



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

**VYHODNOCENÍ ROČNÍHO PROVOZU
NOVÉHO TYPU VERTIKÁLNÍHO
FILTRAČNÍHO POLE KOŘENOVÉ ČISTÍRNY
ODPADNÍCH VOD**

MONITORING AND EVALUATION THE FIRST YEAR OF OPERATION OF THE
VERTICAL FLOW FILTER IN CONSTRUCTED WETLAND

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Lukáš Vláčil

VEDOUČÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MIROSLAVA PUMPRLOVÁ
NĚMCOVÁ

BRNO 2018



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	Lukáš Vláčil
Název	Vyhodnocení ročního provozu nového typu vertikálního filtračního pole kořenové čistírny odpadních vod
Vedoucí práce	Ing. Miroslava Pumprlová Němcová
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

ČSN 75 6402. Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel. Praha: Český normalizační institut, 2017.

KADLEC, R., WALLACE, S. 2009. Treatment wetlands, 2nd ed. CRC press, Boca Raton, FL.

KRIŠKA, K., NĚMCOVÁ, M. 2015. Kořenové čistírny odpadních vod. Metodická příručka pro návrh a realizaci. Vysoké učení technické v Brně.

Databáze vědeckých článků - sciencedirect.com

PUMPRLOVÁ NĚMCOVÁ, M. Intenzifikace kořenové čistírny odpadních vod pro 850 EO. In Sborník abstraktů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2017. s. 1-8. ISBN: 978-80-214-5473- 6.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Technologie vertikálních filtrů kořenových čistíren odpadních vod je v České republice teoreticky známa několik desítek let, ovšem praktická realizace tohoto systému v tuzemských podmínkách není častá, zvláště pak u větších komunálních čistíren odpadních vod.

Cílem bakalářské práce je popsat postup výstavby vertikálního filtru na KČOV pro 850 EO v obci Dražovice. Hlavní část praktické práce by mělo být vyhodnocení prvního roku provozu tohoto filtru, se zaměřením se na čistící účinnost především v odstranění amoniakálního dusíku. Závěrem práce by měla být doporučení pro další provoz. Teoretická práce by mimo jiné měla obsahovat i srovnání podobného systému se zahraničními výsledky.

Vertikální filtry kořenových čistíren jsou ideálním řešením jak pro nově vznikající, tak i pro rekonstruované KČOV, protože dokáží výrazně zlepšit čistící účinnost. Výsledky z vertikálního filtru v Dražovicích mohou přispět k dobrému jménu této technologie.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Miroslava Pumprlová Němcová
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce popisuje vyhodnocení ročního provozu nového typu vertikálního filtračního pole kořenové čistírny v obci Dražovice. Toto vyhodnocení bude sloužit pro porovnání účinnosti čištění odstraněním amoniakálního dusíku v kořenové čistírně odpadních vod v Dražovicích před rekonstrukcí (instalací vertikálního filtru) a po rekonstrukci. Úvodní část se zabývá teoretickou rešerší odborných poznatků a informací, které mají za úkol seznámit s problematikou kořenových čistíren a zejména vertikálních filtrů. Jsou popsány jednotlivé technologické objekty a je vysvětlen princip fungování celé technologie kořenových čistíren. Praktická část práce se zabývá popisem a vyhodnocením čistící účinnosti vertikálního filtru vybudovaného na KČOV v obci Dražovice v roce 2016. Vyhodnocení výsledků je zaměřeno na ukazatele $N-NH_4^+$ a $CHSK_{Cr}$ pro období leden 2017 – květen 2018.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kořenová čistírna odpadních vod, vertikální filtr, čistící účinnost $N-NH_4^+$, $CHSK$

ABSTRACT

This Bachelor's thesis evaluates the one-year operation of a new type of vertical filter bed in the constructed wetland in Dražovice. This evaluation will be used to compare the efficiency of treatment – ammonia nitrogen removal – in the Dražovice constructed wetland before reconstruction (the installation of the vertical filter) and after the reconstruction. The introductory part deals with the theoretical research summarizing expert information and learnings, in order to provide insight into the issue of constructed wetlands and vertical filters in particular. Individual technological installations are described and the operating principle of constructed wetland technology is explained. The practical part of the thesis describes and evaluates the treatment efficiency of the vertical filter installed in the Dražovice constructed wetland in 2016. The results evaluation focuses on two indicators: $N-NH_4^+$ and COD_{Cr} in the period between January 2017 and May 2018.

KEY WORDS

Constructed wetlands, vertical filter (beds), treatment efficiency, $N-NH_4^+$, COD

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Lukáš Vláčil *Vyhodnocení ročního provozu nového typu vertikálního filtračního pole kořenové čistírny odpadních vod*. Brno, 2018. 75 s., 2 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Miroslava Pumprlová Němcová

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2018

Lukáš Vláčil
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat především mé vedoucí bakalářské práce, Ing. Miroslavě Pumprlové Němcové za pevnou ruku, píli a hlavně velkou trpělivost, kterou mě vedla při tvorbě této bakalářské práce.

Bakalářská práce vznikla na základě výsledků výzkumného doktorského projektu FAST-J-16-3284 Výzkum a posouzení nového technického řešení filtračního pole pro stávající kořenovou čistírnu odpadních vod a FAST-J-17-4530 Monitoring, optimalizace a vyhodnocení provozu nového typu filtračního pole na kořenové čistírně odpadních vod.

Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu při tvorbě této práce a v průběhu celého studia.

Obsah

1	Úvod.....	3
2	Cíle bakalářské práce.....	5
3	Kořenová čistírna odpadových vod.....	6
3.1	Výhody a nevýhody KČOV.....	7
3.2	Celkové uspořádání kořenové čistírny.....	7
3.3	Legislativa.....	8
3.3.1	Účinnost čištění.....	9
3.4	Mechanické předčištění.....	11
3.4.1	Odlehčovací komory a dešťové zdrže.....	11
3.4.2	Česle.....	12
3.4.3	Lapáky písku.....	12
3.4.4	Septiky a anaerobní separátory.....	12
3.4.5	Štěrbínová usazovací nádrž.....	13
3.5	Hlavní čistící stupeň.....	14
3.5.1	Horizontální filtr.....	14
4	Vertikální filtry.....	16
4.1	Návrh filtračních materiálů pro VF.....	18
5	Vývoj a současný stav kořenových čistíren odpadních vod.....	19
5.1	KČOV v České republice.....	19
5.2	Vnímání KČOV v zahraničí.....	20
5.3	Filtrační materiály všeobecně.....	21
5.4	Vegetace.....	22
5.5	Sledované parametry.....	23
5.6	Sezónní účinnost.....	24
5.7	Ukazatele znečištění odpadních vod.....	24
5.7.1	Nerozpuštěné látky (NL).....	24
5.7.2	Biochemická spotřeba kyslíku (BSK).....	24
5.7.3	Chemická spotřeba kyslíku (CHSK).....	25
5.7.4	Fosfor (P_{celk}).....	26
5.7.5	Dusík (N_{celk}).....	26
5.7.6	Amoniakální dusík ($N\text{-NH}_4^+$).....	27
5.8	Množství odpadních vod.....	27
6	Čistící procesy v kořenových čistírnách.....	28
6.1	Nerozpuštěných a organických látek.....	28
6.2	Odstraňování dusíku.....	28

6.3	Amonifikace.....	29
6.4	Nitrifikace	29
6.5	Denitrifikace.....	29
6.6	Odstranění fosforu.....	30
6.7	Odstraňování ostatního znečištění.....	30
7	Proces kolmatace.....	31
7.1	Příčiny kolmatace.....	31
8	Kořenová čistírna odpadních vod v Dražovicích	33
8.1	Obecné informace o obci Dražovice	33
8.1.1	Základní informace	33
8.1.2	Geologické poměry	34
8.1.3	Klimatické poměry.....	34
8.2	Základní informace o KČOV v obci Dražovice.....	34
8.2.1	Zatížení čistírny.....	35
8.2.2	Technologie KČOV	35
8.2.3	Provoz a provozní problémy na KČOV Dražovice.....	37
9	Rekonstrukce KČOV.....	39
9.1	Vertikální filtr	40
9.2	Postup výstavby	41
9.3	Rozdělovací šachty.....	42
9.4	Rozdělovací potrubí	43
9.5	Odběr vzorku z jednotlivých průtoků v období 2017 – 2018.....	43
9.6	Hodnocení účinnosti čištění	44
9.6.1	Množství odstraněného znečištění CHSK , N-NH ₄ ⁺	55
9.6.2	Závada na KČOV v Dražovicích v únoru v roce 2017	57
9.7	Doporučení pro správný provoz KČOV v obci Dražovice v následujících letech.....	59
10	Závěr.....	61
11	Použitá literatura	62
11.1	Internétové zdroje.....	64
11.2	Legislativa.....	64
	Seznam tabulek	65
	Seznam obrázků	66
	Seznam použitých zkratk a symbolů	68
	Seznam příloh.....	69

1 Úvod

Důraz na kvalitní technologii pro čištění odpadních vod je v posledních desetiletích stále větší. Například ještě před sto lety lidé neřešili, jak nakládat s odpadními vodami. Ačkoliv se ve většině domácností nacházel suchý záchod, stejně jeho obsah sloužil jako hnojivo pro hospodářské účely. Splaškové vody vzniklé z praní prádla a z kuchyně skončily vždy v zahrádkách. Dnešní doba pokročila a s tím i produkce a objem odpadní vody, která už se nedá vylévat na pole nebo zahrádky. Populace si začala uvědomovat, že voda je důležitá pro náš život a bez ní bychom nemohli žít. Do podvědomí lidí se také dostalo, že s vodou se nesmí plýtvat. Proto se lidstvo začalo zabývat hospodařením s vodou, do něhož patří právě i odpadní voda. S přibývajícím populací přibývalo čím dál více splaškové vody a tímto rostl vývoj splachovacích záchodů a koupelen, které produkují silně naředěné odpadní vody, což má za následek vznik moderního čistírenství.

Jelikož odpadní vody mají vážný dopad na ekosystém, budují se čistírny téměř ve všech vesnicích a městech. Tam, kde se čistírny nevyskytují, mají občané buď vlastní domovní čistírny, nebo jímky, menší obce jsou pak často napojeny na nejbližší čistírny odpadních vod. Proces čištění býval, a stále také ve většině případů je, prováděn v mechanicko-biologických čistírnách, ale s přibývajícím časem, zkušenostmi, požadavky a důrazem na myšlenku udržitelného rozvoje nastala éra alternativního čištění odpadních vod. Do této éry vstupuje alternativní čistírenská technologie kořenové čistírny odpadních vod, které přináší velké výhody oproti ostatním technologiím. Zejména při realizaci má jednodušší řešení, neobsahují žádné složité velké betonové konstrukce a namáhavé technologické procesy, které známe u klasických čistíren odpadních vod. Skvěle se adaptují do okolního prostředí, a dokonce i po stránce nákladové vycházejí daleko lépe než klasické ČOV. Taktéž se podílí na zlepšování klimatických podmínek, díky své vegetaci, která neslouží jen k zadržení vody v krajině, ale také může sloužit jako domov drobných živočichů.

Bohužel tato alternativní technologie má špatné ohlasy na našem území, především u inženýrů a techniků, kteří se zabývají čištěním odpadních vod. Tuto technologii neberou v potaz. Tento negativní pohled na technologii kořenových čistíren na našem území je zapříčiněn špatným návrhem, nedostatečnými zkušenostmi, špatným provozováním, nedbalostí, nefunkčností a přísným limitům od vodohospodářských úřadů. Ale díky získaným poznatkům, technologiím a zkušenostem přebraných od našich sousedů jako jsou například Němci a Rakušané a dále pak dalším státům v Evropě jako je například Švýcarsko a Nizozemsko, kde kořenové čistírny sklízí velký úspěch a fungují už mnoho desítek let, získáváme potřebné informace, abychom mohli již výše zmiňované nedostatky vyřešit. I díky těmto poznatkům fungujících KČOV v České republice přibývá.

Zpřísnující se požadavky na kvalitu vypuštěné vyčištěné odpadní vody a fakt, že mnohé čistírny nesplňují požadavky pro odstraňování N-NH₄⁺ anebo nefungují v dostatečné kvalitě, musí být tyto kořenové čistírny rekonstruovány. Jelikož mnoho těchto kořenových čistíren vlastní obce, které radši takhle nefunkční čistírny rekonstruují, než aby měly vybudovat nové, z důvodu výhod, které s sebou přináší tato technologie čištění. Mnohým problémem

je nevyhovující požadavek na odstranění N-NH_4^+ , jelikož většina kořenových čistíren na našem území je vybudována s horizontálním polem, které slouží pro odstranění BSK_5 .

V posledním pětiletí vidíme velký posun dopředu ve vývoji systému celého konceptu kořenové čistírny a technologie. Účinnosti při odstraňování látek z odpadních vod se stávají srovnatelné s účinností technologií čištění odpadních vod z jiných evropských států. Například v Rakousku dosahují na odtoku z kořenové čistírny koncentrace $\text{CHSK}_{\text{Cr}} < 40 \text{ mg/l}$, $\text{BSK}_5 < 2 \text{ mg/l}$, $\text{NL} < 2 \text{ mg/l}$, $\text{N-NH}_4^+ < 0,1 \text{ mg/l}$. (ÖNORM B 2505, 2009)

Kořenová čistírna odpadních vod v Dražovicích, na jejíž vyhodnocení je tato práce zaměřena, byla typickým příkladem pro rekonstrukci kořenové čistírny, jelikož nesplňovala limitní požadavky na N-NH_4^+ a CHSK . Tato čistírna disponovala mechanickým předčištěním a třemi horizontálními filtry, které tento požadavek nemohly splňovat. Proto se zde využila osvědčená technologie od jiných zahraničních států, a to vertikální filtr, který funguje na bázi pulzního skrápění, který nemá od horizontálního kontinuálního přítoku, ale je zatěžován nepravidelně, tzv. „pulzním přítokem.“

Tato bakalářská práce vznikla na základě posouzení právě zrekonstruovaného vertikálního filtru, kde se zaměřuji na porovnání přítoku a odtoku z vertikálního filtru. Dále mám posoudit, zda se rekonstrukce zdařila a vše pracuje tak jak bylo naplánováno.

2 Cíle bakalářské práce

Cílem této bakalářské práce je představení technologie vertikálních filtrů, která by měla být popsána nejprve teoreticky a následně prezentována konkrétním příkladem – vertikálním filtrem na kořenové čistírně v obci Dražovice.

První část práce by měla být teoretickou rešerší, ve které budou shrnuty poznatky a informace zejména o vertikálních filtrech v tuzemské i zahraniční literatuře. Obecně bude představena technologie kořenových čistíren. Zmíněny by měly být kapitoly, které se věnují legislativě odpadní vody a ukazatelům, kterými ji posuzujeme. Teoretická část práce by měla být úvodem do problematiky kořenových čistíren se zaměřením na vertikální filtry tak, aby na ni mohla navázat praktická část práce, která právě jeden konkrétní vertikální filtr na kořenové čistírně popisuje.

Praktická část práce by měla shrnout dosavadní poznatky o vertikálním filtru na KČOV v obci Dražovice, kde na základě výzkumných prací Ústavu vodního hospodářství krajiny VUT FAST v Brně vznikl největší vertikální filtr v České republice. Takováto technologická inovace pomohla změnit nevyhovující kořenovou čistírnu na vyhovující, částečně i díky poznatkům ze zahraničí. Cílem této části je podrobněji vysvětlit a popsat vertikální filtr v Dražovicích. Vyhodnotit výsledky čistící účinnosti u ukazatelů CHSK a $N-NH_4^+$, které jsou na vertikálním filtru sledované od jeho uvedení do provozu (měření ÚVHK v rámci výzkumných projektů), a porovnat tyto hodnoty s výsledky, které uvádí zahraniční autoři. Práce by měla být zaměřena na jednotlivé dílčí části, které s technologií vertikálních filtrů souvisí, jako je použitá vegetace, použitý filtrační materiál nebo sezónní účinnost.

V obecném kontextu by práce mohla zlepšit pověst o kořenových čistírnách, protože vertikální filtry významně zvyšují jejich čistící účinnost a jsou tak nezbytnou součástí každého dalšího návrhu kořenové čistírny v České republice.

3 Kořenová čistírna odpadových vod

Název „kořenová čistírna“ vznikl z anglického „RootZoneMethod“, což bylo pojmenování umělých mokřadů s podpovrchovým horizontálním průtokem, které se používalo v 70. a 80. letech 20. století (Vymazal, 2004). Kořenové čistírny odpadních vod (dále KČOV) nejsou složeny pouze z filtračních polí, jak se většina lidské populace domnívá. Jedná se o technologii pro čištění zejména u komunálních a domovních splaškových odpadních vod, které se skládají ze tří hlavních částí čištění odpadních vod. Nejprve je odpadní voda přiváděna na mechanické předčištění, dále následuje hlavní čistící stupeň, který tvoří filtrační pole (filtry) s vegetací a jako poslední je možné zařadit terciální dočištění ve stabilizační nádrži (Šálek, Tlapák, 2006).

Kořenové čistírny odpadních vod (KČOV) jsou řazeny do kategorie alternativních čistírenských technologií, které na základě fyzikálních, chemických a především biologických procesů dosahují vysoké čistící účinnosti v odstranění nerozpuštěných látek (NL), organického znečištění (BSK_5 , $CHSK_{Cr}$), amoniakálního dusíku ($N-NH_4^{4+}$) a částečně i celkového fosforu (P_{cel}). (Vymazal, Kröpfelová, 2015); (Křiška, Němcová, 2016). KČOV plní konkrétní úkoly, zaměřené především na zlepšení jakosti vody, úpravu mikroklimatu, částečně i hydrologických poměrů (Šálek, Tlapák, 2006).

Z důvodu snižování investičních a především provozních nákladů, převážně s ohledem na ekologický dopad (uhlíkové stopy apod.) získává stále větší pozornost rozvoj alternativní, malosériové a inovační technologie pro čištění odpadních vod. Kořenové čistírny jsou technologické systémy konstruované tak, aby využívaly přirozené funkce mokřadní vegetace, půdních médií a souvisejících mikrobiologických procesů pro čištění odpadní vody (Kadlec a Knight, 1996). Vzhledem k jejich vysoké čistící účinnosti (při předpokladu správného návrhu technologie), snadné obsluze a údržbě, nízkým nákladům na provoz, dobrému potenciálu opětovného použití vody a živin, toleranci na vlastnosti přitékající odpadní vody a funkci významného přírodního biotopu byly kořenové čistírny uznány za udržitelnou technologii pro čištění odpadní vody (Mitsch a Gosselink, 2000; Kadlec a Wallace, 2008). Dle zahraničních autorů by nejvyšší čistící účinnosti měly dosahovat kořenové čistírny, a jim podobné technologie umělých a přírodních mokřadů, v tropických nebo subtropických oblastech světa, naproti tomu aplikace kořenových čistíren pro čištění odpadních vod v chladném klimatu představuje výzvu (Mæhlumand Jessen, 2003; 9Q5 14 Zhang a kol., 2014a, 2014b). Nicméně v posledních desetiletích studie v Severní Americe a Evropě ukázaly, že účinnost mokřadem může být proveditelná i v chladném klimatu (Mhlhlum a Stálnacke, 1999; Tunçsiper a kol., 2015). Nicméně stále existují pochybnosti, jak může teplota ovlivňovat účinnost odstraňování kontaminantů a procesy čištění. Obecně platí, že účinnost kořenových čistíren závisí zejména na biologických a biochemických procesech a jejich průběh může být funkcí klimatických podmínek (Mhlhlum a Jessen, 2003).

Vzhledem k výhodám ekonomicky efektivního a snadného provozu jsou kořenové čistírny široce používány k čištění různých druhů odpadní vody, jako jsou zemědělské odpadní vody (O'Neill a kol. 011), výluhů ze skládek (Lavrova a Koumanova, 2010) a splaškových vod

z domácností (Sani et al., 2013) nebo od větších producentů (chatové oblasti, rekreační střediska, obce), (Kadlec a Wallace, 2008).

3.1 Výhody a nevýhody KČOV

V této kapitole jsou porovnány výhody a nevýhody kořenových čistíren oproti jiným typům čistírenských technologií, zejména aktivačním čistírnám (nízko zatěžovaná aktivace).

Mezi výhody lze zařadit:

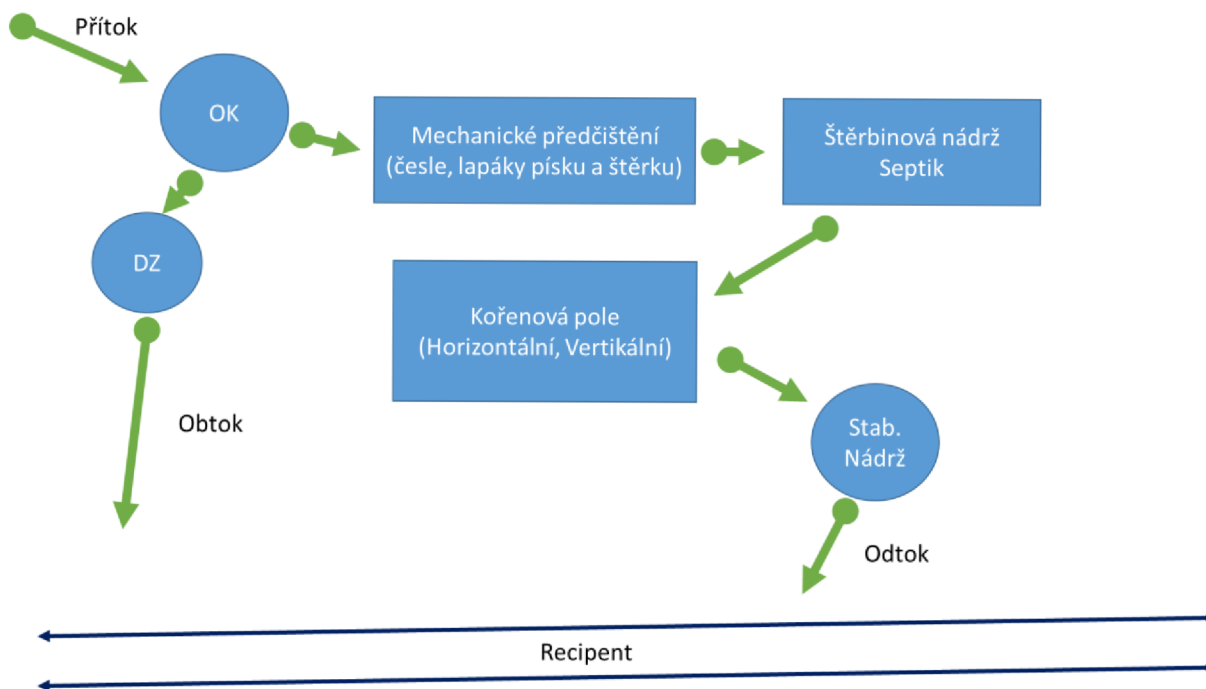
- Schopnost čistit odpadní vody s nízkou koncentrací organických látek, což je u klasických čistíren problémem.
- Schopnost dobře se vyrovnat s kolísajícím množstvím a kvalitou odpadních vod.
- Možnost pracovat přerušovaně, což klasické čistírny nemohou (z tohoto důvodu lze KČOV použít například pro rekreační objekty s nestálým využitím).
- Minimální (ale pravidelnou) údržbu.
- Skutečnost, že nevyžadují elektrickou energii (za předpokladu vhodného sklonu terénu).
- Minimální provozní náklady.
- Menší náchylnost k havárii ve srovnání se strojními čistírnami, vzhledem k robustnosti přírodního systému.
- Estetickou funkci - dobře zapadnou do krajiny a jsou její součástí, případně mohou plnit i okrasnou funkci.
- Retenci vody v krajině, která je dána principem filtrů s vegetací, které zadržují vodu a díky přítomnosti rostlin zvyšují celkovou evapotranspiraci.

