

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE

Studijní program: Krajinářství

Studijní obor: Územní technická a správní služba



**Kořenové čistírny pro čištění drenážních vod z golfového hřiště v Nebřenicích –
Prague Oaks**

Constructed wetlands for treatment of drainage waters from a golfcourse Prague Oaks at Nebřenice

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Bakalant: Radwan Turnovský

Praha 2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Radwan Turnovský

Krajinářství

Územní technická a správní služba

Název práce

Kořenové čistírny pro čištění drenážních vod z golfového hřiště v Nebřenicích – Prague Oaks

Název anglicky

Constructed wetlands for treatment of drainage waters from a golfcourse Prague Oaks at Nebřenice

Cíle práce

1. Popsat golfové hřiště Prague Oaks a způsob zavlažování a sběru drenážních vod na daném golfovém hřišti.
2. Charakterizovat princip kořenových čistíren.
3. Popsat kořenové čistírny na daném golfovém hřišti
4. Vyhodnotit účinnost čištění drenážních vod v areálu golfového hřiště.

Metodika

V první fázi bude provedeno terénní šetření na golfovém hřišti Prague Oaks. V další fázi bude vybráno několik kořenových čistíren a na těchto místech budou v pravidelných intervalech odebírány vzorky přitékající a odtékající vody. Na závěr budou výsledky vyhodnoceny a bude sepsána bakalářská práce.

Doporučený rozsah práce

40 stran včetně příloh

Klíčová slova

Kořenová čistírna, golfové hřiště, drenážní vody, dusičnany, pesticidy

Doporučené zdroje informací

- Kohler, E.A., Poole, V.L., Reicher, Z.J., Turco, R.F., 2004. Nutrient, metal and pesticide removal during storm and nonstorm events by a constructed wetland on an urban golf course. *Ecological Engineering* 23, 285-298.
- Lewis et al., 2002. Effects of a coastal golf course complex on water quality, periphyton, and seagrass. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 53:, 154-162.
- Mlejnská, E., Rozkošný, M., Baudišová, D., Váňa, M., Wanner, F., Kučera, J., 2009. Extenzivní způsoby čištění odpadních vod. VÚV Praha a MŽP ČR.
- Šálek, J., Tlapák, V., 2006. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Informační centrum ČKAIT, Praha.
- Vymazal, J., 2009. Kořenové čistírny odpadních vod: Dvacet let zkušeností v České republice. *Vodní hospodářství* 59: 113-118.

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 6. 2. 2020

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 11. 2. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 21. 06. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „**Kořenové čistírny pro čištění drenážních vod z golfového hřiště v Nebřenicích - Prague Oaks**“ vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze, 21.06.2020

Podpis:.....

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval všem, kteří, ať už přímo nebo nepřímo, přispěli ke zpracování této bakalářské práce. Hlavní poděkování patří vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Janu Vymazalovi, CSc., a to za vstřícnost za všech okolností, příjemnou spolupráci ve formě odborných rad, zpracování odebraných vzorků a kritických připomínek v průběhu sepisování práce. Dále bych chtěl jmenovitě poděkovat svojí matce Renatě Turnovské, Ing. Veronice Vitáskové, Ing. Janu Jeklovi a Bc. Michalu Munkovi za podporu a cenné rady věnované ve zlomových chvílích.

V Praze, 21.06.2020

Podpis:.....

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na kořenové čistírny a jejich využití k čištění drenážních vod na golfovém hřišti v Nebřenicích. Nejprve jsou uvedeny obecné informace o umístění golfového hřiště, způsobu jeho zavlažování a souvisejícím sběru drenážních vod. Dále je uvedeno, co vlastně kořenová čistírna odpadních vod (KČOV) je a jaký je princip jejího fungování. Dále je popsán konkrétní výběr typu a složení biofiltrů (BF) použitých pro čištění drenážních vod z golfového hřiště v Nebřenicích. Závěrem práce je vyhodnocení účinnosti čištění drenážních vod na několika vybraných BF v areálu golfového hřiště.

Klíčová slova:

Kořenová čistírna, golfové hřiště, drenážní vody, dusičnany, pesticidy

Abstract

The bachelor thesis is focused on root treatment plants and their use for drainage water treatment on the golf course at Nebřenice. First, general information about the location of the golf course, the way it is irrigated and the drainage water collection are given. Furthermore, it is stated what is the root sewage treatment plant (WWTP) and what is the principle of its operation and specific selection of the type and composition of biofilters (BF) used for the purification of drainage water from the Nebrenice golf course is described. The conclusion of the work is to evaluate the efficiency of drainage water treatment at several selected BF in the golf course.

Keywords:

Root treatment plant, golf course, drainage water, nitrates, pesticides

OBSAH

1. Úvod.....	1
2. Cíl práce a metodika	2
3. Kořenová čistírna odpadních vod (KČOV).....	3
3.1 Historie KČOV v České republice	3
3.2 Historie KČOV ve světě	3
3.3 Parametry KČOV v České republice.....	4
3.4 Princip fungování KČOV.....	6
3.5 Dělení KČOV dle hydrologie	6
3.5.1 Kořenové čistírny s povrchovým tokem	7
3.5.2 Kořenové čistírny s horizontálním podpovrchovým průtokem	8
3.5.3 Kořenové čistírny s vertikálním podpovrchovým tokem.....	8
3.6 Typy čistících procesů probíhajících v KČOV.....	9
3.7 Funkční části KČOV	9
3.7.1 Předčišťovací část.....	9
3.7.2 Filtrační lože	11
3.7.3 Vegetace.....	12
3.7.4 Rozvodné a sběrné systémy	13
3.7.5 Provoz a údržba.....	15
3.8 Výhody a nevýhody používání KČOV	15
3.9 Účinnost čištění	16
3.9.1 Organické látky	17
3.9.2 Anorganické látky	18
3.9.3 Nerozpuštěné látky	19
3.9.4 Rizikové prvky, těžké kovy a mikrobiální znečištění.....	20
4 Metodika	21
4.1 Golfové hřiště – Prague Oaks, Nebřenice.....	21
4.2 Vhodnost lokality	22
4.3 KČOV Prague Oaks, Nebřenice	23
4.4 Základní popis řešení nakládání s dešťovou vodou.....	23

4.5	Popis zařízení - KČOV č.2	24
4.6	Popis zařízení - KČOV č.4	26
4.7	Popis zařízení - KČOV č. 10	28
4.8	Zeolit	30
4.9	Směs štěrku a topolové štěpky	32
4.10	Chemické analýzy	33
4.11	Odběry a odběrná místa.....	35
5	Výsledky	36
6	Diskuse	40
6.1	Chemická spotřeba kyslíku (CHSK).....	41
6.2	Celkový organický uhlík (TOC), Celkový uhlík (TC), Anorganický uhlík (IC), Celkový dusík (TN)	41
6.3	Dusičnany	42
6.4	Dusitany	42
6.5	Amoniakální dusík.....	43
6.6	Fosforečnany	43
6.7	Sírany	44
6.8	pH	44
7	Závěr.....	46
8	Seznam použité literatury.....	47
8.1	Odborné publikace	47
8.2	Legislativní zdroje.....	52
8.3	Internetové zdroje.....	53
9	Seznam použitých zkratk.....	53
10	Seznam obrázků	54
11	Seznam tabulek	55
12	Přílohy	56

1. Úvod

Voda je jednou z nejpodstatnějších podmínek života na planetě Zemi. Je velmi citlivou a zároveň nejohroženější součástí našeho životního prostředí (Šimová, 2013).

Dne 6. 5. 1968 byla ve Štrasburku podepsána Evropská vodní charta, která sumarizuje v jasně srozumitelných bodech nejdůležitější poznatky lidstva o vodě, a to, že bez vody není života. Voda je drahocenná a pro člověka ničím nenahraditelná surovina. Její zásoby nejsou nevyčerpatelné, a je proto nezbytné tyto zásoby udržovat a chránit a podle možností rozhojňovat. Po vrácení použité vody do zdroje nesmí tato voda bránit dalšímu jejímu využití pro veřejné i soukromé účely. Voda nezná hranic, jako společný zdroj vyžaduje mezinárodní spolupráci (COE, 2001).

I přes snahu dodržovat ustanovení této charty dochází ke znečišťování vody a antropologickým zásahům s negativním vlivem na vodní zdroje a toky v krajině (napřimování vodních toků, rozsáhlé polní plochy umožňující odtok vody z krajiny, atd.).

Z těchto důvodů je nutné vodu se zhoršenou jakostí před vrácením do přírodního recipientu vyčistit (Lužná, 2011). KČOV jsou vhodnou alternativou zajišťujícím toto čištění, protože se jedná o technologii, která využívá procesů probíhajících v přírodě. Díky tomu byla těmto druhům v posledních letech věnována zvýšená pozornost. Především hodnocení jejich účinnosti na základě publikovaných výsledků (Vymazal, 2011). KČOV v dnešní době s úspěchem eliminují většinové množství organického uhlíku. S postupem času se také zvětšuje jejich účinnost při odstraňování minerálních živin – dusíku a fosforu.

Průvodním jevem je také výskyt nových problémů. Například s rostoucí účinností roste i význam polutantů, které byly dříve označovány pouze jako minoritní, jednoduchým příkladem jsou třeba farmaka (Hamanová, 2011).

2. Cíl práce a metodika

Práce se skládá ze dvou částí, a to teoretické a praktické. Teoretická část má jasné charakteristiky literární rešerše a věnuje se kořenovým čistírnám odpadních vod. Konkrétně jejich historii, principům fungování, dělení dle konstrukcí nebo konstrukčních prvků a popisu funkčních částí. Dále se věnuje i zhodnocení výhod a nevýhod jejich využívání a také účinností čistících procesů. Praktická část je zaměřena na nově vystavené BF v lokalitě golfového hřiště Nebřenice. Je zde uveden popis lokality, kde jsou BF umístěny, popis samotných BF a účinnost čistících procesů. V rámci praktické části byl proveden vlastní odběr vzorků na několika vybraných BF, doporučených zhotovitelkou firmou a následný odvoz vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Janu Vymazalovi, CSc. a společnosti ALS s.r.o. k rozboru. Cílem práce bylo obdržené výsledky vyhodnotit a to konkrétně formou tabulek, grafů a sepsáním vyplývajícího závěru.

3. Kořenová čistírna odpadních vod (KČOV)

KČOV jsou inženýrské systémy, které byly navrženy a zkonstruovány tak, aby využívaly při čištění odpadních vod (OV) přirozené procesy probíhající v přírodě. Tyto procesy zahrnují půdu, mokřadní vegetaci a související mikrobiální látky. KČOV lze klasifikovat dle formy dominujících vodních makrofytů na systémy volně plovoucí, s plovoucími listy, zakořeněné, vynořené a ponořené. Další dělení lze provést podle hydrologie čistíren, tedy na volnou vodní hladinu a podpovrchové toky, které lze ještě rozdělit na toky horizontální a vertikální (Vymazal, 2010).

3.1 Historie KČOV v České republice

V České republice byla první KČOV uvedena do provozu v roce 1989 v obci Petrov u Jílového ve Středočeském kraji (Vymazal a Firman, 1990).

K další výstavbě tohoto druhu čistíren docházelo v prvních letech nejdříve velmi sporadicky – do roku 1991 pouze další tři, a to z důvodu neuvedení použité technologie v tzv. „seznamu doporučených způsobů čištění pro malé zdroje znečištění“. Následně, po zrušení tohoto seznamu a získání důvěry orgánů pověřených schvalováním výstavby, dochází k budování dalších KČOV na našem území (Vymazal, 2004).

3.2 Historie KČOV ve světě

Historicky byl poprvé využit princip přirozených čistících procesů, probíhajících v umělých mokřadech na pokusech s čištěním OV v Německu v průběhu 50. let 20. století. Tyto pokusy prováděla K. Seidel. Při těchto experimentech byly použity umělé mokřady, s vertikálním průtokem a náplní z porézních filtračních materiálů (Seidel, 1966). O 20 let později vyzkoušel R. Kickuth aplikaci jílovitých půd, které vykazovaly dobrou filtrační vlastnost, ale bohužel minimální hydraulickou propustnost, jíl se totiž nasycením vodou stává téměř nepropustným pro další vodu a je tedy spíše vhodný jako těsnicí vrstva. R. Kickuth také přišel s návrhem plochy 2 m² na jednoho EO a v roce 1974 byl spuštěn první plno provozní systém v Othfresenu (Kickuth, 1977). Změny v návrhu KČOV proběhly až v polovině 80. let, na základě vyhodnocení

výsledků čistíren provozovaných v Dánsku. Plocha 2 m² na jednoho EO se ukázala nedostatečnou k odstranění organických a nerozpuštěných látek a došlo k jejímu navýšení na 5 m². Mezi další úpravy se zařadilo i rozdělení filtračních polí z velkých ploch na více menších s širokou nátokovou hranou, které omezily lokální přetížení užších polí (Brix a Schierup, 1989).

3.3 Parametry KČOV v České republice

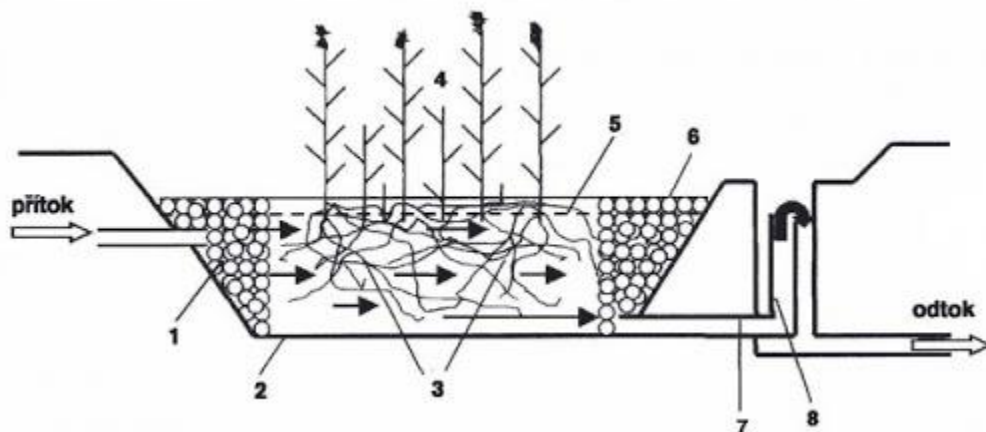
Nejčastěji jsou KČOV budovány pro čištění splaškových OV, a to pro malé domovní čistírny do 20 ekvivalentních obyvatel (EO) a dále pro malé obce s počtem 50 – 500 EO. Průměrná specifická plocha KČOV v ČR se pohybuje okolo 5,08 m² na EO v návrhu. Jedná se také o specifickou plochu z evropských směrnic (Vymazal, 2016). Proti prosakování OV z filtračního lože do okolní půdy jsou nádrže od této půdy odděleny nejčastěji plastovou (PVC) a nebo pryžovou (EPDM) fólií (Vymazal, 2009). Pokud je v oblasti stavby výskyt přirozeného málo propustného jílu (hydraulická vodivost < 10⁻⁸ m.s⁻¹) lze jej využít jako alternativu těsnicí bariéry (Vymazal, 2016). V současnosti se stále častěji používají pro stavbu hrubší frakce 8-16 mm a 16-32 mm, které jsou velice účinné při odstraňování znečištění. V distribučních zónách filtračních loží se často využívá makadam o velikosti zrn větších než 100 mm. I přes využití hrubozrnných materiálů, které ucpávání zpomalují, k němu nevyhnutelně dochází používáním, a to především ve filtračním loži na vtokové části. Při špatné údržbě čistírny, konkrétně provozu její předčišťovací části, k tomuto jevu dochází dříve. V případě, že voda pronikne až na povrch filtračního lože, nedochází ke „kolapsu“ čistírny a tento jev se ani negativně neodrazí na efektivitě čistírny (Vymazal, 2016). Přirozené mokřady mají individuální i skupinové charakteristiky, které se odvíjejí od přítomných druhů rostlin a jejich přizpůsobivosti specifickým hydrologickým a výživovým podmínkám. Z tohoto důvodu se v KČOV, které na principu přirozených mokřadů fungují, využívá celá řada druhů mokřadních rostlin. Několik zdrojů popisuje dědičné charakteristiky mokřadních makrofytů, které by usnadnily výběr nejvhodnějších druhů pro použití v technologiích KČOV. Přírodní mokřady jsou osídleny různými rostlinnými typy, které se adaptovaly pro růst ve vodě nebo na zamokřené půdě.

