



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

PROJEKT PŘÍRODNÍ ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD PRO OBEC HAČKY

NATURAL WASTEWATER TREATMENT PLANT PROJECT FOR THE MUNICIPALITY OF HAČKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jana Kulichová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

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

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav vodního hospodářství krajiny
Studentka: **Bc. Jana Kulichová**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Michal Kriška-Dunajský, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23
Studijní program: N0732A260025 Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby

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

Projekt přírodní čistírny odpadních vod pro obec Hačky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Teoretická rešerše:

- 1) Úvod a cíle práce
- 2) Údaje o obci
- 3) Technologie přírodních čistíren - obecná rešerše
- 4) Technologické prvky přírodní čistírny
- 5) Závěr
- 6) Seznamy příloh, použitých zdrojů, obrázků

Praktická část- projekt

- A. PRŮVODNÍ ZPRÁVA
- B. SOUHRNNÁ TECHNICKÁ ZPRÁVA
- C. SITUAČNÍ VÝKRESY
- D. Dokumentace objektů a technických a technologických zařízení

Cíle a výstupy diplomové práce:

Náplní práce bude vytvoření projektové dokumentace čistírny odpadních vod pro malou obec Hačky. Navržená technologie bude koncipována jako extenzivní, tzn., pro čištění odpadních vod nebude využívána elektrická energie. Důraz celého řešení je kladen na ekologičnost v kombinaci s nízkými provozními náklady, dlouhodobou udržitelností a minimální náročností na obsluhu za dodržení co možná nejvyšší možné kvality vyčištěné odpadní vody. Projektová dokumentace bude sloužit jako vstupní podklad pro územní řízení i stavební povolení.

Seznam doporučené literatury a podklady:

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

- Plán rozvoje vodovodů a kanalizací obce
- Územní plán obce
- DWA, 2017. Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Kläranlagen mit bepflanzten und unbepflanzten Filtern zur Reinigung häuslichen und kommunalen Abwassers: Arbeitsblatt DWA-A 262. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. DWA-Regelwerk, A 262. ISBN 38-872-1547-8.
- ÖNORM B 2505- Kläranlagen – Intermittierend beschickte Bodenfilter („Pflanzenkläranlagen“)
- Dotro, Gabriela & Langergraber, Günter & Molle, Pascal & Nivala, Jaime & Puigagut, Jaume & Stein, Otto. (2017). Biological Wastewater Treatment Series, Volume 7: Treatment Wetlands.
- Vyhláška č. 499/2006 Sb. Vyhláška o dokumentaci staveb
- + databáze vědeckých článků na www.sciencedirect.cz

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 31. 3. 2022

L. S.

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

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

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

ABSTRAKT A KLÍČOVÁ SLOVA

Abstrakt

Cílem práce je vytvoření rešerše, popis a následný výpočet a návrh přírodní čistírny odpadních vod. Závěrem je zpracování projektové dokumentace. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je cílem obecný popis lokality a rešerše technologií pro přírodní čistírny odpadních vod pro malé obce. V praktické části je vypracována projektová dokumentace, která bude sloužit jako vstupní podklad pro územní řízení i stavební povolení.

Klíčová slova

přírodní čistírna, kořenová čistírna, vertikální filtr s vegetací, French-system, odpadní voda, nakládání s odpadními vodami, nejlepší dostupná technologie

Abstract

The aim of the thesis is research, description, and subsequent calculation and design of the natural wastewater treatment plant. The conclusion is the processing of project documentation. The thesis is divided into the theoretical and practical parts. In the theoretical part, the aim is a general description of the location and research of natural wastewater treatment plant technologies for small municipalities. In the practical part, there is designed project documentation, which will be used as an input basis for zoning management and building permit.

Key words

natural treatment plant, root treatment plant, vertical filter with vegetation, French-system, wastewater, wastewater management, best available technology

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KULICHOVÁ, Jana. *Projekt přírodní čistírny odpadních vod pro obec Hačky*. Brno, 2023. 57 s., 46 s. příloh, 29 výkresů. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/143663>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Michal Kriška Dunajský.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

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

V Brně dne 13. 1. 2023

Bc. Jana Kulichová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Projekt přírodní čistírny odpadních vod pro obec Hačky* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2023

Bc. Jana Kulichová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Michalovi Kříškovi Dunajskému, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Také děkuji svým blízkým za důvěru a podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	CÍLE A PŘEDMĚT PRÁCE	8
3	Technologie přírodních čistíren odpadních vod	9
3.1	Porovnání horizontálního a vertikálního filtru	11
3.1.1	Horizontální filtr	12
3.1.2	Vertikální filtr	13
3.2	Znečišťující látky a patogeny	16
3.2.1	Odstraňování fosforu	17
3.2.2	Odstraňování dusíku	18
3.2.3	Mikropolutanty	19
3.2.4	Limitní látky	19
3.3	Bilance vody a energie	19
3.3.1	Bilance vody	19
3.3.2	Bilance energie	21
3.4	Kinetika a hydraulika filtrů	21
3.4.1	Hydraulika filtru	21
3.4.2	Korekce teploty	23
3.4.3	Odtoková koncentrace	23
3.5	Vegetační pokryv filtru	24
3.6	Vliv podnebí na ČOV	25
3.6.1	Teplé podnebí	25
3.6.2	Chladné podnebí	25
3.7	Problémy přírodních čistíren odpadních vod	26
3.7.1	Kolmatace	26
3.7.2	Odstraňování amoniaku	28
3.7.3	Eroze	28
4	Popis lokality	29
4.1	Všeobecný popis lokality	29
4.2	Geologické poměry	30
4.3	Popis stávajícího stavu odkanalizování	31
5	Výpočet návrhu ČOV francouzského typu	33
5.1	Podklady pro návrh	33
5.2	Návrhový stav A	34

5.2.1	Počet EO	34
5.2.2	Přítok na ČOV	35
5.2.3	Návrh 1. stupně čištění	37
5.2.4	Návrh 2. stupně čištění	39
5.3	Návrhový stav B	40
5.3.1	Počet EO	41
5.3.2	Přítok na ČOV	41
5.3.3	Návrh 1. stupně čištění	44
5.3.4	Návrh 2. stupně čištění	45
5.3.5	Návrh odlehčovací komory	45
5.4	Výběr návrhového stavu	46
6	ZÁVĚR	47
	Literatura	48
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	51
	Seznam obrázků	54
	Seznam tabulek	55
	Seznam příloh	56
A	Dokumentace pro společné povolení	57

1 ÚVOD

V současné době se kvůli změně klimatických podmínek potýká nejen Česká republika s nedostatkem vody v krajině. Nedostatek vody se projevuje ve zdrojích vod povrchových i podzemních. Je způsoben jak změnou klimatických podmínek, tak i proměnou krajiny a její neschopností zadržet vodu. Proto je nutné tyto omezené zdroje vody chránit a aktivně přispívat ke zlepšení jejich stavu.

Základním pilířem pro udržení dobré kvality vod je čištění odpadních vod před jejich vypuštěním do ekosystému. Čistící procesy se liší v závislosti na druhu odpadních vod, dostupné technologie, lokalitě i dostupnosti finančních prostředků. Pro zajištění minimalizace dopadů na životní prostředí je důležité zajistit co nejvyšší kvalitu vypouštěných vod a její pravidelné měření.

Současným trendem napříč všemi obory jsou technologická řešení blízká přírodě. Tento trend se týká i čištění odpadních vod. Místo standardně navrhovaných konvenčních čistíren se pro malé zdroje znečištěných odpadních vod navrhuje přírodní čistírny, které v zahraničí již nejsou výjimkou.

V současné době je většina větších obcí a měst již napojena na infrastrukturu zajišťující čištění odpadních vod. Problém vypouštění nevyčištěných odpadních vod do ekosystému však přetrvává u řady malých obcí, ve kterých doposud nebyla vybudována patřičná opatření zabráňující znečištění životního prostředí. Mezi ně se řadí i obec Hačky.

2 CÍLE A PŘEDMĚT PRÁCE

Hlavním cílem diplomové práce je vytvoření projektové dokumentace čistírny odpadních vod pro obec Hačky. Tento objekt bude sloužit pro čištění splaškových a srážkových odpadních vod odváděných jednotným kanalizačním systémem z obce. Pro dosažení tohoto cíle budou představeny a diskutovány různé technologie, ze kterých bude zvolena ta nejvhodnější, která bude plnit emisní standardy dle platných norem a bude ekonomicky a prostorově optimální.

Technologie bude koncipována jako extenzivní, tzn. pro čištění odpadních vod nebude využívána elektrická energie. Důraz bude kladen na ekologičnost řešení v kombinaci s nízkými provozními náklady, dlouhodobou udržitelností a minimální náročností na obsluhu za dodržení co možná nejvyšší možné kvality vyčištěné odpadní vody.

Výsledkem práce bude návrh a praktická aplikace konkrétního technického řešení přírodní čistírny odpadních vod ve formě projektové dokumentace, která bude sloužit jako vstupní podklad pro územní řízení i stavební povolení.

Těchto cílů bude dosaženo splněním dílčích kroků:

- rešerše technologií a výběr vhodné technologie;
- sběr a zpracování dostupných podkladů o zájmové lokalitě;
- výpočty;
- návrh konkrétních stavebních objektů;
- zpracování projektové dokumentace.

Vybudování čistírny odpadních vod má díky sběru odpadních vod ze všech zdrojů v obci a zabránění vypouštění nevyčištěných odpadních vod do životního prostředí za následek zkvalitnění života obyvatel.

3 TECHNOLOGIE PŘÍRODNÍCH ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD

Technologie přírodních čistíren, jak je definována v [9], využívá samočisticích procesů, které běžně probíhají v přírodních mokřadních systémech, přičemž k potřebnému dosažení kvality vody na odtoku nevyžaduje elektrickou energii. Současně se jedná o vícestupňový čistící systém, v němž má každý stupeň specifickou funkci. Jelikož se jedná o pojem, který vznikl na základě výsledků výzkumných úkolů na Vysokém učení technickém v Brně, musí přírodní čistírna odpadních vod (dále jen ČOV) obsahovat uplatněný užitečný vzor související s přírodním čištěním vod – ať už se jedná o speciální plovákové pulzně vypouštěcí zařízení, ostrovní aerační systém, návrh hydrauliky distribučního potrubí, případně návrh zahrnuje specifické detaily v rámci odlehčovacích komor, distribučních šachet nebo anaerobních separátorů.

Proces čištění odpadní vody se odehrává v zemním filtru ČOV. Zemní filtr je mělká stavební jáma vyplněná filtračním materiálem (šterkem nebo pískem o určité zrnitosti), hydraulicky izolovaná od okolního prostředí.[6] Takto připravený filtr je osázen mokřadními rostlinami.

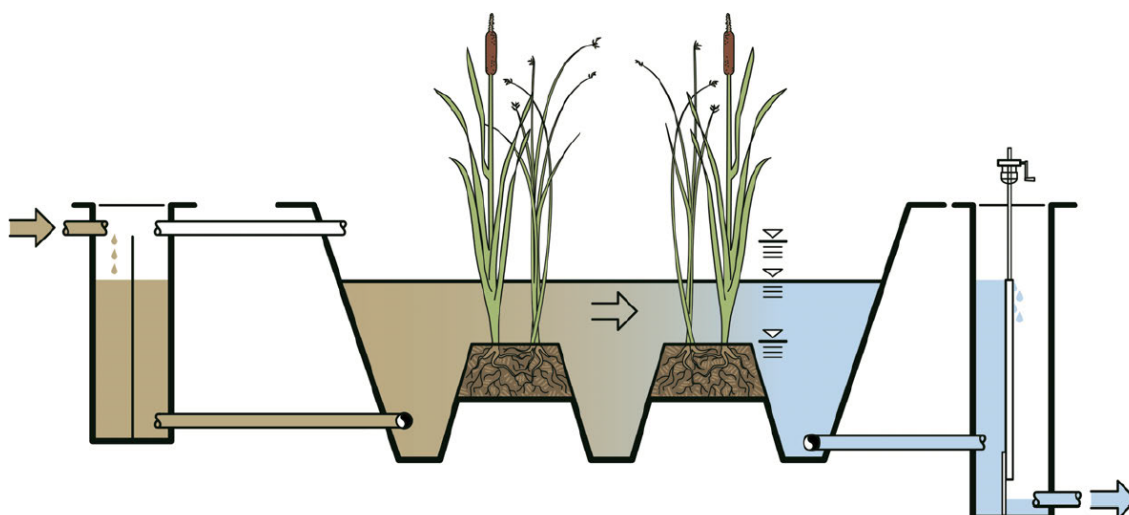
Filtry ČOV jsou si konstrukčně vzájemně velmi podobné. Jejich zásadní rozdíl spočívá především ve směru průtoku odpadní vody filtrem. Na základě směru průtoků lze ČOV rozdělit na ČOV:

- s povrchovým průtokem – voda protéká nad filtračním materiálem;
 - s volnou hladinou (Obr. 3.1);
- s podpovrchovým průtokem – voda protéká pod povrchem filtračního materiálu;
 - horizontální průtok (Obr. 3.2);
 - vertikální průtok (Obr. 3.2).

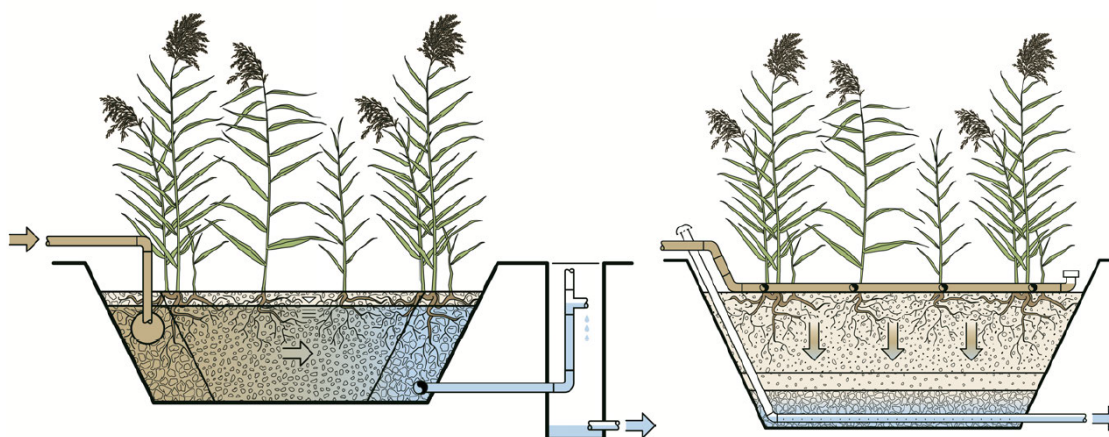
Kvůli prevenci ucpávání porézních filtrů s horizontálním nebo vertikálním průtokem jsou ČOV používány především pro sekundárně vyčištěnou odpadní vodu. Odpadní voda, která prošla primárním čištěním je předčištěna pomocí česlí, lapáku písku, lapáku tuků a v sedimentační nádrži, nebo pomocí stávajících domovních septiků. Takto vyčištěná odpadní voda je zbavena plovoucích nečistot a určitého procenta organického znečištění.

ČOV s volnou hladinou se k čištění odpadních vod nevyužívají vzhledem k jejich nedostatečné účinnosti. Mohou se však využívat pro čištění dešťové vody, odtoku ze zemědělských ploch nebo pro vody zatížené kovy. ČOV s volnou hladinou umožňují aerobní i anaerobní procesy.

V současnosti jsou využívány především vertikální filtry, a to dvoustupňový francouzský systém (Obr. 3.3), který poskytuje čištění kalů a odpadních vod současně.



