



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

**POKROČILÁ TECHNOLOGIE PŘÍRODNÍCH
ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD**

ADVANCED TECHNOLOGY OF NATURAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS

HABILITAČNÍ PRÁCE

HABILITATION THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. MICHAL KRIŠKA, Ph.D.

BRNO 2020

ABSTRAKT

Habilitační práce se zabývá technologií přírodních čistíren, které pronikly na trh v České republice na začátku 90 let dvacátého století. Původně nazývané kořenové čistírny odpadních vod byly velice diskriminovanou a zavržovanou technologií, uplatňující se pouze jako krajní alternativa vůči klasickým řešením čištění odpadní vody. Za nepříznivou situací stály početné příklady z praxe, kdy čistírna z pohledu správců vodního toku a orgánů životního prostředí nevykazovala dostatečné čistící účinnosti – byť většinou dodržovala povolené limity. Prostřednictvím několika na sebe navazujících výzkumných úkolů na pracovišti Ústavu vodního hospodářství krajiny, prostřednictvím osvěty mezi odbornou a neodbornou veřejnost, prostřednictvím aktivity na seminářích, workshopech a v diskuzních kruzích, došlo a nadále dochází k postupné změně pohledu. Stále více se objevují příklady přírodních čistíren odpadních vod, které vykazují se zapojením zkušeností a výsledků VUT (užité vzory, funkční vzory, poloprovozy) výrazně kvalitnějších výsledků, než nařizují platná legislativní opatření. Zejména díky osvětě v České republice, kde byla situace velice tristní, se podařilo najít místo pro tuto technologii. Dnes jsou všechny negativní pohledy snadno vyvratitelné a zejména na základě stále početnějších příkladů z praxe se jedná o technologii, vhodnou zejména pro menší producenty, bez ohledu na druh kanalizační sítě, nadmořskou výšku nebo kvalitu přitékající odpadní vody.

KLÍČOVÁ SLOVA

Odpadní voda, přírodní čistírna, septik, horizontální filtr, vertikální filtr, stabilizační nádrž

ABSTRACT

The habilitation thesis deals with the technology of natural wastewater treatment plants penetrating the market in the Czech Republic at the beginning of the 1990s. Originally called root sewage treatment plants, it was a highly discriminated and rejected technology used as the last alternative to conventional wastewater treatment solutions. Numerous practical examples of the situation were behind the situation where, from the point of view of watercourse managers and environmental authorities, the treatment plant did not show sufficient cleaning efficiencies - even if it respected the permitted limits. Through a series of successive research tasks at the Institute of Landscape Water Management, through awareness-raising among the professional and non-professional public, through activities in seminars, workshops and in discussion circles, a gradual change of view has been and continues to take place. Increasingly, examples of natural wastewater treatment plants are emerging, which, with the involvement of BUT's experience and results, show significantly better results than required by current legislative measures. Especially thanks to education in the Czech Republic, where the situation was very poor, we managed to find a place for this technology. Today, all negative views are easily rebuttable and, especially on the basis of increasingly practical examples, it is a technology suitable especially for smaller producers, regardless of the type of sewerage network, the altitude or the quality of the incoming wastewater.

KEYWORDS

Wastewater, constructed treatment wetland, septic tank, vertical flow wetland, stabilization pond

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KRIŠKA DUNAJSKÝ, Michal. Pokročilá technologie přírodních čistíren odpadních vod. Brno, 2020.
Habilitationální práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. 154 s.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych na tomto místě poděkoval všem kolegům, kteří se podíleli na zpracování dílčích výsledků – ať už se jedná o akademické pracovníky a spoluautory nebo studenty doktorského, magisterského a bakalářského studijního programu. Velice si cením pomoci aplikačních partnerů, bez jejichž zapojení by nebylo možné realizovat poloprovozní objekty a další aplikované výsledky.