Rozdělení do jasně definovaných skupin je obtížné, z důvodu nejednoznačné definice klasifikačních schémat (Hammer, 1989). Kromě všeobecně rozšířených druhů, jako je např. Chrastice (*Phalaris*), Rákos (*Phragmites*), Orobinec (*Typhes*), je tedy možné využít druhy přirozené pro prostředí výstavby KČOV a jejich variace kombinací. Toto je nutné dodržet především v chráněných oblastech. U menších systémů se využívají např. Kosatce (*Iris*) a Vrbice (*Salicaria*). Na základě průzkumu provedeného v České republice je prokázáno, že ani plevelné druhy vegetace, jakou je například Kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*) nemají vliv na probíhající purifikační procesy. Případná údržba vegetace je tedy prováděna za účelem udržení estetického dojmu z čistírny nebo za účelem zamezení dalšího rozrůstání plevelu do okolí čistírny (Rozkošný, 2013).

3.4 Princip fungování KČOV

KČOV mají svým fungováním nejbližší k přírodním procesům probíhajícím v přírodních mokřadech, kde je půda trvale zavodněna. Čistírna (Obr. 1) je tedy tvořena hlavně porézním filtračním ložem, které je dle průtoku vody buď fázově (vertikální průtok), nebo průběžně (horizontální průtok) doplňováno OV. Dále ji tvoří mokřadní makrofyty, konkrétně jejich kořenové systémy a v symbióze s nimi žijící mikroorganismy, živící se na látkách obsažených v protékající OV (Brix, 1997).

Obr. 1. Typické uspořádání KČOV s horizontálním průtokem



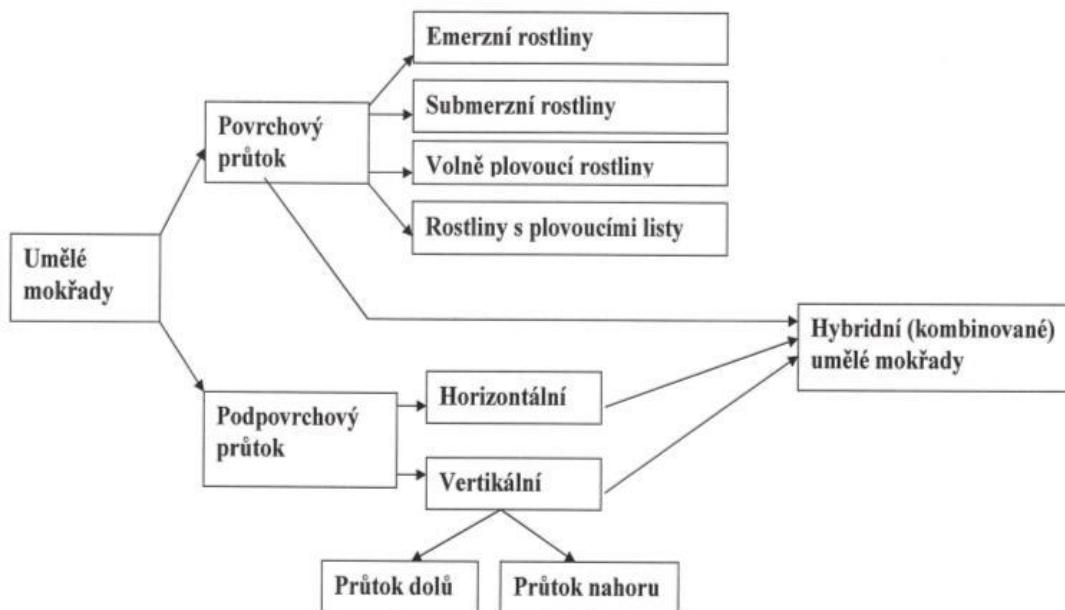
1 – Distribuční zóna (kamenivo frakce 50-200 mm), 2 – Nepropustná bariéra z plastu nebo pryže (PE, PVC, EPDM), 3 – Filtrační materiál (kačírek, štěrk, drcené kamenivo), 4 – Mokřadní vegetace, 5 – Výška vodní hladiny, 6 – Odtoková zóna (Dtto Distribuční zóna), 7 – Sběrné potrubí, 8 – Regulace výšky vodní hladiny v odtokové šachtě

Zdroj: Jan Vymazal, 2016

3.5 Dělení KČOV dle hydrologie

KČOV lze rozdělit podle způsobů (Obr. 2), jakými jimi protéká voda na několik základních typů, jak je patrné na schématu níže.

Obr. 2. Rozdělení umělých mokřadů dle průtoku OV



Zdroj: Jan Vymazal, 2016

3.5.1 Kořenové čistírny s povrchovým tokem

Tyto čistírny jsou tvořeny oblastí s otevřenou vodní hladinou, plovoucí vegetací a vznikajícími rostlinami, buď se záměrem dle návrhu anebo jako přímý důsledek provedení. OV je čištěna tím, jak protéká čistírnou za pomoci procesů sedimentace, filtrace, oxidace, redukce, adsorpce a srážení. KČOV s povrchovým tokem tvoří mokřiny velmi imitující přírodní mokřady, a tak by nemělo být překvapující, že přitahují rozmanité druhy volně žijících živočichů, především hmyz, měkkýše, ryby, obojživelníky, plazy, ptáky a savce. Kvůli potenciálnímu vystavení lidí patogenům je tento druh čistírny jen zřídka využíván k sekundárnímu čištění. KČOV s povrchovým tokem jsou vhodné ve všech klimatických podmínkách, včetně severních oblastí s nízkými teplotami. Tvorba ledu na otevřené hladině však může zabránit zimnímu provozu a účinnost některých procesů čištění je ve studené vodě snížena, zejména procesy přeměny dusíku. Když led zakrývá otevřenou vodní hladinu, tak je přenos kyslíku z atmosféry omezen, což snižuje účinnost čistících procesů závislých na kyslíku.

Jiné procesy, například odstranění nerozpuštěných látek, jsou účinnější v zimě pod ledem než v průběhu léta (Kadlec & Wallace, 2009).

3.5.2 Kořenové čistírny s horizontálním podpovrchovým průtokem

KČOV s horizontálním podpovrchovým průtokem se obvykle skládají ze vstupního potrubí, nepropustné bariéry (např. PVC, EPDM), porézního filtračního lože, mokřadní vegetace, hráze a výstupní šachty s možností regulace hladiny vody. Obvykle jsou navrženy k čištění primární OV před rozptylem půdy nebo povrchovou vodou. OV zůstává pod povrchem lože a protéká kolem kořenů a mokřadních rostlin. Z toho důvodu není voda v průběhu čištění dostupná a riziko, že přijdou patogenní organismy do kontaktu s člověkem a ostatními živočichy, je tak minimalizováno. Správně udržované a provozované čistírny neposkytují vhodné podmínky k životu pro komáry. Výstavba KČOV s horizontálním podpovrchovým průtokem je obecně dražší než čistíren s povrchovým tokem. Náklady na údržbu a provoz, ale zůstávají v porovnání s ostatními alternativami nízké. Obvykle se užívají pro sekundární čištění u rodinných domů. Obecně jsou tyto čistírny více využívány v systémech s menšími průtoky než čistírny s povrchovým tokem, pravděpodobně kvůli nákladům a zastavěné ploše. Tyto čistírny jsou, na rozdíl od těch s povrchovým tokem, schopné provozu v chladném prostředí, díky schopnosti izolování povrchu vody pod povrchem filtračního lože (Wallace a Knight, 2006).

3.5.3 Kořenové čistírny s vertikálním podpovrchovým tokem

Tyto KČOV využívají principu filtrace skrz porézní lože. OV je přivedena na povrch anebo pod povrch za pomoci distribučního systému potrubí a ze dna nádrže je vypouštěna sběrným potrubím. Změna není pouze ve směru průtoku OV skrz filtrační lože, na kterém jsou mokřadní makrofyty, ale i v kontinuitě přívodu vody, která do vertikálního filtru přitéká fázově, z čehož vyplývá, že mezi jednotlivými průtoky je filtrační lože provzdušněno, což umožňuje průběh aerobních procesů a přispívá k průběhu nitrifikačních procesů a konečnému vysrážení zachycených látek. K provozu tohoto druhu KČOV je tedy zapotřebí složitý distribuční systém potrubí, v případě

nevhodného terénu také přivedení OV za pomoci čerpadel do tohoto rozvodu, údržba distribučního systému, aby nedošlo k jeho ucpání (Šálek, 1995), (Šálek & Tlapák, 2006).

3.6 Typy čistících procesů probíhajících v KČOV

V KČOV probíhají tyto čistící procesy – fyzikální, chemické, biologické a bakteriologické.

- Fyzikální: sedimentace (gravitační usazování), mechanická filtrace při průchodu OV zeminou a kořeny, adsorpce (Van der Waalsovy síly), těkání amoniaku z OV.
- Chemické: srážení nerozpuštěných sloučenin, adsorpce na povrchu zemního materiálu a rostlin, rozklad a změny méně stabilních látek působením UV záření, oxidace a redukce.
- Biologické: bakteriální metabolismus (odstraňování suspendovanými, bentickými a epifytickými bakteriemi, bakteriální nitrifikace a denitrifikace), rostlinný metabolismus (příjem a využití organických látek rostlinami), rostlinná absorpce (za určitých podmínek jsou významná množství těchto látek přijímaná rostlinami), přirozený úhyn organismů v nevhodných podmínkách (Vymazal, 1995).

3.7 Funkční části KČOV

3.7.1 Předčišťovací část

Mechanické předčištění přitékajících OV je nezbytný předpoklad pro řádné použití KČOV. U malých zdrojů (domovní čistírny a komplexy do 50 EO) se často využívá jako první stupeň předčištění jenom septik, který může být pro účinnější předčištění rozdělen na více komor. Pro větší zdroje (malé obce) je nutné využití kombinace česlí, štěrbínové nádrže a septiku. Pokud se jedná o takový případ, že jsou na čistírnu vedeny OV z jednotné kanalizace, tak je nezbytné i zařazení lapáku písku a dešťového přelivu (Vymazal, 1995). V OV je obsaženo velké množství sedimentovatelných látek, které je nutné odfiltrovat před tím, než bude voda vpuštěna do filtračního lože, kde proběhne biologické čištění. Řádně předčištěná voda má přímý vliv na životnost kořenového pole makrofytů rostoucích na filtračním loži. Před předčištěním

je v neřadě OV obsažena koncentrace BSK5 zhruba v poměru 400 mg/l (Šálek a kol., 2008). Mezi mechanické části čistíren patří:

- Česle: Jedná se o technologická zařízení, využívaná k zachytávání a následnému odebrání volně plovoucích rozptýlených nečistot z toku. Toto zařízení je tvořeno mřížemi, které jsou umístěny v kolmém směru k přítoku ve sklonu mezi 45° až 60° od dna toku. Tato mříž se skládá z česlic (segmenty) a průlin (mezery mezi česlicemi), podle šíře těchto průlin jsou pak česle rozdělovány do tří základních tříd, tedy na hrubé, střední a jemné. Zachycené nečistoty, mezi které patří například listí, uhynulá zvířata nebo odpady tvořené plasty, papírem a gumou se pak nazývají shrabky (Kovář, 2010).
- Lapák písku: Jedná se o zařízení k oddělení minerálních látek za pomoci gravitační síly a rozdílné denzity materiálů. Oddělením písku se zabrání jeho usazování v pozdějších částech KČOV nebo obroušení dalších potrubí a zařízení. Lapákem je většinou kruhová nebo pravoúhlá nádrž, vybavená technologií pro stírání dna i hladiny (Žerava, 2008).
- Lapač tuku: Jedná se o vodotěsnou nádrž s nornými stěnami a přepážkami. V této nádrži se gravitačně odděluje tuk od OV a dochází k ní k výraznému zpomalení toku OV. Pro správný chod lapače tuků je rozhodující pravidelné provádění kontroly nárůstu vrstvy tuku a zachycený tuk je nutné likvidovat dle schváleného programu likvidace a evidence odpadů, vypracovaného pro konkrétní čistírnu, dle jejího zatížení (Březinová, 2012).
- Usazovací nádrž: Jedná se o vodní nádrž umístěnou do soustavy systému KČOV za účelem usazení částic na jejím dně (ČSN 75 6401). Dle svého umístění v systému tyto nádrže můžeme dělit na primární (začátek celé technologické linky) nebo sekundární (za biologickým čištěním). Primární usazovací nádrže jsou určeny k separaci a také zvýšení hustoty primárního kalu, s cílem získat minimální koncentrace NL při odtoku OV z usazovací nádrže (Havlík, 2015).

- Štěrbínová nádrž: Nazývaná také Emšerská je usazovací nádrž, kterou OV protéká podélně. Kalový prostor je u této nádrže oddělen, horní část slouží k sedimentaci kalu, který následně propadá štěrbinou do nižší části, kde se zahušťuje a anaerobně stabilizuje. Mezidno, kterým kal propadá je tvořeno stěnami s minimálním sklonem 1,4 : 1. Látky se tak neustále posouvají k ústí štěrbin a propadají do určeného prostoru, z této části musí být kal při pravidelné údržbě odebírán (Mlejnská & Rozkošný, 2014).
- Septik: Jedná se o nádrž umožňující částečné čištění OV, které umožňují jednotlivé komory septiku a celková vnitřní plocha stěn. Účinnost septiku udává počet komor v jednoduchém vztahu, kdy čím více komor je, tím má septik vyšší účinnost. Účinnost čistící schopnosti lze také navýšit za pomoci aplikace některých bakterií anebo přípravků obsahujících užitečné enzymy (Kováčová, 2017).

3.7.2 Filtrační lože

Filtrační lože je umístěno ve spádu za předčišťovací částí čistírny a tvoří její hlavní a nejrozsáhlejší část. Pro jasné oddělení tohoto lože od okolní zeminy a zamezení kontaminace podzemních vod, se využívá nepropustné vrstvy, nejčastěji tvořené plastovou anebo pryžovou fólií. Aby při plnění filtračního lože materiálem, který je tvořen často ostrohrannou frakcí kameniva, nedošlo k protržení či proseknutí těchto fólií, jsou tyto fólie kryty z obou stran geotextilií nebo obdobným krycím materiálem (Vymazal, 1995). Lože je většinou 60 až 80 cm hluboké a musí splňovat především dvě podmínky. Za prvé musí být materiál, který ho tvoří, dobře hydraulicky vodivý, aby bylo zamezeno jeho zanášení NL a následnému odtoku z jeho povrchu. Historicky se využívaly těžké jílové zeminy, ty sice neměly negativní vliv na čistící efekt, ale nebyly schopné zadržet zápach. Z tohoto důvodu se dnes již používá nejčastěji šterkopísek a šterk, které jsou schopny fungovat jako pachová uzávěra. Druhou podmínkou, kterou musí filtrační lože splňovat, je umožnění růstu vegetace, která je na něm vysázena (Kejhová, 2016). Ve filtračním poli se odehrávají hlavní čistící procesy především za pomoci bakterií na povrchu náplně filtračního lože.

