



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

TECHNOLOGIE FRENCH SYSTEMS PRO PŘÍRODNÍ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD U MALÝCH OBCÍ

FRENCH SYSTEMS TECHNOLOGY FOR NATURAL WASTEWATER TREATMENT
IN SMALL MUNICIPALITIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tereza Tůmová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MICHAL KRIŠKA, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Tereza Tůmová
Název	Technologie French systems pro přírodní čištění odpadních vod u malých obcí
Vedoucí práce	doc. Ing. Michal Kriška, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

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

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

PODKLADY A LITERATURA

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou technologie „French systems“, neboli francouzského řešení pro přírodní čištění odpadních vod. Systém přijímá surovou odpadní vodu (bez předřazené usazovací nádrže) přímo do prvního filtračního stupně, jejíž základním principem je zpracování kalu a odpadní vody v jednom kroku, tudíž není nutná výstavba dosazovacích nádrží. Jedná se o přírodní čistírnu, která by díky svým vlastnostem mohla pomoci malým obcím, které si, z ekonomických důvodů, nemohou dovolit nákladné mechanicko-biologické čistírny odpadních vod.

Práce zahrnuje přehledný popis postupu při dimenzování jednotlivých objektů dle zahraniční literatury, v rámci teoretického seznámení s French systems bude provedena literární rešerše, zahrnující provozní zkušenosti a výsledky ze zahraničí. Budou i popsány teoretické možnosti využití jiných materiálů než přírodních na tvorbu filtrační náplně vertikálních filtrů.

Praktická část práce se zabývá konkrétním návrhem přírodní čistírny odpadních vod využívající francouzský systém čištění odpadních vod pro část obce Jablonové na Slovensku. Podmínkou návrhu je splnění emisních limitů (v rámci platné legislativy) a zajištění potřebné účinnosti čištění odpadních vod, a to zejména v ukazatelích znečištění BSK₅, CHSK_{Cr}, NL, N_C, TKN.

KLÍČOVÁ SLOVA

Přírodní čistírna odpadních vod, odpadní voda, vertikální filtr

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the "French systems" technology, or French solution for natural wastewater treatment. The system receives raw wastewater (without a pre-settling tank) directly into the first filtration stage, the basic principle of which is to process sludge and wastewater in one step, so there is no need to build settling tanks. It is a natural treatment plant which, thanks to its characteristics, could help small municipalities which, for economic reasons, cannot afford expensive mechanical-biological wastewater treatment plants.

The thesis includes a clear description of the procedure for sizing the individual facilities according to foreign literature, and a literature search will be carried out within the theoretical introduction to French systems, including operational experience and results from abroad. The theoretical possibilities of using materials other than natural ones for the creation of the filter cartridge of vertical filters will be described.

The practical part of the thesis deals with the specific design of a natural wastewater treatment plant using the French system of wastewater treatment for a part of the village of Jablonové in Slovakia. The condition of the design is to meet the emission limits (within the framework of the current legislation) and to ensure the necessary efficiency of wastewater treatment, especially in the pollution indicators BOD₅, COD, TSS, TKN.

KEYWORDS

Root wastewater treatment plant, wastewater, vertical filter

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Tereza Tůmová *Technologie French systems pro přírodní čištění odpadních vod u malých obcí*. Brno, 2022. 100 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce doc. Ing. Michal Kriška-Dunajský, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Technologie French systems pro přírodní čištění odpadních vod u malých obcí* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 3. 5. 2022

Tereza Tůmová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Technologie French systems pro přírodní čištění odpadních vod u malých obcí* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 3. 5. 2022

Tereza Tůmová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Za ochotu, trpělivost, odbornou a obětavou pomoc při zpracování bakalářské práce bych ráda poděkovala především mému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Michalu Kriškovi-Dunajskému, Ph.D. Velké díky patří také mé rodině za podporu a pochopení během let studia.

V Brně dne 3. 5. 2022

Tereza Tůmová
autor práce

OBSAH

1	ÚVOD.....	12
1.1	Cíl práce.....	13
2	TEORETICKÁ ČÁST	14
2.1	Stav odkanalizování v České republice.....	14
2.2	Přírodní čistírny s vertikálním průtokem.....	17
2.3	Technologie French systems	19
2.4	Aplikace systému French systems.....	20
2.4.1	Využití francouzských vertikálních filtrů za odlehčovacími objekty.....	21
2.5	Hydraulika technologie French systems.....	21
2.5.1	Teplé podnebí	23
2.5.2	Chladné podnebí.....	23
2.6	Zařízení přírodní čistírny využívající technologii French systems	24
2.6.1	Hrubé předčištění	24
2.6.2	Distribuční šachta	25
2.6.3	Rozdělovací šachta	26
2.6.4	Vertikální filtry	27
2.7	Nahrazení štěrku plastem, jako médium pro vertikální filtr	30
2.7.1	Průběh studie.....	30
2.7.2	Výsledky studie	31
2.7.3	Závěr studie.....	31
2.8	Druhy odpadních vod	31
2.8.1	Městská odpadní voda	32
2.9	Ukazatelé znečištění odpadní vody.....	34
2.9.1	Organické látky	34
2.9.2	Anorganické látky.....	35
2.10	Kvalita vody daná platnou legislativou	36
2.11	Změna zatížení.....	38

2.11.1	Nízké organické zatížení	38
2.11.2	Organické přetížení	38
2.12	Provoz a údržba	39
2.12.1	Fáze 1 – Období uvedení do provozu	39
2.12.2	Fáze 2 – Období běžného provozu	40
2.12.3	Fáze 3 – Období, během kterého se odstraňují organické látky	40
2.13	Kalové hospodářství.....	41
2.13.1	Kalová vrstva na povrchu filtru	41
2.13.2	Aplikace kalu do zemědělství	41
3	PRAKTICKÁ ČÁST	42
3.1	Identifikační údaje obce	42
3.2	Historie obce.....	43
3.3	Geologické poměry	44
3.3.1	Hydrogeologické poměry	45
3.4	Návrh výpočtu přírodní čistírny	46
3.4.1	Vstupní údaje pro výpočet množství odpadních vod.....	46
3.4.2	Výpočet množství splaškových odpadních vod	46
3.4.3	Výpočet hmotnostního zatížení a počátečních koncentrací znečištění	49
3.4.4	Návrh prvního filtru	51
3.4.5	Návrh druhého filtru.....	59
3.4.6	Porovnání koncentrací odtoku s legislativou.....	64
3.5	Čištění odpadních vod v závislosti na množství balastních vod.....	65
3.5.1	Závislost velikosti plochy přírodní čistírny na množství balastních vod.	66
3.5.2	Závislost množství znečištění na odtoku z čistírny na množství balastních vod	67
3.6	Potenciální problémy s výstavbou přírodní čistírny	73
3.6.1	Předčištění.....	73
3.6.2	Usazovací nádrž	75
3.6.3	Distribuční šachta na prvním filtru	76
3.6.4	Potrubí na prvním filtru.....	78
3.6.5	První filtrační pole	79
3.6.6	Revizní šachta.....	80

3.6.7	Distribuční šachta na druhém filtru	81
3.6.8	Druhé filtrační pole	82
3.6.9	Složení filtračních vrstev.....	84
3.7	Rozbory vody z ČOV Závada.....	85
4	ZÁVĚR.....	89
5	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	91
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	95
7	SEZNAM OBRÁZKŮ	96
8	SEZNAM TABULEK	98
9	SEZNAM GRAFŮ	100

1 ÚVOD

V současné době žije na Zemi bezmála 7,6 miliardy lidí (k roku 2020). Je zřejmé, že přírodní zdroje, které jsou k dispozici pro uspokojení požadavků společnosti, jsou omezené. Již po mnoho staletí odpadní vody způsobují výrazné dopady na přírodu, životní prostředí a na naši společnost. Ještě v nedávném období, kdy byla zalidněnost planety nízká, byly problémy nepatrné, ale nyní se odborníci snaží na celém světě udržet rovnováhu, která tu panovala od nepaměti, a která se nyní vychyluje stále více od své osy. Společnost se začíná zabývat udržitelnými rozvoji našich měst s využíváním materiálů a energií, které mají velký význam do budoucna. Jednou z priorit je ochrana vody, jako základu života na této planetě. Je nezbytné vracet použitou vodu do jejího koloběhu v takové kvalitě, aby ji mohly využívat i další generace. Znamená to, ochránit před znečištěním podzemní vody a do vod povrchových vypouštět vodu vyčištěnou na takové parametry, aby si samočistící schopnosti toků dokázaly se zbytkovým znečištěním poradit. Příkladem dlouhodobě udržitelného a stabilního řešení mohou být moderní technologie přírodních čistíren odpadních vod (dříve kořenové čistírny). Využití přírodních čistíren pro čištění odpadních vod v rámci civilizovaných i rozvojových zemí bylo vědci i úřady uznáno jako účinná a efektivní metoda likvidace odpadních vod.

Hlavní nevýhodou přírodních čistíren je vysoká náročnost na plochu, ale jejich náklady na výstavbu, nízké provozní náklady a taktéž spotřeba energie, nízké emise skleníkových plynů, snadná a levná údržba bez potřeby odborného personálu z nich dělají adekvátního soupeře konvenčním čistírnám.

V České republice máme spoustu malých obcí, které si z finančních důvodů nemohou dovolit zřídit nákladnou čistírnu odpadních vod s aktivací, ani využít dotačních titulů k jejich financování. Právě pro tyto obce se nabízí po provozní stránce možná nejjednodušší řešení, které může představovat takzvaný francouzský systém čištění odpadních vod. Kombinace nízkých investičních nákladů a snadného/levného provozu by pro malé obce mělo být ve spoustě případů ideální volbou. Jednou z největších výhod francouzských systémů je schopnost zpracovávat kal a odpadní vodu v jednom kroku, není tedy nutná výstavba nákladných usazovacích nádrží, septiků nebo jiných objemově rozsáhlých objektů pro akumulaci a úpravu odpadní vody.

1.1 Cíl práce

Tento dokument je zpracováván v rámci bakalářské práce oboru Vodního hospodářství a vodních staveb na Fakultě stavební VUT v Brně. Cílem práce je seznámení s problematikou technologie „French systems“, neboli francouzského řešení pro přírodní čištění odpadních vod. Přes četné rozšíření technologie ve Francii a Německu se jedná o řešení, které v České republice je dosud poměrně neznámé, nepoznané a až na jednu výjimku nevyzkoušené. Práce bude přehledně popisovat postup při dimenzování jednotlivých objektů dle zahraniční literatury, v rámci teoretického seznámení s French systems bude provedena literární rešerše, zahrnující provozní zkušenosti a výsledky ze zahraničí.

Potenciální implementace francouzského způsobu čištění odpadních vod, který v naší zemi zatím není rozšířený, musí být uchopena objektivně tak, aby nedošlo při prvních realizacích k chybným závěrům tak, jak tomu bylo v době, kdy vstupovaly kořenové čistírny do České republiky v 90. letech 20. století. Proto budou v rámci zpracování bakalářské práce popsány všechny aspekty, na které je nutné během projekce, výstavby i provozu brát zřetel. Součástí práce je také návštěva první čistírny tohoto typu na Moravě, resp. popis chyb a problémů, se kterými se čistírna potýká. Cílem je vyvarovat se do budoucna obdobným problémům. Práce bude navíc zahrnovat i popis a teoretické možnosti využití jiných materiálů než přírodních na tvorbu filtrační náplně vertikálních filtrů.

Praktická část práce se zabývá konkrétním návrhem přírodní čistírny odpadních vod využívající francouzský systém čištění odpadních vod pro část obce Jablonové na Slovensku. Podmínkou návrhu je splnění emisních limitů (v rámci platné legislativy) a zajištění potřebné účinnosti čištění odpadních vod, a to zejména v ukazatelích znečištění BSK_5 , $CHSK_{Cr}$, N_L , N_C .

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 STAV ODKANALIZOVÁNÍ V ČESKÉ REPUBLICE

Dle Českého statistického úřadu žije v České republice 10,70 milionů obyvatel a z toho 94,64 % obyvatel je zásobovaných vodou z vodovodu. Rozdíl obyvatel, kteří jsou zásobováni vodou z vodovodu, avšak nejsou napojeni na kanalizaci, je přes devět set tisíc (Vybrané technické ukazatele vodovodů, kanalizací a čistíren odpadních vod, údaje o vodních tocích, odběrech povrchových vod a vypouštění znečištění., 2021). Mezi tyto osoby patří třeba ti, kteří mají na svých pozemcích vybudované septiky či jímky, které musí pravidelně vyvážet. Pokud je starosta obce důsledný, může po daných obyvatelích obce chtít přesné informace, kolik vody odeberou z vodovodů, a doklady, jak často se, dle velikosti septiku a množství odpadních vod, septik vyváží.

Tabulka 1: Podíl obyvatel zásobovaných vodou z vodovodů a obyvatel napojených na kanalizaci (Vybrané technické ukazatele vodovodů, kanalizací a čistíren odpadních vod, údaje o vodních tocích, odběrech povrchových vod a vypouštění znečištění., 2021)

Území Kraj	Podíl obyvatel zásobovaných vodou z vodovodů (osoby)	Podíl obyvatel bydlících v domech napojených na kanalizaci (osoby)	Rozdíl
Česká republika	10 126 295	9 210 517	915 778
<i>Hl. město Praha</i>	1 327 272	1 315 061	12 211
<i>Středočeský</i>	1 195 780	1 041 044	154 736
<i>Jihočeský</i>	576 230	554 716	21 514
<i>Plzeňský</i>	506 344	502 376	3 968
<i>Karlovarský</i>	294 187	294 187	0
<i>Ústecký</i>	804 086	711 603	92 483
<i>Liberecký</i>	413 518	327 456	86 062
<i>Královéhradecký</i>	522 389	438 902	83 487
<i>Pardubický</i>	505 410	391 019	114 391
<i>Vysočina</i>	491 431	444 785	46 646
<i>Jihomoravský</i>	1 141 970	1 086 031	55 939
<i>Olomoucký</i>	592 835	544 071	48 764
<i>Zlínský</i>	558 971	558 003	968
<i>Moravskoslezský</i>	1 195 872	1 001 263	194 609

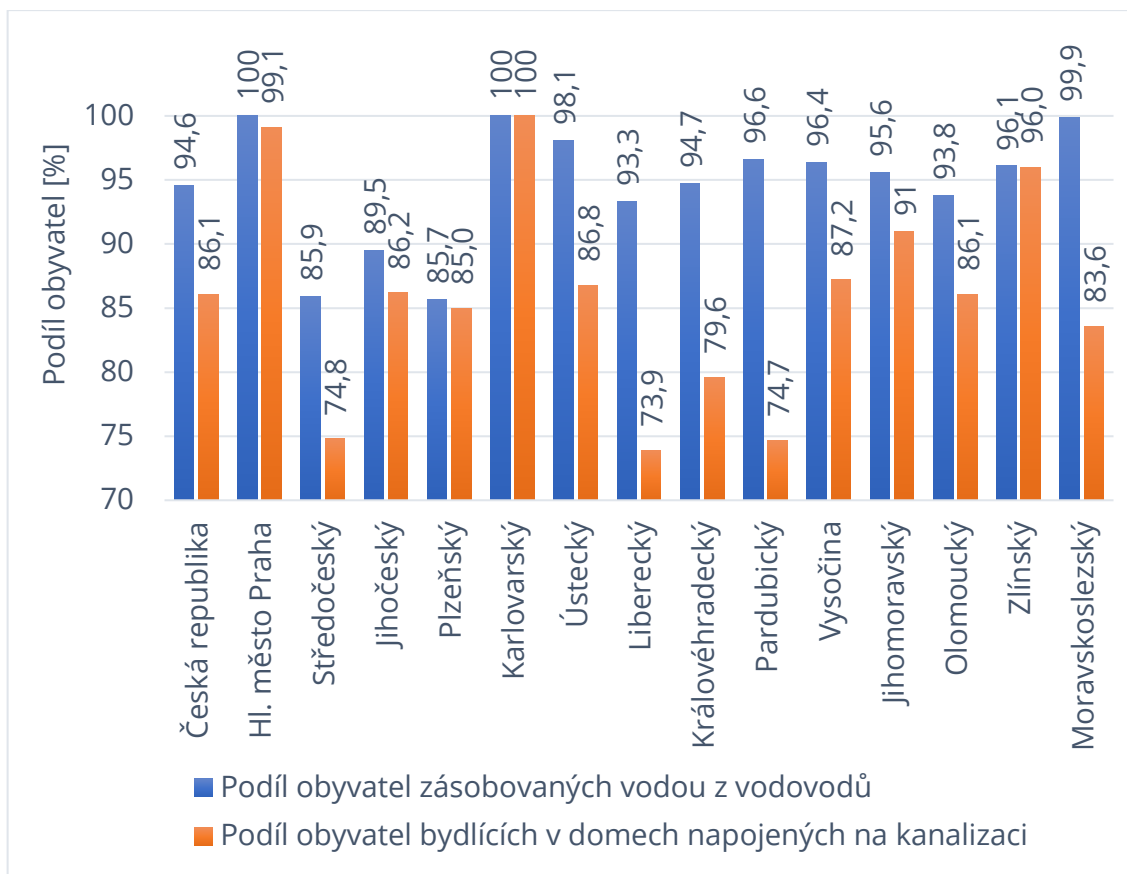
Tabulka 2: Obyvatelé napojení na kanalizaci a ČOV (ze dne 7.6.2021) (Vybrané technické ukazatele vodovodů, kanalizací a čistíren odpadních vod, údaje o vodních tocích, odběrech povrchových vod a vypouštěném znečištění, 2021)

Území kraj	Střední stav obyvatel (osoby)	Obyvatelé trvale bydlící v domech s kanalizací (%)	Počet obyvatel bydlících v domech napojených na kanalizaci s ČOV	
			mechanická ČOV	mechanicko-biologická ČOV
Česká republika	10 700 155	86,1	7 226	8 916 017
Praha	1 327 272	99,1	0	1 315 061
Středočeský	1 392 407	74,8	645	1 038 810
Jihočeský	643 759	86,2	2 439	516 328
Plzeňský	590 889	85	109	477 565
Karlovarský	294 187	100	334	293 716
Ústecký	819 476	86,8	872	705 945
Liberecký	443 161	73,9	30	321 924
Královéhradecký	551 605	79,6	499	413 764
Pardubický	523 350	74,7	0	386 029
Vysočina	509 855	87,2	0	398 245
Jihomoravský	1 193 984	91	648	1 060 331
Olomoucký	631 767	86,1	0	529 014
Zlínský	581 374	96	0	518 381
Moravskoslezský	1 197 069	83,6	1 651	940 904

kde: **73,9** kraj s nejnižším počtem obyvatel napojených na kanalizaci

100 kraj s nejvyšším počtem obyvatel napojených na kanalizaci

Ze statistiky vyplývá, že 9,21 milionů obyvatel je napojených na kanalizaci (pro rok 2020), tedy více než 13,9 % obyvatel není řádně napojeno na kanalizaci. Počet obyvatel napojených na kanalizaci s čistírnou odpadních vod činí pro rok 2020 přes 8,92 milionů, tedy okolo tři sta tisíc obyvatel není napojeno na kanalizaci zakončenou čistírnou odpadních vod. Liberecký, Pardubický a Středočeský kraj jsou v rámci odkanalizování, ze statistického hlediska, na tom nejhůře.



Graf 1 Podíl obyvatel zásobovaných vodou z vodovodů a obyvatel bydlících v domech napojených na kanalizaci (Vybrané technické ukazatele vodovodů, kanalizací a čistíren odpadních vod, údaje o vodních tocích, odběrech povrchových vod a vypouštěném znečištění., 2021)

Největší rozdíl v rámci vypouštěných a čištěných odpadních vod je v Moravskoslezském kraji a jedná se o více jak dva miliony m³. Následuje kraj Zlínský (1,8 mil. m³) a kraj Vysočina (1,77 mil. m³). Naopak nejlépe si vede hlavní město Praha, Karlovarský a Středočeský kraj (Vybrané technické ukazatele vodovodů, kanalizací a čistíren odpadních vod, údaje o vodních tocích, odběrech povrchových vod a vypouštěném znečištění., 2021).

V České republice se nachází spousta malých obcí, které nemají odpadní vodu čištěnou díky čistírnám odpadních vod, avšak například přečerpávají odpadní vody do větších měst či vodu čistí alespoň pomocí základních čistících mechanismů, které však nejsou příliš účinné.

Nemálo obcí má zájem o vybudování čistírny odpadních vod, chtějí podpořit kvalitu vody v okolí, avšak často narážejí na finanční problémy. Samotná čistírna, její provoz i údržba znamenají vysoké investice, které si menší obec ze svého rozpočtu nemůže dovolit. Právě přírodní čistírna s využitím francouzského způsobu čištění vody by mohla být jedinečným řešením daných problémů.

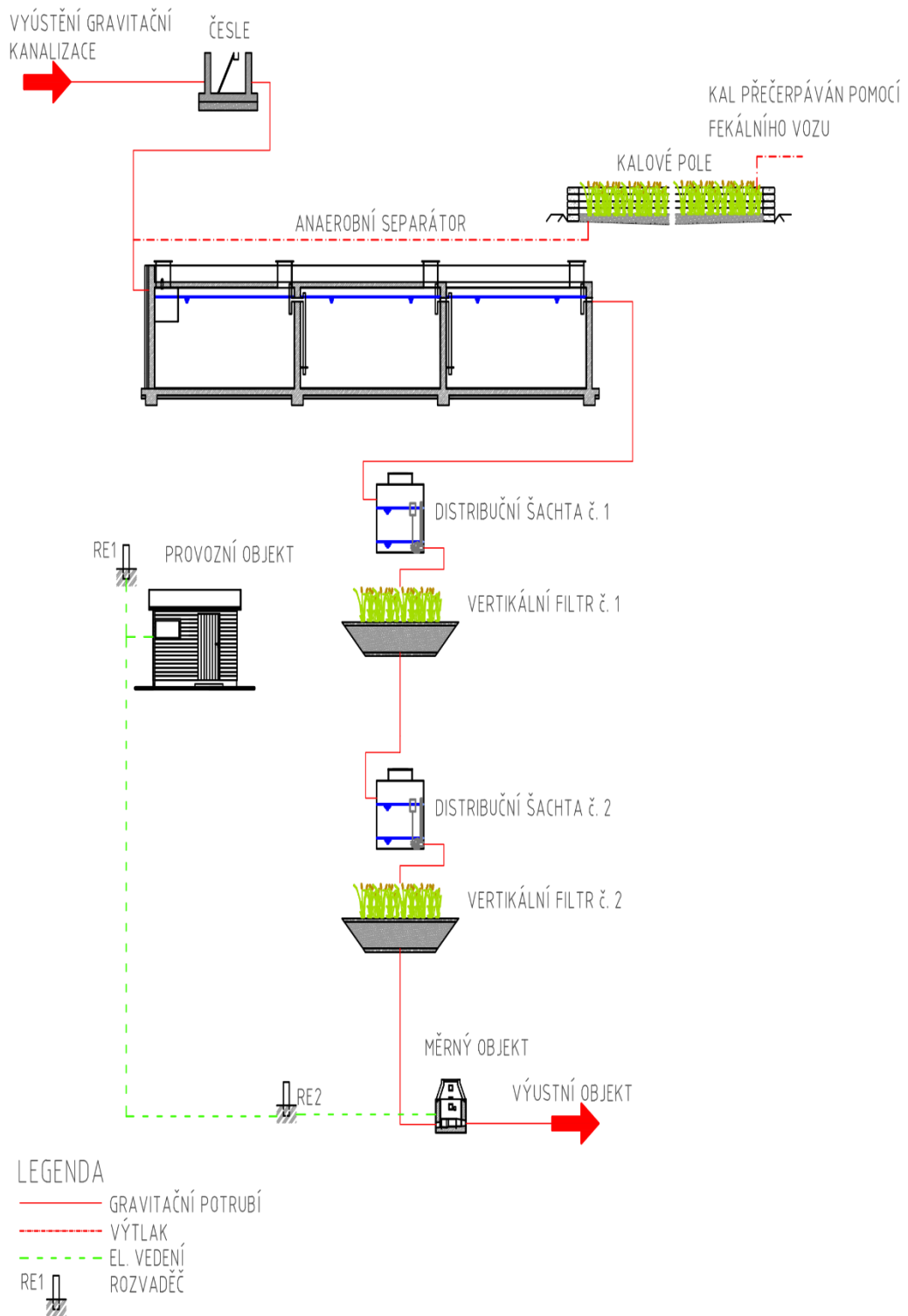
Při stavbě přírodní čistírny odpadních vod lze využít běžných dotačních titulů MŽP nebo MZe, případně z jednotlivých krajských dotací – obdobně jako u jiných čistírenských technologií. Obec při využití dotací hradí okolo 15 % celkové investice. Jelikož čistírna v mnoha případech, díky vhodným sklonovým poměrům a optimálním projekčním detailům, nevyžaduje pro zajištění čistících procesů elektrickou energii, vedou tyto faktory ke snížení provozních nákladů, resp. stočného, řádově o desítky korun českých (KANALIZACE A ČOV: Jak efektivně řešit otázku odpadních vod?). U klasických mechanických ČOV je cena stočného kolem 50 Kč/m³ (CENA VODY 2022 - CENOVÁ MAPA, 2022), přírodní čistírny vykazují běžné provozní náklady v rozmezí 11 – 25 Kč/m³.

2.2 PŘÍRODNÍ ČISTÍRNY S VERTIKÁLNÍM PRŮTOKEM

Hlavním stupněm čištění v rámci přírodních čistíren je filtr složený nejčastěji z kameniva, který je osázen mokřadními rostlinami. Na povrchu filtračního materiálu se vytváří vrstva biofilmu, která zajišťuje čištění odpadních vod po chemické i biologické stránce (Ing. Pumprlová Němcová, 2022).

Dříve, tedy od 90. let 20. století, se uplatňovaly filtry s horizontálním průtokem – odpadní voda proudila v téměř vodorovném směru zatopeným filtrem. Přestup kyslíku byl v takto uspořádaných filtrech velice omezený a znečištění, které se rozkládá za přístupu kyslíku, se odstraňovalo v omezeném rozsahu. Diametrálně rozdílných účinností dosahují filtry vertikální, charakteristické prouděním odpadní vody skrze pórovitý, ale vodou nenasycený filtrační materiál ve svislém směru. Intenzivnější přestup kyslíku u vertikálních filtrů byl hlavním důvodem k postupnému vytlačování filtrů horizontálních. Vertikální filtry se začaly využívat zejména pro zlepšení odstranění amoniakálního dusíku, díky přerušovanému zatížení jsou efektivně účinné i pro odstranění organického znečištění (BSK₅ a CHSK_{Cr}). Začaly se využívat zejména pro zlepšení odstranění amoniakálního dusíku, díky přerušovanému zatížení jsou efektivně účinné i pro odstranění organického znečištění (BSK₅ a CHSK_{Cr}).

