakter znečištěné vody záleží na druhu průmyslu a použité technologii výroby. Odpadní voda může pocházet buď přímo z výroby nebo z chlazení (ta je znečištěna pouze tepelně). Průmyslová odpadní voda je čištěna buď přímo u producenta znečištění, kde někdy stačí vodu pouze předčistit nebo je voda odváděna na čistírnu odpadních vod. [2]

***Doprava odpadní vody*** na čistírnu je uskutečněna prostřednictvím kanalizace, a to buď nejběžněji kanalizací gravitační. V místech, kde voda nemůže samospádem dotéct na čistírnu, může připadat v úvahu i kanalizace tlaková nebo podtlaková (vakuová). Kanalizace se dále dělí na:

- jednotnou – všechny odpadní vody jsou odváděny společně
- oddílnou – odvádí různé druhy odpadních vod samostatně
- splaškovou – kanalizace, která odvádí pouze splaškové vody bez vod dešťových
- dešťovou – kanalizace, která odvádí pouze dešťové vody
- průmyslovou – odvádí průmyslové odpadní vody. [4]

### *Množství odpadních vod*

Specifické množství odpadní vody je množství znečištěné vody vyprodukované jedním EO, nebo jednotkou charakterizující daný výrobní proces. [4] Pro jednoho EO je doporučeno uvažovat se specifickým množstvím vody $q_{sp}$ = 90 – 120 l/d. $q_{sp}$ se následně vynásobí s počtem EO v zájmové obci, což při výpočtu poskytne údaj $Q_{24,m}$ neboli průměrný denní přítok odpadních vod. $Q_{24,m}$ však není finální hodnota pro navrhování velikosti čistírny, nezahrnuje totiž množství balastních vod $Q_B$. Po sečtení $Q_{24,m}$ a $Q_B$ vyjde $Q_{24}$ což je základní hodnota pro návrh čistírny. [5]

## 2.1.1 Rozbory odpadní vody

Odpadní voda je podrobována rozborům, hlavními ukazateli znečištění je biologická spotřeba kyslíku za 5 dní, chemická spotřeba kyslíku stanovená dichromanem, nerozpuštěné látky, amoniakální dusík, celkový dusík a celkový fosfor. V případě potřeby mohou být vybrány k rozboru ještě další ukazatele znečištění. [4]

Při povolování vypouštění odpadních vod do vod povrchových se vychází z nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Dle Tab. 1 se stanoví ukazatele a hodnoty možného znečištění vypouštěných odpadních vod. [6]

**Tab. 1 Emisní standardy [6]**

**Tabulka 1a: Emisní standardy: přípustné hodnoty (p)[3], maximální hodnoty (m)[4] a hodnoty průměru [5] koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l**

| Kategorie ČOV (EO) [1) 7)] nebo velikost aglomerace | $CHSK_{Cr}$ | | $BSK_5$ | | NL | | $N\text{-}NH_4^+$ * | | $N_{celk}$ [2), 8)] * | | $P_{celk}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | p [3)] | m [4)] | p [3)] | m [4)] | p [3)] | m [4)] | průměr [5)] | m [4), 6)] | průměr [5)] | m [4), 6)] | průměr [5)] | m [4)] |
| < 500 | 150 | 220 | 40 | 80 | 50 | 80 | - | - | - | - | - | - |
| 500 - 2 000 | 125 | 180 | 30 | 60 | 40 | 70 | 20 | 40 | - | - | - | - |
| 2 001 – 10 000 | 120 | 170 | 25 | 50 | 30 | 60 | 15 | 30 | - | - | 3 | 8 |
| 10 001 – 100 000 | 90 | 130 | 20 | 40 | 25 | 50 | - | - | 15 | 30 | 2 | 6 |
| > 100 000 | 75 | 125 | 15 | 30 | 20 | 40 | - | - | 10 | 20 | 1 | 3 |

## *Chemická spotřeba kyslíku ($CHSK_{Cr}$)*

Mikroorganismy v odpadní vodě jsou schopny rozložit pouze snadno rozložitelné organické znečištění. Složité sloučeniny, jako je celulóza, polysacharidy atd., jsou odstraňovány pomocí kyslíku obsaženém v odpadní vodě. Pokud má čistírna vysoké koncentrace $CHSK_{Cr}$, znamená to, že čistírenský proces nebyl schopný dodat dostatečné množství kyslíku pro odstranění organických látek a tyto látky se po vypuštění do recipientu budou rozkládat a připravovat vodu o rozpuštěný kyslík. [7] Při stanovení $CHSK_{Cr}$ se koncentrace organických látek přítomných ve vodě určuje podle množství kyslíku dodaného k oxidaci organických látek za přítomnosti oxidačního činidla. Výsledek se přepočítá na kyslíkové ekvivalenty a udává se v $mg \cdot l^{-1}$. Jako oxidační činidlo je nejpoužívanější dichroman draselný. [6]

## *Biochemická spotřeba kyslíku ($BSK_5$)*

Určuje množství nebo koncentraci biologicky rozložitelného znečištění přítomného v odpadní vodě. Toto znečištění je odstranitelné pouze pomocí mikroorganismů. [7] Vyjadřuje se v $mg \cdot l^{-1}$ a je definováno jako hmotnostní koncentrace rozpuštěného kyslíku spotřebovaného za stanovených podmínek v oxickém prostředí biochemickou oxidací organických nebo anorganických látek ve vodě. Určuje se zřeďovací metodou, kdy je měřen úbytek rozpuštěného kyslíku ve vzorku vody, musí být dodrženy podmínky pro test. Doba inkubace je u $BSK_5$ zkrácená na 5 dnů. [6]

## *Nerozpuštěné látky (NL)*

NL jsou v odpadní vodě často viditelné okem. Jejich odstranění z vody je většinou prováděno mechanickou cestou, v případě přírodních čistíren je to usazování v anaerobním separátoru a filtrací skrz filtrační pole. Pokud je anaerobní separátor poddimenzovaný, případně je

zanedbaná údržba a NL se začnou dostávat na filtr čistírny, může docházet k takzvané kolmataci. NL se určují v laboratořích pomocí filtrace. [8]

### *Amoniakální dusík ($N\text{-}NH_4^+$)*

$N\text{-}NH_4^+$ je produktem rozkladu organických dusíkatých látek rostlinného a živočišného původu. Antropogenním zdrojem jsou tedy povětšinou splaškové odpadní vody, odpady ze zemědělství a kalová voda z anaerobní stabilizace čistírenských kalů. V splaškové odpadní vodě jsou zdrojem $N\text{-}NH_4^+$ především fekálie a moč. [4] Na odstranění $N\text{-}NH_4^+$ je zapotřebí velkého množství kyslíku, pokud je hlavním stupněm čištění přírodní čistírny vertikální filtr, je $N\text{-}NH_4^+$ odstraňován s velmi vysokou účinností.

### *Celkový dusík ($N_{celk}$)*

Dusík a fosfor se zařazují do skupiny nutrientů, ty jsou nezbytné pro rozvoj mikroorganismů. Mohou být buď anorganického nebo organického původu. V přírodě dusík vzniká rozkladem organických dusíkatých látek živočišného a rostlinného původu. Jedním z velkých zdrojů anorganického a organického dusíku jsou splaškové odpadní vody. Specifická produkce dusíku je přibližně 12 g na EO. Dalším významným zdrojem dusíku je zemědělství a potravinářský průmysl. Celkový dusík se zjišťuje buď sečtením dílčích forem dusíku, nebo přímým stanovením. [4]

### *Fosfor ($P_{celk}$)*

Antropogenním zdrojem anorganického fosforu mohou být některé prací, čistící, odmašťovací a mycí prostředky a některé další přípravky. Anorganický fosfor je obsažen i u fosforečných hnojiv. Zdroj organického i anorganického fosforu jsou živočišné odpady. Člověk vyprodukuje denně zhruba 1,5 g fosforu, po započítání fosforečnanů z výrobků denní potřeby je specifická produkce 2 až 3 g fosforu. Fosfor se ve vodách dělí na rozpuštěný a nerozpuštěný. [4] Fosfor se na přírodních čistírnách odstraňuje sedimentací a částečným odběrem rostlin. [7]

## 2.2 OBJEKTY PŘÍRODNÍCH ČISTÍREN

Prvním objektem přírodní čistírny je odlehčovací komora, je-li odpadní voda přiváděna jednotnou kanalizací. Odlehčovací komora chrání čistírnu od přetěžování odpadní vodou. Dalším objektem v pořadí jsou česle, které zachytávají největší pevné látky, které jsou obsaženy v přitékající vodě. Po česlích, je-li zapotřebí, následuje lapák písku pro sedimentaci štěrku a písku. Poté odpadní voda natéká do anaerobního separátoru, což je septik s optimalizovaným tokem, který má za cíl zbavit odpadní vodu nerozpuštěných látek. Dalším objektem čistírny bývá distribuční šachta, ta se přímo neúčastní čistícího procesu, ale má za cíl tlakově distribuovat odpadní vodu na filtr, který je hlavním stupněm čištění. Voda natékající na filtr protéká buď v horizontálním (dnes již méně užívaný), nebo vertikálním směru a postupným protékáním skrz filtrační materiál se zbavuje hodnocených látek. Poté může následovat další

hlavní stupeň čištění, pro zlepšení kvality vody nebo měrný objekt a výpustní objekt do vodního toku.

### 2.2.1 Odlehčovací komora

Odlehčovací komora je instalována zejména na čistírnách s jednotnou kanalizací. Při deštích přitéká z jednotné kanalizace násobně větší množství vody, než by byla čistírna schopna pojmout. Proto se před čistírny instalují odlehčovací komory.

### 2.2.2 Česle

Česle jsou na čistírny instalovány k zachycení nejhrubšího znečištění. V případě jednotné kanalizace jsou instalovány jako druhý objekt, v případě jednotné kanalizace jsou jako první objekt čištění.

Česle jsou dvojího typu. Buď ručně stírané, nebo strojně stírané. Ručně stírané česle mají nevýhodu v požadované pravidelné obsluze, pro přírodní čistírny jsou však dostačující. Za česlemi následuje anaerobní separátor, kde se nerozpuštěné látky sedimentují. [5]

Šířka průlin u ručně stíraných česlí je obvykle mezi 15–20 mm. Sklon česlí má být pod úhlem 45° ke dnu žlabu. Rychlost protékající odpadní vody nesmí překročit rychlost 1,0 m/s a zároveň by rychlost vody ve žlabu před česlemi neměla umožňovat usazování NL. [5]

### 2.2.3 Lapák písku

Umístění lapáku písku závisí na místních podmínkách. V případě oddílné kanalizace se obvykle vynechává. V případě jednotné kanalizace je lapák písku třeba zařadit do procesu čištění. [5] Přírodní čistírny se často umísťují do obcí se stávající jednotnou kanalizací, kde je lapák písku navrhován.

Lapák písku má za úkol zachytit minerální částice od velikosti 0,2 mm. Rychlost vody má být do 0,3 m/s, střední doba zdržení při maximálním průtoku musí být delší než 30 s a hydraulické zatížení plochy nemá být větší než 16 $m^3/(m^2 \cdot h)$. Akumulační prostor pro písek má mít kapacitu 10–15 dní. Je třeba, aby lapák písku měl zařízení pro těžbu písku. [5]

### 2.2.4 Anaerobní separátor (AS)

Anaerobní separátor je septik s důmyslně umístěným potrubím tak, aby došlo k maximalizaci usazování nerozpuštěných látek. Podmínky pro velikost anaerobního separátoru jsou však stejné jako u septiku. [5]

AS se zařazuje před hlavní čistící stupeň, v případě přírodních čistíren je to zemní filtr. Celkový účinný objem septiku se vyčísluje součinem součinitele vyjadřujícího kalový prostor, obvykle je hodnota $a$ = 1,5. Počtem obyvatel EO. Specifickou potřebou vody na osobu a střední dobou zdržení která je doporučena na t = 5 dnů. [5]

AS je obvykle tvořen třemi propojenými komorami, které jsou mezi sebou propojeny potrubím. [5]

### 2.2.5 Distribuční šachta a vypouštěcí zařízení odpadní vody na filtr

Popisu distribuční šachty věnuji více prostoru než ostatním objektům, jelikož distribuční šachtě a jejímu vybavení se budu detailněji věnovat v kapitole 3.

Distribuční šachta shromažďuje přitékající vodu z anaerobního separátoru nebo z předešlého filtračního stupně. Jejím úkolem je tlakově zásobovat filtrační pole. Tlakové zásobování je velmi důležité pro rovnoměrné zásobení následujícího filtru vodou. Na filtru je umístěno distribuční potrubí, ze kterého voda vytéká, pokud se voda do potrubí dostává pouze gravitačně, najde si nejsnazší cestu, odkud bude vytékat. Výsledkem pak je, že je zásobena pouze malá část filtru, razantně se pak snižuje účinnost čištění, daná část filtru je velmi přetěžovaná a může docházet i k vyplavování filtračního materiálu.

Větší přírodní čistírny mají pro jeden vertikální filtr více sektorů, na které se voda vypouští, je to z důvodu, aby nedocházelo na vzdálenějších větvích rozvodného potrubí k příliš velkým hydraulickým ztrátám. Jedna dávka by měla zásobovat vodou 50–150 $m^2$. [13] Proto je zapotřebí vybudovat více distribučních šachet pro jeden filtr. Tato diplomová práce se zabývá technickým zařízením, které umožní střídání spínání pulzních vypouštěčů. Toto řešení nabízí možnost umístit do jedné šachty více pulzních vypouštěčů a tím i ušetřit náklady spojené s výstavbou distribučních šachet, další výhodou je úspora místa a rovnoměrné rozdělení odpadní vody na celý filtr.

Pouze volný nátok vody na filtr by zapříčinil, že by voda byla na filtr nerovnoměrně rozdělena. Voda by proudila cestou nejmenšího odporu, což by způsobilo využití jenom malé části filtru a mohlo by docházet k např. vyplavování filtračního media, k přetěžování části filtru, k nedostatečnému zavlažování mokřadních rostlin na povrchu filtru. Proto se do distribučních šachet umísťují zařízení, která tomuto proudění zamezí a vypouští vodu po rovnoměrných dávkách.

Typů vypouštěcích zařízení je více druhů. Princip ale zůstává stejný. V okamžiku, kdy voda dosáhne určité úrovně, zařízení začne konat svoji činnost a objem akumulačního prostoru se začne prázdnit. Ve chvíli vyprázdnění akumulačního prostoru je ukončeno vypouštění a zařízení setrvává nečinné do chvíle, kdy se prostor dostatečně naplní vodou, aby opět vykonalo opětovné vypuštění šachty.

Jednou z možností jsou čerpadla, ty jsou výhodná zejména u domovních čistíren, kam nepřitéká tak velké množství odpadní vody a plocha filtru je malá. U obecních čistíren je užití čerpadel tlakujících potrubí na filtru nevýhodné, jelikož v potrubí dochází k velkým ztrátám z důvodu mnoha odboček a ztrátám při přechodu mezi různými profily, čerpadlo by vyžadovalo velký odběr energie a bylo by velmi zatěžované. Proto i na čistírnách, kde se voda v důsledku nevhodné morfologie musí přečerpávat, je vhodnější vystavět distribuční šachtu, do které je voda načerpána a z ní pomocí vypouštěcího zařízení voda dopravena na filtr. Příkladem může

být čistírna odpadních vod v Dražovicích, kde voda z horizontálního filtru natéká do akumulační jímky, odkud je čerpána na distribuční šachty na vertikálním filtru.

### *Distribuční box*

Patent č.: US 4838731

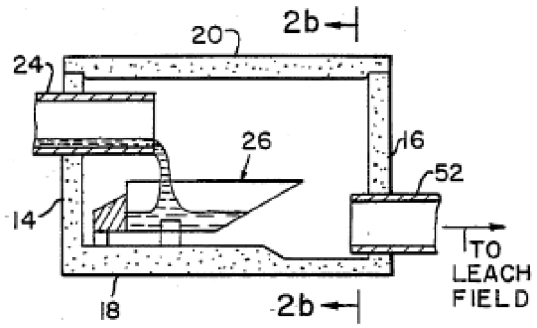
Název: Septic tank distribution box system

Autor: Norman Gavin

Rok: 1989

Zařízení sloužící zejména k rovnoměrnému rozdělení odpadní vody do vsakovacích polí. Jedná se o jednoduché zařízení, které funguje na principu překlápějícího se boxu. Voda do boxu natéká a ve chvíli, kdy voda dosáhne požadované úrovně se box překlopí a voda se z boxu vyleje. Voda je rovnoměrně rozdělena do více potrubí díky okamžité zvýšené hladině. [14]

Distribuční box na Obr. 1 by bylo možné použít pro domovní čistírny, případně pro malé obecní čistírny. Jeho nevýhodou je, že efektivně nevyužívá celý prostor šachty, ve které je umístěn a neposkytuje potřebný tlak pro rozvod vody do větších vzdáleností. Zařízení by bylo možné zkonstruovat mnohem větší, tak aby po překlopení zatopilo větší prostor, pak by ale výrobní náklady a náklady pro potřebný prostor byly enormní.




**Obr. 1 Distribuční box [14]**

### *Sklápěcí sifon s koleny*

Patent č.: EP 1524370

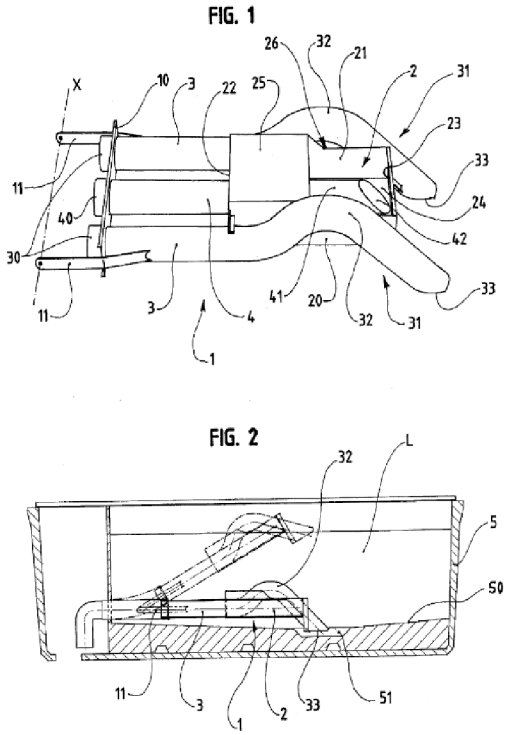
Název: Sequenced waste water feeder for use in waste water treatment plants

Autor: Bataille Remi

Rok: 2005

Zařízení z Obr. 2 funguje na principu sifonu. Zařízení stoupá s rostoucí hladinou až do určité úrovně, kdy mu je znemožněno další stoupání. V tomto bodu se plovák, který zařízení zvedal, začne plnit vodou a následně se potopí a začne odsávat vodu z šachty. Součástí zařízení jsou dvě kolena, díky kterým při prázdnění je možno vypustit celý objem šachty. [15] Zařízením z Obr. 2 lze dávkovat vodu na tři sektory filtru.

Nevýhodu toho zařízení vidím v jeho velikosti, nutnosti vypouštět vodu minimálně na dva filtry a použití nerezové oceli k výrobě zařízení, sklápěcí sifon ale působí robustně a trvanlivě.




**Obr. 2 Sifon s koleny, horní obrázek. 3D nákres, spodní obrázek řez [15]**

## *Dvojitý sifon*

Patent č.: FR 833894

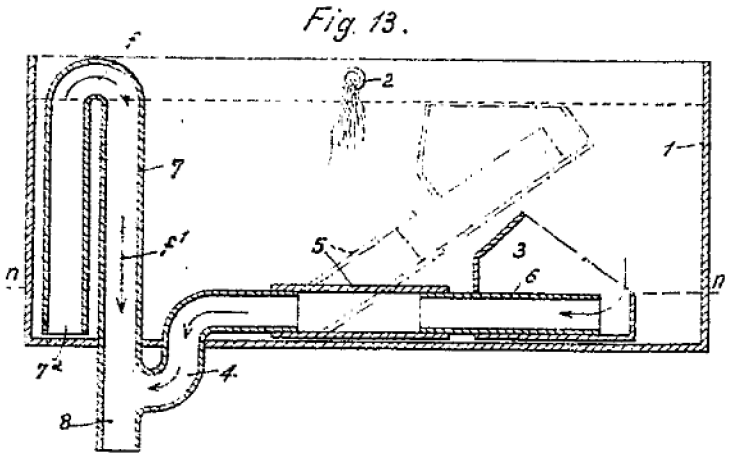
Název: Dispositif amorceur pour réservoirs de chasse d'eau automatique, et autres applications

Přihlašovatel: BETONS CIMENFER DE MONTEREAU

Rok: 1938

Zařízení na Obr. 3 funguje na principu dvojitého sifonu. Stejně jako u předchozího zařízení plovák stoupá s rostoucí hladinou a v bodě, kdy už nemůže zařízení dál s vodou stoupat, se začne plovák plnit vodou, následně sifon klesne do spodní polohy a voda se začne prázdnit odtokovým potrubím. Odtokové potrubí je napojeno na druhý sifon, který díky podtlaku vytvořeným odtékající vodou z prvního sifonu nasaje vodu druhým sifonem, a i ten začne nádrž prázdnit. Toto uspořádání zajišťuje kompletní vyprázdnění nádrže. [16]

Zařízení je nápadité, ale prvek druhého sifonu je z mého pohledu při použití na přírodních čistírnách navíc. Ve většině případů není nutné distribuční šachtu plně vyprázdnit. Nevýhoda oproti Sklápěcí sifon s koleny je v možnosti připojení pouze jednoho odtokovém potrubí na filtr.