Současně patří poděkování poskytovatelům finančních prostředků pro výzkumné úkoly:

1. Nové poznatky z testování septiků a pulzně vypouštěného filtru zjistil kolektiv řešitelů výzkumného projektu Technologické agentury České republiky s názvem „Anaerobní separátor nerozpuštěných látek a nutrientů“, ozn. TA02021032, řešitel za VUT: Ing. Michal Kriška, Ph.D., r. 2012–2014
2. Problematika a rozklíčování účinností horizontálních a vertikálních filtrů, včetně řešení kalového hospodářství na základě přirozeného odvodňování kalovými poli byla řešena v projektu Ministerstva průmyslu a obchodu s názvem „Čištění odpadních vod v integrovaném biotechnologickém systému“, ozn. TIP FR-TI3/778, řešitel za VUT: Ing. Michal Kriška, Ph.D., r. 2011-2015.
3. Oblast týkající se dusičnanů, jejich odstraňování přirozenou cestou prostřednictvím speciálních bariér z přírodních materiálů je řešena v projektu Národní agentury zemědělského výzkumu, projekt s názvem „Udržitelná technologie pro odstranění dusičnanů ze zemědělských smyvů“, ozn. QJ1520280, řešitel za VUT: Ing. Michal Kriška, Ph.D., r. 2015–2018
4. Řešení odstraňování dusičnanů z nádrží, ať už rybníčních typů nebo stabilizačních nádrží pro čištění odpadních vod byla řešena v projektu Národní agentury zemědělského výzkumu, projekt s názvem „Optimalizace ochrany vody a půdy v povodí vodních zdrojů s ohledem na udržitelné systémy zemědělského hospodaření“, ozn. QJ1620040, řešitel za VUT: Ing. Michal Kriška, Ph.D., r. 2016-2018)

V neposlední řadě byly dílčí úkoly řešeny v rámci specifického výzkum Fakulty stavební:

1. Výzkum zařízení na snížení množství odpadní vody a stabilizaci čistírenských kalů přirozenými způsoby“, ozn. FAST-S-11-26, řešitel za VUT: Ing. Michal Kriška, Ph.D., r. 2010.
2. Zaměření se na případné úniky odpadní vody z přírodní čistírny do podloží bylo uplatněno v rámci specifického výzkumu s názvem „Vliv vsakujících odpadních vod na kvalitu podzemních vod“, FAST-S-15-2850, řešitel za VUT: Ing. Michal Kriška, Ph.D., r. 2015–2016
3. Výběr vhodného filtračního materiálu, jeho testování v provozním měřítku byl řešen v rámci specifického výzkumu s názvem „Výzkum a posouzení nového technického řešení filtračního pole pro stávající kořenovou čistírnu odpadních vod“, ozn. FAST-J-16-3284, řešitel: Ing. Miroslava Pumprlová Němcová, r. 2016.
4. Poznatky z oblasti vertikálních skrápěných filtrů jsou zjišťovány řešitelským kolektivem specifického výzkumu s názvem „Monitoring, optimalizace a vyhodnocení provozu nového typu filtračního pole na kořenové čistírně odpadních vod“, ozn. FAST-J-17-4530, řešitel: Ing. Miroslava Pumprlová Němcová, r. 2017.
5. Řešení a simulace na základě zjištěných výsledků z poloprovozního vertikálního filtru byly prováděny prostřednictvím specifického výzkumu s názvem „Numerický model vertikálního filtru s využitím softwaru HYDRUS CWM1“, ozn. FAST-J-18-5294, řešitel: Ing. Miroslava Pumprlová Němcová, r. 2018.

1 OBSAH

1	Obsah.....	5
2	Úvod do problematiky.....	7
3	Cíle vědecké práce.....	9
4	Problematika kořenových čistíren	11
4.1	Legislativní rámec	12
4.2	Technologie a přístupy	15
4.3	Vstupní návrhové parametry	16
4.4	Jímka	18
4.5	Septik.....	19
4.6	Štěrbínová usazovací nádrž.....	22
4.7	Horizontální filtr.....	24
4.8	Stabilizační nádrž	26
4.9	kolmatace – praxí formulovaný problém č.1	28
4.10	amoniakální dusík – praxí formulovaný problém č.2.....	30
5	Zaměstnanecké vynálezy.....	31
5.1	Odlehčovací komora pro čistírnu odpadních vod.....	31
5.2	Zařízení k vypouštění vody	35
5.3	Vícekomorový septik	40
5.4	Rázový vypouštěč.....	46
5.5	Aerace vertikálního filtru	52
5.6	Denitrifikační vertikální bioreaktor.....	57
5.7	Distribuční systém pro vertikální filtry	63
5.8	Systém plovoucích nosičů	69
5.9	Denitrifikační bariéra	74
6	Výsledky a aplikační přínos	80
6.1	Mechanické předčištění.....	80
6.2	Anaerobní separátor	84
6.3	Horizontální filtr.....	89
6.4	Vertikální filtrační pole	96
6.5	Nový koncept a uspořádání přírodních čistíren.....	107
6.6	Amoniakální dusík – provozní výsledky.....	113
6.7	Odstraňování dusičnanů – denitrifikace	115
6.8	Kolmatace - efektivní řešení následků	124
6.9	Kalové hospodářství „reed-bed“	131