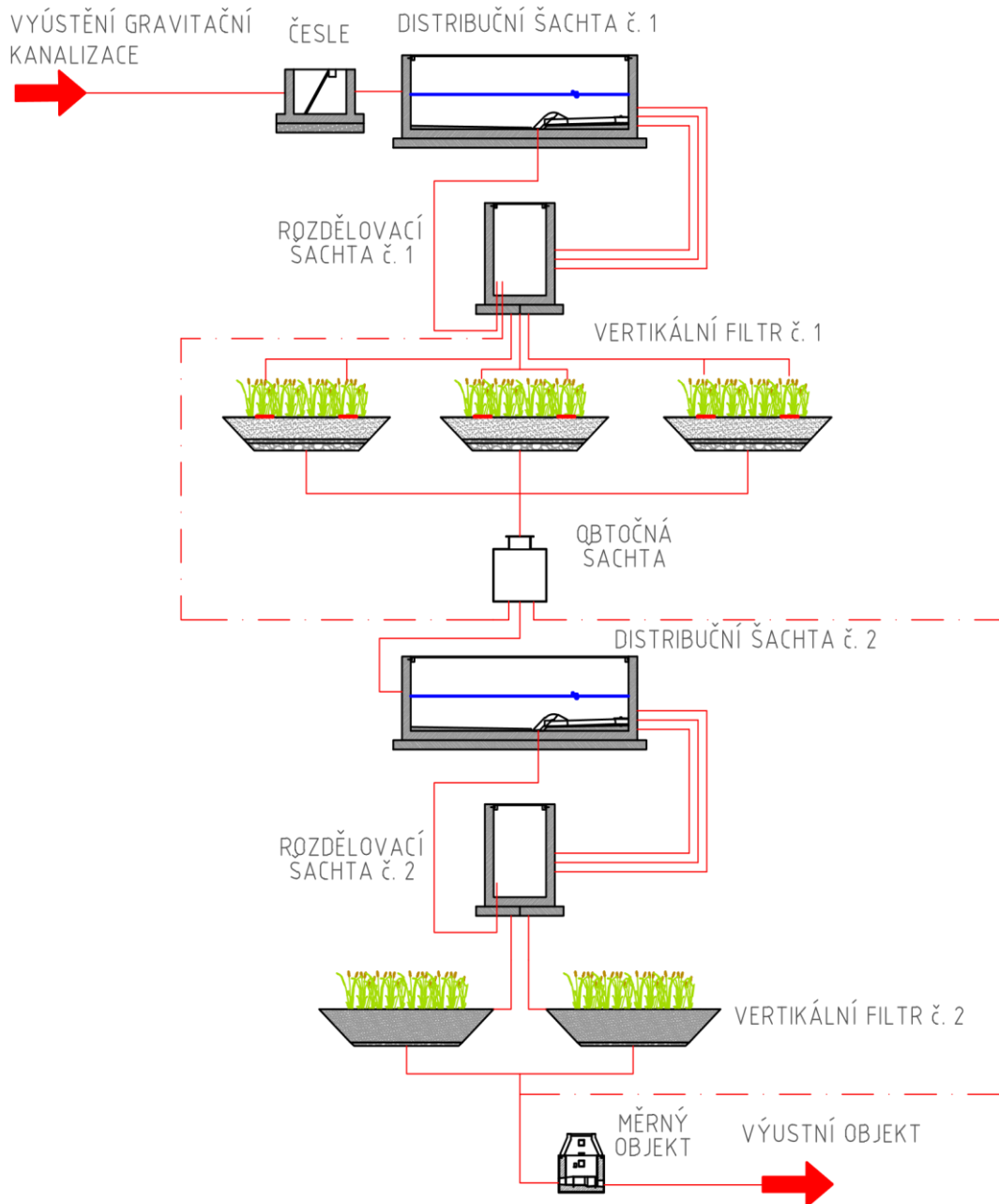
Skladba přírodní čistírny zahrnuje od přítokového potrubí mechanické předčištění. Nejčastěji se pro tyto účely využívají anaerobní separátory, septiky nebo štěrbinové usazovací nádrže. Pokud je kanalizace řešena jako jednotná, potom je usazovacím objektům předřazena soustava česlí, případně lapáku písku. Následuje hlavní stupeň čištění, zahrnující distribuční šachty, které přivádí odpadní vodu na vertikální filtry. Dle specifických podmínek lze i střídat horizontální a vertikální filtry (Ing. Pumprlová Němcová, 2022).



Obrázek 1 Technologické schéma čistírny odpadních vod s dvoustupňovým systémem vertikálních filtrů

2.3 TECHNOLOGIE FRENCH SYSTEMS

První francouzský dokument týkající se přírodních čistíren využívající francouzský způsob čištění odpadních vod byl zveřejněn v roce 2005. Popisuje návrh čistírny, který v dnešní době označuje klasickou dvoustupňovou francouzskou přírodní čistírnu s vertikálním průtokem. První filtr, rozdělen na tři paralelní stupně, je napájen odpadní vodou. Druhý filtr tvoří dva stupně (Dotro, 2017).



LEGENDA
— NOVĚ BUDOVANÉ GRAVITAČNÍ POTRUBÍ

Obrázek 2 Technologické schéma čistírny odpadních vod využívající French systems

Zvláštností tohoto systému je, že přijímá surovou odpadní vodu (bez předřazené usazovací nádrže) přímo do prvního filtračního stupně, což umožňuje snazší nakládání s kalem, ve srovnání s primárním kalem z usazovacích či vyhnívacích nádrží (Molle, 2015). Neméně podstatnou výhodou je eliminace výstavby velkoobjemových nádrží, které představují výraznou investiční položku při realizaci systému, uvedeného na obrázku 1.

V prvním filtru dochází nejprve k zadržení kalu, částečnému odstranění organických látek a nitrifikaci. Zachycený kal se akumuluje na povrchu filtračního lože v množství přibližně dva až tři cm za rok, pokud je systém provozován při projektovaném zatížení. Jednou z největších výhod je výrazná jednoduchost systému kromě filtrů není potřeba žádných dalších čistících jednotek. Žádné primární filtry, nádrže, další biologické čištění, sedimentační nádrže, nádrže na kal apod. Zapotřebí je optimálně vzrostlá vegetace, která hraje primární roli při tvorbě organické vrstvy přímo na filtru (Dotro, 2017).

2.4 APLIKACE SYSTÉMU FRENCH SYSTEMS

Ve Francii bylo vybudováno více než 4 000 systémů, přičemž většina slouží pro obce s velikostí menší než 1 000 připojených obyvatel. V roce 2015 tvořily přírodní čistírny francouzských typů více než 20 % všech domovních čistíren odpadních vod ve Francii (Dotro, 2017).

V posledním desetiletí se, podle citovaných autorů, francouzský systém uplatnil i mimo Francii v tropických zámořských územích Francie, v Jižní Americe a dalších zemích Evropy. Největší vybudovaný francouzský systém se nachází v Moldavsku a slouží pro čištění odpadní vody, kterou produkuje 20 000 obyvatel.

Technologie není náročná na proveditelnost, největší problém nastává při nedostatečném kontrolování a ovládání dané čistírny. V pevninské Francii je čištění ekonomicky výhodné až do velikosti 5 000 EO. V České republice se uvádí hodnota 500 EO. Pro systémy větší, než je tato mez, jsou vhodné konvenční technologie čištění odpadních vod, jako např. čistírny s aktivovaným kalem. Důvodem je zejména velikost plochy daných filtrů, která se odvíjí od množství splaškových vod, závislé na počtu ekvivalentních obyvatel v obci (Dotro, 2017).

Výhodou přírodní čistírny, založené na francouzském systému, jsou nižší náklady na výstavbu (lze využít materiál z okolí), velmi nízké provozní náklady, minimální spotřeba energie pro čištění odpadní vody, velmi nízké emise skleníkových plynů, odolnost vůči vysokým výkyvům průtoků i koncentracím a některým toxickým složkám. V neposlední řadě lze ocenit také estetický ráz v krajině, zadržení vody v krajině (výparem), vytvoření zázemí pro mokřadní faunu i floru (Dotro, 2017).

2.4.1 Využití francouzských vertikálních filtrů za odlehčovacími objekty

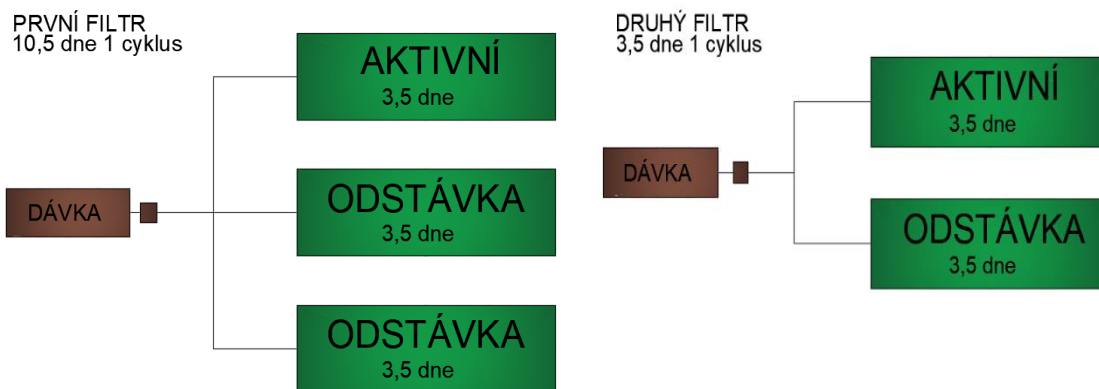
V rámci studie, (Meyer, 2013), se zkoumá použití francouzského vertikálního filtru na úpravu zředěné odpadní vody za odlehčovací komorou. V České republice je stoková síť převážně jednotná. Aby při větších intenzitách srážek nedocházelo k zatopení dané stokové soustavy, vybudovaly se v minulosti odlehčovací komory, které oddělují část naředěné odpadní vody, čímž dochází k vypouštění dané odpadní vody přímo do recipientu (volí se ředící poměr). Vzhledem ke klimatické změně, která způsobuje výkyvy a zintenzivnění srážek, lze předpokládat, že bude častěji docházet k vypouštění zředěné odpadní vody do recipientu, kde však po opadnutí srážky bude protékat menší průtok vody a dané znečištění zde bude tvořit značné problémy (Meyer, 2013).

Vědci se zabývají použitím právě francouzských vertikálních filtrů jako čistícího systému pro vypouštěnou odpadní vodu z odlehčovacích nádrží. Domnívají se, že nejvíce účelná by byla výstavba dvou paralelních filtračních vertikálních polí, na která by se daná odpadní voda dávkovala střídavě. Je ovšem nutné v systému zajistit nasycenou vrstvu, aby během období sucha nedocházelo ke stresování rostlin vlivem nedostatku vláhy (Meyer, 2013).

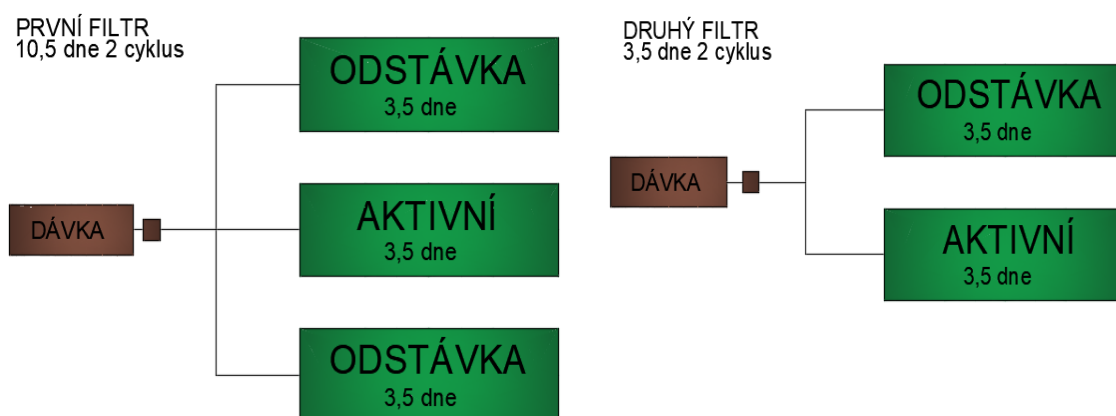
2.5 HYDRAULIKA TECHNOLOGIE FRENCH SYSTEMS

Jak bylo uvedeno výše, French systems zahrnuje dva sériově zapojené filtrační systémy s vertikálním prouděním. Odpadní voda je na filtrační pole dávkována střídavě. První filtrační stupeň je tvořen třemi paralelními filtry. Při provozování přitéká odpadní voda vždy jen na jedno pole, ostatní jsou vyřazena, resp. dle zahraniční literatury „odpočívají“. Toto střídání je důležitým prvkem francouzského systému čištění odpadních vod. Střídavé dávkování pomáhá kontrolovat růst biomasy na povrchu filtrační náplně, udržovat aerobní podmínky uvnitř filtru a napomáhá mineralizaci organických látek, které se hromadí ve filtračním loži (Dotro, 2017). Obdobně je řešen i druhý filtrační stupeň, nicméně ve druhém stupni jsou pouze dvě paralelní pole místo předchozích tří.

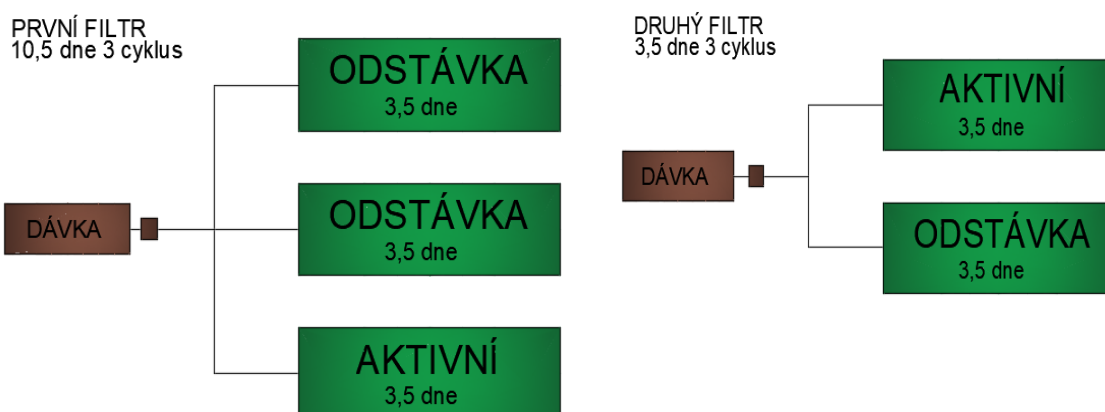
Pole prvního filtru jsou napájena po dobu 3,5 dne a 7 dní odpočívají. Pole druhého filtru se zpravidla sytí 3,5 dne a odpočívají 3,5 dne. Tento způsob dávkování vyžaduje, aby provozovatel systému navštěvoval místo čištění dvakrát týdně, přičemž stěžejní činností je přepnutí dávkování a zajištění optimálních provozních podmínek všech filtrů. Počet návštěv obsluhy by se mohl snížit po nainstalování automatického ovládání (Dotro, 2017), nicméně spolehlivá obsluha je schopna v rámci své činnosti vyřešit i spoustu dalších případných problémů.



Obrázek 3 Princip střídavého dávkování filtrů – 1 cyklus



Obrázek 4 Princip střídavého dávkování filtrů – 2 cyklus



Obrázek 5 Princip střídavého dávkování filtrů – 3 cyklus

Odpadní voda, přivádějící se na filtry, se aplikuje v několika denních dávkách. Objem jedné dávky musí být v provozovaném filtru v rozmezí 2 až 5 cm (to je 20 - 50 l·m⁻³), aby byla zajištěna dostatečná distribuce vody po celém jeho povrchu. Horní hranice 5 cm minimalizuje vznik preferenčního proudění (zkratování) (Dotro, 2017).

Střídavý způsob dávkování pomáhá:

- stabilizovat vrstvu usazenin na povrchu filtračního lože v klidové fázi
- zajistit dostatečný přenos kyslíku do filtračního média
- omezit stres rostlin po celé ploše filtru (např. nedostatek vody)
- udržovat sněhovou pokrývku pro maximální tepelnou izolaci během období sucha v chladném podnebí

2.5.1 Teplé podnebí

Za teplejší podnebí se v České republice dá považovat oblast ležící v nadmořské výšce menší než 600 m n. m. V tropickém podnebí umožňují vyšší teploty rychlejší biologickou aktivitu, v důsledku toho nepotřebuje organická usazenina ke stabilizaci celý týden. To v kombinaci s často méně přísnými požadavky na kvalitu vypouštěné odpadní vody vede k tomu, že se střídavé dávkování udržuje na dvou týdnech, ale pouze se dvěma filtry na prvním stupni (Dotro, 2017).

2.5.2 Chladné podnebí

Za chladné oblasti lze považovat právě ty, které se nachází výše než 600 m n. m., a je zde zapotřebí brát zřetel na několik aspektů. Problémem může být zamrznutí odpadní vody, která zůstává v potrubí prvního i druhého stupně. Potrubí je nutné vybudovat v mírném sklonu a konce opatřit otvory pro vytékání zbylé odpadní vody. Může se stát, že malé kapičky odpadní vody mohou při velkých mrazech zmrznout v otvoru výstupu a zcela jej uzavřít, avšak díky vyšší teplotě odpadní vody, dochází k okamžitému rozpuštění dané námrazy při vzájemném kontaktu (Prost Boucle, 2015).

Nižší teplota vzduchu zapříčiní nepatrné snížení účinnosti dané přírodní čistírny a je nutné reagovat vždy individuálně, dle výsledků rozborů vody vytékající z druhého stupně. Bude zapotřebí upravit intervaly dávek, které se v zimním období spíše zkracují (Dotro, 2017). Zkrácení intervalu lze dosáhnout úpravou distribučního zařízení (pulzního vypouštěče) v šachtě, která je osazena vždy před každým filtrem.

Dvouletá studie zabývající se vlivem chladných podmínek na přírodní čistírnu pro 75 až 1900 ekvivalentních obyvatel v nadmořských výškách od 680 do 1500 m n. m. ukázala, že podnebí nemá velký vliv na chemickou spotřebu kyslíku, biochemickou spotřebu kyslíku ani na odstranění nerozpuštěných látek. Nepatrný rozdíl lze pozorovat v rámci odstranění dusíku, který se projevil zejména na druhém stupni, kde byla hodnota Kjeldahlova dusíku vyšší (Prost Boucle, 2015).

Sněhová pokrývka se může jevit jako problém, avšak skvělou vlastností sněhu je právě jeho izolační schopnost – sníh chrání filtrační prostředí před přímými mrazovými teplotami. Pod vrstvou sněhu mohou probíhat biologické procesy téměř bez omezení, byť právě teplota přitékající vody má bezesporu vliv na účinnost odstraňování amoniakálního dusíku.

2.6 ZAŘÍZENÍ PŘÍRODNÍ ČISTÍRNY VYUŽÍVÁJÍCÍ TECHNOLOGII FRENCH SYSTEMS

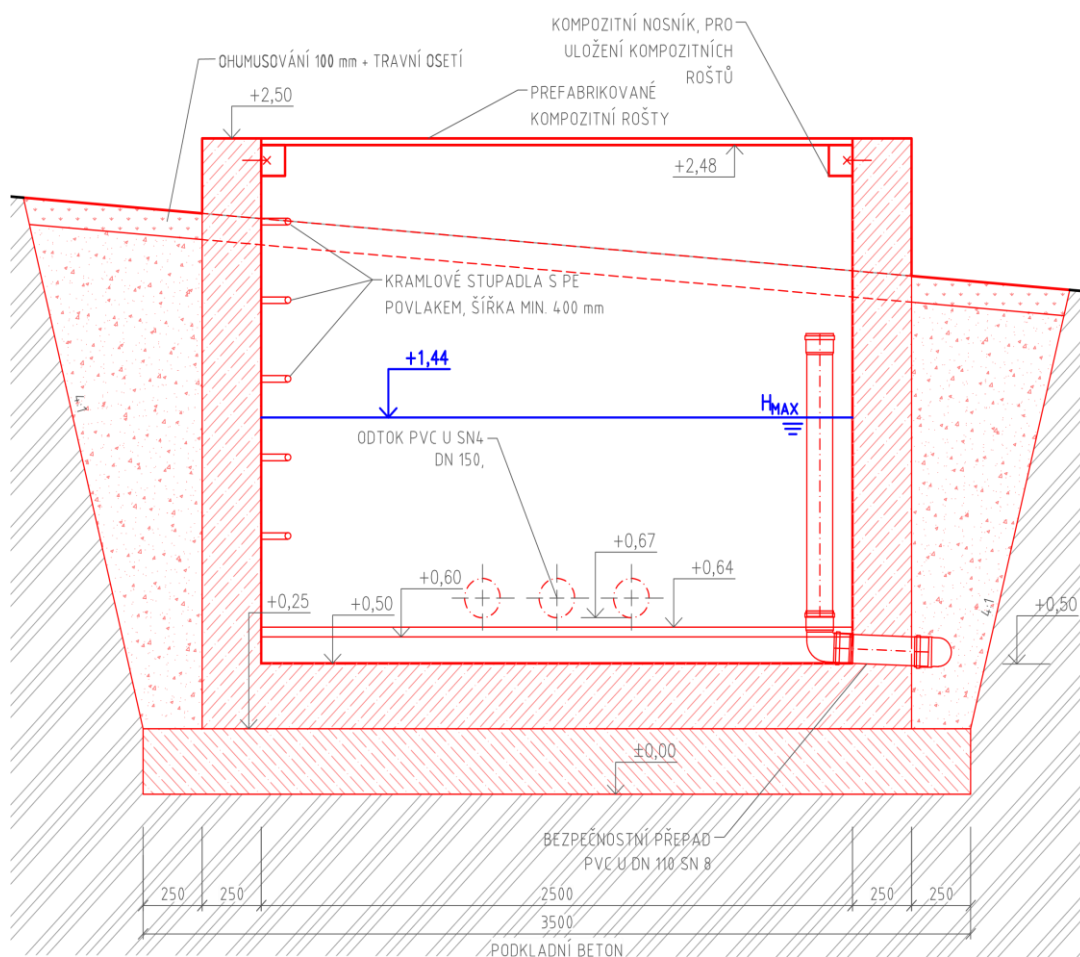
Oproti stávajícím systémům kořenových a přírodních čistíren odpadních vod je v případě technologie French systems absence dosazovacích, provzdušňovacích a usazovacích nádrží.

2.6.1 Hrubé předčištění

Před samotným nátokem odpadní vody do distribuční šachty je účelné danou odpadní vodu předčistit. Nejčastěji se využívají česle i v kombinaci s lapákem písku, pokud se jedná o připojení na jednotný kanalizační systém. V případech, kdy je čistírna napojena na splaškovou kanalizaci, se využívá většinou pouze jemných česlí. Samotný objekt je vhodné opatřit popelnicí či kontejnerem (dle množství znečištění v odpadní vodě), v němž se dané shrabky z česlí mohou skladovat/odvodňovat do doby, než je bude potřeba vyvézt.

2.6.2 Distribuční šachta

Distribuční šachta je stavební objekt, na jehož výstavbu se nejčastěji používá beton takové třídy, aby odolal složení odpadní vody, a právě jeho povrch nebyl poškozen. Často se využívají monolitické šachty, které se po osazení přikryjí taktéž deskou (železobetonovou s poklopem, dřevěné fošny, plastové zákrytové desky apod.). V případě uplatnění betonové stropní desky je účelné provést vstup v místě, kde se nachází vypouštěcí zařízení – kvůli snadné kontrole a servisu vypouštěcích zařízení. Rozměry šachty lze vypočítat dle množství přitékající odpadní vody a objemu jedné dávky.



Obrázek 6 Řez distribuční šachtou

2.6.4 Vertikální filtry

Za rozdělovací šachtou je napojen již hlavní stupeň čištění – soustava několika vertikálních filtrů. Filtr je nejdůležitější prvek při návrhu přírodní čistírny. Základními funkcemi filtru je podpora růstu biofilmu na povrchu filtru, řízení průtoku odpadní vody a je také místem, kde probíhají fyzikálně-chemické procesy (Dotro, 2017).

Povrch filtru je osázen vegetací, která hraje důležitou roli. Při růstu rostlin dochází ke vzniku malých otvorů v usazené vrstvě organického substrátu (důvodem může být vítr pohybuující se stonky rostlin). Tento nepatrný detail je velmi důležitý pro udržení infiltrační kapacity filtru, čímž pomáhá udržovat pasivní filtraci. Jako jednu z nejvýhodnějších rostlin se považuje rákos, který díky svým dutým stonkům dokonale plní svou funkci. Mohou být použity i jiné rostliny, ale vždy je zapotřebí ověřit, zda plní tuto funkci a nezhynou v období bez průtoku odpadní vody. Tím se sníží riziko špatného usazení rostlin v důsledku vodního stresu (Dotro, 2017).

Obvykle se volí jako výplňový materiál kamenivo. Nevýhodou tohoto materiálu je jeho nesnadná těžba, velká hmotnost, která způsobuje značné problémy při dopravě, obecně manipulace s ním. Díky velké hmotnosti může při pokládce dojít k poškození podkladové nepropustné vrstvy. Kvůli malé pórovitosti dochází také k častému ucpávání dané frakce kameniva a čištění je velmi nákladné a pracné (Luis, 2021).

Filtry v prvním a druhém stupni používají různá média o různých frakcích, aby byly zajištěny podmínky vhodné pro čištění odpadních vod. Stavba čistících buněk má většinou poměr délky a šířky povrchu a sklon náspu 1:1. Hloubka hlavní vrstvy bude mít vliv na spolehlivost výkonu. Největší procento odstraňování uhlíku a amoniaku probíhá v nejsvrchnějších 10 až 40 cm nenasyceného filtru (Millot, 2016). Abychom mohli splnit přísné koncentrace odpadních vod, které lze vypustit do recipientu, lze hloubku hlavní vrstvy zvýšit (> 60 cm pro odstraňování $CHSK_{Cr}$ až > 80 cm pokud je požadována plná nitrifikace) (Dotro, 2017).