**Obr. 3 Řez dojitým sifonem [16]**

## *Flout*

Patent č.: US 5290434A

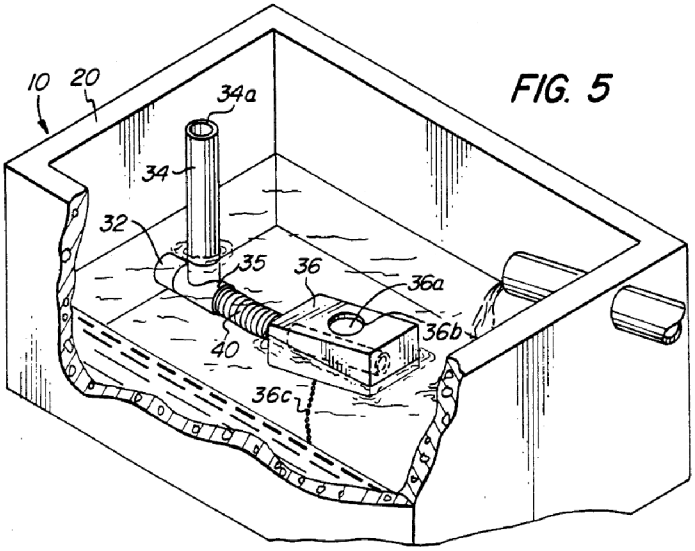
Název: Effluent dosing septic system

Průvodce: James Richard

Rok: 1984

Flout je pulzní vypouštěč, vyrobený z plastu a s přidaným závažím. Princip fungování je obdobný jako dva výše popsané vypouštěče. Voda plní nádrž, flout stoupá s hladinou, jakmile dosáhne hladina určité úrovně, začne se plovák (box) vypouštěče plnit, jakmile voda dostatečně naplní box vodou, začne Flout klesat ke dnu a prázdnit nádrž. Flout lze použít pro více odtoků, viz Obr. 5. [17]

Jeho výhodou oproti předchozím dvěma systémům vidím v použitých materiálech, Flout bude pravděpodobně levnější na výrobu a manipulace s ním bude snadnější kvůli pravděpodobné mnohem nižší váze. Nevýhodou je, že nedokáže nádrž zcela vyprázdnit.




**Obr. 4 Flout [17]**

**Obr. 5 Sériově zapojení MultiFlout [18]**

## *Flout s překlopnou vaničkou*

Toto zařízení umožňuje střídání sepnutí vypouštěčů. Díky ocelové vaničce, která se po každém vypuštění překlopí na druhou stranu, je docíleno toho, že vždy sepne jiný vypouštěč. Vypouštěč, který spíná, se opře o vaničku a díky tomu je o něco níž než vypouštěč druhý, proto se začne dřív plnit vodou. Vanička je uprostřed rozdělena přepážkou, natékající voda vyplní nejdříve prostor spodní části vaničky, poté naplní horní část vaničky. Jeden vypouštěč vypustí šachtu, voda se ze spodní části vaničky vyleje, ale v horní části vaničky zůstane. V tu chvíli je vanička nevyvážená a překlopí se na druhou stranu. Při opětovném plnění sepne druhý vypouštěč a proces se opakuje. [19]

Toto řešení je velmi výhodné, jelikož je potřeba polovičního objemu distribuční šachty. Šetří se tím prostor i finance na větší šachtu.

**Obr. 6 Flout s překlopnou vaničkou [19]**

### *CueBox*

Patent č.: US 2011030814A1

Název: SEQUENCER ASSEMBLY, SYSTEM AND METHOD

Průvodce: James Richard

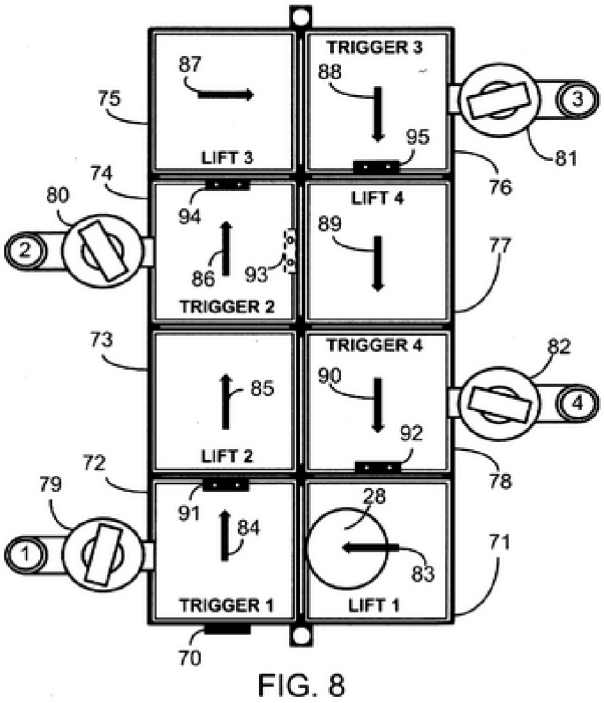
Rok: 2011

Zařízení CueBox z Obr. 7 umožňuje střídání dvou a více vypouštěčů typu Flout. Každý Flout má k sobě připojené spouštěcí potrubí, ve kterém se přelévá tekutina a díky ní je docíleno střídání vypouštěčů. CueBox je rozdělen do čtvercových sekcí. Pro jedno spouštěcí potrubí (jeden Flout) jsou dvě sekce, jedna sekce je zvedací a druhá sekce spouštěcí, spouštěcí plovák má na sobě zarážku, aby byla koule schopna dostat se do další sekce. V sekcích jsou umístěny plováky s nakloněnými vrcholy, aby boulingová koule, která se mezi sekcemi pohybuje ve vymezených drahách, byla vždy v požadovaném místě. Stěny sekcí mezi sebou mají otvory, skrz které se koule valí. [20]

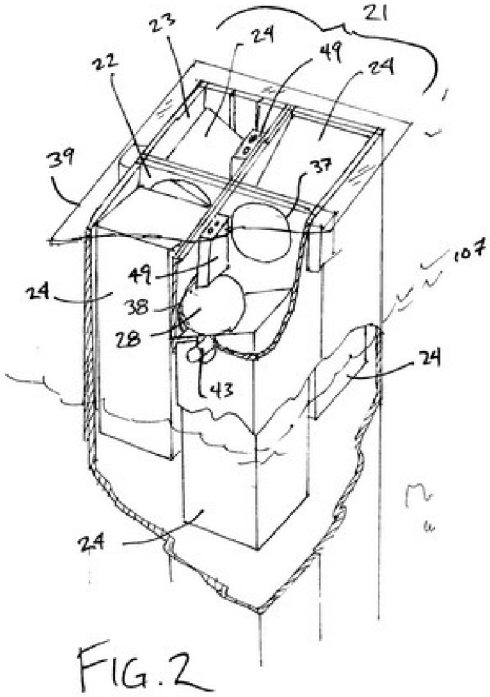
**Obr. 7 CueBox a připojené vypouštěče Flout [21]**

Fáze napouštění: Koule se nachází ve spouštěcí sekci, svojí váhou plní spouštěcí potrubí. Voda plní šachtu, vypouštěče se zvedají. Díky boulingové kouli a více naplněnému spouštěcímu potrubí je jeden z vypouštěčů těžší a sepne dřív než ostatní. Voda se skrz tento vypouštěč začne prázdnit a plováky v sekcích začínají klesat. Boulingová koule se skrz otvor převalí do zvedací sekce. Jakmile je voda v šachtě vyprázdněna, začne se opět plnit vodou a zvedací sekce zvedá kouli a přemísťuje ji do další spouštěcí sekce, kde se proces opakuje a koule neustále cestuje mezi sekcemi a střídá spínané vypouštěče. CueBox může spínat dva a více vypouštěčů. Záleží na počtu sekcí. [20]

Výhoda tohoto systému je v možnosti použití libovolného množství vypouštěčů Flout pro jednu nádrž, jelikož se vypouštěče střídají, bude objem nádrže mnohem menší. Nevýhoda systému se může zdát ve velkém množství komponentů a v případě vzniku problémů může být nesnadné odhalit, kde je chyba.




**Obr. 8 Schéma CueBoxu a jeho buněk [20]**




**Obr. 9 Řez Cueboxem, koule ve spouštěcí buňce [20]**

### *Automatický sifon*

Patent č.: US 710703A

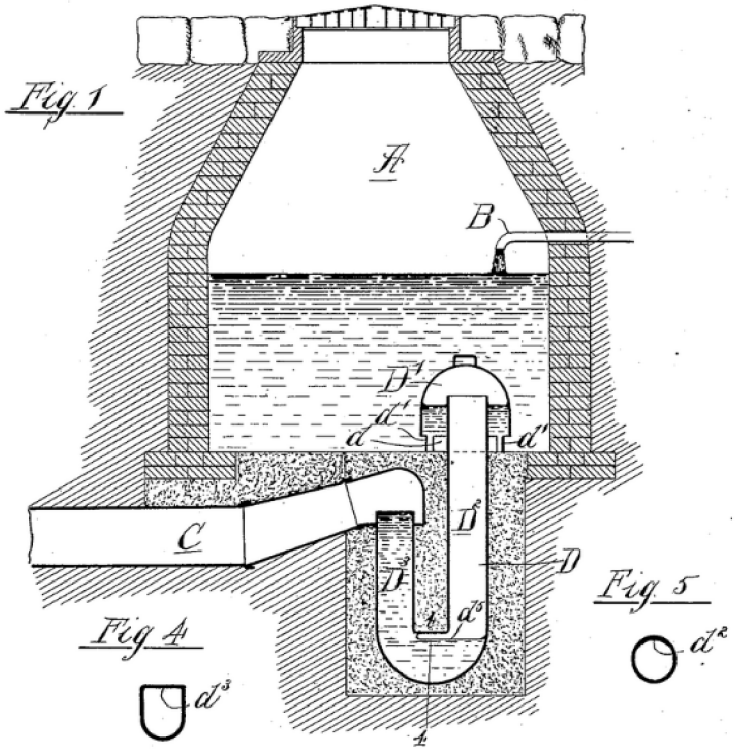
Název: AUTOMATIC SIPHON

Průvodce: MILLER SIDNEY W

Rok: 1902

Automatický sifon se skládá z několika nezbytných komponentů. Prvním z nich je zahnuté potrubí, které vzduchotěsně utěsňuje z jedné strany systém. Dalším komponentem je zvon, který vzduchotěsně utěsňuje konec druhý. [22]

Voda natéká do šachty, zvon je potopený. Jak voda stoupá vytváří na zvon větší a větší tlak, to způsobuje, že je vzduch pod zvonem stlačován a vytlačuje vodu v zahnutém potrubí. Ve chvíli, kdy voda v zahnutém potrubí je téměř vytlačena a vzduch začne ze systému unikat, sníží se tlak a ten již není schopen zadržovat vodu a voda se skrz zvon začne prázdnit. Jakmile voda poklesne na určitou úroveň, zvon přisaje vzduch, přitékající voda znemožní dalšímu přístupu vzduchu pod zvon a proces se opakuje. [22]




**Obr. 10 Automatický sifon [22]**

Toto zařízení a jeho další modifikace je v Americe poměrně populární způsob vypouštění odpadní vody. Jeho nevýhodou je, že musí mít zahnuté potrubí, které je častokrát umístěno pod šachtou, tudíž jsou větší požadavky na stavební činnosti.

### *Trojitý sifon*

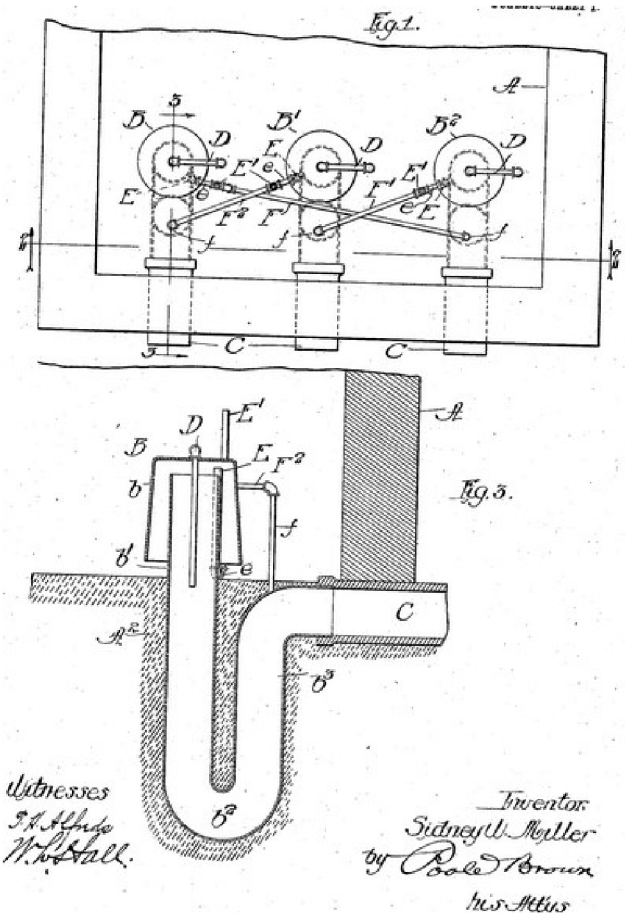
Patent č.: US 847592A

Název: TRIPLE ALTERNATING SIPHON

Průvodce: MILLER SIDNEY W

Rok: 1907

Tento systém funguje tak, že sifony jsou navzájem propojeny systémem potrubí, jeden sifon má vždy nižší hladinu vody v zahnutém potrubí. Sifon s nejnižší hladinou neodolává takovému tlaku vody jako ostatní sifony, proto také spíná. Potrubím si sifony vyměňují mezi sebou vodu a díky tomu je zaručeno střídání spínaného sifonu. [23]




**Obr. 11 Trojitý sifon [23]**

Nutno podotknout, že tento systém je velmi komplikovaný a nejspíše se nepoužívá. Nepodařilo se mi dohledat žádnou instalaci.

### *Pulzní vypouštěče*

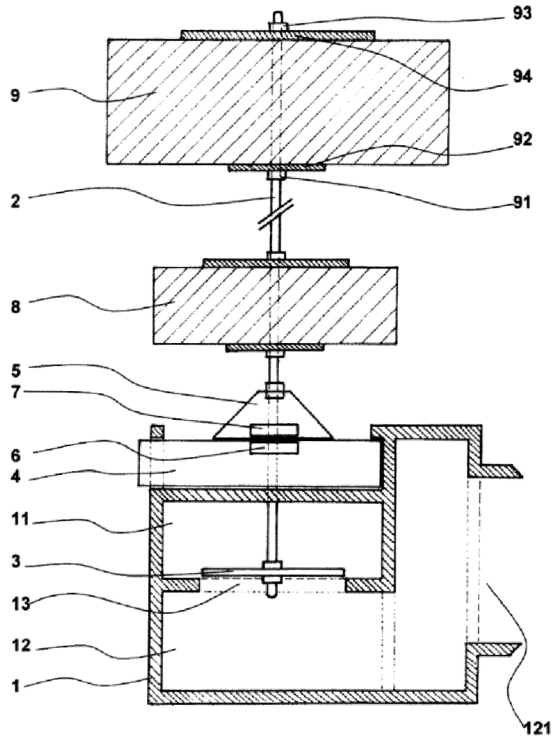
| | |
|---|---|
| Číslo přihlášky: | 2015-30811 |
| Název: | Zařízení pro automatické rázové vypouštění kapaliny |
| Průvodce: | Ing. Michal Kriška Dunajský, Ph.D. |
| Rok: | 2015 |

| | |
|---|---|
| Číslo přihlášky: | 2017-33547 |
| Název: | Zařízení pro automatické rázové vypouštění kapaliny |
| Průvodce: | Ing. Michal Kriška Dunajský, Ph.D., ing. Miroslava Pumprlová Němcová |
| Rok: | 2017 |

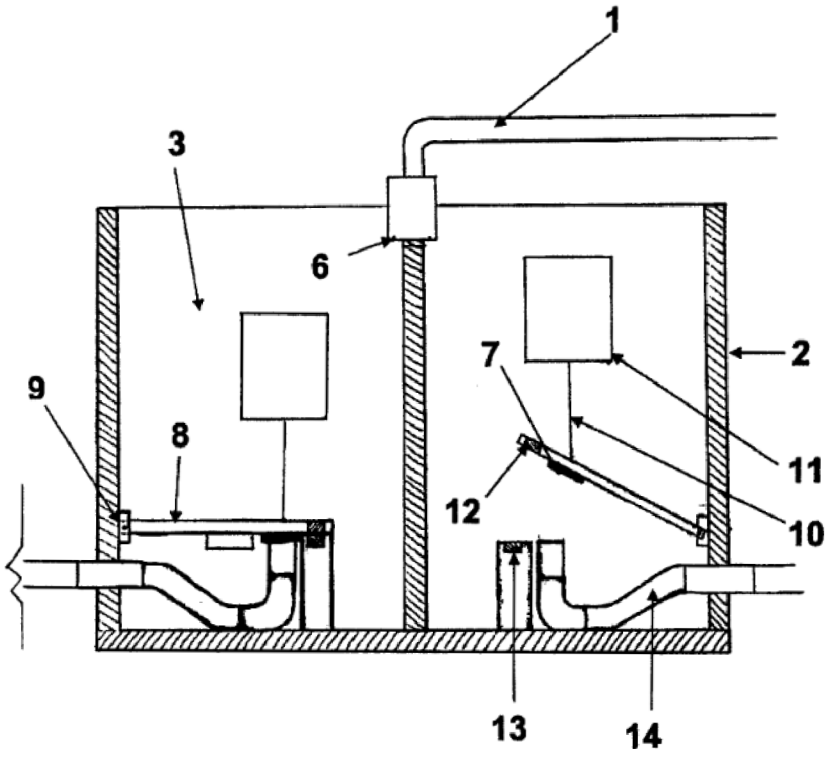
Tyto vypouštěče vyvinul doc. Ing. Michal Kriška-Dunajský Ph.D., modifikací je několik, princip těchto zařízení je ale podobný. Základními komponenty zařízení je odtokové potrubí, zpětná klapka, která zabraňuje vypouštěné vodě volně odtékat, dva magnety, které udržují zpětnou klapku uzavřenou do té doby, dokud jejich síla není překonána. Posledním nezbytným komponentem je plovák, který díky vztlakové síle překoná sílu magnetů a zahájí vypouštění odpadní vody na filtr.

Princip fungování těchto vypouštěčů je následující. Zpětná klapka zabraňuje díky dvěma silným magnetům v odtoku vody z šachty. Voda se v šachtě plní až do momentu, kdy vztlaková síla plováků překoná sílu, která vzniká mezi magnety. Ve chvíli, kdy se magnety oddálí, je uvolněna zpětná klapka a je zahájeno vypouštění. Součástí zařízení bývá ještě plovák malý, který je umístěn co možná nejníže. Jeho úlohou je držet magnety od sebe co nejdelší dobu, aby bylo z šachty vypuštěno co nejvíce vody. Jakmile se magnety k sobě přiblíží na vzdálenost, kdy jsou schopny překonat sílu malého plováku, dojde k uzavření zpětné klapky a voda se opět začne v šachtě plnit a proces se opakuje. [24]

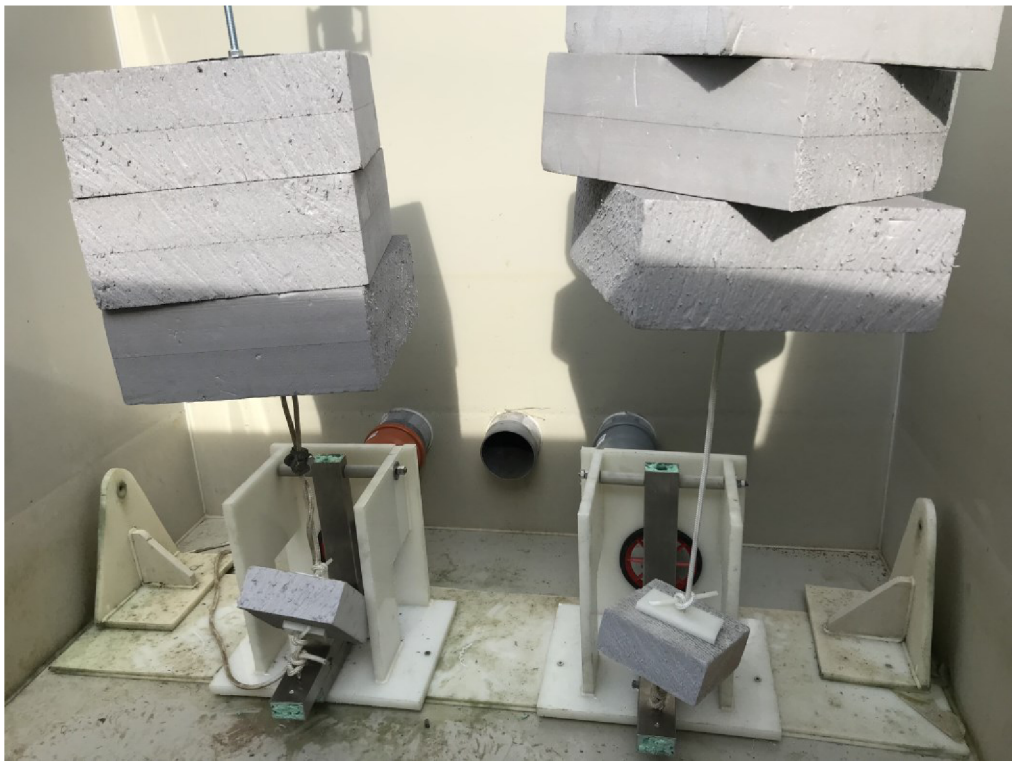
Na Obr. 12 je první pulzní vypouštěč opatřený ochrannou známkou, na Obr. 13 je druhé zařízení opatřené ochrannou známkou. V současné době je používaný vypouštěč CW-PULZ z Obr. 14, ke kterému se došlo postupným vývojem a testováním doc. Kriškou.




**Obr. 12 Pulzní vypouštěč na tyči [24]**




**Obr. 13 Zařízení pro distribuci vody [25]**



**Obr. 14 Pulzní vypouštěče CW-PULZ, aktuálně používané zařízení**

### 2.2.6 Zemní filtry

Zemní filtry jsou základním prvkem přírodních čistíren. Jsou imitací přirozených mokřadů a při správném návrhu mají skvělé výsledky v čištění odpadní vody. Přestože jsou ekologicky velmi šetrné, jejich požadavky na plochu často mohou být omezujícím faktorem jejich nasazení v praxi. Pro vertikální filtry je v chladných oblastech třeba záboru 3 až 4 $m^2$ na EO, v teplých oblastech je jejich náročnost na plochu 1 až 2 $m^2$ na obyvatele. Ostatní systémy čištění, jako jsou mechanicko-biologické čistírny odpadních vod, mají požadavky na plochu od 0,2 až 0,7 $m^2$ na obyvatele. [26]

Zemní filtry jsou na přírodních čistírnách brány jako hlavní stupeň čištění odpadní vody, existuje více systémů a modifikací.

Filtry jsou mělké nádrže, které jsou naplněné filtračním materiálem různých frakcí a osázené mokřadními rostlinami. Filtry jsou od podloží odizolované. [5] Izolace se provádí pomocí nepropustných fólií, které jsou chráněné z obou stran geotextilií.