Mezi nevýhody kořenových čistíren patří:

- Větší náročnost na plochu.
- Horší předpoklady pro řízení čistícího procesu a pro analýzu případných problémů ve srovnání se strojními čistírnami (Vymazal, 2016).
- Špatná pověst způsobená zastaralou technologií horizontálních filtrů, které měly za důsledek: nízké odstraňování amoniaku (anaerobní prostředí horizontálních filtrů) a fosforu (nebylo využito srážení) a občasnou tvorbu bílého povlaku elementární síry na odtoku tvořící se oxidací sirovodíku, který může (ale nemusí) vznikat při anaerobních poměrech ve filtračních ložích.

3.2 Celkové uspořádání kořenové čistírny

Kořenová čistírna jako technologie čištění odpadních vod vždy zahrnuje i mechanické předčištění, které je vždy závislé na typu odpadní vody, pro městské splaškové vody také na typu kanalizace. Na níže uvedeném schématu je schematicky znázorněna technologie kořenové čistírny, která je vybudována na jednotné kanalizaci.



Obr. 1. Schéma technologie KČOV

3.3 Legislativa

Limity na kvalitu vyčištěné odpadní vody jsou pro kořenové čistírny odpadních vod, stejně jako jiné čistírenské technologie v České republice, dány v NV č. 401/2015 Sb.. Všechny čistírny na území ČR musí dodržovat limity dané nařízením vlády, které se liší podle počtu ekvivalentních obyvatel (EO) na daném území. Sledované parametry jsou BSK₅ (biochemická spotřeba kyslíku), CHSK_{Cr} (chemická spotřeba kyslíku), nerozpuštěné látky (NL), N-NH₄⁺ (amoniakální dusík). Ukazatele P_{celk} (fosfor) a N_{celk} (dusík) se sledují pouze pro čistírny větší než 2000 EO, do této kategorie žádná KČOV v České republice nespadá. Limitní koncentrace pro parametry P_{celk} a N_{celk} se vyžadují pouze v případě, pokud je to nařízeno vodohospodářským úřadem s řádným odůvodněním, jako například při výskytu ochranného pásma nebo přírodní rezervace.

Podle kapacity dělíme ČOV:

- Malé domovní čistírny odpadních vod do 50EO.
- Čistírny odpadních vod do 500 EO.
- Čistírny odpadních vod 500 - 2000 EO.
- Čistírny odpadních vod 2001- 10 000 EO.
- Čistírny odpadních vod 10 001 – 100 000 EO.
- Čistírny odpadních vod větších než 100 001 EO.

Podle ekvivalentních obyvatel se nám liší přípustné emisní standardy jakosti vody, které jsou uvedeny v tabulce Tab. 1

Tab. 1. Emisní standardy

PO	CHSK _{Cr} příp.	CHSK _{Cr} max.	BSK ₅ příp.	BSK ₅ max.	NL příp.	NL max.	N-NH ₄ ⁺ průměr	N-NH ₄ ⁺ max.	P _{celk} průměr	P _{celk} max.
< 50	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-
do 500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-
500 - 2 000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-
2 001 - 10 000	120	170	25	50	30	60	15	30	3	8

- Přípustné hodnoty (p)
- Maximální hodnoty (m)
- Hodnoty průměrné koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l dle NV č.401/2015 Sb.

V čistírnách nad 10 001 musíme sledovat také dusík (N_{celk}). KČOV se u nás buduje maximálně pro 2 000 EO, tudíž nemusíme sledovat amoniakální dusík ani fosfor, pokud není požadováno jinak.

Pro návrh většiny kořenových čistíren odpadních vod se řídíme normou ČSN 75 6402 Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel. Pouze výjimečně se u nás staví větší čistírny (s EO 500 – 2000).

Přítomnost balastních vod, především na jednotné kanalizaci, může způsobit silné naředění, a proto mohou být na přítoku před čistírnou emisní limity nižší než limity dané v NV 401/2015 Sb.

3.3.1 Účinnost čištění

Kvalita vody vypouštěné z čistíren odpadních vod do vodotečí je limitována nařízením vlády č. 401/2015 Sb., které uvádím v následujících tabulkách 2. až 4. Nařízení udává maximální přípustné koncentrace na odtoku jednotlivých parametrů. Tyto hodnoty jsou pro konkrétní čistírny odpadních vod stanoveny rozhodnutím příslušného vodoprávního úřadu podle místních podmínek.

Kořenové čistírny jsou v České republice navrženy, aby zajistily dostatečné odstranění organických (BSK₅, CHSK_{Cr}) a nerozpuštěných látek, což jsou parametry, které jsou limitovány ve velikostní kategorii čistíren do 500 EO.

Tab. 2. Emisní standardy

Kategorie ČOV	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄ ⁺	
	p	m	p	m	p	m	průměr	m
< 500 EO	150	220	40	80	50	80		
500 - 2000 EO	125	180	30	60	40	70	20	40

- Přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) a hodnoty průměru ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg.l-1 (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.).
- Hodnoty „p“ mohou být překročeny v míře dané tímto Nařízením, hodnoty „m“ jsou nepřekročitelné.
- Tabulka je platná pro městské odpadní vody pro vypouštění do vod povrchových.

Tab. 3. Emisní standardy:

Kategorie ČOV	CHSK _{Cr}	BSK ₅	N-NH ₄ ⁺
< 500 EO	70	80	
500 - 2000 EO	70	80	50

- Přípustná minimální účinnost čištění vypouštěných odpadních vod (minimální procento úbytku) v procentech (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.).

Tab. 4. Přepočítání emisních standardů „p“

Kategorie ČOV	CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL
< 500 EO	105	23	28
500 - 2000 EO	88	17	23

- Přepočítání emisních standardů „p“ pro ukazatele BSK₅, CHSK_{Cr} a NL na roční průměry v mg.l-1 (Metodický pokyn Ministerstva životního prostředí ze dne 15. 2. 2012).

Tab. 5. Dosažitelné hodnoty

Kategorie ČOV	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄ ⁺	
	p	m	p	m	p	m	průměr	m
< 500 EO	110	170	30	50	40	60		
500 - 2000 EO	75	140	22	30	25	30	12	20

- Koncentrací (mg.l-1) pro jednotlivé ukazatele znečištění při použití nejlepší dostupné technologie (BAT) v oblasti zneškodňování městských odpadních vod.

Tab. 6. Účinnost čištění odpadních vod v kořenových čistírnách v České republice za období 1989- 2010.

Parametr	Počet KČOV	Koncentrace [mg.l ⁻¹]		Účinnost [%]**
		Přítok	Odtok	
-	-			-
BSK₅	505 (78)	163	13,7	85,3
CHSK_{Cr}	478 (46)	355	51	75,3
NL	489 (75)	180	11,6	82,8
Celk. P	288 (58)	6,5	3,56	36,7
Celk. N	66 (23)	52,1	25,6	44,5
N-NH₄⁺	339 (56)	30,1	17,4	34,2

- *První číslo je počet ročních průměrů, číslo v závorce je počet kořenových čistíren
- **Průměr účinností jednotlivých čistíren

3.4 Mechanické předčištění

Mechanické předčištění slouží k odstraňování nerozpustných látek z odpadních vod, které přitékají do čistírny. To se projevuje zejména ve snížení koncentrace ukazatelů (NL, BSK₅ a CHSK_{Cr}). Hlavní účel mechanického předčištění vyplývá ze skutečnosti, že přiváděná odpadní voda může obsahovat až 1/3 mechanicky usaditelných látek, které mají dopad na ucpávání filtračního materiálu. V případě, že by nerozpuštěné látky nebyly dostatečně odstraněny, mohlo by docházet k tzv. kolmataci (Šálek, 2008). Pojmu „kolmatace“ se budu věnovat v samostatné kapitole níže.

Stupeň mechanického předčištění tvoří v první řadě hrubé nebo jemné česle. Za česlemi následuje lapák písku a některý z typů usazovací nádrže. Pokud se jedná o KČOV umístěnou na jednotné kanalizaci, je nezbytné před česlemi zařadit odlehčovací komoru. Jestliže návrh se jedná ohledně domovní KČOV v rozsahu 5-10 ekvivalentních obyvatel (dále EO), lze použít na předčištění odpadních vod septik (Vymazal, 2009). Septik je možné použít rovněž u komunálních KČOV do 200 EO, při větším počtu ekvivalentních obyvatel je, především z ekonomického hlediska, vhodné použít soustavy šterbinové usazovací nádrže a horizontálního filtru.

3.4.1 Odlehčovací komory a dešťové zdrže

Odlehčovací komora slouží k tomu, aby zaručila, že nedojde k přetěžování usazovací nádrže nebo septiku, aby odváděla převyšující návrhový průtok do recipientu nebo do dešťové zdrže. Tento stav může nastat při deštích, při rozpuštění sněhu aj. Oddělení probíhá nejčastěji přepadem přes přeliv, jehož koruna je umístěna nad dnem odlehčovací komory, ve výši odpovídající průtoku a stupni naředění splaškových odpadních vod, při čemž má být odlehčovací komora uvedena do činnosti. Nejdůležitějším ukazatelem při návrhu odlehčovací komory je Q_{\max} [l/s] (Vymazal, 2009).

Dešťové nádrže musí být navrhovány u každé odlehčovací komory. Jejich hlavní funkcí je zamezit odnosu znečištěných dešťových vod nebo naředěných odpadních vod do vodních recipientů. Dešťové nádrže nenahrazují čistírnu. Zachycené odpadní vody v nádrži, se mají na doporučení přečerpat zpět na čistírnu. Dále se uvádí, že výhodnější je navrhnout tyto nádrže jako uzavřené podzemní nádrže. Díky tomu se vyhneme požadavkům vytyčeného hygienického pásma. Pokud toto není možné, pro nádrže s otevřenou hladinou a objemem do 400 m³ vyznačíme hygienické pásmo 50 metrů, kde se nesmí nacházet žádné obytné stavby, u nádrží nad 400 m³ má toto pásmo 100 metrů. Většinou tyto dešťové nádrže konstrukčně řešíme jako umělé betonové (ČSN 75 6402).

3.4.2 Česle

Česle slouží k zachycení velkých plovoucích nečistot doprovázených vodou, zabraňují, aby nedošlo k poškození čerpadel v dalších částech čistíren. Dělí se na jemné a hrubé česle. Hrubé česle mají šířku prutu 0,05 m a více, jemné česle mají šířku prutu 0,015 -0,02 m. Sklon česlí se navrhuje 45°, rychlost průtoku česlemi nemá překročit 1 m.s⁻¹. Zachycené nečistoty, tzv. shrabky musí být odstraňovány, aby nedocházelo k ucpávání koryta. Rozděluje se ručně nebo strojně stíráním. Ruční stírání se preferuje u hrubých česlí, naopak u jemných se doporučuje strojní stírání. Veškeré shrabky je nutné uchovávat například v odpadním kontejneru a následně je likvidovat předepsaným způsobem. Pokud shrabky neobsahují žádné škodlivé látky, je možné je po vysušení spalovat, skládkovat nebo například kompostovat. Strojně stírané česle je nutné chránit před povětrnostními vlivy, konstrukčními nebo stavebními úpravami. Z důvodu možné poruchy strojně stíraných česlí je nutné navrhnout česle zdvojené nebo rezervní. V prostoru před i za česlemi nesmí být místa, kde by mohlo docházet k usazování nerozpuštěných nebo k zachytávání plovoucích látek unášených odpadními vodami. (Šálek, Tlapák, 2006).

3.4.3 Lapáky písku

Lapák písku se používá na jednotné kanalizaci, a to výjimečně tam, kde hrozí, že se do této kanalizace i přes provedená technická opatření splavovalo větší množství nerozpuštěných anorganických částic. Lapáky písku jsou založeny na principu sedimentace písečných částic. Rozeznáváme horizontální a vertikální lapáky (Šálek, Tlapák 2006).

Obvykle je pak součástí mechanického předčištění, a pokud se vyhodnotí jako potřebný, umístí se za česle. S jeho použitím se tedy počítá jen výjimečně, s ohledem na to, že je třeba při návrhu zohlednit i místní podmínky (umístění, dostupnost elektrické energie, atd.) se lapáky navrhnou individuálně, přičemž v některých případech provzdušňované (ASIO, 2016).

3.4.4 Septiky a anaerobní separátory

Septiky se používají k čištění odpadních vod nejmenších producentů, jednotlivých domů až skupin domů, malých osad a rekreačních zařízení. Hlavním důvodem navrhování septiků je zachytávání nerozpuštěných látek. Zachycením nerozpuštěných látek a případnými

aerobními procesy dochází v septiku zároveň ke snížení organického znečištění, hodnoty BSK o cca 15–30 % a koncentrace nerozpuštěných látek o cca 50 %. Hodnota závisí hlavně na době zdržení. Minimální doba zdržení, se kterou se počítá, je 5 dnů (Šálek, Tlapák 2006).

Celkový účinný prostor

$$V = a * n * q * t, \quad [\text{m}^3]$$

kde a ... součinitel vyjadřující objem kalového prostoru (a=1,5 až 2),

n ... počet připojených obyvatel,

q ... specifická spotřeba vody (m³ na 1 osobu za 1 den),

t ... doba zdržení, (t_{min} = 3 dny).

U všech objektů čistírny se musí řešit způsob těžení, shromažďování a nakládání se zachycenými odpadními produkty čištění odpadních vod (ČSN 75 6402).

Díky poznatkům z praxe a dlouhodobé zkušenosti v praxi se potvrdilo, že vícekomorový velkoobjemový septik je lepší varianta než jednodokomorový. Vhodným příkladem nám může být například náš sousední stát Rakousko, kde s tímto způsobem mají dlouhodobé zkušenosti. Tím, že používají tříkomorový septik, předcházejí problémům s ucpáváním filtračního materiálu, ke kterému nedochází ani po 15 letech provozu. Bohužel jedinou nevýhodou tohoto řešení je vyšší investiční náklad. To znamená, že například obec s cca 300 EO musí počítat s investičním nákladem cca 1,0 mil Kč. Na řadu přichází argumentace odpůrců kořenových čistíren o nevýhodnosti z pohledu investice ve srovnání s klasickými čistírnami, nicméně je potřeba si uvědomit, že provozně se septiky s vlastním kalovým hospodářstvím pohybují na minimálních hodnotách. Například v blízkosti mechanického předčištění může vycházet obec s cca 300 EO kalové pole na částce 6 000Kč/ rok (Křiška, Němcová, 2015).

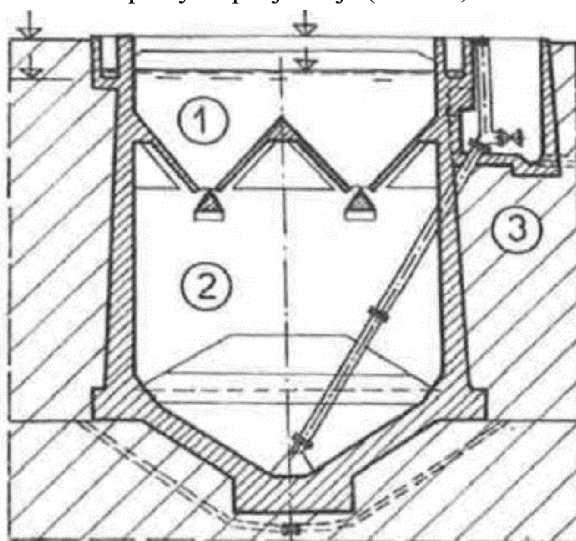
Anaerobní separátor se navrhuje jako anaerobní reaktor s ohledem na teplotu odpadní vody a mírou znečištění obvyklé pro splaškové vody. Tento separátor musí tvořit nejméně tři komory. Odtok z anaerobního separátoru je zajištěn díky vyjímatelným filtrem plovoucích nečistot (ČSN 75 6402).

3.4.5 Štěrbínová usazovací nádrž

V praxi se nejčastěji před přírodními způsoby čištění zařazují štěrbínové nádrže. Jedná se o zvláštní typ usazovací nádrže, kde je hlavním cílem zachytávat jemné kalové částice. Konstrukčně je nádrž rozdělena na dva prostory, horní usazovací a dolní vyhnívající. Tyto prostory jsou od sebe odděleny štěrbínou. Zpravidla se tyto nádrže budují v tvarech čtvercových, kruhových nebo obdélníkových. Na přítoku do nádrže je navržen upravený žlab, aby bylo zajištěno rovnoměrné rozdělení odpadní vody po celé šířce nádrže. Před odtokovým žlabem z usazovacího prostoru musí být osazena norná stěna, zabraňující odplouvání plovoucích nečistot, tuků a olejů. Norná stěna by měla sahat minimálně 300 milimetrů pod hladinu a 200 milimetrů pod hladinu usazovací nádrže. Tato nádrž se vyváží minimálně 2x ročně.

Pro správné fungování nádrže je nutná minimální doba zdržení. Pokud je šterbinová usazovací nádrž navržena jako předčištění před vegetační čistírnu, předpokládaná doba zdržení je podle normy ČSN 75 6402 4 až 6 hodin. Usazovací nádrž je vhodné chránit před povětrnostními vlivy, aby nedocházelo k nežádoucímu zarůstání hladiny usazovací nádrže řasami (Šálek, Tlapák 2006).

Výsledky ukázaly, že šterbinová usazovací nádrž funguje jako poddimenzovaný septik. Její výhoda spočívá v úspoře prostoru, tzn. nízké investiční náklady. Nicméně žádná šterbinová usazovací nádrž nemůže fungovat tak spolehlivě jako vícekomorový (dle normy ČSN EN 12566-1 minimálně tříkomorový) septik, u něhož je doba zdržení 5 dní. Zkušenosti ze zahraničí navíc ukazují, že doba zdržení 5 dní v septiku nezpůsobuje zápach, jak se předpokládá v České republice, a na základě čehož se septiky neprojektují (Křiška, Němcová 2015).



Obr. 2. Řez šterbinovou usazovací nádrží (publikace *Přirodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*, 2006)

3.5 Hlavní čistící stupeň

Hlavní čistící stupeň KČOV bývá zpravidla tvořen filtračním polem nebo soustavou několika za sebou sériově zapojených filtračních polí. Filtrační pole dělíme do dvou hlavních kategorií: na vertikálně nebo horizontálně protékané. Při správném návrhu a provozu má filtr odbourávat většinu znečištění CHSK, BSK₅, NH₄, NL.

3.5.1 Horizontální filtr

Technologie kořenových čistíren, založená na principu horizontálních filtrů, je na území České republiky používána a navrhována téměř ve všech případech. Mezi hlavní důvody jejich rozšíření patří zejména jednoduchost návrhu a realizace (Křiška, Němcová, 2015).

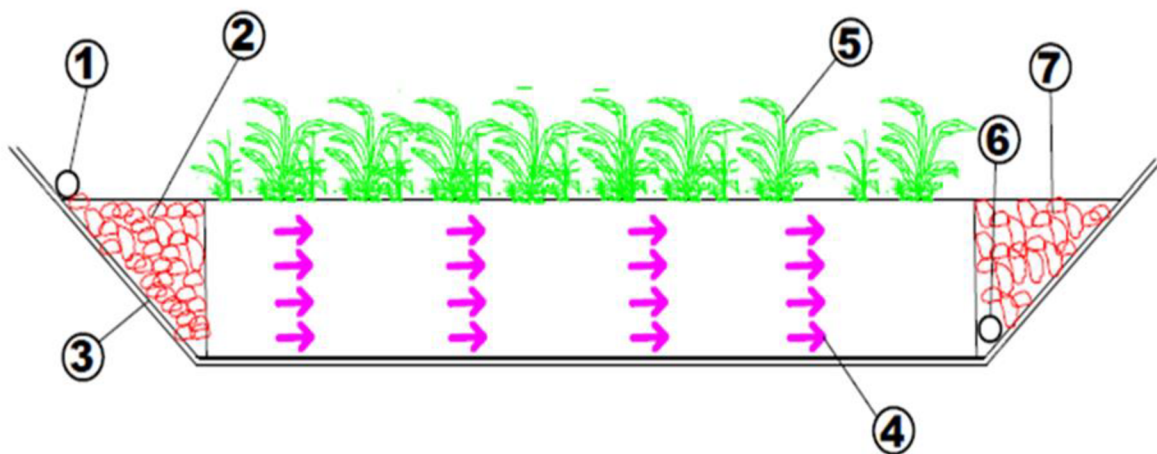
Základním principem je horizontální průtok odpadní vody propustným substrátem, který je osázen mokřadními rostlinami. Při průtoku odpadní vody filtračním materiálem dochází

k odstraňování znečištění kombinací fyzikálních, chemických a biologických procesů (Vymazal, 2004).

Z názvu vyplývá hlavní směr proudění odpadních vod od přívodního potrubí k odtokovému. Z hlediska konstrukčního je na jedné straně filtru přívodní potrubí, které se nachází v horní části, na druhé straně je umístěno sběrné drenážní potrubí, které je v dolní části. U obou potrubí se jedná o PVC potrubí s perforací. Podloží filtračního pole musí být dobře zhutněné, aby nedocházelo k případnému porušení vlivem hydrostatického tlaku. Taktéž musí být filtrační lože odizolováno, aby nedocházelo k průsakům do podloží (Kriška, Němcová, 2015).

Evropská směrnice z roku 1990 doporučuje pro čištění městských splaškových vod hodnotu reakční konstanty $KBSK = 0,1 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$, což většinou dává návrhovou plochu kořenových polí $5 \text{ m}^2/\text{EO}$. Tato hodnota se ukázala jako velmi vhodná. Analýzou 624 VKČ pro čištění splaškových vod po celém světě byla zjištěna průměrná hodnota $KBSK = 0,122 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$ (pro BSK_5 na přítoku na kořenová pole $> 40 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) (Vymazal a kol., 2008). Při standardních průtocích (daných normami) a koncentracích (určenými legislativními požadavky) vychází průměrná hodnota $5\text{--}6 \text{ m}^2/\text{EO}$, resp. $25\text{--}30 \text{ m}^2/\text{EO}$ na odstraňování amoniaku. Vysoká náročnost na plochu řadí horizontální filtrační pole do skupiny „nekonkurence schopné“. Z tohoto důvodu je vhodnější využití filtru s vertikálním prouděním (detaily v samostatné kapitole), případně při rekonstrukci stávajícího filtračního pole je možné zvýšit účinnost horizontálního filtru aplikací pulzního vypouštění filtračního pole (Kriška, Němcová, 2015).

Hloubka filtračního lože se odvíjí od klimatických poměrů, zvoleného filtračního materiálu a druhu vegetace. Minimální doporučená hodnota je $0,8 \text{ m}$. (Šálek a kol., 2008)



Obr. 3. Horizontálně protékající kořenový filtr

- 1) distribuční potrubí, 2) distribuční zóna, 3) PVC nepropustná fólie, 4) filtrační materiál, 5) vegetace, 6) sběrná drenáž, 7) odtoková zóna

4 Vertikální filtry

Z hlediska technologického řešení je vertikální filtr na první pohled odlišný od filtru horizontálního. Už když se zaměříme na směr proudění odpadní vody, zjistíme, že odpadní voda protéká shora dolů filtračním materiálem. Ve spodní části filtru je odpadní voda sbírána drenážními trubkami a je odváděna přes kontrolní a měrnou šachtu ze systému rovnou do recipientu nebo případně do terciální stabilizační biologické nádrže. Největší vliv na vysokou účinnost čištění u vertikálních filtrů má nenasycené filtrační prostředí, které musí být ve filtračním poli zabezpečeno. Zásadní rozdíl mezi vertikálním filtrem a horizontálním filtrem je ve způsobu dávkování odpadní vody a řešení rozdělovacího potrubí, které je rozprostřeno po celé délce filtračního lože, v jehož důsledku je celoplošný a rovnoměrný rozvod odpaní vody. Přerušovaný přívod odpadní vody do systému způsobuje to, že dochází k vyššímu prokysličení filtračního lože, což vytváří vhodné podmínky pro nitrifikaci, díky níž se amoniakální dusík přeměňuje na dusičnany (ZURITA a SPOL., 2009).