OV natéká do lože ze zabudovaného potrubí, kde se rovnoměrně rozděluje po celé jeho šířce. K tomu slouží rozdělovací potrubí a na něj navazující rozdělovací pás šterku. Následně protéká voda celým objemem filtračního lože směrem k výtoku, ať už se jedná o vertikální, či horizontální filtr. K odvedení vody z filtru je v loži umístěné sběrné potrubí napojené na výtok. Finální pohledová úprava svahu filtračního pole se pak řeší kamenným obkladem nebo zatravněním (Kejhová, 2016).

3.7.3 Vegetace

Mokřadní rostliny mají pro plné fungování čistících procesů v KČOV spíše doplňující význam (Vymazal, 1995). Přítomnost této vegetace tedy nemá na zvýšení čistícího účinku zásadní vliv, ale uplatňuje další důležité funkce celkově spojené se systémem KČOV. Jedná se například o:

- Ochranu filtračního lože před erozí
- Částečnou ochranu filtračního lože před zanášením
- Tvorbu vhodného prostředí pro mikroorganismy žijící ve filtračním loži
- Dodávku kyslíku do filtračního materiálu v okolí kořenů rostlin, v těsné blízkosti pak vzniká aerobní pásmo
- Odčerpávání přebytečných živin
- Zvýšení transpirace a tím zlepšení vlastností mikroklimatu
- Začlenění do krajinného rázu (Estetický účinek)

(Mlejnská & kol., 2009)

Na KČOV nelze použít jakákoliv makrofyta. Rostliny zde používané musí zvládat splnění řady kritérií, mezi která patří:

- Produkce velké nadzemní biomasy, která slouží k celkovému zateplení povrchu filtračního lože
- Tolerance vysokého stupně anaerobie v důsledku velkého organického zatížení a znečištění
- Dobrá vlastnost prokořenění filtračního materiálu, kořeny pak slouží k růstu bakterií a difúze kyslíku do rhizosféry (Vymazal, 2016)

Mezi nejčastěji využívané mokřadní rostliny pro výsadbu na KČOV v ČR patří: rákos obecný (*Phragmites australis*) a chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*), dále pak orobince (*Typha latifolia* a *Typha angustifolia*) a ke zlepšení estetického vzhledu se na okraje vysazují trsy bažinných rostlin (např. kosatec žlutý, zblochan vodní) (Hamanová, 2011). Na základě provozních zkušeností se chrastice osvědčila jako přízpusobivější, díky své schopnosti odolnosti proti sešlapu a také díky tomu, že jí svědčí více plochy s protékající vodou oproti rákosu, který více prosperuje ve stojatých vodách. V současnosti se ale nejvíce používá pro osázení kořenových filtrů kombinace těchto dvou mokřadních rostlin. Jejich kořenová pole se vzájemně propojují a obě rostliny se kombinují při vegetačním cyklu. Tato kombinace spočívá v rychlém jarním růstu chrastice a pozdějším růstu rákosu, který svůj cyklus ukončuje na podzim. U ostatních rostlin se nahlíží více na jejich estetickou stránku. Například při zkombinování rostlin chrastice rákosovité, orobince, kosatce s některými širokolistými mokřadními rostlinami, můžeme docílit příjemně působícího estetického vzhledu v zahradách a parcích (Hoblík & Elblová, 2002).

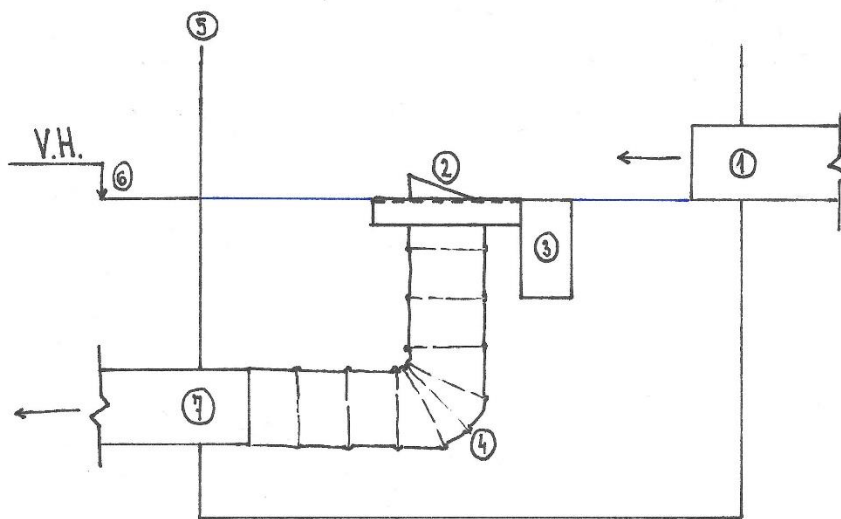
3.7.4 Rozvodné a sběrné systémy

Historicky byla předčištěná OV přiváděna do rozvodné zóny otevřeným žlabem. Vzhledem k nutnosti neustálé kontroly přelivných hran se tento způsob ukázal jako nevhodný. Od poloviny 80. let tak nejčastějším způsobem rozvodu OV bývá perforované plastové potrubí o světlosti 100–200 mm, děrováno je velkými otvory z důvodu zamezení zanášení těchto otvorů. Toto potrubí je nejčastěji uloženo a zasypáno na povrchu rozvodné zóny, která je tvořena hrubým kamením (Vymazal, 2016). Rozvodné potrubí je nutné udržovat, takováto údržba spočívá v občasném proplachování a z tohoto důvodu bývá ukončeno revizní tvarovkou, nejčastěji se jedná o pravoúhlé koleno. Rozvodné zóny jsou široké od 0,5–2,0 m a vysypané kamenivem frakce 50–200 mm (Vymazal, 1995).

Sběrné potrubí je ukládáno na dno filtračního lože. V ideálním případě je izolováno od filtračního lože geotextilií, aby se zamezilo ucpání perforací. Dále je pak napojeno do odtokové šachty s výpustním mechanismem, který funguje na principu spojených nádob a nastavuje se jím výška vodního sloupce ve filtračním poli. V prvních KČOV byla používána železná kolena, která upravovala vodní sloupec svým otáčením. Tato kolena bohužel kvůli svému materiálu rychle korodovala a již po krátké době se stávala neovladatelnými, protiopatřením se stala náhrada na kolena plastová. V poslední době se

pak nejvíce osvědčují flexibilní hadice opatřené závěsem z objímky a řetízku – manipulace hadicemi je velmi intuitivní a funguje na principu spojených nádob, jejich využitím lze dosáhnout vhodného nastavení pro každý jednotlivý objekt (Vymazal & Kröpfelová, 2006). Jako nejmodernější metodu můžeme uvést využití tzv. pulzní hadice. Ta je tvořena flexibilní hadicí, jejíž nátok je opatřen trychtýřem se závažím - viz. Obr. 3 (Meheš, 2020). Jako provozní se pak udržuje hladina 5 – 10 cm pod povrchem filtračního lože. V zimních měsících je možné hladinu snížit, ale na základě provozních zkušeností je prokázáno, že vegetace a její kořenový systém zajišťují izolaci před zamrznáním (Vymazal & Kröpfelová, 2006).

Obr. 3. Uspořádání moderní odtokové šachty



1 – Nátok, 2 – Trychtýř, 3 – Závaží, 4 – Flexibilní hadice, 5 – Vodní hladina, 6 – Vodní hladina, 7 – Odtok

Zdroj: autor práce

3.7.5 Provoz a údržba

Nejpodstatnější výhodou KČOV je nulová spotřeba elektřiny oproti běžným čistírnám (Mlejnská, 2009). Původně nebyly v KČOV ani využívány žádné mechanické části, to se však s vývojem a úpravami čistících procesů mění a v KČOV se začínají objevovat například „pulzní“ klapky.

Udržovat KČOV provozuschopnou je nenáročný úkol, který je ale nutné plnit. Důležité je především čištění části mechanického předčištění, tedy česlí, lapáku písku a šterku (Vymazal, 2003). Je tedy velice podstatné nahromaděný materiál průběžně odstraňovat, jinak tyto NL ucpou filtrační pole, tzv. kolmatace. Následkem je pak povrchový tok, který nemá příliš velký vliv na účinnost čištění, ale způsobuje problémy hygienického rázu (Vymazal, 2011). Dále je pak nezbytná i kontrola nastavení výšky vodní hladiny ve filtračním poli. Bohužel dochází k tomu, že je „nenáročná údržba“ zaměňována za pojem „žádná údržba“, následkem čehož dochází k častým provozním poruchám (Vymazal, 2003).

3.8 Výhody a nevýhody používání KČOV

Při používání KČOV lze charakterizovat jejich jasné výhody a nevýhody. Mezi jejich výhody se počítají tyto vlastnosti: Nespotřebovávají (až na výjimečné případy při nedostatku prostoru) elektrickou energii, s tím je spojena i menší pravděpodobnost poruch jednotlivých částí systému. Jednoduchost celé stavby vyžaduje jen minimální nároky na pravidelnou údržbu. Kvalitně zvládají kolísání v kvalitě a objemu přitékající OV, z toho vyplývá, že mohou fungovat s přerušovaným provozem (například chatářské oblasti), což klasické čistírny nemohou. Také přečišťují OV s nízkými koncentracemi organických látek na rozdíl od klasických čistíren a v neposlední řadě nenarušují krajinný ráz venkova a při vhodném zakomponování a volbě rostlin se stavebními materiály mohou plnit i okrasnou funkci.

Mezi jejich nevýhody se počítá především neschopnost čistit fosfor a amoniak, dále oproti klasickým čistírnám zabírají mnohem více místa. Strojní čistírny jsou lépe říditelné, jednodušeji se vyhodnocují vzniklé problémy a jejich nápravná opatření. Jako průvodní jev může, ale nemusí při anaerobních procesech vznikat bílý povlak na odtoku

z filtru, ten je tvořen elementární sírou, která je důsledkem oxidace sirovodíku (Komínková & kol., 2014).

3.9 Účinnost čištění

Účinnost KČOV (Tab. 1) se vyhodnocuje na základě kvality vody získané na odtoku z čistírny a jejího plnění emisních standardů (Hamanová, 2014). Na odtoku z čistírny se hodnotí těchto šest parametrů:

- CHSK Cr,
- BSK5,
- NL,
- N amon (amoniakální dusík),
- N celk,
- P celk

Limity těchto parametrů jsou dány nařízením vlády č.401/2015 Sb., tímto nařízením jsou dány maximální přípustné hodnoty jednotlivých parametrů. V ČR se KČOV nejčastěji dimenzují tak, aby dostatečně odstraňovali organické látky (CHSKCr, BSK5) a NL. Tyto parametry jsou limitovány kategorií čistíren ve velikosti pro 500 EO. Na účinnost čištění KČOV mají výrazný vliv změny v průběhu provozu, jako například napojení další části obce nebo odpojení současných septiků a přítoků dešťových vod (Vymazal, 2016).

Tab. 1. Účinnost čistících procesů odpadních vod v kořenových čistírnách v ČR za období 1989 – 2010

Parametr	Počet KČOV*	Koncentrace (mg.l-1)		Účinnost (%)**
		Přítok	Odtok	
BSK ₅	505 (78)	163	13,7	85,3
CHSKCr	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 - NH ₄ ⁺	339 (56)	30,1	17,4	34,2

*První číslo znamená počet ročních průměrů, číslo v závorce je počet KČOV

**Průměr účinnosti jednotlivých čistíren

Zdroj: Jan Vymazal, 2016

3.9.1 Organické látky

Látky organického původu jsou nejčastějším polutantem vod. Jejich koncentraci určujeme z jejich celkového množství v objemu vody nebo množství v čase (Najbrtová, 2017). KČOV mají, na rozdíl mechanicko-biologických čistíren, jako jednu z nejpodstatnějších vlastností přečišťovat OV s velice nízkou koncentrací znečištění na vstupu do čistírny. O (BSK₅, CHSKCr) jsou eliminovány s nadstandardní účinností. Míra této účinnosti je nejvíce závislá na momentálním ročním období a koncentraci organických látek na přítoku. Mikrobiální rozklad organických látek probíhá ve filtračním loži především anaerobně, ale může probíhat i aerobně (Abou-Elela & Hellal, 2012). Velké množství obcí v ČR je vybudováno s jednotnou kanalizací, a proto jsou koncentrace OL na vstupu velmi nízké a pro čištění takových vod jsou KČOV velice vhodné (Vymazal, 2016). Jako komplexní ukazatele organického znečištění využíváme:

- Biochemická spotřeba kyslíku (BSK): Jedná se o obsah biologicky rozložitelných látek v OV za aerobních podmínek. Jde tedy o množství kyslíku, který je spotřebován na biologický rozklad OL. Jako nejčastější metodu pro určení kvality vody využíváme metodu BSK5. Číslo 5 znamená spotřebu kyslíku za období pěti dnů. Nejpodstatnějšími zdroji znečištění BSK5 jsou splašky, živočišná výroba a potravinářský průmysl. Hodnotu BSK5 vyjadřujeme v mg/l a nebo v kg/den, tato hodnota je pak pro jednoho EO rovná 60 g/den.
- Chemická spotřeba kyslíku (CHSK): Jedná se o ukazatel veškerého organického znečištění. Jde o množství kyslíku spotřebovaného k oxidaci OL za pomoci přidaného činidla. Jako činidlo využíváme například dichroman draselný (Cr) nebo manganistan draselný (Mn). Hodnotu CHSK vyjadřujeme opět v mg/l a nebo v kg/den.

Ke stanovení celkového stupně biologické degradace používáme poměr těchto dvou ukazatelů, tedy BSK/CHSK. Látky, které degradují obtížněji, mají v tomto poměru nízké hodnoty, a naopak snadněji rozložitelné látky mají tyto hodnoty vysoké, v praxi to znamená, že čím jsou látky lépe rozložitelné, tím se hodnota poměru mezi BSK a CHSK blíží více 1. Pro různé OV je tento poměr také různý a proto nelze stanovit jeho obecnou hodnotu (Najbrtová, 2017).

3.9.2 Anorganické látky

Anorganické látky jsou v OV především v rozpuštěném stavu a jejich množství se obvykle stanovuje jako obsah solí a iontů ve zdroji. Do vody se dostávají jako produkty přírodních a antropologických procesů. Nejvýznamnější zastoupení anorganických látek v OV mají fosfor, dusík, síra, halogeny a jejich sloučeniny. Pro fosfor pak platí, že pokud je koncentrace těchto látek zvýšená, tak může vést k eutrofizaci vody, k rozsáhlému růstu řas a dalším průvodním jevům (Najbrtová, 2017). Celkově mezi anorganické látky řadíme:

- Dusík: Jde o velmi problematickou látku k odstranění, která je v KČOV přítomná jako amoniak a ve sloučeninách. Celková eliminace dusíku nepřesahuje 50% a amoniakálního dusíku je pouze mezi 20 – 40%. Jako hlavní

příčina tohoto jevu se uvádí nedostatek kyslíku ve filtračním loži. Další příčinou je to, že se organicky vázaný dusík mění na amoniak, který celkovou koncentraci amoniaku navyšuje. Nitrifikace amoniaku probíhá především v těsné blízkosti kořenů, protože u nich uniká kyslík. Výsledkem je vznik dusičnanů a jejich přeměna do plynné formy dusíku, který uniká do atmosféry. Abychom zvýšili obsah kyslíku ve filtračním loži, tak používáme například KČOV s kaskádovitým uspořádáním, které umožňuje větší aeraci a tím i lepší podmínky při odstraňování dusíku (Vymazal, 2004).