#### *Horizontální filtr*

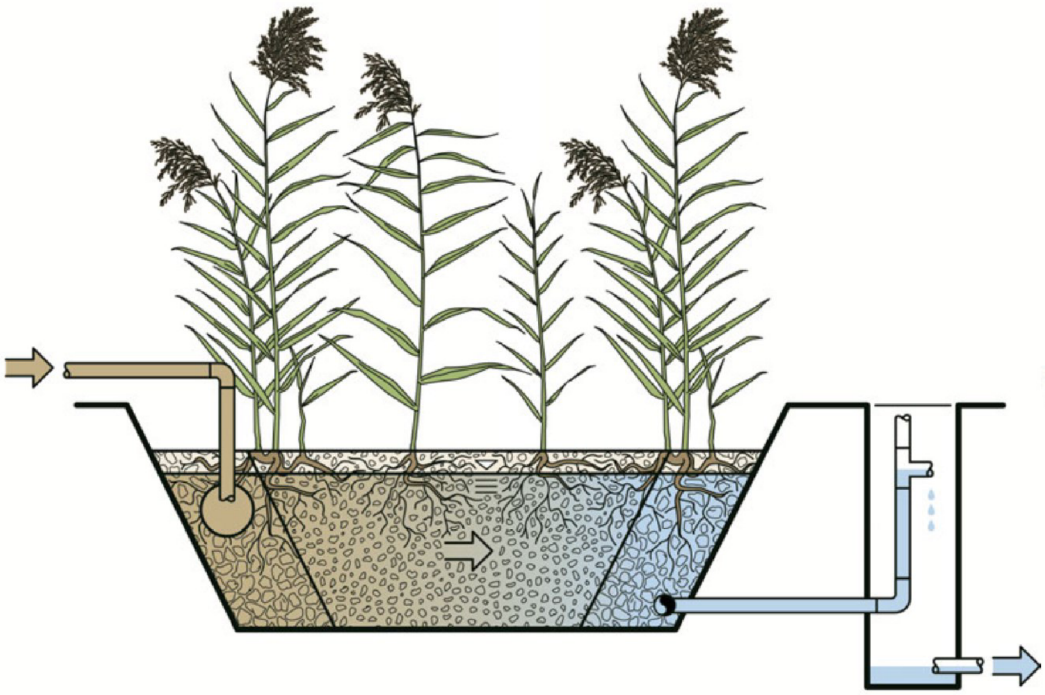
Horizontální filtry vznikly v Německu koncem 60. let 20. století. [27] Na našem území probíhaly první experimenty od roku 1988. [28] Horizontální filtr je používán jako sekundární, či terciální čištění. Je obvykle zařazen za anaerobním separátorem, či Imhoffovou (štěrbinovou) nádrží. [27]

Jak už název napovídá, horizontální filtry jsou protékány v horizontálním směru skrz porézní materiál. Jako materiál je obvykle používán štěrk. Voda vtéká do horizontálního filtru v jednom místě, následně pomalu protéká skrz a je shromažďována na druhém konci filtru. Filtr je osázen mokřadními rostlinami, nejčastěji rákosem obecným. [27]

Nejzávažnějším problémem horizontálních filtrů je postupné ucpávání, to je obvykle způsobeno nadměrným množství organických nebo pevných látek. Tento jev se obvykle vyskytuje v případech, kdy je zanedbaná údržba anaerobního separátoru, nebo špatně dimenzovaný horizontální filtr. Ucpaný filtr se projevuje prouděním na povrchu filtru. [27]

Horizontální filtry jsou velmi účinné v odstraňování $BSK_5$, CHSK a nerozpuštěných látek (NL) s účinností nad 90 %. Účinnost odstraňování amoniakálního dusíku a fosforu je lehce přes 40 %. [28] Horizontální filtry pracují v anaerobním prostředí a postupným rozkladem organických látek ve filtru může docházet ke vzniku metanu a amoniakálního dusíku. Tudíž může nastat situace, kdy koncentrace amoniaku je na odtoku z horizontálního filtru vyšší než na přítoku. [7]

Horizontální filtry jsou v dnešní době na ústupu a jsou nahrazovány vertikálními filtry, případně hybridními systémy. [28]



**Obr. 15 Schéma řezu horizontálního filtru [27]**

### *Vertikální filtr*

Vertikální filtr je protékaný ve vertikálním směru. Vertikální filtr je někdy kombinován s jinými způsoby čištění, ve Francii je například populární kombinace francouzského vertikálního filtru, který nevyžaduje anaerobní separátor a za ním se umísťuje klasický vertikální filtr. [27] V České republice se před vertikální filtr často umísťoval horizontální filtr. V současné době je u nás upřednostňován systém dvou vertikálních filtrů řazených sériově.

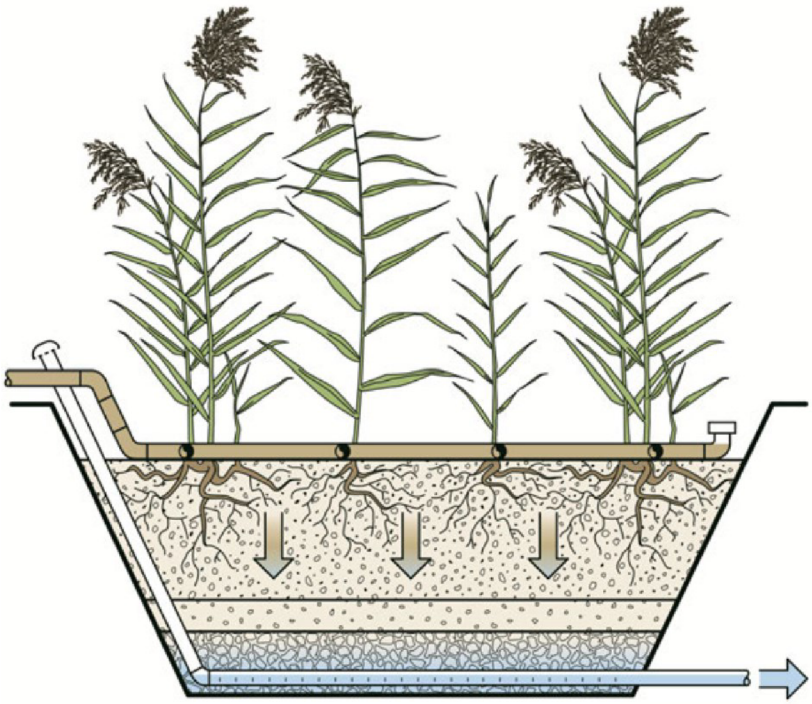
Vertikální filtr je skrápěn dávkově z důvodu rovnoměrného rozložení dávky po celém vertikálním filtru. Následně je voda filtrována skrz souvrství štěrku a písku. Čím je materiál jemnější, tím se zvyšuje účinnost čištění, ale na druhou stranu je materiál náchylnější k zanášení a ucpávání. V nejspodnější drenážní vrstvě tvořené štěrkem a drenážním potrubím je voda zachycována a odváděna mimo filtr. Povrch filtru je osázen mokřadními rostlinami, nejčastěji rákosem obecným. Rostliny na povrchu chrání rozvodné potrubí a z části se podílí na čistícím procesu. [27]

Vertikální filtry jsou velmi účinné v odstraňování $BSK_5$ a CHSK, díky oxickému prostředí jsou účinné i v odstraňování amoniakálního dusíku. Nerozpuštěné látky jsou odstraňovány pomocí filtrace skrz souvrství. [27]

Hlavním problémem, který může nastat na vertikálním filtru, je jeho zanášení díky nedostatečnému předčištění. [27]

**Tab. 2 Složení vrstev vertikálního filtru [5]**

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

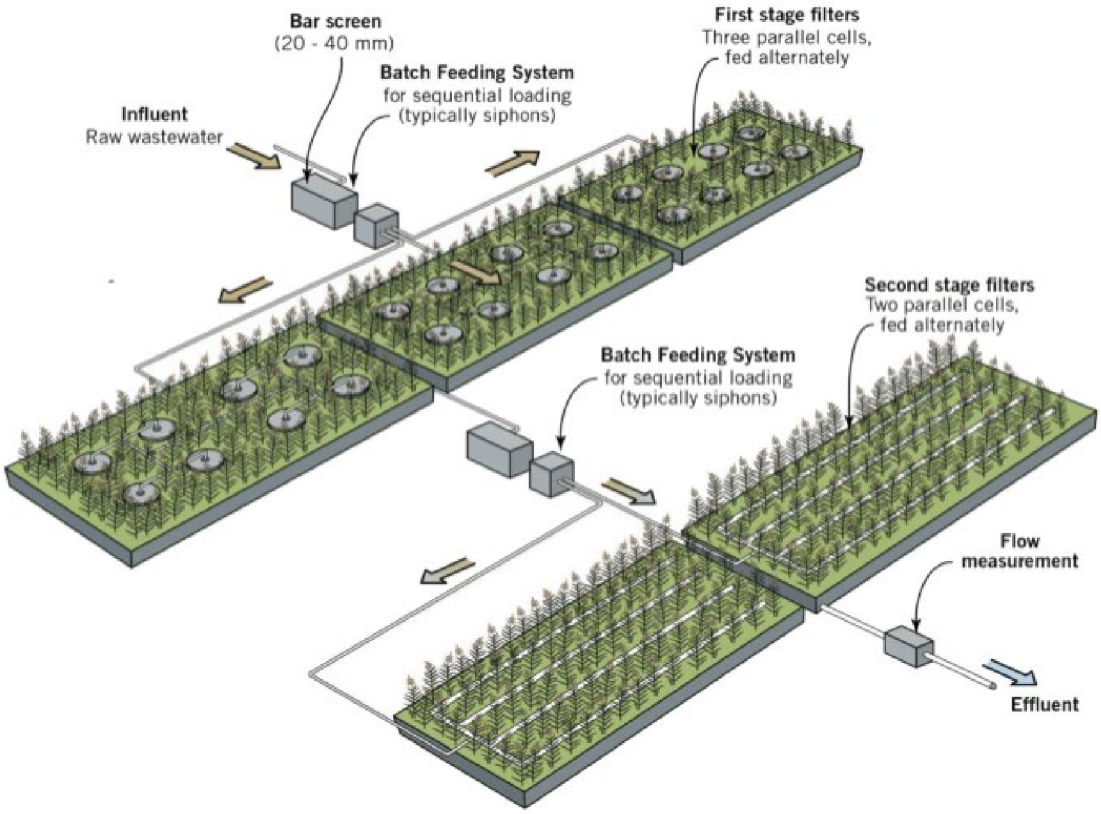


**Obr. 16 Vertikální filtr [27]**

### *Francouzský vertikální filtr*

Francouzský systém má tři paralelní francouzské filtry a za nimi dva klasické vertikální, vždy se plní jen jeden z francouzských filtrů. Francouzský systém je specifický tím, že nepotřebuje předčištění v podobě anaerobního separátoru. Přitékající voda na čistírnu by měla projít česlemi o velikosti 20 až 40 mm. Následně je voda vypouštěna na vertikální filtr, kde se kal usazuje na povrchu a voda proudí skrz souvrství do drenážní vrstvy. Odkud je voda přiváděna na vertikální filtr klasický, kde je voda dočištěna. Velkou výhodou tohoto systému je jeho jednoduchost. [27]

Provoz francouzského filtru je na 10–15 let. Ročně se při správném návrhu velikosti na povrchu filtru usadí vrstva zhruba 2 cm kalu. Velmi důležitou roli filtru zastává rákos obecný. Vrstva kalu se na filtru zvyšuje a nebýt rákosu, by došlo k ucpání. Rákos se díky větru pohybuje, čímž vytváří malé otvory u stonku a zachovává infiltrační kapacitu filtru, navíc je filtr díky rostlinám provzdušňován. [27]




**Obr. 17 Francouzský systém [27]**

## 2.3 MATERIÁL POTRUBÍ NA PŘÍRODNÍ ČISTÍRNĚ ODPADNÍCH VOD

Potrubí na čistírně odpadních vod je jednou z nejdůležitějších komponent, bez které by nebylo možné fungování čistírny. Potrubí se používá pro přivádění odpadní vody na čistírnu, převádí čištěnou vodu mezi objekty, je umístěno v anaerobním separátoru pro intenzifikaci jeho fungování, rozvádí vodu po filtrech, zachytává vodu na dně filtrů a odvádí přečištěnou vodu z čistírny pryč. Materiály potrubí je třeba dobře znát, aby při návrhu čistírny nedocházelo k chybným návrhům materiálu.

### 2.3.1 Polyvinylchlorid (PVC)

PVC je odolný plast s jedinečnými vlastnostmi, mezi které patří bezpečnost, odolnost, hospodárnost, recyklovatelnost. Předpokládaná životnost PVC je 100 a více let [9]. PVC bez přísad a příměsí má největší krátkodobou a dlouhodobou pevnost, označuje se jako PVC-U.

Vlastnosti PVC lze upravit přidáním přísad, aby dosáhlo větší tuhosti nebo aby bylo méně tuhé, ale houževnatější proti rázům či zvýšení tepelné odolnosti. [10].

PVC je náchylné k degradaci vlivem povětrnostních vlivů a slunečního záření. Do PVC se z toho důvodu přidávají inhibitory a reflektory, které přispívají k odolnosti vůči těmto vlivům. Degradace PVC má vliv na jeho mechanické vlastnosti, degradované potrubí vlivem změn počasí se pozná změnou barvy. V případě, že je potrubí uloženo do země, je velmi odolné a neztrácí své vlastnosti. PVC může reagovat s různými látkami a tím ztrácet své vlastnosti. V případě potřeby spojení dvou kusů PVC, se využívá speciálních lepidel [10]. Potrubí využívané k odvádění odpadní vody je spojováno hrdlem.

PVC je na přírodních čistírnách užíváno zejména k vedení čištěné vody v terénu. Dále se využívá na drenážní potrubí, může být použito i na revizní šachty.

### 2.3.2 Polyethylen (PE)

PE je nejrozšířenějším užívaným typem plastu. Jeho stavebními prvky jsou uhlík a vodík. Má skvělé mechanické vlastnosti, houževnatost, chemickou odolnost, odolnost vůči teplu a odolnost vůči vnějším vlivům. Může být bez další ochrany vystaven povětrnostním vlivům, používá se k rozvodům chemikálií, rozvodu vody a plynu, chladících médií atd. [11]

PE se spojuje tvarovkami, elektrotvarovkami, svařováním. [11]

Na přírodních čistírnách se používá zejména k čerpání vody. Na domovních čistírnách je používáno jako rozvodné potrubí na povrchu filtru. Z PE jsou vyráběny nádrže.

### 2.3.3 Polypropylen (PP)

PP je termoplast, je klíčovým materiálem pro trubní rozvody díky jeho mechanické, chemické a tepelné odolnosti. Není odolný vůči UV záření a oxidačním činidlům. Jeho velkou výhodou je jeho skvělá svařitelnost. [12]

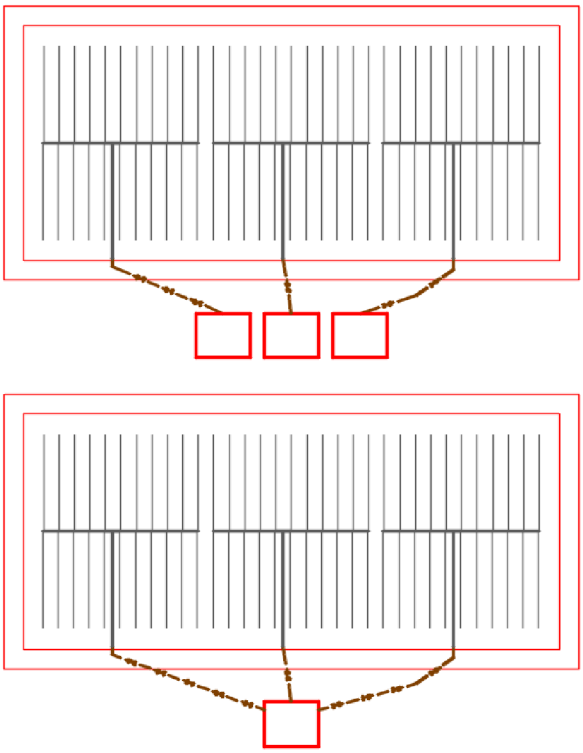
PP se používá na přírodních čistírnách v anaerobních separátorech k usměrnění proudu, PP potrubí je přivařováno k pulzním vypouštěčům, využívá se k trubnímu vedení na povrchu vertikálních filtrů.

# 3 PULSESWITCH

I když jsou přírodní čistírny poměrně jednoduchým systémem pro čištění odpadní vody, existuje v oblasti distribuce odpadní vody na filtr stále prostor pro zlepšení. Jedním z cílů diplomové práce bylo sestrojení technického zařízení, které sníží investiční náklady přírodní čistírny a zároveň povede k jejímu jednoduššímu provozování, respektive ke zvýšení spolehlivosti systému.

Prvním úskalím současného systému distribuce odpadní vody na filtr je potřeba zajistit rovnoměrné rozdělení vody mezi jednotlivými distribučními šachtami. Přitékající voda k distribučním šachtám je přivedena většinou v jednom potrubí a tuto vodu je potřeba rovnoměrně rozdělit mezi několik šachet. Tento úkol je poměrně problematický. Existují některá stávající řešení, jako jsou překlápěcí mechanismy nebo nátoky odpadní vody rozdělovacími otvory. Tyto metody nicméně často narážejí na technické a údržbové problémy, což vede ke zvýšeným nákladům a potížím při správě systému. Mezi problémy může patřit ucpávání rozdělovacích otvorů, špatné vyvážení překlápěcího mechanismu a jeho následné nesprávné fungování. Zaseknutí překlápěcího mechanismu ať už kvůli zatuhnutí v otáčecích čepech, či z jiného důvodu. Zásadní nevýhodou současného řešení je vyšší počet distribučních nádrží. Každá nádrž navíc zvyšuje pořizovací náklady čistírny.

Popsaný problém s vyšším počtem distribučních šachet řeší vyvíjené zařízení, nazvané jako „Pulseswitch“, které přináší inovativní přístup ke správě distribuce a řeší výše popsané problémy.



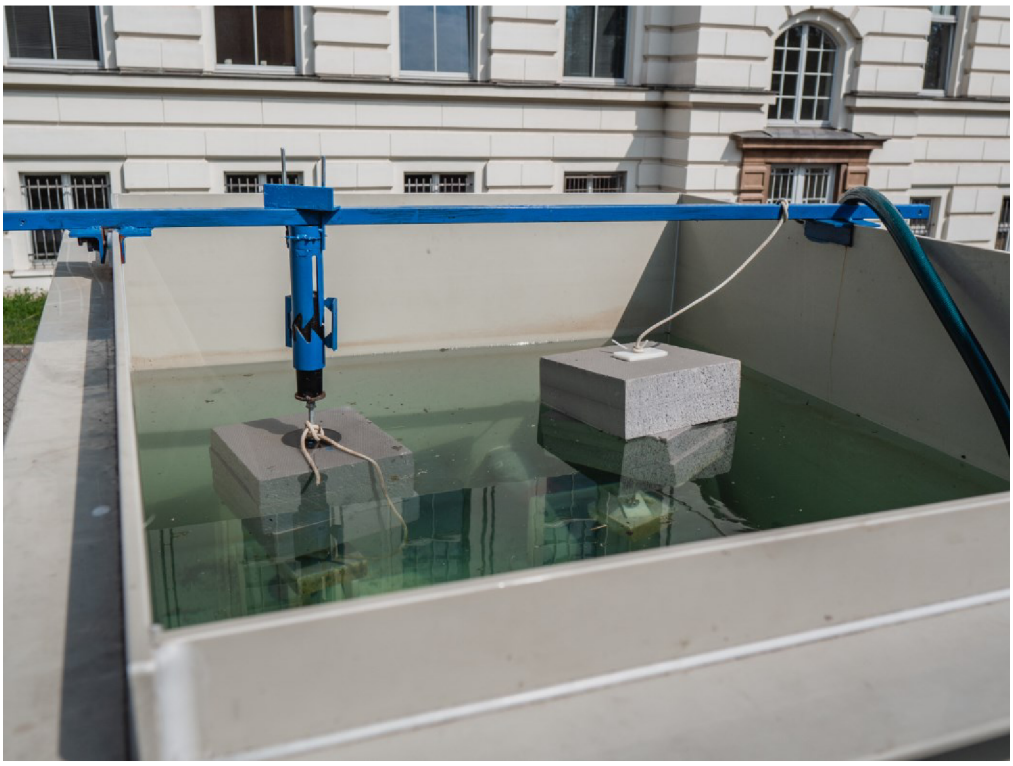
**Obr. 18 V horní části: stávající řešení distribuce vody, spodní část: distribuce vody s Pulseswitch**

Vývoj byl zahájen 3. prosince 2022 prvním nákresem. Začátkem ledna 2023 byl návrh zařízení předložen doc. Kriškovi a následně 18. ledna 2023, za materiální podpory spin-off VUT v Brně, firmy ConWe s.r.o., byly zahájeny práce na fyzickém zařízení.

## 3.1 PULSESWITCH PRINCIP FUNGOVÁNÍ

Klíčovou výhodou Pulseswitch je umožnění instalace více pulzních vypouštěčů do jedné distribuční šachty. Tím odpadá potřeba instalace zařízení pro rozdělování odpadní vody, kdy se voda jednoduše přivede jedním potrubím na šachtu a zároveň se redukuje množství distribučních šachet na čistírně.

Pulseswitch je navržen tak, aby k jeho činnosti nebyla zapotřebí elektrická energie. Jeho zdrojem energie je pohyb plováku, který reaguje na stoupající a klesající hladinu vody v distribuční šachtě. Pulseswitch má při provozu dvě základní fáze: první fáze umožňuje plováku uvolnit pulzní vypouštěč a druhá fáze plováku zabraňuje vypouštěč uvolnit a vypustit vodu na filtr.



**Obr. 19 Pulseswitch (v pravo) s potopeným plovákem v zaseklé poloze. Spíná volný plovák.**

Pulseswitch viz Obr. 19 je konstruován ze dvou částí. První částí je modrá, která zůstává na svém místě, je nepohyblivá. Druhá černá část se pohybuje s rostoucí a klesající hladinou. Černá pohyblivá část má na sobě připevněný vyčnívající dřík (v instalované verzi šroub), který zajišťuje pohyb mezi ozubením pevné modré nepohyblivé části zařízení. Černá část se pohybuje ve dvou směrech, a to vertikálně a zároveň se otáčí doprava okolo své osy. Vertikální posun zajištuje plovák s klesající a stoupající hladinou, okolo své osy se černá část otáčí díky dříku, který se klouže po pevně vymezených zubech modré části při vertikálním posunu.