Uvádí se, že u vertikálních filtrů rozeznáváme dva typy, které se liší ve směru proudění vody. Jako první typ se uvádí vertikální filtr s prouděním vody směrem dolů. Druhým typem je vertikální filtr, kde proudí voda směrem nahoru. Tyto typy poznáme na první pohled z umístění přítokového a odtokového potrubí, jinak jsou stejné. Tento rozdíl ve směru proudění vody nemá vliv na účinnost čištění. Hlavní vliv na účinnost čištění má filtrační prostředí, jestliže je nasycené vodou nebo nikoli. Mezi výhody vertikálních filtrů patří schopnost odolávat silně rozkolísaným průtokům, a díky tomu mokřadní rostliny neuhynou i při dlouhodobých výpadcích přítoku (ŠÁLEK, Tlapák, 2006).

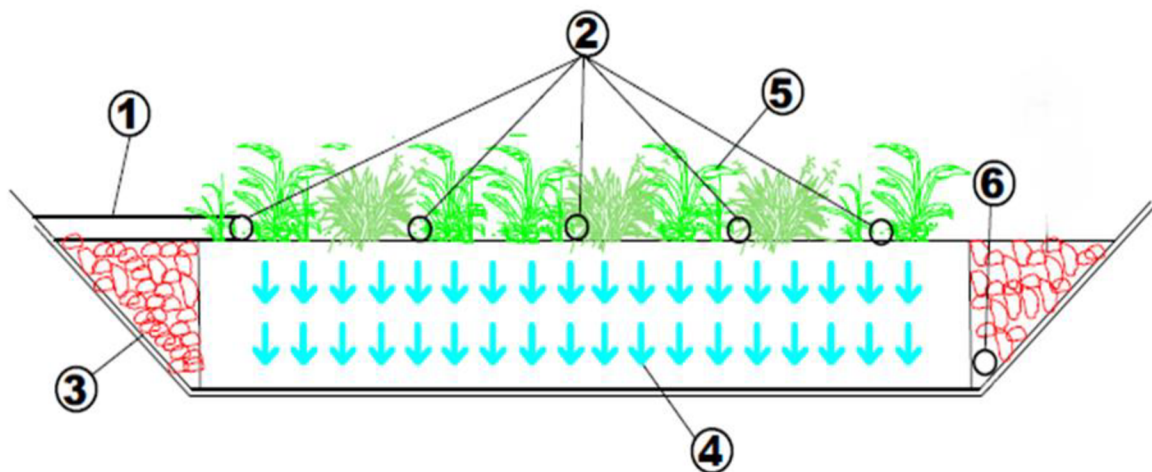
Hloubka filtračního materiálu je podobná jako u horizontálního 0,8-1,1 m, ale ve skladbě filtračního materiálu se liší, jelikož se používá jemnější frakce, zpravidla praný písek. Samotným návrhem filtračního materiálu se budu zabývat v níže uvedené podkapitole. Jelikož je na vertikálním filtru použitý jemný filtrační materiál, je více náchylný na kolmataci, a proto musíme zajistit kvalitní mechanické předčištění. Proto se často před vertikální filtry vystavují horizontální filtry, které si umí poradit se zbytky neusazených částic (Křiška, Němcová, 2015).

Mezi nejvhodnější materiály rozvodného potrubí řadíme polypropylen (PP-H), který se používá pro dimenze DN 110 přívodního potrubí a DN 40 se týká rozdělovacího potrubí. Rozvodné potrubí se doporučuje ukládat na zámkovou dlažbu nebo jakoukoliv dlažbu, která zajistí, aby rozvodné potrubí nebylo uloženo přímo na filtrační lože, z důvodu prorůstání potrubí. Také aby nedocházelo k zanášení potrubí. Vzdálenost mezi jednotlivými potrubími má být 60-80 cm v maximální délce 8 m. Ve spodních částech se nacházejí otvory s průměrem 5 mm po vzdálenosti 250 mm pro vytékání odpadní vody (Křiška, Němcová, 2015).

Mezi výhody vertikálních filtrů patří schopnost odolávat silně rozkolísaným průtokům, a díky tomu mokřadní rostliny neuhynou i při dlouhodobých výpadcích přítoku. K dalším výhodám vertikálního filtru se řadí skutečnost, že VF nepotřebuje tak velkou zastavěnou plochu jako filtr horizontální. Velikost filtrační plochy totiž vychází z koncentrace znečištění $CHSK_{cr}$, jelikož s $N-NH_4^+$ se při maximální navržené úrovni hydraulického (to znamená, že výšku vodního sloupce přepočteme na plochu filtru a vyjde nám výsledek na jednotku mm/den) vertikální filtr snad vypořádá. Díky dlouhé praxi a výsledku z výzkumných prací, které se

zabývaly optimálním řešením, dospěli k zdárnému zjištění, že návrh vertikálního filtru musí vycházet z látkového a také hydraulického zatížení. Velikost a dimenze vertikálního pulzně skrápěného filtru by měla odpovídat hodnotě látkového zatížení ideálně $15,0 \text{ g}_{\text{CHSK}}/\text{m}^2/\text{den}$ což se považuje za nejdůležitější údaj, podle kterého se musí při návrhu postupovat. Jen pro srovnání například s Rakouskem dosahuje hodnota účinnosti $20 \text{ g}_{\text{CHSK}}/\text{m}^2/\text{den}$. Z toho vyplývá, že půdorysná velikost VF vychází z hodnoty celkového denního zatížení CHSK_{Cr} , které přitéká na VF. Ze získaných hodnot, dále zjišťujeme a navrhujeme rozdělovací potrubí, díky nim přitéká na VF odpadní voda v maximálně 5-10 dávkách za den, jedna dávka by neměla trvat, déle než 15 minut. Díky zapojení dávkovacího prvku, který nám zajistí správnou distribuci odpadní vody podél celého rozdělovacího potrubí. Při velikostech filtru do 15 m^2 , který má zapojený dávkovací prvek, může být překlápěcí mechanismus, vyšší velikosti už poté vyžadují složitější automatická dávkovací zařízení (bez nutnosti připojení na elektriku) nebo výkonnější čerpadla, při kterých musíme doložit výpočet, že budou pro daný systém vyhovující (ČSN 75 6402). Současně hydraulické zatížení by nemělo přesahovat maximální hodnotu $h_v = 125 - 150 \text{ mm}/\text{den}$ (Kriška, Němcová, 2015).

Kořenové čistírny s horizontálním filtrem nebo vertikálním filtrem odstraňují znečištění BSK_5 a CHSK_{Cr} s vysokou účinností. Ze zkušeností ze zahraničí a poznatků zjištěných právě v zahraničí, kde pro kořenové čistírny mají větší pochopení a berou se za konkurenci schopné čistíček odpadních vod. Díky tomu jsou vertikální filtry zastoupeny daleko více než v České republice, kde se zjistilo, že vertikální filtry mají až dvojnásobnou schopnost odstraňovat amoniakální dusík než horizontální filtry (Volker a spol, 2001). Pro ukazatele CHSK platí taky vyšší účinnost čištění u VF oproti HF.



Obr. 4. Vertikálně protékaný kořenový filtr

- 1) rozdělovací potrubí, 2) příváděcí potrubí, 3) PVC nepropustná fólie, 4) filtrační materiál, 5) vegetace, 6) sběrná drenáž

4.1 Návrh filtračních materiálů pro VF

Díky zkušenostem, podložených měření v Rakousku, závisí skladba jednotlivých vrstev na vlastním měření. Skladba výškového profilu VF je rozložena do několika vrstev, přičemž se na povrchu filtračního materiálu nachází rozdělovací potrubí a na samostatném dně se nachází drenážní potrubí. Řešení optimálního výškového profilu pro KČOV a jeho složení je uvedeno v tabulce Tab. 7.

Tab. 7. Složení jednotlivých vrstev vertikálního filtru dle normy ČSN 75 6402

Název vrstvy	Materiál	Výška [mm]
Svrchní vrstva	Praný říční štěrk 4/8 mm	50 - 100
Hlavní filtrační vrstva	Drcený štěrk 2/4 mm	500 - 600
Přechodový filtr	Drcený štěrk 4/8 mm	50 - 100
Drenážní vrstva	Drcený štěrk 8/16 mm	200
Kompenzační vrstva*	Písek	0 - 50
Těsnění	Hydroizolace PVC 1,5 mm krytá oboustranně geotextilií 500 g/m ²	-
Pískový podsyp**	Písek	0 - 50

Při očekávaných nízkých koncentracích znečištění je šetrné dávat hlavní filtrační vrstvu o výšce 500 mm a naopak. Kvůli nevhodnému podkladu, který může být zapříčiněn například ostrým kamenivem nebo v případě nemožnosti zarovnění terénu, vedoucí k poškození nebo jiné deformaci. V těchto případech pak použijeme jako prevenci spodní kompenzační vrstvu a pískový podsyp pod hydroizolaci (Kriška, Němcová, 2015).

5 Vývoj a současný stav kořenových čistíren odpadních vod

5.1 KČOV v České republice

První zmínka o KČOV se v České republice objevuje v roce 1987 na semináři „Vegetační způsoby čištění vody a možnosti jejich aplikace“, který se konal v Brně. Po několika poloprovozních experimentech na Ústřední pražské ČOV v roce 1988 a 1989 byla první kořenová čistírna v České republice uvedena do provozu v roce 1989 v Jílovém u Prahy (Vymazal, 2016).

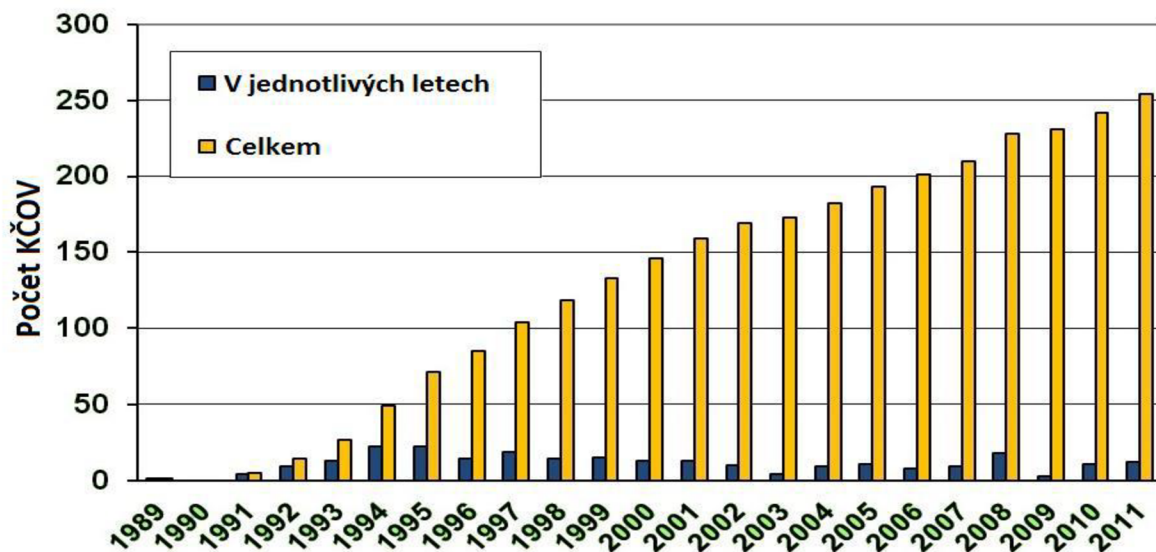
Do konce roku 1991 byly uvedeny do provozu pouze další čtyři KČOV, a to především kvůli nezájmu o tuto inovativní technologii vodohospodářských orgánů a skutečnosti, že KČOV nebyly na seznamu tzv. „doporučených způsobů čištění odpadních vod pro malé zdroje znečištění“. Poté, co byl tento seznam zrušen a navíc obce získaly větší finanční nezávislost, bylo uvedeno do provozu v letech 1992 a 1993 celkem 22 KČOV (Vymazal, 2016).



Obr. 5. KČOV Ondřejov byla uvedena do provozu v roce 1991 a je stále funkční (Vymazal, 2016).

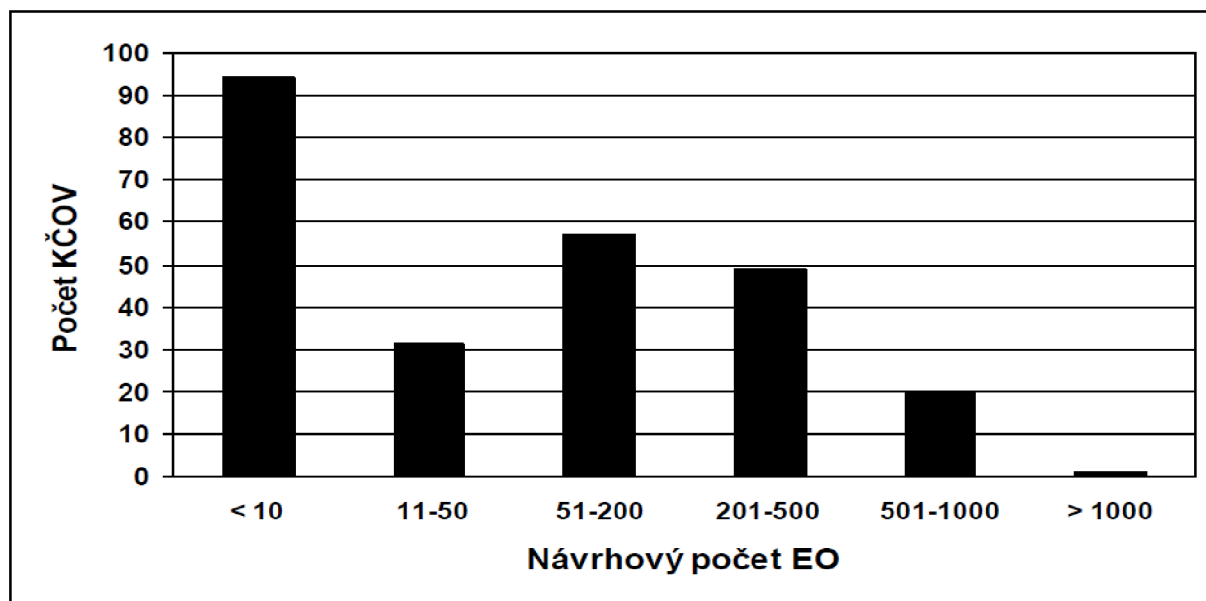
Ve většině evropských zemí byl začátek jejich provozování provázen se shodnými problémy. Hlavním důvodem, proč v některých zemích trvalo 10 i více let, než byly KČOV akceptovány vodohospodářskými institucemi, byla nedůvěra k jednoduchosti systému čištění (Vymazal, 2016).

S přibývajícím zkušenostmi a časem se KČOV používají především k odstraňování organických a nerozpuštěných látek – tuto funkci plní KČOV velmi dobře, a to bez ohledu na roční období. Průměrná specifická plocha kořenových čistíren v České republice je $5,08 \text{ m}^2 \cdot \text{EO}^{-1}$ (návrh), což odpovídá specifické ploše doporučené evropskými směrnici (Vymazal, 2016).



Obr. 6. Počet KČOV uvedených do provozu v období 1989-2011 v České republice (Vymazal, 2016)

- V grafu nejsou zaneseny některé KČOV (cca 25), protože nebylo možno určit přesně dobu uvedení do provozu



Obr. 7. Kořenové čistírny v České republice podle návrhového počtu ekvivalentních obyvatel (EO) (Vymazal, 2016)

5.2 Vnímání KČOV v zahraničí

První zmínky o kořenových čistírnách v Evropě se udávají kolem 50. let, zejména v Německu. Přelom 60. až 70. let byl pro vývoj kořenových čistíren ve světě klíčový. V tomto období se objevují první plně funkční kořenové čistírny, využívající vegetaci především

na území Nizozemska a Německa. Od té doby až po současnost nabyly tyhle kořenové čistírny enormní nárůst, který činil v roce 2004 přibližně kolem 60 000 čistíren (Kadlec a Wallace, 2009). Mezi největší zastávce těchto kořenových čistíren jednoznačně patří Německo, které se pyšní kolem 80 % z celkového počtu čistíren. Mezi další významné země, které podporují tuhle technologii čištění patří Rakousko s počtem 1 500 KČOV, Velká Británie (cca. 850 KČOV) a Dánsko (cca 500 KČOV), dále pak jsou významné státy jako Švýcarsko, Portugalsko a další. Je důležité poznamenat, že většina KČOV je tvořena jako malé domovní čistírny, které jsou často zapojeny do série za stávající septik (www.ceskaenergetika.cz, 2008).

Vývoj KČOV v celé řadě zemí, byl ve svých začátcích poznamenán velkým odporem, a to především ze stran úřadů, které měly k této nové technologii velký odpor, a byly zastánci klasických čistíren. Významným státem, který na to doplatil, bylo Rakousko, kde během 12 let vybudovali pouze 50 KČOV až s přibývajícími zkušenostmi a novou technologií byl tenhle odpor vůči kořenovým čistírnám zlomen a propukla velká éra budování KČOV na Rakouském území. Ale státy jako Velká Británie a Dánsko, zvolili zcela jiný postup k této nové technologii. Tyto státy nechaly vybudovat hned několik KČOV kde se ověřovala jejich účinnost a schopnost provozu. Díky mnohým získaným kladným výsledkům z těchto vybudovaných kořenových čistíren daly příslušné úřady kořenovým čistírnám zelenou. V dnešní době jsou již KČOV, úřady akceptovány jako vhodný způsob pro odstraňování nerozpuštěných látek a organického znečištění, jelikož tuto funkci plní kvalitně, a to bez vlivu ročního období (www.ceskaenergetika.cz, 2008).

5.3 Filtrační materiály všeobecně

První zmínky o používaném filtračním materiálu v České republice dokládají, že u prvních realizovaných staveb se výrazně využívaly hrubozrnné materiály s vysokou hydraulickou propustností, které měly kladný vliv na snižování rychlé kolmatace. Na počátku 90. let se začala využívat frakce praného štěrku o zrnitosti 4-8 mm, a také drceného lomového kameniva. V současnosti se stále více využívá hrubší frakce 8-16, 16-32 mm, které disponují vysokou hydraulickou vodivostí a přitom mají velkou efektivitu při odstraňování znečištění (Vymazal, 2016).

I když hrubozrnné materiály snižují rychlost kolmatace, po určité době provozu dochází k ucpávání filtračního lože především na vtokové části. Pokud se objeví voda na povrchu filtračního lože, neznamená to v žádném případě „poruchu“ čistírny ani nedochází ke zhoršené účinnosti čistírny. Jedná se o zcela přirozený proces, protože ani nejlepší předčištění, které je na trhu neodstraní veškeré nerozpuštěné látky z odpadní vody. Jelikož některé zachycené částice nejsou dlouhodobě rozložitelné a tudíž dochází k ucpávání filtračních loží. Pokud špatně provozujeme předčištění, dochází k tomuto jevu mnohem dříve.



Obr. 8. Ukázka vertikálního filtru na kořenové čistírně (Archiv ÚVHK)

Podloží musí být od filtračního pole izolováno, aby nedocházelo k nekontrolovatelným únikům do podzemních vod. Pro menší filtrační pole se většinou využívá plastová fólie PVC 803 tloušťky 1 mm. Pro větší filtrační pole se obvykle používá těsnicí fólie PE-H tloušťky 1,5 -2 mm. Pokud plastová fólie nedisponuje sendvičovou ochrannou vrstvou, v tom případě se doporučuje použít z obou stran fólie z geotextilie jako ochrana před poškozením, a především v případě použití ostrohranných filtračních materiálů. V případě přirozeného výskytu málo propustných jílu (hydraulická vodivost $< 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$) lze využít jíl jako těsnicí bariéru (Vymazal, 2016).

5.4 Vegetace

Rostliny na kořenových čistírnách odpadních vod jsou nedílnou součástí. I když disponují mnoha výhodami, tak ze stránky čistící nejsou pro nás příliš významné (Křiška a Němcová, 2015)

Podle polohy výskytu rostlin mají tyto funkce:

- vytvoření prostředí pro bakterie
- dodávku kyslíku
- odběr živin protékající vody
- tepelný izolant v zimě
- estetika
- biotop
- stabilizace povrchu (Mlejnská, a kol., 2009)

Pro osázení KČOV se v České republice nejvíce používá rákos obecný (*Phragmites australis*), především pro svou schopnost tolerovat zaplavení, značnou míru znečištění

a schopnost dobře prokořenit filtrační substrát do značných hloubek (běžně 0,6 až 1 metr). Ostatní níže vyjmenované rostliny se používají pro domovní kořenové čistírny vod (KČOV pro čištění komunálních odpadních vod), (Mlejnská, a kol., 2009).

Rákos obecný je často vysazován v kombinaci s chrasticí rákosovitou (*Phalaris arundinacea*), která roste rychleji než rákos a vytváří kompaktní porost již během prvního vegetačního období. V poslední době byl několikrát pro osázení kořenové čistírny použit i zblochan vodní (*Glyceria maxima*), což je rostlina typická pro eutrofní litorály stojatých vod.

Sklizeň vegetace bývá v České republice na konci zimního období, kdy už nejsou mrazy. Skoro ve všech případech skončí posekaný porost v kompostech nebo je spalován přímo v areálu čistírny (Mlejnská, a kol., 2009).

Pro malé domovní čistírny se využívají i jiné mokřadní rostliny, které mají navíc i dekorativní charakter, jako jsou například:

- orobince (*Typha* spp.)
- různé druhy kosatců (*Iris* spp)
- šmel okoličnatý (*Butomus umbellatus*)
- tužebník jilmový (*Filipendula ulmaria*)
- kyprej vrbice (*Lythrum salicaria*) (online zdroj 31)



Obr. 9. Rákos obecný (*Phragmites australis*) vlevo, Kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*) (online zdroj 31)

5.5 Sledované parametry

Znečištění, které přitéká kanalizací do čistírny, je podle dnešní legislativy charakterizováno a posuzováno několika dílčími ukazateli (viz níže). Podle spotřebovaného množství vody je produkováno znečištění v různé koncentraci uvedené v miligramech na 1 litr odpadní vody. Všechny tyto sledované koncentrace se společně s narůstající spotřebou vody snižují a při velké úspoře vody se koncentrace zvyšují.

Dle nařízení vlády 401/2015 je nutné sledovat koncentrace vybraných ukazatelů na odtoku z čistírny odpadních vod. Tyto ukazatele jsou popsány v kapitole 4.5.

5.6 Sezónní účinnost

Díky získaným výsledkům z kořenových čistíren jak z České republiky, tak od našich zahraničních sousedů, je jednoznačně prokazatelné, že na účinnost KČOV nemá vliv počasí, z důvodu tohoto, že výsledky z celého roku jsou podobné, a to především u BSK₅, CHSK_{Cr}, NL a fosforu (Langergraber a spol., 2003). Toto zjištění není pro NL žádným překvapením, jelikož jejich proces je na bázi mikrobiálního rozkladu a jedná se o fyzikální proces na rozdíl od fosforu, kdy se jedná o fyzikálně chemické procesy. Poněvadž jsou filtrační lože umístěna pod terénem a jsou do značné míry izolována od okolí, zapříčiňují, že teplota vody kolísá v průběhu roku méně než teplota vzduchu. V našich podmínkách se průměrná teplota vody ve filtračních vrstvách pohybuje okolo 13-15 °C a ve vegetačním období a 6-8 °C v nevegetačním období (Vymazal, 2016). Za vegetační období považujeme měsíce od května do října. Nevegetační období začíná v listopadu a končí na přelomu dubna. Stařinové rostliny mají zásluhu na izolaci kořenových polí. V závěru bych chtěl zmínit, že z nedávných výsledků bylo prokázáno, že bakteriální aktivita závisí více na přísunu organického uhlíku, a ne jak se do nedávna uvádělo, že závisí na teplotě (Vymazal, 2016).