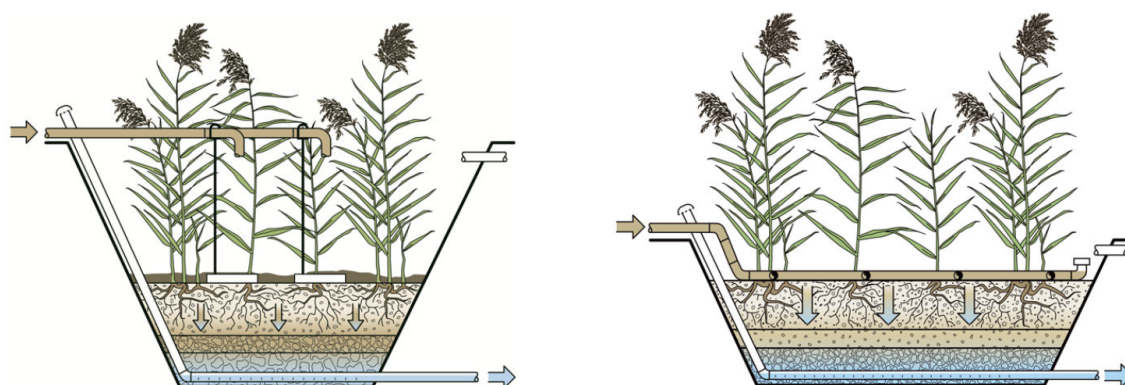
Obr. 3.1: ČOV s volnou hladinou [3]



Obr. 3.2: ČOV s horizontálním (vlevo) a vertikálním (vpravo) průtokem [3]

Díky tomu není požadováno primární čištění. Jelikož se ale stále setkáváme také s horizontálními filtry, tak se následující kapitola věnuje porovnání horizontálního a vertikálního filtru.[3]

Přírodní čistírny se obecně vyznačují ekologickým charakterem čistícího zařízení a čistících procesů, možností příznivého začlenění do životního prostředí a jednoduchým technologickým provedením. V porovnání se standardními koncepčními ČOV vyžadují přírodní ČOV srovnatelné počáteční náklady, nicméně při správném provozu a údržbě mají výrazně nižší náklady provozní. Dále se vyznačují nízkou spotřebou energií a možností nárazového přetížení balastními vodami. Na rozdíl od koncepčních ČOV jsou schopny čistit také vody organicky nízko zatížené.[17]



Obr. 3.3: Francouzský systém – první stupeň (vlevo), druhý stupeň (vpravo) [3]

3.1 Porovnání horizontálního a vertikálního filtru

Následující kapitola blíže popisuje a porovnává horizontální a vertikální filtr z hlediska jejich technologie, provozu, účinnosti a problémů. Kromě rozdílu ve způsobu protékání odpadní vody filtrem shledáváme rozdíl také v prokysličenosti filtru. To má za následek výrazné rozdíly v účinnosti jednotlivých typů filtrů.

Tab. 3.1: Porovnání účinnosti horizontálních a vertikálních filtrů s požadavky na jejich minimální účinnost dle Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., 2015 [25] [3]

	Kategorie ČOV (EO)	$CHSK$	BSK_5	$N - NH_4^+$	N_{celk}	P_{celk}
Legislativní požadavky	< 500	70	80	–	–	–
	500 – 2000	70	80	50	–	–
	ČOV s horizontálním f. ¹	75	85	48	42	41
	ČOV s vertikálním f. ²	91	95	89	N/A	N/A
	ČOV s f. francouzského typu ³	93	98	92	39	30

Legenda: přípustná minimální účinnost čištění vypouštěných odpadních vod (minimální procento úbytku) v %; N/A – chybí hodnoty

¹ Průměrné hodnoty převzaté ze studie zaměřené na pozorování účinnosti ČOV s horizontálním filtrem[19]; ² Průměrné hodnoty převzaté z měření ČOV s vertikálním filtrem jako hlavním způsobem čištění odpadních vod (celkem 5 ČOV v ČR a Rakousku pro 40 – 800 EO v různých nadmořských výškách); ³ Průměrné hodnoty převzaté ze studie zaměřené na pozorování účinnosti ČOV s vertikálním filtrem francouzského typu[14].

V tabulce 3.1 byly porovnány účinnosti horizontálního, vertikálního filtru a filtru francouzského typu (koncentrace emisí na odtoku z filtru) s požadavky dle *Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., 2015* [25]. Z tabulky vyplývá vyšší účinnost vertikálního

filtru oproti filtru horizontálnímu. Díky vyšší účinnosti vertikálního filtru jsme také schopni dosáhnout menší půdorysné velikosti ČOV. Pro každý typ filtru existuje velké množství modifikací, které mohou vést k jeho vyšší účinnosti.[3]

V tabulce 3.2 jsou uvedeny emisní standardy ukazatelů přípustného znečištění odpadních vod dle *Narřízení vlády č. 401/2015 Sb., 2015* [25] a limitní koncentrace znečištění na odtoku z horizontálního, vertikálního filtru a filtru francouzského typu.[15]

Tab. 3.2: Porovnání emisních standardů ukazatelů přípustného znečištění odpadních vod dle *Narřízení vlády č. 401/2015 Sb., 2015* [25] a typických limitních koncentrací znečištění na odtoku přírodní ČOV s horizontálním, vertikálním filtrem a filtrem francouzského typu [15]

	Kategorie (ČOV EO)	CHSK		BSK ₅		NL		N – NH ₄ ⁺	
		p	m	p	m	p	m	pr	m
Legislativní požadavky ¹	< 500	150	220	40	80	50	80	–	–
Legislativní požadavky ²	500 – 2000	125	180	30	60	70	70	20	40
Legislativní požadavky ²	< 500	110	170	30	50	40	60	–	–
Legislativní požadavky ²	500 – 2000	75	140	22	30	25	30	12	20
ČOV s horizontálním f. ³		72,0		16,0		18,1		20,1	
ČOV s vertikálním f. ⁴		24,8		4,9		3,8		3,5	
ČOV s f. francouzského typu ⁵		51		6		10		5	

Legenda: p – přípustné hodnoty, m – maximální hodnoty, pr – průměrné hodnoty koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l

¹ Emisní standardy; ² Emisní standardy pro nejlepší dostupné technologie; ³ Průměrné hodnoty převzaté ze studie zaměřené na pozorování účinnosti ČOV s horizontálním filtrem[19]; ⁴ Průměrné hodnoty převzaté z měření ČOV s vertikálním filtrem jako hlavním způsobem čištění odpadních vod (celkem 5 ČOV v ČR a Rakousku pro 40 – 800 EO v různých nadmořských výškách); ⁵ Průměrné hodnoty převzaté ze studie zaměřené na pozorování účinnosti ČOV s vertikálním filtrem francouzského typu[14].

3.1.1 Horizontální filtr

Horizontální filtry jsou filtry, ve kterých odpadní voda protéká pod povrchem filtračního materiálu v horizontálním směru z jedné strany filtru na druhou (viz Obr. 3.2). Mocnost vrstvy štěrku se pohybuje od 0,5 m do 0,7 m s hladinou vody 5–10 cm pod povrchem pro sekundární stupeň čištění. Typická hloubka saturované vrstvy je 0,5 m. Pro terciální čištění je hloubka filtru 1,0–1,5 m s 60 % štěrku, kdy zbylý objem slouží pro zachytávání velkých nárazových přítoků jako jsou např. deště.[3]

Horizontální filtr coby hlavní stupeň čištění, je schopen splnit limitní koncentrace $CHSK$, BSK_5 a NL . Zaostává však v plnění limitních koncentrací pro amoniakální znečištění (ukazatel $N - NH_4^+$), které jsou dle *Narřízení vlády č. 401/2015 Sb.* [25] povinny plnit všechny ČOV pro více jak 500 EO.[8] To je nemožné v důsledku saturovaných podmínek za nedostatečného provzdušnění, kdy vzniká anaerobní prostředí a anaerobní procesy. Jediný kyslík přiváděný do systému je prostřednictvím odpadní vody a prostřednictvím kořenového systému rostlin. Tyto zdroje jsou však nedostatečné pro zásobování probíhajících biologických procesů. Pro zajištění splnění limitních koncentrací pro amoniakální znečištění se tedy do technologie zařazují vertikální filtry.

V případě použití horizontálního filtru je nutností zajištění efektivního primárního čištění pro odtranění částic, které by mohly ucpávat filtr. Jako prevence proti ucpávání filtru může sloužit změna poměru stran $L : W$ místo obvyklé větší délky, zvětšením šířky filtru. Typický poměr stran je uváděn mezi 2:1 a 4:1. Šířka filtru je však pro zajištění rovnoměrné distribuce vody typicky limitována na 25–30 m. Dalším způsobem, jak předejít ucpávání filtru je aplikace kameniva větší frakce jak v přítokové, tak i v odtokové zóně filtru. Jedná se o tzv. nárazníkovou zónu šířky 0,5–1,0 m, o kterou je filtr zvětšen.

Horizontální filtry jsou používány jako sekundární nebo terciární čištění.[3]

3.1.2 Vertikální filtr

Opadní voda je dopravována na povrch vertikálního filtru, odkud prosakuje do spodních vrstev filtru ve vertikálním směru shora dolů (viz Obr. 3.2). Na dně filtru je uložen drenážní systém, který odvádí vyčištěnou vodu z filtru. Mocnost filtrační vrstvy a zrnitost filtračního materiálu je rozhodující pro účinnost čištění. Mezi hlavní filtrační vrstvou a drenážní vrstvou se nachází přechodná vrstva o mocnosti 10 cm, která předchází vyplavování jemných částic hlavního filtru do hrubé drenážní vrstvy.

Díky vypouštění odpadní vody na filtr v dávkách je zajištěno prokysličení filtru mezi každým cyklem a zajištění aerobních procesů. Dávkování odpadní vody na povrch filtru však může být problémem v zemích s chladným klimatem, kde hrozí zamrzání. Povrch filtru je proto pokryt štěrkem nebo mulčem ve vrstvě 5–10 cm. Tato aditivní vrstva však snižuje přísun kyslíku do filtru a omezuje pohyb rostlin, které pak nejsou schopny rozrušovat povrch hlavní filtrační vrstvy v obdobích bez zatížení. Před další dávkou odpadní vody musí být vždy zajištěn odtok veškeré vody z drenážního systému, aby nedocházelo k zamrzání vody ve spodních vrstvách a drenážním potrubí filtru. Kompletní vyprázdnění filtru před další dávkou odpadní vody je důležité nejen kvůli předcházení zamrzání, ale také kvůli prokysličení filtru.

Voda je sbírána na dně filtru (drenážním potrubím), zatímco vzduch je přiváděn horní částí drenážní trubky a do filtru je uvolňován otvory v horní části potrubí.

Stejně jako u horizontálního filtru je nutností zajistit efektivní primární čištění pro odstranění částic, které pak mohou ucpávat filtr.[3]

Vertikální filtry mohou být protékané shora dolů, nebo zdola nahoru. V případě průtoku zdola nahoru lze vertikální filtr přirovnat k filtru horizontálnímu, kdy hrozí kolmatace filtračního materiálu u dna filtru. Nejsou tedy celosvětově využívány.[8]

Z hlediska dimenzování je návrh vertikálních filtrů oproti horizontálním náročnější z důvodu dodržení rovnoměrné distribuce odpadní vody na povrch filtračního pole a dostatečného prokysličení odpadní vody při průchodu filtračním materiálem.[6] Z toho důvodu je vhodné přivádět odpadní vodu k filtru v dávkách tak, aby nedošlo ke kontinuálnímu nasycení filtrační vrstvy a mohlo být zaručeno aerobní prostředí a nitrifikace.[10] Tímto je zajištěno požadované aerobní prostředí ve vertikálním filtru, protože ve filtru nevzniká hladina odpadní vody. Důležitý je také správný druh a skladba filtračního materiálu a volba vhodných mokřadních rostlin. Účinnost filtračního materiálu se odvíjí od velikosti zrn. Jemná zrna zajišťují intenzivnější zdržení vody díky ulpívání molekul vody mezi malými zrny vlivem kapilárních sil. V porovnání s hrubým šterkem frakce 4 mm a více zůstává část vody zachycena v prostoru filtračního materiálu a v tomto objemu vody tedy mohou probíhat i v navazujícím krátkodobém horizontu biologické čistící procesy. Znamená to tedy, že jemnozrné filtry zajišťují delší dobu zdržení, vyšší účinnost čištění, avšak riziko ucpání filtru roste. Hrubší materiál zajišťuje vyšší hydraulické zatížení a nižší riziko ucpávání, avšak s tím je spojená nižší účinnost. To může být v některých případech vyřešeno zvětšením hloubky hlavní filtrační vrstvy.

Vertikální filtry jsou používány také jako sekundární nebo terciární stupeň čištění odpadních vod. V případě použití vertikálního filtru s přívodem odpadní vody v dávkách lze použít vertikální filtr jako primární stupeň čištění. Pokud je odpadní voda nedostatečně předčištěná (např. septik, separátor, usazovací nádrž), nebo je kal vyplavován, hrozí ucpání filtru. Proto musí být kal z předčištění pravidelně odstraňován (alespoň 1 x ročně). Kal pak může být zpracován v samostatné části čistírny, nebo může být transportován do místa centrálního zpracování kalů (ČOV s odpovídajícím kalovým hospodářstvím).

Organické znečištění a amoniakální dusík jsou odstraněny prostřednictvím aerobních biologických procesů, zatímco patogeny a pevné látky jsou odstraněny filtrací.

Pro větší čistírny odpadních vod s vertikálním filtrem (> 100 EO) je vhodné rozdělit velkou plochu filtru do několika menších, které jsou zatěžovány nezávisle na sobě. Tento systém umožňuje ponechání jednoho z filtrů v klidové fázi v každém cyklu zatěžování.[3]

Francouzský systém

Specifickým typem vertikálního filtru je tzv. francouzský systém. Tento systém poskytuje kromě čištění protékající odpadní vody také stabilizaci čistírenských kalů, přičemž největší výhodou je možnost vyloučení mechanického předčištění (např. usazovací nádrž), které je významnou finanční zátěží.