- **První filtr se třemi poli**

Hlavní vrstva prvního filtru je tvořena většinou štěrkem o zrnitosti 2-6 mm. V České republice jsou častěji dostupné zrnitosti 2-5 mm, ale i tak se nejedná o běžně dostupný materiál a při výběru filtračního materiálu je potřeba zohlednit tedy i dopravu z větší vzdálenosti. Zrnitost u prvního filtračního stupně hraje důležitou roli, pokud je frakce příliš jemná, mohlo by dojít k jeho ucpání. Když je naopak frakce velmi hrubá, štěrk brání samotné tvorbě organického biofilmu (Dotro, 2017).

Pod hlavní filtrační vrstvou se nachází přechodová vrstva. Většinou se jedná o štěrk o velikosti 5-15 mm, jehož hlavní funkcí je zabránit vyplavování jemnějších částic do meziprostoru (Dotro, 2017). V České republice není frakce 5-15 mm zcela dostupná, proto je možné ji nahrazovat frakcí 8 - 16 mm, která je naopak běžným materiálem.

Voda, která projde prvním filtrem se shromažďuje v drenážním potrubí v drenážní vrstvě, kterou tvoří hrubé médium o frakci 20-60 mm dle zahraniční literatury, v České republice lze alternativně řešit frakcí 16-32 mm nebo 32-64 mm, případně vhodným mixem obou frakcí.

Samotné filtry musí být izolovány od okolní půdy, aby se zabránilo vniku škodlivých látek či podzemní vody. Používá se kombinace plastové fólie (PE, PVC, EPDM) s geotextilní oboustrannou ochranou, případně v zahraničí jsou případy uplatnění betonových stěn.

- **Druhý filtr se dvěma poli**

Hlavním filtračním materiálem pro lože druhého stupně je praný písek. Písek plní výborně dvě základní funkce: dobře odstraňuje znečištění a neucpává se (Liénard, 2001). Je důležité zjistit dané specifikace písku a dle nich se navrhne hloubka vrstvy. Pro přechodovou i drenážní vrstvu se používá Terzaghiho pravidlo ($D_{15}/d_{85} \leq 4$). Přidává se také kritérium propustnosti: $D_{15}/d_{15} \geq 4$. Toto pravidlo se používá k zajištění snížení místní pórovitosti v rozhraní mezi pískem a přechodovou vrstvou (Dotro, 2017). V České republice lze pro přechodovou vrstvu uplatnit dostupný materiál o zrnitosti 4-8 mm a jako drenážní materiál potom 8-16 mm, případně 16-32 mm.

Tabulka 3: Specifikace filtračních médií pro návrh francouzské přírodní čistírny (Dotro, 2017)

Vrstva	První filtr		Druhý filtr	
	Hloubka [cm]	Materiál	Hloubka [cm]	Materiál
Hlavní	30-80	Štěrk 2-6 mm	30-80	Písek $0,25 < d_{10} < 0,4$ mm $d_{60}/d_{10} < 5$
Přechodová	10-20	Štěrk 5-15 mm	10-20	Štěrk 3-12 mm
Drenážní	20-30	Štěrk 20-60 mm	20-30	Štěrk 20-60 mm

kde: d_{10} velikost zrna, odpovídající propadu 10 % odečtenému z čáry zrnitosti

d_{60} velikost zrna, odpovídající propadu 60 % odečtenému z čáry zrnitosti

DRENÁŽNÍ POTRUBÍ

Drenážní potrubí se nachází v nejspodnější (drenážní) vrstvě filtru. Trubky (minimální průměr 100 mm) obsahují štěrbinu na každých 10 cm délky drenážního potrubí. Vyčištěná odpadní voda se shromažďuje ve spodní části drenážního potrubí, zatímco vstup vzduchu je umožněn přes horní část drenáže (Dotro, 2017).

Distribuce vody je v každém stupni čištění jiná. V prvním stupni se používají velké trubky (průměr > 110 mm u malých systémů, 160-200 mm u velkých systémů), které jsou v prvotní fázi rozděleny na dvě části. Ve druhém stupni se používají menší potrubí (průměr > 110 mm) s vrtanými otvory (průměr > 8 mm) (Dotro, 2017).

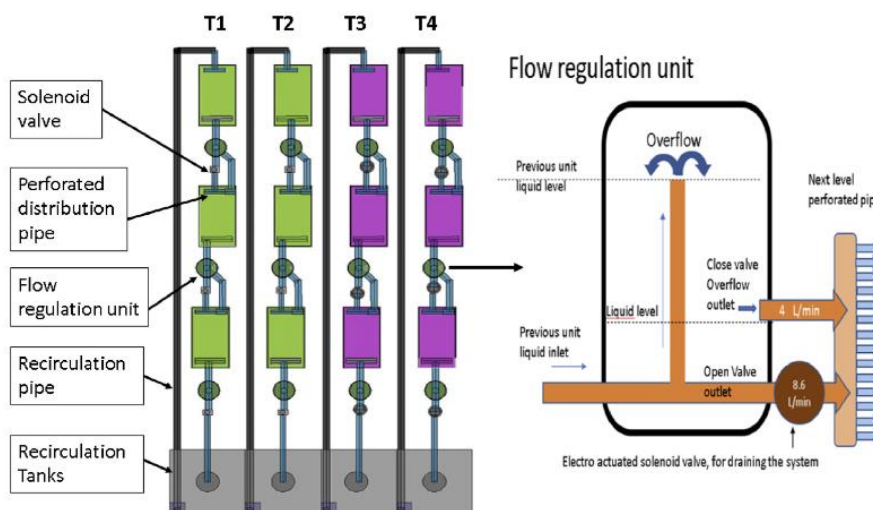
Je nutno brát zřetel na možnost vymývání nejsvrchnější filtrační vrstvy. U prvního stupně je třeba dodržet minimální průtok $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ na dávku, aby se správně rozdělila voda po poli, zatímco u druhého stupně je třeba dodržet zbytkový tlak vody (nebo výšku rozstříku), v závislosti na nejvzdálenějších otvorech. Zbytkový tlak musí být na konci větší než 30 cm (Dotro, 2017).

2.7 NAHRAZENÍ ŠTĚRKU PLASTEM, JAKO MÉDIUM PRO VERTIKÁLNÍ FILTR

Při hledání alternativních filtračních materiálů, které by nahrazovaly těžené písky nebo drcené štěrky, lze najít v zahraničí publikované zkušenosti drobných výzkumných prací, při nichž se ověřovala myšlenka potenciální náhrady štěrku plastem. V Itálii se zabývali konkrétně vysoko hustotním polyethylenem (HDPE), který má desetkrát menší hustotu než kamenivo, tudíž náklady na dopravu jsou nižší, snazší je také instalace a čištění při ucpání, čímž se prodlouží životnost dané přírodní čistírny. Velkou výhodou může být také využití recyklovaného materiálu, jelikož bezmála 30 % všech plastů je znovu obnovitelných a tento způsob využití by mohl přinést spoustu prostoru pro řešení problému (Luis, 2021).

2.7.1 Průběh studie

Díky pokusu se vědci snažili zjistit, zda plast má podobné vlastnosti jako kamenivo. Vytvořili čtyři linky, které byly neosázené rostlinami a byly na sobě nezávislé. Každá linka tvoří tři nádrže v řadě a na konci je umístěna recirkulační nádrž o objemu 1000 l. Z té byla kapalina recyklována pomocí magnetického osového čerpadla do perforovaného sacího potrubí s regulovaným průtokem $4 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ ($0,24 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$). Mezi každými nádržemi byla umístěna řídicí jednotka přepadu/obtoku, která umožňovala nepřetržitý podpovrchový zaplavovaný provoz (T1 a T2) nebo provzdušňovaný provoz v T3 a T4 řízený elektronickým časovým spínačem (Luis, 2021).



Obrázek 8 Schéma pokusu zjišťování rozdílného chování plastu a kameniva při čištění odpadních vod (Luis, 2021)

Odpadní voda byla po celou dobu experimentu recirkulována bez přidávání čerstvého odpadu. Při stanoveném průtoku byl obsah každé z recirkulačních nádrží recirkulován příslušnou čisticí jednotkou jednou za 250 minut. Aby bylo možné pasivní provzdušňování podpory v úpravárenských soupravách T3 a T4, byl zřízen automatický systém vyprazdňování a plnění. Byl zaveden šestihodinový cyklus vyprazdňování při průtoku $8,6 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ (Luis, 2021).

Efektivní doba vyprazdňování byla 15 min 6 s u T3 (šterk) a 26 min 30 s u T4 (HDPE). V obou případech byl stanoven 20minutový klid bez tekutiny. Během doby odpočinku byla vypouštěná kapalina uchovávána v příslušné recirkulační nádrži (Luis, 2021).

2.7.2 Výsledky studie

Chemická spotřeba kyslíku (CHSK) byla srovnatelná u obou médií, ke zlepšení účinnosti odstranění docházelo díky provzdušňování daného filtru (Luis, 2021).

Dusitany nebyly ve směsi zpočátku zastoupeny, později se objevily jako produkt biologické oxidace. Rychlost tvorby dusitanů byla stabilnější ve šterku, díky omezenému vstupu kyslíku (nízká pórovitost kameniva). Avšak plastický materiál umožňoval střídání produkce a spotřeby dusitanů (Luis, 2021).

Koncentrace fosforu během prvních 20 dnů provozování rychle mizela. Při nedostatku fosforu dochází pouze k tvorbě dusitanů, nikoliv dusičnanů, což vede k menší míře odstranění celkového dusíku. Výzkum uvádí, že za snížením by mohly být zvláštní vlastnosti vod a půd v regionu, které způsobují srážení fosforečnanů (Luis, 2021).

2.7.3 Závěr studie

Plast lze použít jako náhradu šterku, aniž by došlo k výrazným ztrátám účinnosti systému. Malé ztráty na účinnosti lze vyrovnat zavedením mírných zlepšení v použitém materiálu a v postupech řízení zařízení (Luis, 2021).

2.8 DRUHÝ ODPADNÍCH VOD

Za odpadní vody se podle § 38 vodního zákona považují ty vody, které byly použity v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud po použití změnily svoji jakost. Do těchto vod se řadí i vody odtékající (srážkové), pokud mohou ohrozit kvalitu podzemních nebo povrchových vod. Dále se mezi odpadní vody řadí průsakové vody ze skládek odpadu a odkališť bez ohledu na jejich jakost (Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů, 2001).

Naopak za odpadní vodu nelze považovat vody z drenážních systémů používaných v zemědělství, vody z plavidel, nepoužité minerální vody z přírodního léčivého pramene a ty, které při chlazení vodních turbín změnilly svoji teplotu, ale nikoli kvalitu (Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů, 2001).

Při návrhu přírodní čistírny je velmi účelné znát jakost a množství odpadních vod přitékající na danou čistírnu.

Dělení odpadních vod závisí na způsobu vzniku a obsahu znečišťujících látek.

2.8.1 Městská odpadní voda

Dle prováděcí vyhlášky k zákonu o vodovodech a kanalizacích se jedná o splaškovou odpadní vodu, odváděnou z obytných budov a z budov, v nichž jsou poskytovány služby, které vznikají jako produkt lidského metabolismu a činností v domácnosti. Městské vody se musí čistit, jinak by mohly způsobit značné škody přírodě. Ke splaškovým odpadním vodám lze připojit také vody oplachové, které jsou použity na čištění ulic (Zákon č. 274/2001 Sb. Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), 2001).

SRÁŽKOVÁ VODA

Voda původem ze srážek, a to jak dešťových, tak i sněhových, je považována za nejčistší vodu, avšak chemicky není zcela čistá. Kvalita vody závisí především na stavu ovzduší v lokalitě, jelikož voda vstřebává spoustu látek ještě předtím, než dopadne na zemský povrch. Těmito látkami jsou chemické látky – oxidy uhlíku, dusíku, dále bakterie, viry a pyl. Další množství znečištění voda vstřebává při odtoku po zemském povrchu do splaškové kanalizace. Ropné látky a stopy jiných chemických látek jsou mnohem problematičtější.

Definice srážkové vody je uvedena v zákoně o vodách č. 254/2001 Sb., kdy srážková voda je voda povrchová, přirozeně se vyskytující na zemském povrchu, kdy tento charakter neztrácí, ani když protékají zakrytými úseky (Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů, 2001).

PRŮMYSLOVÁ ODPADNÍ VODA

Odpadní vody vznikající přímo z průmyslových objektů. Nepatří sem ovšem průmyslové odpadní vody, které obsahují nebezpečné nebo zvláště nebezpečné látky, nebo pokud lze mít důvodně za to, že tyto látky mohou obsahovat (Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů, 2001).

Přírodní čistírny odpadních vod jsou schopny vyčistit i takto znečištěné odpadní vody, pouze jejich velká plocha je minusem. Proto je vhodné provést analýzu po stránce finanční a provozní, následně zhodnotit, zda je právě přírodní čistírna opravdu vhodnější variantou řešení.

ODPADNÍ VODY OBSAHUJÍCÍ NEBEZPEČNÉ LÁTKY

Nebezpečné látky jsou vyjmenovány v příloze č.1, část C), příloha 3 v nařízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. Jejich výčet neodpovídá výčtu zvláště nebezpečných a nebezpečných látek uvedených v příloze č. 1 zákona o vodách, na kterou odkazuje § 39 zákona o vodách (Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů, 2001).

Mezi zvláště nebezpečné závadné látky se řadí kadmium, rtuť, hexachlorcyklohexan, tetrachlormethan, pentachlorfenol, aldrin, dieldrin, endrin, trichlormethan, a další (Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů, 2001).

BALASTNÍ VODY

Balastními odpadními vodami se rozumí nežádoucí přítok vody do odvodňovaného nebo stokového systému, který negativně ovlivňuje průtok, teplotu i biologické procesy čištění na čistírnách odpadních vod (ČSN EN 16323 - Slovník technických termínů v oblasti odpadních vod, 2018). Do stokové sítě se dostávají zejména její nedostatečnou vodotěsností a jejich množství tedy nejvíce závisí na stáří dané sítě.

2.9 UKAZATELE ZNEČIŠTĚNÍ ODPADNÍ VODY

Mezi sledované ukazatele, dané nařízením vlády č. NV 401/2015 Sb., které jsou popsány níže, patří BSK_5 , $CHSK_{Cr}$, NL, N_C , P_C a TKN (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., 2015).

2.9.1 Organické látky

Organické látky jsou tvořeny z jedné třetiny rozpuštěnými látkami, koloidními a suspendovanými. Vyjadřují se v $mg \cdot l^{-1}$ nebo v $kg \cdot den^{-1}$.

CHSK – Chemická spotřeba kyslíku

Při stanovení chemické spotřeby kyslíku zjišťujeme množství organických látek obsažených ve vodách. Koncentrace těchto látek se stanoví dle množství oxidačního činidla, spotřebovaného za daných podmínek k oxidaci. Pro oxidaci se používá dichroman draselný ($K_2Cr_2O_7$) - $CHSK_{Cr}$ nebo manganistan draselný ($KMnO_4$) - $CHSK_{Mn}$. Výsledek se přepočte na kyslíkové ekvivalenty a jednotkou je miligram kyslíku odpovídající spotřebě činidla na jeden litr vody. V anglické publikaci se setkáme se zkratkou COD namísto CHSK (Pitter, 2009). Průměrné CHSK splaškových odpadních vod bývá 300 až 800 $mg \cdot l^{-1}$ (Prof. Ing. Groda, 2007).

BSK – Biochemická spotřeba kyslíku

Biochemická spotřeba kyslíku je definována jako množství kyslíku (mg) spotřebovaného mikroorganismy při biochemických pochodech na rozklad organických látek ve vodě při aerobních podmínkách za určitý časový interval. Je mírou obsahu biologicky rozložitelných látek ve vodě a využívá se k zjištění samočisticí schopnosti vody (Prof. Ing. Groda, 2007).

Nejběžnější metodou je tzv. standardní zředovací metoda pro stanovení pětidenní BSK (BSK_5), ta se stanoví jako rozdíl koncentrací kyslíku ve vzorku před a po proběhnutí biochemické oxidace organických látek při standardizovaných podmínkách inkubace vzorku. Těmito podmínkami je doba 5 dní po 24 hodinách, teplota 20 °C, vyloučení přístupu atmosférického kyslíku a světla, aerobní podmínky během celé inkubace. Průměrné BSK splaškových odpadních vod je 150 až 400 $mg \cdot l^{-1}$ (Pitter, 2009).

Poměr BSK a CHSK ukazuje zastoupení biologicky rozložitelných látek ve vodě. U odpadních vod by poměr BSK : CHSK měl být 1 : 2 (Prof. Ing. Groda, 2007).

2.9.2 Anorganické látky

Tato skupina je obvykle rozpuštěná ve vodě, vyjadřuje se v $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ nebo v $\text{kg}\cdot\text{den}^{-1}$.

N_c – Celková koncentrace dusíku

Dusík je makrobiogenním prvkem, který je nezbytný pro rozvoj mikroorganismů. Tento nutrient se vyskytuje v mnoha formách s různými vlastnostmi a zrovna splašková voda je jeho významným zdrojem. Velkou část dusíku ve splaškových vodách tvoří dusík od obyvatelstva, počítá se specifickou produkcí dusíku připadajícího na 1 obyvatele za 1 den, která činí 11 g. Daná hodnota se liší dle vybavenosti bytů. Celkovou koncentraci dusíku lze určit na základě sumační metody, kdy se sčítá koncentrace dusíku organického (N_{org}) a anorganického (N_{anorg}) (Pitter, 2009).

$$N_c = N_{\text{org}} + N_{\text{anorg}} \quad (2.1)$$

Ve vertikálním filtru neprobíhá přímá nitrifikace a dochází k adsorpci amoniaku během dávkování odpadní vody na filtrační pole. V období klidu probíhá nitrifikace a produkty reakcí jsou uvolněny během následujícího dávkování odpadní vody na filtrační pole (Molle, 2008).

TKN – Kjeldahlův dusík

Díky Kjeldalově metodě se stanoví současně organický (N_{org}) i amoniakální (N_{amon}) dusík. V České republice se zpravidla stanovuje celkový dusík (N_c), avšak v zahraničí se často používá Kjeldahlova metoda. Díky malé koncentraci anorganických látek člověkem vyprodukovaném znečištění lze uvažovat s hodnotou $11 \text{ g}\cdot\text{os}^{-1}\cdot\text{den}^{-1}$, kterou používáme obvykle pro celkový dusík (Pitter, 2009).

$$\text{TKN} = N_{\text{org}} + N_{\text{amon}} \quad (2.2)$$

P_c – Celkový fosfor

Zdrojem fosforu ve vodách je rozpouštění a vyluhování některých půd, minerálů a zvětralých hornin. Apatit je nejrozšířenějším minerálem, kdy obsah fosforu v půdách může dosáhnout až $1\,200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Prací, čistících, mycí a odmašťovací prostředky jsou zdrojem antropogenního anorganického fosforu, ale také hnojiva, živočišný odpad i velkochovy hospodářských zvířat. Specifická produkce fosforu bývá okolo 2 g až 3 g na jednoho obyvatele za den (Pitter, 2009). Celkový fosfor se stanoví jako součet fosforu rozpuštěného (P_{rozp}) a nerozpuštěného (P_{nerozp}) (Pitter, 2009).

$$P_c = P_{\text{rozp}} + P_{\text{nerozp}} \quad (2.3)$$

2.10 KVALITA VODY DANÁ PLATNOU LEGISLATIVOU

Návrh kvality vody je dán legislativou, kdy je nutné dodržet emisní limity vypouštěné odpadní vody do recipientu (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., 2015). Vychází se z maximálního znečištění a hydraulického zatížení, která jsou vyjádřena na m² filtru v provozu za den. Pro typické situace vede tento návrh k tomu, že je potřeba 1,2 m²·EO⁻¹ pro každou filtrační buňku pro první a 0,8 m²·EO⁻¹ pro druhý stupeň (Dotro, 2017). V případě České republiky, kde velká část stokové sítě je jednotná, uvažujeme s hodnotou do 1,5 m²·EO⁻¹ pro každou filtrační buňku.

Tabulka 4: Látková koncentrace znečištění s_0/EO v $g \cdot os^{-1} \cdot den^{-1}$

Ukazatelé	S_0	Jednotka
BSK_5	60	$g \cdot os^{-1} \cdot den^{-1}$
$CHSK_{Cr}$	120	$g \cdot os^{-1} \cdot den^{-1}$
N_C	11	$g \cdot os^{-1} \cdot den^{-1}$
P_C	2,5	$g \cdot os^{-1} \cdot den^{-1}$
NL	55	$g \cdot os^{-1} \cdot den^{-1}$

kde: BSK_5 biochemická spotřeba kyslíku stanovená během doby 5 dnů
 $CHSK_{Cr}$ chemická spotřeba kyslíku, využívající dichroman draselný
 N_C celkové množství dusíku
 P_C celkové množství fosforu
 NL množství nerozpuštěných látek

Tabulka 5: Emisní standardy: přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) a hodnoty průměru koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ dané Přílohou č. 1 NV č. 401/2015 Sb. (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., 2015)

Kategorie ČOV (EO)	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄		N _c		P _c	
	p	m	p	m	p	m	průměr	m	průměr	m	průměr	m
<500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500-2000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-	-	-
2001-10 000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	3	8
10 000 - 100 000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	30	2	6
>100 000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3

kde: p přípustná koncentrace, může být překročena v povolené míře [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]

m maximální koncentrace, nepřekročitelná [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]

V praxi se často setkáváme s požadavkem správců toků, aby se daná čistírna odpadních vod řídila přílohou č. 7 k nařízení vlády č. 401/2015 Sb., jelikož se jedná o podmínku užití nejlepší dostupné technologie v oblasti zneškodňování odpadních vod a podmínky jejich použití.

Tabulka 6: Emisní standardy: přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) a hodnoty průměru koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ dané Přílohou č. 7 NV č. 401/2015 Sb. (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., 2015)

Kategorie ČOV (EO)	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄		N _c		P _c	
	p	m	p	m	p	m	průměr	m	průměr	m	průměr	m
<500	110	170	30	50	40	60	-	-	-	-	-	-
500-2000	75	140	22	30	25	30	12	20	-	-	-	-
2001- 10 000	70	120	18	25	20	30	8	15	-	-	2	5
10 000- 100 000	60	100	14	20	18	25	-	-	14	25	1,5	3
>100 000	55	90	10	15	14	20	-	-	10	16	0,7	2

kde: p přípustná koncentrace, může být překročena v povolené míře [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]

m maximální koncentrace, nepřekročitelná [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]

Filtry prvního stupně jsou účinné při odstraňování organických a nerozpuštěných látek (NL). Filtry druhého stupně mají účinek pro $CHSK_{Cr}$, BSK_5 a NL. Zatímco organické látky a nerozpuštěné látky mají lineární trend odstraňování, účinnost odstraňování celkového dusíku je složitější (Dotro, 2017).

Výsledkem navrhování a provozování přírodní čistírny v rámci specifikovaného návrhového rozsahu jsou systémy, které mohou zaručit konečné koncentrace odpadní vody splňující emisní limity dané NV č. 401/2015 Sb. (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., 2015).

2.11 ZMĚNA ZATÍŽENÍ

Změna zatížení může primárně ovlivnit výkonnost filtrů, resp. účinnost filtru a odtokové koncentrace sledovaného znečištění. Filtrační prostředí je ve srovnání s objemy nádrží u „klasických“ čistíren po stránce objemové výrazně větší, proto je schopnost reagování na výkyvy průtoků a látkového zatížení vyšší.

2.11.1 Nízké organické zatížení

Pokud se při spuštění nepředpokládá s projektovaným průtokem, lze části jednotlivých filtračních polí rozdělit na menší úseky tak, aby mohly být jednotlivě osázeny a zatěžovány, dokud nebude dosaženo plného návrhového zatížení (Dotro, 2017).

Je-li průtok příliš málo organicky zatížen, je možné vyvést na dané části prvního filtru obsah septiků, který zaručí tvorbu biomasy na povrchu stupně.

2.11.2 Organické přetížení

Organické přetížení zvyšuje spotřebu kyslíku a rychleji nasycuje místa adsorpce amoniaku. Tomuto jevu je nutno se vyhnout, jelikož adsorpce amoniaku na organické látky je důležitým klíčovým parametrem nitrifikace. V létě lze dávkovat vyšší organické zatížení díky vyšším biologickým kinetickým rychlostem (vyšším teplotám, které ovlivňují metabolismus mikroorganismů), což řeší i problém obcí s velkým procentem chatařů či chalupářů, kteří svá obydlí využívají primárně k letní rekreaci. Není tedy nutno předimenzovat daný systém (Dotro, 2017).

Hydraulické přetížení vyvolává delší dobu zdržení odpadní vody na filtru, což může ovlivnit přenos kyslíku do vrstvy usazenin a hlavní filtrační vrstvy.

2.12 PROVOZ A ÚDRŽBA

Provoz a údržba francouzských přírodních čistíren lze rozdělit do tří fází, kdy v každé z nich je nutno provádět konkrétní úkony.

2.12.1 Fáze 1 – Období uvedení do provozu

Nejdůležitějším úkolem etapy, v níž se uvádí čistírna do provozu, je růst mokřadních rostlin, který je zásadní pro udržení infiltrační kapacity a pasivního provzdušňování filtru. Růst musí být omezen, nesmí být ani příliš rychlý, ani pomalý. Filtr je možné během uvádění do provozu na jeden nebo dva týdny nasytit odpadní vodou, aby se primárně zničil plevel a podpořilo se usazování a růst mokřadních rostlin, které mají přizpůsobený kořenový systém vůči zatopení půdního prostředí (Dotro, 2017).

Hlavní problémy v průběhu uvedení do provozu:

- Počáteční nízké hydraulické zatížení může způsobit vodní stres rákosu, jelikož voda proniká pouze v blízkosti míst vypouštění odpadní vody na povrch filtru. Může docházet k zaplevelení filtrů (Dotro, 2017), např. náletem svlačců, kopřiv, bodláčí a jiných vyšších rostlin.
- Organická hmota může na povrchu filtru tvořit nánosy z důvodu malého růstu rákosí, které není schopno napomáhat infiltraci vody a mineralizaci usazenin. Dochází k vysychání organické hmoty, aniž by došlo k její mineralizaci, přispívá tak k nadměrnému zanášení filtrů (Dotro, 2017).
- Není-li vrstva usazenin dobře vyvinuta a do čistírny přicházejí bouřkové průtoky, může se voda rychle infiltrovat v prvním stupni a na druhém se mohou objevit prostory se stojící odpadní vodou. Tento jev skončí, když na prvním stupni bude vzniklá povrchová vrstva, jejíž rychlost vývinu můžeme urychlit aplikováním kalu, například ze septiků (Dotro, 2017).