5.7 Ukazatelé znečištění odpadních vod

Tyto ukazatelé znečištění slouží jako parametry, které se podílí na kvalitě povrchových a podzemních vod a mají také účast na ekologické rovnováze. Vyhodnocujeme a hlídáme tyto ukazatele znečištění:

5.7.1 Nerozpuštěné látky (NL)

Jsou to buď látky organického původu, nebo anorganického původu. Dále se dělí NL na usaditelné a neusaditelné. K tomuto druhu znečištění nepotřebujeme speciální přístroje na určení míry znečištění, většinou je tento druh znečištění viditelný pouhým okem. Jdou z vody odstranit mechanicky, a díky tomu je tato technologie relativně levná a snadná. U kořenových čistíren se musí toto znečištění eliminovat už na vstupu, v mechanickém předčištění, díky tomu předcházíme zamezení ucpávání materiálu filtru procesem kolmatace. Z pohledu správného provozování čistírny je tedy nutné mechanické předčištění optimálně naddimenzovat a dbát na jeho správný provoz (Malý, Malá, 2006).

5.7.2 Biochemická spotřeba kyslíku (BSK)

BSK je definována jako hmotnostní koncentrace rozpuštěného kyslíku spotřebovaného za stanovených podmínek oxického prostředí biochemickou oxidací organických popřípadě anorganických látek ve vodě. Vyjadřuje se v mg.l⁻¹. Hodnota BSK se odvíjí od doby inkubace. BSK se používá jako míra koncentrace biologicky rozložitelných látek. U chemických individuů se stanovuje specifická BSK, vyjadřovaná v gramech kyslíku na 1 gram sloučeniny (g.g⁻¹). Stanovení BSK je běžnou součástí chemických rozborů povrchových a odpadních vod.

Je jedním ze základních parametrů při posuzování účinnosti biologického čištění odpadních vod a při hodnocení biologické rozložitelnosti organických látek.

Teplota inkubace byla v celém světě sjednocena na 20 °C. Po celou dobu inkubace musí být vzorek vody ve tmě, aby nedocházelo k fotosyntetické asimilaci přítomných řas, při níž se produkuje kyslík a ten zapříčinění snižování hodnoty BSK.

Účinnost odstranění BSK₅ se pohybuje u horizontálních filtrů po zapracování nad 80 %, správně řešené vertikální čistí až 97 % BSK₅ (Kriška, Němcová, 2015; Malý, Malá, 2006).

Průběh biochemické spotřeby kyslíku závisí na době inkubace. Úplná biochemická oxidace organických látek obsažených ve splaškové odpadní vodě trvá asi 20 dní. Tato doba byla však příliš zdlouhavá a nákladná, proto se zavedla jednotná inkubační doba 5 dní. Výsledek potom nese zkratku BSK₅, a udává se jako pětidenní biochemická spotřeba kyslíku.

Pro zjištění BSK hodnoty se využívají následující metody:

- Zřed'ovací metoda
- Respirometrická metoda, založená na principech plynoměrné analýzy

Výsledné hodnoty BSK zjištěné z uvedených metod nelze porovnávat, jelikož se pracuje za různých podmínek. Výsledky respirometrických měření nemohou nahradit výsledky zjištěné standardní zřed'ovací metodou (Pitter, 2009).

5.7.3 Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)

Za pomoci oxidačního činidla, které je použito na spotřebu oxidace, se určuje koncentrace organických látek ve vodě, ze kterých stanovujeme CHSK. Výsledné hodnoty se přepočítávají na kyslíkové ekvivalenty a udávají se v mg.l⁻¹.

Organické látky mohou být oxidované do různého stupně, který stejně jako rychlost oxidace závisí na struktuře organické látky a také na použité metodě CHSK. Stupeň chemické oxidace se porovnává s teoretickou spotřebou kyslíku, která se udává v gramech nebo v molech kyslíku potřebného pro úplnou oxidaci 1 g (molu) organické látky podle stechiometrie až na CO₂. Stupeň oxidace se vyjadřuje v procentech z teoretické spotřeby kyslíku. Při chemické oxidaci dusíkatých látek závisí produkty oxidace na charakteru vazby dusíku v molekule sloučeniny.

Přepočet CHSK nebo ThSK na obsah organických látek ve vodě závisí na jejich elementárním složení. Z praktického hlediska se převodní koeficienty pro směsi organických látek v různých odpadních vodách mohou pohybovat asi od 0,3 do několika jednotek. Z toho vyplývá, že převodní koeficient může být buď vyšší, nebo nižší než 1,0. U splaškových a průmyslových potravinářských odpadních vod, které mají různé složení, se většinou počítá, že na 1 g CHSK připadá asi 0,8-0,9 g organických látek.

Kořenové čistírny běžně nemají problém s odstraněním znečištění ve formě CHSKCr, účinnost se pohybuje často nad 85 - 90 % – většina znečištění se odstraní téměř u přítoku na filtrační pole filtrací (Pitter, 2009).

5.7.4 Fosfor (P_{celk})

Fosfor můžeme rozdělit podle zdrojů na dvě skupiny

- přírodní – louhování půd, minerálů a zvětralých hornin
- antropogenní – prací, čistící, odmašťovací a mycí prostředky, hnojiva

Taky jako dusík je fosfor obsažený v živočišných odpadech, který se vyprodukuje jak od zvířat, tak od lidí. Denní produkce člověka odpovídá zhruba 1,5 g fosforu, dále ale musíme připočítat fosfor z prostředků v domácnosti, čímž se specifická produkce fosforu zvyšuje až na 2-3 mg P na 1 obyvatele za den (Malý, Malá, 2006).

Za pomoci důlní hlušiny a strusky, u kterých musíme předem zjistit, zda nevyklučují nežádoucí látky (např. TK), můžeme navýšit odstraňování fosforu. Po nějaké době je zapotřebí vyměnit celou náplň, z důvodu sorpční kapacity. V současnosti se používá kačírek, šterk, drcené kamenivo a praný písek, které slouží jako filtr na KČOV. Tyto materiály mají nízkou sorpční kapacitu a jejich účinnost nepřesahuje při odstraňování fosforu 50% (Vymazal, 2004). Adsorpce fosforu je závislá na těchto faktorech: povrch filtračního materiálu, pH a hydraulická vodivost (AYAZ a spol., 2012b).

Organický fosfor získáváme, z přeměn sloučenin fosforu společně s mnoha druhy organismů. Po odumření a rozkladu organismů se fosforečnany opět uvolňují a zakončují tak přírodní koloběh fosforu. Přemnožení řas a sinic ve vodě, mají za zapříčnění fosforečnany, kvůli kterým dochází ke zhoršení kvality vody.

Hygienické limity fosforečnanů nejsou ve vodě sledovány, a to ani u balené, jelikož jsou pro člověka zdravotně nezávadné (Malý, Malá, 2006; Pitter, 2009).

5.7.5 Dusík (N_{celk})

Patří do skupiny nutrientů neboli živin. Dusík je stavebním kamenem pro biologické procesy ve všech povrchových, podzemních a odpadových vodách. Je potřebný při procesu úpravy vody. Dusík se vyskytuje v organických nebo anorganických formách. Rozklad organických látek na živočišných a rostlinných je nedílnou součástí pro vznik dusíku.

Mezi významný zdroj sloučenin dusíku patří splaškové vody, dále splachy ze zemědělské půdy a odpady z živočišné výroby (především amoniakální dusík) a zemědělství. Specifická produkce dusíku záleží na mnoha ukazatelích a faktorech, ale největší podíl má vybavenost bytu, avšak nejčastěji, počítáme s hodnotou 12 g celkového dusíku na 1 obyvatele za 1 den.

Organický vázaný dusík obsahuje nejen bílkoviny a jejich rozkladné produkty, které jsou aminokyseliny, a peptidy, ale také močovinu. Anorganický vázaný dusík obsahuje dusičnany, dusitany a amoniakální dusík. Sloučeniny dusíku (Pitter, 2009).

5.7.6 Amoniakální dusík (N-NH₄⁺)

Amoniakální dusík se dostává na čistírnu ve formě močoviny v čerstvé odpadní vodě, přičemž podléhá snadno rozkladu. Ale právě z močoviny vzniká N-NH₄⁺. Díky anaerobních procesů a zpomalení biochemických procesů v recipientu, což má vyšší koncentraci. Při vysokém pH je také možný přechod N-NH₄⁺ na NH₃, který je vysoce toxický vůči rybám. K odstranění amoniakálního dusíku je nutné velké množství kyslíku. Abychom zaručili dostatečné odstranění dusíku na kořenové čistírně, je nezbytné využít pulzně skrápěný vertikální filtr, ve kterém je nadvláda aerobního prostředí (Křiška, Němcová, 2015), (Malý, Malá, 2006).

Amoniakální dusík je ve vodách za oxických podmínek nestálý a velmi snadno podléhá biochemické oxidaci (nitrifikaci), která bude podrobněji probrána v kapitole 6.4. Na rozdíl od biochemické oxidace je chemická oxidace poměrně obtížná a vyžaduje katalýzu. Jediným činidlem, který lze ve vodných roztocích snadno oxidovat amoniakální dusík je chlor. Amoniakální dusík ve vodě významně zvyšuje korozi mědi a jejich slitin, v závislosti na koncentraci amoniakálního dusíku a na hodnotě pH.

Amoniakální dusík je z hygienického hlediska velmi významný, protože je jedním z primárních produktů rozkladu organických dusíkatých látek. Je proto důležitým chemickým indikátorem znečištění podzemních vod živočišnými odpady (indikátorem fekálního znečištění), zejména tehdy, pokud dojde k náhlému zvýšení jeho koncentrace. Je však nutno předem vyloučit anorganický původ (hnojiva) nebo vznik rozkladem organických dusíkatých látek rostlinného původu (Pitter, 2009).

5.8 Množství odpadních vod

Mezi hlavní producenty, kteří způsobují znečištění odpadních vod, patří obyvatelstvo, živnostenské, průmyslové a zemědělské provozy. Znečištění z průmyslu a zemědělství bývá ideálně řešeno samostatně, aby se vůbec na odtoku odpadních vod z provozu nepodílelo. Pro sjednocení a usnadnění výpočtu vznikl pojem ekvivalentní obyvatel (EO), kde je definovaná produkce znečištění 60 g BSK₅ za den (MŽP PRAHA, 2009).

Množství odpadní vody závisí na spotřebě vody, která v České republice klesá. Do návrhu taky musíme připočítat balastní vody, které vznikají díky netěsnostem v kanalizační síti nebo jiným způsobem. Taktéž v kanalizaci se můžou objevit srážkové vody, které jsou sváděny ze zpevněných ploch a zastavěných ploch. Kvalita srážkové vody je proměnlivá. Koncentraci znečištění můžou do značné míry ovlivnit vody srážkové a balastní. Dlouhé bezdeštné období má značný dopad na koncentraci organického znečištění a to zejména v období intenzivních dešťů, kdy se velké množství písku splachuje. K velké koncentraci organického znečištění dochází také v jarním období, kdy taje sníh, který má vysoký obsah soli (Malý, Malá, 2006).

6 Čistící procesy v kořenových čistírnách

Čistící procesy, které probíhají ve filtračním prostředí, jsou tvořeny z procesů fyzikálních (sedimentace a filtrace), fyzikálně-chemické (adsorpce), chemické (srážení sloučenin a rozklad látek, oxidace a redukce) a biologické, které jsou zajišťovány mikroorganismy (Šálek, Tlapák, 2006).

6.1 Nerozpuštěných a organických látek

Nerozpuštěné látky (NL), jak už jsem zmiňoval, se dříve odstraňují v procesech sedimentace a filtrace. Příznakem nedokonalého předčištění se NL zdržují v okolí přítoku odpadní vody na filtru, a to má za příčinu ucpávání filtračního lože a povrchový odtok, které mají za příčinu snížení čistícího účinku.

Organické látky jsou odstraňovány na kořenových čistírnách s vysokou účinností. Mezi výhody kořenových čistíren patří vlastnost spolehlivě čistit i odpadní vody s nízkou vstupní koncentrací organických látek. Pomocí filtračního lože dochází k mikrobiálnímu rozkladu organických látek na jednodušší sloučeniny, díky aerobním a anaerobním podmínkám může probíhat tento proces (Vymazal, 2011).

6.2 Odstraňování dusíku

Pokud ve vodách figuruje zvýšená koncentrace dusíku a fosforu, má to za následek nerovnováhu ve vodním ekosystému. Jestliže se vyskytuje zvýšené množství živin ve vodách, umí tyto živiny nejlépe zúročit řasy a sinice, které mají zapříčinění na vytlačení ostatních rostlin svým růstem. Z tohoto důvodu dochází k odumření a rozkladu, která se projeví snížením koncentrace kyslíku ve vodě, kvůli čemuž dochází až k úhynu ryb a bezobratlých živočichů. Tento jev může taky nastat v opačném případě, když se přemnoží řasy a sinice, vinou zvýšené produkce kyslíku a uvolňováním toxického amoniaku. V pitné vodě jsou zvýšené koncentrace dusičnanů a dusitanů nepřipustné.

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

Mezi biologické procesy podílející se na transformaci dusíku patří: amonifikace, nitrifikace, denitrifikace a zachycení dusíku rostlinami. Amoniak je v aerobním prostředí oxidován na dusičnany procesem zvaným nitrifikace. Dusičnany jsou odstraněny díky denitrifikací (Malý, Malá, 2006).

6.3 Amonifikace

Díky amonifikaci se rozloží aminokyseliny na amoniakální dusík. Amonifikace je proces, při kterém se uvolňuje energie, která je využívána mikroorganismy pro jejich růst. Největší část tohoto procesu probíhá v horních vrstvách filtru, kde působí aerobní prostředí. Proces amonifikace kolísá s hloubkou. V anoxickém a anaerobním prostředí její rychlost výrazně klesá. Amonifikace probíhá v aerobním prostředí výrazně rychleji než nitrifikace (Pitter, 2009).

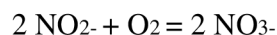
6.4 Nitrifikace

Za přítomnosti amoniakálního dusíku probíhá BSK₅ ve dvou fázích. Nejprve probíhá oxidace organických uhlíkatých látek a potom také oxidace amoniakálního dusíku uvolněného z organických dusíkatých látek. Tato nitrifikace je nežádoucí, protože zvyšuje výsledky stanovení BSK₅, která se považuje za míru obsahu biologicky rozložitelných organických látek. U splaškových vod začíná nitrifikace asi po 10 až 13 dnech. Z důvodu, že nitrifikující látky nejsou přítomné v dostatečném množství.

Spotřeba kyslíku nitrifikací v odtoku je příčinou zdánlivě menší účinnosti biologické čistírny odpadních vod, vyjádřené v % BSK₅.

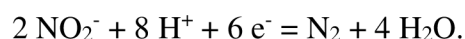
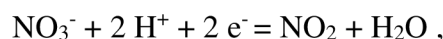
Při posuzování kvality na odtoků a účinnosti biologického čištění je nezbytně nutné od sebe odlišit BSK₅ na oxidaci organického uhlíku od BSK₅ oxidaci anorganického dusíku. Optimální řešením je stanovení BSK₅ u vycištěných odpadních vod s potlačením nitrifikace nebo výpočet potenciální spotřeby kyslíku na nitrifikaci z koncentrací forem anorganického dusíku, zjištěných chemickým rozbořem vody podle rovnic (Pitter, 2009).

Nitrifikace probíhá ve dvou stupních, které lze znázornit rovnicemi:

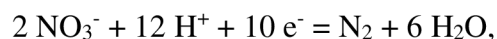


6.5 Denitrifikace

Denitrifikace probíhá za anoxických podmínek (v prostředí bez molekulárního kyslíku) za přítomnosti chemoorganotrofních bakterií. Proces se skládá ze dvou stupňů. V prvním stupni jsou dusičnany redukovány na dusitany, s níže uvedené rovnice a v druhém stupni jsou dusitany dále redukovány na dusík, resp. oxid dusný, což je uvedené v druhé rovnici.



Výslednou redukci vyjadřuje rovnice:



Denitrifikace probíhá jen v rozmezí 6 až 9 pH. Nad hodnotou pH 7,3 vzniká především N_2 , při nižších hodnotách N_2O (Malý, Malá, 2006).

6.6 Odstranění fosforu

Schopnost moderních kořenových čistíren odstraňovat fosfor je oproti schopnosti odstraňovat BSK_5 , $CHSK$, $N-NH_4^+$ relativně nízká. Čistící procesy, mezi které patří příjem rostlinami a asimilace mikroorganismy, se na odstraňování fosforu podílejí minimálně. Výzkumy v zahraničí, které zkoumají dynamiku fosforu ve filtračním poli, ukazují, že procesem adsorpce je odstraněna největší část znečištění (53,3% z celkového fosforového znečištění). Dále se na odstranění podílejí procesy extrakce fosforu (13,5%) a příjem rostlinami, který je však zanedbatelný (0,49%). Hlavní proces podílející se na odstranění fosforu je sorpce na filtrační médium. Účinnost odstranění fosforu může být zvýšena použitím sorbentů jako filtračního média, které mají vysokou schopnost na sebe fosfor vázat. Především se jedná o materiály obsahující CaO . Mezi materiály s vysokou sorpční schopností patří produkty vedlejšího původu z průmyslu (např. struska z vysokých pecí), přírodní materiály (slínovce), nebo vyrobená filtrační média. Sorpční kapacita těchto materiálů se však v čase snižuje a proto je po určité době nutná výměna (Ouyang, a spol., 2015).

Tyto materiály nejsou na kořenových čistírnách v České republice využívány, jelikož koncentrace fosforu není nutné do 2000 EO sledovat. V zahraničí je situace jiná. Například v Norsku, Estonsku a Portugalsku, kde jsou velmi přísné limity na vypouštění fosforu, se jako filtrační materiál používá termicky expandovaný jíł (Vymazal, 2016).

Nejúčinnější metodou odstranění fosforu na KČOV je jeho srážení pomocí sloučenin solí, železa a hliníku, podobně jako je tomu u jiných typů čistírenských technologií. Z výše uvedených důvodů se na kořenových čistírnách fosfor nesráží, ale v zahraničí, např. v Rakousku (Langergraber, 2016), je dávkování srážedla před sedimentační nádrž zcela běžné.

6.7 Odstraňování ostatního znečištění

Velká pozornost se upíjí k odstraňování těžkých kovů při sledování nebezpečných látek obsažených v odpadní vodě. Těžké kovy se vyznačují vysokou toxicitou a karcinogenitou. Díky průmyslu se těžké kovy dostávají do odpadních vod, kde jsou nebezpečné pro zdraví zejména zvýšeným obsahem chromu, mědi, stříbra, olova a v neposlední řadě zinku. Díky sedimentaci, filtraci a adsorpci na filtru, přičemž adsorpce rostlinami oproti ostatním je zanedbatelná, se nám prozatím daří odstraňovat výše zmiňované těžké kovy (Pe, 2003).

Na podkladě provedených měření na třech Českých KČOV se podařilo zjistit, že největší účinnost mají kořenové čistírny při odstranění hliníku (90%) a zinku (78%), toto měření proběhlo v období 2006 -2008. Účinnost odstranění uranu, mědi, olova a železa se pohybovala mezi 50 a 75 procenty. Odstranění kadmia a selenu bylo naopak velmi nízké (Vymazal, Kropfelová, 2009).

7 Proces kolmatace

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

Mezi hlavní příčiny zanášení filtru řadí Knowles a kol. zadržování nerozpuštěných látek, růst biofilmu a jeho rozklad, růst vegetace a chemické vlivy, především srážení a adsorpci. Hua a kol. dokázali, že rychlost procesu kolmatace závisí především na hydraulickém zatížení filtru a koncentraci znečištění, především znečištění BSK₅, CHSK a NL. Naopak vliv růstu rostlin a ucpávání pórů filtru jejich kořeny je zanedbatelný. U filtrů kořenových čistíren, které jsou celé uloženy pod zemí, se výskyt a rozsah kolmatace špatně posuzuje. Jedny z možných ukazatelů, které mohou poukazovat na začínající projevy kolmatace u vertikálních filtrů, jsou snížený obsah dusičnanů na odtoku z čistírny, jako důsledek snížené schopnosti nitrifikace, a snižování koncentrace kyslíku ve filtračním poli (Petitjean, a spol., 2016)

Proces kolmatace také ovlivňují materiálové charakteristiky filtru. Čím jemnější filtrační materiál je použit, tím vyšší je náchylnost filtru na ucpání. Z tohoto důvodu jsou vertikální kořenové filtry více náchylné na kolmataci než filtry horizontální. U vertikálních filtrů je tedy nutné klást mnohem větší důraz na účinné mechanické předčištění, které odstraní co nejlépe nerozpuštěné a organické látky. Kolmatace bývá hlavní příčinou nefunkčnosti vertikálních kořenových filtrů právě z důvodu špatně navrženého mechanického předčištění (Kriška, Němcová, 2016).

7.1 Příčiny kolmatace

Mezi závažné problémy s kterými se můžeme setkat u kořenových čistíren, patří kolmatace pórovitého materiálů zapříčiněna nerozpuštěnými látkami a vyplavovaným kalem. Jeden z hlavních dvou parametrů, které ovlivňují ucpávání substrátu, je množství nerozpuštěných látek (Langergraber a spol., 2003; Ruiz a spol., 2010). Dalším faktorem, který ovlivňuje kolmataci, se udává složení zrnitosti filtračního materiálu, na vegetačním krytu, v době provozu a obsahu kyslíku ve filtračním loži, protože při nedostatku kyslíku jsou narušeny rozkladné procesy (např. nitrifikace) a vytváří se anaerobní prostředí (Mlejská a spol., 2009).

Mezi příčiny intenzivní kolmatace dle terénního průzkumu patří:

- Smyvy ze silně znečištěného odvodňovaného prostředí (vysoká koncentrace minerálních i organických látek) pocházející z jednotné stokové sítě. V jednotné stokové síti se nachází značné množství sedimentů, které se nárazově uvolňuje zejména v období vydatných přivalových srážek. Důsledkem je přetížení mechanického stupně čištění a následné snížení čistícího efektu.

- Nevhodně řešeným dešťovým oddělovačem je mechanický stupeň čištění vystaven vysokým průtokům odpadních vod a dochází k vyplavování kalu z usazovací nádrže.
- Nekvalitně navržený mechanický stupeň čištění (např. velkoobjemové komorové septiky, špatné konstrukční řešení usazovacích nádrží), (Hyánková, 2007).



Obr. 10. Ukázka kolmatace na horizontálním poli (*archiv ÚVHK*)

8 Kořenová čistírna odpadních vod v Dražovicích

8.1 Obecné informace o obci Dražovice

8.1.1 Základní informace

Obec Dražovice leží uprostřed pomyslného trojúhelníku, jehož vrcholy představují tři moravská města – Vyškov, Bučovice a Slavkov. Katastr se rozprostírá na 642 ha.

V Dražovicích se nachází občanské vybavení jako je například základní škola, školní jídelna, knihovna, pošta, tělocvična, koupaliště a mateřská školka. V roce 1995 prošla celá obec plynofikací, disponuje vlastním vodovodem, kanalizací a kořenovou čistírnou odpadních vod (online zdroj 28).