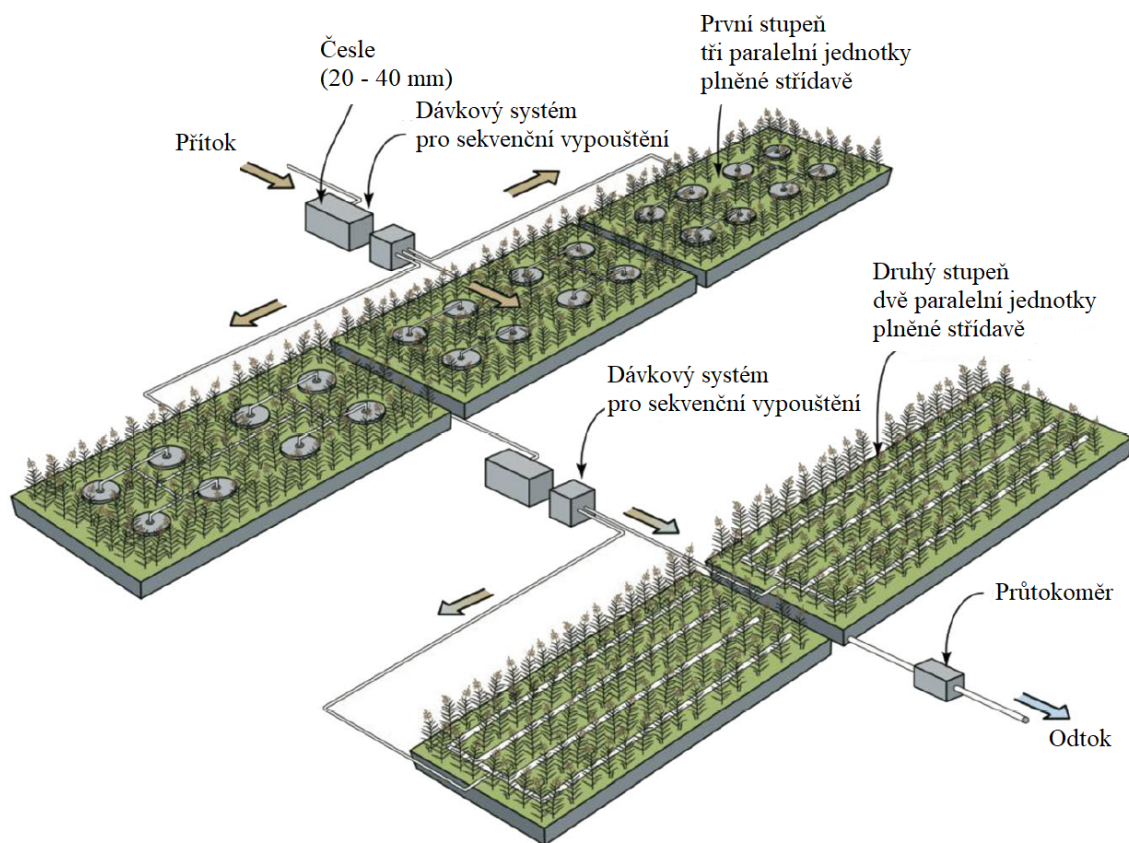
Francouzský systém je na rozdíl od klasických přírodních čistíren koncipován ze dvou stupňů (vertikálních filtrů) zařazených za sebou, přičemž každý filtrační stupeň je rozdělen na několik částí a tyto části jsou následně provozovány střídavě (viz Obr. 3.4). V prvním stupni se nacházejí zpravidla tři filtry, které částečně odstraňují organické látky, nerozpuštěné látky a probíhá zde nitrifikace. Ve druhém stupni skládajícím se ze dvou filtrů je odstraněn zbytek organických a nerozpuštěných látek a stále probíhá nitrifikace. Filtry v každém stupni jsou zatěžovány střídavě. Interval mezi zatěžováním jednotlivých filtrů je zpravidla 3,5 dne. V tomto intervalu se střídá zatížení prvního i druhého stupně. Rozdíl mezi jednotlivými stupni je v použitém filtračním materiálu (štěrk o velikosti zrn 2–6 mm v prvním stupni a písek v druhém stupni) a v rozměrech filtru. Kal z prvního stupně se shrumáždí na povrchu filtru rychlostí cca 2–3 cm za rok. Jakmile vrstva stabilizovaného kalu dosáhne 20 cm, musí být odstraněna. Díky dostatečné účinnosti takto sestaveného systému není potřeba žádných dalších stupňů čištění (septik, sedimentační nádrž atd.) a systém se tak velmi zjednodušuje. Jediný čistící objekt předřazený před prvním stupněm jsou česle, které zajišťují hrubé předčištění. Na ČOV napojenou na jednotný kanalizační systém může být k hrubému předčištění využít také lapák písku.

Důležitou funkci má vegetace na povrchu filtru, která se díky větru pohybuje a vytváří malé průduchy ve vrstvě upraveného kalu a zvyšuje tak schopnost infiltrace a pasivní areaci spodních vrstev.

Střídavé dávkování odpadní vody na filtry v prvním stupni zajišťuje

- dostatečnou areaci filtračního materiálu;
- růst biomasy na povrchu filtrační náplně;
- stabilizaci upraveného kalu ulpívající na povrchu filtru (mineralizace);
- udržuje sněhovou pokrývku pro maximální tepelnou izolaci během suchých období v chladném klimatu (díky dávkování menších dávek a častěji je předcházeno tání sněhové pokrývky).

Jedna dávka odpadní vody vypouštěná na filtr musí mít mocnost mezi 2–5 cm, což odpovídá 20–50 l/m³, aby byla zajištěna optimální distribuce vody na povrchu filtru a zároveň bylo předcházeno zkratovým proudům. Distribuce vody na jednotlivých stupních je rozdílná. Na prvním stupni je voda distribuována pomocí potrubí na jedno místo. Na filtr vede několik distribučních potrubí, kdy každé z nich



Obr. 3.4: Schéma typického francouzského systému [3]

dávkuje vodu na plochu 50 m^2 . Zatímco na druhém stupni je distribuce vody zajištěna vyvrtanými otvory v potrubí a jejím plošným dávkováním přímo na povrchu filtru.

Návrh francouzského systému je založen na znečištění na přítoku a hydraulickém zatížení.

Pokud dojde k vyššímu zatížení filtru, než na jaké byl navržen, nemusí to být nezbytně problém, pokud k takové události dojde v letních měsících, kdy je biologická kinetická rychlost vyšší. Obecně je ale vhodné těmto událostem předcházet.[3]

3.2 Znečišťující látky a patogeny

Odpadní vody obsahují znečišťující látky a patogeny, které je potřeba z vody před vypuštěním do recipientu odstranit. Obtížnost odstraňování znečišťujících látek je různá. Mezi odstraňované látky se řadí

- nerozpuštěné látky – odstranění sedimentací, filtrací;
- organické látky – biologická degradace (mikrobiální aerobní a anaerobní respirace), koncentrace je měřena prostřednictvím $CHSK$ nebo BSK_5 ;

- koloidní částice – filtrace, sedimentace, adsorpce;[17]
- dusík – amonifikace a následná nitrifikace a denitrifikace;
- fosfor – adsorbce reaktivním filtračním materiálem a rostlinami, nebo mohou být dávkovány chemické soli železa či hliníku;
- patogeny – sedimentace, filtrace, oxidace a adsorpce do organických látek, přirozený úhyn, predace.[3]

Účinnost odstraňování některých látek z odpadní vody lze zajistit intenzifikací ČOV. Na základě požadavků pro odstraňování znečišťujících látek lze intenzifikaci ČOV provést několika způsoby:

- reaktivním materiálem;
- recirkulací vyčištěné odpadní vody;
- částečnou saturací;
- dávkováním odpadní vody na filtr;
- aerací.

3.2.1 Odstraňování fosforu

V případě, že se na vodním toku nachází vodní nádrž, přehrada apod., může být požadováno také odstraňování fosforu. Zvýšená koncentrace fosforu způsobuje eutrofizaci. Toho může být dosaženo například použitím vhodného reaktivního materiálu. Běžně je fosfor odstraňován biologickou a chemickou sorpcí, srážením a krystalizací v materiálech bohatých na Ca, Fe a Al. V případě nízkých koncentrací je fosfor odstraňován především sorpcí. Při vyšších koncentracích převládá srážení, které má za následek ucpávání pórů filtru a může dojít ke snížení hydraulické propustnosti filtračního materiálu.

Filtrační materiál s vyšší sorpční schopností je tvořen reaktivním materiálem, které je tvořeno přírodními produkty (písek, písek z mušlí), průmyslovými vedlejšími produkty (popílek) nebo vyrobenými produkty (např. výrobek značky Filtralite P, PhosphoReduc, apod.). Nežádoucím účinkem tohoto způsobu čištění je však výrazné zvýšení pH na odtoku (zejména u průmyslových vedlejších produktů a vyrobených produktů).

Odstraňování fosforu prostřednictvím reaktivního materiálu je pouze dočasným procesem kvůli limitované sorpční schopnosti materiálu. Materiál je po vyčerpání sorpční kapacity nutné vyměnit. Kvůli předcházení výměny celého filtračního materiálu ve filtru je vhodné začlenit zvláštní stupeň pro odstraňování fosforu před nebo za filtr. Stupeň pro odstraňování fosforu za filtrem je menší a vyžaduje častější výměnu materiálu kvůli rychlejšímu vyčerpání jeho kapacity.[3]

K odstraňování fosforu přispívají během vegetačního období také mokřadní rostliny. Pokud se ale odumřelé části rostlin v období vegetačního klidu (konec zimy)

nesklízí, bilance zachyceného fosforu do nadzemních částí rostlin se může zhoršovat, resp. může docházet k uvolňování zachyceného fosforu zpět do vody vlivem pozvolného rozkladu biomasy.[17]

3.2.2 Odstraňování dusíku

Pomocí reaktivního materiálu nedochází k odstraňování pouze fosforu, ale také k zadržování amoniaku. Vhodným filtračním materiálem k zadržování amoniaku je zeolit. Amoniak je adsorbován ve filtračním materiálu během fáze zatěžování filtru a následně se adsorbovaný amoniak desorbuje a nitrifikuje bez zatížení mezi fázemi plnění filtru, kdy dochází k oxidaci. Amoniak oxidovaný na dusičnan je po napuštění filtru novou várkou odpadní vody, která s sebou přináší zdroj uhlíku, denitrifikován na plynný dusík. Denitrifikace probíhá za anoxických podmínek. Účinnost odstraňování amoniaku může být zvýšena také recirkulací vyčištěné vody s obsahem nitrátu. Při smíchání vody bohaté na nitrát (vyčištěná voda na odtoku z filtru) a vody bohaté na zdroj uhlíku (odpadní voda na přítoku do filtru) je umožněn proces denitrifikace a snížení obsahu celkového dusíku N_{celk} a amoniakálního dusíku $N - NH_4^+$.

Dalším účinným způsobem odstraňování nejen amoniaku, ale také uhlíku a celkového dusíku je aerace filtru.[3]

V zahraniční literatuře je pro návrh ČOV používán tzv. Kjeldahlův dusík TKN místo v České republice běžně používaného celkového dusíku N_{celk} . Celkový dusík se skládá ze všech organických (zastoupení jednotlivých forem se mění v čase) a anorganických (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) forem dusíku (viz 3.1).

$$N_{celk} = N_{org} + N_{anorg} \quad (3.1)$$

Kjeldahlův dusík se skládá z organických a amoniakálních (NH_4^+) forem dusíku (viz 3.2).

$$TKN = N_{org} + N_{amoniak} \quad (3.2)$$

Odpadní vody obsahují různé zastoupení jednotlivých forem dusíku v závislosti na jejich zdroji. Odpadní vody z domácností obsahují přibližně 60% amoniakálního a 40% organického dusíku.[7] Dusitany NO_2^- jsou vzhledem k jejich reakčnosti zanedbatelné. Přirozeně oxidují na dusičnany nebo se redukují na molekulární dusík v závislosti na přístupu kyslíku. Dle studií se dusičnany NO_3^- vyskytují v domácích odpadních vodách průměrně v množství 3,20% z N_{celk} . [1][2] Z toho vyplývá, že pro odpadní vody z domácností lze na přítoku do ČOV předpokládat

$$N_{celk} - NO_3^- \approx TKN. \quad (3.3)$$

Stejnou úvahu však nelze provést na odtoku z ČOV. Pro stanovení obsahu jednotlivých forem dusíku na odtoku z ČOV je nutné provést podrobné měření a analýzu odpadní vody.

3.2.3 Mikropolutanty

ČOV jsou do jisté míry schopny odstraňovat mikropolutanty jako např. farmaceutika a produkty osobní péče. Byla zkoumána účinnost různých mokřadních systémů a výsledkem byla nejvyšší účinnost vertikálního filtru, pak horizontálního a nakonec nejnižší účinnost ČOV s volnou hladinou. V případě některých mikropolutantů vykazují ČOV vyšší účinnost než konvenční ČOV.[3]

3.2.4 Limitní látky

Dle výčtu výše lze pomocí přírodních procesů odstranit velkou řadu znečišťujících látek a patogenů. Tyto procesy však mají také své limity. Přírodní ČOV nejsou vhodné pro čištění odpadních vod s vysokým obsahem organického znečištění, vody se zvýšeným obsahem tuků a olejů, derivátů ropy, extrémně kyselé a zásadité důlní a průmyslové odpadní vody, odpadní vody obsahující toxické látky překračující mez toxicity, nadlimitním obsahem tenzidů, pesticidů, radioaktivních látek, odpadní vody z nemocnic, veterinárních zařízení, kafilérií aj.[17]

3.3 Bilance vody a energie

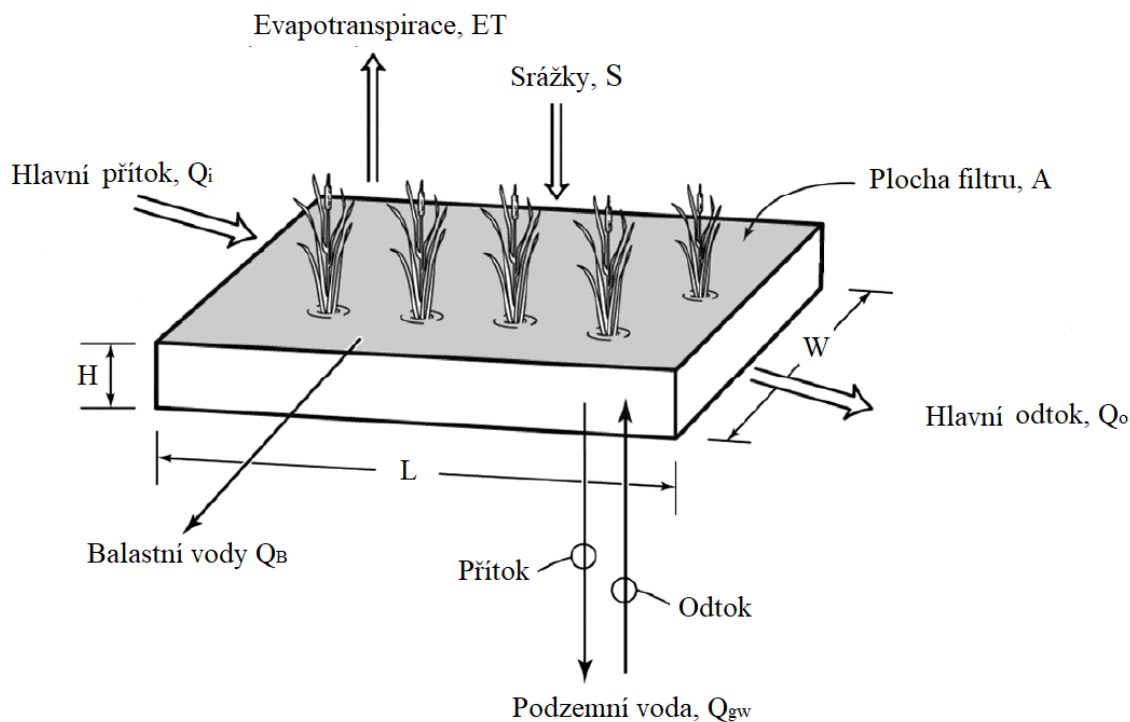
Velká plocha většiny ČOV vyžaduje kromě zohlednění přítoku a odtoku ze systému také zohlednění toků mezi filtrem a okolním prostředím. Energetický tok mezi mokřadem a jeho okolním prostředím je důležitý pro některé hydrologické toky a pro prevenci zamrzání během zimního provozu v chladných oblastech.[3]

3.3.1 Bilance vody

ČOV jsou využívány k čištění jak splaškových odpadních vod, tak k čištění odpadních vod obsahujících i vody dešťové. Tato skutečnost vyvolává velké výkyvy na přítoku především v období deště. Správnou bilanci vody ve filtru je nutné zajistit v obou případech. Z obrázku 3.5 je zřejmé, jaké toky kromě hlavního přítoku a odtoku je nutné při návrhu také zohlednit.