2.12.2 Fáze 2 – Období běžného provozu

Obsluha je povinná dvakrát týdně navštívit přírodní čistírnu, aby zkontrolovala funkčnost systému a provedla specifické úkony.

Mezi hlavní úkoly obsluhy patří:

- čištění hrubého předčištění, které se nachází před prvním filtrem
- kontrola správné funkce dávkovacích systémů
- střídání filtrů, která musí být prováděna každých 3,5 dne, aby se udržela hladina kyslíku ve filtru
- kontrola plevelů, která by měla probíhat minimálně jednou za měsíc
- kontrola výšky organického nánosů
- sklizeň rákosí, které probíhá jednou ročně

Přístupy k údržbě vegetace na povrchu filtrů jsou různé, od stavu, kdy není biomasa sklízena téměř vůbec od začátku provozu, každoroční spalování v jarních obdobích přímo na povrchu filtrů, po kosení a sklizení v různých obdobích roku. S vývojem přírodních čistíren lze ale usoudit, že pravidelné sklizení vegetace značně přispívá k lepší regeneraci, lepší kontrole filtrů a nedochází k akumulaci biomasy z rozkladu staré vegetace na jejich povrchu (Rozkošný, 2015).

2.12.3 Fáze 3 – Období, během kterého se odstraňují organické látky

Vrstva organického nánosů se na prvním filtru zvyšuje přibližně o 2 až 3 cm za rok, pokud je filtr zatěžován projektovaným zatížením. Tento nános hydraulicky omezuje daný filtr a jakmile dosáhne výšky 20 cm, musí být odstraněn (zpravidla za 10 až 15 let). Pokud se neodstraní, dojde k tvorbě louží na povrchu filtru a ztíží se přenos kyslíku do podpovrchových vrstev. Zmineralizované organické látky mají obsah sušiny vyšší než 25 % a obsah organické hmoty přibližně 40 %. Vrstva nánosů je odstraňována mechanicky strojem a v závislosti na místních předpisech může být rozmetána na pole, jako zdroj organické hmoty a fosforu (Dotro, 2017).

Před odstraněním není nutné dodržovat specifickou dobu klidu, přírodní čistírna může být uvedena do provozu ihned po ukončení odstraňování (Dotro, 2017).

2.13 KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

Nános, který se zdržuje na povrchu filtračního lože, se musí při výšce větší jak 20 cm odstraňovat. Otázkou zůstává, jak se dá tento kal využít a na co si dávat pozor při jeho užití, například na hnojení polí.

2.13.1 Kalová vrstva na povrchu filtru

Suspendované pevné látky se hromadí na povrchu filtru ve formě kalové vrstvy. Odpadní voda transportuje vedle dusíku, fosforu, biologického znečištění, také značné množství kovových látek, které se v kalové vrstvě akumuluji díky srážení či adsorpčním mechanismům. Během let usazování kalu prochází vrstva biofyzikálně-chemickými změnami, které mohou ovlivnit reakci a koncentraci stopových prvků vzhledem k životnímu prostředí (Kania, 2019).

Problémem mohou být kyselé deště, které zapříčiňují chemické reakce, které mohou vyeskalovat až k odumření vegetační vrstvy na povrchu filtru. Dále zahušťování kalu v průběhu let provozu může snižovat propustnost systému, proto by daná vrstva kalu měla být odstraněna za deset až patnáct let svého provozu (Kania, 2019).

Výše citovaní odborníci se zabývali problémem vyluhování daných stopových prvků při kontaktu s pH neutrální, alkalickou a kyselou vodou. Výsledky ukázaly, že pouze malé podíly stopových prvků byly vyluhovány do vodného roztoku, když byl vzorek v kontaktu s neutrální vodou. Kovy vykazují silné vyluhování vlivem alkalických vod (Al, Fe, Zn), nejvíce to však je případ mědi, která byla uvolněna více za alkalických než za kyselých podmínek (Kania, 2019).

2.13.2 Aplikace kalu do zemědělství

Při hnojení polí je třeba brát zřetel na případnou kontaminaci půdy, podzemní či povrchové vody a ovzduší (Rozkošný, 2015).

V České republice je platný zákon o odpadech č. 541/2020 Sb., kde jsou mimo jiné vymezeny koncentrační limity kontaminujících látek v kalu. Podstatným ukazatelem pro aplikaci je jeho mikrobiální kontaminace (Zákon č. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech, 2020). Z tohoto hlediska jsou pro zemědělskou činnost vhodné jen stabilizované kaly (Rozkošný, 2015).

Doporučuje se v kanalizačním řádu ošetřit vypouštění odpadních vod z průmyslových provozoven, kde by hrozila kontaminace těžkými kovy, a to nejen odpadních vod, ale zejména kalu na filtrech. Tento kal by se nadále stal nebezpečným odpadem a nebylo by možno jej aplikovat na zemědělské pozemky. Stejně platí i u zdravotnických zařízení bez vlastní čistící jednotky.

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část bakalářské práce se zabývá návrhem přírodní čistírny využívající francouzský způsob čištění odpadních vod v obci Jablonové na území Slovenské republiky. Z tohoto důvodu bude návrh zohledňovat platnou legislativu Slovenska, která je mírně odlišná od legislativy platné v České republice.

Obec řeší problém čištění odpadních vod a plánuje výstavbu přírodní čistírny, která by čistila polovinu objemu odpadních vod vyprodukovaných obcí, a aktivační čistírnu, která by řešila zbývající část odpadních vod. Tento projekt by mohl být velice dobrým srovnáním daných typů čistíren, zejména jejich účinností a kvalitě odtoku.

Jablonové zrenovalo část kanalizační sítě na svém území, tudíž v rámci výpočtů a návrhu přírodní čistírny odpadních vod se bude počítat se 30 % balastních vod, které vnikají do kanalizace zejména netěsností dané sítě. Čistírna se bude navrhovat pro 1000 obyvatel (počítá se s potenciálním budoucím rozšířením obyvatelstva).

Obec se nachází v nížinaté oblasti, tudíž by se zde neměly objevit problémy v souvislosti s nepříznivými klimatickými podmínkami.

3.1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE OBCE

Stát	Slovensko
Kraj	Bratislavský
Okres	Malacky
Obec	Jablonové
Tradiční region	Záhoří
Nadmořská výška	229 m n.m.
Rozloha	1 320 ha
Počet obyvatel	1 385 (2021)

Jablonové je obec ležící v jihovýchodní části okresu Malacky v Bratislavském kraji, která sousedí na severovýchodě s obcí Pernek a na jihozápadě s obcí Lozorno.

Jablonové spadá do správního obvodu Malacky. Jedná se o samostatnou obec se sídlem obecního úřadu.

Obec má k 1.1.2021 1 385 obyvatel. Celková výměra území činí 1 320 ha a rozprostírá se v jihovýchodní části Záhorské nížiny, při úpatí Malých Karpat, 18 km jihovýchodně od Malacek, 30 km od Bratislavy, v nadmořské výšce 229 m n. m. (Obec Jablonové).

3.2 HISTORIE OBCE

Území bylo osídleno již v pravěku, což dokazuje kosterní hrob z konce eneolitu. První písemná zmínka o obci byla v roce 1206, kdy obec patřila k majetkům bratislavského hradu, později ji spravovala rodina Seredyovců (Jablonové – história).

V 17. století Jablonové zasáhly nájezdy Turků na Vídeň, v roce 1708 císařští žoldnéři dvakrát vypálili obec a rozšířila se první epidemie cholery, po které byl vybudován cholerový hřbitov. V roce 1855 vypukla cholera podruhé a potřetí v roce 1866 (Jablonové – história).

V roce 1842 obec zasáhl velký požár a o pár dní později přišly velké přívalové deště, které zničily většinu obce (Jablonové – história).

Další zmínky jsou z kronik pojednávající o období 2. světové války. V roce 1939 přišla do obce německá armáda, která obsadila území Záhoří podle dohody s Tisovou vládou. Podle kroniky obyvatelstvo sužovali přímo ve vesnici, kde vedli pouliční boje. Obyvatelé budovali kasárny, letiště u Kuchyně a mladí chlapi museli nastoupit do armády Slovenského státu, který napadl spolu s Německem Polsko i Sovětský svaz (História obce).

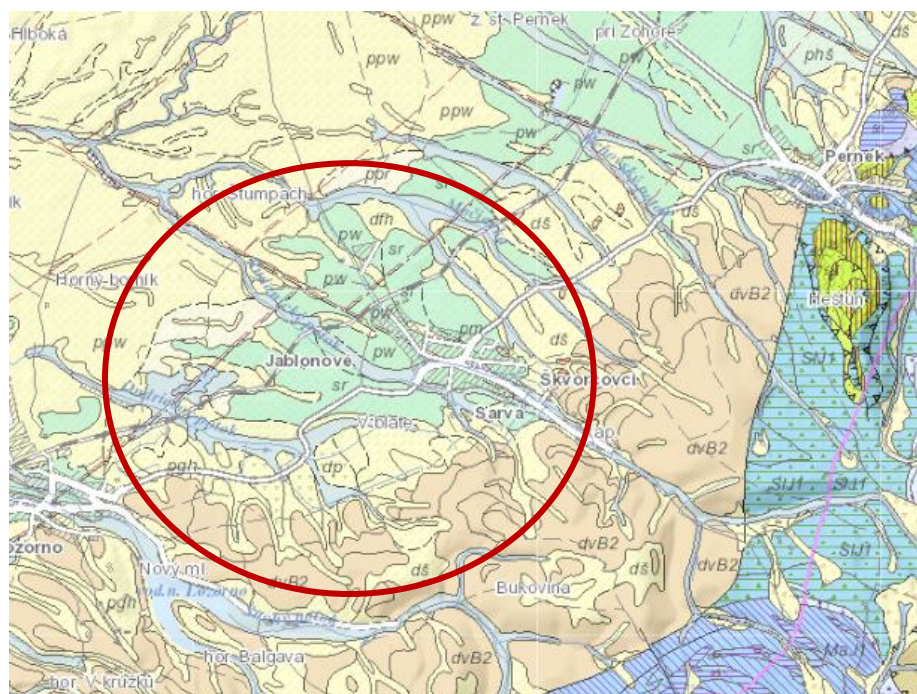
Koncem srpna roku 1944 vypuklo Slovenské národní povstání a mnoho rodáků obce bylo narukováno v Trnavských kasárnách, kteří se přidali k SNP, tak se stali přímými účastníky bojů. V září téhož roku dopadlo v katastru Jablonové přes 31 bomb od americké armády, která bombardovala letiště v Kuchyni. Dne 4. dubna 1945 vpadli do obce ruští vojáci, Němci ustoupili a 9. května 1945 se obyvatelé radovali, že válka skončila. Po druhé světové válce zůstalo Jablonové zemědělskou obcí (História obce).

3.3 GEOLOGICKÉ POMĚRY

Obec Jablonové se rozprostírá na Borské nížině patřící k nížině Záhorské, která vznikla díky poklesu zemské kůry v neogénu a kvartéru mezi Alpami a Karpatami. Ostrůvkovité prvky neogenních sedimentů jsou patrné po celém území (Geologická mapa Slovenska 1 : 50 000).

Oblast okresu prošla velmi složitým geologickým vývojem, patrné jsou nivní sedimenty a splachy, písčito-hlinité sedimenty, váté písky, pískové duny, jíly, slíny a vápence. Váté písky pokrývají největší část okresu Malacky, naopak na východě se nachází velké množství krystalických hornin, břidlic s vápenci a křemeny (Geologická mapa Slovenska 1 : 50 000).

Území je převážně rovinaté, mírně vlněné s postupně stoupající nadmořskou výškou k pohoří Malých Karpat (Geologická mapa Slovenska 1 : 50 000).



Obrázek 9 Geologická mapa 1:50 000 (Geologická mapa Slovenska 1 : 50 000)

kde: dš deluviální sedimenty, gravitačně resedimentované písčité a písčito-hlinité štěrky

pm proluviální sedimenty, hlinité až písčito-hlinité štěrky

pw proluviální sedimenty, hlinité a písčité štěrky

sr proluviální sedimenty, hlinité a písčito-hlinité štěrky

dp deluviální-proluviální sedimenty, hlinité až hlinito-kamenité kužele

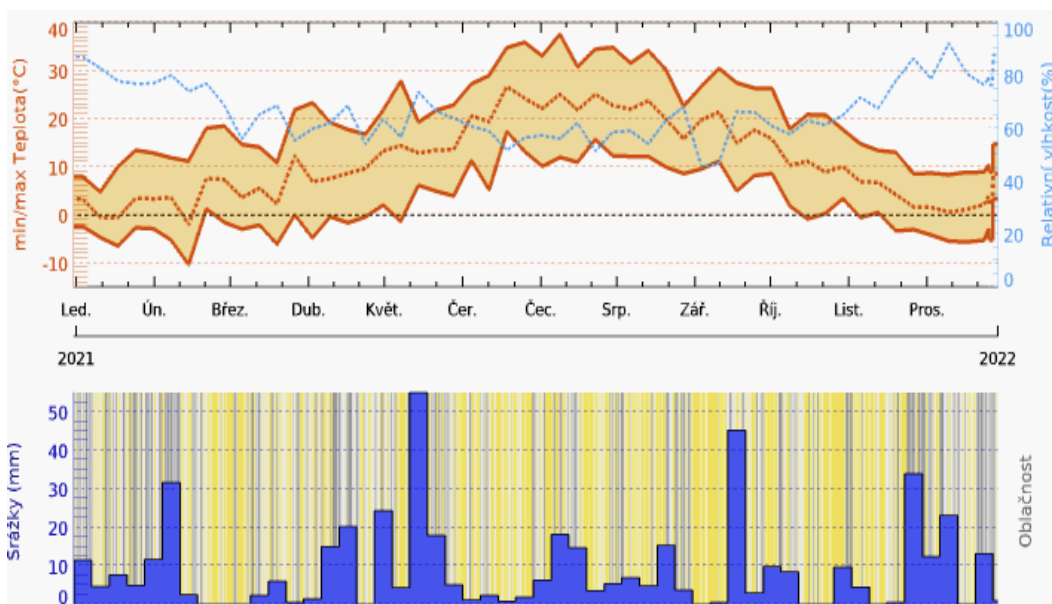
3.3.1 Hydrogeologické poměry

Okres Malacky spadá do povodí řeky Moravy, která se v Děvině vlévá do Dunaje. Mezi největší toky v povodí patří Rudanický potok, Jablonovský potok, Ondriašov potok a Močiarka. Vodní toky jsou zde omezeny zejména vátými písky a lidskou činností (úpravy toků a meliorace) (Geologická mapa Slovenska 1 : 50 000).

V okrese se však nachází velké množství vodních ploch, kdy mezi nejvýznamnější patří vodní nádrže Kuchyňa-Vývrat, Kuchyňa, Lozorno, Lintavy a Jakubovské, Stupavské a Malacké rybníky (Geografia - región).



Obrázek 10 Hydrogeologická mapa 1:50 000 (Hydrogeologické mapy)



Obrázek 11 Průměrná roční teplota a průměrné roční srážky ve stanici Stupava (Archiv počasí Stupava)

3.4 NÁVRH VÝPOČTU PŘÍRODNÍ ČISTÍRNÝ

Je zapotřebí znát množství odpadních vod, aby mohly být navrženy jednotlivé objekty na přírodní čistírně. Norma ČSN 75 6401 udává, že se množství odpadních vod vypočítá podle směrných hodnot s použitím specifické produkce odpadních vod (ČSN 75 6401 Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet obyvatel (EO) větší než 500).

Specifická produkce odpadních vod (q_{spec}) na jednoho ekvivalentního obyvatele je doporučena hodnotou 90 až 120 l·den⁻¹, avšak při návrhu je nutné brát zřetel na budoucí vývoj produkce odpadních vod.

3.4.1 Vstupní údaje pro výpočet množství odpadních vod

Počet ekvivalentních obyvatel	EO	1000	osob
Specifická potřeba vody	q_{spec}	125	l·EO ⁻¹ ·den ⁻¹
Balastní vody	Q_{bal}	30	%
Koeficient denní nerovnoměrnosti	k_d	1,5	-
Koeficient max hodinové nerovnoměrnosti	$k_{h,\text{max}}$	2,2	-
Koeficient min hodinové nerovnoměrnosti	$k_{h,\text{min}}$	0,6	-

3.4.2 Výpočet množství splaškových odpadních vod

- **Průměrný denní přítok od obyvatelstva ($Q_{24,m}$)**

Součin specifické potřeby vody (q_{spec}) a počtu ekvivalentních obyvatel (EO).

$$Q_{24,m} = q_{\text{spec}} \times \text{EO} \text{ [l·s}^{-1}\text{;m}^3\text{·den}^{-1}\text{]} \quad (3.1)$$

kde: q_{spec} specifická potřeba vody [l·EO⁻¹·den⁻¹]

EO počet ekvivalentních obyvatel [osob]

Pro obec Jablonové poté platí:

$$Q_{24,m} = 125 \times 1000 = 125 \text{ [m}^3\text{·den}^{-1}\text{]}$$

- **Množství balastních vod (Q_{bal})**

Balastní odpadní vody negativně ovlivňují průtok odpadních vod ve stokové síti, do ní se dostávají díky netěsnostem dané stoky. Množství balastních vod (Q_{bal}) se stanoví jako určité procento ze součtu průměrného denního přítoku od obyvatelstva ($Q_{24,m}$) a průměrného denního přítoku od průmyslu ($Q_{24,p}$). Uvádí se v m³·den⁻¹.

$$Q_{bal} = X \times (Q_{24,m} + Q_{24,p}) \text{ [m}^3 \cdot \text{den}^{-1}] \quad (3.2)$$

kde: X procento balastních vod, závisí na dané lokalitě [-]

$Q_{24,m}$ průměrný denní přítok od obyvatelstva [$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$]

$Q_{24,p}$ průměrný denní přítok od průmyslu [$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$]

Pro obec Jablonové poté platí:

$$Q_{bal} = 0,3 \times (125 + 0) = 37,5 \text{ [m}^3 \cdot \text{den}^{-1}]$$

kde: 0,3 30 % balastních vod

- **Průměrný bezdeštný průtok (Q_{24})**

Součet balastní vody (Q_{bal}), průměrného denní přítoku od obyvatelstva ($Q_{24,m}$) a průměrného denního přítoku od průmyslu ($Q_{24,p}$). Uvádí se v $\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$.

$$Q_{24} = Q_{bal} + Q_{24,m} + Q_{24,p} \text{ [m}^3 \cdot \text{den}^{-1}] \quad (3.3)$$

kde: Q_{bal} množství balastních vod [m^3/den]

$Q_{24,m}$ průměrný denní přítok od obyvatelstva [$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$]

$Q_{24,p}$ průměrný denní přítok od průmyslu [$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$]

Pro obec Jablonové poté platí:

$$Q_{24} = 125 + 37,5 + 0 = 162,5 \text{ [m}^3 \cdot \text{den}^{-1}]$$

- **Maximální bezdeštný denní přítok (Q_d)**

Udává se v $\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$. Součet balastní vody (Q_{bal}) a průměrného denního přítoku od obyvatelstva ($Q_{24,m}$), který je vynásobený součinitelem denní nerovnoměrnosti (k_d), a průměrným denním přítokem od průmyslu ($Q_{24,p}$), který je vynásobený součinitelem ($k_{d,p}$).

$$Q_d = Q_{bal} + Q_{24,m} \times k_d + Q_{24,p} \times k_{d,p} \text{ [m}^3 \cdot \text{den}^{-1}] \quad (3.4)$$

kde: Q_{bal} množství balastních vod [$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$]

$Q_{24,m}$ průměrný denní přítok od obyvatelstva [$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$]

k_d součinitel denní nerovnoměrnosti, který je uveden v tabulce 7 [-]

$Q_{24,p}$ průměrný denní přítok od průmyslu [$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$]

$k_{d,p}$ součinitel denní nerovnoměrnosti od průmyslu roven 1 [-]

Tabulka 7: Součinitelé denní nerovnoměrnosti dle ČSN 75 6401 (ČSN 75 6401 Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet obyvatel (EO) větší než 500)

Počet obyvatel	k_d
do 1 000 obyvatel	1,5
od 1 000 do 5 000 obyvatel	1,4
od 5 000 do 20 000 obyvatel	1,35
od 20 000 do 100 000 obyvatel	1,25
nad 100 000 obyvatel	individuálně

Pro obec Jablonové poté platí:

$$Q_d = 37,5 + 125 \times 1,5 = 225 \text{ [m}^3 \cdot \text{den}^{-1}\text{]}$$

kde: k_d součinitel denní nerovnoměrnosti je roven 1,5

- **Maximální bezdeštný hodinový přítok (Q_h)**

Udává se v $\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ a vypočte se dle vzorce:

$$Q_h = (Q_{24,m} \times k_d \times k_h + Q_{24,p} \times k_{d,p} + Q_{bal})/24 \text{ [m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}\text{]} \quad (3.5)$$

kde: $Q_{24,m}$ průměrný denní přítok od obyvatelstva [$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$]

k_d součinitel denní nerovnoměrnosti, uveden v tabulce 7 [-]

k_h součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti, uveden v tabulce 8

$Q_{24,p}$ průměrný denní přítok od průmyslu [$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$]

$k_{d,p}$ součinitel denní nerovnoměrnosti od průmyslu roven 1 [-]

Tabulka 8: Součinitelé maximální k_h hodinové nerovnoměrnosti dle ČSN 75 6101 (ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky)

PO	30	40	50	75	100	300	400	500	1000
k_h	7,2	6,9	6,7	6,3	5,9	4,4	3,5	2,6	2,2

Pro obec Jablonové poté platí:

$$Q_h = (125 \times 1,5 \times 2,2 + 0 + 37,5)/24 = 18,75 \text{ [m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}\text{]}$$

kde: k_d součinitel denní nerovnoměrnosti, roven 1,5 [-]

k_h součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti, roven 2,2 [-]

- **Minimální bezdeštný hodinový přítok (Q_{min})**

Uvádí se v $m^3 \cdot hod^{-1}$ a vypočte se jako součin průměrného denního přítoku od obyvatelstva ($Q_{24,m}$) a součinitele minimální hodinové nerovnoměrnosti (k_{min}).

$$Q_{min} = (Q_{24,m} \times k_{min})/24 [m^3 \cdot hod^{-1}] \quad (3.6)$$

kde: $Q_{24,m}$ průměrný denní přítok od obyvatelstva [$m^3 \cdot den^{-1}$]

k_{min} koeficient minimální hodinové nerovnoměrnosti, v tabulce 9

Tabulka 9: Součinitelé minimální hodinové nerovnoměrnosti k_{min} dle ČSN 75 6101 (ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky)

PO	30	40	50	75	100	300	400	500	1000
k_{min}	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,6

Pro obec Jablonové poté platí:

$$Q_{min} = (125 \times 0,6)/24 = 3,13 [m^3 \cdot hod^{-1}]$$

kde: k_{min} součinitel minimální hodinové nerovnoměrnosti je roven 0,6 [-]

- **Průtok dešťových vod (Q_{DV})**

Dvojnásobek maximálního bezdeštného denního přítoku (Q_d). Uvádí se v $l \cdot s^{-1}$.

$$Q_{DV} = Q_d \times 2 [l \cdot s^{-1}] \quad (3.7)$$

kde: Q_d maximálního denního přítoku odpadních vod [$l \cdot s^{-1}$]

Pro obec Jablonové poté platí:

$$Q_{DV} = 2 \times 28,65 = 57,3 [l \cdot s^{-1}]$$

3.4.3 Výpočet hmotnostního zatížení a počátečních koncentrací znečištění

Pro výpočet hmotnostního zatížení je zapotřebí znát průměrné denní hmotnostní zatížení (s_0) na jednoho ekvivalentního obyvatele (EO).

Tabulka 10: Průměrné denní hmotnostní zatížení s_0

Ukazatel znečištění		CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	N _c
s_0	[g·EO ⁻¹ ·den ⁻¹]	120	60	55	11

- **Průměrné znečištění od obyvatelstva (S_{dp0})**

Součin počtu ekvivalentních obyvatel (EO) a průměrného denního hmotnostního zatížení (s_0) na jednoho obyvatele. Jednotkami jsou $g \cdot den^{-1}$, $kg \cdot den^{-1}$ i $kg \cdot rok^{-1}$.

$$S_{dp0} = EO \times s_0 \text{ [g} \cdot \text{den}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{den}^{-1}] \quad (3.8)$$

kde: EO počet ekvivalentních obyvatel [osob]
 s_0 průměrné denní hmotnostní zatížení [$g \cdot EO^{-1} \cdot den^{-1}$]

Pro obec Jablonové poté platí:

$$S_{dp0} = 1000 \times s_0 \text{ [g} \cdot \text{den}^{-1}; \text{kg} \cdot \text{den}^{-1}]$$

kde: s_0 hodnota viz tabulka 10 [$g \cdot EO^{-1} \cdot den^{-1}$]

Tabulka 11: Průměrné znečištění S_{dp0} od obyvatelstva obce Jablonové

Ukazatel znečištění		CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	N _c
S_{dp0}	[$kg \cdot den^{-1}$]	120	60	55	11
S_{dp0}	[$t \cdot rok^{-1}$]	44	22	20	4

- **Počáteční koncentrace znečištění (c_0)**

Výchozí hodnota pro další návrhy parametrů dané přírodní čistírny. Udává množství znečištění v jednom litru odpadní vody ($mg \cdot l^{-1}$), vypočítá se jako podíl průměrného denního znečištění od obyvatelstva (S_{dp0}) a průměrného denního množství splaškových odpadních vod (Q_{24}).

$$c_0 = S_{dp0} / Q_{24} \text{ [mg} \cdot \text{l}^{-1}] \quad (3.9)$$

kde: S_{dp0} průměrné denní znečištění od obyvatelstva [$g \cdot den^{-1}$]
 Q_{24} průměrný denní bezdeštný průtok [$l \cdot den^{-1}$]

Pro obec Jablonové poté platí:

$$c_0 = S_{dp0} / 162,5 \text{ [mg} \cdot \text{l}^{-1}]$$

kde: S_{dp0} hodnota viz tabulka 11 [$g \cdot den^{-1}$]

Tabulka 12: Počáteční koncentrace znečištění c_0

Ukazatel znečištění		CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	N _c
c_0	[$mg \cdot l^{-1}$]	738	369	339	68

3.4.4 Návrh prvního filtru

POŽADOVANÉ PLOCHY PRVNÍHO FILTRU NA ZÁKLADĚ DOPORUČENÝCH HYDRAULICKÝCH A HMOTNOSTNÍCH ZATÍŽENÍ

Doporučené hodnoty zatížení pro první stupeň francouzského systému se použijí k určení počátečních rozměrů filtračních stupňů. První filtr je rozdělen na tři stupně, kdy každý stupeň je zatížen hydraulickou plochou $q=0,37$ [$m^3 \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$]. Plochu lze vyjádřit dvěma způsoby:

1. Plochu stupně v m^2 lze vyjádřit jako podíl maximálního denního přítoku odpadních vod (Q_d) a hydraulické zatížení plochy (q).

$$A = Q_d/q \text{ [m}^2\text{]} \quad (3.10)$$

kde: Q_d maximální denní přítok odpadních vod [$m^3 \cdot den^{-1}$]

q hydraulické zatížení plochy [$m^3 \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$]

Pro obec Jablonové poté platí:

$$A = 225/0,37 = 608 \text{ [m}^2\text{]}$$

2. Plochu stupně v m^2 lze vyjádřit na základě doporučených hodnot plošného hmotnostního zatížení (M_i) pro jednotlivé ukazatele znečištění. Plocha se vypočte jako podíl průměrného hmotnostního zatížení od obyvatelstva (S_{dp0}) a doporučené hodnoty plošného hmotnostního zatížení (M_i).

$$A = S_{dp0}/M_i \text{ [m}^2\text{]} \quad (3.11)$$

kde: S_{dp0} průměrné denní znečištění od obyvatelstva [$g \cdot den^{-1}$]

M_i plošné hmotnostní zatížení v [$g \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$]

Tabulka 13: Doporučené hodnoty plošného hmotnostního zatížení M_i první stupeň

Ukazatel znečištění		CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	N _c
M_i	[$g \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$]	350	150	150	30

Pro obec Jablonové poté platí:

Tabulka 14: Plochy stupňů prvního filtru základě plošného hmotnostního zatížení M_i

Ukazatel znečištění		CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	N _c
S_{dp0}	[g·den ⁻¹]	120 000	60 000	55 000	11 000
M_i	[g·m ⁻² ·den ⁻¹]	350	150	150	30
A	[m ²]	342,86	400,00	366,67	366,67

Na základě vypočtených ploch se zvolí nejméně příznivý scénář, tedy největší plocha zatížení.