Obr. 11. Mapa obce Dražovice (online zdroj 29)

Tab. 8. Sčítání obyvatel k roku 2015 (online zdroj 29)

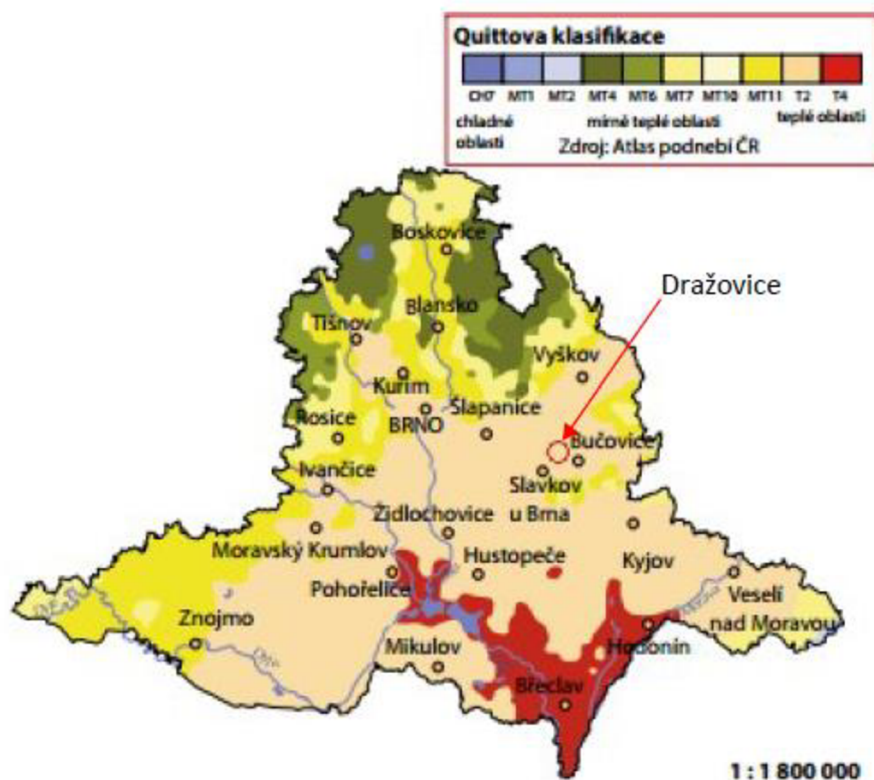
Počet obyvatel						
	PO bydlících k 31.12. 2015	Počet obyvatel ve věku				Střední stav obyv. k 1.7.2015
		0 - 14 let	15 - 59 let	60 - 64 let	65 a více let	
celkem	904	156	542	58	148	900
muži	451	76	285	31	59	449
ženy	453	80	257	27	89	451

8.1.2 Geologické poměry

Obec Dražovice se z geologického hlediska nachází na území rozhraní dvou pohoří, a to Českého masivu a Karpat. Symbolickou hranici mezi těmito horskými systémy je Vyškovský úval, z hlediska geografického se jedná o Vyškovskou bránu.

8.1.3 Klimatické poměry

Klimatické podmínky obce Dražovice jsou dány velkými výškovými rozdíly. Nejvyšší místa zmiňované obce dosahují nadmořské výšky více než 800 m. n. m. V nejnižších místech dosahuje nadmořská výška okolo 200 m. n. m. Tyto výkyvy nadmořských výšek přináší rozdílné klimatické poměry v dané oblasti. Dle Quittovy klasifikace je katastrální území Dražovice řazeno do oblasti T2, což znamená, že toto území spadá do teplé oblasti.



Obr. 12. Klimatické členění Jihomoravského kraje (online zdroj 28)

8.2 Základní informace o KČOV v obci Dražovice

V roce 2000 byla v obci Dražovice uvedena do provozu kořenová čistírna odpadních vod.. Technologie byla navržena dle projektu VH atelier, s.r.o. Brno. Od uvedení čistírny do provozu probíhá pravidelný monitoring kvality vypouštěné odpadní vody. Monitorované jsou funkčnosti jednotlivých objektů, které se nachází na kořenové čistírně. Toto sledování nám zaručuje zjištění závažných nebo méně závažných nedostatků, které odvíjí správné fungování KČOV.

Kořenová čistírna v Dražovicích se skládá ze tří hlavních stupňů čištění. První stupeň tvoří mechanické předčištění, kde se nachází odlehčovací komora, která slouží pro odvedení vyšších průtoků za deště do dešťové zdrže. Za odlehčovací komorou se nachází ručně shrabované česle s lapákem písku. Posledním objektem v mechanickém předčištění je usazovací nádrž. Celý tento čistící stupeň je oplocen z důvodu zabránění vniku nepovoleným osobám. Druhý stupeň čištění se skládá ze tří polí, kde první dvě pole slouží jako horizontální filtr a zbývající pole slouží pro vertikální filtr. Poslední stupeň čištění je složen ze stabilizační biologické nádrže.

8.2.1 Zatížení čistírny

Při průzkumu KČOV a z výsledku analýz obsahu znečištění v odpadní vodě je patrné, že v průměru není zatěžována množstvím, které odpovídá projektovaným předpokladům. Kapacitně čistírna byla projektována na 780 EO, zatímco v současnosti zatížení odpovídá ekvivalentu zatížení od 850 EO. Návrh byl proveden podle rovnic pro výpočet odstranění organického znečištění a nerozpuštěných látek (viz. Šálek, Tlapák, 2006; Vymazal, 1995). Z toho důvodu došlo v roce 2015 k významné změně technologie čištění, kdy byl poslední ze zapojených horizontálních filtrů, který dosahoval nejnižší čistící účinnosti, přestavěn na vertikální filtr.

8.2.2 Technologie KČOV

Čistírna se skládá ze tří hlavních stupňů čištění. Na přívodu odpadní vody do čistírny se nachází odlehčovací komora, která odlehčuje dešťové průtoky do dešťové zdrže. Za touto komorou se nachází mechanické předčištění, které se skládá z jemných ručně stíraných česlí, horizontálního šterbinového lapáku písku a šterbinové usazovací nádrže. Šterbinová nádrž slouží k sedimentaci usaditelných látek v odpadních vodách a k anaerobnímu vyhnívání zachyceného kalu.



Obr. 13. Odlehčovací komora (vlevo), dešťová zdrž (vpravo)



Obr. 14. Štěrbínový lapák písku (vlevo), ručně stírané česle (vpravo)

Dle původního návrhu KČOV byl hlavní čistící stupeň tvořený soustavou tří paralelně zapojených horizontálních filtrů, které jsou důležité pro odstranění organického znečištění především $CHSK_{Cr}$ a BSK_5 . Tato filtrační pole jsou nasycena odpadní vodou (je zde držena výška hladiny). Přítomnost odpadní vody v pórech filtrační náplně má za příčinu nedostatečné prokysličování a nevytvoření podmínek pro přítomnost nitrifikačních bakterií. Za těchto podmínek nemůže docházet k odstraňování amoniakálního dusíku. Všechna přítomná pole mají totožné rozměry (30 * 50 m) a taktéž jsou totožné u konstrukční skladby, která je v rozmezích 0,7-1 m. Pole jsou vybudovaná se sklonem dna 1,2%. Jako filtrační materiál je použito kamenivo s frakcí 8/16 mm. Celková plocha polí tvoří 3 900 m².

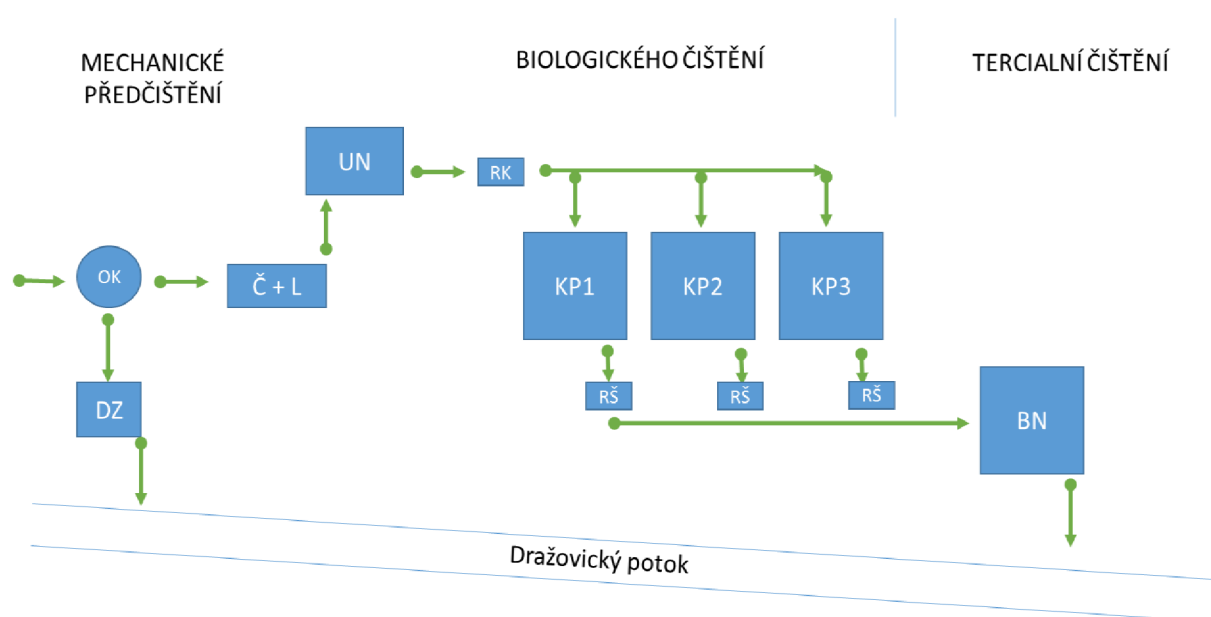


Obr. 15. Letecký pohled na všechna tři kořenová pole (archiv ÚVHK)

Poslední stupeň čistírny (terciální dočištění) tvoří stabilizační biologická nádrž, která má za úkol snížit zbytkové znečištění, eliminaci amoniakálního znečištění a odstranění nutrientů.



Obr. 16. Stabilizační biologická nádrž (archív ÚVHK)



Obr. 17. Schéma kořenové čistírny v Dražovicích

- OK – odlehčovací komora, DZ – dešťová zdrž, Č + L – česle a lapák písku, UN – usazovací nádrž
- RK – rozdělovací komora, KP kořenová horizontální pole, revizní šachta
- BN – stabilizační biologická nádrž

8.2.3 Provoz a provozní problémy na KČOV Dražovice

Čistírna je hydraulicky přetížená, převážně objekty mechanického předčištění vyžadují zvýšenou pozornost a pravidelnou obsluhu.

Kontrola kořenové čistírny se provádí každý den příslušným pracovníkem.

Tento pracovník má za úkol následující úlohy:

- Velmi často je nutné čistit česle.
- Každého čtvrt rok musí zajistit vývoz anaerobního stabilního kalu ze šterbinové usazovací nádrže.
- Každý den projít celou KČOV a zjistit funkčnost nebo popřípadě vyřešit závady.
- Starat se o správný chod celé KČOV.
- Vybírání písku a šterku z lapáku písku.

Horizontální filtry jsou, po celou dobu provozu KČOV, osázeny rákosem obecným. Vegetace rákosu obecného je každé dva roky pravidelně sečena a sklízena z povrchu filtru vždy po zimní sezóně, před začátkem nového vegetačního období. V zimním období slouží mokřadní vegetace jako částečná tepelná izolace a tím pádem zabraňují zamrznutí filtračního prostředí.

Stabilizační biologická nádrž je za dobu provozu čistírny zanesena sedimentem, který je tvořen částečně uniklým kalem a zejména pak rozloženou biomasou okřehku a řas (prvních 5 let provozu nebyla biomasa sklízena, tím docházelo ke snižování retenčního prostoru). V roce 2008 byl proveden průzkum množství sedimentu a navržen další postup s ohledem na zajištění odpovídajícího čistícího účinku. Od roku 2005 dochází k pravidelnému odstraňování biomasy okřehku z hladiny stabilizační nádrže. Tímto dochází odstranění akumulované organické hmoty obsahující značné množství dusíku a fosforu.

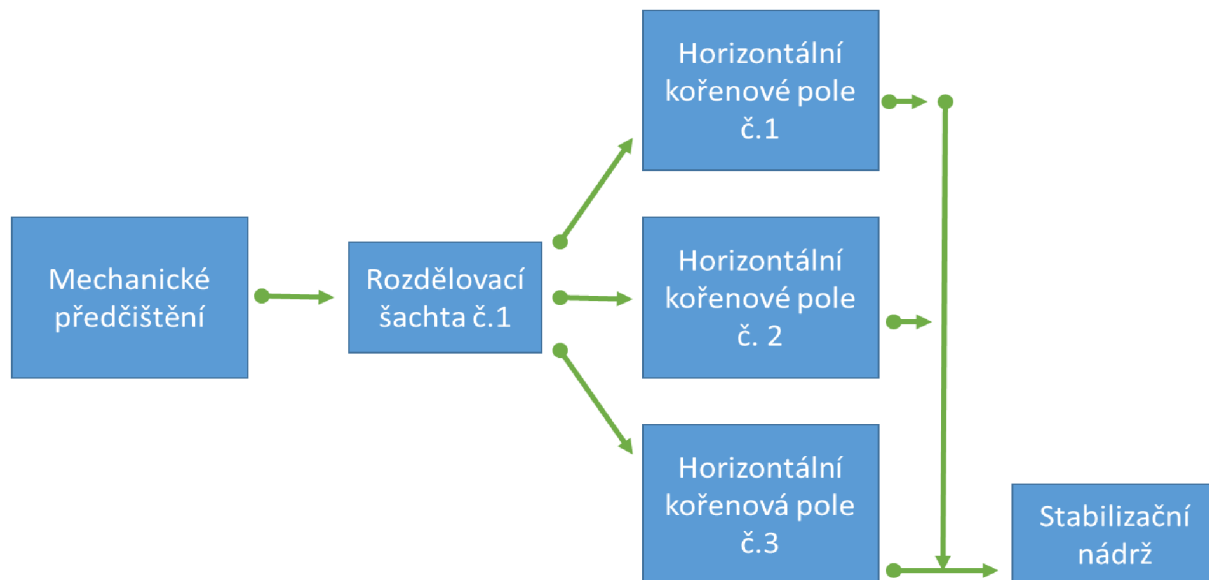
KČOV byla dlouhodobě sledovaná po stránce účinnosti, a výsledky tohoto sledování odhalily několik závažnějších problémů, které měly dopad na správnou funkci čistírny.

Provozní problémy KČOV byly následující:

- Únik kalu z usazovací šterbinové nádrže při vysokých průtocích.
- Ve stabilizační nádrži vzniká sekundární znečištění v důsledku rozkladu biomasy na konci vegetačního období.
- Zakolmatovaný povrch horizontálních filtrů, který musel být odtěžen.
- Poddimenzovaná stabilizační nádrž jako dočišťovací prvek (plocha hladiny asi 780 m² odpovídá podílu 1 m²/1 EO. Doporučené hodnoty pro dočišťovací nádrže jsou však na úrovni 10 až 15 m²/1 EO (např. Šálek, Tlapák, 2006).

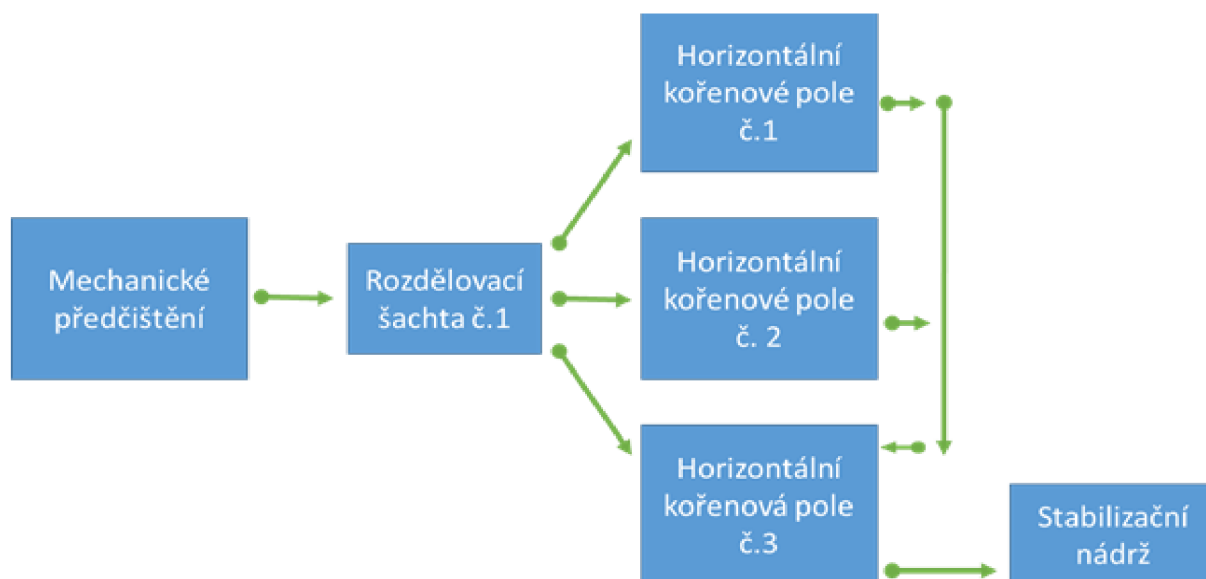
9 Rekonstrukce KČOV

Dlouhodobě tato kořenová čistírna plnila legislativní limity v ukazateli CHSK_{Cr} a BSK_5 a NL. Ale se zpřísnující legislativou byla dražovická čistírna nucena plnit i limity pro parametr N-NH_4^+ , proto se zastupitelé rozhodli k rekonstrukci KČOV. Hlavním cílem rekonstrukce bylo zvýšit účinnost odstranění amoniakálního dusíku a zároveň navýšit účinnost odstranění organického znečištění pro ukazatele CHSK_{Cr} a BSK_5 .



Obr. 18. Schéma uspořádání KČOV Dražovice před rekonstrukcí

Na celé rekonstrukci se významně podílel Ústav vodního hospodářství krajiny VUT FAST v Brně. Rekonstrukce proběhla v roce 2016, a týkala se přestavby třetího filtračního pole. Z původního horizontálního filtru byla zachována drenážní vrstva potrubí i filtračního materiálu. Na tento podklad byl navezen nový filtrační materiál a byla instalována technologie distribučního potrubí a dávkovacích šachet. Nový vertikální filtr byl zapojen do série za oba horizontální filtry. Po této rekonstrukci bylo zapojení KČOV následující: mechanické předčištění, dva paralelně zapojené horizontálně protékané filtry, vertikální filtr, stabilizační biologická nádrž.



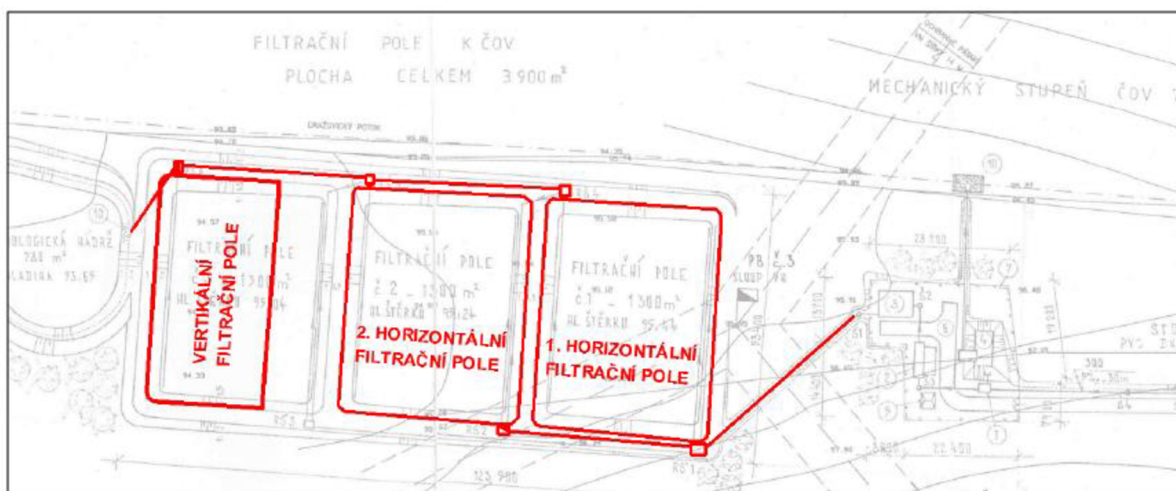
Obr. 19. Schéma uspořádání KČOV Dražovice po rekonstrukci

9.1 Vertikální filtr

Vertikální filtr byl uvedený do provozu v roce 2016. Umístěn byl na původním horizontálním filtru a zachován byl jen drenážní systém a drenážní vrstva. V roce 2017 byly z kraje jara vysazeny na povrch filtračního pole mokřadní rostliny, které zlepšují účinnost celého systému.

Volba materiálu filtrační vrstvy má významný vliv na správnou funkci vertikálních filtrů. Složení jednotlivých vrstev vychází z charakteristiky přitékající vody sloužené z minimálního obsahu nerozpuštěných látek, oproti přítoku snížené hodnoty $CHSK_{Cr}$ i biochemického organického znečištění BSK_5 . Doposud se jako filtrační materiál používal šterk frakce 4/8 mm. Abychom však zajistili bezpečný proces nitrifikace a využití poznatků ze zahraničí, byl zde aplikován praný písek frakce 0/4 mm o mocnosti filtračního materiálu 600 mm. Tento písek byl dovážen z nedalekého lomu Bratčice u Hrušovan. Na tomto druhu materiálu byly prováděny různé zkoušky, výpočty a pozorování.. Protože písek spadá do kategorie jemného materiálu, je nutné použít podkladní vrstvu, která slouží jako přechodový filtr z frakcí 4-8 mm s mocností 50–100 mm. Svrchní vrstvu tvoří s ohledem na mokřadní vegetaci a distribuci vody prané kamenivo z frakcí 4/8 mm s mocností 200 mm.

Na vertikálním poli se nachází nový navržený distribuční systém, který je chráněn užitným vzorem. Na tomto poli jsou umístěny dvě šachty, které tvoří 4 komory a jedno čerpadlo, které má svůj časovač, podle kterého bude spínat. V každé komoře je umístěn pulzní vypouštěč, který slouží k dávkování odpadní vody na filtr. Za pomoci plováku otevře klapku a odpadní voda je tlakem přiváděna pomocí systému potrubí na povrch filtračního pole. Do distribuční šachty je voda přiváděna čerpadlem. Díky přerozdělení jednoduchého mechanismu využijeme plně jedno čerpadlo, oproti původním čtyřem. Za velkou výhodou tohoto systému považujeme nízké investiční náklady.



Obr. 20. Schéma nového uspořádání filtračních polí pro intenzifikaci KČOV Dražovice
(Němcová, 2017)



Obr. 21. Letecký pohled na nově vybudovaný vertikální filtr (archív ÚVHK)

9.2 Postup výstavby

Výstavba vertikálního filtru na původním horizontálním filtru probíhala během letních měsíců roku 2016. Jako první bylo zapotřebí sejmutí vrstvy původního filtračního materiálu, který sloužil pro horizontální pole. Sejmutí se provádělo až do hloubky sběrného odtokového potrubí společně s drenážní vrstvou tvořenou ze šterku frakce 8/16 mm o cca mocnosti 40 cm. Na tuto vrstvu byla položena nová vrstva o tloušťce 20 cm z praného drceného šterku frakce 4/8 mm. Tento materiál byl použit pro vybudování ostrůvků, které slouží pro osazení šachet. Na zmiňovanou vrstvu navázala hlavní filtrační vrstva o tloušťce 60 cm praného říčního písku frakce 0/4 mm. Jako poslední, neboli svrchní vrstvu byl navezen říční šterk frakce 4/8 mm o tloušťce 20 cm.



Obr. 22. Průběh výstavby zpevněných ploch pro rozdělovací šachty (vlevo), pohled na rozdělovací šachtu na vertikálním filtru (vlevo), (archiv ÚVHK)

Na tento připravený podklad byl umístěn distribuční systém odpadní vody skládající se ze systému přívodních hadic z čerpací šachty, dvou čtyřkomorových šachet s pulzními vypouštěči a systému rozvodného potrubí.

Kvůli potřebě čerpání vody, museli vzniknout nové elektronické přípojky s elektrickou skříňkou, kde je možné zapojení čerpadel (Křiška, Gottwald, 2016).

9.3 Rozdělovací šachty

Šachty se nacházejí na ztuhlých plochách, které jsou na svrchní straně opatřeny betonovými panely, které zajistí lepší usazení šachet, ale také zároveň slouží pro roznesení rovnoměrně zatížení do podloží.

Jako konstrukční materiál pro tyto šachty byly použity polypropylénové modulové stěnové dílce o rozměrech 1000 * 1000 * 80 mm. Rozměry samotné šachty jsou 2*2*2 metry. Jednotlivé dílce jsou k sobě svařeny za pomoci trojitého návaru plastového spojovacího materiálu, aby se zajistila pevnost a vodotěsnost sváru. V průběhu prvních měsíců provozu se šachta zaizolovala polystyrénem o tloušťce 100 mm. Izolace proběhla, aby předcházela případnému promrzávání v zimním období.