7	Diskuze	135
8	Závěr.....	139
9	Použitá literatura.....	140
10	Seznam obrázků a tabulek.....	151
10.1	Seznam obrázků	151
10.2	Seznam tabulek.....	153
11	Seznam použitých zkratk a symbolů	154

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Problematika čištění odpadních vod je již značnou dobu zakotvena v neustále se rozvíjející národní i zahraniční legislativě, která klade postupně vyšší požadavky na kvalitu životního prostředí, respektive na míru znečištění povrchových i podzemních vod. V minulosti proběhla řada významných investic a stavebních akcí, které zajistily omezení vypouštěného znečištění od největších producentů – velkých a měst, aglomerací nebo významných průmyslových podniků. Realizované stavební zásahy postupně vedly k pozvolnému zlepšení kvality vodních zdrojů. Dnes se nacházíme v situaci, kdy největší producenti mají čištění odpadních vod vyřešeno a pozornost se postupně zaměřuje na stále menší producenty. Typicky nevyřešeným příkladem menší obec do 500 obyvatel, decentralizované části obcí, skupiny rekreačních objektů či sezóně obývané objekty, které se potýkají s těžko řešitelným problémem nakládání s odpadními vodami.

Neustále se zpřísnující legislativa požaduje kvalitní hodnoty na odtoku již i od výše zmiňovaných drobných producentů znečištění. Přitom obce o velikosti do 500 obyvatel často řeší primárně otázku ekonomickou. Právě vybudování systému hospodaření s odpadní vodou často představuje značnou finanční zátěž jak pro obec, tak například i pro fyzickou osobu, která je vlastníkem nemovitosti. V současnosti navrhovaná řešení musí tedy jednak zvážit celkovou účinnost zvoleného systému tak, aby byly splněny legislativní požadavky, ale zohlednit je nutné také finanční náročnost záměru. A právě zde se naskytá příležitost pro vytvoření udržitelného systému čištění odpadní vody, který bude založen na principech moderních přírodních čistíren, které vykazují po stránce provozně ekonomické příhodnější variantu ve srovnání s konvenčními způsoby čištění odpadních vod.

Přírodní čistírny odpadních vod, dříve nazývané jako „kořenové čistírny“, doznaly zejména v posledních 10 letech i díky pracovišti Ústavu vodního hospodářství krajiny silného zlepšení. Technologie původních kořenových čistíren, dnes modernizovaná na „přírodní čistírny“, se začala objevovat a rozvíjet na začátku 90. let dvacátého století. Donedávna byla chápána jako alternativní čistírenská technologie, založená na přirozených fyzikálních procesech. Do čistícího procesu vstupuje zdroj elektrické energie buď v minimální míře, nebo je úplně vyloučen. Samotný princip čištění spočívá nejprve ve zpomalení proudu vody a odsazení nerozpuštěných látek. Následuje cílená a specificky charakterizovaná vícestupňová filtrace, doplněná dočišťovacími stupněmi – nádrží s přirozenými biologickými (samočistícími) procesy.

Na první pohled se jedná o velice snadnou technologii, nicméně právě zjednodušení stálo v minulosti v České republice za problémy, doprovázenými často nedostatečnou čistící účinností ve sledovaných parametrech (dle platného nařízení vlády pro vypouštění vyčištěné odpadní vody). Výsledkem byl postupně přibývajícím počet kořenových čistíren, které vykazovaly stále horší výsledky oproti např. mechanicko-biologickým čistírnám, na jejichž účinnosti se tehdy intenzivně pracovalo.