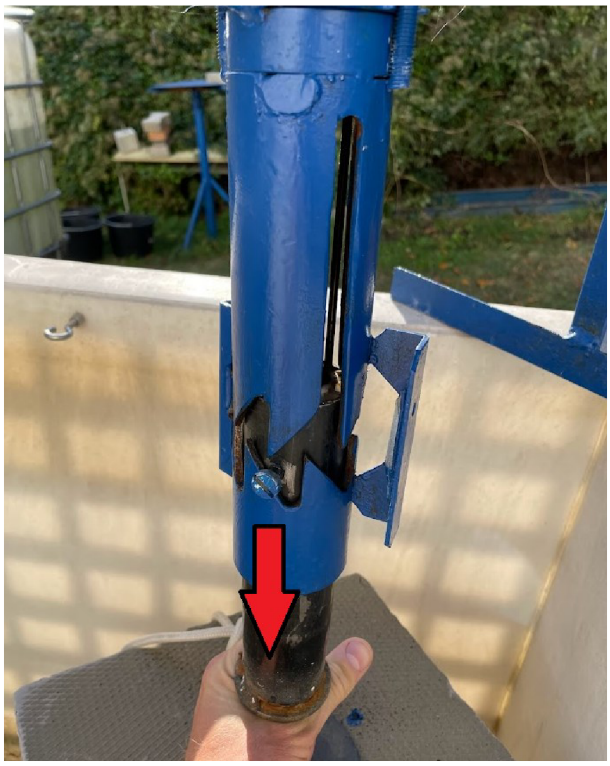
Zařízení předává energii stoupající a klesající plovák reagující na změnu hladiny, který je k zařízení připevněn prostřednictvím závitové tyče. Každá změna směru pohybu plováku posune dřík o jeden zub, ať už se jedná o horní, nebo dolní ozubení. Vysvětlení principu fungování bude provedeno na systému dvou pulzních vypouštěčů, tak jako tomu je na Obr. 19.

**Poloha 1.** – distribuční šachta se plní vodou, hladina stoupá, dřík se klouže po horním zubu viz Obr. 20 a zasekává se v horní poloze viz Obr. 21. Nyní uvolňuje pulzní vypouštěč druhý plovák v šachtě, viditelný na Obr. 19 vpravo.

**Obr. 20 Pulseswitch a jeho dřík při stoupající hladině**

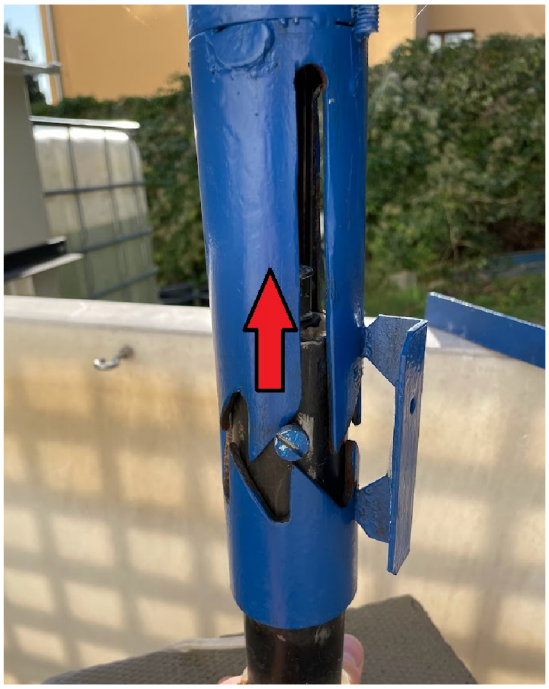
**Obr. 21 Pulseswitch v zaseknuté poloze**

**Poloha 2.** Voda se z šachty vypouští, plovák s dříkem klesají viz Obr. 22 a dřík se posouvá do spodní polohy, kde čeká, až se šachta vodou začne opět plnit.



**Obr. 22 Klesající hladina, která posouvá dřík do další polohy**

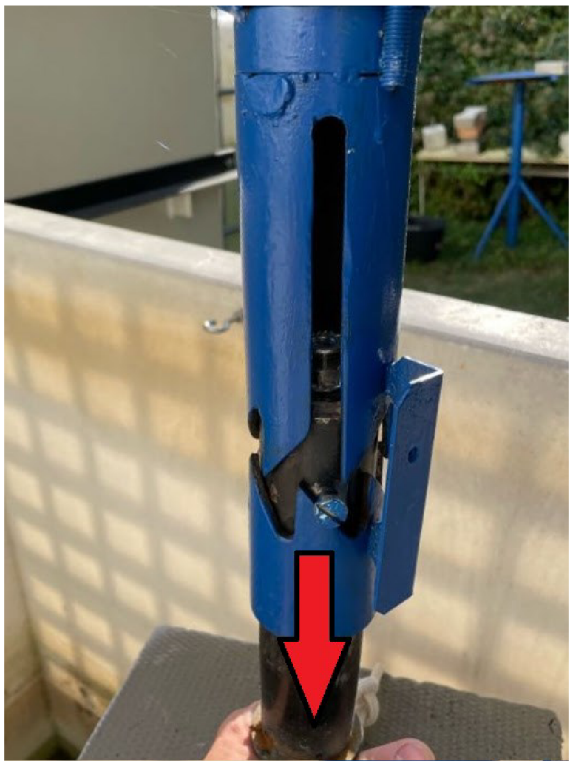
**Poloha 3.** Šachta se plní vodou, zvedá plovák viz Obr. 23, který má nyní možnost, díky volné dráze ozubení pulzní vypouštěč uvolnit a vypustit vodu. Na Obr. 24 je patrná poloha, při které plovák pod Pulseswitch uvolnil pulzní vypouštěč.



**Obr. 23 Poloha dříku při vypuštění vody z šachty**

**Obr. 24 Poloha, při které plovák uvolnil vypouštěč**

**Poloha 4.** Voda se z šachty vypouští, plovák s dříkem klesají viz Obr. 25 a přesouvají se do polohy 1, kde dřík bude čekat, než se začne šachta vodou opět plnit.



**Obr. 25 Klesající hladina vody v šachtě, dřík se posouvá do polohy 1**

Polohy zařízení se neustále mění v nekonečném cyklu. A díky tomu vždy sepne jeden nebo druhý pulzní vypouštěč.

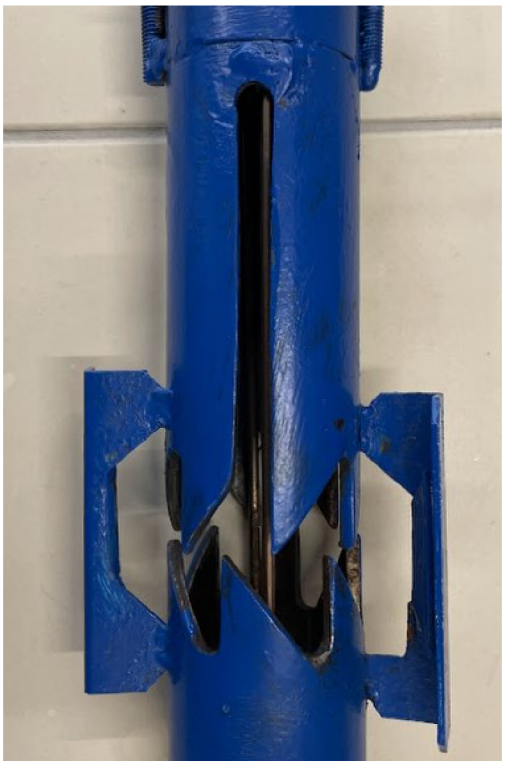
## 3.2 PULSESWITCH KOMPONENTY

Pulseswitch je složen z několika dílů. Hlavní komponenty jsou:

- nepohyblivé ozubení, které vymezuje dráhu pro dřík
- spodní pohyblivá část (kluzák) s dříkem
- závitová tyč pro uchycení plováku
- volnoběžka s ocelovými pruty zajišťující pohyb dříku v požadovaném směru
- ocelová konstrukce pro připevnění Pulseswitch k nádrži/šachtě

### *Pulseswitch ozubení*

Ozubení je vyřezáno do silnostěnné železné trubky, navzájem spojené železným profilem. Zuby jsou tvarově navrženy tak, aby se po nich dřík bez omezení pohyboval. Tvar a vzájemná poloha obou částí ozubení podporuje otáčení dříku pouze v jednom směru. Vzdálenost mezi ostrou částí zubu a kluznou částí protilehlého zubu jsou takové, aby docházelo k volnému pohybu dříku, viz Obr. 23.



**Obr. 26 Pulseswitch ozubení**

### *Kluzák a dřík*

Kluzák je zhotoven z tenkostěnné trubky, ve které je plastová vložka s lichoběžníkovými otvory. Jako svislý kluzák (posuvná tyč ve svislém směru) je použito v rámci prvního testovacího funkčního vzorku pouzdro pístu kancelářské židle. K spodní části je přivařena ocelová zarážka, která zastaví pohyb kluzáku při uvolnění pulzního vypouštěče. Funkce zarážky je ochranná, brání přestřižení dříku nárazem o dráhu ozubu. Dřík je řešen prostřednictvím ocelového šroubu, který je zašroubovaný do těla kluzáku. Po odšroubování dříku je možno Pulseswitch částečně rozebrat na několik oddělených komponentů za účelem servisního úkonu. Kluzák se může volně otáčet na závitové tyči.

**Obr. 27 Kluzák s dříkem spojený závitovou tyčí s plovákem**

### *Závitová tyč s plovákem*

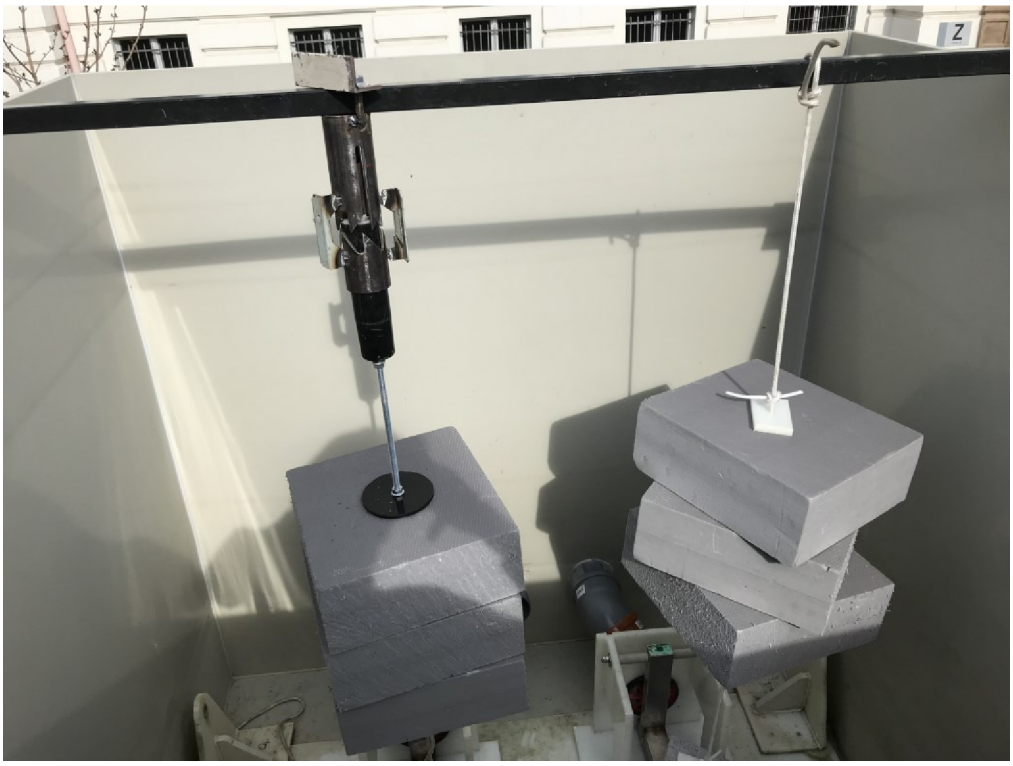
Závitová tyč z důvodu příčné tuhosti prochází skrz celý kluzák, ke kluzáku je závitová tyč upevněna dvěma kontramatkami jak nahoře, tak dole. Je důležité, aby se závitová tyč mohla vůči kluzáku volně otáčet. Kdyby nebylo zajištěno volné otáčení, provázek spojující závitovou tyč a pulzní vypouštěč by se začal namotávat a kluzák by se nemohl volně otáčet a plnit svoji úlohu. Tím by vznikala nežádoucí chyba sytému.

Závitová tyč je protažena skrz plováky, které jsou zajištěny plastovou podložkou. K závitové tyči je v nejnižším bodě připevněno očko, viz Obr. 28, ke kterému je přivázán provázek od pulzního vypouštěče.

**Obr. 28 Plovák s očkem**

### *Volnoběžka s ocelovými pruty*

První funkční vzor Pulseswitch byl sestaven bez volnoběžky a ocelových prutů, viz Obr. 29. Chyba, která by mohla nastat, se ukázala ihned po instalaci zařízení do nádrže. Přitékající voda pohybovala s hladinou a rozhýbala i kluzák se dříkem. Bylo očividné, že může nastat chyba, při níž by se dřík vrátil o jednu polohu zpět a nedošlo by ke změně spínaného vypouštěče. Proto byla na Pulseswitch implementována volnoběžka užívaná v cyklistice na městská kola. Díky volnoběžce je možné otáčet s kluzákem pouze v jednom směru. K volnoběžce byly přivařeny dva ocelové pruty, které jsou zastrčené v lichoběžníkových dírách na kluzáku, patrné na Obr. 27 (bílá plastová vložka v tenkostěnném pouzdru kluzáku).



**Obr. 29 Pulseswitch první instalovaná verze**

Volnoběžka má tu vlastnost, že je možno jí otáčet pouze v jednom směru. Volnoběžka byla tedy přivařena do horní část vnějšího pláště, tedy nad ozubení, viz Obr. 30. Do otočného středu volnoběžky byly přivařeny dva ocelové pruty, vyvedené směrem k hladině, ty jsou zastrčeny do lichoběžníkových děr v plastové vložce kluzáku. Tento komponent umožňuje kluzáku volně se pohybovat vertikálním směrem a v současně horizontálním směru jedním (požadovaným) směrem. Kluzák se tedy pohybuje pouze nahoru, dolů a otáčí se v tomto případě pouze v protisměru otáčení hodinových ručiček (na základě otočení volnoběžky a tvaru ozubení).

**Obr. 30 Volnoběžka s přivařenými svislými pruty**

### *Ocelová nosná konstrukce*

Posledním komponentem Pulseswitch je nosná konstrukce, viz Obr. 31. Jelikož se jedná o prvek, který bude pravidelně namáhán pohybem plováků, rázy a pohyby zejména ve svislém směru s očekáváním několik desítek nárazů za den, tak by měla konstrukce spolehlivě odolávat síle alespoň 500 N. Její tvar a provedení je závislé na typu nádrže, v případě vývoje prvního funkčního vzoru, který byl testován na výzkumném pozemku UVHK, se jednalo o vodorovný jekl, výškově stavitelný tak, aby Pulseswitch mohl pracovat v optimálních podmínkách. Samotné zařízení je k nosné konstrukci připevněno pomocí dvou závitových tyčí. Tyče jsou na Pulseswitch přivařeny - viz Obr. 24. Závitové tyče jsou pak k nosné konstrukci připevněny skrz provrtaný L-profil. Polohu v horizontálním směru jednoduše upravit, povolením šroubů viz Obr. 31. Volný plovák je ke konstrukci pouze přivázán.

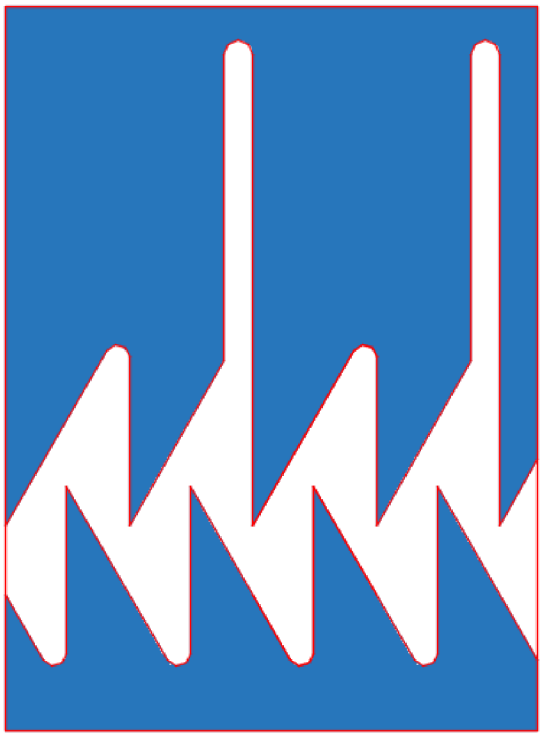
Samotná nosná konstrukce by měla být z nerezu. Konstrukce bude umístěna v agresivním prostředí distribuční šachty, kde materiály podléhají rychlé degradaci. Jak bude nosná konstrukce zhotovena, je vždy na posouzení podle konkrétní nádrže, do které je konstrukce instalovaná. Důležité je, aby prvek, ke kterému je připevňován Pulseswitch, byl z profilu, který neumožní otáčení kolem osy profilu. Vhodné jsou například čtvercové či obdélníkové jekly, případně profily typu I, U atd. Jak bylo zmíněno, nezáleží na tom, jak bude konstrukce provedena, je třeba aby konstrukce držela spolehlivě Pulseswitch na jednom místě, aby odolávala nárazům a síle vznikající od plováku a aby byla odolná vůči agresivnímu prostředí.

**Obr. 31 Nádrž s nosnou konstrukcí**

## 3.3 MNOŽSTVÍ VYPOUŠTĚČŮ V JEDNÉ NÁDRŽI

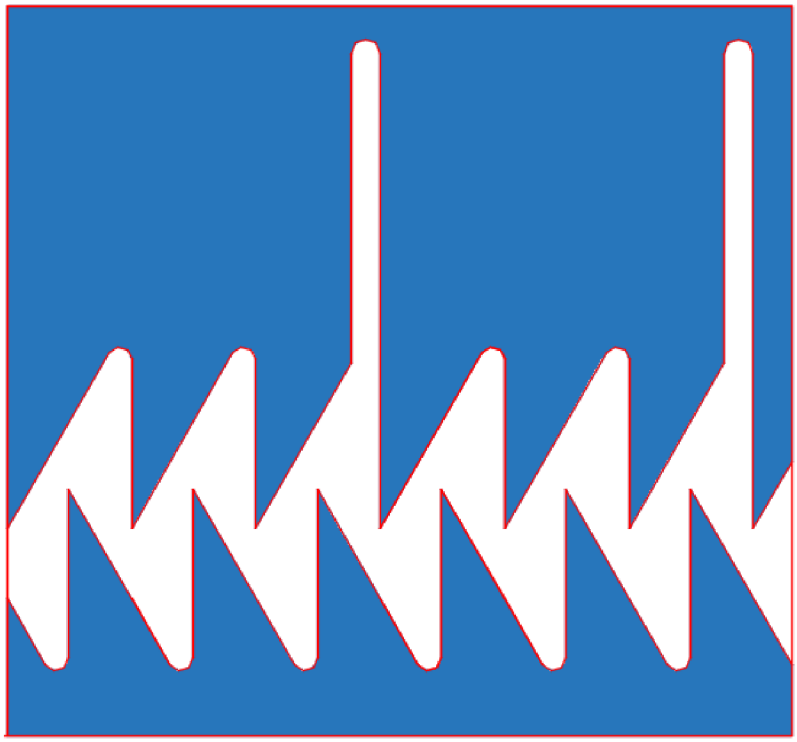
Pulseswitch teoreticky umožňuje umístit do jedné nádrže nekonečno vypouštěčů. Záleží pouze na počtu zubů ozubení a dispozici nádrže. Přesto nelze očekávat více než 6 až 8 pulzních vypouštěčů v jednom napouštěném prostoru, protože navazující distribuční potrubí, resp. plocha filtrů v bezprostředním okolí, neumožňuje umístění vyššího počtu dílčích hydraulických soustav (tj. pulzní vypouštěč, přiváděcí potrubí, děrované potrubí)

V případě dvou vypouštěčů v jedné nádrži je možné použít pouze jeden Pulseswitch. Jeden pulzní vypouštěč je v takovém případě propojený s Pulseswitch, druhý pulzní vypouštěč je přímo uchycený na volném plováku, resp. plovák je přivázán volným koncem nosného lanka na stropní konstrukci nebo na nosnou konstrukci. Plovák, který je připevněný k Pulseswitch, by měl spínat dřív než plovák druhý, tedy připevněný přímo bez Pulseswitch. Volný plovák funguje jako ochrana při případné poruše Pulseswitch - v případě poruchy Pulseswitch bude docházet k pravidelnému otvírání druhého pulzního vypouštěče. Uspořádání zubů pro dva pulzní vypouštěče v nádrži je patrné na Obr. 32.



**Obr. 32 Uspořádání ozubení pro 2 pulzní vypouštěče.**

V případě tří vypouštěčů v jedné nádrži vypadá uspořádání ozubení viz Obr. 33. V tom případě je vhodné umístit do šachty dvě zařízení Pulseswitch a jeden volný plovák, který opět plní roli ochrany v případě poruchy zařízení. Pulzní vypouštěč, uchycený na plováku bez Pulseswitch, je otvírán ve svislé části u horního okraje ozubnice. Po otevření zpětné klapky na pulzním vypouštěči za současného snížení hladiny dochází k opětovnému zapadnutí dříku do spodní části ozubnice.



**Obr. 33 Uspořádání ozubení pro 3 pulzní vypouštěče**

Uspořádání ozubení pro 4 vypouštěče bude mít 3 horní zuby které nespínají a jeden, který spíná. Takto lze počet vypouštěčů v nádrži navyšovat.

## 3.4 PULSESWITCH NASTAVENÍ V NÁDRŽI

Pro zajištění správné funkce zařízení je při instalaci důležité dodržet několik postupů.