- Fosfor: Jde o látku, která se v KČOV vyskytuje především v partikulované i rozpuštěné formě a také vázaná ve sloučeninách. Do OV se dostává především z exkrementů a myček nádobí. Fosfor je také živinou, která je nepostradatelná při vývoji a růstu vyšších organismů. Nadměrné koncentrace fosforu ve vodě tak vedou ke zvýšenému rozvoji řas a sinic jako důsledek eutrofizačních procesů (Kučerová & kol., 2010). Fosfor z KČOV se odstraňuje nejvíce zachycením na povrchu výplně filtračního lože a srážením s ionty Fe, Al, Mg a Ca. Efektivita odstraňování fosforu dosahuje pouze cca 50%, protože materiál využívaný jako náplň filtračního pole má malou sorpční kapacitu (Kejhová, 2016). Adsorpce fosforu se odvíjí od těchto faktorů: Množství iontů Fe, AL, MG a Ca, dále od Ph, hydraulické vodivosti a povrchu filtračního materiálu (Ayaz & kol., 2012). Zlepšení této vlastnosti můžeme provést například přidáním kalcitu, jehož sorpční schopnost je vysoká. Jako další alternativy lze využít zeolit, apatit a různé druhy odpadního materiálu, jakým je například vysokopecní struska (u té ale hrozí „spojení“ materiálu, při vyšších teplotách vznikajících při přímém vystavení slunečnímu záření v létě) (Vymazal, 2004).

3.9.3 Nerozpuštěné látky

NL jsou vyjádřením obsahu podílu pevných látek v OV, nejčastěji se dělí na usaditelné a neusaditelné (Kováčová, 2017). NL jsou z KČOV odstraňovány nejčastěji filtrace a sedimentací. To může bohužel v určitých situacích způsobit ucpávání filtračního lože. Je prokázáno, že velká část NL je odstraněna již v rozvodné zóně

a úzkém pásu filtračního lože na přítoku (Vymazal, 2016). Ucpávání nemá na celkový výsledek čistícího procesu zásadní vliv, ale jeho následkem jsou spíše hygienické problémy, jako zápach a komáři. Účinnost eliminace NL v KČOV dosahuje až 85% (Vymazal, 2004).

3.9.4 Rizikové prvky, těžké kovy a mikrobiální znečištění

Efektivita odstraňování rizikových prvků v KČOV, včetně těžkých kovů, je poměrně vysoká, ale je značně rozdílná pro jednotlivé prvky. Nejvyšší míra odstraňování je zaznamenána pro tyto látky: hliník, měď, olovo, zinek a chrom. Ostatní rizikové prvky se zadržují v podzemní biomase a sedimentu, pouze v minimální míře se pak přesouvají do nadzemní biomasy rostlin. Koncentrace těchto látek jsou pak srovnatelné s těmi, které se vyskytují na přírodních stanovištích. Na základě těchto faktů nejsou rostliny rostoucí na KČOV považovány za nebezpečný odpad (Vymazal, 2016). V současnosti se stává velmi probíraným tématem problematika zbytků farmak nacházejících se v OV. Běžné čistírny mají s jejich eliminací poměrně velké obtíže. Na základě nejnovějších výzkumů si umí právě KČOV poradit i s těmi zbytky farmak a hormonů. Výsledkem výzkumů, které se zabývají eliminací farmak, je také fakt, že OV znečištěné léčivými představují středně vysoké riziko pro živé organismy. Pokud by toto znečištění dosáhlo vysokých koncentrací, tak by mohlo mít i permanentní toxické účinky. Největším rizikem pro ŽP jsou tato léčiva: Antibiotika, Analgetika, Psychofarmaka a Antiflogistika (Vymazal, 2015). Mikrobiální polutanty jsou v KČOV odstraňovány kombinací biologických, chemických a fyzikálních procesů. V případě eliminace mikrobiálních znečištění je efektivita odstraňování srovnatelná s tou, kterou mají klasické čistírny odpadních vod, v obou případech je velmi vysoká a pro koliformní a termotolerantních koliformních bakterií dosahuje až 90% (Vymazal, 2016).

4 Metodika

4.1 Golfové hřiště – Prague Oaks, Nebřenice

Nebřenice (Obr. 4 a obr. 5) jsou malá obec ve Středočeském kraji, v okrese Praha – Východ, spadající pod obec Popovičky. Obec je situována v malém údolí, kterým protéká Chomutovický potok, celá lokalita pak spadá do povodí Vltavy. Golfové hřiště je budováno na pozemcích poblíž bývalého zámeckého parku a lesoparku. Tento park přináležel k Nebřenickému zámku. Stojí v něm hrobka Hilbertů ze Shüttelsbergu, jimž pozemky od roku 1848 patřily a kteří se zásadně přičinili o vzhled krajiny, která se víceméně zachovala až do současnosti. Celkový objekt zámku tvoří klasicistní zámeček. Vznikl přestavbou z původní barokní budovy a blízké hospodářské budovy (špýchar, stodola a chlévy). Historicky je budova zámku poprvé zmiňována už roku 1437 a to v podobě zemědělského statku.

Obr. 4. Umístění lokality v rámci Středočeského kraje



Zdroj: <https://www.risy.cz/cs/krajske-ris/stredocesky-kraj/regionalni-informace/o-kraji>
upravil Turnovský, 2020

Obr. 5. Podrobná mapa lokality Nebřenice



Zdroj: www.mapy.cz upravil Turnovský, 2020

4.2 Vhodnost lokality

Nejdeálnějši alternativou pro výstavbu nového areálu golfového hřiště je rekultivace území. Rekultivace jsou aktivní a dlouhodobá opatření k snížení vlivu antropogenní (např. těžební) činnosti, s cílem přeměnit poškozené krajinné prvky a obnovit krajinný ráz. Při tomto procesu je také nutné zajistit maximalizaci rozmanitosti a estetické hodnoty krajiny.

Výsledkem by mělo být, aby hřiště měla co nejméně patrný vliv na krajinu a hlavně do ní zapadala.

Golfová hřiště v Čechách jsou v současnosti stavěna ze třetiny na orné půdě, ze třetiny na trvalém travním porostu a poslední třetinu tvoří tzv. ostatní plochy. Toto rozdělení není ideální, protože dvě třetiny hřišť tak zabírají půdu, která mohla být využita pro zemědělské účely (Leitgeb, 2010).

4.3 KČOV Prague Oaks, Nebřenice

KČOV jsou v této etapě řešeny jako dílčí kořenové čistírny s označením KČOV č.2, KČOV č.4, KČOV č.5, KČOV č.6, KČOV č.7 a KČOV č.10. Tyto KČOV se liší podle recipientu přečištěných drenážních vod. Moje práce se zabývá kontrolou pouze několika z nich a to KČOV č.2, KČOV č.4 a KČOV č.10. PZN.

Obr. 6. Nebřenice, KČOV č.10 v provozu



Zdroj: archiv autora, 2020

4.4 Základní popis řešení nakládání s dešťovou vodou

V částech areálu golfového hřiště, kde jsou povrchové a průsakové drenáže svedeny do malých vodních toků, jsou vystavěny biotechnologické denitrifikační reaktory (biofiltry). Tyto reaktory slouží k odbourávání dusičnanových iontů, které se do dešťových smyvů dostávají při aplikaci hnojiv a postřiků okrasných trávníků v areálu golfového hřiště. Tyto látky následně podporují eutrofizaci vodních toků a další děje ve vodním koloběhu.

Biotechnologie denitrifikačních reaktorů představuje příležitost pro zvýšení účinnosti čištění povrchové a podzemní vody v ekosystémovém měřítku. Jedná se vysoce účinné řešení odstranění dusíkatých iontů z povrchové vody (průsakové podzemní). Technologie spočívá v umístění denitrifikačních bariér v místech s největším únikem dusíkatých iontů do vodních toků. Denitrifikace zahrnuje biochemickou redukci nitrátů a nitritů činností organotrofních bakterií v anoxických podmínkách až na elementární dusík.

Vhodné náplňové materiály a zároveň zdroje uhlíku v bariérách jsou mulčovací kůra, piliny, štěpka, kompost, atd. Dusík je tímto způsobem z vody odstraňován. Tato technologie se využívá pro dešťové a drenážní smyvy převážně ze zemědělsky obhospodařovaných ploch, ale lze je implementovat do všech znečištěných vod jako přirozený zdroj uhlíku pro následný proces anaerobního i aerobního čištění.

Pro potřeby tohoto projektu jsou navrženy denitrifikační reaktory s náplní topolové štěpky, která má nejoptimálnější vlastnosti pro tento konkrétní případ. Za reaktory jsou umístěny přírodní, pro bezpečné dočištění zbytkových koncentrací, aby na odtoku byla vypouštěna pouze dešťová voda bez případného znečištění ze smyvů. Současně bude reaktor snižovat nárazové hydraulické zatížení drobných toků z povrchových smyvů (Jakub Cigler Architekti a.s., 2016).

4.5 Popis zařízení - KČOV č.2

KČOV bude sloužit k odstraňování dusičnanových iontů, které se do dešťových smyvů dostávají při aplikaci hnojiv a postřiků okrasných trávníků v areálu golfového hřiště. Je umístěn na koncové výusti drenážního potrubí pro příslušný úsek areálu. Konstrukčně je KČOV č.2 (Obr. 7) složena z filtru 2a na ploše 6 m² a filtru 2b na ploše 6 m². Dešťová a drenážní voda je svedena areálovým systémem svodů do výustního bodu. Jako náplň filtru 2a je navrženo prané drcené kamenivo frakce 8/16 tl. 800 mm a substrát z topolové štěpky tl. 350 mm. Jako náplň filtru 2b je navrženo prané drcené kamenivo frakce 8/16 tl. 150 mm a prané drcené kamenivo frakce 4/8 tl. 850 mm. Výtoková zóna je z praného kameniva zeolit 4/8. Pro rovnoměrný přítok vody na filtr 2a je navrženo potrubí PP HT DN 100 o délce 3 m do skrápěcích větví PP HT DN 40 o souhrnné délce 10m. Pro rovnoměrný odtok z filtru 2a je navrženo perforované potrubí

PVC KG DN 100 o délce 2 m. Přítok na filtr 2b je navržen perforovaným potrubím PVC KG DN 100 o délce 5 m.

Obr. 7. Nebřenice, KČOV č.2, v průběhu výstavby



Zdroj: archiv Martin Meheš & MEKL Projekt, 2018

Perforace bude provedena dle výkresové dokumentace. Rozvodné potrubí bude osazeno v rovině s tolerancí +3 mm (je navrženo uložit nátokové rozvodné potrubí PP HT DN 100 na kamenné podložky). Vrstva zásypu substrátem rozvodného potrubí musí zcela zakrýt povrch kolem potrubí. Rozvodné i sběrné potrubí je vždy ukončeno revizním potrubím (označení RK), kterým se bude provádět údržba a čištění perforovaného potrubí. Toto potrubí bude vzduchotěsně zazátkováno, aby nedocházelo k vedlejším pachovým jevům. Povrch filtru 2a tvoří, přes separační geotestílii K 300, zásyp zeminou s ohumusováním a zatravněním. Povrch filtru 2b tvoří osázení

mokřadními rostlinami, které bude provedeno v množství 6 sazenic/m². Odtokové koryto je tvořeno z hydroizolační fólie EPDM tl. 1,02 mm, která bude zakryta vrstvou zeolitu fr. 4/8.

Provozně se bude jednat o čištění rozdělovacího potrubí PP HT DN 100 a 40, které je uvažováno dle potřeby. Potřeba nastane při trvalém vzduťí filtru 2a. Předpokládá se ale souběžné čištění rozdělovacího potrubí PP HT a výměny štěpkové náplně, která vyplyne ze skutečného zatížení KČOV, ale výpočtově se bude jednat o interval 1x za 5-8 let. Při výměně štěpky dojde k odkrytí drnů tl. 160 mm a geotextílie. Následně se vyjme a vyčistí rozdělovací potrubí PP HT DN 100 a 40 a vypotřebovaná štěpková náplň o objemu cca 1,5 m³. Uloží se nová náplň, vrátí se rozdělovací potrubí, geotextílie a zatravnění (Jakub Cigler Architekti a.s., 2016).

4.6 Popis zařízení - KČOV č.4

KČOV bude sloužit k odbourávání dusičnanových iontů, které se do dešťových smyvů dostávají při aplikaci hnojiv a postřiků okrasných trávníků v areálu golfového hřiště. Je umístěn na koncové výusti drenážního potrubí pro příslušný úsek areálu.

Konstrukčně je KČOV č.4 (Obr. 8) složena z filtru 4a na ploše 12 m² a filtru 4b na ploše 12 m². Dešťová a drenážní voda je svedena areálovým systémem svodů do výústního bodu.

Obr. 8. Nebřenice, KČOV č.4 pokládka základní krycí vrstvy z geotextílie



Zdroj: archiv Martin Meheš & MEKL Projekt, 2018

Jako náplň filtru 4a je navrženo prané drcené kamenivo frakce 8/16 tl. 800 mm a substrát z topolové štěpky tl. 350 mm. Jako náplň filtru 4b je navrženo prané drcené kamenivo frakce 8/16 tl. 150 mm a prané drcené kamenivo frakce 4/8 tl. 850 mm. Výtoková zóna je z praného kameniva zeolit 4/8. Pro rovnoměrný přítok vody na filtr 4a je navrženo potrubí PP HT DN 100 o délce 3 m do skrápěcích větví PP HT DN 40 o souhrnné délce 20 m. Pro rovnoměrný odtok z filtru 4a je navrženo perforované potrubí PVC KG DN 100 o délce 5 m. Přítok na filtr 4b je navržen perforovaným potrubím PVC KG DN 100 o délce 6 m. Perforace bude provedena dle výkresové dokumentace. Rozvodné potrubí bude osazeno v rovině s tolerancí +3 mm (je navrženo uložit nátokové rozvodné potrubí PP HT DN 100 na kamenné podložky). Vrstva zásypu

substrátem rozvodného potrubí musí zcela zakrýt povrch kolem potrubí. Rozvodné i sběrné potrubí je vždy ukončeno revizním potrubím (označení RK), kterým se bude provádět údržba a čištění perforovaného potrubí. Toto potrubí bude vzduchotěsně zazátkováno, aby nedocházelo k vedlejším pachovým jevům. Povrch filtru 4a tvoří, přes separační geotextilii K 300, zásyp zeminou s ohumusováním a zatravněním. Povrch filtru 4b tvoří osázení mokřadními rostlinami, které bude provedeno v množství 6 sazenic/ m². Odtok je tvořen potrubím PVC KG DN 100, které vyústí ve svahu koryta. Vyústění bude zpevněno kamennou rovnáninou do betonové zálivky dle výkresové dokumentace.

Provozně se bude jednat o čištění rozdělovacího potrubí PP HT DN 100 a 40, které je uvažováno dle potřeby. Potřeba nastane při trvalém vzduťí filtru 4a. Předpokládá se ale souběžné čištění rozdělovacího potrubí PP HT a výměny štěpkové náplně, která vyplýne ze skutečného zatížení KČOV, ale výpočtově se bude jednat o interval 1x za 5-8 let. Při výměně štěpky dojde k odkrytí drnů tl. 160 mm a geotextilie. Následně se vyjme a vyčistí rozdělovací potrubí PP HT DN 100 a 40 a vypotřebovaná štěpková náplň o objemu cca 2,6m³. Uloží se nová náplň, vrátí se rozdělovací potrubí, geotextilie a zatravnění (Jakub Cigler Architekti a.s., 2016).