Vnitřní prostory šachty tvoří čtyři dílčí komory, které slouží pro akumulaci odpadové vody. Tyto komory jsou opatřeny vypouštěcím zařízením, které navrhlo a patentovalo Vysoké učení technické v Brně, výrobce ASIO, spol. s.r.o., zařízení AS-PULZ). Tento systém je založen na principu pulzního vypouštění odpadní vody, které je opatřeno plovákem, který je připevněný k vypouštěcí klapce. Klapka se vždy otevře, pokud je dosažena maximální hladina odpadní vody v dílčí komoře. Udávaná maximální hladina v šachtě činí 1,4 metru. Nad touto hladinou se nachází rozdělovací mechanismus, který zajišťuje rovnoměrné rozdělení vody do jednotlivých komor.

9.4 Rozdělovací potrubí

Důležitým prvkem pro fungování vertikálního filtru je distribuční potrubí, které zaručí rovnoměrný přívod vody na celou plochu vertikálního filtru. Zde se uplatňuje pulzní vypouštění odpadní vody rovnoměrně po celé ploše pomocí vertikálního skrápěcího filtru. Při návrhu potrubí se vycházelo z poznatků a zkušeností s tímto systémem. Rozdělovací potrubí, které bylo vyzkoušeno a ověřeno, je určeno pro vnitřní kanalizace materiál šedý polypropylen, označení PP-H nebo PP-HT.

Potrubí je řešeno nejprve po napojení na rozdělovací šachtu jako DN110, z každé výusti nejprve přibližně 2,5 m přímý směr, následně v délce 6,0 m vedeno na střed zásobované plochy. Poté musí být napojen T-kus jako rozdělení na dva stejné proudy (vlevo a vpravo). Rameno jednotlivých rozdělovacích částí jsou osazena po vzdálenostech 600 – 800 mm.

Před finální montáží se do rozvodného potrubí vyvrtají otvory o průměru 5 mm po osové vzdálenosti 250 mm, které pak slouží k rozstříku odpadní vody na filtrační lože.



Obr. 23. Ukázka výtoku z penetrovaného rozdělovacího potrubí (vlevo), potrubí bude k těmto dlaždicím ukotvena pomocí „prstýnků“ (vpravo), (archiv ÚVHK)

Velký důraz se klade na výškové osazení potrubí, které musí být přesné ve vodorovné rovině maximální tolerance mezi nejnižším a nejvyšším úrovní je 1 cm. Proto je zapotřebí osadit rozdělovací potrubí na pevném podkladu například betonová dlažba. Vzdálenost mezi jednotlivými dlaždicemi má být maximálně po 800 mm. Potrubí bude k těmto dlaždicím ukotvena pomocí „prstýnků“, které můžeme vidět na Obr. 23.

9.5 Odběr vzorku z jednotlivých průtoků v období 2017 – 2018

V rámci výzkumných projektů doktorského studia Ústavu vodního hospodářství krajiny FAST VUT v Brně, probíhá, od uvedení vertikálního filtru do provozu, jeho nepřetržitý monitoring. Pravidelné odebrání vzorku v daném období z přítoku na VF, z odtoku VF a přítoku do nádrže sloužilo, pro jednotlivé určování koncentrací a převážně byly sledovány čistící účinky, zejména překročení limitních hodnot a úbytek znečištění na KČOV

v Dražovicích. Chemické analýzy jsou prováděny v laboratoři ÚVHK, pomocí vyhodnocení kvetových testů HACH ve spektrofotometru.



Obr. 24. Ukázka spektromeru (publikované z Docplayer)



Obr. 25. Odebrané vzorky z průtoků na KČOV v Dražovicích, podrobnější detail na vzorky (vlevo), oddálený pohled na vzorky (vpravo), (archív ÚVHK)

9.6 Hodnocení účinnosti čištění

Pro vyhodnocení účinnosti na vertikálním filtru byly použity reálné hodnoty, které byly získány, díky pravidelnému odebírání vzorků. Jednotlivé vzorky jsou odebírány z přítoku na vertikální filtr (odtok z horizontálních filtrů), dále pak na odtoku z vertikálního filtru (v revizní šachtě) a z přítokového potrubí do stabilizační nádrže.

Vyhodnocení výsledku jasně prokázalo, že zapojení vertikálního filtru přináší očekávanou účinnost čištění, která se zvýšila a nyní splňuje podmínky nařízení vlády č.401/2015 Sb. dané

přípustné hodnoty pro vypouštění odpadních vod do recipientu. V tabulce Tab. 9. lze vidět účinnost odstranění pro ukazatele $N-NH_4^+$ a $CHSK_{Cr}$ na vertikálním filtru

Tab. 9. Čistící účinnost vertikálního filtru pro ukazatele $N-NH_4^+$ a $CHSK_{Cr}$ v jednotlivých měsících za období 2017 - 2018

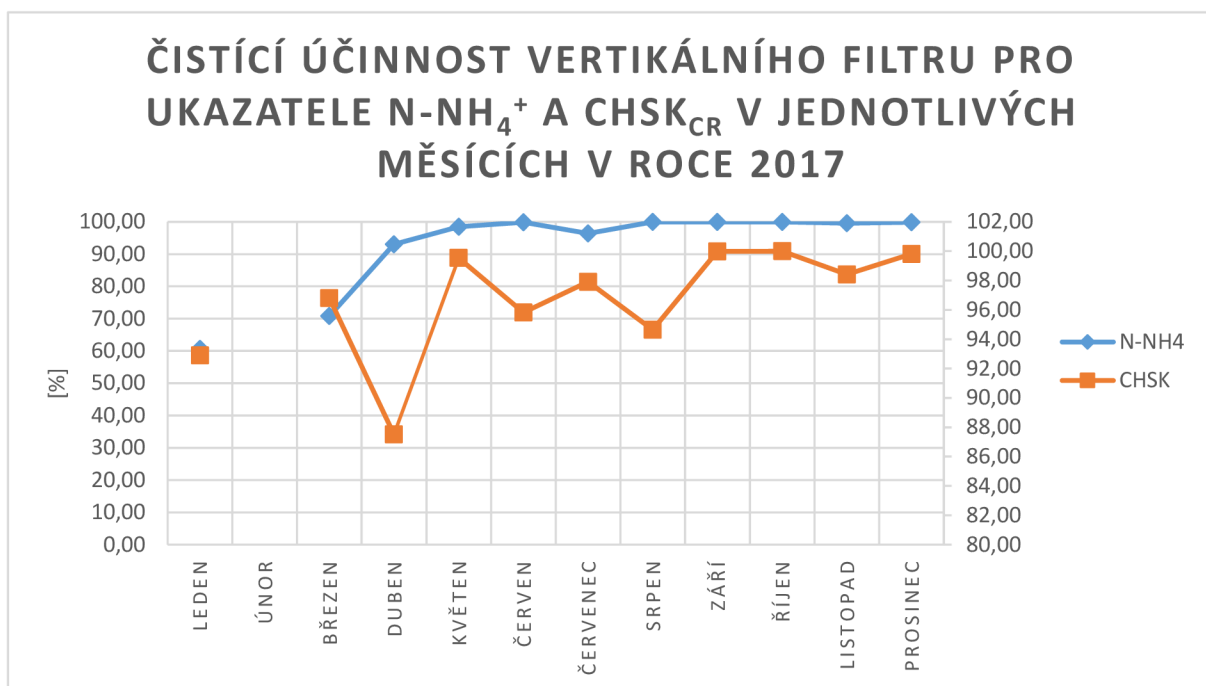
účinnost [%]					
2017	$N-NH_4^+$	$CHSK_{Cr}$	2018	$N-NH_4^+$	$CHSK_{Cr}$
Leden	60.60	92.90	Leden	99.12	94.71
Únor	xx	xx	Únor	97.14	91.44
Březen	70.80	96.80	Březen	93.67	51.20
Duben	93.08	87.52	Duben	88.40	94.94
Květen	98.45	99.53	Květen	99.26	91.69
Červen	99.88	95.82	průměr	95.52	84.80
Červenec	96.45	97.91			
Srpen	99.96	94.64			
Září	99.95	99.99			
Říjen	99.98	100.00			
Listopad	99.56	98.41			
Prosinec	99.88	99.81			
průměr	92.60	96.67			

V tabulce jsou uvedeny průměrné hodnoty účinnosti odstranění znečištění pro ukazatele $N-NH_4^+$ a $CHSK_{Cr}$ na vertikálním filtru pro jednotlivé měsíce v roce 2017 a 2018. Účinnost byla vypočtena z průměrných hodnot měřených koncentrací. Chybějící výsledky pro měsíc únor 2016 jsou zapříčiněné odstavení provozu KČOV v tomto měsíci. Problematika přerušování provozu v KČOV v tomto období bude popsána v samostatné kapitole, která bude uvedena níže.

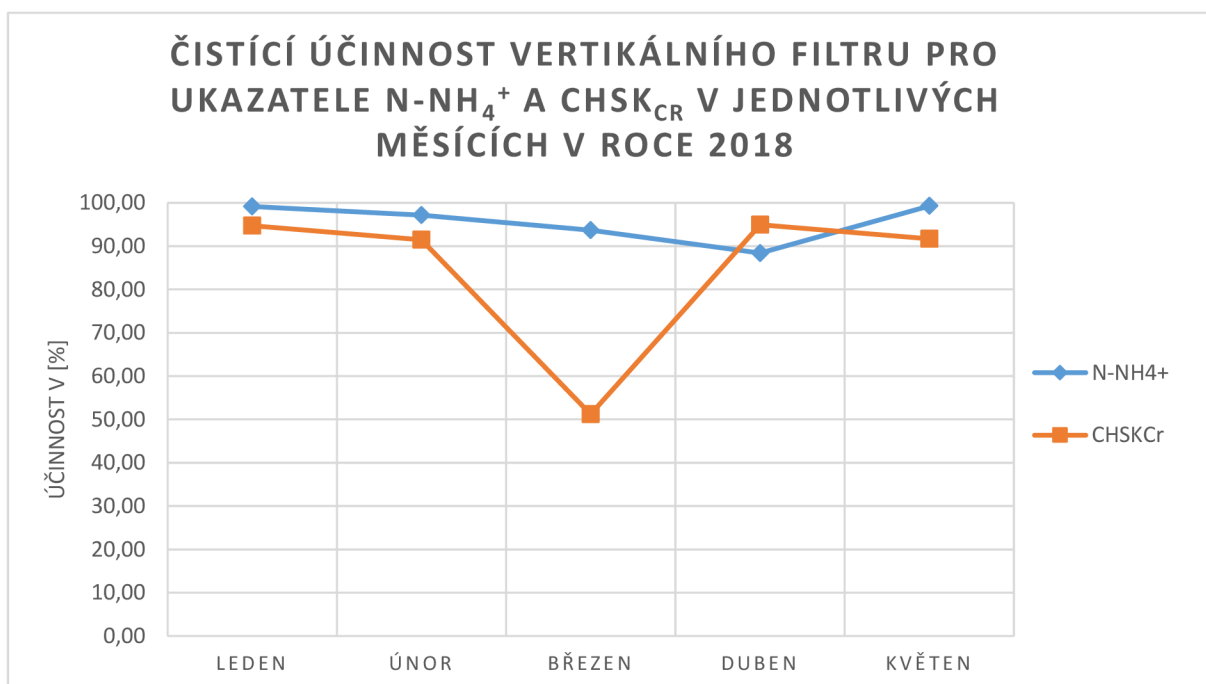
Jak je z výsledků v tabulce Tab. 9 patrné, dosahuje vertikální filtr velmi dobré čistící účinnosti při odstranění amoniakálního dusíku i organického znečištění. Do provozu KČOV byl filtr zapojen na začátku měsíce prosince 2016, kdy ještě stále nebyl z hlediska technologie plně funkční (chybějící izolace a poklopy distribučních šachet, nepřítomnost vegetace na povrchu filtru, která v zimním období filtr izoluje). Nízké teploty zimních měsíců jsou předpokladem zpomalení procesu nitrifikace, pokud navíc uvažuje nutnost „zpracování“ filtru a výše zmíněnou absenci technologických a konstrukčních detailů, je účinnost v prvním měsíci roku 2017 pro oba sledované ukazatele ($N-NH_4^+ = 60,6\%$, $CHSK_{Cr} = 92,9\%$) velmi vysoká.

Po odstávce v měsíci únoru (více v kapitole doplň!), která měla dopad i výsledky v měsíci březnu, neklesly hodnoty čistící účinnosti v roce 2017 pro sledované ukazatele, pod 90 %. Podobný vývoj čistící účinnosti je patrný i v roce 2018. Tyto výsledky z KČOV Dražovice potvrzují i výsledky zahraničních autorů, uvedené v teoretické části této práce.

Na obrázcích Obr. 26-27 jsou grafické znázornění účinnosti vertikálního filtru (pro uvedený graf bylo využito vypočítaných průměrů).



Obr. 26. Čistící účinnost vertikálního filtru pro ukazatelé N-NH₄⁺ a CHSK_{CR} v roce 2017



Obr. 27. Čistící účinnost vertikálního filtru pro ukazatelé N-NH₄⁺ a CHSK_{CR} v roce 2018

V tabulce tab. 10 jsou hodnoty koncentrací ukazatele N-NH₄⁺ získané pravidelnými rozbory v rámci dlouhodobého monitoringu vertikálního filtru. Tyto hodnoty jsou z pravidelných odběrů prováděných cca po 14 dnech na KČOV za období prosinec 2016 - květen 2018. Vzorky odpadní vody jsou odebírány na přítoku na vertikální filtr, na odtoku z vertikálního filtru a na přítoku vody do stabilizační nádrže.

Voda na přítoku na vertikální filtr by měla mít relativně nízké hodnoty organického znečištění a měla by obsahovat minimální koncentrace nerozpuštěných látek, protože již prošla čistícím procesem mechanického předčištění a horizontálním filtrem. Vysoké jsou naopak koncentrace amoniakálního znečištění, protože voda nebyla na žádném čistícím stupni okysličená.

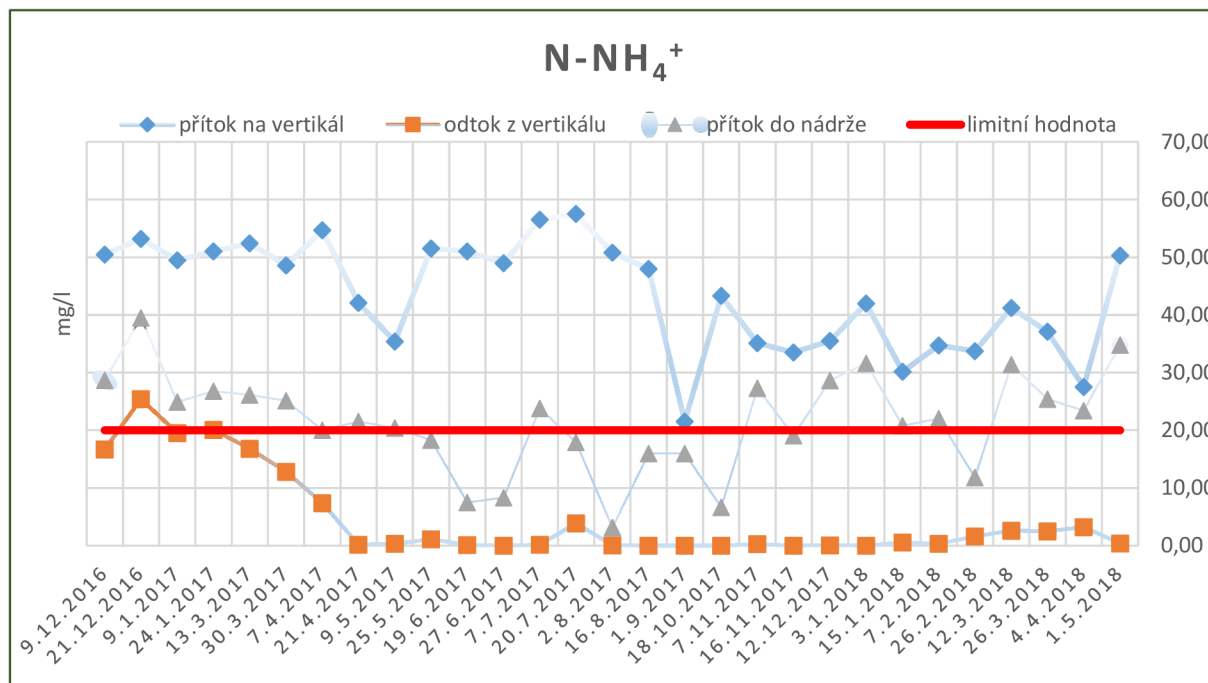
Na vertikální filtr není dávkována všechna odpadní voda, která čistírnou protéká. Odpadní voda je dodávána čerpadly, která jsou spínány časovačem, a pokud jsou průtoky čistírnou větší, než je kapacita čerpací jímky a čerpadel, odtéká voda přepadem rovnou do stabilizační nádrže. Z tohoto důvodu je plánované rozšíření vertikálního filtru na celou plochu původního horizontálního filtru. Velikost vertikálního filtru by se měla zdvojnásobit a všechny voda protékající čistírnou by měla být dávkovaná na vertikální filtr.

Tab. 10. Koncentrace N-NH₄⁺ v odpadní vodě na přítoku a odtoku z vertikálního filtru a na přítoku do stabilizační nádrže na jednotlivých přítocích a odtocích

N-NH ₄ ⁺					
DATUM	Koncentrace N-NH ₄ ⁺ na přítoku na VF	Koncentrace N-NH ₄ ⁺ na odtoku z VF	přítok do stabilizační nádrže	Čistící účinnost vertikálního filtru	Množství odstraněného znečištění
	mg/l	mg/l	mg/l	%	kg/d
9.12.2016	50.50	16.700	28.70	66.93	5.84
21.12.2016	53.20	25.400	39.50	52.26	4.80
9.1.2017	49.50	19.500	24.90	60.61	5.18
24.1.2017	51.00	20.100	26.80	60.59	5.34
13.3.2017	52.40	16.800	26.10	67.94	6.15
30.3.2017	48.60	12.800	25.10	73.66	6.19
7.4.2017	54.70	7.370	20.00	86.53	8.18
21.4.2017	42.10	0.160	21.50	99.62	7.25
9.5.2017	35.40	0.330	20.40	99.07	6.06
25.5.2017	51.50	1.120	18.30	97.83	8.71
19.6.2017	51.00	0.110	7.51	99.78	8.79
27.6.2017	49.00	0.010	8.33	99.98	8.47
7.7.2017	56.50	0.184	23.80	99.67	9.73
20.7.2017	57.50	3.900	17.90	93.22	9.26
2.8.2017	50.80	0.030	3.15	99.94	8.77
16.8.2017	48.00	0.010	16.00	99.98	8.29
1.9.2017	21.50	0.010	16.00	99.95	3.71
18.10.2017	43.30	0.008	6.63	99.98	7.48
7.11.2017	35.10	0.302	27.30	99.14	6.01
16.11.2017	33.50	0.009	19.10	99.97	5.79
12.12.2017	35.50	0.044	28.60	99.88	6.13
3.1.2018	42.00	0.003	31.60	99.99	7.26
15.1.2018	30.20	0.530	20.80	98.25	5.13
7.2.2018	34.70	0.337	22.00	99.03	5.94
26.2.2018	33.70	1.600	11.80	95.25	5.55
12.3.2018	41.20	2.600	31.40	93.69	6.67
26.3.2018	37.10	2.470	25.40	93.34	5.98
4.4.2018	27.50	3.190	23.40	88.40	4.20
1.5.2018	50.30	0.372	34.80	99.26	8.63

- Přítok na vertikál, znamená, že odběr odpadní vody provádíme na přítoku, které teče z horizontálních filtrů.
- Odtok z vertikálů, odběr provádíme na kontrolní šachtě, která se nachází na VF.
- Přítok do nádrže, je směsí odpadní vody, která odtéká z vertikálního filtru a odpadní vody, která se z kapacitních důvodů neprošla čistícím procesem na vertikálním filtru.

Je to zaviněno tím, že VF je kapacitně omezen, tudíž část odpadní vody vyčištěné jde do VF a druhá část odtéká přímo do stabilizační nádrže.

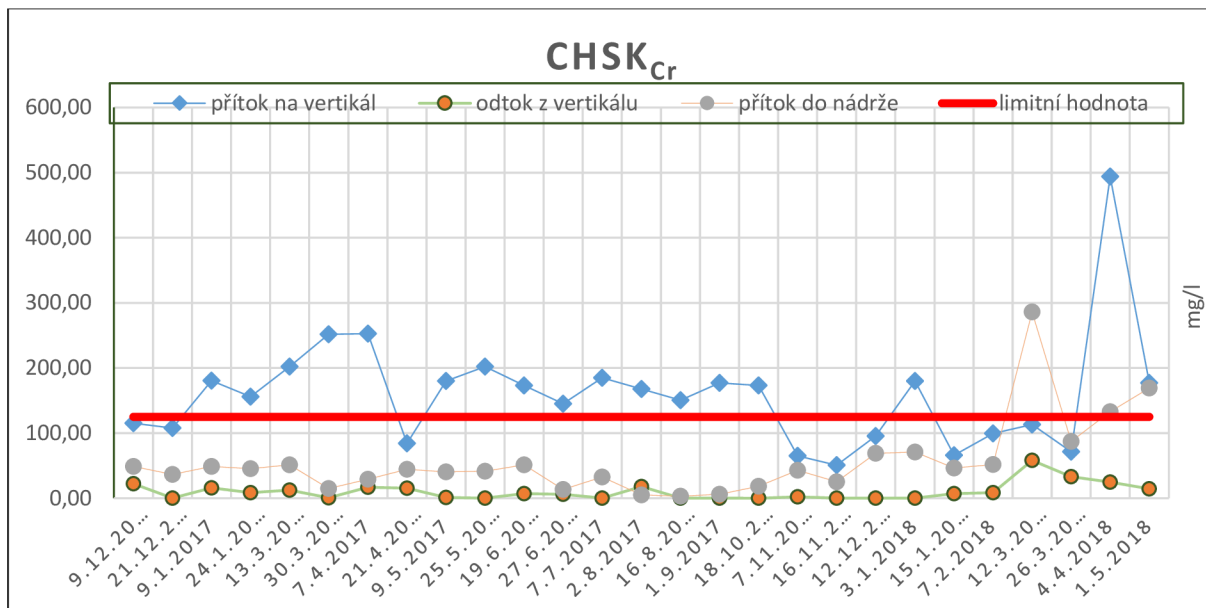


Obr. 28. Graf znázorňující průběh koncentrace $N-NH_4^+$ v odpadní vodě na přítoku a odtoku z vertikálního filtru a na přítoku do stabilizační nádrže (bodové znázorněné jsou měřené hodnoty, jimiž byla proložena křivka pro odhad možného průběhu koncentrace)

Na grafech na Obr. 28 resp. Obr 29 jsou graficky znázorněné možné průběhy koncentrací $N-NH_4^+$ a $CHSK_{Cr}$ získané proložení hodnot měřených koncentrací na přítoku a odtoku z vertikálního filtru, doplněny jsou i výsledky z rozborů na přítoku do stabilizační nádrže. V grafu je pak červenou přímkou znázorněna hranice limitních hodnot koncentrací dle NV 401/2015 Sb. pro zmíněné ukazatele, které jsou povinné dodržovat čistírny v kategorii 501 – 2000 EO.