Bilance vody ve filtru ČOV vychází z rovnice

$$Q_i - Q_o - Q_B - Q_{gw} + Q_{sm} + (S \cdot A) - (ET \cdot A) = \frac{dV}{dt}. \quad (3.4)$$



Obr. 3.5: Vodní toky v ČOV [3]

Pro ČOV s přítokem odpadní vody pouze ze splaškové kanalizace lze rovnici 3.4 zjednodušit na

$$Q_o = Q_i + (S \cdot A) - (ET \cdot A). \quad (3.5)$$

Evapotranspirace z mokřadu je jen těžko vyčíslitelná. Množství evaporované vody z mokřadu je však přibližně shodné s evapotranspirací z otevřeného vodního útvaru o podobné velikosti. Takže rychlost ET se typicky odhaduje jako zlomek rychlosti odpařování v pánvi.[3] Koeficient odpařování v pánvi se mírně liší podle regionálních klimatických faktorů, ale typická je hodnota 0,8.[12] Míra evapotranspirace také závisí na poměru stran mokřadu a jeho orientaci k větru, na druhu a vzešlosti rostlin a také na ročním období.[3]

Dalším důležitým faktorem při posuzování hydrauliky, kinetiky a mikrobiologie mokřadu je hydraulická doba zdržení τ . Hydraulická doba zdržení je doba, po kterou je molekula vody v průměru zdržena v mokřadu od vniku až po jeho opuštění. Často je počítána jako objem vody v pórech dělen průtokem. Nicméně průtok je proměnlivý v prostoru i čase, tudíž je počítáno s průtokem na přítoku nebo odtoku. Objem vody v pórech je definován pórovitostí materiálu, který je také proměnlivý s časem. Výpočet uvažuje plně nasycený filtrační materiál odpadní vodou. Hydraulická doba zdržení je ovlivněna také hydraulickou účinností. Proudění není nikdy rovnoměrné po celé šířce a hloubce mokřadu, takže voda může v určitých místech zůstat déle

a v jiných se pohybovat rychleji. Dobrý návrh minimalizuje toto zkratování a zajišťuje dobré promíchání vody ve filtru.[20] Pro zjednodušení analýzy se hydraulické indexy extrahované z těchto funkcí běžně používají k charakterizaci zkratového a směšovacího chování. Obecně je využívána teoretická hydraulická doba zdržení kvůli nemožnosti garance kalkulované hodnoty, která se počítá jako

$$\tau = \frac{\varepsilon \cdot V}{Q_i} \cdot [3] \quad (3.6)$$

3.3.2 Bilance energie

Povědomí o bilanci energie v ČOV je důležité kvůli evapotranspiraci a prevenci proti zamrznání mokřadního prostředí. Energie (teplo) může být přenášena ze vzduchu do mokřadního prostředí, které tvoří hlavní stupeň čištění, z mokřadního prostředí do zeminy a naopak. Hlavním zdrojem energie v mírném klimatu v létě je sluneční záření, zatímco v zimě je jím energie na přítoku a energie okolní zeminy.

Pro ČOV s volnou hladinou se jako prevence proti zamrznání používá dostatečné zvýšení hladiny v mokřadu o odhadovanou hloubku zamrznutí tak, aby bylo zaručeno vhodné prostředí pro čistící procesy pod vrstvou ledu. U horizontálních a vertikálních filtrů slouží jako tepelná izolace rostliny a jejich zbytky, které tvoří dostatečnou bariéru po roce či dvou letech provozu. Tudíž je v prvních letech vhodné přidat jako izolační vrstvu mulč nebo mírně zvýšit hladinu vody.[3] V České republice dle veřejně dostupných informací k této úpravě, resp. k tomuto dočasnému zateplení, dosud na žádné čistírně nedošlo.

3.4 Kinetika a hydraulika filtrů

Chemická a biologická degradace při čištění odpadních vod je často reprezentována reakční kinetikou chemického inženýrství.[3]

3.4.1 Hydraulika filtru

Hydrauliku čištění mokřadů dle [3] nejlépe reprezentuje model filtrů v sérii (TIS), který je přechodným případem mezi extrémy ideálního pulzního a kontinuálního průtoku míchaného filtru. Lze uvažovat dva extrémní případy systému filtrů v sérii, kdy uvažujeme pouze jeden filtr ($N = 1$), jedná se o ideální stav promíchání filtru nebo uvažujeme nekonečno filtrů v sérii ($N = \infty$), kdy se jedná o ideální pulzní filtr. Reálné ČOV se nacházejí mezi těmito dvěma podmínkami.

Tyto dva idealizované hydraulické modely se používají k reprezentaci neideálních filtrů, což zkresluje hodnoty kinetických koeficientů, získaných z měření vstupních a výstupních koncentrací. Tyto koeficienty přestávají být čistě kinetickými koeficienty, a zahrnují i nedokonalosti hydraulického chování skutečné nádrže, modelované jako idealizované. To je důvod, proč je důležité mít dobré znázornění hydraulického chování filtru, aby bylo možné provést správnou předpověď koncentrace odpadních vod pomocí reakčních koeficientů, které se co nejvíce blíží skutečnému vnitřnímu kinetickému koeficientu.

Způsobem, kterým lze překonat tyto potíže je zastoupení jedné mokřadní jednotky řadou jednotek kontinuálně průtočných míchaných filtrů (CSTF).

Pro návrh je potřeba použít N TIS. Ekvivalent pro počet TIS, který nejlépe reprezentuje filtr je funkcí několika faktorů založených na poměru délky a šířky filtru $L : W$. Čím je filtr delší, tím odpovídá většímu počtu ekvivalentních TIS. Pro filtry s nízkým $L : W$ poměrem je očekáváno dobré promísení filtru a tím pádem nižší počet ekvivalentních TIS. Tabulka 3.3 vyjadřuje ekvivalentní počet TIS pro jednotlivé typy filtrů pro dosažení jejich dostatečné účinnosti.

Tab. 3.3: Hydraulické chování filtrů [3]

Typ filtru	N TIS
Horizontální filtr	8.3
Horizontální filtr (aerovaný)	4.5
Vertikální filtr (aerovaný)	1.1

Počet TIS N určuje účinnost filtru. Při zvýšení hodnoty N dochází ke zvýšení účinnosti filtru, nárůst účinnosti se však s vyšší hodnotou N snižuje. Účinnost filtru vychází ze vstupní a výstupní koncentrace znečišťujících látek v odpadní vodě. Výstupní koncentraci lze spočítat jako

$$C_o = \frac{C_i}{\left(1 + \frac{k \cdot \tau}{n}\right)^n} = \frac{C_i}{\left(1 + \frac{k_A}{n \cdot HLR}\right)^n} = \frac{C_i}{\left(1 + \frac{k_V \cdot \tau}{n}\right)^n}. \quad (3.7)$$

Hydraulické zdržení HLR lze spočítat jako

$$HLR = \frac{Q_i}{A} \quad (3.8)$$

a hydraulickou dobu zdržení τ jako

$$\tau = \frac{V \cdot \varepsilon}{Q_i}. \quad (3.9)$$

Reakční koeficient k pak lze vyjádřit jako

$$k = k_V = \frac{k_A}{\frac{\varepsilon \cdot V}{A}} = \frac{k_A}{\varepsilon \cdot h}. \quad (3.10)$$

Hodnoty reakčních koeficientů k , k_A a k_V nepředstavují skutečné vlastní kinetické koeficienty, ale jsou to hodnoty založené na měřeních. Nelze je tedy využít na jiné hydraulické modely, než na kterých byly měřeny.[3]

3.4.2 Korekce teploty

Odstraňování znečišťujících látek je silně závislé na teplotě odpadní vody. To se týká především zimního období, kdy může vlivem nízkých teplot docházet ke snížení účinnosti filtru. Korekce teploty se provádí, pokud má odpadní voda jinou teplotu než 20 °C. Poté se zavádí korekční faktor teploty k_T , který lze spočítat jako

$$k_T = k_{20} \cdot \theta^{(T-20)}. \quad (3.11)$$

Pokud je modifikovaný Arrheniův teplotní faktor θ roven 1,0, pak odstranění polutantu není ovlivněno teplotou vody. Pokud je hodnota $\theta > 1,0$ (snížení teploty prostředí), pak se hodnota koeficientu k snižuje a účinnost odstranění polutantu také. To má za následek zvětšení plochy nebo objemu mokřadu. Pokud je teplota vody vyšší jak 20 °C, dochází ke snížení hodnoty θ a zvýšení účinnosti filtru. Obvykle jsou pro návrh používány teploty pro nejchladnější měsíc v roce nebo minimální roční teploty vody.

Mezi polutanty ovlivněné teplotou vody patří

- BSK_5 ;
- N_{celk} ;
- $N - NH_4^+$;
- $NO_x - N$. [3]

3.4.3 Odtoková koncentrace

Odtoková koncentrace z filtru C^* je neredukovatelná koncentrace znečištění, která je výsledkem biochemických procesů ve filtru a je minimální limitní koncentrací pro výstupní koncentraci z filtru C_o . Například odtoková koncentrace organické hmoty může být biologicky nerozložitelná frakce. To znamená, že i ČOV s nekonečně dlouhou dobou zdržení nebude mít nižší výstupní koncentraci, než je C^* . Na tuto skutečnost je potřeba brát ohled především v případě nízké koncentrace znečištění na přítoku ($C_i \leq 3C^*$), nebo pokud se koncentrace na odtoku blíží limitním koncentracím. Příklady odhadovaných odtokových koncentrací z filtru jsou uvedeny v Tab. 3.4. Odtoková koncentrace může být také ovlivněna teplotou.

Tab. 3.4: Příklady odtokových koncentrací z filtru v mg/l [6]

Typ filtru	BSK_5	N_{celk}	$N - NH_4^+$
Horizontální filtr	10	1	0
Vertikální filtr (aerovaný)	2	0	0

3.5 Vegetační pokryv filtru

Vegetační pokryv filtru má oproti mikroorganismům z hlediska odstraňování nutrientů zanedbatelnou čistící funkci. Jejich hlavní funkcí je především zvětšení plochy pro usedání mikroorganismů pomocí kořenového systému. Dále předchází erozi filtračních vrstev, slouží jako UV ochrana potrubí a zajišťují stabilní klima ve filtru v zimním období, kdy předchází jeho zamrzání. Pokud není vegetace pravidelně sklizena, dochází k uvolňování nutrientů do rektoru během její degradace.

V případě vertikálního filtru s dávkováním odpadní vody na povrch filtru je také přínos kyslíku do systému v porovnání s přísunem kyslíku z atmosféry zanedbatelný.



Obr. 3.6: Rákos obecný [21]

Během prvního roku je nutné odstraňovat plevel, dokud se nevytvoří dospělý

pokryv mokřadní vegetace. Mokřadní rostliny by měly být koseny každé dva až tři roky buď na jaře, nebo na podzim. Pokud jsou koseny na podzim, rostlinný materiál by měl být ponechán na povrchu filtru, aby se vytvořila izolační vrstva.[3]

Nejčastěji používané rostliny na vertikálním filtru jsou rákos obecný, chrastice rákosovitá, orobince, kosatce, ostřice apod.[17]

Důležitou vlastností rostlin je přečkání suchého období bez přítoku.

Problémem je také vzejití čerstvě vysázených rostlin ve filtru. To může být problematické při jeho nedostatečném zatížení, kdy rákos nemá přístup k potřebné vláze. Dalším problémem mladých rostlin je nedostatečná infiltrace odpadní vody do filtru a nedostatečná mineralizace organického materiálu v důsledku jeho rychlého vysychání a může tak docházet k vytváření louží na povrchu filtru. Dalším problémem je přítok ze srážkové události na neaktivovaném filtru, kdy dojde k rychlému protěčení prvního stupně a vytvoření jezírka na druhém stupni kvůli chybějící vrstvě usazeného organického materiálu na prvním filtru.[3]

3.6 Vliv podnebí na ČOV

Jak již bylo nastíněno v kapitole 3.4.2, přírodní ČOV a její účinnost je ovlivněna teplotou. V následujícím textu je popsán vliv podnebí na ČOV.

3.6.1 Teplé podnebí

Mírné klima je v České republice považováno do 500 m n. m., kdy je dle *ČSN 75 6402 Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel* [22] vhodné nad touto nadmořskou výškou při nevhodných klimatických podmínkách použít vyšší schvrchní vrstvu filtru.

Vyšší teploty tropického podnebí umožňují vyšší biologickou aktivitu, což má za následek umožnění použití nižšího počtu filtračních polí.[3]

3.6.2 Chladné podnebí

Ze studie účinnosti přírodních čistíren s vertikálním filtrem francouzského typu provedené ve Francii v nadmořských výškách od 680 do 1 500 m n. m., pro různý počet EO (73–900) a pro různé zdroje odpadních vod (oddílný nebo jednotný systém) vyplývá, že účinnost odstranění *BSK* a *CHSK₅* není výrazně ovlivněna nadmořskou výškou. Vliv mrazu závisí na tloušťce izolační vrstvy tvořené sedimentem a sněhem. Zamrzání hrozí, pokud se teplota přitékající odpadní vody blíží 2 °C.

Nejcitlivějším procesem na pokles teploty je odstraňování dusíku i přes to, že bylo prokázáno zachování zásoby kyslíku (účinnost odstranění dusíku TKN 87 % v zimních měsících, 94 % TKN v letních měsících). Nicméně účinnost odstraňování dusíku v zimních měsících je i přesto dostatečná.

I nízká vrstva sedimentu $< 5\text{ cm}$ zajistí nezamrzání filtru mezi intervaly plnění (3,5 dne), kdy se pokles teploty filtru pohybuje kolem $0,6\text{ }^\circ\text{C}/\text{den}$. To je způsobeno vyšší teplotou přitékající odpadní vody, která při každém plnění filtru prohřeje.

V případě, že je na filtru vytvořená vrstva sedimentu $< 5\text{ cm}$ a vrstva sněhu $> 10\text{ cm}$, teplota filtru je vyšší než $1\text{ }^\circ\text{C}$ nebo $2\text{ }^\circ\text{C}$ i ve dnech s teplotou $-12\text{ }^\circ\text{C}$ nebo s teplotou $-7\text{ }^\circ\text{C}$ trvající po dobu 3 dnů.

Pokud je na filtru vytvořená vrstva sedimentu $> 10\text{ cm}$ a vrstva sněhu $< 5\text{ cm}$, dochází k velmi dobrým izolačním vlastnostem a nebyl pozorován téměř žádný pokles teploty ve filtru (vyšší než $2\text{ }^\circ\text{C}$ nebo $3\text{ }^\circ\text{C}$ mezi intervaly plnění). Pro udržení sněhové pokrývky na filtru je vhodné volit nižší dávky odpadní vody v kratších intervalech tak, aby odpadní voda nezpůsobila tání sněhu.[16]

3.7 Problémy přírodních čistíren odpadních vod

Mezi hlavní problémy přírodních čistíren odpadních vod se řadí kolmatace a následná regenerace zaneseného filtračního materiálu, odstraňování amoniaku ($N - NH_4^+$) a eroze.[8]

3.7.1 Kolmatace

Kolmatací se rozumí proces ucpávání filtračního materiálu, skrze který protéká mechanicky předčištěná odpadní voda. Odpadní voda s sebou přináší drobné nerozpuštěné částice, které při zpomalení průtoku sedimentují. K tomu nastává po odtoku z rozdělovacího potrubí uloženého na povrchu filtru. V důsledku akumulace drobných částic na povrchu filtru dochází ke snižování pórovitosti a propustnosti a dochází k tvorbě privilegovaných cest (viz Obr. 3.7). V extrémních případech může docházet k vytváření povrchového proudění, kdy odpadní voda vsakuje do filtračního materiálu až u samotného odtoku z filtru. Nedochozí tedy k dostatečné době zdržení a čistící účinnost filtru klesá.