4.7 Popis zařízení - KČOV č. 10

KČOV bude sloužit k odbourávání dusičnanových iontů, které se do dešťových smyvů dostávají při aplikaci hnojiv a postřiků okrasných trávníků v areálu golfového hřiště. Je umístěn na koncové výusti drenážního potrubí pro příslušný úsek areálu. Protože přečištěná voda z KČOV č.10 (Obr. 9) je vedena do čerpací šachty a následně bude akumulována v závlahové nádrži, je posílena sorpční část filtru.

Obr. 9. Nebřenice, KČOV č.10 pokládka nepropustné vrstvy z EPDM



Zdroj: archiv Martin Meheš & MEKL Projekt, 2018

Jako náplň filtru 10 je navrženo prané drcené kamenivo frakce 8/16 tl. 150 mm a prané drcené kamenivo frakce 4/8 tl. 850 mm. Výtoková zóna je z praného kameniva zeolit 4/8. Rovnoměrný přítok na filtr 10 je navržen perforovaným potrubím PVC KG DN 100 o délce 24 m. Perforace bude provedena dle výkresové dokumentace. Rozvodné potrubí bude osazeno v rovině s tolerancí +3 mm. Vrstva zásypu sběrného potrubí musí zcela zakrýt povrch kolem potrubí. Rozvodné i sběrné potrubí je vždy ukončeno revizním potrubím (označení RK), kterým se bude provádět údržba a čištění perforovaného potrubí. Toto potrubí bude vzduchotěsně zazátkováno, aby nedocházelo k vedlejším pachovým jevům. Povrch filtru 10 tvoří osázení mokřadními rostlinami,

které bude provedeno v množství 6 sazenic/m². Odtok zajišťuje potrubí PVC KG DN 150, které je napojeno na navrhovaný drenážní systém areálu v šachtě KŠ za KČOV č.10 (Jakub Cigler Architekti a.s., 2016).

4.8 Zeolit

Pro odstranění těžkých kovů z vody jsou nám známy různé způsoby. Patří mezi ně například chemické srážení, adsorpce, biosorpce, membránová filtrace, elektrochemické mety anebo iontová výměna. Z pohledu, který se zabývá ochranou životního prostředí, je zajímavé především využití odpadního materiálu průmyslové výroby k výrobě syntetických zeolitů. Ty umíme využít ve vztahu ke KČOV k iontové výměně a adsorpci. Jednotlivé metody mají své výhody i nevýhody. V tomto případě se nejedná o levné řešení, které nám umožní odstranit nežádoucí ionty z prostředí, ale díky možnosti znovuvyužití odpadu se hledají pro syntetické zeolity (Obr. 10) i další uplatnění (Fu & Wang, 2011).

K výhodám používání odpadu k syntéze zeolitů je následný pokles množství odpadu, který je nutné uložit na skládky, na kterých může dojít k nežádoucímu vyluhování nebezpečných látek do okolní půdy. S tím souvisí i to, že půda, která nebyla využita pro potřeby skládky, může být nakonec použita k jiným účelům. Dále dochází ke snížení poplatků za tyto skládky a původce odpadů může i prodejem odpadu potřebného k syntéze zeolitů obdržet finanční příjem. V neposlední řadě se výrobou syntetických zeolitů snižuje potřeba těžby přírodního zeolitu (Remenárová & kol., 2014). Přírodní zeolity se často využívají k čištění OV, bohužel ale vykazují malou efektivitu při výměně aniontů, protože jejich primární náboj je záporný. Faktem tedy je, že nedokáží odstraňovat OL z vody. Varianta, jak tuto schopnost změnit je v povrchově aktivních látkách. Výhodou povrchově aktivních látek je to, že pokryjí pouze povrch zeolitu a v pórech zůstane již zmiňovaný záporný náboj, který je i nadále schopný vázat kationty. Přírodní zeolity není možné těžít vždy pouze v čisté podobě, a to má zásadní vliv na jejich schopnost adsorpce a iontové výměny. Různé typy zeolitů mají odlišné složení a rozdílné kompenzační kationty, které jsou dané způsobem jejich vzniku (Mishra & Clark, 2013). K odstranění těžkých kovů z vody se používají tedy oba druhy zeolitů, protože jejich vlastnosti jsou si podobné. Struktura syntetických zeolitů se ale

v průběhu syntézy dá upravovat a lze tak docílit zlepšení jejich vlastností poutání konkrétních iontů a těžkých kovů, jsou proto praktičtější volbou (Shevade & Ford, 2004).

Obr. 10. Nebřenice, KČOV č.10 Zeolit použitý při výstavbě



Zdroj: archiv autora, 2020

4.9 Směs štěrku a topolové štěpky

Na základě splnění vytyčených cílů, které stanovuje tzv. „nitratová“ směrnice (Směrnice Rady 91/676/EHS o ochraně vod před znečištěním způsobeném dusičnany ze zemědělských zdrojů), se problémům s kvalitou drenážní vody příkládá v současnosti větší váha (91/676/EHS). Odvodnění jako drenáž byla historicky využívána na převážném podílu ploch, které jsou intenzivně využívány jako zemědělské. Zvýšené koncentrace dusičnanů pak způsobují zhoršení kvality vod povrchových o podzemních (Kvítek & kol., 2009). Část prací má v závěru výsledné koncentrace dusičnanů, vyskytujících se v drenážních vodách, které přesahují i 100 mg/l. Tyto zvýšené koncentrace mají za následek eutrofizaci povrchových vod. Pokud selhávají preventivní opatření proti těmto jevům, tak je nutné vyhledávat jiné možnosti snížení koncentrací dusičnanů v povrchových vodách, aby byly dopady na konečný recipient co nejmenší. Mezi takovéto možnosti patří tzv. denitrifikační bioreaktory, které se poprvé testovali již před více jak 20 lety v USA (Robertson & Cherry, 1995). Denitrifikační bioreaktory pracují na principu biofiltrace – anaerobní heterotrofní bakterie redukují dusičnanové ionty. Výsledkem je přirozené snížení koncentrací dusičnanů, které provází finální vznik plynného dusíku. Zdrojem uhlíku, který zajišťuje růst bakterií, jsou organické materiály. Ty svou dekompozicí obohacují uhlíkem drenážní vodu, která je na uhlík bohužel chudá. Jako organický materiál se používá do filtračního lože nejčastěji dřevní štěpka ale například i kůra, piliny, kukuřičné klasy anebo sláma (Šereš & kol., 2019). S ohledem na hydraulické vlastnosti výše zmíněných organických materiálů, které se následkem dekompozice časem zhoršují, se začalo využívat smíchání těchto materiálů s dalšími anorganickými materiály. Tím se dosahuje nejen zlepšení hydraulických vlastností, ale také kvality vody na odtoku z denitrifikačních reaktorů (Gibert & kol., 2008). V České republice byl tento typ zařízení prozatím pouze testován, a to v omezené míře. Od roku 2015 je pak tato technologie uváděna do České republiky v součinnosti s projektem nazvaným „*Udržitelná technologie pro odstranění dusičnanů ze zemědělských smyvů*“ (Šereš & kol., 2018).

4.10 Chemické analýzy

Vzorky byly po svém odebrání z jednotlivých filtrů a převozu do zázemí okamžitě zmrazeny. Následně byly po předchozí domluvě odvezeny prof. Ing. Janu Vymazalovi, CSc. k odbornému změření vybraných chemických parametrů. Měření byla provedena na Katedře aplikované ekologie ČZU v Hydrochemické laboratoři.

První část vzorků byla zpracována analýzami na iontovém chromatografu Metrohm 883 Basic plus (Obr. 11). Jedná se o metodu, jejíž použití je vhodné, pokud potřebujeme rychle stanovit anionty a je vhodná pro všechny typy vod. Touto metodou byly změřeny chloridy, sírany, dusičnany, dusitany a fosforečnany.

Další analýzy, které jsou součástí této práce (TN, TC, TOC, TIC), byly zpracovány metodou termické oxidace, neboli stanoveny přímou spalovací metodou a to na přístroji Skalar Formacs (Obr. 12). Amoniak byl měřen spektrofotometricky na přístroji Cary 60 UV-VIS Agilent z Německa. Byla použita indofenolová metoda podle ČSN EN ISO 7150-1.

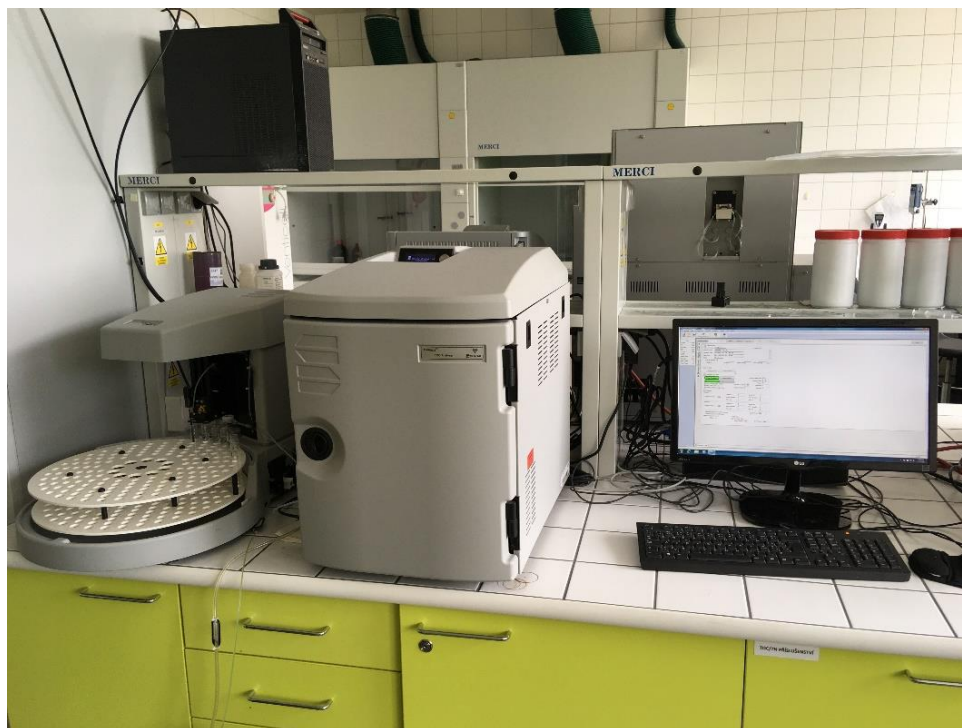
V období provádění odběrů prvních vzorků byl proveden i odběr pro provedení rozboru předpokládaného výskytu pesticidů. Ten provedla společnost ALS s.r.o. a jeho výsledek potvrdil výskyt následujících látek: *Azoxystrobin*, *2-4D*, *Dicamba*, *MCPA*, *Mecacrop P* a *Propiconazol*. Z důvodu přílišné nákladnosti a prozatím krátkého provozu se další rozborů neprováděly.

Obr. 11. ČZÚ, Iontový chromatograf Metrohm 883 Basic plus



Zdroj: archiv Jan Vymazal, 2020

Obr. 12. ČZÚ, Skalar Formacs



Zdroj: archiv Jan Vymazal, 2020

4.11 Odběry a odběrná místa

V tabulce č.2 jsou uvedeny termíny jednotlivých odběrů provedených v lokaci Nebřenice. Odběry byly prováděny bakalantem Radwanem Turnovským v měsících květnu, srpnu, září, říjnu a listopadu. Odběrná místa byla na nátokových a výtokových částech jednotlivých KČOV.

Tab. 2. Termíny jednotlivých odběrů na konkrétních KČOV v roce 2019

Měsíc	05/2019	08/2019	09/2019	10/2019	11/2019
KČOV č.2	-	x	x	x	x
KČOV č.4	x	x	x	x	x
KČOV č.10	-	x	x	x	x

Obr. 13. Nebřenice, Meteostanice umístěná u KČOV č. 10



Zdroj: archiv autora, 2019

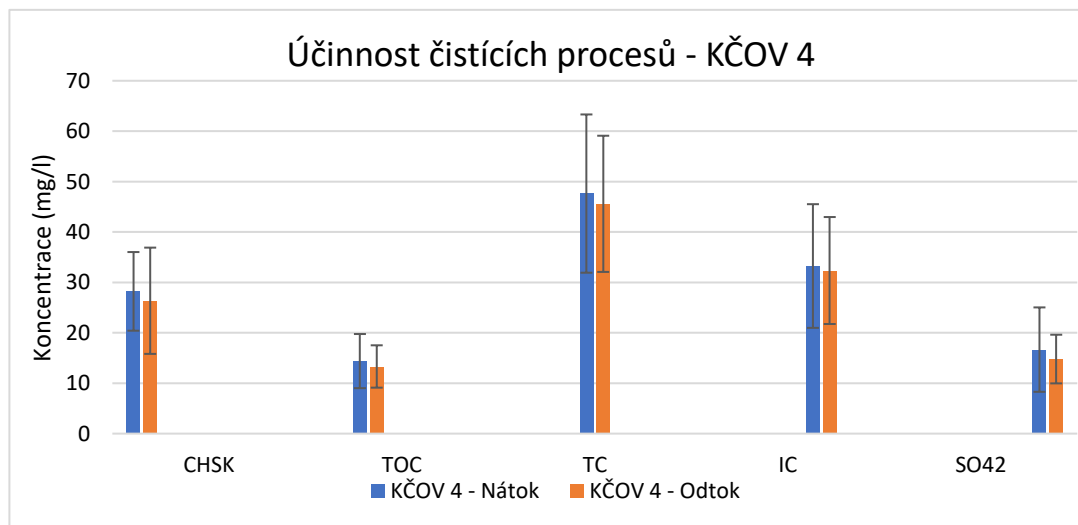
Konkrétní termíny s průměrnými údaji o počasí, které naměřila meteostanice umístěná u KČOV č. 10:

- 29.05.2019, Teplota: 15 °C, Počasí: Déšť - Stanice v tomto termínu neměřila.
- 01.08.2019, Teplota: 22,4°C, Vlhkost: 36,9%, Rychlost větru: 0,6 m/s, Srážky: 0 mm.
- 10.09.2019, Teplota: 13,5°C, Vlhkost: 71,5%, Rychlost větru: 0,7 m/s, Srážky: 0 mm
- 09.10.2019, Teplota: 11.4°C, Vlhkost: 89.8%, Rychlost větru: 0,5 m/s, Srážky: 7 mm
- 28.11.2019, Teplota: 7,0°C, Vlhkost: 73,9%, Rychlost větru: 4,6 m/s, Srážky: 0 mm

5 Výsledky

Naměřené hodnoty na jednotlivých KČOV jsou prezentovány v grafech č. 14 – 19 uvedených níže. Byly získány aritmetickým průměrem výsledků jednotlivých odběrů na konkrétních KČOV.