Tab. 11. Koncentrace CHSK_{Cr} v odpadní vodě na přítoku a odtoku z vertikálního filtru a na přítoku do stabilizační nádrže na jednotlivých přítocích a odtocích

CHSK _{Cr}					
DATUM	Koncentrace CHSK _{Cr} na přítoku na VF	Koncentrace CHSK _{Cr} na odtoku z VF	přítok do stabilizační nádrže	Čistící účinnost vertikálního filtru	Množství odstraněného znečištění
-	mg/l	mg/l	mg/l	%	kg/d
9.12.2016	115.00	22.20	49.10	80.70	16.04
21.12.2016	108.00	0.01	36.50	99.99	18.66
9.1.2017	180.50	15.70	48.80	91.30	28.48
24.1.2017	156.00	8.60	45.60	94.49	25.47
13.3.2017	202.00	12.50	51.50	93.81	32.75
30.3.2017	252.00	0.52	15.10	99.79	43.46
7.4.2017	253.00	16.80	29.30	93.36	40.82
21.4.2017	84.00	15.40	44.50	81.67	11.85
9.5.2017	180.00	1.40	40.60	99.22	30.86
25.5.2017	202.00	0.33	41.70	99.84	34.85
19.6.2017	173.00	7.30	51.40	95.78	28.63
27.6.2017	145.00	6.01	13.60	95.86	24.02
7.7.2017	185.00	0.08	32.60	99.96	31.95
2.8.2017	168.00	18.00	5.20	89.29	25.92
16.8.2017	150.80	0.01	3.15	99.99	26.06
1.9.2017	177.00	0.02	6.14	99.99	30.58
18.10.2017	173.00	0.00	18.20	100.00	29.89
7.11.2017	64.90	1.94	42.80	97.01	10.88
16.11.2017	50.70	0.10	25.40	99.80	8.74
12.12.2017	95.70	0.18	68.90	99.81	16.51
3.1.2018	180.00	0.20	71.00	99.89	31.07
15.1.2018	66.10	6.92	46.30	89.53	10.23
7.2.2018	99.40	8.51	51.70	91.44	15.71
12.3.2018	113.00	58.10	286.00	48.58	9.49
26.3.2018	71.44	33.00	87.00	53.81	6.64
4.4.2018	494.00	25.00	133.00	94.94	81.04
1.5.2018	177.00	14.70	169.00	91.69	28.05



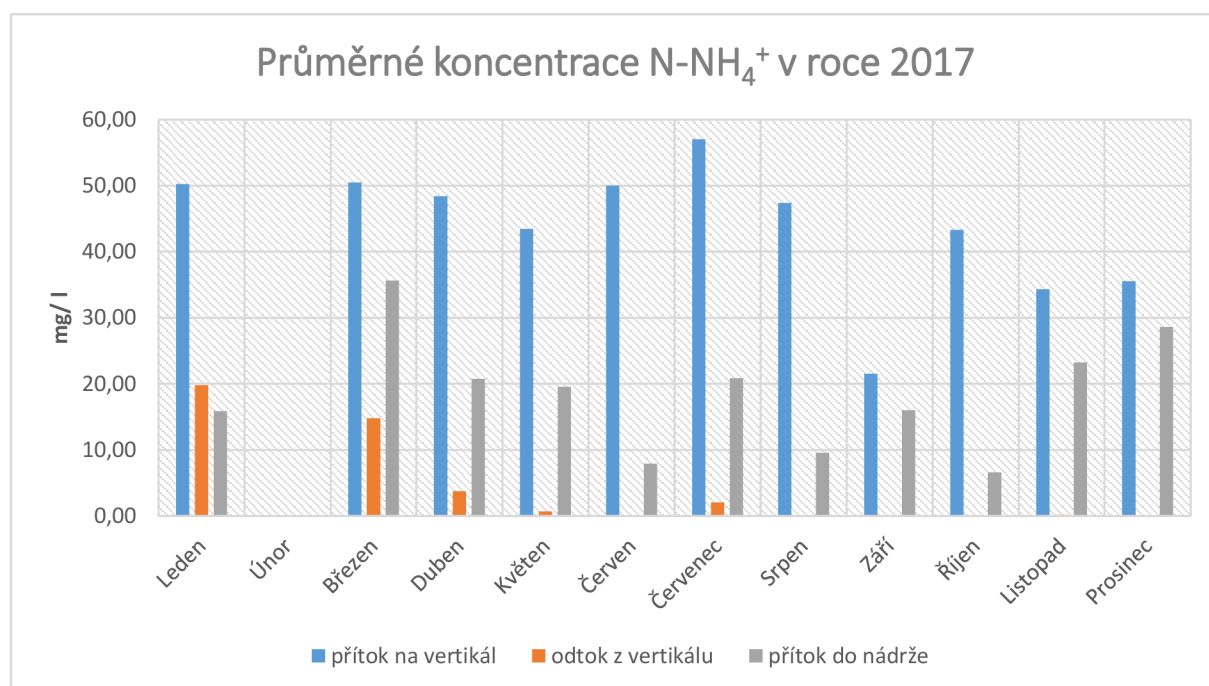
Obr. 29. Graf znázorňující průběh koncentrace CHSK_{Cr} v odpadní vodě na přítoku a odtoku z vertikálního filtru a na přítoku do stabilizační nádrže (bodové znázorněné jsou měřené hodnoty, jimiž byla proložena křivka pro odhad možného průběhu koncentrace

V tabulkách Tab. 12 a Tab. 13 jsou uvedené průměrné měsíční koncentrace ukazatel N-NH_4^+ pro sledované roky 2017 a 2018, které vznikly zprůměrováním získaných koncentrací v jednotlivých měsících. Na obr. 30 a 31 jsou tyto hodnoty zpracované i graficky. Z výsledků je patrné, že vertikální filtr dokáže bezpečně snížit koncentrace amoniakálního dusíku.

Z dat uvedených v tabulce Tab. 12 je patrné, že, vyjma období odstavení provozu a jeho dopadu na čisticí účinnost na začátku roku 2017, byly koncentrace amoniakálního dusíku na odtoku z vertikálního filtru (od dubna 2017) nižší než 4 mg/l^{-1} .

Tab. 12. Průměrné měsíční koncentrace N-NH₄⁺ v roce 2017

N-NH ₄ ⁺				
DATUM	Koncentrace N-NH ₄ ⁺ na přítoku na VF	Koncentrace N-NH ₄ ⁺ na odtoku z VF	přítok do stabilizační nádrže	Limitní hodnota
2017	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Leden	50.25	19.800	15.85	20.00
Únor	-	-	-	20.00
Březen	50.50	14.800	35.60	20.00
Duben	48.40	3.765	20.75	20.00
Květen	43.45	0.725	19.55	20.00
Červen	50.00	0.060	7.92	20.00
Červenec	57.00	2.042	20.85	20.00
Srpen	47.40	0.020	9.55	20.00
Září	21.50	0.010	16.00	20.00
Říjen	43.30	0.008	6.63	20.00
Listopad	34.30	0.156	23.20	20.00
Prosinec	35.50	0.044	28.60	20.00

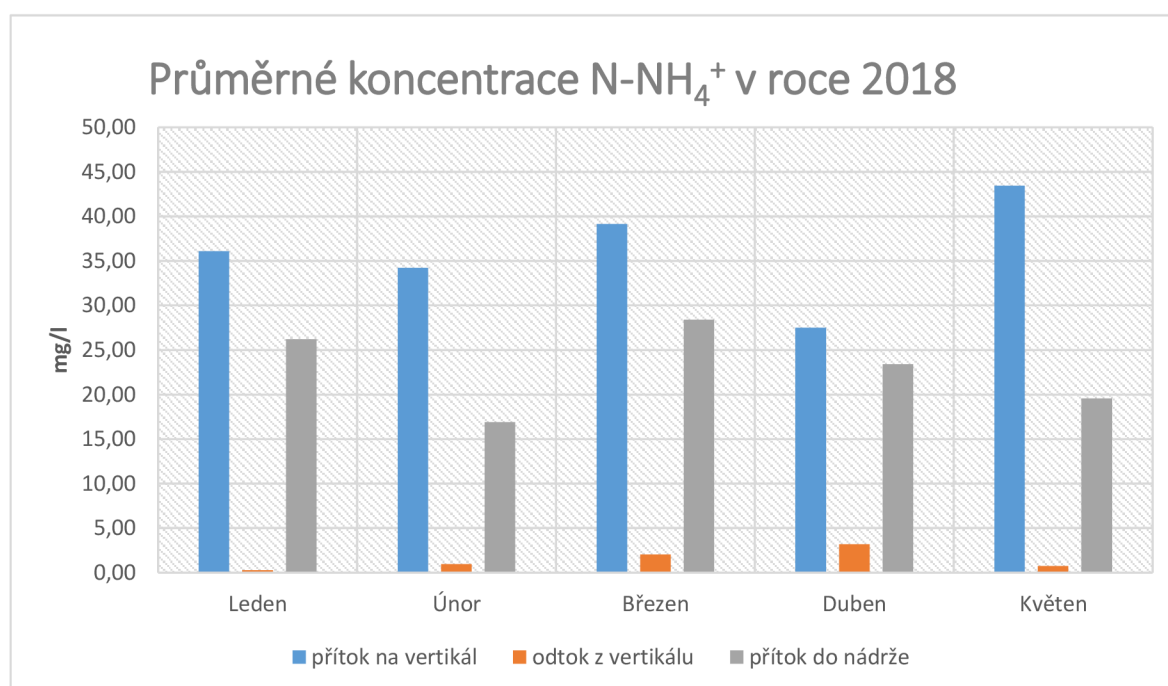


Obr. 30. Průměrné koncentrace N-NH₄⁺ v roce 2017

Výsledky z rozborů pro rok 2018, viz Tab. 13, ukazují, že i přes zimní období dokáže vertikální filtr účinně odstraňovat amoniakální znečištění. Od začátku roku 2018 nebyla odtoková koncentrace pro ukazatel N-NH₄⁺ vyšší než 3,2 mg/l. Tyto výsledky potvrzují účinnost vertikálních filtrů, tak jak byla prezentovaná v zahraniční literatuře (Langergraber, 2017).

Tab. 13. Průměrná měsíční koncentrace N-NH₄⁺ v roce 2018

N-NH ₄ ⁺				
DATUM	Koncentrace N-NH ₄ ⁺ na přítoku na VF	Koncentrace N-NH ₄ ⁺ na odtoku z VF	přítok do stabilizační nádrže	Limitní hodnota
2018	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Leden	36.10	0.267	26.20	20.00
Únor	34.20	0.970	16.90	20.00
Březen	39.15	2.030	28.40	20.00
Duben	27.50	3.190	23.40	20.00
Květen	43.45	0.725	19.55	20.00



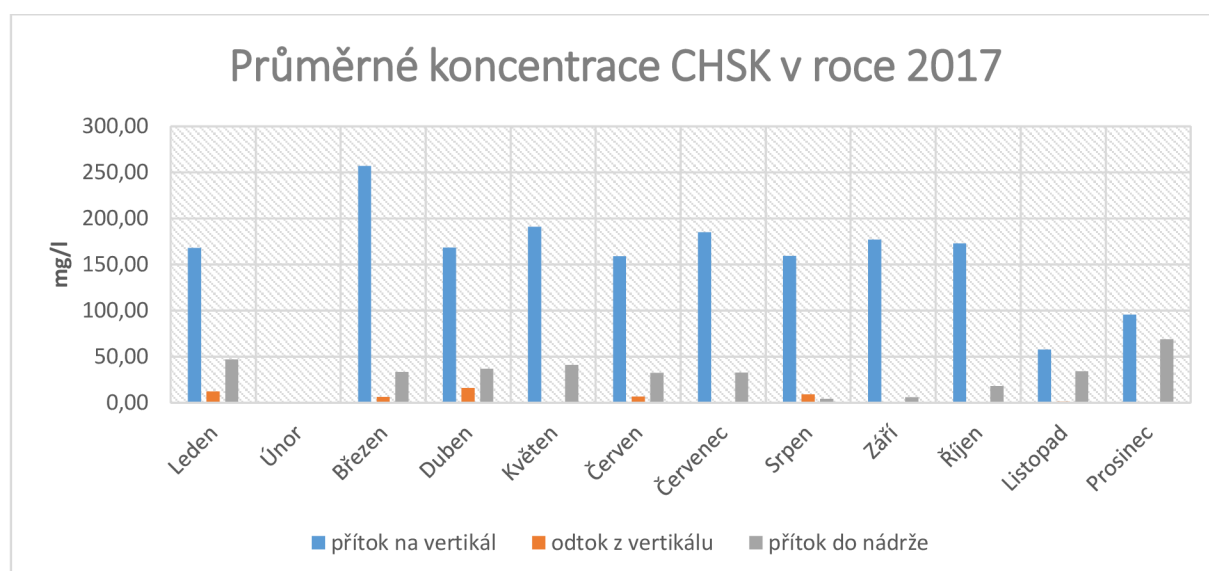
Obr. 31. Průměrné koncentrace N-NH₄⁺ v roce 2018

Podobně dobrých výsledků je dosaženo i při odstranění organického znečištění, které vyjadřujeme parametrem CHSK_{Cr} viz Tab 14 pro rok 2017 a Tab. 15 pro rok 2018. Grafické znázornění koncentrací CHSK_{Cr} pro jednotlivé měsíce v roce 2017 a 2018 jsou pak na Obr. 32 a Obr. 33. Z vypočítaných výsledků vidíme, že vertikální filtr může s velkou rezervou snižovat koncentraci organického znečištění obsažené v odpadní vodě.

Z uvedených hodnot v Tab. 14 je zřejmé, že vertikální filtr krom období odstavení provozu a jeho dopadu na čistící účinnost začátkem roku 2017, byly koncentrace organických látek na odtoku z vertikálního filtru nižší než 20 mg/l.

Tab. 14. Průměrná měsíční koncentrace CHSK_{Cr} v roce 2017

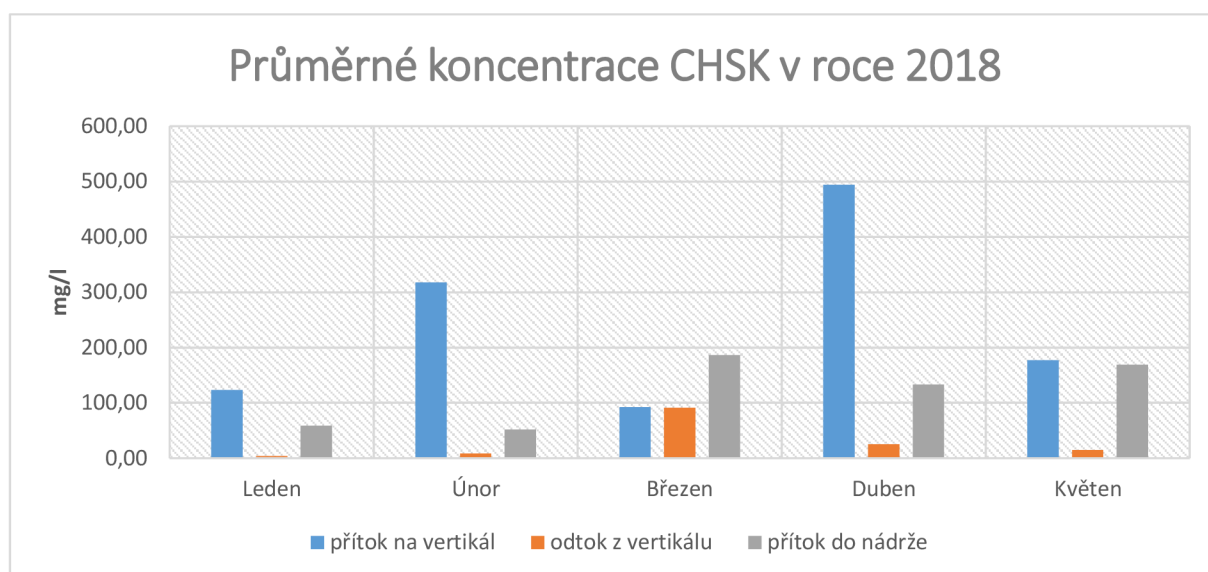
CHSK _{Cr}				
DATUM	Koncentrace CHSK _{Cr} na přítoku na VF	Koncentrace CHSK _{Cr} na odtoku z VF	přítok do stabilizační nádrže	Limitní hodnota
2017	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Leden	168.25	12.150	47.05	125
Únor	-	-	-	125
Březen	257.00	6.510	33.30	125
Duben	168.50	16.100	36.90	125
Květen	191.00	0.885	41.15	125
Červen	159.00	6.655	32.50	125
Červenec	185.00	0.080	32.60	125
Srpen	159.40	9.005	4.18	125
Září	177.00	0.020	6.14	125
Říjen	173.00	0.000	18.20	125
Listopad	57.85	1.020	34.10	125
Prosinec	95.70	0.180	68.90	125



Obr. 32. Průměrné koncentrace CHSK v roce 2017

Tab. 15. Průměrná měsíční koncentrace CHSK v roce 2018

CHSK _{Cr}				
DATUM	Koncentrace CHSK _{Cr} na přítoku na VF	Koncentrace CHSK _{Cr} na odtoku z VF	přítok do stabilizační nádrže	Limitní hodnota
-	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Leden	123.10	3.560	58.65	125
Únor	317.70	8.510	51.70	125
Březen	92.22	45.550	186.50	125
Duben	494.00	25.000	133.00	125
Květen	177.00	14.700	169.00	125



Obr. 33. Průměrná koncentrace CHSK v roce 2018

9.6.1 Množství odstraněného znečištění CHSK, N-NH₄⁺

V tabulkách Tab. 16 a Tab. 17 jsou uvedeny hodnoty množství odstraněného znečištění pro ukazatele CHSK_{Cr} a N-NH₄⁺ na vertikálním filtru. Pokud bude předpokládat průměrný průtok vertikálním filtrem $Q_{24} = 2$ l/s, lze stanovit, kilogramů za den vybraného znečištění bylo v jednotlivých měsících odstraněno na vertikálním filtru. Tyto hodnoty lze snáze porovnat s jinými výsledky zahraničních autorů.

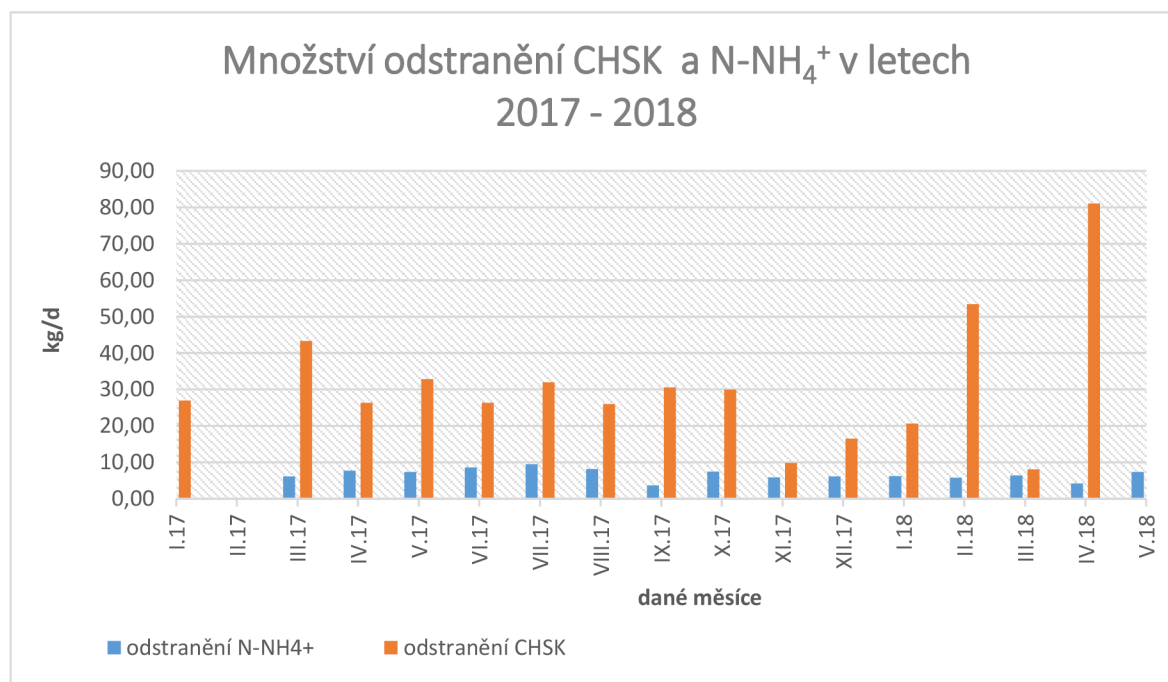
Tab. 16. Množství odstraněného N-NH₄⁺ v letech 2017 - 2018

N-NH ₄ ⁺					
DATUM	Množství odstraněného znečištění	Množství odstraněného znečištění	DATUM	Množství odstraněného znečištění	Množství odstraněného znečištění
2017	kg/d	g/m ² /d	2018	kg/d	g/m ² /d
Leden	5.26	7.02	Leden	6.19	8.26
Únor	-	-	Únor	5.74	7.66
Březen	6.17	8.23	Březen	6.41	8.55
Duben	7.71	10.28	Duben	4.20	5.60
Květen	7.38	9.84	Květen	7.38	9.84
Červen	8.63	11.51			
Červenec	9.50	12.66			
Srpen	8.19	10.92			
Září	3.71	4.95			
Říjen	7.48	9.97			
Listopad	5.90	7.87			
Prosinec	6.13	8.17			

Tab. 17. Odstranění CHSK v letech 2017 - 2018

CHSK					
DATUM	Množství odstraněného znečištění	Množství odstraněného znečištění	DATUM	Množství odstraněného znečištění	Množství odstraněného znečištění
2017	kg/d	g/m ² /d	2018	kg/d	g/m ² /d
Leden	26.97	35.97	Leden	20.66	27.54
Únor	-	-	Únor	53.43	71.24
Březen	43.28	57.71	Březen	8.06	10.75
Duben	26.33	35.11	Duben	81.04	108.06
Květen	32.85	43.80	Květen	28.05	37.39
Červen	26.33	35.10			
Červenec	31.95	42.61			
Srpen	25.99	34.65			
Září	30.58	40.78			
Říjen	29.89	39.86			
Listopad	9.82	13.09			
Prosinec	16.51	22.01			

- Průměrné odstranění CHSK na VF v Dražovicích vychází na 40,98 g/m²/d, v porovnání s hodnoty, které uvádí (Langergraberg, 2017), kde průměrné odstranění CHSK vychází na 16,39 g/m²/d.
- Průměrné odstranění N-NH₄⁺ na VF v Dražovicích vychází na 8,83 g/m²/d, v porovnání s hodnoty, které uvádí (Langergraberg, 2017), kde průměrné odstranění N-NH₄⁺ vychází na 2,06 g/m²/d.



Obr. 34. Graf množství odstranění znečištění CHSK a N-NH₄⁺ v letech 2017 - 2018

9.6.2 Závada na KČOV v Dražovicích v únoru v roce 2017

Příčinou závady na kořenové čistírně v Dražovicích na přelomu roku 2016/2017 byl výpadek proudu, který zapříčinil nefunkčnost čerpadel, respektive došlo k vyřazení časovačů, které tato čerpadla spínaly. Tato technická závada vedla k zastavení pohybu vody v celém systému vertikálního filtru (distribuční šachty, potrubí). Extrémně nízké teploty měsíce ledna 2017 a fakt, že vertikální filtr nebyl po technologické stránce kompletně dostavěný (nebyla vysázená vegetace, která pomáhá k izolaci celého filtru, a distribuční šachty neměly zateplené stěny tepelnou izolací a chyběl poklop, který pomáhá udržovat stálou teplotu v šachtách) přispěli ke zhoršení celé situace. Z tohoto důvodu bylo v druhé polovině měsíce ledna přistoupeno k zastavení provozu vertikálního filtru. Opětovné spuštění bylo zahájeno na začátku měsíce března 2017. Z výše uvedených důvodů nejsou k dispozici údaje o koncentracích sledovaných ukazatelů na vertikálním filtru v měsíci únoru.



Obr. 35. Zamrznutí šachtové komory (vlevo), pohled na VF v zimním období (vpravo), (archiv ÚVHK)

Po této zkušenosti se nedostatky na této kořenové čistírně doladily a následující zimu v roce 2018 fungovala kořenová čistírna bez nějakých komplikací. Výsledky ze zimy 2017/2018 ukazují, že vertikální filtr bez jakýchkoliv komplikací provozu schopný v zimním období.