Ke kolmataci může docházet u všech typů filtrů uvažujících proudění přes filtrační materiál. Jemnější filtrační materiály jsou ke kolmataci náchylnější než hrubší.

U vertikálního filtru využíváme zpravidla menší frakci filtračního materiálu (zrno do 4 mm) než u horizontálního (zrno do 16 mm). Z toho důvodu je nutné předsazení vícekomorové usazovací nádrže před vertikální filtr, u které lze předpokládat vyšší účinnost v odstranění nerozpuštěných látek.



Obr. 3.7: Privilegovaná povrchová cesta (vlevo), ucpaný filtrační materiál (vpravo) [8]

Filtr musí být chráněn před povrchovým odtokem z okolního prostředí, aby nedocházelo k jeho zanášení při dešti. Ucpávání lze také předcházet rovnoměrným sklonem povrchu filtru, díky kterému na povrchu nevznikají louže a nedochází k lokálnímu ucpávání filtračního materiálu.

Ucpávání může být kromě nesprávné údržby (nedostatečné čištění usazovací nádrže) způsobeno také špatným návrhem, volbou nevhodného štěrku/písku (nedostatečně vypraný písek s jemnými částicemi) nebo nerovnoměrným nátokem odpadní vody na filtr. Rovnoměrnost přítoku odpadní vody lze zajistit vhodným návrhem distribučního potrubí s rovnoměrně rozmístěnými otvory (vhodné umístění otvoru je na dně distribučního potrubí).

Příčiny kolmatace

Mezi hlavní příčiny kolmatace se řadí

- nevhodně navržená nebo provozovaná odlehčovací komora na jednotné kanalizaci;
- poddimenzované mechanické předčištění;
- zanedbané odkalování usazovací nádrže (potřeba odkalování obvykle 1–4 × ročně).

Regenerace zakolmatovaného filtru

Pokud dojde k ucpání filtračního materiálu, lze jej regenerovat například strojním praním, odtěžením, dávkováním chemikálií, rozprostřením do tenké vrstvy mimo filtrační pole nebo změnou režimu.

Metoda vytěžení filtračního pole je ekonomicky velmi nákladná. Většinou však stačí odtěžit pouze svrchní vrstvu materiálu. Se zakolmatovaným materiálem se zachází

dle jeho složení jako s nebezpečným odpadem.

Regenerace změnou režimu provozu filtračního pole je vhodná pro horizontální filtr. Svrchní vrstva 10–20 cm je zkolmatovaná, zatímco spodní vrstva je vyplněna pouze nepohybující se odpadní vodou. Vypuštěním filtru snížením přelivné hrany se spodní vrstva odvodní a je nasycena vzduchem. V tomto důsledku dojde k prokysličení anaerobní vrstvy a mineralizaci povrchu zkolmatované vrstvy (vznik substrátu). Poté se filtrační prostor opět naplní a proces se opakuje. Tímto nastává změna režimu provozování filtru (jedná se o pulzně vypouštěný horizontální kořenový filtr). Dochází k postupnému uvolňování ucpané povrchové vrstvy a k delší době zdržení odpadní vody. Výsledkem je zároveň zvýšení čistící účinnosti BSK_5 , $CHSK$, a $N - NH_4^+$. [8]

3.7.2 Odstraňování amoniaku

Odstranění amoniaku je závislé na přísunu kyslíku do odpadní vody. Mokřadní rostliny jsou schopny zajistit přísun kyslíku jen do jisté míry, tudíž je potřeba jej zajistit jinými způsoby. Osvědčenou metodou je pulzní skrápění. Dnes je využíván především systém vertikálního pulzně skrápěného kořenového filtru (tzv. francouzský systém). [8]

3.7.3 Eroze

Eroze filtračního materiálu má za následek nerovnoměrnou distribuci odpadní vody ve filtru. Kritická místa se nacházejí v blízkosti otvorů distribučních potrubí, kde je vhodné použít např. dlaždice pod otvory v potrubí, které zabrání rozrušování povrchu filtru. Jako prevence proti erozi slouží také kořenový systém vegetace. [3]

4 POPIS LOKALITY

Při popisu lokality bylo využito těchto dostupných podkladů:

- technicko-ekonomická studie Odkanalizování a likvidace odpadních vod, Obec Hačky z 4/2020;
- geodetické zaměření;
- fotodokumentace, Bc. Jana Kulichová;
- katastr nemovitostí z 2. 5. 2022;
- údaje a katastrální mapy z internetové aplikace „Nahlížení do katastru nemovitostí“;
- *Územní plán* obce Hačky 12/2006;
- osobní prohlídka.

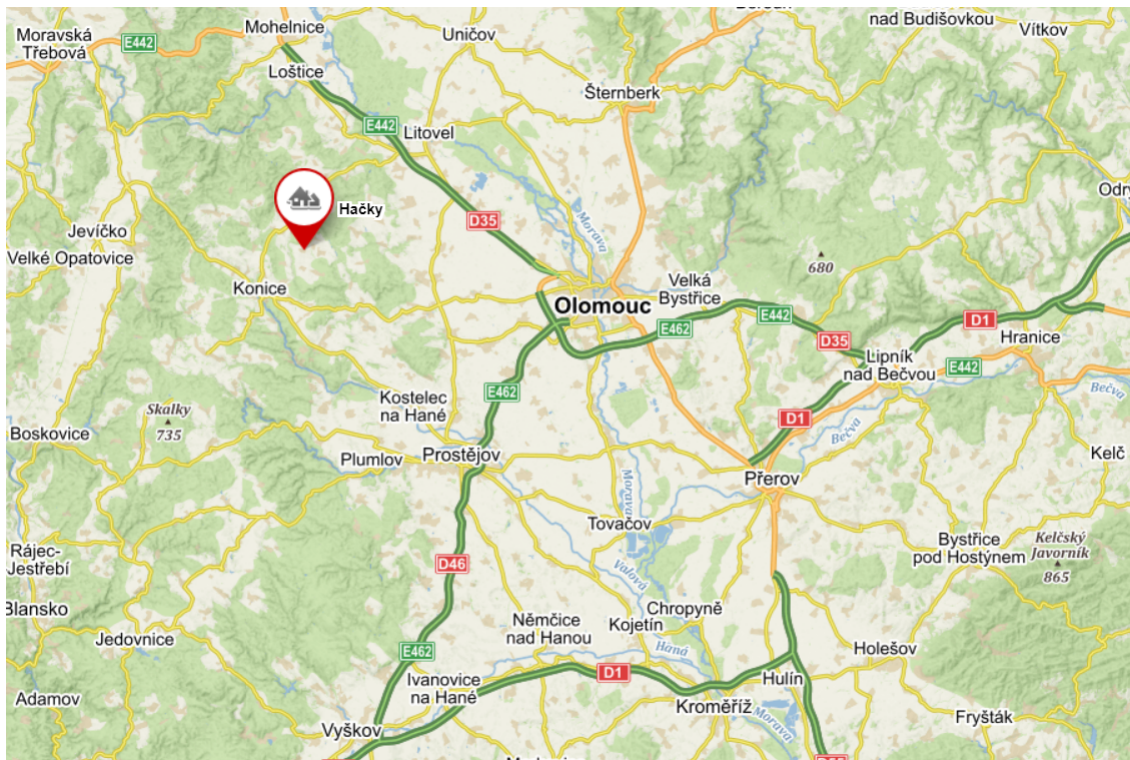
4.1 Všeobecný popis lokality

Návrh přírodní čistírny odpadních vod (dále jen ČOV) je řešen v obci Hačky nacházející se v okrese Prostějov. Jendá se o malou obec rozprostírající se na ploše $2,57 \text{ km}^2$. Obec Hačky se nachází severozápadně od města Prostějov (viz Obr. 4.1).

Odpadní vody od 124 obyvatel jsou v současnosti odváděny do přílehlého vodního toku bez jakékoliv úpravy. Řešená lokalita se nachází v místech pramene bezejmenného vodního toku ID 500 054 595, který je spravován *Lesy ČR*. Zdrojem vody tohoto vodního toku je vyústění kanalizace obce a povrchový odtok z přílehlých polí. Vodní tok náleží povodí Šumice, které je povodím 4. řádu a náleží povodí Moravy.

kraj:	Olomoucký
okres:	Prostějov
obec:	Hačky
katastrální území:	Hačky [606502]
počet obyvatel:	124 (2022)
počet domů:	54 (2021)
nadmořská výška:	473 m n. m.
rozloha obce:	2.67 km^2
povodí:	Šumice, Morava
ID povodí:	4-12-01-0050-0-00
zájmový vodní tok:	bezejmenný tok
ID vodního toku:	500 054 595

Jedná se o mírně svažité území. Dotčené pozemky jsou v katastru nemovitostí vedeny jako trvalý travní porost, orná půda, ostatní plocha a zahrada. Pozemky trvalého travního porostu jsou nyní využívány jako orná půda.



Obr. 4.1: Přehledná mapa zájmového území [11]

Z hlediska *Územního plánu* vypracovaného v prosinci roku 2006 je plocha lokality vymezena pro stavby technické vybavenosti, čistírnu odpadních vod a pro stanoviště velkoobjemového kontejneru.

Obec má minimální občanskou vybavenost. Není zde škola, školka, pošta ani zdravotní středisko. Je zde pouze obecní úřad a soukromopodnikatelské subjekty. Nachází se zde stávající vodovod, plynovod a dešťová kanalizace.[5]

Lokalita se nachází v mírném klimatu.

Řešená lokalita a příjezdová komunikace vedoucí k ní jsou vyobrazeny na Obr. 4.2.

4.2 Geologické poměry

Obec se nachází ve svažitém území severní části Drahanské vrchoviny.

Dle dostupných podkladů byly zjištěny následující geologické poměry. V lokalitě se nachází převážně droby často masivní, podřízené břidlice a laminované břidlice. Jedná se o horninový typ nezpevněného a zpevněného sedimentu. Vyskytuje se zde střední radonové riziko. Dotčené území se nenachází v geologicky významné ani chráněné lokalitě.[4]



Obr. 4.2: Pohled na řešenou lokalitu (vlevo) a příjezdovou komunikaci (vpravo) [foto autor]

4.3 Popis stávajícího stavu odkanalizování

V obci hačky je vybudována jednotná kanalizační síť DN 300–500, betonová, v celkové délce cca 900 m, která odvádí dešťové i splaškové odpadní vody z obce. Na systém odkanalizování je v současné době napojeno 124 obyvatel. Splaškové vody jsou převážně předčištěny v septicích, jejichž přepad je zaústěn do jednotné kanalizace. Objekty, které nejsou vybaveny septikem, jsou napojeny na bezodtokové jímky určené k pravidelnému vyvážení.[5] Kvůli nedostatečnému vyčištění odpadních vod v septicích dochází k vyplavování znečištěných splaškových vod do kanalizačního systému, který je vyústěn do vodního toku (viz Obr. 4.3). Jediným zdrojem vody v tomto toku jsou odpadní vody z obce a povrchový odtok z přilehlých pozemků.

Tento stav není v souladu s právním řádem a proto je navržena výstavba nové samostatné čistírny odpadních vod pro obec Hačky.[5]

Dešťové vody vypouštěné do systému jsou odváděny z ploch komunikace o přibližné velikosti 8 700 m² a ze střech o přibližné ploše 13 420 m².



Obr. 4.3: Vyústění jednotné kanalizace do vodního toku [foto autor]

5 VÝPOČET NÁVRHU ČOV FRANCOUZSKÉHO TYPU

Na základě výše uvedených poznatků bude navržena ČOV využívající technologii pulzně skrápěného filtru s vertikálním průtokem, tzv. přírodní ČOV francouzského typu.

Systémy s vertikálním průtokem a francouzský systém jsou navrhovány na základě klimatu a geografického regionu v konkrétní lokalitě. Jelikož se obec Hačky nachází v oblasti s mírným klimatem, lze postupovat dle standardně uváděného postupu pro návrh.

Návrh je obvykle založen na ploše doporučené na ekvivalentního obyvatele (m^2/EO), ale může být založen také na plošném zatížení (např. $g BOD_5/m^2 \cdot d$). Velikost plochy na ekvivalentního obyvatele se dle různých evropských norem pohybuje v rozmezí $2-4 m^2/EO$ (mírné klima, teplé regiony mohou vyžadovat nižší plochu). Pro aplikaci těchto hodnot je však nutné dbát podmínek, pro které byly stanoveny. Tento návrh je stanoven na základě maximálního návrhového zatížení, tedy právě např. $g BOD_5/m^2 \cdot d$. [3]

Při návrhu bylo postupováno dle metodiky *Treatment Wetlands, Volume 7*. [3]

5.1 Podklady pro návrh

Pro konkrétní návrh řešení je nutné specifikovat vstupní parametry daného systému. Z podkladů lze stanovit počet EO a jejich vyprodukované znečištění. Dle podkladu *technicko-ekonomické studie* není vzhledem k velikosti a charakteru zástavby předpokládáno vybudování nové splaškové kanalizace do roku 2030.

V obci Hačky žije 124 obyvatel (údaj z roku 2022). Pro výpočet je předpokládáno, že odpadní vody všech obyvatel jsou odváděny do jednotného kanalizačního systému. Vzhledem k *Územnímu plánu* je předpokládán nárůst počtu obyvatel, nicméně nové plochy určené pro bydlení se nacházejí v oblasti, která v současnosti není odkanalizována. Je předpokládáno, že kanalizace v této oblasti bude vybudována v průběhu výstavby obytných budov a výstavby nové komunikace pro obsluhu pozemků. Z toho důvodu je produkce odpadních vod z této oblasti také zahrnuta do výpočtů. Z hlediska nakládání s dešťovými vodami na nových parcelách je uvažováno s jejich nakládáním na pozemku. Do stávajícího stokového systému jsou však v současnosti kromě splaškových vod sváděny také vody dešťové. Tím je navýšen přítok na ČOV, avšak snížena koncentrace znečištění. Vzhledem k plánované výstavbě oddílného kanalizačního systému, kdy je předpokládáno odklonění přítoku dešťové vody, byly uvažovány dva návrhové stavy. Uvažované návrhové

stavy systému jsou pro oddílný kanalizační systém a jednotný kanalizační systém viz Tab. 5.1. Tyto návrhové stavy slouží pro návrh plochy filtračního pole pro 1. a 2. stupeň čištění dále v textu.

Tab. 5.1: Uvažované návrhové stavy systému

A Oddílný kanalizační systém	B Jednotný kanalizační systém
Na ČOV jsou přiváděny pouze splaškové odpadní vody současných obyvatel, občanské a technické vybavenosti a obyvatel výhledově žijících v nových plochách určených pro bydlení. Je uvažováno s nově vybudovanou splaškovou kanalizací. Návrhový počet EO je tedy 210.	Na ČOV jsou přiváděny splaškové odpadní vody současných obyvatel, občanské a technické vybavenosti a obyvatel výhledově žijících v nových plochách určených pro bydlení včetně dešťové vody ze stávajících zpevněných ploch. Je uvažováno se stávajícím kanalizačním systémem rozšířeným o novou splaškovou kanalizaci odvádějící odpadní vody z nových obytných oblastí napojenou na stávající jednotnou stoku. Návrhový počet EO je tedy 210.