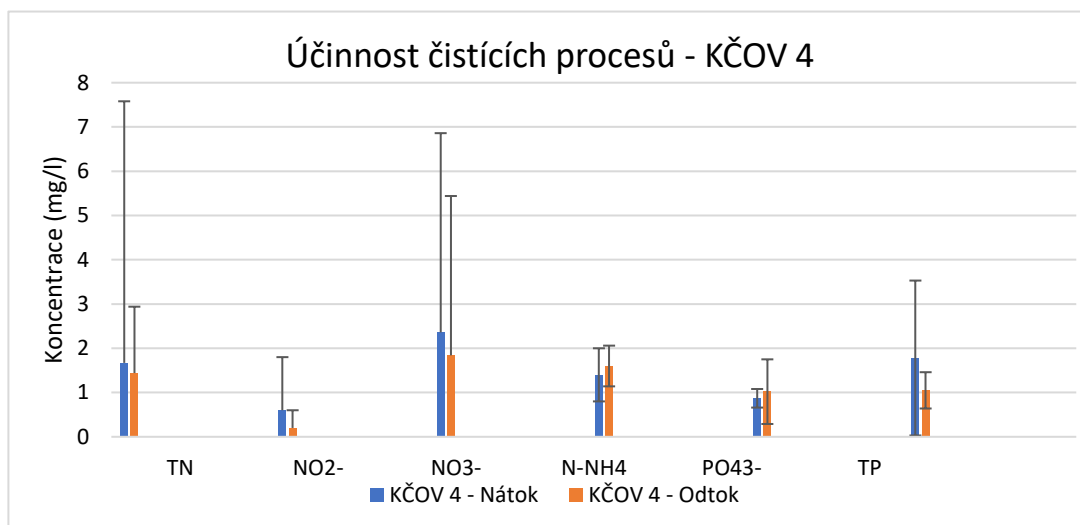
Obr. 14. Průměrné koncentrace CHSK, TOC, TC, IC a síranů v KČOV č.4 v roce 2019



*Hodnota SO42 x10

**Chybové úsečky představují směrodatnou odchylku.

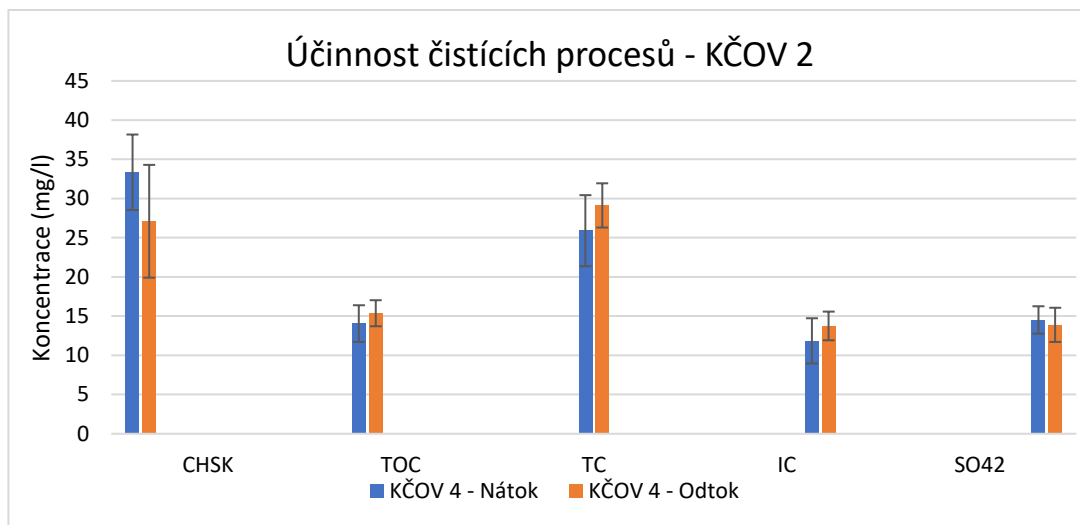
Obr. 15. Průměrné koncentrace TN, NO₂⁻, NO₃⁻, N-NH₄, PO₄³⁻ a TP v KČOV č.4 v roce 2019



* Hodnota NO₂⁻ :10 a hodnota N-NH₄ :10

**Chybové úsečky představují směrodatnou odchylku.

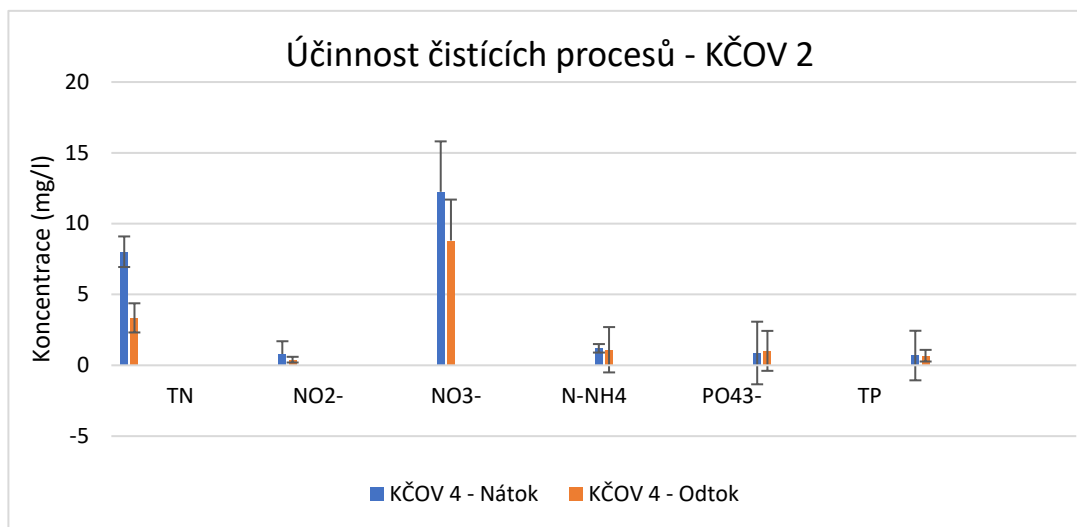
Obr. 16. Průměrné koncentrace CHSK, TOC, TC, IC a síranů v KČOV č.2 v roce 2019



* Hodnota SO₄²⁻ x10

**Chybové úsečky představují směrodatnou odchylku.

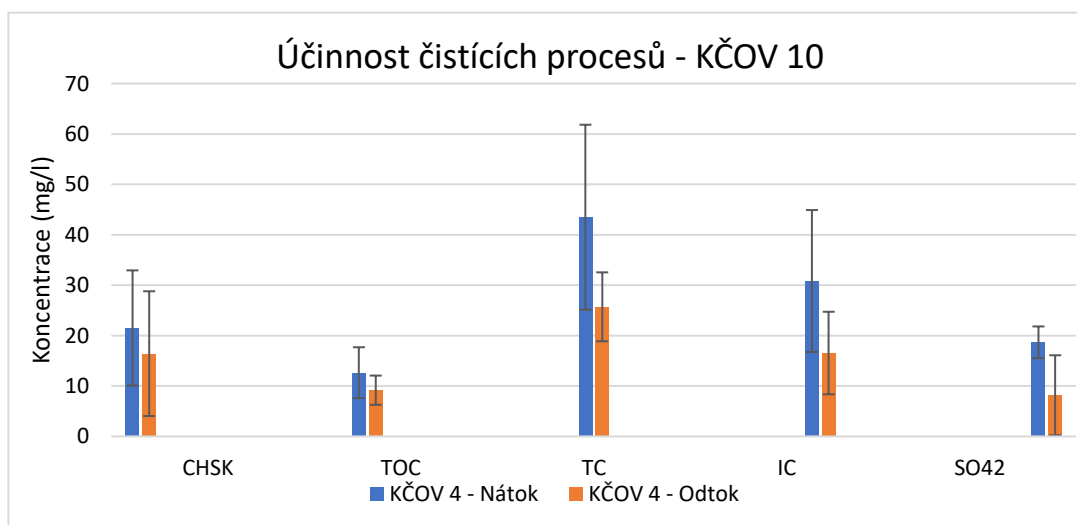
Obr. 17. Průměrné koncentrace TN, NO₂⁻, NO₃⁻, N-NH₄, PO₄³⁻ a TP v KČOV č.2 v roce 2019



* Hodnota NO₂⁻ :10 a hodnota N-NH₄ :10

**Chybové úsečky představují směrodatnou odchylku.

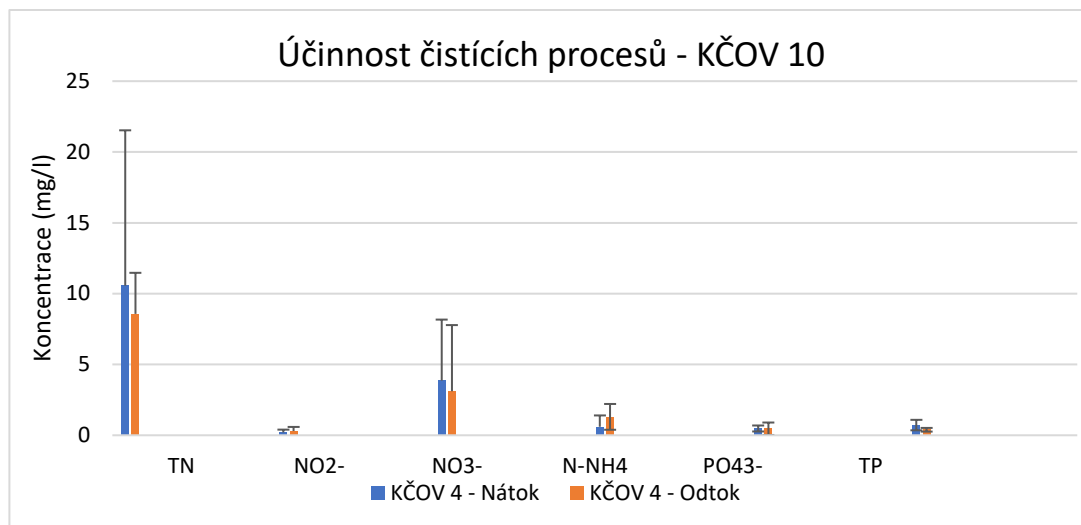
Obr. 18. Průměrné koncentrace CHSK, TOC, TC, IC a síranů v KČOV č.10 v roce 2019



*Hodnota SO₄²⁻ x10.

**Chybové úsečky představují směrodatnou odchylku.

Obr. 19. Průměrné koncentrace TN, NO₂⁻, NO₃⁻, N-NH₄, PO₄³⁻ a TP v KČOV č.2 v roce 2019



* Hodnota NO₂⁻ :10, hodnota N-NH₄ :10, hodnota NO₃⁻ x10

**Chybové úsečky představují směrodatnou odchylku.

6 Diskuse

Voda, určená pro zpětné zavlažování, má stanoveny svoje limity, které musí splnit a podle kterých se dělí do tří tříd (Tab. 3.). Tyto limity jsou stanoveny v ČSN 75 7143. Literatura se daným tématem zabývá velmi povrchně, a to v případě dvou článků, jejichž autory jsou Kohler a kol. (2004) a Lewis a kol. (2002). Náklady na výstavbu těchto KČOV jsou hrazeny v rámci celkové výstavby golfového hřiště a projektu Prague Oaks. Tento projekt bude mít po svém dokončení pozitivní vliv na místní krajinný ráz, lepší dopravní dostupnost lokality a zachování historických hodnot spojených s lokalitou. Je jimi zámek, hrobka a zámecký lesopark. Čištění povrchových a průsakových drenážních vod, zasakovaných z plochy hřiště a v některých případech její opětovné využití, je vhodným způsobem, jak můžeme zlepšit ochranu přírody.

Tab. 3. Nejvýše přípustné hodnoty ukazatelů jakosti pro jednotlivé třídy.

Ukazatel	Jednotka	Třída		
		I.	II.	III.
pH	-	5 až 8,5	4,5 až 9	<4,5 a > 9
chloridy	mg/l	300	400	> 400
sírany	mg/l	250	300	> 400
hliník	mg/l	1	20	> 20
arsen	mg/l	0,05	0,1	> 0,1
kadmium	mg/l	0,01	0,02	> 0,02
bor	mg/l	0,5	1	> 1
kobalt	mg/l	0,5	1	> 1
chrom veškerý	mg/l	0,2	0,5	> 0,5
měď	mg/l	0,5	2	> 2
mangan	mg/l	3	5	> 5
molybden	mg/l	0,2	0,4	> 0,4
nikl	mg/l	0,1	0,2	> 0,2
olovo	mg/l	0,05	0,1	> 0,1
rtuť	mg/l	0,005	0,01	> 0,01
selen	mg/l	0,02	0,05	> 0,05
vanad	mg/l	0,1	0,5	> 0,5
zinek	mg/l	1	2	> 2
železo	mg/l	10	100	> 100
kyanidy	mg/l	0,4	0,5	> 0,5

Rozdělení vhodnosti čištěných vod dle tříd:

- I. třída – Voda vhodná k závlaze, která se využívá bez omezení.
- II. třída – Voda podmíněně vhodná k závlaze, je využívána za určitých podmínek.
- III. třída - Voda nevhodná k závlaze, je používána k závlaze po dostatečné úpravě.

6.1 Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)

Hodnota se používá jako odhad obsahu organického znečištění vody. Jedná se o nespecifický ukazatel vody, protože se jím nedá zjistit konkrétní koncentrace znečišťujících látek. Změřit lze pouze výsledné hodnoty kyslíku, který je těmito látkami spotřebován (Skácelová, 2019). Přestože je na výsledcích zlepšení patrné, dochází i k výkyvům, které překračují průměrnou hodnotu stanovenou v ČR pro povrchové vody. Ta je uvedena v nařízení vlády č. 401/2015 Sb a je rovni 26 mg/l. Průměrně je ale tato hodnota dodržována. Kohler a kol. (2004), ve své práci naměřili za běžných podmínek, hodnoty v rozmezí 10–35 mg/l. Mnou naměřené průměrné hodnoty jsou s jejich dobře srovnatelné, až na výrazný výkyv v měsíci září, jeho příčinu jsem nezjistil.

- Nejnižší hodnota změřená na odtoku v měsíci listopadu na KČOV č.10 = 7,64 mg/l a nejvyšší v měsíci září na KČOV č.4 = 44,2 mg/l.

6.2 Celkový organický uhlík (TOC), Celkový uhlík (TC), Anorganický uhlík (IC), Celkový dusík (TN)

Jedná se o hodnoty vyjadřující koncentraci organických látek ve vodě. Tato skupina obsahuje širokou škálu látek. Vysoký obsah organického uhlíku může měnit chemické složení, včetně kyslíkového režimu znečištěné vody. Ta se postupně stává neobyvatelnou až nebezpečnou (Pitter, 2015). Z příloh A, B, a C, ve kterých jsou uvedeny celkové výsledky, je zřejmé, že všechny výše uvedené látky jsou odstraňovány a to s dostatečnou účinností, ta není ale ve srovnání s prací Kohler a kol. (2004), tak razantní, jak by mohla být. Hodnoty v případě těchto látek ani příliš nekolísají a jsou spíše stabilní.

6.3 Dusičnany

Jedná se o látku, která se původně v přírodě nacházela především při rozkládání rostlin, kdy se uvolňuje amoniak, který je bakteriemi oxidován na dusičnany, tzn., probíhá nitrifikace. S průmyslovou expanzí zemědělství se ale dusičnany začaly jak v povrchových, tak i v podzemních vodách vyskytovat ve větším množství. Kromě hnojiv využívaných v zemědělství, může být jejich zdrojem jakýkoliv zdroj odpadních vod – netěsnící potrubí, žumpa, hnojiště atd. (Smol, 2002). Samotné dusičnany nejsou hrozbou, ale při působení mikroorganismů nebo trávícím procesem se mohou redukovat na dusitany, které jsou velmi škodlivé. Jejich škodlivost spočívá v nevratném poškozování transportu kyslíku v krvi (Skácelová, 2019). Výkyvy zaznamenané měřeními jsou natolik značné, že průměrná hodnota pro povrchové hodnoty daná nařízením vlády č. 401/2015 a rovná 5,4 mg/l je až trojnásobně překračována. Výrazný a ojedinělý případ, kdy jsou hodnoty proti průměru překročeny až dvacetinásobně, byl zaznamenán v listopadu na KČOV č.10. Příčina tohoto výrazného výkyvu, ale nebyla objasněna. I přes to lze konstatovat, že čistírny mají pozitivní dopad na její odstraňování. Kohler a kol. (2004), při své práci naměřili velice nízké hodnoty jak pro dusičnany, tak i pro dusitany. A to navzdory výraznému hnojení. V jejich práci je i zmíněna vyšší účinnost odstraňování těchto látek v případě, že jsou v lokalitě přítomny bouřky.