Od roku 1989, kdy se do tehdejšího Československa dostaly informace o technologii kořenových čistíren ze západních států, bylo postupně přistoupeno k aplikaci „západních zkušeností“, k napodobování a úpravě zahraničních vzorů na specifickou situaci v našich zemích. Na začátku 90. let se začaly projektovat a realizovat první kořenové čistírny, začal se formovat i pohled na tento zvláště snadný způsob čištění odpadních vod. Postupem času se ukázalo, že nejspíše došlo k informačnímu šumu, resp. v České republice si vývoj vzal jen pozitivní zkušenosti s očekáváním všeobecně spasitelného řešení. Na povrch se postupně začaly dostávat nepříliš uspokojivé výsledky, proto se jejich počet (nad 50 připojených obyvatel) postupně zpomalil na čísle 350 čistíren (Hudcová a kol., 2013). Ukázalo se, že nízkých odtokových koncentrací dosahuje pouze taková čistírna, která je připojená na kanalizační systém s vysokým podílem balastních vod (Kriška a Němcová, 2016) – tudíž

je odpadní voda natolik koncentrovaná, že čistírna v podstatě pouze stabilizuje a vyrovnává koncentrační výkyvy.

Důvodem ke špatným výsledkům vedl tedy zejména fakt, že řada čistíren je od prvopočátku nevhodně navržena. Špatný návrh byl většinou dán nepochopením fyzikální podstaty několikastupňového čistícího systému, resp. zjednodušením na straně projekčních kanceláří. Často bylo možné se setkat se stejným projektem pro dvě odlišné obce (odlišná velikost, morfologie terénu apod.). Druhou příčinou k neuspokojujícím výsledkům byl špatný přístup k provozování kořenových čistíren. Nízké účinnosti a provozní problémy vedly v logické konstatování: V České republice neexistuje žádná kořenová čistírna, která by byla po stránce účinnosti konkurenceschopná, anebo aspoň přibližující se účinnostmi klasickým čistírnám odpadních vod. Právě tento argument v roce 2006 byl spouštěčem a osobní motivací pro změnu a nápravu. V roce 2006 se stalo napravení reputace kořenových čistíren obrovskou výzvou, která byla postupně naplňována prostřednictvím nových výsledků. Mezi nové výsledky lze zahrnout projekční přístupy, užité vzory, spolehlivě fungující poloprovozní objekty i provozní čistírny odpadních vod, nová technická řešení, detaily a uspořádání. Přestože technologie svým vývojem není stále u konce, přestože se povedlo zlepšit účinnosti ve sledovaných parametrech z minimálních možných nad 90 %, přesto se stále vyskytují silné názorové skupiny odpůrců přírodních čistíren. Mezi odpůrci se vyskytují nejen odborníci, řešící konkurenční čistírenské technologie, ale také lidé s reálně negativními zkušenostmi z přelomu století – často správci vodních toků a orgány životního prostředí.

Přestože jsou výsledky a špatné zkušenosti dnes již dávno překonané, vysvětlené a dokázané, dodnes se vyskytuje stále se opakující argumentace ve smyslu názoru starého 15 let: kořenové čistírny neodstraňují amoniakální dusík ($N-NH_4^+$), neodstraňují celkový fosfor (P_{celk}), v zimě nefungují vůbec, v létě zapáchají, jsou s nimi jen starosti, nikdy nedosahují toho, co bylo slíbeno apod. Všechny tyto a další podobné argumenty jsou vysvětleny a vyvráceny níže v práci. Pomocí čistíren navržených podle vědeckých výsledků získaných na Ústavu vodního hospodářství krajiny, lze docílit lepších výsledků, než pomocí klasického řešení čistírny odpadních vod. Přidanou hodnotou je minimální uhlíková stopa, vznikající za provozem přírodní čistírny, všeobecně levnější provoz čistírny, dlouholetá životnost, zadržena vody v krajině, vytvoření dílčích ekosystémů, malých vodních nádrží, mokřadních systémů apod.