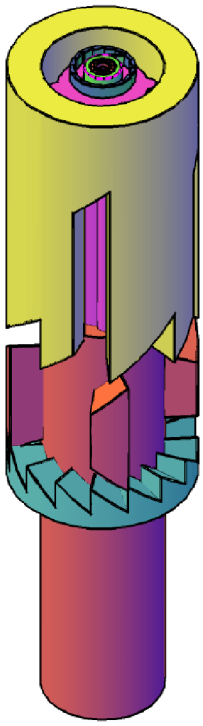
1) **Pulseswitch umístění:** Zařízení nesmí být ponořené pod vodou. Tento bod je důležitý pro jeho dlouhodobou spolehlivost a prevenci proti poškození.
2) **Správná instalace:** Nejprve se do nádrže umístí pulzní vypouštěče a poté se do nádrže umístí konstrukce, na které je připevněn Pulseswitch. Během této fáze je důležité pečlivě zvážit, v jaké výšce by měl být Pulseswitch umístěn, aby plovák mohl správně spínat a uvolňovat pulzní vypouštěče.
3) **Nastavení dorazů:** Následuje nastavení dorazů na Pulseswitch. Lanko připojené k vypouštěči a k tyči zařízení musí být napnuté tak, aby bylo zcela napnuté, když je dřík v pozici zaseknutého horního zubu viz Obr. 21, kdy daný vypouštěč nemá spínat. Toto nastavení zamezuje poškození zařízení. Pokud je doraz správně nastaven, drží pulzní vypouštěč sílu 100–150 N, to zabraňuje nežádoucímu příčnému kroucení zařízení.
4) **Nastavení volného plováku:** Volný plovák je nastaven tak, aby uvolňoval vypouštěč minimálně 10 cm nad hladinou při které spíná plovák spojený s Pulseswitch. Pokud by tato podmínka nebyla splněna, mohlo by docházet k simultánnímu otevírání obou vypouštěčů. Při testování Pulseswitch došlo k jevu, kdy Pulseswitch uvolnil pulzní vypouštěč, plovák od Pulseswitch vyskočil, vytvořil vlnu a tím se zvedla hladina. U

volného plováku, který neměl dostatečný rozdíl spínané hladiny, došlo k pozvednutí a volný plovák uvolnil vypouštěč. K tomuto jevu mohlo dojít i tím, že potrubí za zkušební nádrží bylo propojeno skrz T-kus a po sepnutí Pulseswitch došlo k rázu v potrubí. Na zátku na pulzním vypouštěči byla vytvořena síla a vypouštěč sepnul. Pravděpodobná je i kombinace obou zmíněných.

## 3.5 PULSESWITCH VÝVOJ

První myšlenka zredukovat počet šachet na přírodní čistírně vznikla při zpracování bakalářské práce Přírodní čistírna odpadních vod pro obec Neratov, která se tématem zabývala. V té době byl vymyšlen složitý mechanismus, kterým by se daný problém dal řešit. Bohužel, jeho složitost a obtíže, které s sebou nesl, byly takové, že byl nápad zavrhnut a dále se v něm nepokračovalo.

V prosinci 2022 byl nápad zredukovat počet šachet opět otevřen. Bylo vymyšleno zařízení, které střídá dvě polohy. Jedna, která neumožňuje vypouštění. Druhá, která vypouštění umožňuje a k tomu byl vymyšlen otočný mechanismus, který umožňuje otáčení pouze v jednom směru při zachování volného vertikálního posunu.



**Obr. 34 Pulseswitch 3D model první verze**

Následovala konzultace mechanismu a mnoho dalších nákresů, postupně se došlo k současné podobě Pulseswitch. Tvar ozubení byl optimalizován pro lepší a přesnější chod, došlo k změně v počtu dříků ze čtyř na jeden. Ostatní části zařízení byly přizpůsobeny dostupným materiálům a vybavení dílny.

První vyrobený Pulseswitch byl bez volnoběžky – viz Obr. 35, po instalaci do nádrže bylo zřejmé, že může nastat problém s vracením poloh. Pulseswitch byl doplněn o volnoběžku a ocelové pruty, které chod zařízení velmi zpřesnily.

**Obr. 35 První vyrobený kus**

## 3.6 METODIKA MĚŘENÍ

Byly provedeny čtyři měření spolehlivosti systému pro ověření spolehlivosti a funkčnosti zařízení. Každé z těchto měření bylo provedeno podobným způsobem. Pulseswitch s pulzními vypouštěči a plovákem byl instalován do měřící nádrže, která byla propojena s retenční nádrží. Z retenční nádrže byla voda neustále přečerpávána do nádrže testovací.

Hladina byla měřena pomocí speciálního senzoru Solinst Levelogger model 3001, hodnoty byly následně staženy do počítače a zpracovány v programu MS Excel.

### 3.6.1 První etapa měření (č.1)

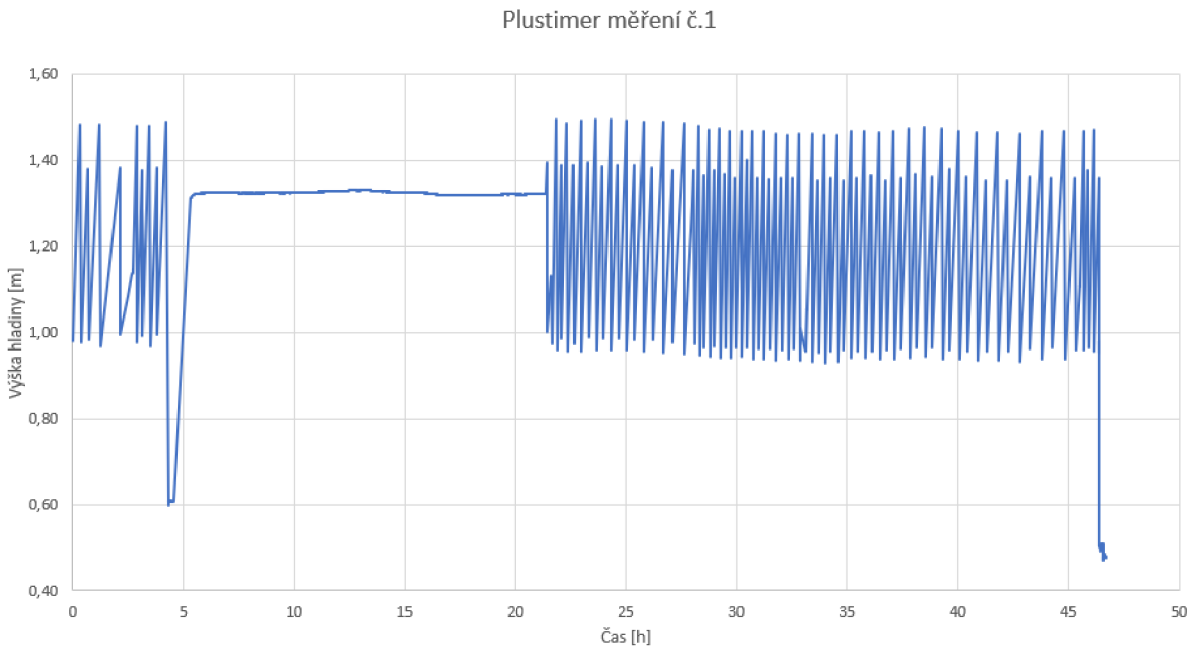
Měření probíhalo ve velké nádrži o objemu 4,35 $m^3$, v období od 7.6.2023 10:00 do 9.6.2023 8:21. Během tohoto měření bylo zjištěno několik důležitých aspektů.

Prvním problémem bylo, že Pulseswitch byl příliš vysoko v nádrži, což s velkou plochou nádrže znamenalo zbytečně velký objem vody pro měření. Sepnutí jednoho z vypouštěčů se pohybovalo v časovém úseku mezi 15 až 50 minut. Během měření bylo naměřeno celkem 42 cyklů, jedním cyklem je myšleno sepnutí vypouštěče umístěného na zařízení a sepnutí vypouštěče na volném plováku.

Retenční nádrž pod nádrží měřící neměla dostačující kapacitu, aby mohla být veškerá voda vypuštěna z měřící nádrže. Tudíž bylo velmi problematické nastavit plováky tak, aby spodní nádrž nepřetekla v průběhu vypouštění měřící nádrže a voda se neztratila v podloží.

Na provázky od plováků byly použity uzly typu „lodní uzel“, skrz které byl protažen svařovací drát. Toto řešení se ukázalo jako problematické z důvodu ohýbání svařovacího drátu. Některé uzly se následně uvolnily.

**Tab. 3 Pulseswitch první etapa měření (č.1)**




První měření bylo úspěšné, prokázalo, že Pulseswitch je správně zkonstruován a vymyšlen. V průběhu měření bylo zapotřebí převázat uzly z lodního uzle na klasický jednoduchý uzel z důvodu uvolnění, to proběhlo po čtyřech hodinách měření, voda se částečně vypustila do retenční nádrže, díky nedostatečnému objemu retenční nádrže voda přetekla a vsákla se do podloží. Při zpětném plnění nádrže bylo množství vody z retenční nádrže nedostatečné, měření se přerušilo do následujícího rána, chybějící voda byla doplněna a měření dále pokračovalo. Po prvním sepnutí byla zkontrolována funkčnost ručním uvolněním vypouštěče cca 22 h grafu.

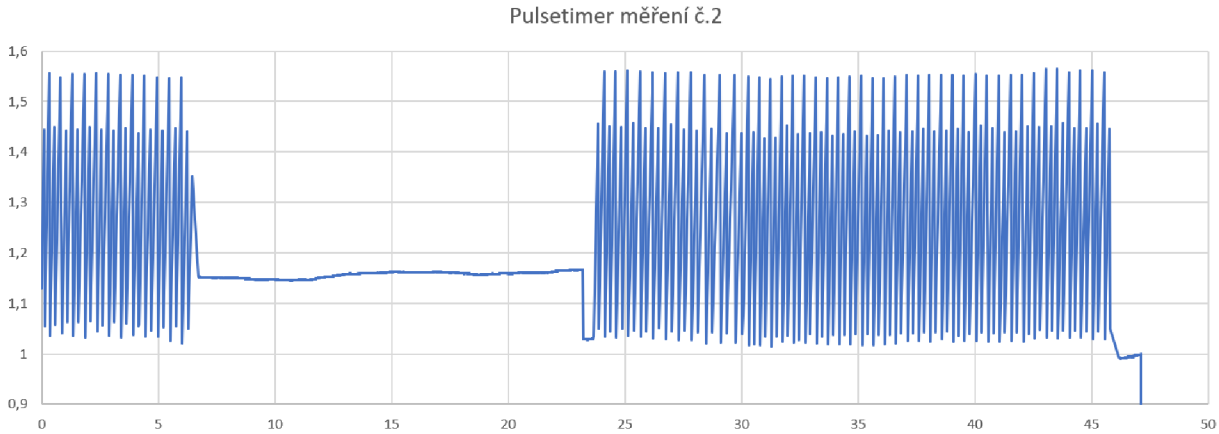
Po 32 h měření byla ještě jednou ručně zkontrolována funkčnost zařízení. Na grafu je dále vidět, jak doba mezi sepnutími postupně narůstá. Tento jev je způsoben nečistotami v retenční nádrži. Nečistoty nasálo čerpadlo a čerpané množství se postupně snižovalo. Po vyčištění sacího koše se čerpání vody z retenční nádrže zrychlilo.

### 3.6.2 Druhá etapa měření (č.2)

Druhá etapa probíhala opět jako měření č.1 ve velké nádrži o objemu 4,35 $m^3$. Probíhalo od 19.6.2023 9:00 do 21.6.2023 8:15.

Změna oproti měření č.1 byla v retenční nádrži, ta byla zvětšena o druhou nádrž o stejném objemu. Toho bylo dosaženo spojením vypouštěcího potrubí ve dně nádrží, vznikly spojené nádoby. Bohužel jedna z nádrží dostatečně netěsnila, tudíž se voda ztrácela do podloží. Bylo tedy zapotřebí vodu dolévat.

**Tab. 4 Pulseswitch druhá etapa měření**




Jak už bylo zmíněno, problémy s retenční nádrží byly i u druhého měření kdy se voda ztrácela z nádrže do podloží. Po 6 hodinách muselo být měření přerušeno z důvodu nedostatečné kapacity vody v retenčních nádržích, to bylo v 15:58. Následující den ráno byla voda do nádrže dočerpána a během měření průběžně přidávána.

Z dat vyplývá, že Pulseswitch fungoval i při druhém měření bezchybně. Bylo naměřeno celkem 59 cyklů, z toho není patrná ani jedna chyba testovaného zařízení. Dlouhá doba mezi cykly a netěsnící retenční nádrže napověděly, že pro další získávání dat o funkčnosti zařízení bude zapotřebí využít jako měřící nádrž, nádrž o menším objemu a stávající retenční nádrže bude třeba nahradit.

### 3.6.3 Třetí etapa měření (č.3)

Měření č.3 probíhalo od 25.9. 2023 12:50 do 26.9. 2023 11:01 v malé nádrži o objemu 1 $m^3$, do které bylo nezbytné vyvrtat nový otvor a přivařit PP potrubí. Z důvodu špatného přístupu se potrubí nepodařilo dokonale přivařit k nádrži. Obvod PP potrubí byl zatěsněn silikonovým těsněním. Stejně velká nádrž byla umístěna do svahu pod měřící nádrží, nádrže byly následně propojeny potrubím. Nádrž pro umístění dvou pulzních vypouštěčů s Pulseswitch a volným plovákem nenabízela přemíru prostoru viz Obr. 36.

**Obr. 36 Třetí etapa měření**

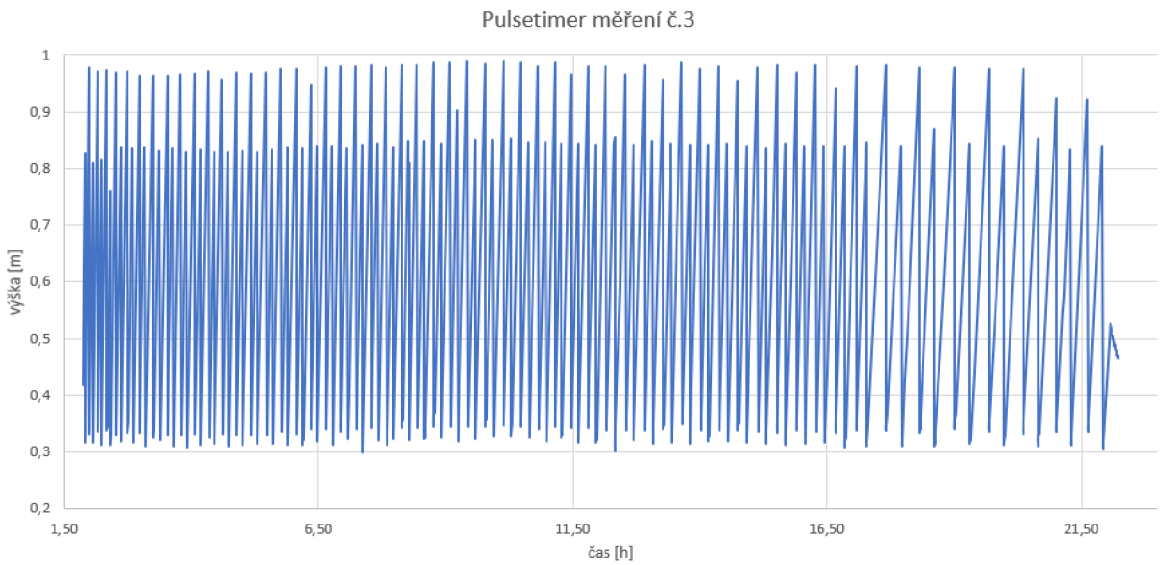
Pro umístění Pulseswitch do nové nádrže bylo zapotřebí vytvořit novou nosnou konstrukci, která byla přišroubována k nádrži. Po nainstalování všeho potřebného pro měření, seřízení zařízení a napuštění vodou, bylo jasné, že je Pulseswitch příliš vysoko a ve chvílích, kdy měl uvolňovat pulzní vypouštěč volný plovák, docházelo k přetékání nádrže.

Naopak, když měl uvolňovat pulzní vypouštěč Pulseswitch, docházelo k jevu, že Pulseswitch uvolnil vypouštěč, vytvořil v nádrži vlnu a tím uvolnil i volný plovák.

Krátké šrouby pro připevnění k nosné konstrukci na zařízení neumožňovaly umístit Pulseswitch níž. Bylo zapotřebí šrouby nastavit pomocí prodloužené matice a přidáním závitové tyče. Poté pomocí dřevěné latě zkrácené dobře mířeným kopem, byl Pulseswitch umístěn do požadované výšky. Lať je viditelná na Obr. 37. Následně bylo vše připraveno pro měření.

**Obr. 37 Pulseswitch nastavený dřevenými hranoly**

**Tab. 5 Pulseswitch třetí etapa měření**




Časový interval mezi snímáním senzoru byl nastaven nevhodně, doba mezi snímáním byla příliš krátká a neumožnila u měření č.3 naměřit dostačující množství dat. Časový interval byl nastaven na 2 s. Jak voda plnila nádrž, v nádrži se tvořilo proudění, které pohybovalo se sensorem, docházelo k jeho pohybu a v kombinaci s krátkým intervalem bylo složitější

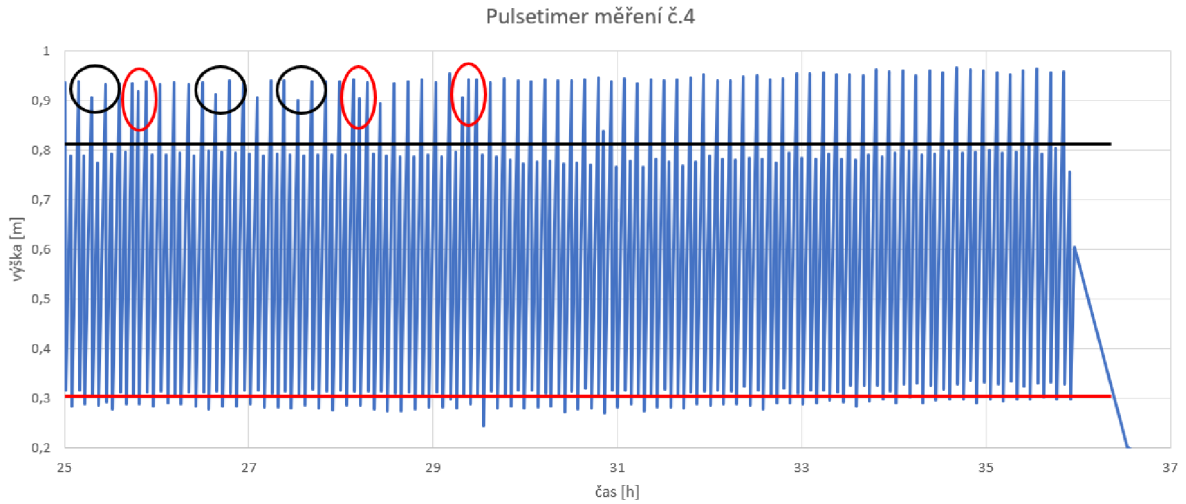
následné zpracování dat. Sensor má možnost záznamu 40 000 hodnot, bylo tedy možné měřit pouze 22 h.

Pulseswitch opět fungoval bezchybně, platné měření trvalo 22 h a bylo zaznamenáno 57 cyklů na zařízení. Čerpadlo bylo zaneseno trávou a dalšími nečistotami z nádrží, tudíž se jeho čerpaný objem postupem měření snižoval a čas mezi spouštěním se navyšoval.

### 3.6.4 Čtvrtá etapa měření (č.4)

Měření č.4 probíhalo od 27.9. 2023 9:30 do 29.9. 2023 16:51. Bylo velmi podobné jako měření č.3. Jediný rozdíl byl v nastavení spínání sensoru z 2 s na 5 s. To umožnilo měřit 1 den a 22 h.

**Tab. 6 Pulseswitch čtvrtá etapa měření**




Bylo naměřeno celkem 251 cyklů, prvních 25 h měření je bez jakýchkoli chyb (průběh grafu zde není uveden), průběh grafu v první polovině měření je totožný s grafem od 31 h do 36 h.

V průběhu čtvrtého měření došlo k chybě mezi 25 h až 30 h. Červená kolečka znázorňují, kde k chybám došlo. Jsou dvě možná vysvětlení. Buď Pulseswitch špatně zareagoval na změnu hladiny (nedošlo k posunu o další polohu), nebo došlo k chybě v měření. Obě varianty budou popsány v následujících třech odstavcích.

Pulseswitch s volným plovákem byly nastaveny tak, aby uvolňovaly pulzní vypouštěče při různé hladině. Spodní plováky, které zajišťují kdy se pulzní vypouštěč uzavře, byly též nastaveny tak, aby uzavíraly pulzní vypouštěč při různé hladině. Nad černou čarou by měl spínat volný plovák, pod černou čarou by měl spínat Pulseswitch. Nad červenou čarou by měl uzavírat pulzní vypouštěč volný plovák, pod červenou čarou Pulseswitch. Pokud by chyba znázorněna v červeném kolečku byla v Pulseswitch, který by nevystřídal polohu, projevilo by se to i při uzavírání pulzního vypouštěče. Kde je střídání spínaných vypouštěčů zachováno, je vidět na červené čáře.

Chyba v čidle je mnohem pravděpodobnější. Mezi 25 h a 30 h došlo k více nečekaným chybám. Nejvýraznější jsou chyby v červených kolečkách, které by mohly nasvědčovat tomu, že

Pulseswitch nespínal tak jak měl. Za povšimnutí však stojí i další anomálie v tomto časovém úseku. V černých kolečkách jsou znázorněny velké rozdíly hladiny při spínání volného plováku. Tento jev se za celé měření nikde jinde nevyskytl.

Možným vysvětlením může být chyba sensoru který měřil špatné hodnoty. Dalším možným vysvětlením je, že v nádrži došlo ke změně proudění, sensor se hýbal a došlo ke špatnému odečtení hladiny. Nádrž byla pro měření skoro až nedostačujících rozměrů, je možné že došlo k ovlivnění měření dotýkajícími se plováky, které pak spínaly při jiných hladinách, než bylo nastaveno.

Nedá se přesně určit, jak k chybám došlo, jelikož není kamerový záznam a vychází se pouze z naměřených hodnot senzorem. Že k chybám došlo díky Pulseswitch je spíše nepravděpodobné.

Měření bylo ukončeno po vytržení spoje potrubí, kdy voda z nádrže vytekla a čerpadlo nemělo dostačující objem vody k dalšímu měření.

### 3.6.5 Shrnutí měření

Měření bylo velmi úspěšné, bylo naměřeno celkem 409 cyklů na zařízení, což znamená 1636 pohybů dříku mezi ozubením. Až na chybu, jenž nelze přesně identifikovat kde vznikla, Pulseswitch fungoval bezchybně a přesně plnil daný účel.

Pro další měření by bylo dobré vyvarovat se následujícím záležitostem ovlivňujících měření.

1. Kontrola těsnosti nádrží.
2. Prošroubování všech spojů potrubí vrutem.
3. Větší rozdíly hladin při spínání/uzavírání pulzních vypouštěčů.
4. Otestovat před měřením dostatečnost nastaveného časového kroku sensoru.
5. Snížit čerpaný objem na minimum nastavením plováků.