V případě obce Jablonové je největší plocha odvozená z hydraulické plochy zatížení a činí 608 m². Danou plochu lze mírně upravit dle parametrů reliéfu krajiny, kde bude daná přírodní čistírna vybudována, např. lze zvolit čtvercovou plochu o straně 25,0 m. Celková plocha jednoho stupně tedy činí 625 m². Když danou plochu vynásobíme počtem stupňů (n) v prvním filtru, dostaneme celkovou plochu (A₁) v m².

$$A_1 = A \times n \text{ [m}^2\text{]} \quad (3.12)$$

kde: A plocha stupně [m²]

n počet stupňů v prvním filtru [-]

Pro obec Jablonové poté platí:

$$A_1 = 625 \times 3 = 1875 \text{ [m}^2\text{]}$$

kde: n počet stupňů v prvním filtru = 3

Plocha filtru je velmi důležitým parametrem, díky kterému můžeme zjistit průměrné hmotnostní zatížení od obyvatelstva na plochu ($S_{dp0,pl}$) či průměrnou plochu filtru připadající na jednoho ekvivalentního obyvatele (S_{EO}).

- **Průměrné hmotnostní zatížení od obyvatelstva na plochu jednoho stupně prvního filtru ($S_{dp0,pl}$)**

Podíl průměrného hmotnostního zatížení od obyvatelstva (S_{dp0}) a plochy stupně filtru (A). Uvádí se v g·m⁻²·den⁻¹.

$$S_{dp0,pl} = S_{dp0}/A \text{ [g·m}^{-2}\text{·den}^{-1}\text{]} \quad (3.13)$$

kde: S_{dp0} průměrné denní znečištění od obyvatelstva [g·den⁻¹]

A plocha stupně [m²]

Pro obec Jablonové poté platí:

$$S_{dp0,pl} = S_{dp0}/625 \text{ [g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}\text{]}$$

kde: S_{dp0} průměrné hmotnostní zatížení od obyvatelstva, viz tabulka 15

Tabulka 15: Průměrné hmotnostní zatížení od obyvatelstva na plochu jednoho stupně prvního filtru $S_{dp0,pl}$

Ukazatel znečištění		CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	N _c
S_{dp0}	[kg·den ⁻¹]	120	60	55	11
$S_{dp0,pl}$	[g·m ⁻² ·den ⁻¹]	192	96	88	18

- **Průměrná plocha filtru připadajícího na jednoho ekvivalentního obyvatele (S_{EO})**

Podíl celkové plochy prvního filtru (A_1) a počtu ekvivalentních obyvatel obce (EO). Uvádí se v m²·EO⁻¹.

$$S_{EO} = A_1/EO \text{ [m}^2\cdot\text{EO}^{-1}\text{]}$$

(3.14)

kde: A_1 celková plocha prvního filtru [m²]

EO počet ekvivalentních obyvatel [osob]

Pro obec Jablonové poté platí:

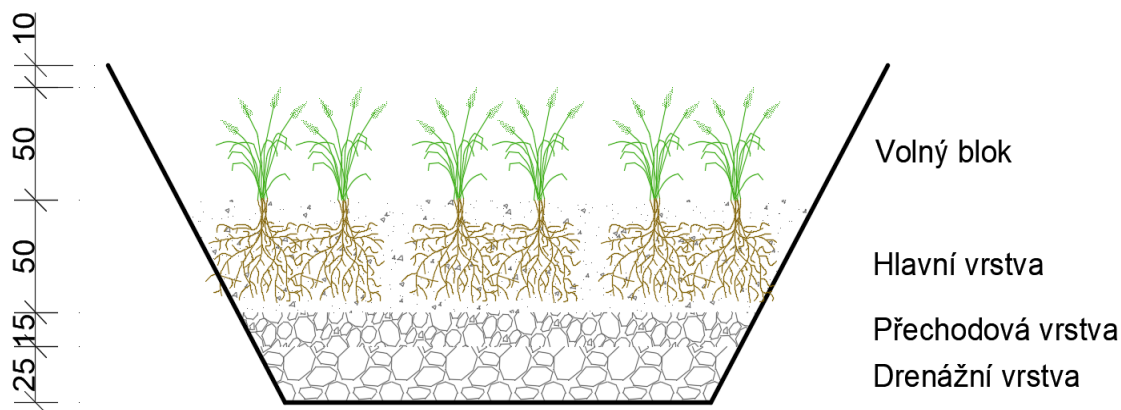
$$S_{EO} = 1875/1000 = 1,88 \text{ [m}^2\cdot\text{EO}^{-1}\text{]}$$

NÁVRH CHARAKTERISTIK FILTRAČNÍCH VRSTEV PRVNÍHO FILTRU

Filtrační vrstvy jsou sestupně složeny z volného bloku, hlavní, přechodové a drenážní vrstvy. Doporučené výšky a typ materiálu pro jednotlivé vrstvy pro obec Jablonové jsou uvedeny v tabulce 16.

Tabulka 16: Parametry filtračních vrstev prvního filtru

Výška	h [m]	Materiál
Volný blok	0,5	
Hlavní vrstva	0,5	Štěrk 2-6 mm
Přechodová vrstva	0,15	Štěrk 5-15 mm
Drenážní vrstva	0,25	Štěrk 20-60 mm
Celková výška filtru	1,4	[m]



Obrázek 12 Filtrační vrstvy prvního stupně

- **Objem zeminy na výstavbu (V)**

Díky daným výškám lze dopočítat patřičné objemy filtračních materiálů, které jsou potřeba po výstavbu filtru. Objem (V) každé vrstvy v m³ lze vyjádřit jako součin plochy daného stupně (A) a dané výšky vrstvy (h). Pokud se místo plochy stupně (A) dosadí plocha celého prvního filtru (A₁), skládajícího se ze tří stupňů, získá se celkový objem zeminy pro danou vrstvu filtru (V_{celk}).

$$V = A \times h \text{ [m}^3\text{]} \quad (3.15)$$

$$V_{\text{celk}} = A_1 \times h$$

kde: A₁ celková plocha prvního filtru [m²]

h výšky vrstev daného stupně filtru [m]

Pro obec Jablonové poté platí:

Tabulka 17: Objemy vrstev prvního filtru v obci Jablonové

Vrstva	V [m ³]	V _{celk} [m ³]
Hlavní vrstva	312,5	937,5
Přechodová vrstva	93,8	281,3
Drenážní vrstva	156,3	468,8

NÁVRH MNOŽSTVÍ DÁVKY ODPADNÍ VODY NA PRVNÍ FILTR

Množství odpadní vody se volí tak, aby se při dávkování vytvořila vrstva odpadní vody na prvním filtru ve výšce 2-5 cm.

V obci Jablonové se berou v úvahu 3 cm odpadní vody. Díky této výšce lze spočítat objem dané dávky (V_d) jako součin výšky odpadní vody (h_{ov}) a plochy daného stupně (A).

$$V_d = h_{ov} \times A = 0,03 \times 635 = 18,8 \text{ [m}^3\text{]}$$

kde: h_{ov} výška odpadní vody [m]

A plocha stupně prvního filtru [m²]

- **Počet dávek za jeden den**

Lze stanovit z podílu maximálního denního průtoku odpadních vod (Q_d) a objemu dávky (V_d).

$$\text{Počet dávek za den} = Q_d / V_d \text{ [dávek} \cdot \text{den}^{-1}\text{]} \quad (3.16)$$

kde: Q_d maximální denní průtok odpadních vod [m³·den⁻¹]

V_d objem dávky [m³]

Pro obec Jablonové poté platí:

$$\text{Počet dávek za den} = 225/18,8 = 12 \text{ [dávek} \cdot \text{den}^{-1}\text{]}$$

- **Doba trvání dávky (t)**

Navrhuje se v závislosti na hydraulické dávce (q), která je doporučena $q = 0,5 \text{ [m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$. Průtok odpadních vod (Q) v m³·h⁻¹ lze pak stanovit součinem hydraulické plochy (q) a plochy stupně prvního filtru (A).

$$Q = q \times A \text{ [m}^3 \cdot \text{h}^{-1}\text{]} \quad (3.17)$$

kde: q hydraulická dávka [m³·m⁻²·h⁻¹]

A plocha stupně prvního filtru [m²]

Pro obec Jablonové poté platí:

$$Q = 0,5 \times 625 = 312,50 \text{ [m}^3 \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$$

Trvání každé dávky v minutách lze zjistit z podílu objemu dávky (V_d) a daného průtoku odpadních vod (Q).

$$t = V_d/Q \text{ [min]} \quad (3.18)$$

kde: V_d objem dávky [m^3]

Q průtok odpadních vod [$m^3 \cdot \text{min}^{-1}$]

Pro obec Jablonové poté platí:

$$t = 18,8/5,21 = 3,6 \text{ [min]}$$

Tabulka 18: Vlastnosti jedné dávky přiváděné na stupeň prvního filtru

Dávka odpadní vody			
Objem dávky	V_d	18,8	[m^3]
Počet dávek za den		12	[dávek·den ⁻¹]
Hydraulická dávka	q	0,5	[$m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$]
Průtok odpadní vody	Q	312,50	[$m^3 \cdot h^{-1}$]
	Q	5,21	[$m^3 \cdot \text{min}^{-1}$]
Doba dávky	t	3,6	[min]

ÚČINNOST PRVNÍHO FILTRU

Účinností prvního filtru se myslí schopnost stupňů odstranit různé parametry znečištění v závislosti na ploše daného stupně, filtračních vrstvách a množství odpadní vody přiváděné po jednotlivých dávkách.

Dle studií, které pozorovaly přírodní čistírny s francouzským způsobem čištění odpadních vod, vědci odvodili účinnost prvního filtru pro jednotlivé ukazatele znečištění, které jsou popsány v následující tabulce (Dotro, 2017).

Tabulka 19: Účinnost prvního filtru E_1 (Dotro, 2017)

Ukazatel znečištění		CHSK_{Cr}	BSK₅	NL	N_c
Účinnost 1.filtru	[%]	80	90	90	$1,128 \times c_0^{0,8126}$

kde: c_0 počáteční koncentrace znečištění [$g \cdot m^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$]

V zahraničních literaturách se často v rámci vyjádření množství znečištění počítá s jednotkou $g \cdot m^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$, tedy zatížení znečištění na danou plochu za den. V České republice se míra znečištění uvádí $mg \cdot l^{-1}$.

MNOŽSTVÍ ZNEČIŠTĚNÍ ODSTRANĚNÉ V PRVNÍM FILTRU

Množství odstraněného znečištění lze vyjádřit dvěma způsoby:

1. Počáteční koncentrace znečištění (c_0) vynásobená účinností prvního stupně (E_1)

$$M_{ods} = c_0 \times E_1 \text{ [mg}\cdot\text{l}^{-1}] \quad (3.19)$$

kde: c_0 počáteční koncentrace znečištění [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]

E_1 účinnost prvního stupně [%]

2. Podíl součinu průměrného hmotnostního zatížení od obyvatelstva (S_{dp0}) účinností prvního stupně (E_1) a plochou daného stupně (A)

$$M_{ods} = (S_{dp0} \times E_1) / A \text{ [g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}] \quad (3.20)$$

kde: S_{dp0} průměrné hmotnostní zatížení od obyvatelstva [$\text{g}\cdot\text{den}^{-1}$]

E_1 účinnost prvního stupně [%]

A plocha stupně prvního filtru [m^2]

Pro obec Jablonové poté platí:

Tabulka 20: Množství znečištění odstraněného v prvním filtru M_{ods}

Ukazatel znečištění		CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	N _c
M_{ods}	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	591	332	305	44
	[$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}$]	154	86	79	11

ODTÉKAJÍCÍ ZNEČIŠTĚNÍ DO DRUHÉHO FILTRU

Množství odtékajícího znečištění (c_1) pomáhá navrhnout parametry druhého filtru. Lze vyjádřit dvěma způsoby:

1. Rozdíl počáteční koncentrace (c_0) a množství odstraněného znečištění v prvním filtru (M_{ods})

$$c_1 = c_0 - M_{ods} \text{ [mg}\cdot\text{l}^{-1}] \quad (3.21)$$

kde: c_0 počáteční koncentrace znečištění [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]

M_{ods} množství odstraněného znečištění [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]

2. Rozdíl počáteční koncentrace (c_0) a množství odstraněného znečištění v prvním filtru (M_{ods})

$$c_1 = c_0 - M_{ods} \text{ [g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}] \quad (3.22)$$

kde: c_0 počáteční koncentrace znečištění [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}$]

M_{ods} množství odstraněného znečištění [$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}$]

Pro obec Jablonové poté platí:

Tabulka 21: Odtoková koncentrace znečištění z prvního filtru c_1

Ukazatel znečištění		CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	N _c
c_1	[mg·l ⁻¹]	148	37	34	24
	[g·m ⁻² ·den ⁻¹]	38	10	9	6

DENNÍ MNOŽSTVÍ ODTÉKAJÍCÍHO ZNEČIŠTĚNÍ

Denní množství odtékajícího znečištění (S_{dp1}) nám udává množství znečištění, nejčastěji v $\text{kg}\cdot\text{den}^{-1}$ nebo v $\text{g}\cdot\text{den}^{-1}$, které dále putuje do druhého filtru. Lze opět vyjádřit dvěma způsoby:

1. Součin odtékajícího znečištění z prvního filtru (c_1) a průměrného denního množství splaškové odpadní vody (Q_{24})

$$S_{dp1} = c_1 \times Q_{24} \text{ [kg}\cdot\text{den}^{-1}] \quad (3.23)$$

kde: c_1 odtékající znečištění z prvního filtru [$\text{kg}\cdot\text{l}^{-1}$]

Q_{24} průměrný denní bezdeštný průtok [$\text{l}\cdot\text{den}^{-1}$]

2. Součin odtékajícího znečištění z prvního filtru (c_1) a plochy prvního stupně (A)

$$S_{dp1} = c_1 \times A \text{ [g}\cdot\text{den}^{-1}] \quad (3.24)$$

kde: c_1 odtékající znečištění z prvního filtru [$\text{kg}\cdot\text{l}^{-1}$]

A plocha stupně prvního filtru [m^2]

Pro obec Jablonové poté platí:

Tabulka 22: Denní množství odtékajícího znečištění z prvního filtru S_{dp1}

Ukazatel znečištění		CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	N _c
S_{dp1}	[kg·den ⁻¹]	24,0	6,0	5,5	3,8

3.4.5 Návrh druhého filtru

POŽADOVANÉ PLOCHY DRUHÉHO FILTRU NA ZÁKLADĚ DOPORUČENÝCH HYDRAULICKÝCH A HMOTNOSTNÍCH ZATÍŽENÍ

Doporučené hodnoty zatížení pro druhý stupeň francouzského systému se použijí k určení rozměru druhého filtračního stupně. Druhý filtr je rozdělen na dva stupně, kdy každý stupeň je zatížen hydraulickou plochou $q=0,37$ [$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$]. Plochu lze vyjádřit dvěma způsoby:

1. Plocha lze vypočítat dle rovnice (3.10)

Pro obec Jablonové poté platí:

$$A = 225/0,37 = 608 \text{ [m}^2\text{]}$$

2. Plocha lze vypočítat dle rovnice (3.11)

Tabulka 23: Doporučené hodnoty plošného hmotnostního zatížení M_i pro druhý stupeň

Ukazatel znečištění		CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	N _c
M_i	[g·m ⁻² ·den ⁻¹]	70	70	30	15

Pro obec Jablonové poté platí:

Tabulka 24: Plochy stupňů prvního filtru základě plošného hmotnostního zatížení M_i

Ukazatel znečištění		CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	N _c
S_{dp1}	[g·den ⁻¹]	24 000	6 000	5 500	3 800
M_i	[g·m ⁻² ·den ⁻¹]	70	70	30	15
A	[m ²]	342,86	85,71	183,33	256,56

Na základě vypočtených ploch se zvolí nejméně příznivý scénář, tedy největší plocha zatížení.

V případě obce Jablonové je největší plocha odvozená z hydraulické plochy zatížení a činí 608 m². Danou plochu lze mírně upravit dle parametrů reliéfu krajiny, kde bude daná přírodní čistírna vybudována, např. lze zvolit čtvercovou plochu o straně 25,0 m. Celková plocha jednoho stupně tedy činí 625,0 m².

Dle vztahu (3.12) lze vypočítat celkovou plochu druhého filtru.

Pro obec Jablonové poté platí:

$$A_2 = 625 \times 2 = 1250 \text{ [m}^2\text{]}$$

kde: n počet stupňů v druhém filtru=2

- **Průměrné hmotnostní zatížení od obyvatelstva na plochu jednoho stupně druhého filtru ($S_{dp1,pl}$)**

Lze vypočítat dle vztahu (3.13)

Pro obec Jablonové poté platí:

$$S_{dp1,pl} = S_{dp1} / 625 \text{ [g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}\text{]}$$

Tabulka 25: Průměrné hmotnostní zatížení od obyvatelstva na plochu jednoho stupně druhého filtru $S_{dp1,pl}$

Ukazatel znečištění		CHSK_{Cr}	BSK₅	NL	N_c
S_{dp1}	[kg·den ⁻¹]	24,0	6,0	5,5	3,8
$S_{dp1,pl}$	[g·m ⁻² ·den ⁻¹]	38,4	9,6	8,8	6,1

- **Průměrná plocha připadající na jednoho ekvivalentního obyvatele (S_{EO})**

Průměrnou plochu filtru připadající na jednoho ekvivalentního obyvatele lze vypočítat dle vztahu (3.14).

Pro obec Jablonové poté platí:

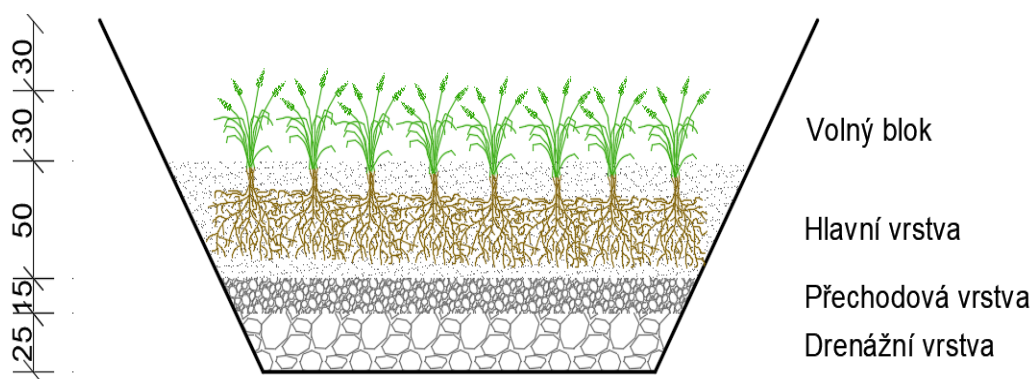
$$S_{EO} = 1250 / 1000 = 1,25 \text{ [m}^2 \cdot \text{EO}^{-1}\text{]}$$

NÁVRH CHARAKTERISTIK FILTRAČNÍCH VRSTEV DRUHÉHO FILTRU

Filtrační vrstvy jsou sestupně složeny z volného bloku, hlavní, přechodové a drenážní vrstvy. Doporučené výšky a typ materiálu pro jednotlivé vrstvy pro obec Jablonové jsou uvedeny v tabulce 26.

Tabulka 26: Parametry filtračních vrstev druhého filtru

Výška	h [m]	Materiál
Volný blok	0,3	
Hlavní vrstva	0,5	Písek $0,25 < d_{10} < 0,4$ mm; $d_{60}/d_{10} < 5$
Přechodová vrstva	0,15	Štěrk 3-12 mm
Drenážní vrstva	0,25	Štěrk 20-60 mm
Celková výška filtru	1,2	[m]



Obrázek 13 Filtrační vrstvy druhého filtru

- **Objemy zeminy na výstavbu (V)**

Objem (V) každé vrstvy v m^3 lze vyjádřit ze vztahu (3.15).

Pro obec Jablonové poté platí:

Tabulka 27: Objemy vrstev druhého filtru v obci Jablonové

Vrstva	V [m^3]	V_{celk} [m^3]
Hlavní vrstva	312,5	625,0
Přechodová vrstva	93,8	187,5
Drenážní vrstva	156,3	312,5

VSTUPNÍ ZATÍŽENÍ PLOCHY DRUHÉHO FILTRU

Vstupní zatížení na plochu druhého stupně je dána odtékajícím znečištěním z jednotky plochy prvního filtru (c_1) viz tabulka 21.

ÚČINNOST DRUHÉHO FILTRU

Účinností druhého filtru se myslí schopnost stupňů odstranit různé parametry znečištění v závislosti na ploše daného stupně, filtračních vrstvách a množství přiváděné odpadní vody.

Dle studií vědci odvodili účinnost druhého filtru pro jednotlivé ukazatele znečištění, které jsou popsány v následující tabulce.

Tabulka 28: Účinnost druhého filtru E_2 (Dotro, 2017)

Ukazatel znečištění		CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	N _c
Účinnost 2.filtru	[%]	75	80	80	$1,194 \times c_1^{0,8622}$

kde: c_1 odtékající znečištění z jednotky plochy prvního filtru [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$]

MNOŽSTVÍ ZNEČIŠTĚNÍ ODSTRANĚNÉ V DRUHÉM FILTRU

Množství odstraněného znečištění lze vyjádřit dvěma způsoby:

1. Dle vztahu (3.19) v $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$.
2. Dle vztahu (3.20) v $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$.

Tabulka 29: Množství znečištění odstraněného v druhém filtru M_{ods}

Ukazatel znečištění		CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	N _c
M_{ods}	[$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$]	111	30	27	22
	[$\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$]	29	8	7	6

ODTÉKAJÍCÍ ZNEČIŠTĚNÍ Z DRUHÉHO FILTRU

Množství odtékajícího znečištění (c_2) se srovnává s platnou legislativou určující jakost vod, které lze vypouštět do recipientu. Kvalita odtoku se řídí dle NV č.269/2010 Z. z. (Nariadenie vlády Slovenskej republiky, ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd).

Lze vypočítat dle vztahu (3.21) či dle vztahu (3.22).

Pro obec Jablonové poté platí:

Tabulka 30: Odtékající znečištění z druhého filtru c_2

Ukazatel znečištění		CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	N _c
c ₂	[mg·l ⁻¹]	37	7	7	2
	[g·m ⁻² ·den ⁻¹]	10	2	2	0,4

DENNÍ MNOŽSTVÍ ODTÉKAJÍCÍHO ZNEČIŠTĚNÍ

Denní množství odtékajícího znečištění (S_{dp2}) nám udává množství znečištění, nejčastěji v kg·den⁻¹ nebo v g·den⁻¹, které dále teče do recipientu či kanalizace. Lze opět vypočítat dvěma způsoby:

1. Dle rovnice (3.23).
2. Dle rovnice (3.24).

Pro obec Jablonové poté platí:

Tabulka 31: Denní množství odtékajícího znečištění z druhého filtru S_{dp2}

Ukazatel znečištění		CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	N _c
S_{dp2}	[kg·den ⁻¹]	6,0	1,2	1,1	0,3

CELKOVÁ ÚČINNOST ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD

Díky odtokové koncentraci vod lze zjistit i celkovou účinnost čistírny (E), která se spočítá jako poměr rozdílu koncentrací počáteční a koncové koncentrace.

$$E = ((c_0 - c_2)/c_2) \times 100 [\%] \quad (3.25)$$

kde: c_0 počáteční koncentrace znečištění [mg·l⁻¹]

c_2 odtékající znečištění z druhého filtru [mg·l⁻¹]

Pro obec Jablonové poté platí:

Tabulka 32: Celková účinnost čistírny odpadních vod E

Ukazatel znečištění		CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	N _c
Celková účinnost	[%]	95	98	98	97,5

3.4.6 Porovnání koncentrací odtoku s legislativou

Dle NV č.269/2010 Z. z. přílohy 6 – Limitné hodnoty ukazovateľov znečistenia vypúšťaných splaškových odpadových vôd a komunálnych odpadových vôd do povrchových vôd nám určujú prípustné a maximálne hodnoty koncentrací a účinností pro jednotlivé ukazatele znečištění při použití nejlepší dostupné technologie v oblasti zneškodňování městských odpadních vod (Nariadenie vlády č. 269/2010 Z. z.).

Tabulka 33: Hodnoty koncentrací a znečištění dané NV č.269/2010 Z. z. (Nariadenie vlády č. 269/2010 Z. z.)