3 CÍLE VĚDECKÉ PRÁCE

Stav poznání technologie kořenových čistíren odpadních vod se od jejich nástupu na počátku 90. let dvacátého století ve své podstatě nijak výrazně neměnil v pozitivním slova smyslu, nedocházelo k postupnému zlepšování technologie, k navyšování čistících účinností, resp. měnil se postupně k horšímu mínění a povědomí o tehdy nazývaných „kořenových čistírnách“ (mezi neodbornou veřejností kořenovka, kořenová čistička apod.). Prvním jasným problémem, který lze identifikovat, je v minulosti nepříliš přesné pochopení samotné technologie. Tzn., prvním cílem práce je osvěta a popularizace nových kvalitních výsledků mezi laickou i odbornou veřejností. Postupně zažitý název „kořenová čistírna“, jejíž podstata spočívala v přítomnosti rostlin, resp. kořenového systému přítomných mokřadních rostlin, vedl společně s výrazným zjednodušením jak návrhů, tak provozního přístupu. Současně stěžejní pozornost byla věnována rostlinám a jejich přítomnosti na filtračních polích, spoléhalo se na fakt, že rostliny svou fyziologií přispívají k vyšší čistící účinnosti, než tomu tak ve skutečnosti je. Práci na dílčích úkolech, popisujících principy technologie, navazující osvětou v rámci publikační činnosti a poukazováním na kvalitní výsledky byl tento cíl postupně plněn v průběhu předchozích let. Kořenové čistírny bylo, z pohledu technické univerzity, nutné začít nazývat jinou terminologií. Proto se v celé práci při výskytu sousloví „kořenová čistírna“ váže text na starší systémy. Naopak nové účinnější systémy, pracující na základě vyvinutých řešení, jsou označovány jako „přírodní čistírny“.

Jedním z hlavních vytyčených úkolů práce bylo v minulosti zvýšení účinnosti kořenové čistírny odpadních vod na konkurenceschopnou úroveň, zajištěné úpravou technologie na stále snadný systém a fungující primárně na přirozeném principu čištění. Kompromis mezi složitostí stavebního provedení a rozumnou provozní náročností přírodních čistíren je tedy dalším cílem práce.

Kritika původních kořenových čistíren se téměř ve většině případů zaměřuje na dva hlavní nedostatky:

- Nízká účinnost v odstraňování amoniakálního dusíku
- Náchylnost na ucpávání

Cílem je tedy napravení obou nedostatků zvýšením účinnosti a prevencí úpravou provozu kořenových čistíren odpadních vod.

Tyto problémy jsou řešeny v rámci několika výzkumných prací, jsou podrobně popsány jak dílčí výsledky, tak celková koncepce přírodní čistírny, která svým uspořádáním zajišťuje zároveň zabezpečení proti provozním poruchám a postupnému snižování čistící účinnosti.

Další, méně závažné problémy, spojené s kořenovými čistírnami, stojí na provozním přístupu a ekonomice. Ukázalo se, že četné výsledky byly předem odepsány jako nepoužitelné v praxi. Nedostatek spočívající v nemožnosti uplatnění v provozních podmínkách usměrnil výzkumné aktivity primárně na aplikovaný výzkum. Cílem níže uvedených výsledků je tedy zejména jejich aplikovatelnost, ať už v rámci hospodářské činnosti, lépe ale formou prodeje výsledku licenční smlouvou výrobnímu nebo dodavatelskému subjektu.

Za účelem snížení provozních nákladů byla věnována dlouholetá pozornost spolupráci s provozovateli čistíren odpadních vod. Stěžejním faktorem, určujícím výši stočného, bylo téměř ve všech případech kalové hospodářství. Cílem práce je tedy vyřešení vlastního kalového hospodářství, založeného na novém nebo inovovaném systému přírodě blízkém, vedoucím k reálnému snížení provozních nákladů přírodní čistírny odpadních vod.

Cílem několikaleté práce (zahájené na intenzivní úrovni v roce 2010) je oproštění od negativního vnímání technologie kořenových čistíren, založené nejen na argumentaci v teoretické rovině, ale

zejména na základě opakovaně kvalitních výsledků. Zkušenosti nicméně ukazují, jak je tato cesta složitá a pomalá proces postupného odbourávání averze vůči kořenovým čistírnám má pozvolný průběh.