## 3.7 VÝHODY SYSTÉMU

Pulseswitch je inovativní řešení v oblasti distribuce vody a jeho aplikace přináší jisté výhody. Mezi výhody se řadí:

- peněžní úspory,
- zjednodušení systému,
- ekologičtější výstavba.

Díky použití Pulseswitch dojde k redukci počtu distribučních šachet, zkrácení délky potrubí na čistírně, není třeba použití rozdělovacích systémů odpadní vody. Díky redukci materiálů dojde k značným peněžním úsporám

Při použití Pulseswitch dojde k redukci délky potrubí, čímž se zmenší pravděpodobnost úniku vody ze systému. Zařízení pro rozdělování odpadní vody mezi šachtami bývá často poruchové, díky Pulseswitch není zapotřebí takové zařízení vůbec na čistírnu zařazovat a při správném

nastavení plováků bude množství odpadní vody vypouštěné na filtr vždy o stejném množství. To vede k značnému zjednodušení systému.

Na čistírnu bude umísťováno méně distribučních šachet, méně plastového potrubí, výstavba bude rychlejší, díky tomu budou čistírny více ekologické. Pro jejich výstavbu bude spotřebováno menší množství $CO_2$.

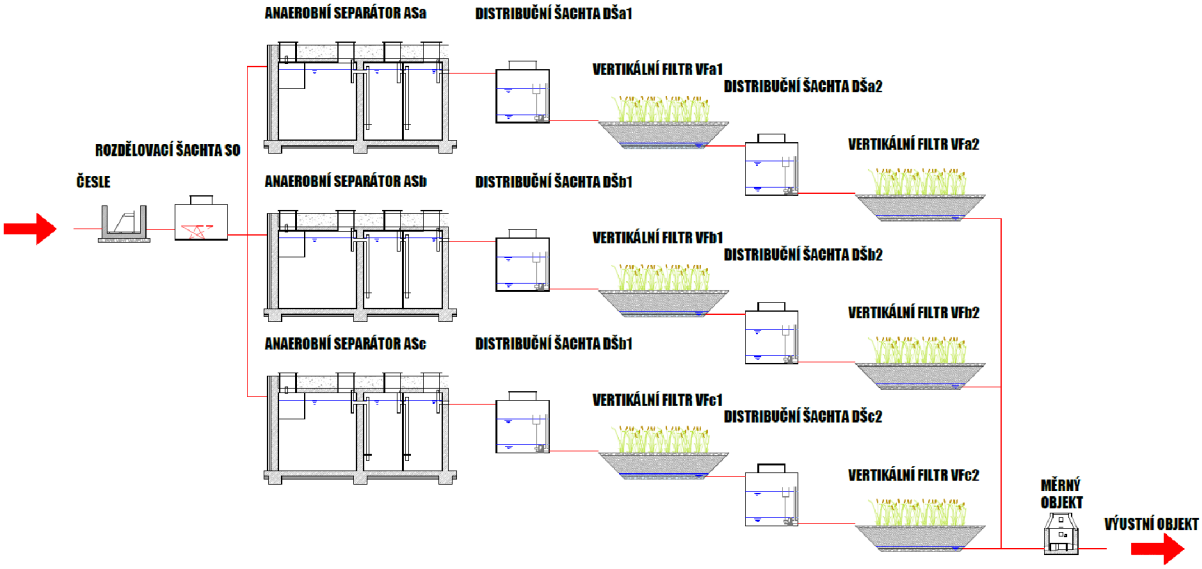
### 3.7.1 Porovnání rozpočtů s a bez Pulseswitch

Byly vybrány dva rozpočty rozdílných přírodních čistíren. Jedná se o čistírnu v obci Hlína a hotelový komplex v obci Štamberk. Došlo k porovnání se stávajícím řešením a cenou čistírny v případě implementace Pulseswitch.

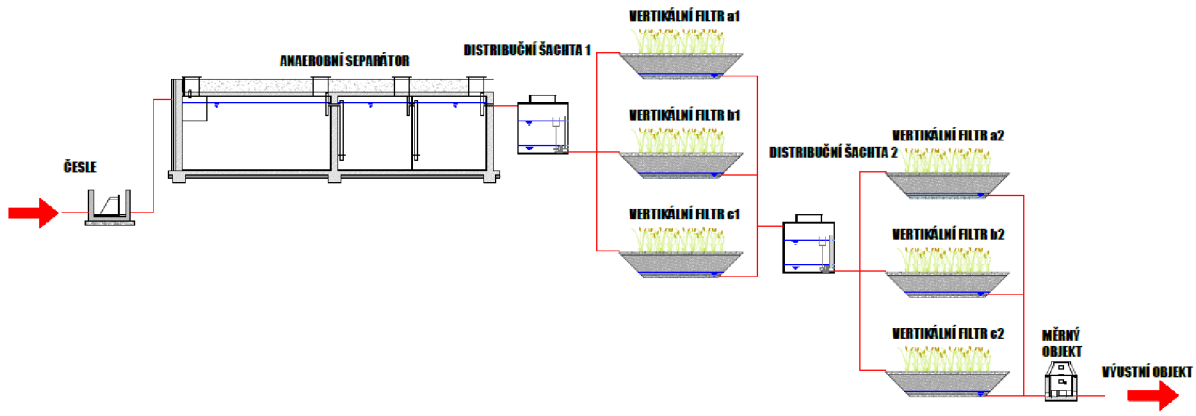
#### *Rozpočet pro obecní čistírnu v obci Hlína.*

Obecní čistírna v Hlíně je rozdělena za rozdělovací šachtou na tři toky. Jsou zde instalovány tři anaerobní separátory, šest distribučních šachet a šest vertikálních filtrů. V případě aplikování Pulseswitch by došlo k značným finančním úsporám.

V případě instalace Pulseswitch by nebyla zapotřebí rozdělovací šachta, anaerobní separátor by stačil jeden velkokapacitní, za anaerobním separátorem by byla jedna distribuční šachta pro první tři vertikální filtry. Mezi třetím a čtvrtým vertikálním filtrem by byla druhá distribuční šachta pro zbývající tři vertikálním filtry.




**Obr. 38 Technologické schéma stávajícího řešení**




**Obr. 39 Technologické schéma s Pulseswitch**

Částky vychází z reálného rozpočtu přírodní čistírny v Hlíně. Pro vyčíslení rozdílu mezi variantami bez Pulseswitch a s Pulseswitch nebyla věnována pozornost celému rozpočtu, ale pouze dotčeným objektům. Výsledný rozdíl po započítání jednoho anaerobního separátoru by byl nejspíše ještě větší.

**Tab. 7 Výpočet možného snížení nákladů čistírny v obci Hlína s Pulseswitch**

| **Bez Pulseswitch** | | | | **S Pulseswitch** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Přesun hmot | 42 416,06 | Kč | | Přesun hmot | 14 138,69 | Kč |
| SO | 76 330,77 | Kč | | DŠ1 | 98 226,45 | Kč |
| DŠa1 | 66 861,38 | Kč | | DŠ2 | 98 226,45 | Kč |
| DŠa2 | 66 675,19 | Kč | | **Celkem bez DPH** | **210 591,58** | **Kč** |
| DŠb1 | 66 675,19 | Kč | | **Celkem s DPH** | **254 815,81** | **Kč** |
| DŠb2 | 66 675,19 | Kč | | | | |
| DŠc1 | 66 675,19 | Kč | | | | |
| DŠc2 | 66 675,19 | Kč | | | | |
| **Celkem bez DPH** | **518 984,16** | **Kč** | | | | |
| **Celkem s DPH** | **627 970,83** | **Kč** | | **Teoretická úspora** | **-373 155,02** | **Kč** |

V případě použití Pulseswitch v obci Hlína by výsledná úspora peněz byla minimálně 373 155,- Kč.

## *Rozpočet hotelového komplexu Štamberk*

Čistírna ve Štamberku je specifická velmi dlouhým potrubím, kterým je voda dopravována na první vertikální filtry, trubní vedení vychází na 27 % z celkových stavebních nákladů čistírny. Čistírna je rozdělena před anaerobním separátorem na dva toky přes rozdělovací šachtu.

Díky použití Pulseswitch, nebude zapotřebí umísťovat na čistírnu rozdělovací šachtu, distribuční šachty budou zapotřebí pouze dvě, dále doje k eliminaci jednoho ze dvou potrubí mezi anaerobním separátorem a první distribuční šachtou.

**Tab. 8 Výpočet možného snížení nákladů s Pulseswitch Štamberk**

| **Bez Pulseswitch** | | | **S Pulseswitch** | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Zemní práce + trubní vedení | 1 673 331,87 | Kč | Zemní práce + trubní vedení | 1 296 763,29 | Kč |
| DŠ1.A | 93 756,82 | Kč | DŠ1 | 115 442,03 | Kč |
| DŠ1.B | 95 841,60 | Kč | DŠ2 | 116 831,88 | Kč |
| DŠ2.A | 95 146,67 | Kč | **Součet** | **1 529 037,20** | **Kč** |
| DŠ2.B | 91 672,01 | Kč | | | |
| **Součet** | **2 049 748,97** | **Kč** | **Teoretická finanční úspora** | **-520 711,77** | **Kč** |

Ve vyčíslení možné finanční úspory bylo uvažováno pouze s dotčenými objekty a stavebními pracemi. Peněžní úspora by byla 561 926,- Kč.

# 4 PŘÍRODNÍ ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD OLEŠENKA

## 4.1 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Obec Olešenka se nachází v kraji Vysočina, okres Havlíčkův Brod. Čtyři km severozápadně od obce Olešenka se rozprostírá město Přibyslav. Počet trvale žijících obyvatel v řešené obci byl k roku 2019 přibližně 180. První dochované zmínky o obci jsou z roku 1356. V obci pramení potok Olešenka, který se severně od obce vlévá do Olešenského potoka, který se vlévá do řeky Sázava. Olešenský potok pramení pod kopcem Strážka. Na kopci byly v dobách minulých rozestavěny stráže, v případě blížícího se nebezpečí byly na kopci rozdělávány ohně pro informování obyvatelstva. [29]

Katastrální území má rozlohu 6,85 km$^2$, průměrná výška území je 530 m n.m. Nejvyšším bodem území je již zmíněný kopec Strážka s 604 m n.m., nejnižším bodem je řeka Sázava, která ohraničuje ze severu katastrální území s nadmořskou výškou 455 m n.m. Území obce je kopcovité. [30]

Občanskou vybaveností obce je místní knihovna, obchod Coop, dětské hřiště s multifunkčním hřištěm. V obci je sbor dobrovolných hasičů s 58 členy. Obec má malebné okolí lákající turisty k výletům. [29]

### 4.1.1 Půdní poměry

Olešenka je v mírně teplém, vlhkém regionu. Obec spadá do Hornosázavské pahorkatiny, podcelek Havlíčkobrodská pahorkatina, podsoustava Českomoravská vrchovina, Českomoravská soustava. [31] Většina území je v mírném sklonu, část území je rovinatá. Výrazný sklon je k řece Sázava. Území obce je náchylné k vodní erozi, pod kopcem Strážka je dlouhodobá průměrná ztráta (G) nad hodnotou 30, což odpovídá extrémnímu ohrožení půdy. V katastrálním území převažuje bezskeletovitá až slabě skeletovitá půda. V okolí potoků je půda bezskeletovitá v exponovanějších částech území je půda středně skeletovitá. Hloubka půdy je z drtivé většiny hluboká až středně hluboká, pod kopcem Strážka je půda mělká, v okolí potoka hluboká. V území obce je typ půdy hnědozemě. Půdy v katastrálním území většinově spadají do hydrologické skupiny půd B. [32]

### 4.1.2 Odkanalizování území obce

V obci je jednotná splašková kanalizace. Část splaškové vody je předčištěna v biologických septicích a následně odvedena kanalizací do potoka Olešenka. Zbývající odpadní vody jsou akumulovány v bezodtokových jímkách.

Je uvažováno o částečné rekonstrukci kanalizační sítě, dále je zvažována dostavba kanalizační sítě v místech, kde momentálně není k dispozici. [33] Pod obcí bude vybudována odlehčovací komora s přepadem do potoka Olešenka, za odlehčovací komorou bude vybudován lapák písku s ručně stíranými česlemi, za lapákem písku bude čerpací šachta, pro čerpání vody na ČOV.

### 4.1.3 Umístění přírodní čistírny

Přírodní čistírna je umístěna severně od obce na parcele č. 830/2 o výměře 4 200 m$^2$, číslo LV je 10001, vlastníkem pozemku je obec Olešenka. Parcela je vzdálena 280 m od nejbližší zástavby. Voda z čistírny bude vypouštěna do nově vznikajícího rybníku přímo pod pozemkem čistírny. Jedná se o pozemek č. 831, taktéž ve vlastnictví obce. K stavební parcele vede polní cesta, je uvažováno o vybudování asfaltové obslužné komunikace. [30] Stavební parcela má kód BPEJ 7.64.11. Pozemek spadá do mírně teplého vlhkého klimatického regionu. Průměrná roční teplota je 6–7 °C, průměrná roční úhrny srážek 650–750 mm. Genetický půdní představitel dle KPP je glej modální (GLm), stagnoglej modální (SGm), glej fluvický (GLf), glej kambický (GLk), pseudoglej glejový (PGq). Půda s nízkou rychlostí infiltrace i při úplném nasycení. Sklon pozemku je mírný 3–7 °. Půda je bezskeletovitá, s příměsí, slabě skeletovitá, jedná se o půdy hluboké až středně hluboké. Hloubka do 30 cm. [34]

**Obr. 40 Parcela čistírny odpadních vod [30]**

Parcela pro čistírnu není zcela ideální. Skrz parcelu vede vedení vysokého napětí, které má ochranné pásmo 7 m na každou stranu. Terén parcely sice poskytuje dostatečné převýšení pro gravitačně protékanou čistírnu, problémem je právě vysoké napětí, díky kterému je hlavní svah rozdělen a bude zapotřebí velkých násypů.

**Obr. 41 Parcela budoucí přírodní čistírny**

### 4.1.4 Způsob čistění odpadní vody

Pro obec Olešenka je zvolena přírodní čistírna odpadních vod pro 200 EO. Odpadní voda z obce přitéká jednotnou kanalizací. Pod obcí je navržena přečerpávací stanice s předřazenou odlehčovací komorou, česlemi a lapákem písku. Voda je následně několikrát za den načerpána na anaerobní separátor (AS), odkud čištěná voda proteče skrz shybku do distribuční šachty č. 1 (DŠ1) se zařízením Pulseswitch, odtud je voda vypouštěna na vertikální filtr č.1 (VF1), drenážním potrubím zachycená voda je odváděna na distribuční šachtu č. 2 (DŠ2) taktéž s prvkem Pulseswitch. Z DŠ2 je voda vypouštěna na vertikální filtr č.2 (VF2), kde je voda drenážním potrubím zachycena a odváděna přes měrný objekt na výustní objekt. Vyčištěná voda je vypouštěna do rybníka (není na mapových podkladech zobrazen, ale výstavba proběhla v roce 2023, břeh rybníka je na hranici pozemku pro výstavbu ČOV).

### 4.1.5 Kvalita vypouštěné odpadní vody

Přírodní čistírna v Olešence je navržena tak, aby splňovala limity pro nejlepší dostupné technologie v oblasti čištění odpadních vod podle NV 401/2015 Sb. [6] Účinnosti jednotlivých stupňů čištění jsou odečteny z ČSN 75 6402.

**Tab. 9 Hodnocené ukazatele pro čistírny do 500 EO nejlepší dostupné technologie [6]**

| Kategorie ČOV [EO] | Nejlepší dostupná technologie | $CHSK_{Cr}$ | | | $BSK_5$ | | | NL | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | koncentrace | | účinnost [%] | koncentrace | | účinnost [%] | koncentrace | |
| | | p mg/l | m mg/l | | p mg/l | m mg/l | | p mg/l | m mg/l |
| < 500 | Nízko až středně zatěžovaná aktivace nebo biofilmové reaktory | 110 | 170 | 75 | 30 | 50 | 85 | 40 | 60 |

## 4.2 VÝPOČTY DIMENZÍ A PRŮTOKŮ ČISTÍRNY

Výpočty jsou provedeny v souladu s normou ČSN 75 6402 a na základě konzultací s vedoucím práce. Účinnosti jednotlivých stupňů vychází z Tab. 10.

**Tab. 10 Orientační hodnoty účinností jednotlivých stupňů čištění [5]**

| Technologie čištění | Účinnost čištění v % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $BSK_5$ | CHSK | NL | $N\text{-}NH_4^+$ | $P_{celk}$ |
| Septik | 15 až 30 | 0 až 20 | 50 až 60 | – | – |
| Anaerobní separátor | 50 až 75 | 40 až 80 | 70 až 90 | 5 až 25 | 10 až 45 |
| Sedimentace | 20 až 30 | 10 až 30 | 30 až 60 | 0 až 5 | 0 až 8 |
| Rotační biofilmové reaktory (biodisky apod.) | 80 až 90 | 60 až 85 | 65 až 90 | 5 až 70 | 5 až 20 |
| Aktivační proces s biofilmovým reaktorem | 80 až 95 | 70 až 90 | 80 až 90 | 65 až 95 | 15 až 25 |
| Aktivační proces s $B_x$ < 0,3 kg/(kg · d) | 80 až 90 | 60 až 85 | 85 až 90 | 5 až 30 | 15 až 25 |
| Aktivační proces s $B_x$ ≈ 0,05 kg/(kg · d) | 85 až 95 | 70 až 90 | 85 až 90 | 5 až 30[2)]<br>65 až 95[1)] | 15 až 25 |
| Biologické dočišťovací nádrže | 65 až 70<br>80 až 90[1)] | 60 až 85 | 85 až 90 | 20 až 90 | 5 až 20 |
| Zemní filtry | 85 až 95 | 70 až 90 | 85 až 95 | 10 až 15 | 5 až 25 |
| Vertikální filtr s dávkovacím systémem | 60 až 90 | 40 až 70 | 40 až 70 | 70 až 90 | 5 až 25 |
| Vegetační čistírna s horizontálním průtokem | 40 až 95 | 50 až 90 | 65 až 95 | 5 až 60 | 5 až 25 |
| Vertikální filtr s vegetací | 75 až 98 | 70 až 97 | 85 až 99 | 50[2)] až 99[1)] | 5 až 20 |

[1)] v letním období (tj. pro T > 12 °C)
[2)] v zimním období (tj. pro T < 6 °C)

### 4.2.1 Počet EO

Jak bylo již uvedeno výše, počet trvale žijících obyvatel v obci k roku 2019 byl 180 osob. Obec plánuje prodej stavebních parcel a rozšíření obce o několik rodinných domů. Uvažovaný počet obyvatel byl z tohoto důvodu navýšen na 200 osob.

### 4.2.2 Objemy přitékající odpadní vody

Pro obec Olešenka bylo zvoleno specifické množství odpadní vody $q_{spec}$= 125 $l \cdot os^{-1} \cdot den^{-1}$. V obci je jednotná kanalizace, která je v pochybném stavu. Množství balastních vod je odhadováno na 70 %. Součinitel denní nerovnoměrnosti pro obyvatele $k_{d,m}$ = 1,5. [5]

**Vstupní údaje:**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Počet obyvatel | **EO =** | 200 | os |
| Specifické množství odpadní vody | $\mathbf{q_{spec}}$ = | 125 | $l \cdot os^{-1} \cdot den^{-1}$ |
| Procento balastní vody | = | 70 | % |
| Součinitel denní nerovnoměrnosti - obyvatelstvo | $\mathbf{k_{d,m}}$ = | 1,5 | |
| Součinitel denní nerovnoměrnosti - průmysl | $\mathbf{k_{d,p}}$ = | 1 | |
| Součinitel max. hodinové nerovnoměrnosti - obyvatelstvo | $\mathbf{k_{h,max,m}}$ = | 4,92 | |
| Součinitel max. hodinové nerovnoměrnosti - průmysl | $\mathbf{k_{h,max,p}}$ = | 1 | |
| Součinitel min. hodinové nerovnoměrnosti | $\mathbf{k_{h,min}}$ = | 0,5 | |

**Výpočty přítoků:**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Průměrný denní přítok odpadních vod - obyvatelstvo | $\mathbf{Q_{24,m}}$ = | 0,29 | $l \cdot s^{-1}$ | 1,04 | $m^3 \cdot h^{-1}$ | 25,00 | $m^3 \cdot d^{-1}$ |
| Průměrný denní přítok odpadních vod - průmysl | $\mathbf{Q_{24p}}$= | 0,00 | $l \cdot s^{-1}$ | 0,00 | $m^3 \cdot h^{-1}$ | 0,00 | $m^3 \cdot d^{-1}$ |
| Balastní vody | $\mathbf{Q_b}$ = | 0,20 | $l \cdot s^{-1}$ | 0,73 | $m^3 \cdot h^{-1}$ | 17,50 | $m^3 \cdot d^{-1}$ |
| Maximální hodinový přítok obyvatelstvo | $\mathbf{Q_{h,m}}$ = | 2,14 | $l \cdot s^{-1}$ | 7,69 | $m^3 \cdot h^{-1}$ | | |
| Maximální hodinový přítok průmysl | $\mathbf{Q_{h,p}}$ = | 0,00 | $l \cdot s^{-1}$ | 0,00 | $m^3 \cdot h^{-1}$ | | |
| Průměrný bezdeštný denní přítok | $\mathbf{Q_{24}}$ = | **0,49** | $l \cdot s^{-1}$ | **1,77** | $m^3 \cdot h^{-1}$ | **42,50** | $m^3 \cdot d^{-1}$ |
| Maximální bezdeštný denní přítok | $\mathbf{Q_d}$ = | **0,64** | $l \cdot s^{-1}$ | **2,29** | $m^3 \cdot h^{-1}$ | **55,00** | $m^3 \cdot d^{-1}$ |
| Maximální hodinový přítok | $\mathbf{Q_h}$ = | **2,34** | $l \cdot s^{-1}$ | **8,42** | $m^3 \cdot h^{-1}$ | | |
| Minimální hodinový přítok | $\mathbf{Q_{h,min}}$ = | **0,14** | $l \cdot s^{-1}$ | **0,52** | $m^3 \cdot h^{-1}$ | | |

### 4.2.3 Produkce specifického znečištění

Množství a koncentrace znečištění je stanovena pro 200 EO. Obec nemá žádný průmysl, hospodářství v obci řeší své odpadní vody separátně.

so – Množství hodnocené látky na 1 EO

$S_{dp}$ – Celkové množství hodnocené látky pro 200 EO

**Tab. 11 Množství znečišťujících látek**

| | Látky | | | $BSK_5$ | CHSK | $N_{celk}$ | $P_{celk}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Minerální | Organické | Celkem | | | | |
| so [$g \cdot os^{-1} \cdot den^{-1}$] | 15 | 40 | 55 | 60 | 120 | 11 | 2,5 |
| $s_{dpo}$ [$kg \cdot den^{-1}$] | 3 | 8 | 11 | 12 | 24 | 2,2 | 0,5 |
| $s_{dpo}$ [$mg \cdot den^{-1}$] | 3000000 | 8000000 | 11000000 | 12000000 | 24000000 | 2200000 | 500000 |

**Tab. 12 Průměrná koncentrace znečištění**

| | Látky | | | $BSK_5$ | CHSK | $N_{celk}$ | $P_{celk}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Minerální | Organické | Celkem | | | | |
| $c_o$ [mg.l$^{-1}$] | 70,6 | 188,2 | 258,8 | 282,4 | 564,7 | 51,8 | 11,8 |

### 4.2.4 Uvažovaná účinnost čistírny

Hodnoty účinností jsou brány z Tab. 10. a na základě konzultací s vedoucím práce. Hodnoty jsou většinou brány jako střední hodnoty z normy.