5.2 Návrhový stav A

V prvním návrhovém stavu A je uvažováno s odkanalizováním obce oddílným systémem, kdy jsou na ČOV přiváděny pouze splaškové odpadní vody. Je předpokládáno, že všechny obytné domy včetně veškeré občanské a technické vybavenosti jsou napojeny na splaškovou kanalizaci, kterou jsou odpadní vody sváděny na ČOV. Je uvažováno se všemi stávajícími obyvateli a výhledovou výstavbou nových objektů, která je ve výpočtu EO zohledněna koeficientem. S přítokem a čištěním dešťových vod není uvažováno.

5.2.1 Počet EO

V obci žije 124 obyvatel. Z občanské vybavenosti se zde nachází obecní úřad, na kterém jsou předpokládáni 2 zaměstnanci a hostinec s ubytováním. Kapacita hostince s ubytováním jsou 2 zaměstnanci a 8 lůžek.

Při návrhu spotřeby vody pro obec bylo vycházeno z *Vyhlášky č. 120/2011 Sb.* [26], která stanovuje hodnoty směrných čísel roční potřeby vody *SČRPV* pro různá

zařízení občanské a technické vybavenosti. Lze předpokládat, že potřeba vody odpovídá spotřebě vody. V normě *ČSN 75 6402 Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel* [22] je uvedena specifická produkce odpadních vod na $1 \text{ EO } 90\text{--}120 \text{ l/EO} \cdot \text{den}$. Na základě toho byla stanovena specifická produkce odpadních vod na $110 \text{ l/EO} \cdot \text{den}$ a byl vypočten celkový počet EO v obci.

Vzhledem k předpokládanému nárůstu obyvatel dle *Územního plánu* byl použit koeficient 1,5 pro stanovení výhledového počtu obyvatel v obci. Jelikož je s nárůstem počtu obyvatel předpokládán také nárůst občanské a technické vybavenosti, je výhledová hodnota stanovena z celkové hodnoty současného počtu EO. Výpočet počtu EO je uveden v Tab. 5.2.

Tab. 5.2: Stanovení počtu EO dle *Vyhlášky č. 120/2011 Sb.* [26] a *Územního plánu*

Zdroj odpadní vody	Osob	SČRPV ¹	EO
Obyvatelé	124		124
Obecní úřad ²	2	14	0,7
Ubytování ³	8	45	9,0
Zaměstnanci hostince ⁴	2	80	4,0
Mytí skla ⁵	1	60	1,5
Současný počet EO			140
			$140 \cdot 1,5$
Výhledový počet EO			210

¹Směrná čísla roční potřeby vody v $\text{m}^3/\text{os} \cdot \text{rok}$; ²II.5. Kancelářské budovy (bez stravování) – WC, umyvadla a tekoucí teplá voda; ³III.11. Hotely a penziony – většina pokojů má WC a koupelnu s tekoucí teplou vodou; ⁴VI.41 Restaurace, vinárny, kavárny – výčep, podávání studených jídel a teplých jídel; ⁵VI.43 Restaurace, vinárny, kavárny – mytí skla bez trvalého průtoku nebo myčka skla za jednu směnu.

5.2.2 Přítok na ČOV

Množství bezdeštných vod přitékajících do čistírny byl stanoven dle *ČSN 75 6402 Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel* [22]. Jak již bylo zmíněno výše, navrhovanou hodnotou specifické produkce odpadních vod je $110 \text{ l/EO} \cdot \text{den}$. Na základě počtu obyvatel EO, specifické produkce odpadních vod q_{sp} a koeficientů denní k_d a hodinové nerovnoměrnosti k_h byly stanoveny průtoky, které jsou uvedeny v textu níže.

Průměrný denní přítok $Q_{24,m}$ je vypočten jako

$$Q_{24,m} = EO \cdot q_{sp}, \quad (5.1)$$

$$Q_{24,m} = 210 \cdot 110 = 23,10 \text{ m}^3/\text{den}, \quad (5.2)$$

průměrný bezdeštný denní přítok Q_{24} je vypočten jako

$$Q_{24} = Q_{24,m} + Q_B, \quad (5.3)$$

$$Q_{24} = 23,10 + 6,93 = 30,03 \text{ m}^3/\text{den}, \quad (5.4)$$

kde balastní vody jsou uvažovány jako 30 % průměrného denního přítoku $Q_{24,m}$ vzhledem k uvažované nově vybudované splaškové kanalizaci. Dále byl stanoven maximální denní bezdeštný přítok Q_d jako

$$Q_d = Q_{24,m} \cdot k_d + Q_B, \quad (5.5)$$

$$Q_d = 23,10 \cdot 1,5 + 6,93 = 41,58 \text{ m}^3/\text{den}, \quad (5.6)$$

kde je koeficient denní nerovnoměrnosti k_d roven hodnotě 1,5. Dále byl stanoven maximální hodinový bezdeštný přítok Q_h jako

$$Q_h = (Q_{24,m} \cdot k_d \cdot k_h + Q_B)/24, \quad (5.7)$$

$$Q_h = (23,10 \cdot 1,5 \cdot 5,1 + 6,93)/24 = 7,62 \text{ m}^3/\text{hod}, \quad (5.8)$$

kde je koeficient hodinové nerovnoměrnosti k_h roven hodnotě 5,1 stanovené interpolací na základě počtu EO.

Zatížení na přítoku do ČOV $l_{p,0}$ bylo stanoveno dle hodnot specifického znečištění q_{sp} na 1 EO a počtu EO. Koncentrace na přítoku do ČOV $C_{p,0}$ byla stanovena na základě zatížení na přítoku $l_{p,0}$ a průměrného bezdeštného denního přítoku Q_{24} . Jelikož je pro návrh filtrů použit postup z publikace *Treatment Wetlands, Volume 7*, jako relevantní hodnoty pro návrh jsou uvažovány ukazatele *CHSK*, *BSK₅*, *NL* a *TKN*. *TKN* je vypočtené na základě N_{celk} dle rovnice 3.3. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 5.3 a dalších poznatků uvedených v kapitole 3.2.2.

Na Obr. 5.1 jsou pro pořádek znázorněny proměnné zatížení na přítoku l_p a odtoku l_o a koncentrace na přítoku C_p a odtoku C_o v jednotlivých stupních čištění odpadní vody.

Tab. 5.3: Stanovení zatížení na přítoku do ČOV dle ČSN 75 6402 [22] (návrhový stav A)

Ukazatel spec. znečištění	<i>CHSK</i>	<i>BSK₅</i>	<i>NL</i>	<i>TKN</i>
Spec. znečištění na přítoku q_{sp} ¹	120	60	55	10,6
Zatížení na přítoku do ČOV $l_{p,0}$ ²	25 200	12 600	11 550	2 236
Koncentrace na přítoku do ČOV $C_{p,0}$ ³	839	420	385	74

¹g/EO · den; ²g/den; ³mg/l.

5.2.3 Návrh 1. stupně čištění

Návrhem prvního stupně čištění ČOV je stanovena minimální plocha jednoho filtračního pole potřebná pro účinné odstranění znečišťujících látek. Návrh je prováděn na základě hydraulického zatížení *HLR* a hmotnostního zatížení znečištění jednotlivých ukazatelů na přítoku do ČOV $l_{p,0}$. Plocha je stanovena na základě maximálního návrhového zatížení 1 m^2 filtru dle Tab. 5.4.

Tab. 5.4: Maximální návrhové zatížení pro klasické vertikální filtry francouzského typu pro bezdeštné podmínky[3]

Stupeň čištění	<i>HLR</i> ¹	<i>CHSK</i> ²	<i>BSK₅</i> ²	<i>NL</i> ²	<i>TKN</i> ²
1. stupeň	0,37	350	150	150	30
účinnost		$0,80 \cdot l_p$	$0,90 \cdot l_p$	$0,90 \cdot l_p$	$1,1128 \cdot l_p^{0,8126}$
2. stupeň	0,37	70	20	30	15
účinnost		$0,75 \cdot l_p$	$0,80 \cdot l_p$	$0,80 \cdot l_p$	$1,194 \cdot l_p^{0,8622}$

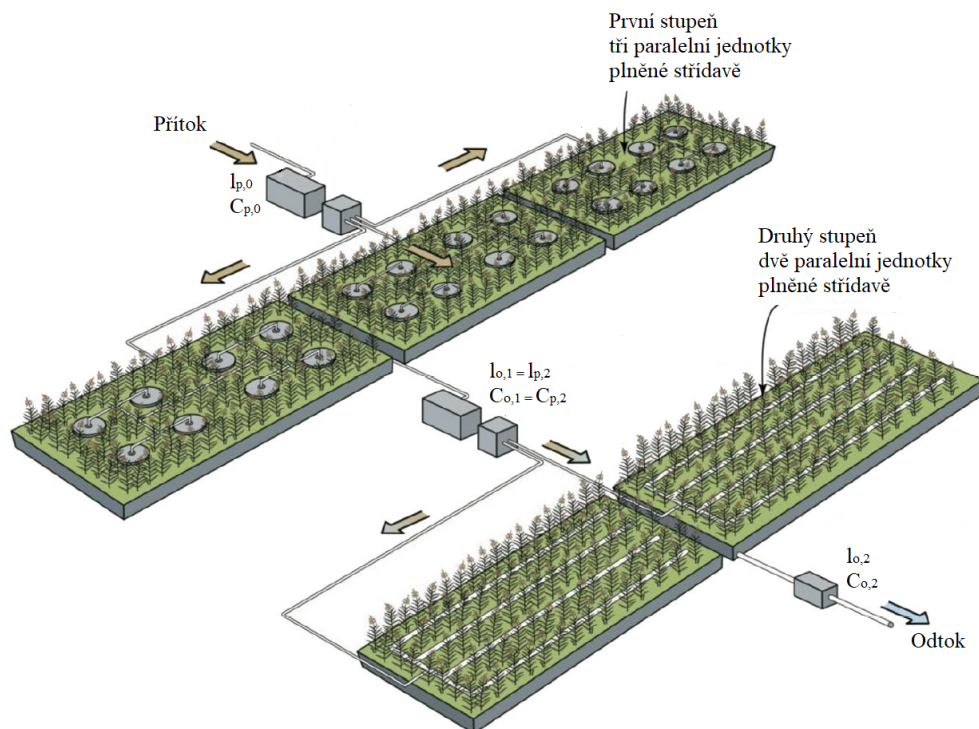
¹ $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{den}$; ² $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{den}$;

Požadovaná minimální plocha jednoho filtračního pole stanovena na základě hydraulického zatížení $HLR = 0,37 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{den}$ je

$$A_1 = \frac{Q_{24}}{HLR}, \quad (5.9)$$

$$A_1 = \frac{30,03}{0,37} = 81,2 \text{ m}^2. \quad (5.10)$$

Dále je potřeba ověřit minimální plochu jednoho filtračního pole stanovenou na základě hmotnostního zatížení na přítoku do ČOV $l_{p,0}$ a maximálního návrhového zatížení (z Tab.5.4) pro každý ukazatel znečištění jako



Obr. 5.1: Proměnné v jednotlivých stupních čištění odpadní vody

$$A_1 = \frac{l_{p,0,CHSK}}{l_{p,CHSK}}, \quad (5.11)$$

$$A_1 = \frac{25\,200}{350} = 72,0 \text{ m}^2. \quad (5.12)$$

Tato plocha byla dle uvedené rovnice 5.11 vypočtena pro každý uvažovaný zdroj znečištění $CHSK$, BSK_5 , NL a TKN jako $72,0 \text{ m}^2$, $84,0 \text{ m}^2$, $77,0 \text{ m}^2$ a $70,6 \text{ m}^2$. Jako návrhová hodnota musí být zvolena největší požadovaná plocha $84,0 \text{ m}^2$, která v tomto případě odpovídá návrhu dle BSK_5 . Při výběru vhodné plochy musí být uvažována i plocha vypočtená dle HLL .

Na základě velikosti minimální plochy filtračního pole je možné stanovit jeho délky stran. Typickým poměrem stran $L : W$ filtru francouzského typu je 1:1, lze tedy předpokládat $L = W$. Z důvodu zjednodušení technologického návrhu a následné konstrukce objektu je hodnota zaokrouhlena nahoru. Velikost filtru byla stanovena jako

$$W = L = \sqrt{A}, \quad (5.13)$$

$$W = L = \sqrt{84,0} = 9,17 \text{ m} \approx 9,50 \text{ m}. \quad (5.14)$$

Navržená plocha jednoho filtru v prvním stupni čištění je tedy $90,3 \text{ m}^2$ při délce stran $9,50 \times 9,50 \text{ m}$. Budou použity celkem 3 filtrační pole, které budou tvořit celkovou plochu prvního stupně $270,8 \text{ m}^2$.

Dle účinností uvedených v Tab. 5.4 bylo stanoveno zatížení na odtoku z prvního stupně čištění $l_{o,1}$. Dále byla stanovena koncentrace znečištění na odtoku z filtru $C_{o,1}$ dle

$$C_o = \frac{Q_{24}}{l_{p,odtok}}, \quad (5.15)$$

$$C_{o,1} = \frac{30,03}{5\,040} = 168 \text{ mg/l}. \quad (5.16)$$

Výsledné hodnoty $l_{o,1}$ a $C_{o,1}$ jsou uvedeny v Tab. 5.5.

Tab. 5.5: Stanovení zatížení a koncentrace na odtoku z prvního stupně čištění (návrhový stav A)

Ukazatel spec. znečištění	CHSK	BSK ₅	NL	TKN
Zatížení na odtoku z 1. st. čištění $l_{o,1}$ ¹	5 040	1 260	1 155	586
Koncentrace na odtoku z 1. st. čištění $C_{o,1}$ ²	168	42	38	20

¹g/den; ²mg/l.

5.2.4 Návrh 2. stupně čištění

Postup návrhu druhého stupně čištění je shodný s návrhem prvního stupně. Na rozdíl od prvního stupně jsou zde navrženy pouze dvě filtrační pole. Výsledkem návrhu je minimální plocha jednoho filtru potřebná pro účinné odstranění znečišťujících látek. Návrh je proveden na základě hydraulického zatížení $HLLR$ a hmotnostního zatížení na přítoku $l_{p,2} = l_{o,1}$.

Požadovaná minimální plocha jednoho filtru na základě hydraulického zatížení $HLLR = 0,37 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{den}$ se stanoví dle rovnice 5.9 jako

$$A_2 = \frac{30,03}{0,37} = 81,2 \text{ m}^2. \quad (5.17)$$

Dále je potřeba ověřit minimální plochu jednoho filtru stanovenou na základě hmotnostního zatížení na přítoku $l_{p,2}$ dle rovnice 5.11. Tentokrát je však vstupním parametrem zatížení na odtoku z prvního stupně čištění $l_{o,1}$.

$$A_2 = \frac{5\,040}{70} = 72,0 \text{ m}^2 \quad (5.18)$$

Tato plocha byla dle uvedené rovnice 5.11 vypočtena pro každý uvažovaný zdroj znečištění *CHSK*, *BSK₅*, *NL* a *TKN* jako $72,0 m^2$, $63,0 m^2$, $38,50 m^2$ a $39,1 m^2$. Jako návrhová hodnota musí být stejně jako u prvního stupně čištění zvolena největší požadovaná plocha, tedy $81,2 m^2$, která odpovídá návrhu dle *HLLR*.