Velikost ČOV (EO)	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄		N _{celk}		P _{celk}	
	[mg·l ⁻¹]		[mg·l ⁻¹]		[mg·l ⁻¹]		[mg·l ⁻¹]		[mg·l ⁻¹]		[mg·l ⁻¹]	
	p	m	p	m	p	m	p	m	p	m	p	m
do 50	-	-	40	70	-	-	-	-	-	-	-	-
51-2000	135	170	30	60	30	60	-	-	-	-	-	-
2001-10 000	120	170	25	45	25	50	20	40	-	-	-	-

kde: p přípustná koncentrace, může být překročena v povolené míře
m maximální koncentrace, nepřekročitelná

Pro kategorii čistíren odpadních vod pro 51-2000 ekvivalentních obyvatel není zapotřebí hlídat výstupní koncentrace znečištění pro celkový dusík a celkový fosfor, avšak když se porovnají výsledky s čistírnami odpadních vod pro více jak 100 000 ekvivalentních obyvatel, koncentrace pro tyto ukazatele jsou po vyčištění v přírodní čistírně francouzského typu stále nižší (Nariadenie vlády č. 269/2010 Z. z.).

Tabulka 34: Porovnání koncentrace odtoku s NV č.269/2010 Z. z.

Koncentrace odtoku	CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	N _c	
Jablonové	[mg·l ⁻¹]	37	7	7	2
NV č. 269/2010 Z.z.	[mg·l ⁻¹]	135	30	30	-

Z tabulky 34 je patrné, že daná čistírna odpadních vod splňuje limity dané nařízením vlády, je tedy účelné čistit odpadní vodu právě tímto způsobem.

3.5 ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD V ZÁVISLOSTI NA MNOŽSTVÍ BALASTNÍCH VOD

V praxi se často vyskytuje problém se samotnou neznalostí dané stokové sítě v obci. Kamerový průzkum a následné vyhodnocení je časově náročná a nákladná práce, avšak právě tento průzkum podpoří správný návrh přírodní čistírny s využitím francouzského způsobu čištění odpadních vod.

Balastní vody, které se do stoky dostávají díky netěsnostem trubní sítě, hrají velkou roli při návrhu čistírny, jelikož zvětšují přítoky odpadní vody na čistírnu a zároveň ředí dané znečištění obsažené ve vodě. Díky průzkumu stoky lze zjistit, kolik procent odpadní vody činí právě balastní vody a kolik splaškové vody z domácností.

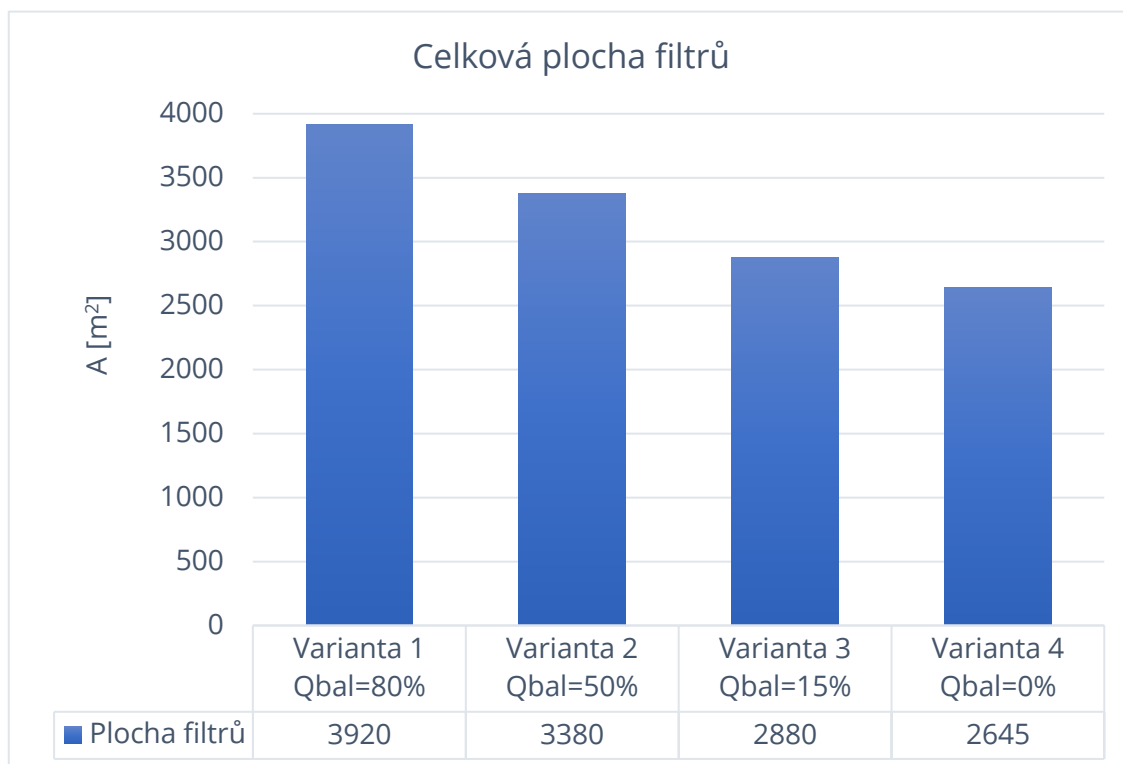
Tabulka 35: Rozdělení množství splaškových vod a ploch filtrů v závislosti na množství balastních vod

	OBEČNÉ			
	Q_{bal} [m ³ ·den ⁻¹]	Q_{24} [m ³ ·den ⁻¹]	A [m ²]	A_{celk} [m ²]
Varianta 1 $Q_{bal} = 80 \%$	100,0	225,0	784	3920
Varianta 2 $Q_{bal} = 50 \%$	62,5	187,5	676	3380
Varianta 3 $Q_{bal} = 15 \%$	18,8	143,8	576	2880
Varianta 4 $Q_{bal} = 0 \%$	0,0	125,0	529	2645

Z tabulky 35 je patrné, že množství splaškových vod je přímo úměrné množství vod balastních. Co se týče plochy, i u této veličiny je přímá úměra mezi velikostí plochy filtru a množstvím balastních vod.

3.5.1 Závislost velikosti plochy přírodní čistírny na množství balastních vod

Finanční náročnost tvoří v rámci výstavby přírodní čistírny pravděpodobně nejdůležitější aspekt, proto je dobré vědět, o kolik stará (více propustná) stoková síť zvýší náklady na výstavbu přírodní čistírny či se naopak vyplatí spravit danou stokovou síť a navrhnout menší, tudíž méně nákladnou, čistírnu odpadních vod.



Graf 2 Velikost plochy filtrů v závislosti na množství balastních vod

Z grafu 2 lze vyčíst, jak moc je plocha závislá právě na množství balastních vod. Čím je procento balastních vod menší, tím se rozdíl v plochách zmenšuje, tudíž by nebylo příliš efektivní renovovat celou stokovou síť, která propouští 15 % balastů. Ale pokud daná síť vykazuje 80 a více %, je vhodné navrhnout kompromis v rámci výstavby přírodní čistírny a renovace části stokové sítě. Pro danou obec takové řešení z ekonomických důvodů vyjde nejlevněji a zejména nejefektivněji v rámci čištění odpadních vod.

3.5.2 Závislost množství znečištění na odtoku z čistírny na množství balastních vod

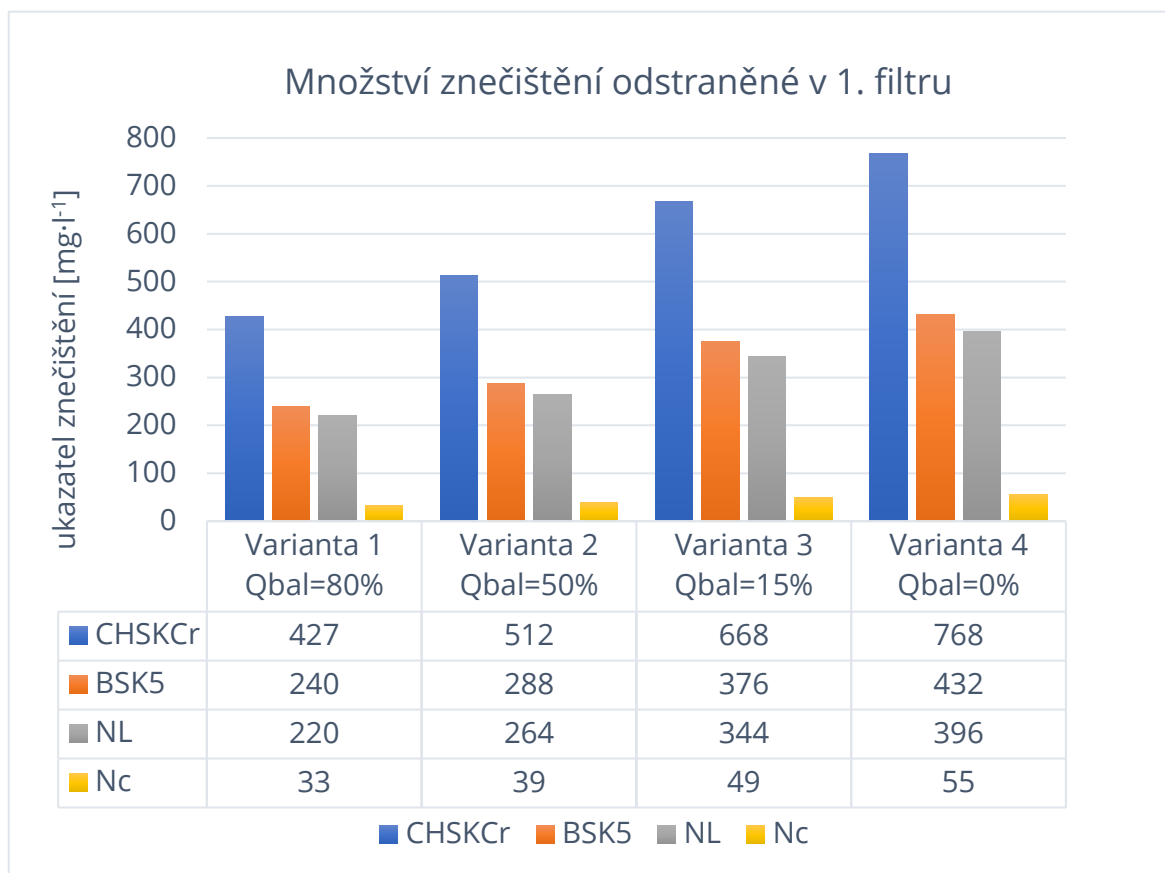
V rámci obce Jablonové na Slovensku se stanovilo procento balastních vod na 30 %. V tabulce 36 lze vidět rozdíl množství znečištění na odtoku v závislosti na množství balastních vod ve stokové síti. Procento balastních vod se počítalo pro 80 %, 50 %, 15 % a 0 %, kdy 0 % odpovídá nově vybudované stokové síti. Vstupní hodnoty, jako množství ekvivalentních obyvatel, množství znečištění na přítoku, zůstaly neměnné.

Tabulka 36: Vstupní koncentrace a množství znečištění odstraněné v 1. filtru v závislosti na množství balastních vod

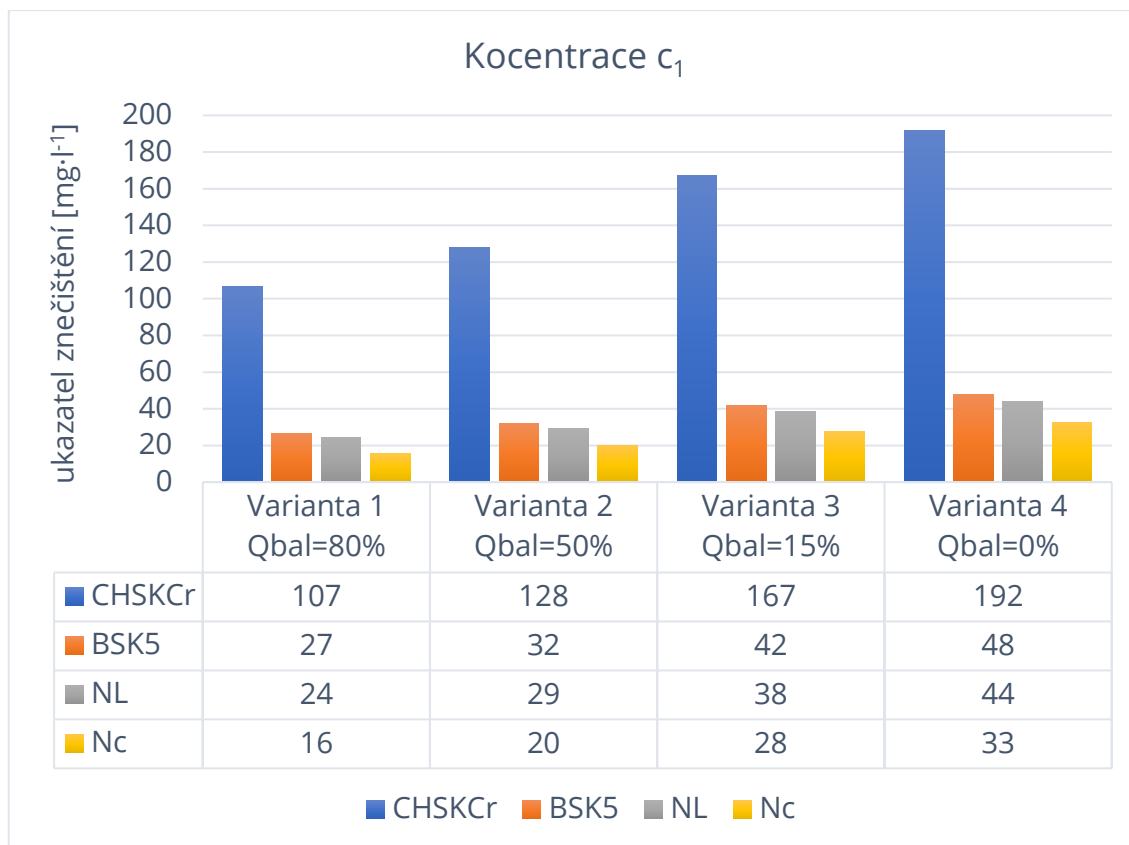
		1.FILTR				
		Množství znečištění odstraněné v 1. filtru		Koncentrace c_1		Denní množství odstraněného znečištění
		$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	$[\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}]$	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	$[\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}]$	$[\text{kg}\cdot\text{den}^{-1}]$
Varianta 1 $Q_{bal} = 80 \%$	CHSK_{Cr}	427	122	107	31	24
	BSK₅	240	69	27	8	6
	NL	220	63	24	7	6
	N_c	33	10	16	5	4
Varianta 2 $Q_{bal} = 50 \%$	CHSK_{Cr}	512	142	128	36	24
	BSK₅	288	80	32	9	6
	NL	264	73	29	8	6
	N_c	39	11	20	6	4
Varianta 3 $Q_{bal} = 15 \%$	CHSK_{Cr}	668	167	167	42	24
	BSK₅	376	94	42	10	6
	NL	344	86	38	10	6
	N_c	49	12	28	7	4
Varianta 4 $Q_{bal} = 0 \%$	CHSK_{Cr}	768	181	192	45	24
	BSK₅	432	102	48	11	6
	NL	396	94	44	10	6
	N_c	55	13	33	8	4

Lze vidět, že čím je dané množství balastních vod menší, tím je koncentrace znečištění na odtoku z druhého filtru do recipientu větší. Tato úměra je dána právě tím, že balastní vody ředí splaškovou vodu, tudíž koncentrace znečištění se zmenšuje.

Z tabulky 36 ze sloupce Denní množství odtékajícího znečištění lze pozorovat, že dané hodnoty pro jednotlivé ukazatele znečištění se nemění s výjimkou Kjeldahlova dusíku, který byl stanoven na základě hmotnostního zatížení na plochu. Právě stejné hodnoty denního množství odtékajícího znečištění z prvního filtru na druhý jsou známkou stále stejné účinnosti filtru v nezávislosti na množství balastních vod.



Graf 3 Množství znečištění odstraněného v 1. filtru



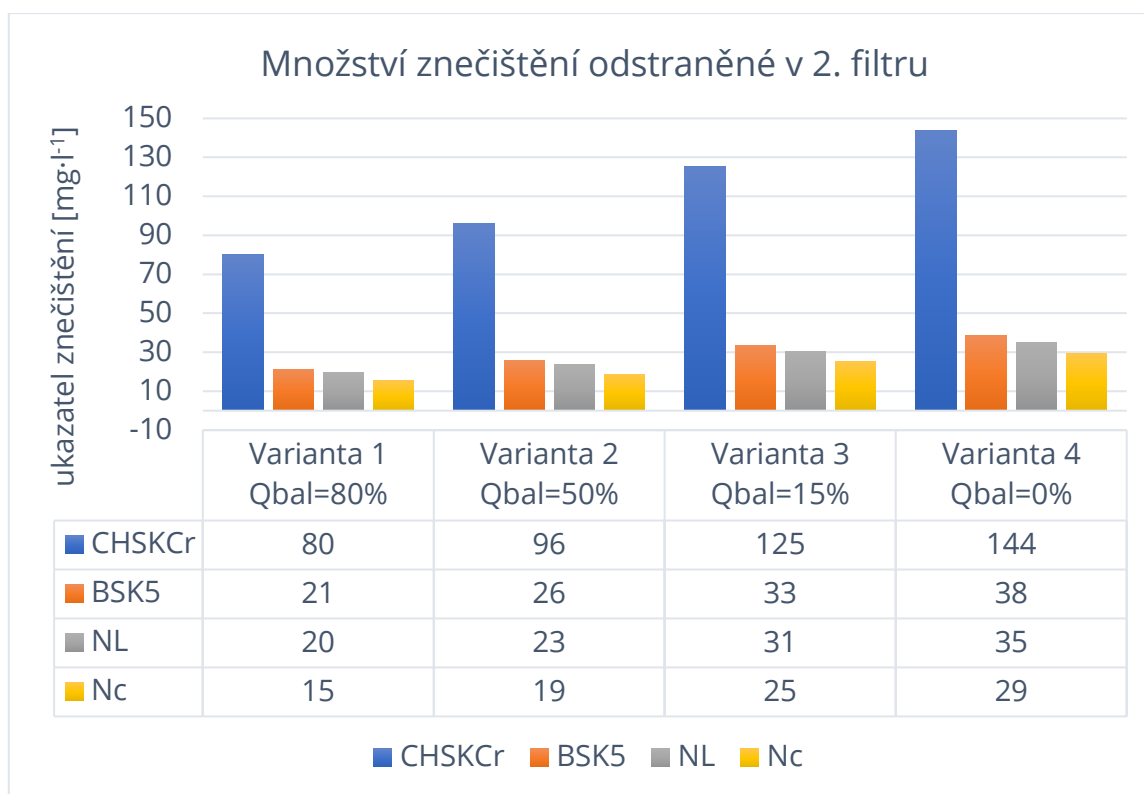
Graf 4 Koncentrace znečištění odpadní vody odtékající z prvního filtru na filtr druhý

Čím menší je procento balastních vod, tím větší koncentrace znečištění je v dané odpadní vodě. Tato skutečnost je patrná z grafu množství znečištění odstraněného v prvním filtru, kde nejvíce znečištění se odstranilo v odpadní vodě s 0 % balastních vod. Avšak naopak také větší koncentrace znečištění se z prvního filtru dostává do filtru druhého, což je patrné z grafu koncentrace znečištění odpadních vod z prvního filtru na filtr druhý. Rozdíl v znečištění, pokud se jedná o odpadní vodu s 0 % balastních vod a 80 %, je zhruba poloviční.

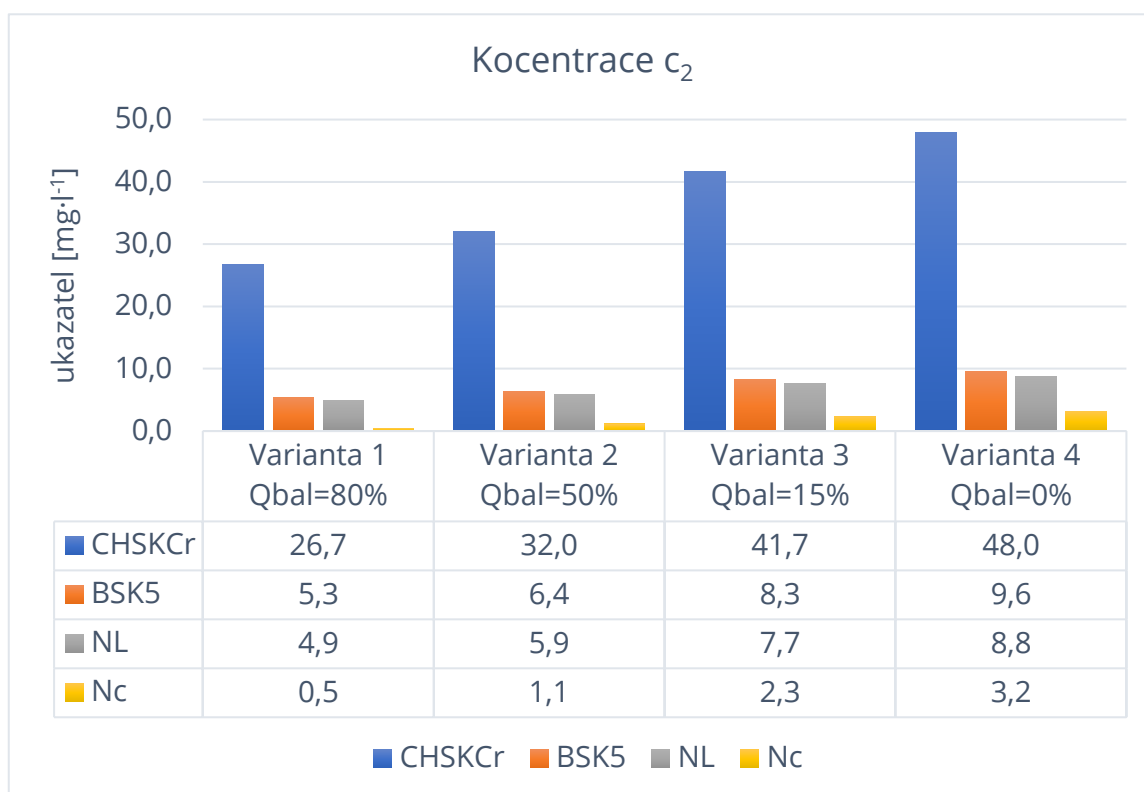
Tabulka 37: Odtoková koncentrace a množství znečištění odstraněné v druhém filtru v závislosti na množství balastních vod

	2.FILTR					
	Množství znečištění odstraněné v 2. filtru			Koncentrace c_2		Denní množství odstraněného znečištění
		$[mg \cdot l^{-1}]$	$[g \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}]$	$[mg \cdot l^{-1}]$	$[g \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}]$	$[kg \cdot den^{-1}]$
Varianta 1 $Q_{bal} = 80 \%$	CHSK_{Cr}	80	23	27	8	6
	BSK₅	21	6	5	2	1
	NL	20	6	5	1	1
	N_C	15	4	1	0,1	0,1
Varianta 2 $Q_{bal} = 50 \%$	CHSK_{Cr}	96	27	32	9	6
	BSK₅	26	7	6	2	1
	NL	23	7	6	2	1
	N_C	19	5	1	0,3	0,2
Varianta 3 $Q_{bal} = 15 \%$	CHSK_{Cr}	125	31	42	10	6
	BSK₅	33	8	8	2	1
	NL	31	8	8	2	1
	N_C	25	6	2	1	0,3
Varianta 4 $Q_{bal} = 0 \%$	CHSK_{Cr}	144	34	48	11	6
	BSK₅	38	9	10	2	1
	NL	35	8	9	2	1
	N_C	29	7	3	1	0,4

Z tabulky 37 lze vyčíst množství znečištění odstraněné v druhém filtru, které je závislé na přítoku odpadní vody z prvního filtru a na účinnosti druhého filtru. Množství odtékajícího znečištění je opět neměnné, jelikož druhý filtr vypovídá stále stejnou účinnost v nezávislosti na množství balastních vod.



Graf 5 Množství znečištění odstraněné v 2. filtru



Graf 6 Odtoková koncentrace z čistírny odpadních vod

V rámci druhého filtru je zde obdobně vidět závislost množství znečištění v odpadní vodě na množství balastních vod. Čím menší je procento balastů, tím více znečištění odpadní voda obsahuje a také se tím pádem ve filtračním médiu více znečištění odstraní. Avšak hodnoty odtokové koncentrace jsou dvakrát tak velké, než pokud by daná soustava měla 80 % balastů.

Tabulka 38: Celková účinnost čistírny v závislosti na množství balastních vod

	Ukazatel znečištění	Koncentrace c_0 [mg/l]	Koncentrace c_2 [mg/l]	Účinnost E_{celk} [%]	NV č. 269/2010 Z.z. [mg/l]
Varianta 1 $Q_{bal}=80\%$	CHSK_{Cr}	533	27	95	135
	BSK₅	267	5	98	30
	NL	244	5	98	30
	N_c	49	1	99	-
Varianta 2 $Q_{bal}=50\%$	CHSK_{Cr}	640	32	95	135
	BSK₅	320	6	98	30
	NL	293	6	98	30
	N_c	59	1	98	-
Varianta 3 $Q_{bal}=15\%$	CHSK_{Cr}	835	42	95	135
	BSK₅	417	8	98	30
	NL	383	8	98	30
	N_c	77	2	97	-
Varianta 4 $Q_{bal}=0\%$	CHSK_{Cr}	960	48	95	135
	BSK₅	480	10	98	30
	NL	440	9	98	30
	N_c	88	3	96	-

Z tabulky 38 je zřejmé, že celková účinnost přírodní čistírny využívající francouzský způsob čištění odpadních vod vysoce převyšuje požadavky na čištění dané vody, jejichž maximální přípustný limit je dán v NV č. 269/2010 Z.z. Při porovnání sloupců koncentrace c_2 s NV č. 269/2010 Z.z. lze vidět až řádový rozdíl v hodnotách.

3.6 POTENCIÁLNÍ PROBLÉMY S VÝSTAVBOU PŘÍRODNÍ ČISTÍRNY

V rámci zpracování bakalářské práce proběhla pracovní návštěva do první obecní přírodní čistírny využívající francouzský způsob čištění odpadních vod v České republice v obci Závada. Tato obec se nachází v okrese Opava v Moravskoslezském kraji a je zde vybudována přírodní čistírna odpadních vod pro necelých 600 obyvatel. Tato čistírna je nyní v tříletém zkušebním provozu, kdy má obec možnost vyřešit veškeré problémy, které se během výstavby i samotného provozu mohly vyskytnout, a nejsou postihnuty za nekvalitní odtok z čistírny, nesplňující dané limity pro vypouštění do povrchových vod.