Práce tedy popisuje cestu, dílčí aplikované výsledky typu užité vzory, funkční vzory, poloprovozy, doprovázené provozními zkušenostmi a poznatky. Výsledkem několikaleté práce jsou takové koncentrace na odtoku z čistíren odpadních vod, které při širokém rozšíření v rámci České republiky pomohou zvýšit kvalitu vody v podzemních, povrchových tekoucích i stojatých vodách- ekologicky, dlouhodobě a udržitelně.

4 PROBLEMATIKA KOŘENOVÝCH ČISTÍREN

Jak již bylo popsáno v úvodní kapitole, technologie přírodních čistíren odpadních vod je čistírenskou technologií, založenou primárně na přirozených fyzikálních procesech. Ve srovnání s klasickými čistírnami buď zcela potlačuje nutnost přísunu elektrické energie, případně vyžaduje tuto energii pouze na přesun odpadní vody na vyšší úroveň (potenciální energie). Čistírna, založená na přírodní technologii, je jako celek rozdělena na několik na sebe navazujících objektů – záleží na velikosti producenta odpadní vody.

V případě, že producent (skupina rodinný dům, skupina domů, osada, vesnice, město) produkuje odpadní vodu, je potřeba vracet do krajiny tuto vodu zpět jako vyčištěnou, přičemž čištění odpadní vody by mělo být objektivním kompromisem mezi investičními i provozními náklady, zohledňovat by se měla i schopnost dané technologie dosahovat určené a předepsané účinnosti, dostupnost technologie. V neposlední řadě by se měla zohledňovat také ekologická zátěž provozu, např. uhlíková stopa, ekologická stopa aj. Tímto všeobecným posouzením je ve své podstatě vybrána nejlepší dostupná technologie pro daného producenta, která by měla současně být v souladu s platným nařízením vlády.

Výběr technologie tedy závisí na spoustě vlivů a faktorů. Investor, který zvažuje o realizaci čistírny odpadních vod, má možnost zvolit ze dvou základních typů čistíren. V České republice jsou nejznámějším typem čistírny založené na intenzivním přístupu – čistící proces probíhá za regulované dotace vzduchu v hlubokých nádržích, které se nazývají aktivační. Plošný záběr je ve srovnání s kořenovou nebo přírodní čistírnou výrazně menší. V aktivačních nádržích je čistící proces nastaven tak, že probíhá na maximální možný výkon, výsledkem je spolehlivě vyčištěná odpadní voda – vše je kontrolováno často automatickým systémem, který operativně reguluje přísun vzduchu do provzdušňovaných nádrží, často je vše napojeno na centrálu a vzdálený dispečink. Hlavní výhodou takových čistíren odpadních vod je minimální zábor plochy a spolehlivý provoz a téměř jisté kvalitní výsledky. Určitou nevýhodou můžou být provozní náklady, které jsou vyšší než u čistírny, založené na přírodních čistících procesech.

Oproti tomu existují typy čistírenských objektů, které pracují na za diametrálně odlišných podmínek, tj. velice pomalu, většinou bez elektřiny. Tyto čistírny, nazývané jako přírodní nebo extenzivní (Mlejnská a kol., 2009), využívají přirozených procesů, které v přírodě probíhají. Čistírny jsou nicméně odkázány na vliv počasí, při dlouhých a tuhých zimách mohou vykazovat nižší účinnost v odstraňování zejména amoniakálního znečištění, které je rozkládáno pomocí nitrifikačních bakterií (proces nitrifikace). Právě bakterie rodu *nitrosomonas*, zajišťující rozklad amoniakálního dusíku, vykazují při snížené teplotě odpadní vody pomalejší metabolismus, při dlouhodobě nízké teplotě pod 7 °C odpadní voda vykazuje horší odtokové koncentrace, resp. transformace amoniakálního dusíku na dusičnanový dusík může být zcela zastavena. Popsaný problém nicméně nastává pouze při dlouhodobě trvajících zimních obdobích, kdy teplota vzduchu nepřekračuje nulovou hodnotu. Sníženou čistící účinností lze napravit recirkulací vody – odpadní voda obsahující část dusíku v dusičnanové a část v amoniakální formě, může být přečerpávána na začátek před nebo za mechanický stupeň čištění.