Pro druhý stupeň čištění platí také poměr stran 1:1. Velikost filtru byla tedy stanovena jako

$$W = L = \sqrt{81,2} = 9,01 m \approx 9,50 m. \quad (5.19)$$

Navržená plocha jednoho filtru v druhém stupni čištění je $90,3 m^2$ při délce stran $9,50 \times 9,50 m$. Budou použity celkem 2 filtry, které budou tvořit celkovou plochu prvního stupně $180,5 m^2$.

Dle účinností uvedených v Tab. 5.4 bylo stanoveno zatížení na odtoku z 2. stupně čištění $l_{o,2}$ a koncentrace znečištění na odtoku z 2. stupně čištění $C_{o,2}$. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 5.6. Koncentrace znečištění na odtoku z filtru byla stanovena dle rovnice 5.15 jako

$$C_{o,2} = \frac{30,03}{1\,260} = 42 \text{ mg/l}. \quad (5.20)$$

Tab. 5.6: Stanovení zatížení a koncentrace na odtoku z druhého stupně čištění (návrhový stav A)

Ukazatel spec. znečištění	<i>CHSK</i>	<i>BSK₅</i>	<i>NL</i>	<i>TKN</i>
Zatížení na odtoku z 2. st. čištění $l_{o,2}$¹	1 260	252	231	291
Koncentrace na odtoku z 2. st. čištění $C_{o,2}$²	42	8	8	10

¹g/den; ²mg/l;

5.3 Návrhový stav B

V návrhovém stavu B je uvažováno s odkanalizováním obce jednotným stokovým systémem (stávající stav) a napojením nové splaškové kanalizace z nové obytné zóny na stávající jednotnou stoku. Na ČOV jsou přiváděny splaškové odpadní vody od stávajících obyvatel, občanské a technické infrastruktury a od obyvatel výhledově žijících v nových plochách určených pro bydlení. Do jednotné kanalizace jsou sváděny také dešťové vody z přilehlých stávajících zpevněných ploch. Není uvažováno s dešťovými vodami z nových obytných ploch, se kterými bude nakládáno přímo na pozemku.

5.3.1 Počet EO

Počet EO pro návrhový stav B vychází z návrhového stavu A, se kterým je shodný. Návrh byl stanoven dle *Vyhlášky č. 120/2011 Sb.* [26] a normy *ČSN 75 6402 Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel* [22]. Specifická produkce odpadních vod byla stanovena na $110\text{ l}/\text{EO} \cdot \text{den}$ a byl vypočten celkový počet EO v obci viz Tab. 5.2. Celkový počet EO je uvažován 210.

5.3.2 Přítok na ČOV

V tomto scénáři přitékají na ČOV splaškové odpadní vody stávajících i nových obyvatel spolu s dešťovým přítokem. Výpočet dešťového přítoku byl proveden dle normy *ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky* [23]. Dešťový přítok byl vzhledem době k dotoku menší než 15 min vypočten racionální metodou. Doba dotoku byla stanovena dle vzdálenosti nejvzdálenějšího bodu kanalizace od ČOV a průměrného sklonu terénu na hodnotu $2,36\text{ min}$.

Nejdříve byly stanoveny bezdeštné průtoky.

Průměrný denní přítok $Q_{24,m}$ je vypočten dle 5.1 jako

$$Q_{24,m} = 210 \cdot 110 = 23,10\text{ m}^3/\text{den}. \quad (5.21)$$

Průměrný bezdeštný denní přítok Q_{24} je vypočten dle 5.3 jako

$$Q_{24} = 23,10 + 13,86 = 36,96\text{ m}^3/\text{den}, \quad (5.22)$$

kde balastní vody jsou uvažovány jako 60% průměrného denního přítoku $Q_{24,m}$ vzhledem ke stáří systému odvodnění obce. Dále byl stanoven maximální denní bezdeštný přítok Q_d dle 5.5 jako

$$Q_d = 23,10 \cdot 1,5 + 13,86 = 48,51\text{ m}^3/\text{den}, \quad (5.23)$$

kde je koeficient denní nerovnoměrnosti k_d roven hodnotě 1,5. Dále byl stanoven maximální hodinový bezdeštný přítok Q_h dle 5.7 jako

$$Q_h = (23,10 \cdot 1,5 \cdot 5,1 + 13,86)/24 = 7,90\text{ m}^3/\text{hod}, \quad (5.24)$$

kde je koeficient hodinové nerovnoměrnosti k_h roven hodnotě 5,1 stanovené interpolací na základě počtu EO.

Návrh čistírny je založen na průměrném denním přítoku Q_{24} navýšeném o povrchový odtok z povodí Q_r při návrhové srážce stanoveným dle *ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky* [23]. Návrhová srážka dopadá na plochu povodí, která byla popsána typem povrchu, jeho plochou a odtokovým součinitelem viz Tab. 5.7.

Na základě těchto hodnot byl stanoven průměrný součinitel odtoku z povodí $\psi_{prům}$. Specifické plochy byly odhadnuty pomocí ortofoto a katastrální mapy viz náhled v Obr. 5.2.

Tab. 5.7: Stanovení průměrného součinitele odtoku z povodí dle ČSN 75 6101 [23]

Typ plochy ¹	Souč. odtoku ¹ ψ	Plocha m^2	Redukovaná plocha m^2	Prům. souč. odtoku $\psi_{prům}$
	–			–
Budovy v uzavřených blocích²	0,90	13 415	12 074	
Zpevněné pozemní komunikace	0,90	8 680	7 812	0,56
Zelené pásy	0,15	17 990	2 699	
CELKEM		40 085		

¹plochy při skolu nad 5 %; ²s vydlážděnými nebo zastavěnými dvory.

Vydatnost návrhového deště $i = 130 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$ byla stanovena z *Truplových tabulek* pro nejbližší srážkoměrnou stanicí Olomouc – Neředín. Byl zvolen 15-ti minutový déšť o periodicitě 1,0 pro ochranu venkovských území dle ČSN 75 6101 *Stokové sítě a kanalizační přípojky* [23].

Povrchový odtok z povodí Q_r je pak stanoven dle rovnice

$$Q_r = \psi_{prům} \cdot i \cdot A_{pov}, \quad (5.25)$$

$$Q_r = 0,56 \cdot 130 \cdot 4,01 = 0,29 \text{ m}^3/\text{s}, \quad (5.26)$$

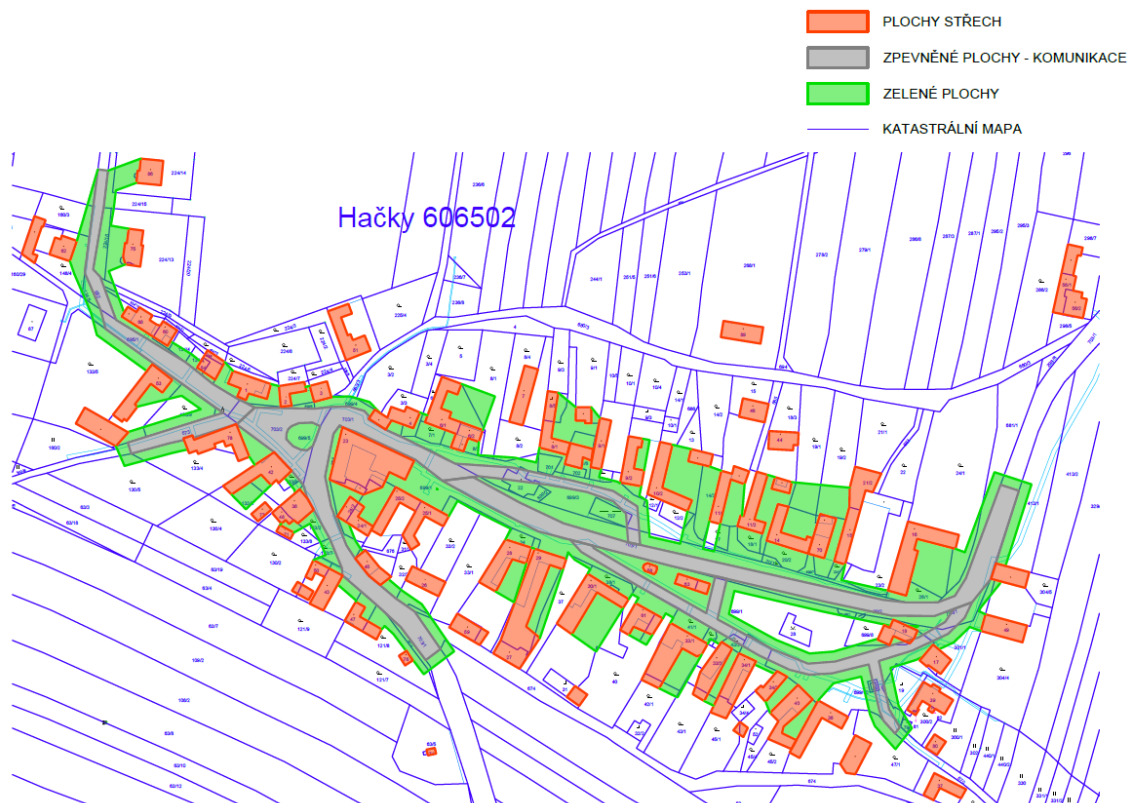
což činí $264,2 \text{ m}^3$ za jednu srážkovou událost o délce 15 min.

Vzhledem k velikosti přítoku na ČOV je nutný návrh odlehčovací komory dle ČSN 75 6262 *Odlehčovací komory* [24]. Návrhový přítok z povodí odlehčovací komory $Q_{přít}$ je stanoven jako

$$Q_{přít} = Q_{24} + Q_r, \quad (5.27)$$

$$Q_{přít} = 0,43 + 293,59 = 294,02 \text{ l/s}. \quad (5.28)$$

Byl zvolen poměr ředění 1:7 jakožto nejvyšší možný poměr. Na základě návrhového přítoku z povodí odlehčovací komory a poměru ředění lze stanovit průtok ve stokové síti, při kterém nastává přepad z odlehčovací komory Q_{mez} jako



Obr. 5.2: Stanovení specifických ploch dle ortofoto a katastrální mapy

$$Q_{mez} = (1 + n) \cdot Q_{24}, \quad (5.29)$$

$$Q_{mez} = (1 + 7) \cdot 0,43 = 3,42 \text{ l/s}. \quad (5.30)$$

Dle průtoku ve stokové síti, při kterém nastává přepad z odlehčovací komory lze následně stanovit odtok z odlehčovací komory pokračující směrem na ČOV $Q_{škr}$, který je větší max o 20–30 % než Q_{mez} . Na maximálně $Q_{škr}$ musí být nastaveno vypouštěcí zařízení z odlehčovací komory.

$$Q_{škr} = Q_{mez} \cdot (1,20 - 1,30) \quad (5.31)$$

$$Q_{škr} = 3,42 \cdot 1,25 = 4,28 \text{ l/s} \quad (5.32)$$

Následně lze stanovit průtok přepadající z odlehčovací komory přes přelivnou hranu do recipientu $Q_{přep}$ jako

$$Q_{přep} = Q_{přít} - Q_{škr}, \quad (5.33)$$

$$Q_{přep} = 294,02 - 4,28 = 289,74 \text{ l/s.} \quad (5.34)$$

Pro stanovení koncentrace znečištění na přítoku do odlehčovací komory je nutné uvažovat s průměrným bezdeštným denním přítokem Q_{24} a povrchovým odtokem Q_r .

$$Q_{24} = Q_{24} + Q_r, \quad (5.35)$$

$$Q_{24} = 36,96 \text{ m}^3/\text{den} + 264,23 \text{ m}^3/\text{událost} = 301,19 \text{ m}^3/\text{den}. \quad (5.36)$$

Bylo stanoveno zatížení znečištění na přítoku $l_{p,0}$ do odlehčovací komory. Následně byla na základě nového Q_{24} navýšeného o povrchový odtok z povodí stanovena koncentrace na přítoku do ČOV $C_{p,0}$. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 5.8.

Tab. 5.8: Stanovení zatížení na přítoku do ČOV dle ČSN 75 6402 [22] (návrhový stav B)

Ukazatel spec. znečištění	CHSK	BSK ₅	NL	TKN
Spec. znečištění na přítoku q_{sp} ¹	120	60	55	10,6
Zatížení na přítoku do ČOV $l_{p,0}$ ²	25 200	12 600	11 550	2 236
Koncentrace na přítoku do ČOV $C_{p,0}$ ³	84	42	38	7

¹g/EO · den; ²g/den; ³mg/l.

Na ČOV je však přiváděn pouze přítok $Q_{škr} = 4,28 \text{ l/s}$ a přebytečný přítok $Q_{přep} = 289,74 \text{ l/s}$ přepadá odlehčovací komorou do zpomalovací nádrže (otevřená laguna s hrubým filtrem v odtokovém profilu).

5.3.3 Návrh 1. stupně čištění

Následně byl zopakován výpočet minimální plochy jednoho filtračního pole pro 1. stupeň čištění dle 5.2.3.

Výsledné hodnoty minimální plochy byly stanoveny dle *HLR*, *CHSK*, *BSK₅*, *NL* a *TKN* jako $109,3 \text{ m}^2$, $72,0 \text{ m}^2$, $84,0 \text{ m}^2$, $77,0 \text{ m}^2$ a $74,5 \text{ m}^2$. Z toho byla jako návrhová hodnota vybrána $109,3 \text{ m}^2$, ze které byly následně stanoveny zaokrouhlené rozměry jednoho filtračního pole $10,50 \times 10,50 \text{ m}$ a výsledná plocha jednoho filtračního pole $110,3 \text{ m}^2$. Celková plocha všech tří polí je $330,8 \text{ m}^2$.

Dle účinností uvedených v Tab. 5.4 bylo stanoveno zatížení na odtoku z prvního stupně čištění $l_{o,1}$ a koncentrace znečištění na odtoku z filtru $C_{o,1}$ v Tab. 5.9.

Tab. 5.9: Stanovení zatížení a koncentrace na odtoku z prvního stupně čištění (návrhový stav B)

Ukazatel spec. znečištění	<i>CHSK</i>	<i>BSK₅</i>	<i>NL</i>	<i>TKN</i>
Zatížení na odtoku z 1. st. čištění $l_{o,1}$ ¹	5 040	1 260	1 155	586
Koncentrace na odtoku z 1. st. čištění $C_{o,1}$ ²	125	31	29	15

¹g/den; ²mg/l.

5.3.4 Návrh 2. stupně čištění

Dále byl zopakován výpočet minimální plochy jednoho filtračního pole pro 2. stupeň čištění dle 5.2.4.

Výsledné hodnoty minimální plochy byly stanoveny dle *HLR*, *CHSK*, *BSK₅*, *NL* a *TKN* jako 109,3 m², 72,0 m², 63,0 m², 38,50 m² a 39,1 m². Z toho byla jako návrhová hodnota vybrána opět 109,3 m², v důsledku vysokému objemu balastních vod na přítoku. Následně byly stanoveny zaokrouhlené rozměry jednoho filtračního pole 10,50 × 10,50 m a výsledná plocha jednoho filtračního pole 110,3 m² a celková plocha dvou polí jako 220,5 m².

Dle účinností uvedených v Tab. 5.4 bylo stanoveno zatížení na odtoku z 2. stupně čištění $l_{o,2}$ a koncentrace znečištění na odtoku z 2. stupně čištění $C_{o,2}$ (Tab. 5.10).