**Tab. 13 Vyčíslení účinnosti čistírny**

| | jednotky | účinnost čištění % | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $BSK_5$ | CHSK | NL | $N\text{-}NH_4^+$ | Ncelk | $P_{celk}$ |
| $c_o$ vstupní koncentrace | mg·l$^{-1}$ | 282,4 | 564,7 | 258,8 | 51,8 | 51,8 | 11,8 |
| I. st. Anaerobní separátor | % | 22,5 | 10 | 80 | 15 | 0 | 4 |
| **$c_o$ po I. Stupni** | **mg·l$^{-1}$** | **218,8** | **508,2** | **51,8** | **44,0** | **51,8** | **11,3** |
| II. st. Vertikální filtr | % | 74 | 74 | 90 | 49 | 57 | 5 |
| **$c_o$ po II. Stupni** | **mg·l$^{-1}$** | **56,9** | **132,1** | **5,2** | **22,4** | **22,3** | **10,7** |
| III. st. Vertikální filtr | % | 92 | 92 | 95 | 90 | 5 | 5 |
| **$c_o$ po III. Stupni** | **mg·l$^{-1}$** | **4,6** | **10,6** | **0,3** | **2,2** | **21,1** | **10,2** |
| celková účinnost | % | 98 | 98 | 100 | 96 | 59 | 13 |

### 4.2.5 Česle

Pro čistírnu do 500 EO je možno navrhovat a vhodně provozovat čistírny s ručně stíranými česlemi. Z pohledu dimenzování je obvyklá šířka průlin od 15 mm do 20 mm. Rychlost před česlemi by neměla přesahovat 1 m·s$^{-1}$. Sklon česlí má být asi 45° vůči dnu žlabu a přítomna by měla být odkapávací plocha pro zachycené látky. [5]

### 4.2.6 Podélný lapák písku

V obci Olešenka se s lapákem písku uvažuje kvůli stávající jednotné kanalizaci. Lapák písku má být navržen tak, aby zachytil písek a jiné minerální částice nad velikost 0,2 mm. Rychlost vody v podélném lapáku má být do 0,3 m·s$^{-1}$, střední doba zdržení nemá být kratší než 30 s a hydraulické zatížení plochy hladiny nemá být větší než 16 m$^3$·(m$^2$·h)$^{-1}$. Akumulační prostor lapáku písku by měl mít kapacitu pro 10 až 15 dní. Lapák písku musí být vybaven zařízením pro odstraňování usazenin. [5]

**Vstupní údaje**

| | | | |
|---|---|---|---|
| | $Q_{24}$ | 0,49 | $l \cdot s^{-1}$ |
| | $Q_d$ | 0,64 | $l \cdot s^{-1}$ |
| | $Q_{dešť}$ | 10,33 | $l \cdot s^{-1}$ |
| Gravitační zrychlení | g | 9,81 | $m \cdot s^{-2}$ |
| Měrná hmotnost zrn zeminy | $\rho_s$ | 2650 | $kg \cdot m^{-3}$ |
| Měrná hmotnost vody | $\rho_w$ | 1000 | $kg \cdot m^{-3}$ |
| Dynamická viskozita vody | $\eta$ | 0,001307 | $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ |
| Průměr zrna dle ČSN 75 6402 | d | 0,0002 | m |
| Rychlost klesání částice v kapalině | **v** | **0,0275** | $\mathbf{m \cdot s^{-1}}$ |

**Návrh rozměrů lapáku s Thomsonovým přelivem**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Šířka lapáku | š | 1,20 | m |
| Délka lapáku | l | 2,1 | m |
| Šířka štěrbiny | $š_{š}$ $_{t}$ | 0,07 | m |
| Zahloubení žlabu oproti Thomsonovu přelivu na odtoku | z | 0,30 | m |

**Výpočet průtoku pro Thomsonův přeliv** $Q = 1.344 \cdot h^{2.47}$

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Doba zdržení při max. průtoku - $Q_{dešť}$ | $t_p$ | 39,0 | s | > | 30 | s | Vyhovuje |
| Maximální rychlost v lapáku | v | 0,05 | m/s | < | 0,30 | m/s | Vyhovuje |
| Hydraulické zatížení plochy | $v_z$ | 14,8 | $m^3/(m^2*h)$ | < | 16,0 | $m^3/(m^2*h)$ | Vyhovuje |

## 4.2.7 Přečerpávací stanice

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Průměrný bezdeštný denní přítok | Q24 = | 0,492 | $l \cdot s^{-1}$ | 42,5 | $m^3 \cdot d^{-1}$ |
| Velikost akumulačního prostoru | | 0,5 | d | | |
| Akumulační prostor čerpací stanice | $V_{AP}$ = | 21,25 | $m^3 \cdot d^{-1}$ | | |
| Počet čerpání za den | | 10 | | | |
| Čerpaná dávka | $V_{ČD}$ = | 4,25 | $m^3 \cdot d^{-1}$ | | |

## 4.2.8 Anaerobní separátor

Objem anaerobního separátoru je vyčíslen dle vzorce $V = a \cdot n \cdot q \cdot t$.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Celkový účinný prostor septiku | $\mathbf{V_{as}}$ | 146 | $m^3$ |
| Součinitel vyjadřující kalový prostor | **a** | 1,5 | |
| Balastní vody | $\mathbf{Q_b}$ | 70,0 | |
| Počet obyvatel | **n** | 200 | os |
| Specifické množství odpadní vody | $\mathbf{q_{spec}}$ | 125 | $l \cdot os^{-1} \cdot den^{-1}$ |
| střední doba zdržení | **t** | 3 | dny |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Skutečný velkový objem toku - $V_{skut}$ | $\mathbf{V_{skut}}$ | 194 | $m^3$ |
| I. Komora 50% objemu | **I.K** | 97 | $m^3$ |
| II. Komora 25% objemu | **II.K** | 49 | $m^3$ |
| III. Komora 25% objemu | **III.K** | 49 | $m^3$ |
| Skutečný účinný prostor $V_{úč,skut}$ | | 64,67 | $m^3$ |
| Specifická produkce kalu | | 1,9 | $l \cdot EO^{-1} \cdot den^{-1}$ |
| Produkce kalu za den - $V_{k,d}$ | | 0,38 | $m^3 \cdot den^{-1}$ |
| Četnost vyvážení | | 170 | dní |
| Produkce kalu za rok - $V_{k,rok}$ | | 139 | $m^3 \cdot rok^{-1}$ |
| Počet vyvezení za rok | | 3 | |
| Objem kalu na KP v 1 dávce | | 46,2 | $m^3$ |

### 4.2.9 Vertikální filtr č.1

Velikost vertikálního filtru č.1 je stanovena tak, aby organické zatížení CHSK nepřesahovalo hodnotu 20 $g_{CHSK} \cdot m^{-1} \cdot d^{-1}$. Hodnota organického zatížení se určí podílem celkového denního zatížení CHSK se skutečnou plochou vertikálního filtru.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Průměrný bezdeštný denní přítok | **Q24** | **42,50** | $m^3 \cdot d^{-1}$ |
| Koncentrace znečištění CHSK na přítoku | $\mathbf{c_p(CHSK)}$ | 508,24 | $mg \cdot l^{-1}$ |
| Koncentrace znečištění N-$NH_4$ na přítoku | $\mathbf{c_p(N\text{-}NH_4)}$ | 44,00 | $mg \cdot l^{-1}$ |
| Celkové denní zatížení CHSK | $\mathbf{S_{dp}}$ | 21600 | $g_{CHSK} \cdot den^{-1}$ |
| Plocha na EO | $\mathbf{A1_{EO}}$ | 1,5 | $m^2$ |
| Návrh plochy vertikální filtru č.1 | $\mathbf{A1_{VF}}$ | 300 | $m^2$ |
| Skutečná plocha vertikálního filtru č.1 | $\mathbf{A1_{SVF}}$ | 328 | $m^2$ |
| Organické zatížení CHSK | $f_{VF1}$ | 65,85 | $g \cdot m^{-1} \cdot d^{-1}$ |
| Účinnost 1. stupně v ukazateli CHSK | $\mathbf{E_{VF1}}$ | **73,54** | % |
| Účinnost 1. stupně v ukazateli N-$NH_4^+$ | $\mathbf{E_{VF1}}$ | **48,54** | % |
| Výstupní koncentrace 1. stupeň $\mathbf{c_{VF}(CHSK_{Cr})}$ | $\mathbf{c_{VF}(CHSK_{Cr})}$ | **134,50** | $mg \cdot l^{-1}$ |
| Výstupní koncentrace 1. stupeň $\mathbf{c_{VF}(N\text{-}NH_4^+)}$ | $\mathbf{c_{VF}(N\text{-}NH^{4+})}$ | **22,64** | $mg \cdot l^{-1}$ |

### 4.2.10 Vertikální filtr č.2

Velikost vertikálního filtru č.2 je stanovena tak, aby organické zatížení CHSK nepřesahovalo hodnotu 80 $g_{CHSK} \cdot m^{-1} \cdot d^{-1}$. Hodnota organického zatížení se určí podílem celkového denního zatížení CHSK se skutečnou plochou vertikálního filtru.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Průměrný bezdeštný denní přítok | **Q24** | **42,50** | $m^3 \cdot d^{-1}$ |
| Koncentrace znečištění CHSK na přítoku | $\mathbf{c_p(CHSK)}$ | 134,50 | $mg \cdot l^{-1}$ |
| Koncentrace znečištění N-$NH_4$ na přítoku | $\mathbf{c_p(N\text{-}NH_4)}$ | 22,64 | $mg \cdot l^{-1}$ |
| Celkové denní zatížení CHSK | $\mathbf{S_{dp}}$ | 5716 | $g_{CHSK} \cdot den^{-1}$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Plocha na EO | $A2_{EO}$ | 1,5 | $m^2$ |
| Návrh plochy vertikální filtru č.2 | $A2_{VF}$ | 300 | $m^2$ |
| Skutečná plocha vertikálního filtru č.2 | $A2_{SVF}$ | 325 | $m^2$ |
| Organické zatížení CHSK | $f_{VF2}$ | 17,59 | $g_{CHSK} \cdot m^{-1} \cdot d^{-1}$ |
| Účinnost 2. stupně v ukazateli CHSK | $E_{VF2}$ | **92** | % |
| Účinnost 2. stupně v ukazateli $N\text{-}NH_4^+$ | $E_{VF2}$ | **90** | % |
| Výstupní koncentrace 2. stupeň $c_{VF}(CHSK_{Cr})$ | $c_{VF}(CHSK_{Cr})$ | **10,76** | $mg \cdot l^{-1}$ |
| Výstupní koncentrace 2. stupeň $c_{VF}(N\text{-}NH_4^+)$ | $c_{VF}(N\text{-}NH^{4+})$ | **2,26** | $mg \cdot l^{-1}$ |

### 4.2.11 Distribuční šachty

Distribuční šachta je navržena pro instalaci třech pulzních vypouštěčů najednou. Doporučené dávkování je 6 dávek za den a interval ve spouštění by neměl být kratší jak 4 hodiny.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Přítok vody na filtr | $Q_{24}$ = | 42,50 | $m^3 \cdot den^{-1}$ |
| Plocha filtru | $A1_{SVF}$= | 328 | $m^2$ |
| Zatížení povrchu filtru | $v_{VF}$= | 0,130 | $m^3 \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$ |
| Počet šachet | $n_š$= | 1 | |
| Šířka šachty | $d_š$= | 2,6 | m |
| Délka šachty | $r_š$= | 2,1 | m |
| Výška šachty | $h_š$= | 1,93 | m |
| Minimální výška vodního sloupce | $h_{min}$= | 0,65 | m |
| Vzdálenost maximální hladiny od stropu šachty | $h_{st}$= | 0,78 | m |
| Maximální výška vodního sloupce | $h_{max}$= | 1,15 | m |
| Plocha šachty v půdoryse | $A_š$= | 5,46 | $m^2$ |
| Počet vypouštěčů v 1 šachtě | $n_v$= | 3 | |
| Počet vypoušťěčů ve všech šachtách | $n_{v,celk}$= | 3 | |
| Objem vody na 1 vypuštěč za den | $Q_v$= | 14,17 | $m^3 \cdot den^{-1}$ |
| Výška vodního sloupce pro napuštění | $h_{ůč}$= | 0,5 | m |
| Objem vodního sloupce pro napuštění v 1 šachtě | $V_š$= | 2,73 | $m^3$ |
| Celkový objem 1 dávky (všechny šachty) | | 8,19 | $m^3$ |
| Objem vody na 1 vypuštěč v dávce | | 2730,0 | $l \cdot dávka^{-1}$ |
| Počet spuštění jednoho vypouštěče za den | | **5,2** | $spušt. \cdot den^{-1}$ |
| Interval mezi jednotlivými dávkami | | **4,6** | hod |
| Požadovaný počet otvorů na $1m^2$ filtru | | 1,0 | |

### 4.2.12 Kalové pole

Kalové pole dle ČSN 75 6402 by mělo mít plochu 2-3 $EO/m^2$.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Plocha kalového pole na EO | $A_{EO}$ | 0,5 | $m^2 \cdot EO^{-1}$ |
| Počet ekvivalentních obyvatel | **EO** | 200 | os |
| Plocha kalového pole | $A_{kal}$ | 100 | $m^2$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Skutečná plocha kalového pole | $A_{skal}$ | 106 | $m^2$ |
| Hloubka kalového pole je zvýšitelná pytli s pískem | $h_{kal}$ | 2 až 4 | m |

## 4.3 POPIS OBJEKTŮ ČISTÍRNY

Odpadní voda z obce, je několikrát denně čerpána na anaerobní separátor z čerpací šachty. Z anaerobního separátoru voda gravitačně protéká skrz jednotlivé objekty.

Objekty přírodní čistírny jsou navrženy tak, aby byly gravitačně protékány a aby se vešly do stavební parcely

### 4.3.1 Kanalizace

V obci je stávající jednotná kanalizace, na které jsou evidovány významnější protispády, praskliny, stoka je v některých úsecích rozlomena. V některých úsecích je stoka dokonce destruovaná. Jsou v ní přítomné usazeniny a zatarasené profily stoky. Dalšími problémy jsou přesazené přípojky, průniky cizích vod do stoky, prorůstání kořenů.

Celá kanalizační síť musí projít obnovou. Je třeba napojit několik nepřipojených domů ve střední části obce, vybudovat dvě nové stoky pro domy v severní části obce. V severovýchodní části obec uvažuje s novými stavebními parcelami, tyto parcely je třeba napojit na kanalizaci.

V obci je odlehčovací komora na stoce A, stoka A končí výústním objektem, výustní objekt bude přestavěn na odlehčovací komoru a stoka bude dál pokračovat jako oddílná kanalizace.

### 4.3.2 Česle a lapák písku

Česle s lapákem písku budou jako sdružený monolitický objekt. Přitékající voda proteče skrz česle a lapák písku a Thomsonovým přelivem bude pokračovat dál na čerpací šachtu. Sedimentační žlab lapáku písku musí být odnímatelný, aby bylo možno usazeniny ze sedimentačního prostoru odtěžit.

### 4.3.3 Čerpací šachta

Čerpací šachta bude monolitický objekt se třemi betonovými odnímatelnými deskami jako strop. Vstup do šachty je umožněn žebříkem. Vybavením šachty budou dvě kalová čerpadla. Přítok z gravitační kanalizace bude opatřen drtičem pro rozmělnění možného znečištění, které může vést k poruše čerpadel. V blízkosti čerpací šachty bude jeřáb, klatka, nebo jiné zařízení pro výměnu vystrojení šachty. Šachta bude opatřena ode dna nerezovým potrubím pro případné čerpání fekálním vozem.

### 4.3.4 Anaerobní separátor

Anaerobní separátor je septik se speciálně umístěným potrubím pro maximalizaci sedimentace nerozpuštěných látek. Jako anaerobní separátor jsou navrženy dvě velkoobjemové nádrže, které jsou umístěny vedle sebe paralelně. První nádrž tvoří 50 % z celkového objemu anaerobního separátoru, druhá nádrž je uprostřed rozdělena a tvoří dvě další komory s objemem po 25 % z celkového objemu.

Anaerobní separátor je složen ze dvou paralelních skládaných nádrží, s označením NO 1068 a celkovým objemem 106,8 $m^3$. Jedná se o velkoobjemové nádrže, které jsou skládány z dílů NOD14 a NOP14, které tvoří přední a zadní část nádrže a z dílu NO23, jenž tvoří prostřední část nádrže. Dílů NO23 lze za sebe umístit variabilní počet a tím vytvořit libovolně dlouhou nádrž. Do čela první nádrže je přivedena odpadní voda tlakovou kanalizací, na konci nádrže je nádrž propojena s druhou nádrží pomocí PP-HT potrubí. Druhá nádrž je uprostřed rozdělena přepážkou, pro větší odolnost nádrže je uvažováno i s variantou přepážku nahradit dvěma díly NOD14 a NOP14 a tím vytvořit nádrže 3. [35] Skrz přepážku je uvažováno také s potrubím PP-HT. Odtok z nádrže je uvažován tlakovým potrubím DN 150.

První komora je vybavena na přítoku nornou stěnou, komory anaerobního separátoru jsou mezi sebou propojeny potrubím PP-HT DN110. Potrubí na odtoku z jedné nádrže má T-kus, skrz stěnu jde přímá trubka a přítok v druhé nádrži je složen z T-kusu a dvou přímých 1 m dlouhých trubek. Do nádrže bude implementováno nerezové potrubí pro odsávání kalu pomocí fekálního vozu.

Nádrže jsou umístěny ve výkopu na železobetonovou křížem vyztuženou monolitovou desku. Přední a pravá část nádrže jsou z důvodu úspory místa zatepleny extrudovaným polystyrenem (XPS) tl. 150 mm. Strop a zbylé dvě stěny jsou přisypány zeminou. Svahování je kvůli stísněným podmínkám ve sklonu 1:1. Vršek separátoru bude ohumusován a osázen travní směsí, stěny přisypané zeminou budou osázeny popínavými rostlinami. Ve svahu je uvažováno se schodištěm pro kontrolu komor anaerobního separátoru. V místech, kde není násyp, bude AS opatřen zábradlím o výšce 1100 mm.

Jak již bylo zmíněno, ze třetí komory AS povede shybka na distribuční šachtu pro první vertikální filtr. Užití shybky je nezbytné z důvodu křížení vedení vysokého napětí. Před distribuční šachtou bude umístěna revizní šachta, která bude mít kalový prostor pro případné usazeniny.

### 4.3.5 Distribuční šachty

Distribuční šachta má za úkol akumulovat a tlakově distribuovat vodu na vertikální filtr. Vertikální filtr je rozdělen na tři stejně velká pole. Tudíž je třeba použít tři pulzní vypouštěče.

Distribuční šachty jsou železobetonové prefabrikované s označením ND-10. Celkový objem jedné distribuční šachty je 9,9 $m^3$. Distribuční šachty budou osazeny na křížem vyztuženou monolitickou desku o tloušťce 150 mm a do násypu. Násyp je třeba před budováním monolitické desky dostatečně hutnit.

V nádrži budou umístěny tři pulzní vypouštěče typu CW-PULZ, dva z vypouštěčů budou mít doplňkové zařízení Pulseswitch se třemi zuby pro změnu pulzů. Třetí vypouštěč bude bezpečnostní s nastavenou vyšší spínanou hladinou a jeho součástí nebude Pulseswitch. Objem jedné vypuštěné dávky jedním vypouštěčem na filtr je 2,73 $m^3$. Vypouštěče budou napojeny na potrubí DN110. DŠ1 bude mít obtokové potrubí prvního vertikálního filtru. DŠ2 bude obsahovat navíc obtokové potrubí od DŠ1 a obtokové potrubí pro vertikální druhý filtr. Obtokové potrubí bude z PVC U DN150.

Distribuční šachta č.1 bude 700 mm nad terénem z důvodu nižších nákladů na množství přisypávané a hutněné zeminy, druhým důvodem je snazší obsluha šachty. Poklop šachty budou tvořit dubová prkna.

Distribuční šachta č. 2 bude mít poklop betonový v úrovni terénu.

### 4.3.6 Vertikální filtry

Vertikální filtr je hlavním stupněm čištění. Čistírna v obci Olešenka má zařazeny dva vertikální filtry sériově. První má plochu 328 $m^2$, druhá zabírá plochu 325 $m^2$. Tvar vertikálních filtrů je uzpůsoben místním možnostem stavební parcely. Oba vertikální filtry mají rozvodné potrubí rozdělené na 3 segmenty.

Vertikální filtr č.1 je celý v násypu. Je tedy zapotřebí dostatečně podloží filtru hutnit, aby nedocházelo k nežádoucím poklesům. Vertikální filtr č.2 je částečně v násypu, částečně ve výkopu.

Vertikální filtr je bazén izolovaný od podloží PVC folií. PVC folii chrání z obou stran netkaná geotextílie. Pod geotextilií je vrstva písku, který vyrovnává nerovnosti terénu. Filtrační náplň se skládá z drenážní vrstvy, hlavní filtrační vrstvy a svrchní vrstvy. Filtrační vrstva má za úkol odvádět čištěnou vodu pryč z filtru, tato vrstva je 300 mm vysoká, je v ní umístěno drenážní potrubí a je složena z těžkého praného kameniva. VF1 má drenážní vrstvu zatopenou, z důvodu vzniku anaerobního prostředí. Hlavní filtrační vrstva má mocnost u VF1 600 mm u VF2 500 mm. Zde se odehrává většina procesů čištění odpadní vody, vrstva je z praného písku. Svrchní vrstva je z těžkého praného kameniva, má mocnost 50 mm a je výhodné, aby byla právě z praného kameniva. Pro mokřadní rostliny je přirozenější, když rostou mezi hladkými zakulacenými oblázky než mezi kamenivem, které má ostré hrany.