Největší nevýhodou z pohledu budoucích investic při výstavbě je plošná náročnost. Jelikož účinnost hlavního stupně čištění (filtru) vychází z objemu filtrační náplně a současně kyslík potřebný pro odstranění znečištění přestupuje přirozenou cestou velice pozvolna, je potřeba výpočtem stanovit objem filtrační náplně natolik dostatečný, aby účinnost čistírny jako celku byla uspokojivá, resp. tak vysoká, aby čistírna byla stále nejlepší dostupnou technologií.

Naopak obrovskou výhodou původních kořenových čistíren je minimální náročnost na provoz – obsluha čistírny může být jen proškolená a ve výsledku tráví na čistírně podle velikosti jen několik minut denně až týdně. Jedním z důvodů zmíněné jednoduchosti provozu je skutečnost, že součástí původních kořenových čistíren nejsou pohyblivá technologická zařízení (elektromotory, dmychadla, ventily ani mamutková čerpadla), která mohou vykazovat poruchový provoz.

Moderní přírodní čistírna, pracuje na extenzivním přístupu, tj. pozvolna s cílem dosažení lepších odtokových koncentrací, než jakých je možné dosáhnout pomocí intenzivních čistíren v klasickém řešení. Nutno podotknout, že pokud má přírodní čistírna dosahovat srovnatelných výsledků, je potřeba ji navrhnout jako vícestupňovou, složitější je návrh i provoz, současně je potřeba eliminovat negativní lidský faktor (špatná obsluha), který může vézt ke zhoršené účinnosti.

Základní rozdělení přírodních čistírenských technologií zahrnuje i v zahraniční literatuře spoustu specifických řešení, z nichž nicméně nemají všechna reálné uplatnění v mírném klimatu střední Evropy (Rozkošný a kol., 2014). V úvahu přichází tyto typy objektů, jejich kombinací a různých variant řešení podle požadavků na kvalitu odtékající vyčištěné vody:

- Jímka
- Septik
- Štěrbinová usazovací nádrž
- Horizontální filtr
- Vertikální filtr
- Stabilizační nádrž

Jako nejčastější uspořádání podle požadavku na kvalitu vyčištěné vody se uplatní sestavy, podrobněji popsané v kapitole č. 6:

- Septik + vertikální filtr
- Štěrbinová usazovací nádrž + horizontální filtr + vertikální filtr
- Předchozí dvě řešení + denitrifikační filtr
- Septik + soustava dvou vertikálních filtrů

4.1 LEGISLATIVNÍ RÁMEC

Jednou z příčin, vedoucích k historickému odepsání technologie kořenových čistíren odpadních vod byl specifický výklad toho, jak má být čistírna navržena. Stejně jako v minulosti, ani dosud v platném nařízení vlády (č. 401/2015 Sb.) není při vypouštění vyčištěných odpadních vod do povrchových vod u velikosti zdroje znečištění do 500 EO zakotven požadavek na odstraňování amoniakálního dusíku (N-NH_4^+). Projektanti proto navrhovali taková řešení, která právě amoniakální dusík odstraňují s minimální účinností, resp. ve specifických situacích jej může dokonce samotná čistírna produkovat (Kriška a Němcová, 2016). Nízkých odtokových koncentrací často dosahovaly pouze kořenové čistírny, které byly napojeny na kanalizační systémy, odvádějící splaškové vody společně s vodami z melioračních systémů, malých zatrubněných vodních toků, případně jiných zdrojů téměř čisté vody. Oproti zahraničí se v České republice navrhovaly od 90. let 20. století kořenové čistírny, jejichž hlavní filtrační stupeň byl založen na horizontálním průtoku odpadní vody. Návrh takové čistírny je snadný, rychlý, stejně jako samotná realizace i provoz. Nicméně, jak ukázal vývoj v České republice, horizontálně protékané filtrační systémy s vegetací vysázenou na povrchu jsou schopny obstojně redukovat pouze nerozpuštěné látky, které při eliminaci zároveň snižují hodnoty CHSK_{Cr} a BSK_5 . Právě tyto tři parametry lze ve své podstatě tedy odstranit velice snadno i pomocí nejjednoduššího uspořádání, které má ovšem jeden zásadní nedostatek – ostatní znečištění (N-NH_4^+ , N_{celk} a P_{celk}) jsou eliminována v minimální míře. Projektanti mohou navrhovat toto řešení v souladu s platným

nařízením vlády i dne, při procesu povolování stavby však naráží na oprávněnou nelibost dotčených orgánů.