3.6.1 Předčištění

V rámci předčištění je vždy vhodné znát složení odpadní vody a nejčastější druh znečišťujících látek. Malý rozstup ve dně lapáku štěrku či písku i jeho samotná délka může zapříčinit usazování kalu již na samotném předčištění.

Tento typ čistírny je vhodný pro menší obce, a proto doporučuji mechanické předčištění doplnit o lapák tuku zejména v obcích, kde jsou stále aktivní domácí chovy vepřů a s tím spojené zabijačky. Na druhou stranu, v zahraničí se běžně lapáky písku neinstalují jako součást systému, proto je potřeba posuzovat nutnost zapojení vždy individuálně.

V obci Závada jsou objekty mechanického předčištění řešeny specificky, zejména štěrbinový prostor pro usazování minerálních částic je již po prvním roce zdeformovaný a evidentně dlouhodobě neudržitelný. Přesto toto mírné poškození nemá zásadní vliv na účinnost čistírny a není nezbytně nutné v současné době řešit nápravu/opravu sedimentačního prostoru.

Správné rozměry otvorů na česlích zabrání zanášení filtrů nečistotami. Příhodné je obstarat dané česle popelnicí či malým kontejnerem na uskladnění daných shrabků z česlí.



Obrázek 14 Správné uložení česlí na vstupu (ČOV Závada)



Obrázek 15 Nesprávně navržený lapák písku (ČOV Závada)

3.6.2 Usazovací nádrž

Standardní čistírna odpadních vod (kořenová, přírodní), má jako součást mechanického předčištění instalovanou usazovací nádrž. Čistírna, založená na francouzském způsobu čištění, by měla mít usazovací nádrž zcela vyloučenou ze systému čištění. Usaditelné znečištění by mělo sedimentovat na povrchu prvního filtračního stupně. Přesto v obci Závada je přítomna kromě lapáku písku i jednokomorová usazovací nádrž, která zadržuje nerozpuštěné látky.

Právě přítomnost usazovací nádrže a přidružené kalové pole jsou důvodem k nevhodnému provoznímu prostředí prvního filtračního stupně. Odpadní voda, která natéká na první filtry, je zbavena nerozpuštěných látek, což v důsledku vede k rychlému průtoku filtrem s minimálním vlivem na kvalitu odpadní vody, resp. na účinnost čištění.

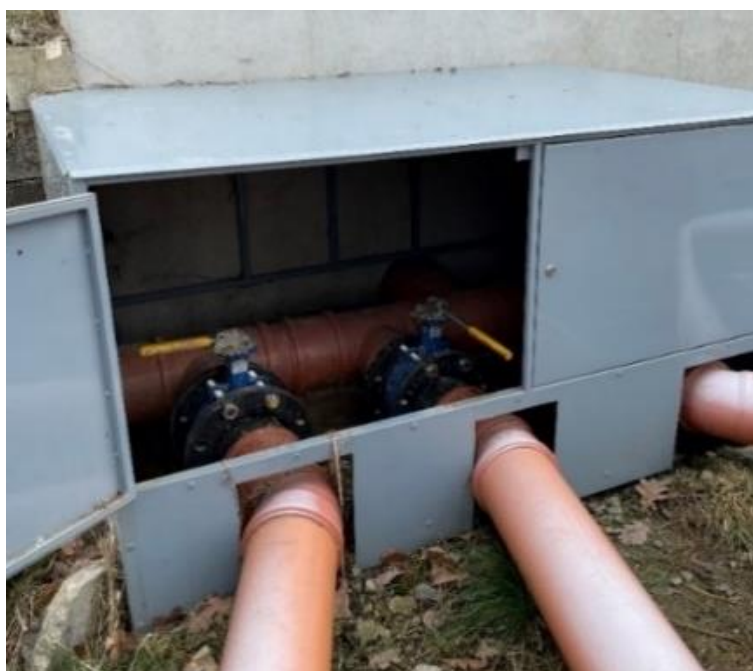
Nevhodné uspořádání mechanického předčištění je po konzultaci s provozovatelem řešeno tak, že na základě zkušeností ze zahraničí budou přímo na povrch prvního filtru vyváženy fekální vozy, které budou obsahem septiků a žump intenzivně doplňovat množství substrátu pro budoucí zpomalení proudění odpadní vody filtrem. Lze předpokládat, že po takto upraveném provozování dojde k postupnému zvýšení účinnosti v odstraňování ve všech sledovaných parametrech ($CHSK_{Cr}$, BSK_5 , N_L , N_C).



Obrázek 16 Vstupní šachta (ČOV Závada)

3.6.3 Distribuční šachta na prvním filtru

Z předčištění odpadní voda odtéká potrubím do distribuční šachty, kde se voda shromažďuje do dosažení předem definované hladiny. Dosáhne-li se požadované úrovně, sepne se automatický pulzní vypouštěč, který vypustí potřebné množství odpadní vody na povrch prvního filtru, resp. pouze jednu třetinu celé plochy filtru. Je vhodné opatřit šachtu vstupem přímo nad pulzním vypouštěčem, aby se dalo snadněji kontrolovat, ovládat a revidovat. Šachta je také opatřena zařízením na přepínání jednotlivých větví potrubí, přivádějící dávku odpadní vody z distribuční šachty na stupeň filtru, aby docházelo ke střídání polí prvního filtru. Uplatněné řešení se může jevit zejména v zimním období jako velice náchylné na zamrznutí, není proto vhodné jej v této podobě instalovat na dalších čistírnách – byť v prvním zimním období nedošlo k provozní poruše vlivem zamrznutí. Vhodnějším řešením je obdoba zahraničních projektů – rozdělování ve vlastní rozdělovací šachtě, která je umístěna pod úrovní terénu (v nezámrazné hloubce).



Obrázek 17 Přepínání větví potrubí (ČOV Závada)



Obrázek 18 Pohled na první filtr a distribuční šachtu s rozvodným potrubím (ČOV Závada)



Obrázek 19 Větvení potrubí na filtrační pole (ČOV Závada)

3.6.4 Potrubí na prvním filtru

Odpadní voda přitéká potrubím, které je umístěno přibližně 30 cm nad povrchem země. Potrubí je většinou plastové, je velmi lehké, odolné a levnější ve srovnání s nerezovým potrubím – byť je v zahraničí běžné, že se potrubí nad úroveň terénu provádí právě z nerezové oceli. Nevýhodou může být vliv slunečního záření na povrch potrubí, které může ovlivnit křehkost potrubí, resp. může postupně popraskat a vyloučit na krátkou dobu filtr z provozování. Při stávajícím stavu lze doporučit nátěr plastového potrubí vhodnou barvou na plasty – zejména z horního okraje, který je vystavený přímému slunečnímu záření.

Potrubí je cca po 1 m podepřeno, aby nedocházelo k nežádoucím průhybům. Na podepření postačí betonové tvárnice.

Potrubí by mělo být navrženo v mírném sklonu, aby při vypouštění veškerá voda opustila jeho prostor, tak nemůže při mrazech dojít k zamrznutí vody a následnému porušení potrubí.

Spoje jednotlivých trub je vhodné opatřit kroužkem, aby i při sebemenší manipulaci, nedošlo k rozpojení daných trub.



Obrázek 20 Potrubí na prvním filtru (ČOV Závada)

3.6.5 První filtrační pole

První filtr je rozdělen na tři filtrační pole. Na každé pole je přiváděna odpadní voda v jednotlivých dávkách. Je nutné dodržet doby dávkování a doby odpočinku, jedině tehdy čistírna vykazuje nejvyšší účinnost.

První filtr je většinou osázen rákosem obecným, který má výborné vlastnosti pro tvorbu biomasy na jeho povrchu. Je však nutné, aby byla voda dávkována po celé ploše daného stupně filtru, aby nedocházelo k usychání či naopak k uhnívání daných rostlin.

Na dně prvního filtru je položeno drenážní potrubí, které odvádí přefiltrovanou odpadní vodu do distribuční šachty na vstupu do druhého pole.



Obrázek 21 Nesprávné dávkování na první filtr (ČOV Závada)

Místo filtru je nutné vykopat do určité hloubky, příslušící danému návrhu, opatřit geotextilií a hydroizolací, dále nasypat příslušné množství jednotlivých frakcí substrátu.



Obrázek 22 Založení filtračního lože (ČOV Závada)

3.6.6 Revizní šachta

Na výstupu z prvního filtru je nutno zkontrolovat účinnost čištění. Díky revizní šachtě lze odebrat vzorek dané odpadní vody. V obci Závada revizní šachta prokazuje minimální účinnost prvního filtru – voda filtrem protéká příliš rychle a čistící procesy není tedy možné obstojně zajistit.



Obrázek 23 Revizní šachta na výstupu z prvního filtru (ČOV Závada)

3.6.7 Distribuční šachta na druhém filtru

Distribuční šachta u druhého filtru dávkuje množství odpadní vody na filtr. Šachta by měla být opatřena vstupem, nicméně stěžejní činnost obsluhy spočívá v kontrole správnosti a funkčnosti pulzního vypouštěče. Distribuční šachta v obci Závada je z tohoto pohledu, stejně jako první distribuční šachta, realizována poněkud nešikovně. Pro kontrolu pulzního vypouštěče je obsluha nucena vstoupit do prostoru šachty, což je proces poměrně komplikovanější ve srovnání s letmou kontrolou nad prostorem šachty.

Ve stávajícím uspořádání, kdy obsluha není dle provozního řádu nucena vstupovat pravidelně do šachty, dochází k častým poruchám na pulzním vypouštěči. V důsledku toho dochází k výrazným zkratovým proudům v rámci navazujícího filtračního pole. Spojením s problémem rychlé filtrace v prvním filtračním stupni nelze očekávat vysoké čistící účinnosti na ČOV Závada.



Obrázek 24 Distribuční šachta na druhém filtru (ČOV Závada)



Obrázek 25 Pohled do distribuční šachty druhého filtru (ČOV Závada)

3.6.8 Druhé filtrační pole

Druhé filtrační pole je osázeno různými typy mokřadních rostlin. Založení pole je obdobné jako u prvního filtračního pole.



Obrázek 26 Druhé filtrační pole (ČOV Závada)

Filtrační pole vykazuje dva zásadní nedostatky:

- nevhodně navržený filtrační materiál
- nevhodně uložené potrubí

Filtrační materiál, který by se měl dle kap. 3.4.5. navrhovat, není na druhém filtračním stupni uplatněn. V obci Závada je filtrační materiál nahrazen hrubší frakcí 2-4 mm, což je materiál, který nezajistí dostatečné zadržetí vody. Voda po průtoku hrubou frakcí není dostatečně provzdušněna, resp. nitrifikační bakterie nemají dostatek času na transformaci amoniakálního dusíku. Pro zvýšení účinnosti druhého filtru by bylo potřeba filtrační materiál zcela vyměnit a nahradit praným pískem.

Co se týče uložení potrubí na povrchu filtru, ukládání pod úroveň terénu je zcela nepřijatelné. Pod terénem uložené potrubí vykazuje výrazně nižší možnost kontroly čistoty potrubí. Může docházet, a na ČOV Závada i dochází, k ucpávání jednotlivých otvorů, což vede společně s výše popsány problémy k vyloučení některých částí filtru z procesu čištění. Účinnost odstranění znečištění je i z tohoto popsaného důvodu spíše symbolická, pro zvýšení účinnosti by bylo vhodné potrubí vyzvednout nad úroveň povrchu filtračního materiálu. Jak se ukázalo při terénní prohlídce, při uložení potrubí pod povrch filtračního materiálu dochází i k zarůstání potrubí kořínky rostlin, nesprávnému sklonu potrubí a usazování organického znečištění nečistot ve vnitřním prostoru potrubí.



Obrázek 27 Nesprávné uložení potrubí (ČOV Závada)

3.6.9 Složení filtračních vrstev

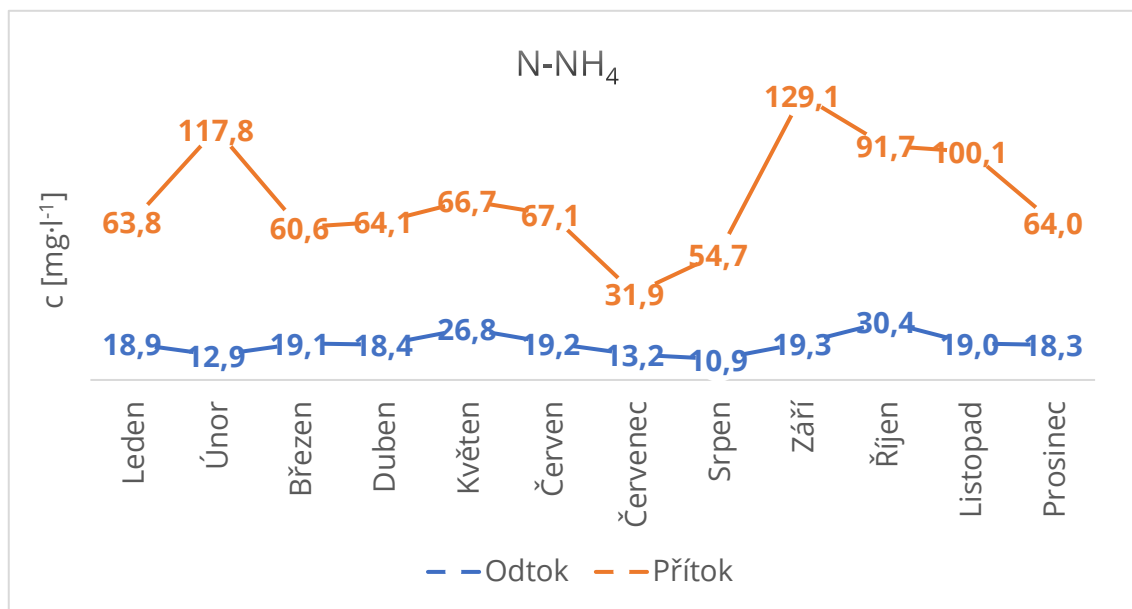
Nejdůležitějším aspektem dobré účinnosti přírodní čistírny je správné složení filtračních vrstev. Pokud se nedodrží projektované výšky jednotlivých frakcí substrátu, kvalita odtoku nebude splňovat dané limity.



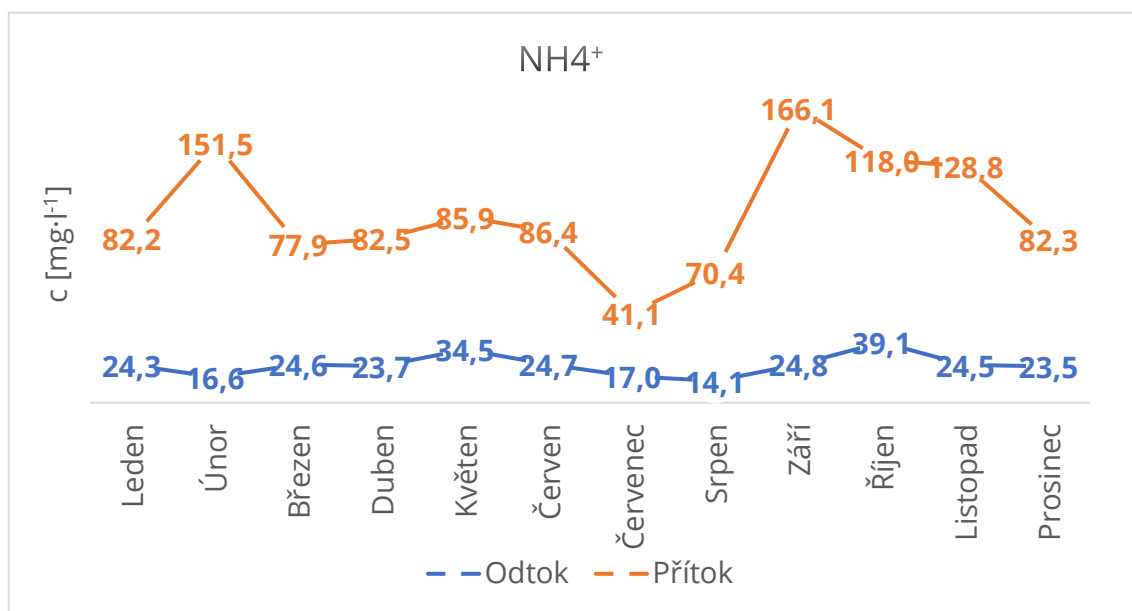
Obrázek 28 Špatné nahrazení písku štěrkem v druhém filtru (ČOV Závada)

3.7 ROZBORY VODY Z ČOV ZÁVADA

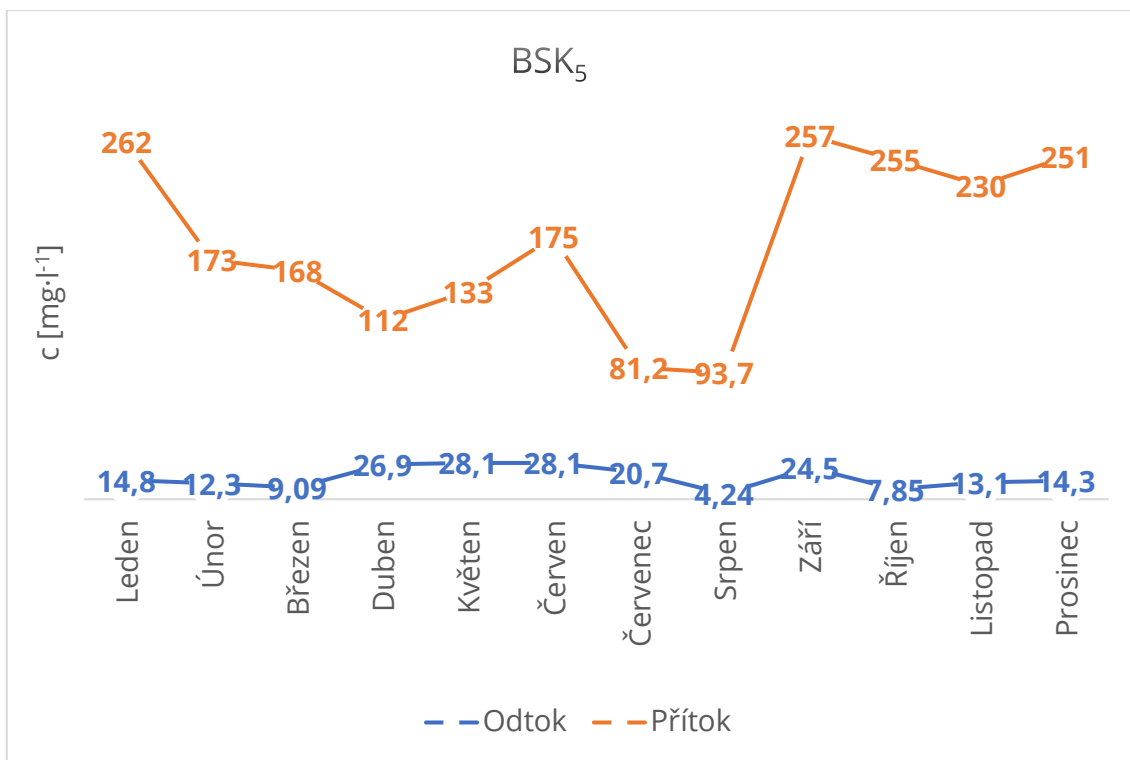
Rozbory vody z ČOV Závada za rok 2021 jsou popsány pro jednotlivé ukazatele znečištění pomocí grafů, které znázorňují koncentrace přítoku a odtoku daného parametru znečištění na čistírnu odpadních vod.



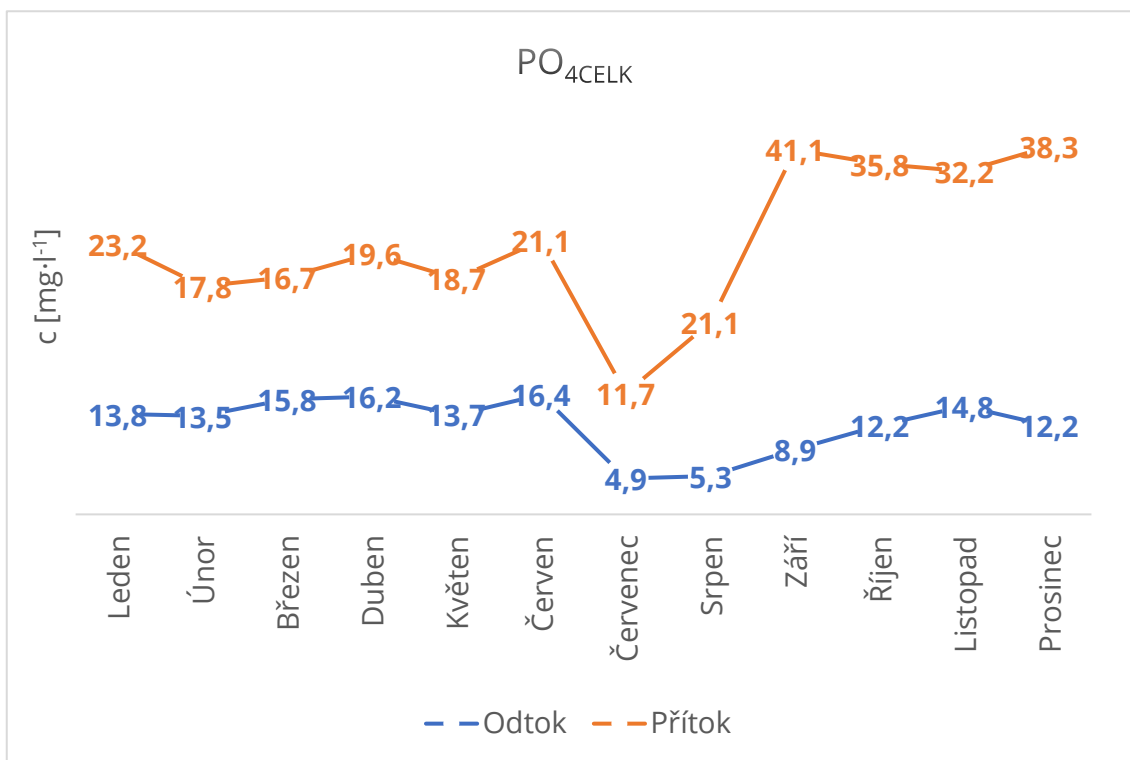
Graf 7 Koncentrace přítoku a odtoku $N-NH_4$ (ČOV Závada)



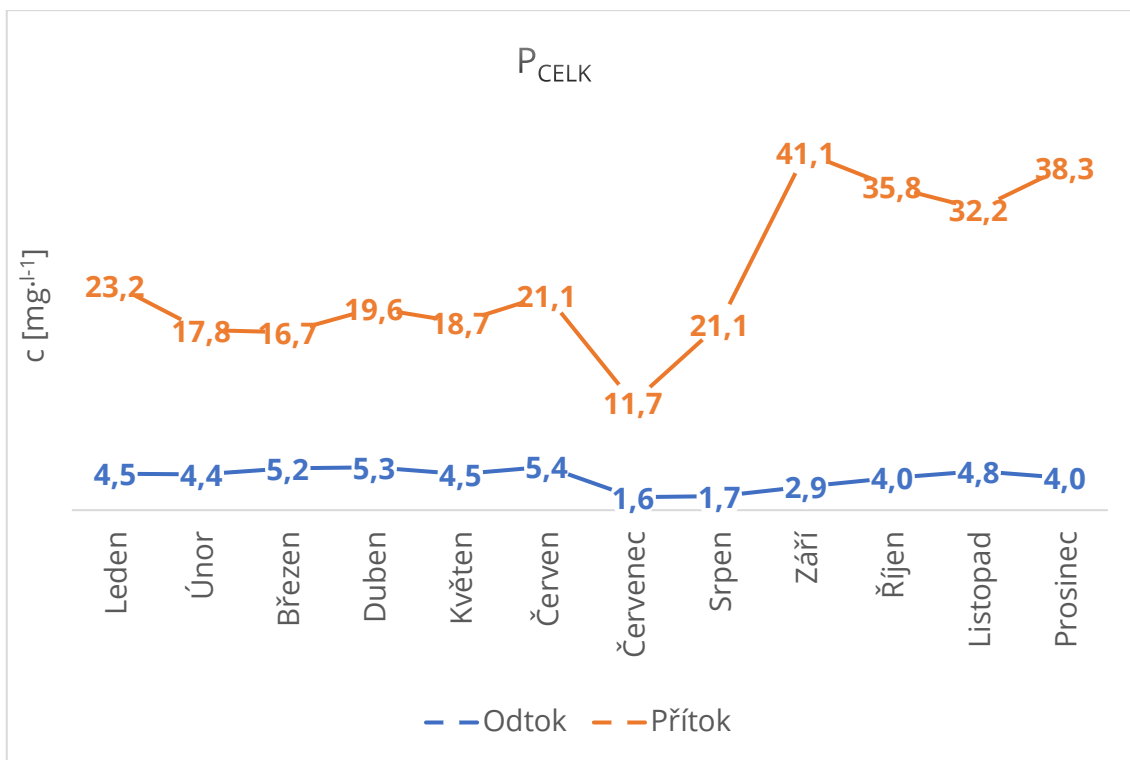
Graf 8 Koncentrace přítoku a odtoku NH_4^+ (ČOV Závada)