Voda je na povrch filtru přiváděna rozvodným potrubím z distribučních šachet. Z DŠ vede potrubí o DN 110 na střed filtru. Ve středu filtru je voda rozdělena do dvou směrů pomocí T-kusu opět potrubím o DN 110. V tomto potrubí po vzdálenosti 800 mm je odbočka DN 50 mm na distribuční potrubí. V distribučním potrubí jsou ve vzdálenosti 1000 mm vrtákem 5 mm vytvořeny díry směrem dolu, které zkrápějí filtr vodou. Ideální množství dávek na filtr je 6x za den, tak aby byla hlavní filtrační vrstva udržovaná vlhká. Povrch filtru je osázen mokřadními rostlinami, které mají několik funkcí. Rostliny chrání distribuční a rozvodné potrubí proti povětrnostním vlivům a prodlužují jeho životnost. Rostliny se podílí na odstraňování fosforu a

dusíku, napomáhají s provzdušňováním filtru. Nejosazovanější rostlinou je u nás rákos obecný. Hustota osázení se uvažuje 4 ks na 1 $m^2$ filtru.

### 4.3.7 Kalové pole

Kalové pole má užitnou plochu 106 $m^2$. Dno kalového pole stejně jak vertikální filtr je podsypáno vyrovnávací vrstvou písku. Na písku je umístěna geotextílie s PVC folií a další geotextilií. Dno kalového pole je z praného těžkého kameniva, ve kterém je umístěno drenážní potrubí, které je zaústěno do akumulační nádrže. Užitná plocha kalového pole je ze západní strany ohraničena svahem, zbytek užitné plochy je ohraničen pytly s pískem. Pytle jsou podle množství kalu doplňovány. Užitný prostor kalového pole je osázen rákosem obecným.

Na kalové pole je pomocí fekálního vozu několikrát ročně čerpán kal z anaerobního separátoru. Odseparovaná voda z kalu s dešťovou vodou v akumulační nádrži je při příležitosti plnění kalového pole přečerpána do první komory anaerobního separátoru.

# 5 ZÁVĚR

Diplomová práce měla hlavní cíl přijít s řešením, jak zredukovat množství distribučních šachet na přírodní čistírně a vypracovat dokumentaci pro územní řízení s implementací nového zařízení na čistírně odpadních vod v obci Olešenka.

První část diplomové práce byla rešeršní. Ve stručnosti byly popsány hodnocené odpadní látky, byl popsán systém přírodních čistíren a jejich objekty. Větší důraz byl kladen na distribuční šachtu a její vybavení, zejména na typy mechanických vypouštěcích zařízení z šachty. Dále byly popsány materiály potrubí na přírodní čistírně. Tato kapitola je důležitá z důvodu správné volby materiálu potrubí.

V rámci diplomové práce se podařilo vymyslet, vytvořit a otestovat funkční zařízení, díky kterému budou přírodní čistírny ještě konkurenceschopnější a jednodušší. Mezi benefity, které Pulseswitch přináší, patří:

- úspora stavebních nákladů
- redukce počtu distribučních šachet
- redukce délky potrubí
- odstranění zařízení pro rozdělování odpadní vody mezi distribuční šach
- ekologičtější výstavba.

Ve třetí kapitole byl popsán princip fungování Pulseswitch, jednotlivé komponenty, díky kterým může Pulseswitch vykonávat svoji funkci, množství vypouštěčů, jež může být instalováno do nádrže a uspořádání ozubení Pulseswitch podle počtu vypouštěčů. Následující kapitola se zabývá správným umístěním Pulseswitch do nádrže a jeho nastavením pro správnou funkci, dále je popsán vývoj od myšlenky k hotovému zařízení. Jedním z nejdůležitějších bodů je testování Pulseswitch v nádrži. Bylo zaznamenáno celkem 409 cyklů, což je 1636 pohybů dříku nahoru a dolu mezi ozubení, při kterém nebylo zaznamenáno žádné pochybení systému.

Dalším výsledkem diplomové práce je dokumentace pro územní řízení přírodní čistírny v obci Olešenka s inovativním řešením distribuce odpadní vody na filtr. Nutno podotknout, že stavební parcela čistírny není morfologicky ideální a středem pozemku vede vysoké napětí elektřiny. Bez Pulseswitch by gravitační řešení čistírny bylo velmi problematické.

Závěr diplomové práce je pouze začátkem pro budoucnost Pulseswitch. Před prvním instalováním zařízení na přírodní čistírnu bude třeba vyřešit, jak bude Pulseswitch vyráběn. Což bude zahrnovat zvolení vhodných materiálů a jednotlivých komponentů, v neposlední řadě i důkladné promyšlení výrobního postupu pro kusovou výrobu. Pro kontrolu funkčnosti celého systému bude vhodné implementovat ke každému pulznímu vypouštěči počítadlo zdvihů. Otázkou je kam počítadlo instalovat. Možností může být několik, jako jedna z variant se nabízí využití bezpečnostního potrubí, které je na odtokovém potrubí za pulzním vypouštěčem. Zde by se dal přidat plovák s tyčí, který se při sepnutí pulzního vypouštěče zdvihne a předá impulz počítadlu, které zaznamená hodnotu. Výsledkem bude, že budou známy počty sepnutí

jednotlivých vypouštěčů a z toho bude možné vyčíst funkčnost systému. Dále bude zahájen proces pro udělení patentu.

# 6 SEZNAM PŘÍLOH

## C – SITUAČNÍ VÝKRESY

| | | |
|---|---|---|
| C.01 | SITUAČNÍ VÝKRES ŠIRŠÍCH VZTAHŮ | M: 1:5 000 |
| C.02 | KATASTRÁLNÍ SITUAČNÍ VÝKRES ČOV | M: 1:1 000 |
| C.03 | KOORDINAČNÍ SITUACE ČOV | M: 1:250 |

## D – DOKUMENTACE OBJEKTŮ

| | | |
|---|---|---|
| D.1.0 | TECHNICKÁ ZPRÁVA ČOV | txt |
| D.1.1.1 | PŮDORYS ČESLÍ A LAPÁKU PÍSKU | M: 1:20 |
| D.1.1.2 | PŮDORYS ČERPACÍ ŠACHTY | M: 1:25 |
| D.1.1.3 | PŮDORYS ANAEROBNÍHO SEPARÁTORU | M: 1:50 |
| D.1.1.4 | PŮDORYS DISTRIBUČNÍ ŠACHTY Č.1 | M: 1:20 |
| D.1.1.5 | PŮDORYS VERTIKÁLNÍHO FILTR Č.1 | M: 1:100 |
| D.1.1.6 | PŮDORYS DISTRIBUČNÍ ŠACHTY Č.2 | M: 1:20 |
| D.1.1.7 | PŮDORYS VERTIKÁLNÍHO FILTRU Č.2 | M: 1:100 |
| D.1.1.8 | PŮDORYS VÝUSTNÍHO OBJEKTU | M: 1:25 |
| D.1.1.9 | PŮDORYS KALOVÉHO POLE | M: 1:100 |
| D.1.2.1 | VZOROVÉ ŘEZY ČESLÍ A LAPÁKU PÍSKU | M: 1:20 |
| D.1.2.2 | VZOROVÉ ŘEZY ČERPACÍ ŠACHTY | M: 1:20 |
| D.1.2.3 | VZOROVÉ ŘEZY ANAEROBNÍHO SEPARÁTORU | M: 1:50 |
| D.1.2.4 | VZOROVÉ ŘEZY DISTRIBUČNÍ ŠACHTY Č.1 | M: 1:20 |
| D.1.2.5 | VZOROVÉ ŘEZY VERTIKÁLNÍM FILTREM Č.1 | M: 1:50 |
| D.1.2.6 | VZOROVÉ ŘEZY DISTRIBUČNÍ ŠACHTY Č.2 | M: 1:20 |
| D.1.2.7 | VZOROVÉ ŘEZY VERTIKÁLNÍM FILTREM Č.2 | M: 1:50 |
| D.1.2.8 | VZOROVÝ ŘEZ VÝUSTNÍHO OBJEKTU | M: 1:25 |
| D.1.2.9 | VZOROVÝ ŘEZ KALOVÝM POLEM | M: 1:50 |
| D.1.2.10 | PŘEHLEDNÝ PODÉLNÝ PROFIL ČOV | M: 1:200/100 |
| D.1.3.1 | POHLEDY ČOV | M: 1:200/100 |
| D.1.4 | TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA ČOV | - |

# 7 BIBLIOGRAFIE


[1] LIU, Shentan; ZHANG, Yangchen; FENG, Xiaojuan a PYO, Sang-Hyun. Current problems and countermeasures of constructed wetland for wastewater treatment: A review. Online. *Journal of Water Process Engineering*. 2024, roč. 57. ISSN 22147144. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104569. [cit. 2023-12-14].

[2] *Odpadní voda*. Online. In: 1.SčV, a.s. 2023. Dostupné z: https://www.1scv.cz/vse-o-vode/odpadni-voda/. [cit. 2023-10-25].

[3] Vodní ekotoxikologie. Online. *Mendelova univerzita v Brně*. 2015. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=2307&typ=html. [cit. 2023-10-25].

[4] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.

[5] ČSN 75 6402, *Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel*. 2017. Praha.

[6] 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. In: . 2015. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-401.

[7] KRIŠKA, Michal a NĚMCOVÁ, Miroslava. *Kořenové čistírny odpadních vod: METODICKÁ PŘÍRUČKA PRO POVOLOVÁNÍ, NÁVRH, REALIZACI A PROVOZ*. Online, Metodika. 2015. Brno: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015. Dostupné z: https://docplayer.cz/45363232-Korenove-cistirny-odpadnich-vod-metodicka-prirucka-pro-povolovani-navrh-realizaci-a-provoz.html. [cit. 2024-01-08].

[8] BODIK, Igor; KRIŠKA DUNAJSKÝ, Michal; GEMERAN, Daniel a JURÍK, Luboš. Analýza podmienok správneho návrhu a aplikácie extenzívnych systémov čistenia odpadových vôd vo vybraných obciach okresu Rimavská Sobota. Roč. 2017.

[9] *PVC in piping systems*. Online. PVC. Brussel, 2023. Dostupné z: https://pvc.org/pvc-applications/pvc-in-piping-systems/. [cit. 2023-02-13].

[10] *PVC Propeties*. Online. Vinidex. New South Wales, 2023. Dostupné z: https://www.vinidex.com.au/technical-resources/material-properties/pvc-properties/. [cit. 2023-02-13].

[11] COMERTO, s.r.o. *PE trubky - polyethylen*. Online. In: Tribon GF. 2023. Dostupné z: https://www.georgefischer.cz/produkty/materialy/pe-trubky-polyethylen. [cit. 2023-10-24].

[12] COMERTO, s.r.o. *PP trubky (Polypropylen) - PROGEF® Standard*. Online. In: Tribon GF. 2023. Dostupné z: https://www.georgefischer.cz/produkty/materialy/pp-trubky-polypropylen-progef-standard-plus-natural. [cit. 2023-10-24].

[13] KRIŠKA, Michal. *Vypouštěč*. Online. ConWe Technologies. Dostupné z: http://conwe.cz/vypoustec.html. [cit. 2023-12-22].

[14] (USA). *Septic tank distribution box system*. Gavin NORMAN. Přihl.: 3.10.1987. Uděl.: 13.6.1989. US 4838731. Dostupné z: https://cz.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=4838731A&KC=A&FT=D&ND=4&date=19890613&DB=EPODOC&locale=cz_CZ#. [cit. 2023-12-14].

[15] (Francie). *Sequenced waste water feeder for use in waste water treatment plants*. Bataille Remi. Přihl.: 20.4.2005. Uděl.: 15.10.2004. EP1524370. Dostupné z: https://cz.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=EP&NR=1524370A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20050420&DB=EPODOC&locale=cz_CZ#. [cit. 2023-12-14].

[16] (Francie). *Dispositif amorceur pour réservoirs de chasse d'eau automatique, et autres applications*. BETONS CIMENFER DE MONTEREAU. Přihl.: 2.7.1937. Uděl.: 11.03.1938. FR833894. Dostupné z: https://cz.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=FR&NR=833894A&KC=A&FT=D&ND=5&date=19381103&DB=EPODOC&locale=cz_CZ#. [cit. 2023-12-15].

[17] (USA). *Effluent dosing septic system*. James Richard. Přihl.: 10.2.1993. Uděl.: 1.03.1994. US5290434A. Dostupné z: https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/021775540/publication/US5290434A?q=US5290434. [cit. 2023-12-15].

[18] RISSY PLASTICS. *MultiFlout*. Online. Rissy Plastics. 2023. Dostupné z: http://www.rissyplastics.com/flout-systems/multiflout.html. [cit. 2023-12-15].

[19] RISSY PLASTICS. *Dual Alternating Flout*. Online. Rissy Plastics. 2023. Dostupné z: http://www.rissyplastics.com/flout-systems/the-alternator.html. [cit. 2023-12-15].

[20] (USA). *SEQUENCER ASSEMBLY, SYSTEM AND METHOD*. Richard James. Přihl.: 6.8.20. Uděl.: 10.02.2011. US2011030814A1. Dostupné z: https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/043533887/publication/US2011030814A1?q=SEQUENCER%20ASSEMBLY%2C%20SYSTEM%20AND%20METHOD. [cit. 2023-12-15].

[21] RISSY PLASTICS. *The Cuebox*™. Online. Rissy Plastics. Dostupné z: http://www.rissyplastics.com/flout-systems/the-cuebox.html. [cit. 2023-12-15].

[22] (USA). *AUTOMATIC SIPHON*. MILLER SIDNEY W. Přihl.: 9.1.1896. Uděl.: 7.10.1902. US710703A. Dostupné také z: https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/002779229/publication/US710703A?q=SIPHON%20miller.

[23] (USA). *TRIPLE ALTERNATING SIPHON*. MILLER SIDNEY W. Přihl.: 25.10.1906. Uděl.: 19.3.1907. US847592A. Dostupné z: https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/002916055/publication/US847592A?q=TRIPLE%20ALTERNATING%20SIPHON.. [cit. 2023-12-18].

[24] (Česká Republika). *Zařízení pro automatické rázové vypouštění kapaliny*. Michal Kriška Dunajský, Vysoké učení technické v Brně. Přihl.: 03.03.2015. Uděl.: 22.04.2015. Zapsáno 09.04.2015. 28083. Dostupné z: https://isdv.upv.gov.cz/webapp/!resdb.pta.frm. [cit. 2023-12-18].

[25] (Česká Republika). *Zařízení pro distribuci vody při pomalých průtocích*. Michal Kriška Dunajský, Miroslava Pumprlová Němcová. Přihl.: 24.03.2017. Uděl.: 30.05.2017. 2017-33547. Dostupné z: https://isdv.upv.gov.cz/webapp/!resdb.pta.frm. [cit. 2023-12-18].

[26] SOTI, Abhishek; SINGH, Saurabh; VERMA, Vishesh; KULSHRESHTHA, Niha Mohan; BRIGHU, Urmila et al. Designing the vertical flow constructed wetland based on targeted limiting pollutant. Online. *Bioresource Technology*. 2022, roč. 351. ISSN 09608524. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127068. [cit. 2023-12-14].

[27] DOTRO, Gabriela; LANGERGRABER, Günter; MOLLE, Pascal; NIVALA, Jaime; PUIGAGUT, Jaume et al. *Biological Wastewater Treatment Series*. Online. VOLUME SEVEN. London: IWA Publishing, 2017. ISBN 9781780408774. Dostupné z: https://doi.org/10.2166/9781780408774. [cit. 2023-11-07].

[28] VYMAZAL, Jan. Thirty years of constructed wetlands for municipal wastewater treatment in the Czech Republic. Online. *Ecological Engineering*. 2023, roč. 194. ISSN 09258574. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107054. [cit. 2023-11-07].

[29] *Olešenka - Oficiální web*. Online. In: Obec Olešenka. Dostupné z: https://www.olesenka.cz/. [cit. 2023-10-18].

[30] Seznam.cz, a.s. *Mapy.cz*. Online. In: Mapy.cz. Dostupné z: https://mapy.cz/. [cit. 2023-10-18].

[31] *Mapa Arcgis*. Online. In: ESRI. Moje mapa. Dostupné z: https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html. [cit. 2023-10-18].

[32] *Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, vvi*. Online. [cit. 2023-12-11].

[33] *Olešenka - CZ063.3601.6102.079 - stav 9. 5. 2023*. Online. In: KRAJSKÝ ÚŘAD KRAJE VYSOČINA. PRVK Kraje Vysočina. 2015. Dostupné z: https://prvk.kr-vysocina.cz/prvk/karty/nahled/72. [cit. 2023-10-18].

[34] VÚMOP. *EKatalogBPEJ*. Online. VÚMOP. 2022. Dostupné z: https://bpej.vumop.cz/76411. [cit. 2023-12-11].

[35] DVOŘÁČEK, Lukáš. *Betonové skládané velkoobjemové nádrže typu "NO"*. Online. Db Betonové jímky s.r.o. Dostupné z: https://www.db-jimky.cz/velkoobjemove-betonove-nadrze.html. [cit. 2023-12-22].

# 8 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Emisní standardy [6] ..... 13
Tab. 2 Složení vrstev vertikálního filtru [5] ..... 30
Tab. 3 Pulseswitch první etapa měření (č.1) ..... 51
Tab. 4 Pulseswitch druhá etapa měření ..... 52
Tab. 5 Pulseswitch třetí etapa měření ..... 54
Tab. 6 Pulseswitch čtvrtá etapa měření ..... 55
Tab. 7 Výpočet možného snížení nákladů čistírny v obci Hlína s Pulseswitch ..... 58
Tab. 8 Výpočet možného snížení nákladů s Pulseswitch Štamberk ..... 59
Tab. 9 Hodnocené ukazatele pro čistírny do 500 EO nejlepší dostupné technologie [6] ..... 63
Tab. 10 Orientační hodnoty účinností jednotlivých stupňů čištění [5] ..... 63
Tab. 11 Množství znečišťujících látek ..... 64
Tab. 12 Průměrná koncentrace znečištění ..... 65
Tab. 13 Vyčíslení účinnosti čistírny ..... 65

# 9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Distribuční box [14] ..... 17
Obr. 2 Sifon s koleny, horní Obr. 3D nákres, spodní Obr. řez [15] ..... 18
Obr. 3 Řez dojitým sifonem [16] ..... 19
Obr. 4 Flout [17] ..... 20
Obr. 5 Sériově zapojení MultiFlout [18] ..... 20
Obr. 6 Flout s překlopnou vaničkou [19] ..... 21
Obr. 7 CueBox a připojené vypouštěče Flout [21] ..... 22
Obr. 8 Schéma CueBoxu a jeho buněk [20] ..... 23
Obr. 9 Řez Cueboxem, koule ve spouštěcí buňce [20] ..... 23
Obr. 10 Automatický sifon [22] ..... 24
Obr. 11 Trojitý sifon [23] ..... 25
Obr. 12 Pulzní vypouštěč na tyči [24] ..... 27
Obr. 13 Zařízení pro distribuci vody [25] ..... 27
Obr. 14 Pulzní vypouštěče CW-PULZ, aktuálně používané zařízení ..... 28
Obr. 15 Schéma řezu horizontálního filtru [27] ..... 29
Obr. 16 Vertikální filtr [27] ..... 31
Obr. 17 Francouzský systém [27] ..... 32
Obr. 18 V horní části: stávající řešení distribuce vody, spodní část: distribuce vody s Pulseswitch ..... 35
Obr. 19 Pulseswitch (v pravo) s potopeným plovákem v zaseklé poloze. Spíná volný plovák. ..... 36
Obr. 20 Pulseswitch a jeho dřík při stoupající hladině ..... 37
Obr. 21 Pulseswitch v zaseknuté poloze ..... 37
Obr. 22 Klesající hladina, která posouvá dřík do další polohy ..... 38
Obr. 23 Poloha dříku při vypuštění vody z šachty ..... 39
Obr. 24 Poloha, při které plovák uvolnil vypouštěč ..... 39
Obr. 25 Klesající hladina vody v šachtě, dřík se posouvá do polohy 1 ..... 40
Obr. 26 Pulseswitch ozubení ..... 41
Obr. 27 Kluzák s dříkem spojený závitovou tyčí s plovákem ..... 42
Obr. 28 Plovák s očkem ..... 43

Obr. 29 Pulseswitch první instalovaná verze ..... 44
Obr. 30 Volnoběžka s přivařenými svislými pruty ..... 45
Obr. 31 Nádrž s nosnou konstrukcí ..... 46
Obr. 32 Uspořádání ozubení pro 2 pulzní vypouštěče. ..... 47
Obr. 33 Uspořádání ozubení pro 3 pulzní vypouštěče ..... 48
Obr. 34 Pulseswitch 3D model první verze ..... 49
Obr. 35 První vyrobený kus ..... 50
Obr. 36 Třetí etapa měření ..... 53
Obr. 37 Pulseswitch nastavený dřevenými hranoly ..... 54
Obr. 38 Technologické schéma stávajícího řešení ..... 57
Obr. 39 Technologické schéma s Pulseswitch ..... 58
Obr. 40 Parcela čistírny odpadních vod [30] ..... 61
Obr. 41 Parcela budoucí přírodní čistírny ..... 62

# 10 SEZNAM ZKRATEK

| | |
|---|---|
| AS | Anaerobní separátor |
| $BSK_5$ | Biochemická spotřeba kyslíku za 5 dnů |
| ČSN | Česká technická norma |
| $DŠ_1$ | Distribuční šachta č. 1 |
| $DŠ_2$ | Distribuční šachta č. 2 |
| EO | Ekvivaletní obyvatel |
| $CHSK_{Cr}$ | Chemická spotřeba kyslíku |
| $N_{celk}$ | Celkový dusík |
| NL | Nerozpuštěné látky |
| $N\text{-}NH_4^+$ | Amoniakální dusík |
| NV | Nařízení vlády |
| $P_{celk}$ | Celkový fosfor |
| PE | Polyethylen |
| PP | Polypropylen |
| PVC | Polyvinylchlorid |
| Sb | Sbírky |
| $VF_1$ | Vertikální filtr č. 1 |
| $VF_2$ | Vertikální filtr č. 2 |