Tab. 5.10: Stanovení zatížení a koncentrace na odtoku z druhého stupně čištění (návrhový stav B)

Ukazatel spec. znečištění	<i>CHSK</i>	<i>BSK₅</i>	<i>NL</i>	<i>TKN</i>
Zatížení na odtoku z 2. st. čištění $l_{o,2}$ ¹	1 260	252	231	281
Koncentrace na odtoku z 2. st. čištění $C_{o,2}$ ²	31	6	6	7

¹g/den; ²mg/l;

5.3.5 Návrh odlehčovací komory

Jak již bylo popsáno v kapitole 5.3.2, je nutný návrh odlehčovací komory pro odlehčení přítoku na ČOV za deště. Ve stejné kapitole byly již také provedeny výpočty průtoků odlehčovací komorou.

Dále byla dle normy *ČSN 75 6262 Odlehčovací komory* [24] navržena střední výška přepadové hrany 325 mm. Návrh proběhl na základě známého průtoku a délky přelivu, která byla navržena jako 2,0 m.

5.4 Výběr návrhového stavu

Po provedení propočtu návrhového stavu A i B lze určit finální návrhový stav plochy filtračních polí pro 1. a 2. stupeň čištění. Pro návrh byl vybrán horší návrhový stav, který vyžaduje větší minimální plochu filtrů. Návrh je tedy založen na návrhovém stavu B.

V Tab. 5.11 byly také porovnány výstupní hodnoty z ČOV návrhového stavu B s emisními standardy ukazatelů přípustného znečištění odpadních vod dle *Narizení vlády č. 401/2015 Sb., 2015* [25]. Z výsledků vyplývá, že přírodní ČOV dosahují požadovaných limitů více než dostatečně.

Tab. 5.11: Porovnání výstupních hodnot z ČVO s legislativními požadavky

Ukazatel spec. znečištění	CHSK	BSK ₅	NL	TKN
Koncentrace na odtoku z 2. st. čištění $C_{o,1}$²	31	6	6	7
Legislativní požadavky²	150	40	50	–
Legislativní požadavky³	110	30	40	–

¹mg/l; ²Přípustné hodnoty emisních standardů pro ČOV do 500 EO v mg/l; ³Přípustné hodnoty emisních standardů pro nejlepší dostupné technologie pro ČOV do 500 EO v mg/l.

Na základě uvedených propočtů byl proveden návrh přírodní čistírny odpadních vod pro obec Hačky. Vypracovaná projektová dokumentace pro společné povolení (neboli územní řízení a stavební povolení) je přiložena v Příloze A. Dokumentace byla vypracována dle *Vyhlášky č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb* [27].

6 ZÁVĚR

V práci byla představena technologie přírodních čistíren odpadních vod a jejich úskalí. Byly popsány a porovnány jednotlivé typy přírodních čistíren, jejich schopnost a způsob odstraňování znečišťujících látek a patogenů. Dále byly popsány vnitřní procesy jako bilance vody a energie, hydraulika ve filtračním poli a vliv teploty na účinnost čistících procesů. Byl představen také vegetační pokryv filtru a jeho účel. Důležitým faktorem při návrhu přírodní čistírny odpadních vod je také vliv podnebí. V textu je uveden také výčet problémů, se kterými se na přírodních čistírnách lze setkat.

Po popisu lokality byl s ohledem na získané poznatky vybrán návrh přírodní čistírny odpadních vod francouzského typu. Vzhledem k předpokládanému vývoji obce byly uvažovány dva návrhové stavy. Pro návrh jednotlivých stupňů čištění a odlehčovací komory byly provedeny výpočty v kapitole 5. Po provedení výpočtů byl vybrán návrhový stav s vyššími nároky na technologii, který byl následně aplikován v praktickém řešení.

Na základě veškerých poznatků a výpočtů byla vypracována projektová dokumentace, která bude sloužit jako vstupní podklad pro územní řízení i stavební povolení.

Kvůli morfologii terénu a jeho nedostatečnému spádu nebylo možné zajistit provoz čistírny bez přívodu elektrické energie, která bude využívána pro provoz čerpadel.

LITERATURA

- [1] ALMEDIA, M. C., D. BUTLER a E. FRIEDLER. *At-source domestic wastewater quality*. Urban Water [online]. 1999 [cit. 2022-11-29].
- [2] BOUTIN, C. a C. EME. *Domestic Wastewater Characterization by Emission Source*. IWA Publishing, Small Water and Wastewater Systems [online]. 2016 [cit. 2022-11-30].
- [3] DOTRO, G. a kol. *Treatment Wetlands*. IWA Publishing. London. 2017.
- [4] *Česká geologická služba* [online]. Resort životního prostředí [cit. 2022-07-19]. Dostupné z: <http://www.geology.cz>.
- [5] JUNAEDI, T. *Technicko-ekonomická studie Odkanalizování a likvidace odpadních vod, Obec Hačky*. ENVI Agentura Trunda s. r. o. Olomouc. 2020.
- [6] KADLEC, R. H. *The inadequacy of first-order treatment wetland models*. Ecological Engineering [online]. 2000 [cit. 2022-11-29].
- [7] KADLEC, R. H. a WALLACE, S. D. *Treatment Wetlands*. Second edition. 2009. ISBN 978-1-56670-526-4.
- [8] KRIŠKA DUNAJSKÝ, M. a NĚMCOVÁ, M. *Kořenové čistírny – rekapitulace a budoucnost v České republice*. Vodní hospodářství [online]. 2016 [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/korenove-cistirny/>
- [9] KRIŠKA DUNAJSKÝ, M. *Pokročilá technologie přírodních čistíren odpadních vod*. Brno, 2020. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny.
- [10] LANGERGRABER, G. *Applying process-based models for subsurface flow treatment wetlands: Recent developments and challenges*. Water [online]. 2017 [cit. 2022-11-29].
- [11] *Mapy.cz* [online]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>.
- [12] McCUEN, R. H. *Hydrologic Analysis and Design, Fourth Edition*. Englewood Cliffs. New Jersey: Prentice Hall. 2016.
- [13] MOLLE, P., LIÉNARD, A., GRASMICK, A. a IWEMA, A. *Effect of reeds and feeding operations on hydraulic behaviour of vertical flow constructed wetlands under hydraulic overloads*. Water Research [online]. 2005 [cit. 2022-11-29].

-
- [14] PAING, J., A. GUILBERT, V. GAGNON a F. CHAZARENC. *Effect of climate, wastewater composition, loading rates, system age and design on performances of French vertical flow constructed wetlands: A survey based on 169 full scale systems*. Ecological Engineering [online]. 2016 [cit. 2022-11-30].
- [15] PUMPRLOVÁ NĚMCOVÁ, M. a KRIŠKA, M. *Technologie vertikálních filtrů s vegetací pro čištění odpadních vod*. TZB info [online]. 2020 [cit. 2022-09-16]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/21197-technologie-vertikalnich-filtru-s-vegetaci-pro-cistení-odpadnich-vod>.
- [16] PROST BOUCLE, S., GARCIA, O. a MOLLE, P. *French vertical-flow constructed wetlands in mountain areas: how do cold temperatures impact performances?*. Water Science and Technology, IWA Publishing, 2015, 71 (8), pp.1219-1228, 10.2166/wst.2015.074, hal-01242871.
- [17] ŠÁLEK, J. a KRIŠKA, M. *Vegetační kořenové čistírny*. TZB info [online]. 2013 [cit. 2022-10-08]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/10058-vegetacni-korenove-cistirny>.
- [18] VRUBEL, S. *Územní plán – Hačky*. Architektonický ateliér. Lipník nad Bečvou. 2006.
- [19] VYMAZAL, J. *Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment*. Ecological Engineering [online]. 2005. [cit. 2022-11-29].
- [20] WAHL M.D., BROWN L.C., SOBOYEJO A.O. a MARTIN J., DONG B. *Quantifying the hydraulic performance of treatment wetlands using the moment index*. Ecological Engineering [online]. 2010. [cit. 2022-11-29].
- [21] *Pixabay* [online]. [cit. 2023-01-10]. Dostupné z: <https://pixabay.com/cs/photos/r%C3%A1kos-botanika-r%C3%A1kos-obecn%C3%BD-6475658/>
- [22] *ČSN 75 6402 Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel*. Český normalizační institut, prosinec 2019. Třídící znak 756402.
- [23] *ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky*. Český normalizační institut, duben 2012. Třídící znak 756101.
- [24] *ČSN 75 6262 Odlehčovací komory*. Český normalizační institut, prosinec 2019. Třídící znak 756262.

-
- [25] *Nariadení vlády č. 401/2015 Sb. Nariadení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.* In: . 2015, 166/2015.
- [26] *Vyhláška č. 120/2011 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění pozdějších předpisů.* In: . 2011, 46/2011.
- [27] *Vyhláška č. 499/2006 Sb. Vyhláška o dokumentaci staveb.* In: . 2006, 163/2006.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

BSK_5	biochemická spotřeba kyslíku
CSTR	kontinuálně průtočný míchaný filtr (z anglického <i>continuous flow stirred tank reactor</i>)
ČOV	čistírna odpadních vod
EO	ekvivalentní obyvatel
$CHSK$	chemická spotřeba kyslíku
N_{anorg}	anorganický dusík
N_{celk}	celkový dusík
N_{org}	organický dusík
$N_{amoniak}$	amoniakální dusík
NL	nerozpuštěné látky
TIS	model filtrů v sérii (z anglického <i>tanks in series</i>)
TKN	Kjeldahlův dusík (z anglického <i>total Kjeldahl nitrogen</i>)
A_x	plocha xtého filtru [m^2]
A_{pov}	plocha povodí [ha]
C^*	odtoková koncentrace z filtru [g/m^3]
C_o	výstupní koncentrace znečištění z filtru [g/m^3]
C_i	vstupní koncentrace znečištění do filtru [g/m^3]
$C_{o,x}$	koncentrace na odtoku z xtého filtračního pole [mg/l]
$C_{p,x}$	koncentrace na přítoku z xtého filtračního pole [mg/l]
ET	evapotranspirace [m]
HLR	hydraulické zatížení [$m^3/m^2 \cdot den$]
i	vydatnost návrhového deště [$l/s \cdot ha$]
k	reakční koeficient [–]

k_A	koeficient zohledňující plochu filtru $[-]$
k_d	koeficient denní nerovnoměrnosti $[-]$
k_h	koeficient hodinové nerovnoměrnosti $[-]$
k_T	korekční faktor teploty $[-]$
k_V	koeficient zohledňující objem filtru $[-]$
k_{20}	korekční faktor teploty při teplotě vody $20\text{ }^\circ\text{C}$ $[-]$
L	délka filtru $[m]$
$l_{o,x}$	zatížení na odtoku z xtého filtračního pole $[g/den]$
$l_{p,x}$	zatížení na přítoku xtého filtračního pole $[g/den]$
n	poměr ředění bezdeštného průtoku odpadních vod (též uváděno jako $1 : n$) $[-]$
N	počet filtrů v sérii $[ks]$
q_{sp}	specifická produkce odpadních vod $[l/den \cdot EO]$
Q_B	ztráty balastní vody z filtru $[m^3/s]$
Q_{gw}	působení podzemní vody na filtr $[m^3/s]$
Q_i	hlavní přítok do filtru ČOV $[m^3/s]$
Q_{mez}	průtok ve stokové síti, při kterém nastává přepad z odlehčovací komory $[m^3/s]$
Q_o	hlavní odtok z filtru ČOV $[m^3/s]$
$Q_{přep}$	průtok přepadající z odlehčovací komory přes přelivnou hranu do recipientu $[m^3/s]$
$Q_{přít}$	návrhový přítok z povodí odlehčovací komory $[m^3/s]$
Q_r	povrchový odtok z povodí $[m^3/s]$
Q_{sm}	příbytek do filtru z tání sněhu $[m^3/s]$
$Q_{škr}$	odtok z odlehčovací komory pokračující směrem na ČOV $[m^3/s]$
$Q_{24,m}$	průměrný denní přítok na ČOV $[m^3/den]$

Q_{24}	průměrný bezdeštný denní přítok na ČOV [m^3/den]
Q_d	maximální denní bezdeštný přítok na ČOV [m^3/den]
Q_h	maximální hodinový bezdeštný přítok na ČOV [m^3/hod]
S	srážky [m]
T	skutečná teplota vody [$^{\circ}C$]
V	objem vody ve filtru [m^3]
W	šířka filtru [m]
ε	pórovitost [-]
θ	modifikovaný Arrheniův teplotní faktor [mm]
τ	hydraulická doba zdržení vody ve filtru [m^3]
ψ	součinitel odtoku [-]
$\psi_{prům}$	součinitel odtoku vody [-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

3.1	ČOV s volnou hladinou [3]	10
3.2	ČOV s horizontálním (vlevo) a vertikálním (vpravo) průtokem [3] . . .	10
3.3	Francouzský systém – první stupeň (vlevo), druhý stupeň (vpravo) [3]	11
3.4	Schéma typického francouzského systému [3]	16
3.5	Vodní toky v ČOV [3]	20
3.6	Rákos obecný [21]	24
3.7	Privilegovaná povrchová cesta (vlevo), ucpaný filtrační materiál (vpravo) [8]	27
4.1	Přehledná mapa zájmového území [11]	30
4.2	Pohled na řešenou lokalitu (vlevo) a příjezdovou komunikaci (vpravo) [foto autor]	31
4.3	Vyústění jednotné kanalizace do vodního toku [foto autor]	32
5.1	Proměnné v jednotlivých stupních čištění odpadní vody	38
5.2	Stanovení specifických ploch dle ortofoto a katastrální mapy	43

SEZNAM TABULEK

3.1	Porovnání účinnosti horizontálních a vertikálních filtrů s požadavky na jejich minimální účinnost dle Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., 2015 [25] [3]	11
3.2	Porovnání emisních standardů ukazatelů přípustného znečištění odpadních vod dle <i>Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., 2015</i> [25] a typických limitních koncentrací znečištění na odtoku přírodní ČOV s horizontálním, vertikálním filtrem a filtrem francouzského typu [15]	12
3.3	Hydraulické chování filtrů [3]	22
3.4	Příklady odtokových koncentrací z filtru v <i>mg/l</i> [6]	24
5.1	Uvažované návrhové stavy systému	34
5.2	Stanovení počtu EO dle <i>Vyhlášky č. 120/2011 Sb.</i> [26] a <i>Územního plánu</i>	35
5.3	Stanovení zatížení na přítoku do ČOV dle <i>ČSN 75 6402</i> [22] (návrhový stav A)	37
5.4	Maximální návrhové zatížení pro klasické vertikální filtry francouzského typu pro bezdeštné podmínky [3]	37
5.5	Stanovení zatížení a koncentrace na odtoku z prvního stupně čištění (návrhový stav A)	39
5.6	Stanovení zatížení a koncentrace na odtoku z druhého stupně čištění (návrhový stav A)	40
5.7	Stanovení průměrného součinitele odtoku z povodí dle <i>ČSN 75 6101</i> [23]	42
5.8	Stanovení zatížení na přítoku do ČOV dle <i>ČSN 75 6402</i> [22] (návrhový stav B)	44
5.9	Stanovení zatížení a koncentrace na odtoku z prvního stupně čištění (návrhový stav B)	45
5.10	Stanovení zatížení a koncentrace na odtoku z druhého stupně čištění (návrhový stav B)	45
5.11	Porovnání výstupních hodnot z ČVO s legislativními požadavky	46

SEZNAM PŘÍLOH

A Dokumentace pro společné povolení

57

A DOKUMENTACE PRO SPOLEČNÉ POVOLENÍ

Tato příloha obsahuje dokumentaci pro společné povolení projektu přírodní čistírny odpadních vod pro obec Hačky.

Příloha obsahuje:

- A. Průvodní zpráva;
- B. Souhrnná technická zpráva;
- C. Situační výkresy;
- D. Dokumentace objektů a technických a technologických zařízení.