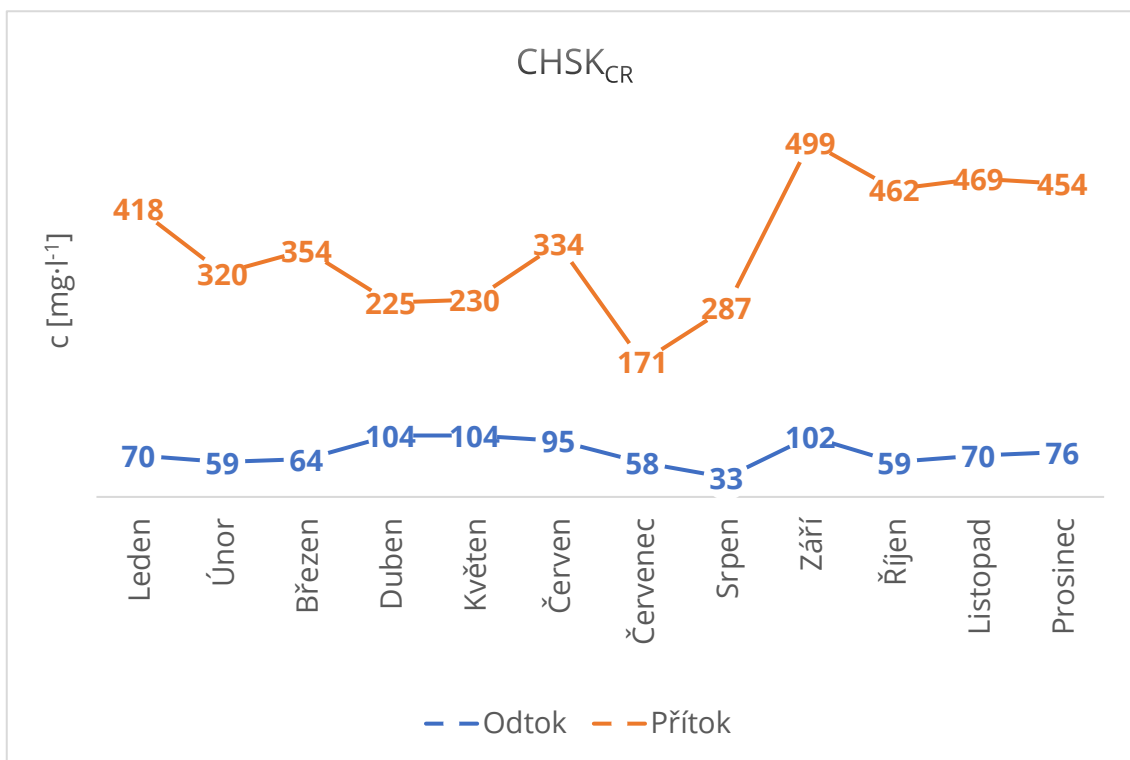
Graf 9 Koncentrace přítoku a odtoku BSK₅ (ČOV Závada)



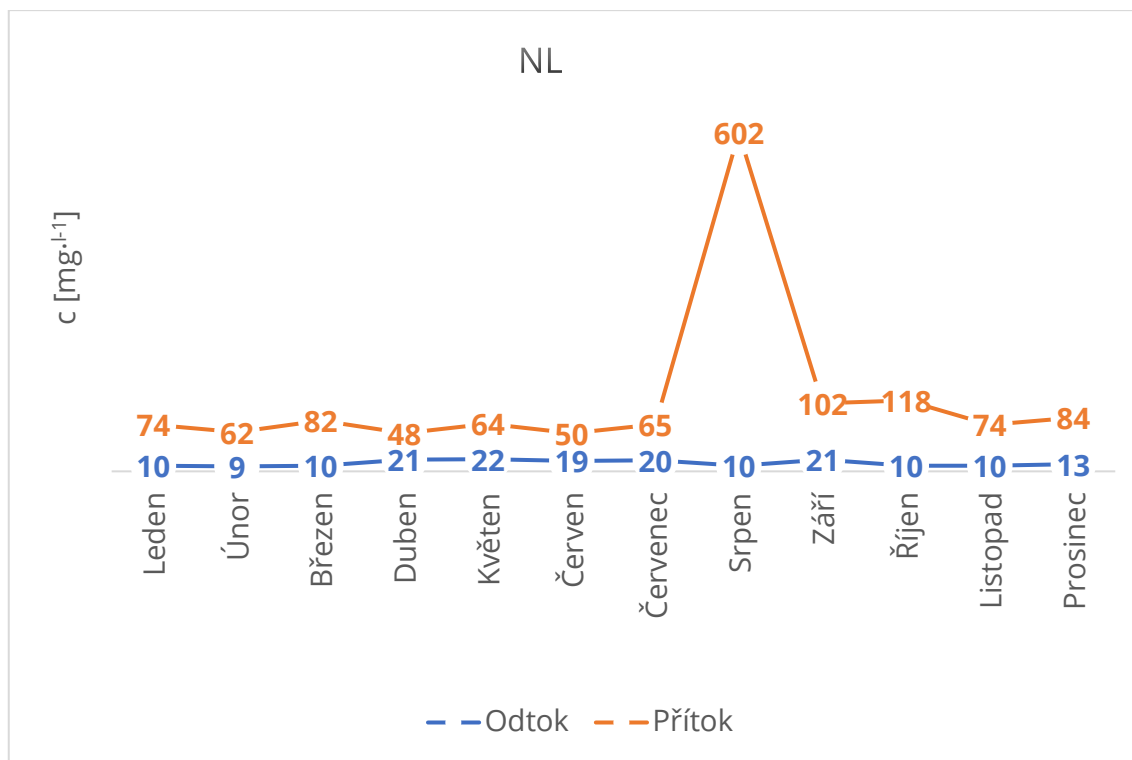
Graf 10 Koncentrace přítoku a odtoku PO_{4celk} (ČOV Závada)



Graf 11 Koncentrace přítoku a odtoku P_{celk} (ČOV Závada)



Graf 12 Koncentrace přítoku a odtoku CHSK_{Cr} (ČOV Závada)



Graf 13 Koncentrace přítoku a odtoku NL (ČOV Závada)

Tabulka 39: Účinnost ČOV v obci Závada

Účinnost ČOV							
Datum	NH ₄ ⁺	N-NH ₄	BSK ₅	PO _{4celk}	P _{celk}	CHSK _{Cr}	NL
Leden	70	70	94	41	41	83	86
Únor	89	89	93	24	25	82	85
Březen	68	68	95	6	6	82	88
Duben	71	71	76	18	18	54	56
Květen	60	60	79	27	27	55	66
Červen	71	71	84	22	22	72	62
Červenec	59	59	75	58	58	66	69
Srpen	80	80	95	75	75	89	98
Září	85	85	90	78	78	80	79
Říjen	67	67	97	66	66	87	92
Listopad	81	81	94	54	54	85	86
Prosinec	71	71	94	68	68	83	85

4 ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce s názvem *Technologie French systems pro přírodní čištění odpadních vod u malých obcí* jsem se zabývala popisem technologie, která není v České republice zcela běžnou záležitostí. Znamé a popsané jsou zastaralé kořenové systémy, moderní přírodní čistírny s vícestupňovým systémem čištění, ale tzv. „francouzský způsob čištění vody“, který nemá uplatněné usazovací nádrže před filtračním stupněm, je v České republice velice ojedinělý. Tzv. francouzský systém se skládá ze dvou filtračních stupňů, přičemž odpadní voda protéká těmito filtry vždy pouze vertikálním směrem. Výhodou oproti stávajícím řešením je výrazně nižší investiční náročnost a uplatnění kalového hospodářství přímo na povrchu prvního vertikálního filtru. Současně, zejména dle zahraniční literatury, lze dosáhnout téměř srovnatelných výsledků a účinností jako u jiných vícestupňových systémů, které zahrnují nákladné, objemově náročné a provozně složitější usazovací nádrže.

V první části práce jsem vysvětlila důležitost dané problematiky v rámci České republiky, kde se nachází spousta malých obcí, které řeší problém s nakládáním s odpadními vodami a díky vysokým nákladům na výstavbu a provoz ČOV si ji, z finančních důvodů, nemohou poříditi. Dále jsem provedla srovnání čistírny využívající technologii French systems a klasické vertikální přírodní čistírny. Popsala jsem jednotlivé části francouzské čistírny odpadních vod, kde se tato technologie může použít a jak reagovat při změnách zatížení. V neposlední řadě jsem se zaměřila na provoz dané čistírny, který hraje důležitou roli pro správný provoz dané ČOV.

V druhé části práce jsem se zabývala konkrétním návrhem přírodní čistírny odpadních vod využívající technologii French systems pro obec Jablonové na Slovensku. V rámci výpočtu se spočítalo množství odpadní vody přitékající do čistírny, navrhly se dané parametry jednotlivých filtračních polí, stanovil se objem a doba trvání jedné dávky a také způsob střídání polí. Čistírna se navrhovala pro 1000 EO a dané limitní hodnoty na odtoku se porovnávali s NV č. 269/2010 Z.z. V poslední kapitole jsem se zaměřila na problémy dané čistírny odpadních vod, se kterými se lze setkat během výstavby a dále v rámci provozu, které by mohly zapříčinit nefunkčnost systému.

Cílem bakalářské práce bylo implementovat francouzský způsob čištění odpadních vod. Mohu říci, že tento cíl jsem splnila. Byly splněny i dílčí cíle, mezi které patřily aspekty, na které si během výstavby musíme dávat pozor a kterých chyb se vyvarovat, aby účinnost čistírny byla stále co nejvyšší.

Mimo jiné jsem uvedla i možnost použití technologie French systems na čištění naředěné odpadní vody za odlehčovacími komorami či použití plastů jako filtračního média. Dále jsem navrhla danou přírodní čistírnu odpadních vod pro obec Jablonové se všemi parametry, které daný systém musí obsahovat a také jsem splnila emisní limity na odtoku v rámci platné legislativy.

Tato bakalářská práce je určena pro širokou veřejnost, která se zabývá přírodními čistírnami odpadních vod a která se zajímá o udržitelnost a rovnováhu naší planety. Odborníci vodního hospodářství zde najdou podrobný popis návrhu dané čistírny, včetně výpočtů a grafů. Laici zde naopak mohou najít vhodné argumenty k prosazení této technologie do svých obcí či měst. Výhodou přírodních čistíren je, vedle odstranění uhlíkatého znečištění, i odstranění živin, a proto doporučuji prohloubit poznání i v účinnosti odbourání fosforu z odpadních vod na čistírně francouzského typu.

5 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Archiv počasí Stupava. In: *Meteoblue* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: [https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/historyclimate/weat herarchive/stupava_slovensko_3057384?fcstlength=1y&year=2021&month=5](https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/historyclimate/weat%20herarchive/stupava_slovensko_3057384?fcstlength=1y&year=2021&month=5)
- [2] CENA VODY 2022 - CENOVÁ MAPA, 2022. In: *Pravda o vodě* [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: https://pravdaovode.cz/cena-vody/?gclid=CjwKCAjwgr6TBhAGEiwA3aVula1mNXKwezZ0TTEMiTDwPID9IEYaGO6_BntiFvIVgW-1cOBytj3PdBoCclgQAvD_BwE
- [3] ČSN 75 6101 *Stokové sítě a kanalizační přípojky*. In: . ročník 2012, částka 90025, číslo 756101. Dostupné také z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-75-6101-756101-225978.html#>
- [4] ČSN 75 6401 Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet obyvatel (EO) větší než 500.
- [5] ČSN EN 16323 - Slovník technických termínů v oblasti odpadních vod, 2018. 2018.
- [6] DOTRO, Gabriela, Günter LANGERGRABER, Pascal MOLLE, Jamie NIVALA, Jaume PUIGAGUT, Otto STEIN a Marcos VON SPERLING, 2017. *TREATMENT WETLANDS: VOLUME 7 - BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT SERIES* [online]. 1.edition. London: IWA Task Group on Mainstreaming the Use of Treatment Wetlands [cit. 2022-05-09]. ISBN 9781780408774. Dostupné z: <https://iwaponline.com/ebooks/book-pdf/1843/wio9781780408774.pdf>
- [7] Geografia - región. In: *Malacky* [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.malacky.sk/index.php?page=mesto&menuid=189>
- [8] Geologická mapa Slovenska 1 : 50 000. In: *Štátny geologický ústav Dionýza Štúra* [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://www.geology.sk/2018/02/28/geologicka-mapa-slovenska-150-000/>
- [9] *História obce: Opis vojnových udalostí v Jablonovom* [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.obecjablonove.sk/historia-obce.html>
- [10] Hydrogeologické mapy. In: *Štátny geologický ústav Dionýza Štúra* [online]. [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <http://apl.geology.sk/hydrogeol/>
- [11] ING. PUMPRLOVÁ NĚMCOVÁ, Miroslava a Ph.D., KRIŠKA, 2022. Technologie vertikálních filtrů s vegetací pro čištění odpadních vod. *Tzb-info* [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace->

odpadnich-vod/21197-technologie-vertikalnich-filtru-s-vegetaci-pro-cisteniodpadnich-vod

- [12] Jablonové – história. *NaZahori.sk* [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.nazahori.sk/2020/12/18/jablonove-historia/>
- [13] *KANALIZACE A ČOV: Jak efektivně řešit otázku odpadních vod?* [online]. 21.století [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: https://www.edpp.cz/public/files/11-dil-kanalizace-a-cov_l.pdf
- [14] KANIA, Manon, Mathieu GAUTIER, Denise BLANC, Maria LUPSEA-TOADER, Laurent MERLOT, Maria-Chiara QUARESIMA a Rémy GOURDON, 2019. Leaching behavior of major and trace elements from sludge deposits of a French vertical flow constructed wetland: Lecture Notes from the 2nd ERCOFTAC Summerschool held in Stockholm, 10-16 June, 1998. *Science of The Total Environment* [online]. 649, 544-553 [cit. 2022-04-28]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2018.08.364
- [15] LIÉNARD, A., H. GUELLAF a C. BOUTIN, 2001. Choice of the sand for sand filters used for secondary treatment of wastewater. *Water Science and Technology* [online]. 44(2-3), 189-196 [cit. 2022-05-06]. ISSN 0273-1223. Dostupné z: doi:10.2166/wst.2001.0769
- [16] LUIS, Aranibar, Esteban-García ANA LORENA, Lobo AMAYA a Tejero IñAKI, 2021. Unplanted wetland-type filter for co-treatment of landfill leachate and septic tank wastewater: Analysing gravel replacement by plastic and passive (filling-emptied) aeration effects at pilot scale. *Journal of Environmental Management* [online]. Santander, Spain: Elsevier Ltd., 294(294), 9 [cit. 2022-03-21]. ISSN 03014797. Dostupné z: doi:10.1016/j.jenvman.2021.112940
- [17] MEYER, Daniel, Pascal MOLLE, Dirk ESSER, Stéphane TROESCH, Fabio MASI a Ulrich DITTMER, 2013. Constructed Wetlands for Combined Sewer Overflow Treatment—Comparison of German, French and Italian Approaches. *Water* [online]. 5(1), 1-12 [cit. 2022-03-21]. ISSN 2073-4441. Dostupné z: doi:10.3390/w5010001
- [18] MILLOT, Yoann, Stéphane TROESCH, Dirk ESSER, Pascal MOLLE, Ania MORVANNOU, Rémy GOURDON a Diederik ROUSSEAU, 2016. Effects of design and operational parameters on ammonium removal by single-stage French vertical flow filters treating raw domestic wastewater. *Ecological Engineering* [online]. 97, 516-523 [cit. 2022-05-06]. ISSN 09258574. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoleng.2016.10.002

- [19] MOLLE, P., A. LIÉNARD, C. BOUTIN, G. MERLIN a A. IWEMA, 2015. How to treat raw sewage with constructed wetlands: an overview of the French systems. *Water Science and Technology, IWA Publishing* [online]. 10 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://drive.google.com/drive/folders/1pe3e5GNinnlmaXFfJ5lRx0ptlenJgDG>
- [20] MOLLE, Pascal, Stéphanie PROST-BOUCLE a Alain LIENARD, 2008. Potential for total nitrogen removal by combining vertical flow and horizontal flow constructed wetlands: A full-scale experiment study. *Ecological Engineering* [online]. 34(1), 23-29 [cit. 2022-03-21]. ISSN 09258574. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoleng.2008.05.016
- [21] Nariadenie vlády č. 269/2010 Z. z.: Nariadenie vlády Slovenskej republiky, ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd. In: . ročník 2010, 106/2010, číslo 269. Dostupné také z: <https://www.zakonypreludi.sk/zz/2010-269>
- [22] 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, 2015. In: . ročník 2015, 166/2015, číslo 401. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-401>
- [23] *Obec Jablonové: Oficiálne stránky obce* [online]. In: . [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.obecjablonove.sk/>
- [24] PITTER, Pavel, 2009. *Hydrochemie*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha. ISBN 978-80-7080-701-9.
- [25] PROF. ING. GRODA, Dr., Ph.D., VÍTĚZ, Ing. FOLLER, Ing. SURÝNEK a Ph.D., MUSIL, 2007. *Čištění odpadních vod jako nástroj k ochraně životního prostředí v zemědělské praxi a na venkově* [online]. Brno: Ministerstva zemědělství ČR [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: https://eagri.cz/public/web/file/26962/cisten_i_odpadnich_vod.pdf
- [26] PROST BOUCLE, S., O. GARCIA a Pascal MOLLE, 2015. French vertical-flow constructed wetlands in mountain areas: how do cold temperatures impact performances?. *Water Science and Technology, IWA Publishing*, [online]. 12 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: doi:10.2166/wst.2015.074
- [27] ROZKOŠNÝ, Ph.D., Ph.D., HUDCOVÁ, Ing. PLOTĚNÝ, Ing. NOVOTNÝ a Ing. MATYSÍKOVÁ, 2015. Kvalita kalů a odpadů z domovních a malých ČOV a možnosti jejich využití v zemědělství. *Vodohospodářské technicko-ekonomické*

informace [online]. 57(6), 6 [cit. 2022-03-21]. ISSN 0322-8916. Dostupné z: doi:10.46555/VTEI.2015.09.006

- [28] Vybrané technické ukazatele vodovodů, kanalizací a čistíren odpadních vod, údaje o vodních tocích, odběrech povrchových vod a vypouštění znečištění. [online], 2021. Český statistický úřad [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/vodovody-kanalizace-a-vodni-toky-2020>
- [29] Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů, 2001. In: 2001. Parlament, ročník 2001, 98/2001, číslo 254. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254/zneni-20220201>
- [30] Zákon č. 274/2001 Sb. Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), 2001. In: 2001. Parlament, ročník 2001, 104/2001, číslo 274. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-274>
- [31] Zákon č. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech, 2020. In: . ročník 2020, 222/2020, číslo 541. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541/zneni-20210101#p158_p158-1

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

MŽP	Ministerstvo životního prostředí České republiky
MZe	Ministerstvo zemědělství České republiky
BSK	biochemická spotřeba kyslíku
CHSK	chemická spotřeba kyslíku
NL	nerozpuštěné látky
TKN	Kjeldahlův dusík
N _c	celkový dusík
P _c	celkový fosfor
EO	ekvivalentní obyvatel
HDPE	vysoko hustotní polyethylen
PE	polyethylen
PVC	polyvinylchlorid
EPDM	etylen propylenový kaučuk
ČOV	čistírna odpadních vod
Al	hliník
Fe	železo
Zn	zinek
SNP	Slovenské národní povstání

7 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Technologické schéma čistírny odpadních vod s dvoustupňovým systémem vertikálních filtrů	18
Obrázek 2 Technologické schéma čistírny odpadních vod využívající French systems.....	19
Obrázek 3 Princip střídavého dávkování filtrů – 1 cyklus.....	22
Obrázek 4 Princip střídavého dávkování filtrů – 2 cyklus.....	22
Obrázek 5 Princip střídavého dávkování filtrů – 3 cyklus.....	22
Obrázek 6 Řez distribuční šachtou.....	25
Obrázek 7 Řez rozdělovací šachtou	26
Obrázek 8 Schéma pokusu zjišťování rozdílného chování plastu a kameniva při čištění odpadních vod (Luis, 2021).....	30
Obrázek 9 Geologická mapa 1:50 000 (Geologická mapa Slovenska 1 : 50 000)	44
Obrázek 10 Hydrogeologická mapa 1:50 000 (Hydrogeologické mapy).....	45
Obrázek 11 Průměrná roční teplota a průměrné roční srážky ve stanici Stupava (Archiv počasí Stupava)	45
Obrázek 12 Filtrační vrstvy prvního stupně.....	54
Obrázek 13 Filtrační vrstvy druhého filtru.....	61
Obrázek 14 Správné uložení česlí na vstupu (ČOV Závada).....	74
Obrázek 15 Nesprávně navržený lapák písku (ČOV Závada)	74
Obrázek 16 Vstupní šachta (ČOV Závada)	75
Obrázek 17 Přepínání větví potrubí (ČOV Závada)	76
Obrázek 18 Pohled na první filtr a distribuční šachtu s rozvodným potrubím (ČOV Závada).....	77
Obrázek 19 Větvení potrubí na filtrační pole (ČOV Závada).....	77
Obrázek 20 Potrubí na prvním filtru (ČOV Závada)	78
Obrázek 21 Nesprávné dávkování na první filtr (ČOV Závada).....	79
Obrázek 22 Založení filtračního lože (ČOV Závada)	79
Obrázek 23 Revizní šachta na výstupu z prvního filtru (ČOV Závada).....	80
Obrázek 24 Distribuční šachta na druhém filtru (ČOV Závada).....	81

Obrázek 25 Pohled do distribuční šachty druhého filtru (ČOV Závada)	82
Obrázek 26 Druhé filtrační pole (ČOV Závada)	82
Obrázek 27 Nesprávné uložení potrubí (ČOV Závada).....	83
Obrázek 28 Špatné nahrazení písku štěrkem v druhém filtru (ČOV Závada).....	84

8 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Podíl obyvatel zásobovaných vodou z vodovodů a obyvatel napojených na kanalizaci (Vybrané technické ukazatele vodovodů, kanalizací a čistíren odpadních vod, údaje o vodních tocích, odběrech povrchových vod a vypouštění znečištění, 2021)	14
Tabulka 2: Obyvatelé napojení na kanalizaci a ČOV (ze dne 7.6.2021) (Vybrané technické ukazatele vodovodů, kanalizací a čistíren odpadních vod, údaje o vodních tocích, odběrech povrchových vod a vypouštění znečištění, 2021).....	15
Tabulka 3: Specifikace filtračních médií pro návrh francouzské přírodní čistírny (Dotro, 2017)	29
Tabulka 4: Látková koncentrace znečištění s_0/EO v $g \cdot os^{-1} \cdot den^{-1}$	36
Tabulka 5: Emisní standardy: přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) a hodnoty průměru koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v $mg \cdot l^{-1}$ dané Přílohou č. 1 NV č. 401/2015 Sb. (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., 2015)	37
Tabulka 6: Emisní standardy: přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) a hodnoty průměru koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v $mg \cdot l^{-1}$ dané Přílohou č. 7 NV č. 401/2015 Sb. (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., 2015).....	37
Tabulka 7: Součinitelé denní nerovnoměrnosti dle ČSN 75 6401 (ČSN 75 6401 Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet obyvatel (EO) větší než 500).....	48
Tabulka 8: Součinitelé maximální k_h hodinové nerovnoměrnosti dle ČSN 75 6101 (ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky).....	48
Tabulka 9: Součinitelé minimální hodinové nerovnoměrnosti k_{min} dle ČSN 75 6101 (ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky).....	49
Tabulka 10: Průměrné denní hmotnostní zatížení s_0	49
Tabulka 11: Průměrné znečištění S_{dp0} od obyvatelstva obce Jablonové.....	50
Tabulka 12: Počáteční koncentrace znečištění c_0	50
Tabulka 13: Doporučené hodnoty plošného hmotnostního zatížení M_i první stupeň	51
Tabulka 14: Plochy stupňů prvního filtru základě plošného hmotnostního zatížení M_i	52
Tabulka 15: Průměrné hmotnostní zatížení od obyvatelstva na plochu jednoho stupně prvního filtru $S_{dp0,pl}$	53

Tabulka 16: Parametry filtračních vrstev prvního filtru.....	53
Tabulka 17: Objemy vrstev prvního filtru v obci Jablonové	54
Tabulka 18: Vlastnosti jedné dávky přiváděné na stupeň prvního filtru.....	56
Tabulka 19: Účinnost prvního filtru E_1 (Dotro, 2017)	56
Tabulka 20: Množství znečištění odstraněného v prvním filtru M_{ods}	57
Tabulka 21: Odtoková koncentrace znečištění z prvního filtru c_1	58
Tabulka 22: Denní množství odtékajícího znečištění z prvního filtru S_{dp1}	58
Tabulka 23: Doporučené hodnoty plošného hmotnostního zatížení M_i pro druhý stupeň.....	59
Tabulka 24: Plochy stupňů prvního filtru základě plošného hmotnostního zatížení M_i	59
Tabulka 25: Průměrné hmotnostní zatížení od obyvatelstva na plochu jednoho stupně druhého filtru $S_{dp1,pl}$	60
Tabulka 26: Parametry filtračních vrstev druhého filtru	61
Tabulka 27: Objemy vrstev druhého filtru v obci Jablonové.....	61
Tabulka 28: Účinnost druhého filtru E_2 (Dotro, 2017).....	62
Tabulka 29: Množství znečištění odstraněného v druhém filtru M_{ods}	62
Tabulka 30: Odtékající znečištění z druhého filtru c_2	63
Tabulka 31: Denní množství odtékajícího znečištění z druhého filtru S_{dp2}	63
Tabulka 32: Celková účinnost čistírny odpadních vod E	63
Tabulka 33: Hodnoty koncentrací a znečištění dané NV č.269/2010 Z. z. (Nariadenie vlády č. 269/2010 Z. z.).....	64
Tabulka 34: Porovnání koncentrace odtoku s NV č.269/2010 Z. z.	64
Tabulka 35: Rozdělení množství splaškových vod a ploch filtrů v závislosti na množství balastních vod	65
Tabulka 36: Vstupní koncentrace a množství znečištění odstraněné v 1. filtru v závislosti na množství balastních vod	67
Tabulka 37: Odtoková koncentrace a množství znečištění odstraněné v druhém filtru v závislosti na množství balastních vod	70
Tabulka 38: Celková účinnost čistírny v závislosti na množství balastních vod	72
Tabulka 39: Účinnost ČOV v obci Závada	88

9 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Podíl obyvatel zásobovaných vodou z vodovodů a obyvatel bydlících v domech napojených na kanalizaci (Vybrané technické ukazatele vodovodů, kanalizací a čistíren odpadních vod, údaje o vodních tocích, odběrech povrchových vod a vypouštění znečištění, 2021).....	16
Graf 2 Velikost plochy filtrů v závislosti na množství balastních vod	66
Graf 3 Množství znečištění odstraněného v 1. filtru	68
Graf 4 Koncentrace znečištění odpadní vody odtékající z prvního filtru na filtr druhý	69
Graf 5 Množství znečištění odstraněné v 2. filtru	71
Graf 6 Odtoková koncentrace z čistírny odpadních vod	71
Graf 7 Koncentrace přítoku a odtoku N-NH ₄ (ČOV Závada).....	85
Graf 8 Koncentrace přítoku a odtoku NH ₄ ⁺ (ČOV Závada).....	85
Graf 9 Koncentrace přítoku a odtoku BSK ₅ (ČOV Závada).....	86
Graf 10 Koncentrace přítoku a odtoku PO _{4celk} (ČOV Závada).....	86
Graf 11 Koncentrace přítoku a odtoku P _{celk} (ČOV Závada).....	87
Graf 12 Koncentrace přítoku a odtoku CHSK _{Cr} (ČOV Závada).....	87
Graf 13 Koncentrace přítoku a odtoku NL (ČOV Závada).....	88