- Nejnižší hodnota změřená na odtoku v měsíci říjen na KČOV č.4 = 0,23 mg/l a nejvyšší v měsíci listopad na KČOV č.10 = 112,10 mg/l.

6.4 Dusitany

Jde o ve vodách nestálou toxickou látku. Ta nejčastěji vzniká biochemickou oxidací amoniakálního dusíku nebo biochemickou redukcí dusičnanů (Pitter, 2015). Dusitany nemají své limity uvedeny v nařízení vlády č.401/2015. V měřených vzorcích jsou nalezené hodnoty velice nízké.

- Nejnižší hodnota změřená na odtoku v měsíci srpen na KČOV č.4 = 0 mg/l a nejvyšší v měsíci září na KČOV č.4 = 44,2 mg/l.

6.5 Amoniakální dusík

Jde o prvek důležitý při tvorbě nové biomasy. Vzniká v redukčním za procesu mikrobiálního rozkládání dusíkatých látek. Zdrojem $N-NH_4^+$ s organickým původem jsou hlavně splaškové vody nebo odpadní vody z živočišné výroby jeho obsah v povrchové vodě by se měl pohybovat pouze v desetinách mg/l (Skácelová, 2019). Zlepšení hodnot jsou zřejmá, ale i přesto, pravděpodobně vlivem počasí, dochází k výkyvům. Hodnota uvedená v nařízení vlády č. 401/2015 jako průměrná – 0,23 mg/l je ale obvykle dodržována. V práci Kohler a kol. (2004) je zmíněna nízká míra aplikace dusíku na zkoumaném hřišti, která se projevuje naměřenou hodnotou nižší než 1,0 mg/l. V jejich případě je zaznamenána účinnost odstraňování této látky až 95%, tedy více než dvojnásobná, oproti té, kterou jsem zaznamenal já. Nicméně i tak je mými výsledky podpořeno tvrzení, že umělé mokřady jsou vhodnou technologií pro odstraňování této látky.

- Nejnižší hodnota změřená na odtoku v měsíci listopadu na KČOV č.10 = 0,02 mg/l a nejvyšší v měsíci říjen na KČOV č.4 = 0,4 mg/l.

6.6 Fosforečnany

Zdrojem fosforu a tedy potažmo fosforečnanů jsou především splaškové vody, které obsahují kromě exkrementů pozůstatky prášků použitých v myčkách nádobí. (Kaplan & kol., 2003). Fosforečnany samotné jsou pak nutným předpokladem pro úspěšný vznik vodního fytoplanktonu a také jsou významnou živinou pro vodní rostliny. V rámci udržení rovnováhy a zdraví a tedy i fungování ekosystémů jsou stanoveny limity, které je zapotřebí dodržovat (Viessman & kol., 2008). I přes to, že čistírna látku redukuje, je průměrná hodnota 0,15 mg/l stanovená nařízením vlády č.401/2015 výrazně překračována. Kohler a kol. (2004) ale ve své práci zaznamenali hodnoty, které jsou v souladu s mým zjištěním. Tedy, že i přes to, že dochází k výraznému hnojení, ze kterého se látka dostává do povrchových vod, tak dochází k jejímu odstraňování. Svoji výši 0,5 mg/l by našim limitům ale nevyhověla. Potvrzují se tak ale i zjištění Brix (1994), a to že většina uměle vytvořených mokřadů zvládá odstranit fosforečnany na hodnotu nižší než 1 mg/l.

- Nejnižší hodnota změřená na odtoku v měsíci září na KČOV č.10 = 0,11 mg/l a nejvyšší v měsíci květen na KČOV č.4 = 3,67 mg/l.

6.7 Sírany

Sírany jsou látka, která dohromady s chloridy a uhličitany tvoří základní skupinu aniontů vyskytujících se ve vodě. Tyto anionty zároveň nemají negativní dopad na zdraví živočichů. Stejně jako kyselé vody, mohou mít sírany korozivní účinky stavební materiály. Se zvyšujícím se obsahem síranů ve vodě se zvyšují i jejich korozivní účinky (Kaplan & kol., 2003). Látka je čistírnami dobře odbourávána a obvykle se pohybuje pod průměrem uváděným v nařízení vlády č.415/2015, ten je stanoven na úrovni 200 mg/l. V případě síranů jsem zaznamenal výrazné výkyvy, ale ve srovnání s prací Kohler a kol. (2004) jsou sírany lépe odbourávány, a to až s dvojnásobnou účinností. Voda splňuje limit pro zařazení do I. Třídy vhodnosti k závlaze.

- Nejnižší hodnota změřená na odtoku v měsíci říjnu na KČOV č.10 = 17,05 mg/l a nejvyšší v měsíci listopadu na KČOV č.10 = 217,64 mg/l.

6.8 pH

pH je hodnotou, kterou vyjadřujeme to, zda je voda kyselá nebo zásaditá. Tato hodnota nemá přímý vliv na zdraví člověka, ale jde o velmi důležitý parametr využívaný v provozu. Má přímý vliv na chemické, biologické a fyzikálně-chemické procesy (Viessman & kol., 2008). Pokud je hodnota pH v nerovnovázném stavu, tak se mohou přihodit dvě různé, ale nežádoucí situace. Pokud je hodnota pH optimální, tak se pohybuje uprostřed celé škály, tedy zhruba 6-8. Pokud je hodnota nižší než 6, tak je kyselá a pokud je vyšší než 8, tak se jedná o vodu zásaditou. U kyselé vody je následkem silný korozivní účinek – narušují tedy snadno například různé stavební materiály (výztuž, betony, atd.), těžké kovy se pak také snadněji rozpouštějí a dostávají se do vody ve své nejnebezpečnější podobě. Pokud je voda zásaditá, tak má inkrustační účinek, tedy nerozpouští, ale naopak vytváří postupné nánosy a „zarůstání“ z minerálů obsažených ve vodě, zanáší se tak potrubí, kterým tato voda protéká nebo přístroje, používané pro její čištění, čerpání atd. (Kaplan & kol., 2003). Limity pro hodnotu pH nejsou nijak nařízením vlády č. 401/2015 stanoveny, z naměřených hodnot je ale patrné,

že voda je spíše neutrální, až zásaditá. Voda většinou splňuje limit pro zařazení do I. třídy vhodnosti k závlaze.

- Nejnížší hodnota změřená na odtoku v měsíci říjen na KČOV č.2 = 6,91 a nejvyšší v měsíci listopad na KČOV č.10 = 8,04.

7 Závěr

Cílem bakalářské práce je popsat základní principy fungování KČOV v objektu golfového hřiště v Nebřenicích a dále vyhodnotit vliv jejich čistících procesů na drenážní vody, protékající vybranými KČOV. Jedná se o vyhodnocení KČOV č.2, č.4 a č.10. Ze získaných dat, které jsou výsledkem odběrů, provedených na nátocích i odtocích výše zmíněných KČOV, lze vyvodit, že technologie využitá jako alternativa pro čištění zasakováných dešťových vod je vhodná, ačkoliv její výsledky velmi kolísají. Toto tvrzení je podepřeno faktem, že u všech testovaných prvků dochází k jejich odstraňování, tedy procentuální účinnost je kladná.

Průměrné procentuální zlepšení hodnot po průtoku čistírnami:

- CHSK = 16,32%.
- TOC = 14,79%.
- TC = 19,20%.
- IC = 21,71%.
- TN = 30,16%.
- NO₃⁻ = 23,17%.
- NO₂⁻ = 47,08%.
- N - NH₄ = 41,03%.
- PO₄³⁻ = 12,03%.
- SO₄²⁻ = 23,94%.
- pH zůstalo během různých měření na různých KČOV neutrální a v několika případech zásadité.

Dále lze říct, že voda, i přes nepřítomnost jakýchkoliv limitů, je vhodná k opětovnému zalévání. Práce tedy ověřila funkčnost zvolené technologie, konkrétně směsi topolové štěpky a zeolitu. Dalším námětem pro možné rozšíření dosažených výsledků je ověření vlivu výše zmíněné technologie na odstraňování pesticidů, jejichž použití bylo prokázáno rozbořem vody akreditovanou laboratoří. KČOV jsou vystaveny na vhodných místech a zároveň esteticky zapadají do celkového dojmu hřiště, aniž by výrazněji vyčnívaly. Jejich vliv na zdejší ekosystémy má příznivý dopad.

8 Seznam použité literatury

8.1 Odborné publikace

ABOU-ELELA S.I., HELLAL M.S., 2012: Municipal wastewater treatment using vertical flow constructed wetlands planted with Canna, Phragmites and Cyprus. *Ecological Engineering* 47: 209– 213 str.

AYAZ S.C., AKTAS Ö., FINDIK N., AKCA L., 2012: Phosphorus removal and effect of adsorbent type in a constructed wetland system. *Desalination and water treatment* 37, 152-159 str.

BRIX H., 1994: Use of created wetlands in water pollution control, historical development, present status, and future perspectives. *Water Sci. Technol.* 30, 209–223 str.

BRIX H., 1997: Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Water Science and Technology* 35(5): 11-17 str.

BRIX H., SCHIERUP H. H., 1989: Danish experience with sewage treatment in constructed wetlands. In: *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*, Hammer, D.A. (ed.). Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, pp.

BŘEZINOVÁ Z., 2012: Nakládání s odpady ve veřejném stravování. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta Hornicko-Geologická, Ostrava. 40 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“.

FU F.; WANG Q., 2011: Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review, *Journal of environmental management*, Vol. 92, pp. 407-418 str.

GIBERT O., POMIERNY S., ROWE I. KALIN R. M., 2008: Selection of organic substrates as potential reactive materials for use in a denitrification permeable reactive barrier (PRB)., *Bioresour. Technol.* 99., 7587 – 7596 str.

HAMANOVÁ S., 2011: Odstraňování farmak v kořenových čistírnách odpadních vod. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha. 46 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“.

HAMANOVÁ S., 2014: Inovace kořenových čistíren odpadních vod. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha. 89 s. (diplomová práce). „nepublikováno“.

HAMMER D. A., 1989: Constructed wetlands for wastewater treatment: Municipal, Industrial and agricultural. Lewis publisher a CRC Press Company, USA, 819 str.

HOBLÍK J., ELBLOVÁ M., 2002: Ústní sdělení, Provozní řád KČOV ve Štáblovicích.

JAKUB CIGLER ARCHITEKTI A.S., 2016: Technická zpráva RPC Nebřenice, 14a.1 – Golfové hřiště – 1. fáze, Praha, počet stran 15. "nepublikováno".

KADLEC R. H. & WALLACE S. D., 2009: Treatment Wetland: Second Edition. CRC Press, Oxford, 943 str.

KAPLAN, L.A., PESCE, A. J., KAZMIERCZAK, S. C., 2003: Clinical chemistry. Theory, analysis, correlation, 4th Edition. St. Louis: Mosby, ISBN 0-323-01716-9, 1179 str.

KEJHOVÁ M., 2016: Zhodnocení účinnosti kořenové čistírny odpadních vod. České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Praha. 77 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“.

KICKUTH R., 1977: Degradation and incorporation of nutrients from rural wastewaters by plant hydrosphere under limnic conditions. In: Utilization of Manure by Land Spreading, Comm. Europ. Commun., EUR 5672e, Londýn, pp. 335-343.

KOMÍNKOVÁ D., Benešová L., Šťastná G., 2014: Úprava pitných a čištění odpadních vod. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha, 231 str.

KOVÁČOVÁ K., 2017: Porovnání decentralizované a centralizované čistírny odpadních vod v Mariánských Radčicích. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta Hornicko-Geologická, Ostrava. 54 s. (diplomová práce). „nepublikováno“.

KOVÁŘ P., 2010: Vertikální česle. Vysoké učení technické v Brně - Ústav konstruování, Fakulta strojního inženýrství, Brno. 78 s. (diplomová práce). „nepublikováno“.

KOHLER, E.A., POOLE, V.L., REICHER, Z.J., TURCO, R.F., 2004: Nutrient, metal and pesticide removal during storm and nonstorm events by a constructed wetland on an urban golf course. *Ecological Engineering* 23, 285-298.

KVÍTEK T., ŽLÁBEK P., BYSTRICKÝ V., FUČÍK P., LEXA M., 2009: Changes of nitrate concentrations in surface waters influenced by land use in the crystalline complex of Czech Republic., *Phys. Chem. Earth.* 34., 514 – 551.

LEITGEB J., 2010: Velké rekultivační stavby v příměstské části měst a obcí Sokolovska. *Časopis stavebnictví.* č. 8. s. 22-26.

LEWIS M. A., BOUSTANY R. G., DANTIN D. D., QUARLES R. L., 2002: Effects of a coastal golf course complex on water quality, periphyton, and seagrass. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 53:, 154-162.

LUŽNÁ K., 2011: Vyhodnocení provozu kořenových čistíren Srbská kamenice a Vlčí hora. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. 50 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.

MISHRA A., CLARK J.H., 2013: Green materials for sustainable water remediation and treatment, *Royal Society of Chemistry*, pp. 82-98.

MLEJNSKÁ E., ROZKOŠNÝ M., BAUDIŠOVÁ D., VÁŇA M., 2009: Extenzivní způsoby čištění odpadních vod. *Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka*, Praha, 60, 79, 86.

MLEJNSKÁ E. a Rozkošný M., 2014: Možnosti intenzifikace biologických nádrží určených k čištění a dočišťování odpadních vod. VTEI 56: 11–16.

NAJBRTOVÁ A., 2017: Modelování procesů v čistírně odpadních vod. Masarykova Univerzita, Brno, (bakalářská práce). “nepublikováno”.

PITTER P., 2015: Hydrochemie. 5. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, ISBN 978-80-7080-701-9, 592 str.

REMENÁROVÁ L., PIPÍŠKA M., FLORKOVÁ, E., HORNÍK, M., ROZLOŽNÍK M., AUGUSTÍN J., 2014: Zeolites from coal fly ash as efficient sorbents for cadmium ions, Clean technology environmental policy, Vol. 16, pp. 1551-1564.

ROBERTSON W.D., CHERRY J.A., 1995: In-situ Denitrification of Septic-System Nitrate Using Reactive Porous-Media Barriers – Field Trials., Ground Water 33., 99 – 111.

ROZKOŠNÝ M., 2013: Umělé mokřady pro čištění vod z malých a difúzních zdrojů., ČOV pro objekty v horách Dolní Morava., Brno, 12 str.

SEIDEL K., 1966: Reinigung von Gewässern durch höhere Pflanzen, Naturwissenschaften 53: 289-297.

SKÁCELOVÁ N., 2019: Vliv vodní nádrže Žermanice na kvalitu vody v Lučině. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Praha. 87 s. (diplomová práce). „nepublikováno“.

SMOL J. P., 2002: Pollution of lakes and rivers, A Paleoenvironmental Perspective. ISBN 0340741465.

ŠÁLEK J., 1995: Přírodní způsoby čištění odpadních vod, Vysoké učení technické v Brně, Brno.

ŠÁLEK J., TLAPÁK V., 2006: Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod, Informační centrum ČKAIT s.r.o., Praha.

ŠÁLEK J. a spol., 2008: Přírodní čištění a využívání vody. ERA group s.r.o. Brno, 115 str.

ŠEREŠ M., HNÁTKOVÁ T., STRUČOVSKÝ T., CHALUPA J., 2018: Testování směsného organického materiálu pro použití v denitrifikačních bioreaktorech., Science of the Total Environment 647., 888 – 894.

ŠEREŠ M., MOCO VÁ K.A., MORADI J., KRIŠKA M., KOČÍ V. HNÁTKOVÁ T., 2019: The impact of woodchip-gravel mixture on the efficiency and toxicity of denitrification bioreactors., Vodní hospodářství 68 - 1/2018., 13 – 15.