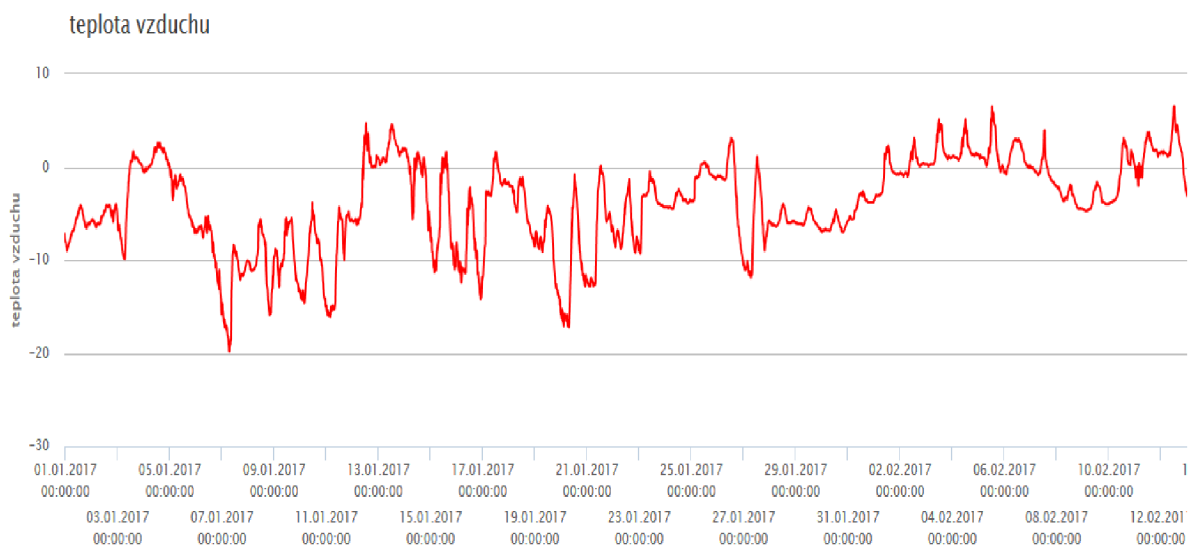


Obr. 36. Pohled před zateplením šachty (vlevo), pohled po zateplení šachty (vpravo), (archiv ÚVHK)

Extrémní teploty v průběhu měsíce ledna 2017, které částečně přispěly k odstavení vertikálního filtru z provozu, dokazují i meteorologická data uvedená v Tab. 18 porovnané s grafem průběhu teplot z nedaleké měrné stanice Rousínov uvedené na Obr. 37.

Tab. 18. Meteorologická data v lednu 2017 (online zdroj 30)

Teploty v lednu [C]					
Dny	Teplota	Dny	Teplota	Dny	Teplota
1.1.2017	-11	11.1.2017	-14	21.1.2017	-11
2.1.2017	-8	12.1.2017	-6	22.1.2017	-11
3.1.2017	-7	13.1.2017	0	23.1.2017	-8
4.1.2017	-1	14.1.2017	-6	24.1.2017	-5
5.1.2017	-7	15.1.2017	-8	25.1.2017	-4
6.1.2017	-13	16.1.2017	-12	26.1.2017	-7
7.1.2017	-17	17.1.2017	-9	27.1.2017	-10
8.1.2017	-12	18.1.2017	-10	28.1.2017	-9
9.1.2017	-11	19.1.2017	-13	29.1.2017	-8
10.1.2017	-12	20.1.2017	-16	30.1.2017	-7
				31.1.2017	-7



Obr. 37. Graf teploty vzduchu v lednu 2017 (online zdroj 31)

Z odborného článku, který se zabývá výzkumem a výskytem KČOV v chladném klimatu se objasňuje právě tolik omývané téma u nás v České republice a to fungování KČOV v zimním období. Ačkoliv se KČOV ukázaly jako potenciální technologické řešení pro úpravu různých odpadních vod, odstranění účinnosti jsou relativně nízké ve studeném klimatu a výkonost KČOV v zimě není vyhovující, z důvodu nižší činnosti mikrobů a mokřadních rostlin. Z toho vyplývá, že na každé kořenové čistírně je zapotřebí osazení vegetace, která se podílí na udržení teploty. Optimální výkonnost čištění je životně závislá na provozních podmínkách. Optimalizace těchto provozních podmínek v kořenových čistírnách vyžaduje rozsáhlé šetření budoucích studií, díky nimž by mohly být budované KČOV životaschopné na místě alternativní čištění v chladných klimatických podmínkách i přes drsné klimatické podmínky. Tyto technologie mohou zahrnovat: přítomnost vegetace, která je přínosná pro zajištění tepelné ochrany proti tvorbě ledu, dále hraje důležitou roli v doplňování kyslíku.

Závěrem bych chtěl říci, že pokud se budou dodržovat zjištěné informace a fakta jako je osazení přírodní vegetace. Z těchto poznatků vyplývá, že studené klimatické KČOV mohou poskytovat srovnatelný výkon v porovnání s KČOV umístěnými v tropických oblastech (M. Wang, a kol., 2017).

9.7 Doporučení pro správný provoz KČOV v obci Dražovice v následujících letech

Na základě ročního vyhodnocení a monitorování, které bylo provedeno ÚVHK, doporučuji pro bezproblémový provoz následující opatření.

- Rozšíření vertikálního filtru na celé kořenové pole.
- Zajištění odvádění veškerých průtoků odpadních vod z horizontálních filtrů na vertikální filtr pomocí pulzních dávkovačů.
- Vegetaci kosit až po skončení zimního období.

- Pravidelné vyvážení štěrbinové usazovací nádrže.
- Pravidelné shrabování shrabku z česlí.
- Pravidelná kontrola vypouštěče na rozdělovacích šachtách.
- Od sedimentovat stabilizační biologickou nádrže.

10 Závěr

Tématem bakalářské práce bylo vyhodnocení provozu vertikálního filtru na kořenové čistírně odpadních vod v obci Dražovice. Tento vertikální filtr byl rekonstruován s hlavním cílem - navýšení čistící účinnosti v odstraňování amoniakálního dusíku, tak aby vypouštěná odpadní voda splňovala limitní hodnoty dané legislativou a požadavky dotčených orgánů. Tato rekonstrukce se podstatně podílí na navýšení účinnosti v odstranění organického a amoniakálního znečištění.

První část práce je teoretickou rešerší, ve které byla představena technologie kořenových čistíren. V České republice tato technologie nemá příliš dobrou pověst, což je zapříčiněno špatnou historií provozování, navrhováním, zpřísňujících se limitních podmínek pro dané koncentrace zejména CHSKCr a N-NH₄⁺. Naproti tomu v zahraničí jsou kořenové čistírny spolehlivým řešením pro čištění odpadních vod. V teoretické části jsou také popsány dva nejčastěji navrhované typy filtrů (filtračních polí) – horizontální a vertikální filtry. V České republice jsou takřka na většině kořenových čistírnách zbudovány horizontální filtry, které neumí, ve srovnání s technologií vertikálních filtrů, tak dobře odstraňovat amoniakální dusík a organické znečištění. Avšak účinné vertikální filtry jsou v České republice teprve novou technologií, která se teprve dostává do reálného provozu.

Praktická část práce popisuje vyhodnocení provozu vertikálního filtru, který byl uveden do provozu na konci roku 2016 a je zatím největším vertikálním filtrem v České republice. Na vertikálním filtru jsou dlouhodobě sledované koncentrace N-NH₄⁺ a CHSKCr na přítoku na VF, na odtoku z VF a na přítoku do stabilizační nádrže. Právě na zmiňovaných přítocích a odtocích jsem vypomáhal s odběry odpadní vody, v rámci řešení bakalářské práce, v období květen 2017 – květen 2018 (dlouhodobý monitoring vertikálního filtru je prováděn v rámci výzkumných projektů ÚVHK). Z odebrané odpadní vody jsem pomocí kyvetových zkoušek získával hodnoty, které jsem uplatňoval pro zjištění účinnosti vertikálního filtru, množství odstraněného znečištění, průměrné koncentrace N-NH₄⁺ a CHSKCr. Díky těmto výsledkům lze konstatovat, že vertikální filtry plní své parametry nad očekávání s průměrnou účinností odstranění N-NH₄⁺ 92,6 %. Na začátku roku 2017 (leden-březen) je průměrná čistící účinnost ještě relativně malá, a to z důvodu technické závady elektřiny, která zapříčinila vypnutí časovače od čerpadel. Tento technický problém vedl k zamrznutí odpadní vody v systému, a tím se vyřadil provoz vertikálního filtru na měsíc a půl. Tato událost proběhla v době, kdy ještě nebyl vertikální filtr stoprocentně vybudován, chyběla vegetace na svrchní vrstvě filtru a rozdělovací šachta nebyla zateplena po svém obvodu a taktéž chyběl zateplený poklop pro tuto šachtu. V roce 2018, kdy vertikální filtr pracoval tak, jak má, je účinnost odstraňování N-NH₄⁺ ještě o pár procent lepší než v předcházejícím roce. Z hlediska odstranění organického znečištění, vyjádřené parametrem CHSKCr si vede taktéž nad míru očekávání, kdy průměrná hodnota účinnosti odstranění byla v roce 2017 96,67%. Díky veškerým poznatkům, které jsem během práce na bakalářské práci získal, můžu říci, že rekonstrukce na KČOV v obci Dražovice výrazně přispěla ke zlepšení kvality vypouštěné odpadní vody a doporučuji zrekonstruovat i druhou polovinu kořenového pole na vertikální filtr, podle stejných parametrů a technologií přítomného vertikálního filtru.

11 Použitá literatura

- [1] AYAZ S. C., AKTAS O., FINDIK N., AKCA L., 2012b. Phosphorus removal and effect of adsorbent type in a constructed wetland system. *Desalination and water treatment* 37, 152-159.
- [2] COOPER P., 2009. What can we learn from old wetlands? Lessons that have been learned and some that may have been forgotten over the past 20 years. *Desalination* 24, 1–26.
- [3] KADLEC, R., WALLACE, S., *Treatment wetlands*, second edition. CRC press, Boca Raton, FL., 2009.
- [4] KČOV pro čištění komunálních odpadních vod: Rekonstrukce a přístavba kořenové čistírny odpadních vod v obci Kotenčice [online]. Dostupné z:
- [5] KRIŠKA, M., NĚMCOVÁ, M., Kořenové čistírny - rekapitulace a budoucnost v České republice, *Vodní hospodářství*, 42, 2/2016, Pages 14–20, 2016.
- [6] KRIŠKA M., NĚMCOVÁ M., Kořenové čistírny odpadních vod – Metodická příručka pro povolování, návrh, realizaci a provoz, (2015)
- [7] KRIŠKA M.; GOTTWALD V. Změna dokončené stavby kořenové ČOV Dražovice. Projektová dokumentace pro stavební povolení (změna dokončené stavby). Červen 2016
- [8] LANGERGRABER G., HABERL R., LABER J., PRESSI A., 2003. Evaluation of substrate clogging processes in vertical flow constructed wetlands. *Water Sci. Tech.* 48 (5), 25–34.
- [9] LUEDERITZ V., ECKERT E., LANGE-WEBER M., LANGE A., GERSBERG R., Nutrient removal efficiency and resource economics of vertical flow and horizontal flow constructed wetlands, *Ecological Engineering*, Volume 18, Issue 2, December 2001, Pages 157-171, ISSN 0925-8574. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(01\)00075-1](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(01)00075-1)
- [10] MALÝ, J. a J. MALÁ. *Chemie a technologie vody*. 2., dopl. vyd. Brno: ARDEC, c2006. ISBN 80-86020-50-
Management, Volume 170, 1 April 2016, Pages 15-20, ISSN 0301-4797. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.033>.
metals along the treatment path of wastewater in subsurface-flow constructed wetlands. Penang: Universiti Sains Malaysia, 2003.
- [11] MLEJNSKÁ E., ROZKOŠNÝ M., BAUDIŠOVÁ D., VÁŇA M., et al., 2009. Extenzivní způsoby čištění odpadních vod. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha, ISBN 978-80-85900-92-7, 119 str., 73-76, 79-81.
- [12] OUYANG Y., CUI L., FENG G., READ J., Simulating phosphorus removal from a vertical-flow constructed wetland grown with *C. alternifolius* species, *Ecological Engineering*, Volume 77, April 2015, Pages 60-64, ISSN
- [13] PE L., KY M., NOOR M.. Removal and speciation of heavy

- [14] PETITJEAN A., FORQUET A., BOUTIN C. Oxygen profile and clogging in vertical flow sand filters for on-site wastewater treatment, *Journal of Environmental*
- [15] PITTER, P. *Hydrochemie*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.
- [16] ŠÁLEK, J. a V. TLAPÁK. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2006. Technická knihovna autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-74-7
- [17] ŠÁLEK, J. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. 1. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2006, 283 s. ISBN 80-867-6974-7.
- [18] VYMAZAL J., Long-term performance of constructed wetlands with horizontal subsurface flow: Ten case studies from the Czech Republic, *Ecological Engineering*, Volume 37, Issue 1, January 2011, Pages 54-63, ISSN 0925-8574. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.11.028>.
- [19] VYMAZAL, J. Kořenová čistírna odpadních vod: Využití ve světě, České republice a Plzeňském Kraji. Krajský úřad Plzeňského kraje, odbor životního prostředí, Plzeň, 2016.
- [20] VYMAZAL, J. Kořenové čistírny odpadních vod: Dvacet let zkušeností v České republice, *Vodní hospodářství* 4/2009, str. 113-118
- [21] VYMAZAL, J., 2004. Kořenové čistírny odpadních vod, ENKI Třeboň, 14.
- [22] VYMAZAL, J., Beneš, J., Hrnčíř, P., Rozkošný, M., Šálek, J., Křiška, M., Kröpfelová, L., Schwarzová, R. (2008). Metodická příručka pro navrhování, budování, povolování, provoz a kontrolu kořenových čistíren odpadních vod (Guideline for design, construction, permission, operation and inspection of constructed wetland wastewater treatment plants). Návrh pro MŽP ČR (Proposal for Ministry of the Environment of the Czech Republic). 47 p.
- [23] VYMAZAL, J., KRÖPFELOVÁ, L. Multistage hybrid constructed wetland for enhanced removal of nitrogen, (2015), *Ecological Engineering*, 84, pp. 202-208.
- [24] WONG M., ZHANG D., DONG J. a TAN S.. Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climate — A review. *ScienceDirect*. 2017, 2017, 1-19. DOI: JES-01047; No of Pages 19.
- [25] ZURITA F., DE ANDA J., BELMONT M A., 2009. Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands. *Ecological Engineering* 35, 861–869.

11.1 Internétové zdroje

- [26] Lapáky písku. [Http://www.asio.cz](http://www.asio.cz) [online]. Brno, 2018 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/lapak-pisku-as-lap>
- [27] Ústav vodního hospodářství obcí [online]. 2010 [cit. 2010-11-08]. Dostupné z WWW: <water.fce.vutbr.cz>.
- [28] [Www.drazovice.cz](http://www.drazovice.cz) [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.drazovice.cz/z%2Dnbsp%2Dhistorie%2Dobce/d-23854/p1=213>
- [29] [Www.risy.cz](http://www.risy.cz) [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.risy.cz/cs/vyhledavace/obce/detail?Zuj=592994>
- [30] [Www.accuweather.com](http://www.accuweather.com) [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.accuweather.com/cs/cz/draovice/1378321/month/1378321?view=table><http://www.drazovice.cz/z%2Dnbsp%2Dhistorie%2Dobce/d-23854/p1=213>
- [31] [Www.korenova-cisticka.cz/](http://www.korenova-cisticka.cz/) [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.korenova-cisticka.cz/o-korenovkach/fungovani/Korenova-cisticka%E2%80%93korenova-cistirna%E2%80%93rostliny-pro-korenovou-cisticku.html>
- [32] [A.la-a.la](http://a.laa.la) [online]. [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://a.laa.la/chart/cl.php?probe=11359217>

11.2 Legislativa

- [33] ČSN 75 6402: Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel <http://www.dekonta.cz/sluzby-a-produkty/korenove-cistirny-odpadnichvod/>
- [34] ÖNORM B 2505- Kläranlagen – Intermittierend beschickte Bodenfilter („Pflanzenkläranlagen“). 2009.
- [35] Zneškodňování odpadních vod v obcích do 2 000 ekvivalentních obyvatel: metodická příručka [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2009.

Seznam tabulek

Tab. 1. Emisní standardy.....	9
Tab. 2. Emisní standardy.....	10
Tab. 3. Emisní standardy:.....	10
Tab. 4. Přepočet emisních standardů „p“	10
Tab. 5. Dosažitelné hodnoty.....	10
Tab. 6. Účinnost čištění odpadních vod v kořenových čistírnách v České republice	11
Tab. 7. Složení jednotlivých vrstev vertikálního filtru dle normy ČSN 75 6402	18
Tab. 8. Sčítání obyvatel k roku 2015 (<i>online zdroj 29</i>).....	33
Tab. 9. Čistící účinnost vertikálního filtru pro ukazatele N-NH ₄ ⁺ a CHSK _{Cr} v jednotlivých měsících za období 2017 - 2018.....	45
Tab. 10. Koncentrace N-NH ₄ ⁺ v odpadní vodě na přítoku a odtoku z vertikálního filtru a na přítoku do stabilizační nádrže na jednotlivých přítocích a odtocích	48
Tab. 11. Koncentrace CHSK _{Cr} v odpadní vodě na přítoku a odtoku z vertikálního filtru a na přítoku do stabilizační nádrže na jednotlivých přítocích a odtocích	50
Tab. 12. Průměrné měsíční koncentrace N-NH ₄ ⁺ v roce 2017.....	52
Tab. 13. Průměrná měsíční koncentrace N-NH ₄ ⁺ v roce 2018.....	53
Tab. 14. Průměrná měsíční koncentrace CHSK _{Cr} v roce 2017	54
Tab. 15. Průměrná měsíční koncentrace CHSK v roce 2018.....	54
Tab. 16. Množství odstraněného N-NH ₄ ⁺ v letech 2017 - 2018.....	55
Tab. 17. Odstranění CHSK v letech 2017 - 2018.....	56
Tab. 18. Meteorologická data v lednu 2017 (<i>online zdroj 30</i>).....	58

Seznam obrázků

Obr. 1. Schéma technologie KČOV	8
Obr. 2. Řez šterbinovou usazovací nádrží (<i>publikace Přírodní způsoby čištění</i>).....	14
Obr. 3. Horizontálně protékaný kořenový filtr.....	15
Obr. 4. Vertikálně protékaný kořenový filtr.....	17
Obr. 5. KČOV Ondřejov byla uvedena do provozu v roce 1991 a je stále funkční (<i>Vymazal, 2016</i>).....	19
Obr. 6. Počet KČOV uvedených do provozu v období 1989-2011 v České republice (<i>Vymazal, 2016</i>).....	20
Obr. 7. Kořenové čistírny v České republice podle návrhového počtu ekvivalentních obyvatel	20
Obr. 8. Ukázka vertikálního filtru na kořenové čistírně (<i>Archív ÚVHK</i>)	22
Obr. 9. Rákos obecný (<i>Phragmites australis</i>) vlevo, Kosatec žlutý (<i>Iris pseudacorus</i>) (<i>online zdroj 31</i>)	23
Obr. 10. Ukázka kolmatace na horizontálním poli (<i>archív ÚVHK</i>).....	32
Obr. 11. Mapa obce Dražovice (<i>online zdroj 29</i>).....	33
Obr. 12. Klimatické členění Jihomoravského kraje (<i>online zdroj 28</i>)	34
Obr. 13. Odlehčovací komora (vlevo), dešťová zdrž (vpravo)	35
Obr. 14. Šterbinový lapák písku (vlevo), ručně stírané česle (vpravo).....	36
Obr. 15. Letecký pohled na všechna tři kořenová pole (<i>archív ÚVHK</i>)	36
Obr. 16. Stabilizační biologická nádrž (<i>archív ÚVHK</i>)	37
Obr. 17. Schéma kořenové čistírny v Dražovicích.....	37
Obr. 18. Schéma uspořádání KČOV Dražovice před rekonstrukcí.....	39
Obr. 19. Schéma uspořádání KČOV Dražovice po rekonstrukci.....	40
Obr. 20. Schéma nového uspořádání filtračních polí pro intenzifikaci KČOV Dražovice (<i>Němcová, 2017</i>)	41
Obr. 21. Letecký pohled na nově vybudovaný vertikální filtr (<i>archív ÚVHK</i>)	41
Obr. 22. Průběh výstavby zpevněných ploch pro rozdělovací šachty (vlevo), pohled na rozdělovací šachtu na vertikálním filtru (vlevo), (<i>archív ÚVHK</i>)	42
Obr. 23. Ukázka výtoku z penetrovaného rozdělovacího potrubí (vlevo), potrubí bude k těmto dlaždicím ukotvena pomocí „prstýnků“ (vpravo), (<i>archív ÚVHK</i>)	43
Obr. 24. Ukázka spektromeru (<i>publikované z Docplayer</i>).....	44
Obr. 25. Odebrané vzorky z průtoků na KČOV v Dražovicích, podrobnější detail na vzorky (vlevo), oddálený pohled na vzorky (vpravo), (<i>archív ÚVHK</i>).....	44
Obr. 26. Čistící účinnost vertikálního filtru pro ukazatelé N-NH ₄ ⁺ a CHSK _{Cr} v roce 2017	46
Obr. 27. Čistící účinnost vertikálního filtru pro ukazatelé N-NH ₄ ⁺ a CHSK _{Cr} v roce 2018	46

Obr. 28. Graf znázorňující průběh koncentrace N-NH ₄ ⁺ v odpadní vodě na přítoku a odtoku z vertikálního filtru a na přítoku do stabilizační nádrže (bodové znázorněné jsou měřené hodnoty, jimiž byla proložena křivka pro odhad možného průběhu koncentrace)	49
Obr. 29. Graf znázorňující průběh koncentrace CHSKCr v odpadní vodě na přítoku a odtoku z vertikálního filtru a na přítoku do stabilizační nádrže (bodové znázorněné jsou měřené hodnoty, jimiž byla proložena křivka pro odhad možného průběhu koncentrace).....	51
Obr. 30. Průměrné koncentrace N-NH ₄ ⁺ v roce 2017	52
Obr. 31. Průměrné koncentrace N-NH ₄ ⁺ v roce 2018	53
Obr. 32. Průměrné koncentrace CHSK v roce 2017	54
Obr. 33. Průměrná koncentrace CHSK v roce 2018	55
Obr. 34. Graf množství odstranění znečištění CHSK a N-NH ₄ ⁺ v letech 2017 - 2018.....	56
Obr. 35. Zamrznutí šachtové komory (vlevo), pohled na VF v zimním období (vpravo), (<i>archiv ÚVHK</i>).....	57
Obr. 36. Pohled před zateplením šachty (vlevo), pohled po zateplení šachty (vpravo), (<i>archiv ÚVHK</i>).....	58
Obr. 37. Graf teploty vzduchu v lednu 2017 (<i>online zdroj 31</i>).....	59

Seznam použitých zkratek a symbolů

ČOV Čistírna odpadních vod

KČOV Kořenová čistírna odpadních vod

OV Odpadní voda

EO Ekvivalentní obyvatel

CHSK, CKSK_{Cr} Chemická spotřeba kyslíku

BSK₅ Biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní

N_{celk} Dusík celkový

P_{celk} Fosfor celkový

NL Nerozpuštěné látky

N-NH₄⁺ Amoniakální dusík

m n. m. Metry nad mořem

Q_{max} Maximální denní průtok

VF Vertikální filtr

HF Horizontální filtr

pH Hodnota pH vyjadřuje koncentraci vodíkových iontů

PVC Polyvinylchlorid

PE – H Polyethylen

PP – H Polypropylen

DN Jmenovitý vnitřní průměr potrubí

CaO Oxid vápenatý

Seznam příloh

1. KČOV Dražovice půdorys – rozdělovací šachty M 1:200
2. KČOV Dražovice – potrubí M 1:200