SHEVADE S., FORD R.G., 2004: Use of synthetic zeolites for arsenate removal from pollutant water, Water Research, Vol. 38, pp. 3197-3204.

ŠIMOVÁ E., 2013: Kořenové čistírny odpadních vod. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta Hornicko-Geologická, Ostrava. 36 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“.

VIESSMAN W. Jr., HAMMER M. J., PEREZ E. M., CHADIK P. A., 2008: Water Supply and Pollution Control (8th Edition). Prentice Hall, ISBN 0-13-233717-7, 864 str.

VYMAZAL J., FIRMAN J., 1990: Využití kořenové čistírny pro čištění splachů s hnojných plat. In: Sb. konf. Netradiční biotechnologie pro dočišťování vod a produkci organické hmoty, VÚV Brno, pp. 54-59.

VYMAZAL J., KRÖPFELOVÁ L., 2006: Constructed wetlands for wastewater treatment – Czech Republic experience. In: Křiváčková, O., Pecharová, E. a Frelich, J., (Eds.), Proc. Internat. Sci. Meeting Ekotrend 2005, Renewal and Function of Anthropogenic Implicated Landscape, The University of South Bohemia in České Budějovice, Faculty of Agriculture, Czech Republic, pp. 38-45.

VYMAZAL J., 1995: Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách, ENVI s.r.o, Třeboň, 147 str.

VYMAZAL J., 2004: Kořenové čistírny odpadních vod. ENKI, Třeboň, 158 str.

VYMAZAL J., 2009: Kořenové čistírny odpadních vod: 20 let zkušeností v České republice. Vodní hospodářství 59: pp. 113-119.

VYMAZAL J., 2011: Long-term performance of constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: Ten case studies from the Czech Republic Ecological Engineering 37: 54- 63.

VYMAZAL J., 2015: Occurrence and removal of estrogens, progesterone and testosterone in three constructed wetlands treating municipal sewage in the Czech Republic, Science of The Total Environment, Volume 536, 1 December 2015, 625-631.

VYMAZAL J., 2016: Kořenové čistírny odpadních vod: Využití ve světě, České republice a Plzeňském kraji. Krajský úřad Plzeňského kraje – Odbor životního prostředí, Plzeň: 65 str.

WALLACE S.D., KNIGHT R.L., 2006: Small-scale constructed wetland treatment systems, 320 str.

Environment Research Foundation (WERF), Alexandria – Virginia, 232 str.

ŽERAVA Z., 2008: Čistírenské kaly – Současnost a budoucnost. Vysoké učení technické v Brně - Ústav procesního a ekologického inženýrství, Fakulta strojního inženýrství, Brno. 30 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“.

8.2 Legislativní zdroje

ČSN 75 6401: Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet obyvatel (EO) větší než 500, Praha, 40 s.

ČSN 75 7143: Jakost vod. Jakost vody pro závlahu.

91/676/EHS: Směrnice rady ze dne 12. prosince 1991 o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů, 11 s.

8.3 Internetové zdroje

COE, ©2001: Council of Europe (online) [cit. 2020.01.22], dostupné z <https://rm.coe.int/1680504d85>.

HAVLÍK A., 2015: Vodohospodářské inženýrství – čistírna odpadních vod. Přednáška z předmětu Vodohospodářské inženýrství, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze, 26 s. [online]. [cit. 11.06.2016]. dostupné z http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/bio.html.

KUČEROVÁ R., FEČKO P., LYČKOVÁ B., 2010: Úprava a čištění vody. Samočištění. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. [online]. 2010. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/samo.html>.

VYMAZAL J., 2010: Constructed Wetlands for Wastewater Treatment (online) [cit. 2020.01.23], dostupné z <https://www.mdpi.com/2073-4441/2/3/530>.

9 Seznam použitých zkratk

EO – Ekvivalentní obyvatel

IC – Inorganic carbon (Anorganický uhlík)

KČOV – Kořenová čistírna odpadních vod

NL – Nerozpuštěné látky

OL – Organické látky

OV – Odpadní vody

TC – Total carbon (Celkový uhlík)

TN – Total nitrate (Celkový dusík)

TOC – Total organic carbon (Celkový organický uhlík)

ŽP – Životní prostředí

10 Seznam obrázků

- Obr. 1.** Typické uspořádání KČOV s horizontálním průtokem (Vymazal, 2016)
- Obr. 2.** Rozdělení umělých mokřadů dle průtoku OV (Vymazal, 2016)
- Obr. 3.** Uspořádání moderní odtokové šachty
- Obr. 4.** Umístění lokality v rámci Středočeského kraje (<https://www.risy.cz/cs/krajske-ris/stredocesky-kraj/regionalni-informace/o-kraji> upravil Turnovský, 2020)
- Obr. 5.** Podrobná mapa lokality Nebřenice (www.mapy.cz upravil Turnovský, 2020)
- Obr. 6.** Nebřenice, KČOV č.10 v provozu (Radwan Turnovský, 2020)
- Obr. 7.** Nebřenice, Biofiltr č.2, v průběhu výstavby (Martin Meheš, 2018)
- Obr. 8.** Nebřenice, Biofiltr č.4, pokládka základní krycí vrstvy z geotextílie (Martin Meheš, 2018)
- Obr. 9.** Nebřenice, Biofiltr č.10, pokládka nepropustné vrstvy z EPDM (Martin Meheš, 2018)
- Obr. 10.** Nebřenice, KČOV č.10 Zeolit použitý při výstavbě (Turnovský, 2020)
- Obr. 11.** ČZÚ, Iontový chromatograf Metrohm 883 Basic plus (Vymazal, 2020)
- Obr. 12.** ČZÚ, Skalar Formacs (Vymazal, 2020)
- Obr. 13.** Nebřenice, Meteostanice umístěná u KČOV č.10 (Turnovský, 2020)
- Obr. 14.** Průměrné koncentrace TN, NO₂⁻, NO₃⁻, N-NH₄, PO₄₃⁻ a TP v KČOV č.4 v roce 2019
- Obr. 15.** Průměrné koncentrace TN, NO₂⁻, NO₃⁻, N-NH₄, PO₄₃⁻ a TP v KČOV č.4 v roce 2019
- Obr. 16.** Průměrné koncentrace TN, NO₂⁻, NO₃⁻, N-NH₄, PO₄₃⁻ a TP v KČOV č.2 v roce 2019
- Obr. 17.** Průměrné koncentrace TN, NO₂⁻, NO₃⁻, N-NH₄, PO₄₃⁻ a TP v KČOV č.2 v roce 2019
- Obr. 18.** Průměrné koncentrace TN, NO₂⁻, NO₃⁻, N-NH₄, PO₄₃⁻ a TP v KČOV č.10 v roce 2019
- Obr. 19.** Průměrné koncentrace TN, NO₂⁻, NO₃⁻, N-NH₄, PO₄₃⁻ a TP v KČOV č.10 v roce 2019

11 Seznam tabulek

Tab. 1. Účinnost čistících procesů odpadních vod v kořenových čistírnách v ČR za období 1989 – 2010 (Vymazal, 2016).

Tab. 2. Termíny jednotlivých odběrů na konkrétních KČOV v roce 2019 (Turnovský, 2019). (Turnovský, 2020).

Tab. 3. Nejvýše přípustné hodnoty ukazatelů jakosti pro jednotlivé třídy.

12 Přílohy

A, Výsledky rozborů čistících procesů v KČOV č.4 v roce 2019 (Turnovský, 2020).

Výsledné hodnoty odběrů z KČOV č.4													
	Datum odběru	CHSK	TOC	TC	IC	TN	NO2-	NO3-	N-NH4	PO43-	TP	SO42	pH
BF č.4 - Nátok	29.05.2019	25,6	10,9	52,8	41,99	1,26	0,02	0,97	0,17	3,84	1,88	180	7,78
BF č.4 - Odtok	29.05.2019	31,2	14	56,21	42,63	1,18	0,015	0,59	0,17	3,67	1,38	157	7,74
BF č.4 - Nátok	01.08.2019	28,7	12,8	49,74	36,94	3,29	0,031	8,992	0,124	1,045	0,6	250,532	7,68
BF č.4 - Odtok	01.08.2019	21,1	9,33	40,82	31,49	3,19	0	7,624	0,095	3,651	0,79	127,573	7,64
BF č.4 - Nátok	10.09.2019	44,40	24,68	71,05	46,37	2,26	0,23	0,31	0,116	0,90	0,90	122,00	8,01
BF č.4 - Odtok	10.09.2019	44,20	21,11	64,94	43,82	1,81	0,02	0,26	0,076	0,70	0,62	122,00	7,96
BF č.4 - Nátok	09.10.2019	25,60	13,81	28,31	14,50	0,42	0,02	1,10	0,200	6,25	5,01	21,80	7,78
BF č.4 - Odtok	09.10.2019	21,80	11,87	26,45	14,58	0,08	0,06	0,23	0,400	2,32	1,70	96,50	7,58
BF č.4 - Nátok	28.11.2019	16,80	9,75	36,20	26,45	1,12	0,00	0,42	0,10	0,569	0,50	259,03	7,81
BF č.4 - Odtok	28.11.2019	13,50	10,27	39,53	29,26	0,97	0,024	0,48	0,08	0,32	0,77	236,63	7,79

	CHSK	TOC	TC	IC	TN	NO2-	NO3-	N-NH4	PO43-	TP	SO42	pH
Nátoky - prům.	28,22	14,39	47,62	33,25	1,67	0,06	2,36	0,14	2,52	1,78	166,67	7,81
Směrodatná odchylka	7,80	5,37	15,17	12,27	1,08	0,09	3,56	0,03	2,21	1,75	83,76	0,12
Odtoky - prům.	26,36	13,32	45,59	32,36	1,44	0,02	1,84	0,16	2,13	1,05	147,94	7,74
Směrodatná odchylka	10,5407	4,207763	13,51227	10,6149	1,033304	0,02051	2,89634	0,12317	1,417189	0,415278	48,33512	0,131514

1%	0,2822	0,143872	0,476183	0,33249	0,016688	0,000604	0,023566	0,001423	0,025208	0,01778	1,666718	0,07812
Procentuální zlepšení (%)	6,59%	7,44%	4,26%	2,69%	13,45%	59,27%	22,02%	14,94%	15,42%	40,83%	11,24%	0,90%

B, Výsledky rozborů čistících procesů v KČOV č.2 v roce 2019 (Turnovský, 2020).

Výsledné hodnoty odběrů z KČOV č.10													
	Datum odběru	CHSK	TOC	TC	IC	TN	NO2-	NO3-	N-NH4	PO43-	TP	SO42	pH
BF č.10 - Nátok	01.08.2019	26,5	13,39	32,77	19,37	2,57	0	6,445	0,025	0,77	0,83	209,611	7,68
BF č.10 - Odtok	01.08.2019	9,75	7,34	17,52	10,18	1,83	0	6,054	0,058	1,21	0,51	47,542	7,02
BF č.10 - Nátok	10.09.2019	37,80	20,59	74,99	54,41	7,99	0,04	29,15	0,007	0,50	1,20	183,00	7,79
BF č.10 - Odtok	10.09.2019	37,80	14,18	21,45	7,27	2,01	0,07	2,60	0,238	0,11	0,33	17,05	6,94
BF č.10 - Nátok	09.10.2019	12,60	8,87	29,64	20,77	2,51	0,02	6,81	0,200	0,48	0,68	137,00	8,02
BF č.10 - Odtok	09.10.2019	10,50	7,26	28,41	21,15	1,33	0,01	3,60	0,200	0,36	0,52	44,50	7,44
BF č.10 - Nátok	28.11.2019	9,13	7,76	36,55	28,79	29,17	0,041	111,88	0,03	0,178	0,17	217,58	7,96
BF č.10 - Odtok	28.11.2019	7,64	7,90	35,45	27,55	29,12	0,043	112,10	0,020	0,176	0,19	217,64	8,04

	CHSK	TOC	TC	IC	TN	NO2-	NO3-	N-NH4	PO43-	TP	SO42	pH
Nátoky - prům.	21,51	12,65	43,49	30,83	10,56	0,02	38,57	0,06	0,48	0,72	186,80	7,86
Směrodatná odchylka	11,43	5,04	18,35	14,08	10,97	0,02	43,31	0,08	0,21	0,37	31,47	0,13
Odtoky - prům.	16,42	9,17	25,71	16,54	8,57	0,03	31,09	0,13	0,46	0,39	81,68	7,36
Směrodatná odchylka	12,38677	2,902537	6,844984	8,19872	11,86617	0,029124	46,79062	0,091984	0,440339	0,136816	79,38772	0,436119

1%	0,215075	0,126524	0,434878	0,308329	0,10561	0,00024	0,385718	0,000649	0,00482	0,0072	1,86797	0,078625
Procentuální zlepšení (%)	23,64%	27,52%	40,89%	46,37%	18,83%	32,29%	19,40%	98,68%	3,73%	46,18%	56,27%	6,39%

C, Výsledky rozborů čistících procesů v KČOV č.10 v roce 2019 (Turnovský, 2020).

Výsledné hodnoty odběrů z KČOV č.2													
	Datum odběru	CHSK	TOC	TC	IC	TN	NO2-	NO3-	N-NH4	PO43-	TP	SO42	pH
BF č.2 - Nátok	01.08.2019	39,7	14,67	22,63	7,96	4,22	0,02	11,789	0,112	0,601	0,92	171,641	7,31
BF č.2 - Odtok	01.08.2019	28,7	15,92	26,97	11,05	4,97	0,049	11,655	0,102	0,365	0,23	173,704	7,28
BF č.2 - Nátok	10.09.2019	31,30	15,08	28,85	13,78	5,37	0,28	16,32	0,145	1,12	0,75	123,00	7,28
BF č.2 - Odtok	10.09.2019	31,10	17,46	33,00	15,54	3,99	0,08	10,47	0,057	0,92	0,66	114,00	7,24
BF č.2 - Nátok	09.10.2019	35,60	16,32	31,65	15,33	18,23	0,01	5,08	0,200	1,03	0,72	140,00	7,16
BF č.2 - Odtok	09.10.2019	33,60	15,25	30,58	15,33	0,91	0,01	2,63	0,100	2,25	1,24	130,00	6,91
BF č.2 - Nátok	28.11.2019	26,80	10,13	20,46	10,33	4,26	0,00	15,83	0,03	0,731	0,37	145,90	7,23
BF č.2 - Odtok	28.11.2019	15,00	12,84	25,94	13,10	3,54	0,019	10,50	0,19	0,537	0,58	137,80	7,2

	CHSK	TOC	TC	IC	TN	NO2-	NO3-	N-NH4	PO43-	TP	SO42	pH
Nátoky - prům.	33,35	14,05	25,90	11,85	8,02	0,08	12,25	0,12	0,87	0,69	145,14	7,25
Směrodatná odchylka	4,81	2,34	4,53	2,88	5,91	0,12	4,50	0,06	0,21	0,20	17,46	0,06
Odtoky - prům	27,10	15,37	29,12	13,75	3,35	0,04	8,81	0,11	1,02	0,68	138,88	7,16
Směrodatná odchylka	7,197569	1,664291	2,826128	1,831582	1,501934	0,026749	3,601665	0,046635	0,739121	0,362793	21,86172	0,145667

1%	0,3335	0,140494	0,258977	0,118483	0,080207	0,000775	0,122535	0,001228	0,008705	0,0069	1,451358	0,07245
Procentuální zlepšení (%)	18,74%	9,39%	12,45%	16,08%	58,20%	49,68%	28,08%	9,46%	16,94%	1,81%	4,31%	1,21%