Tab. 1 Emisní standardy podle velikostních kategorií (N.V. 401/2015 Sb.)

Kategorie ČOV (EO) ¹⁾⁷⁾ nebo velikost aglomerace	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄ ⁺ *		N _{celk} ^{2),8)} *		P _{celk}	
	p ³⁾	m ⁴⁾	p ³⁾	m ⁴⁾	p ³⁾	m ⁴⁾	průměr ⁵⁾	m ^{4),6)}	průměr ⁵⁾	m ^{4),6)}	průměr ⁵⁾	m ⁴⁾
<500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500–2000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-	-	-
2001–10000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	3	8
10001–100000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	30	2	6
> 100000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3

* Přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) a hodnoty průměru koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg·l⁻¹. U jednotlivých ukazatelů jsou v NV uvedeny detailní popisy a vysvětlení.

Jednotlivá nařízení vlády se postupně sice aktualizovala během sledovaného období třikrát: N.V. 61/2003 Sb., N.V. 229/2007 Sb., N.V. 23/2011 Sb., N.V. 401/2015 Sb. Ani s poslední výzvou k připomínkování ale nejsou zahrnuty zkušenosti z minulosti. Z pracoviště Ústavu vodního hospodářství krajiny byl vznesen požadavek na úpravu emisních limitů v jednotlivých kategoriích, zejména byl kladen důraz na doplnění limitu pro amoniakální dusík i pro nejmenší velikostní kategorie ČOV. Požadavek nebyl zpracovatelem akceptován, jelikož cílem revize nařízení vlády nebyla primárně úprava limitů, ale řešení formálních nedostatků.

Právě s odkazem na nařízení vlády, které stanovuje emisní standardy a v podstatě umožňuje projektantům navrhovat extrémně jednoduché kořenové čistírny, se uzavírá cesta a motivace k návrhům kvalitnějších řešení kořenových čistíren, které by mohly po stránce kvality vypouštěné odpadní vody konkurovat jiným technologiím. Přitom podle různého typu uspořádání jednotlivých filtračních polí se může účinnost kořenové čistírny např. u parametru N-NH₄⁺ pohybovat v rozsahu 0 - 99,9 %.

Metodický pokyn k nařízení vlády č. 229/2007 Sb. pro oblast komunálních čistíren popsal samostatnou metodiku pro nejlepší dostupné technologie (BAT) v oblasti zneškodňování městských odpadních vod, kde jsou kořenové čistírny zahrnuty jako „zelené technologie“ nevhodné již pro kategorii 500–2 000 EO. Po celé období platnosti metodiky je však v kategorii „zelená technologie“ považována za kořenovou čistírnu právě soustava mechanické předčištění + horizontální kořenový filtr. Přitom podle vlastních výzkumných výsledků jsou nové soustavy přírodních čistíren (kombinace s vertikálními kořenovými systémy) svými odtokovými parametry na vyšší úrovni než stávající doporučovaná nejlepší dostupná technologie - „nízko zatěžovaná aktivace doplněná o terciální stupeň čištění včetně srážení fosforu“ (viz níže).

Skutečnost se tedy vyvinula v situaci, kdy byly po dvě desetiletí navrhovány čistírny, které nedostatečně odstraňovaly amoniakální dusík. Při detailnějším pohledu na obecný postup při návrhu dimenzí horizontálního filtru se vychází pouze z množství znečištění BSK₅ (kap. 4.7), naopak N-NH₄⁺ není při návrhu zohledňován. Ve své podstatě u čistírny do 500 EO by v rámci všech uvedených nařízení vlády v podstatě neměl povolovací orgán požadovat odstraňování N-NH₄⁺. Resp., konkrétní investor měl být důrazně upozorněn, že kořenová čistírna založená na soustavě „štěrbínová usazovací nádrž + horizontální kořenový filtr“ nebude schopna amoniakální dusík odstraňovat. Dnes nelze tedy technologii odsuzovat za něco, co nebylo jejím cílem již od vzniku projektové dokumentace. Pakliže vzniká požadavek na odstraňování N-NH₄⁺ (ze strany investora, správce toku, odboru životního

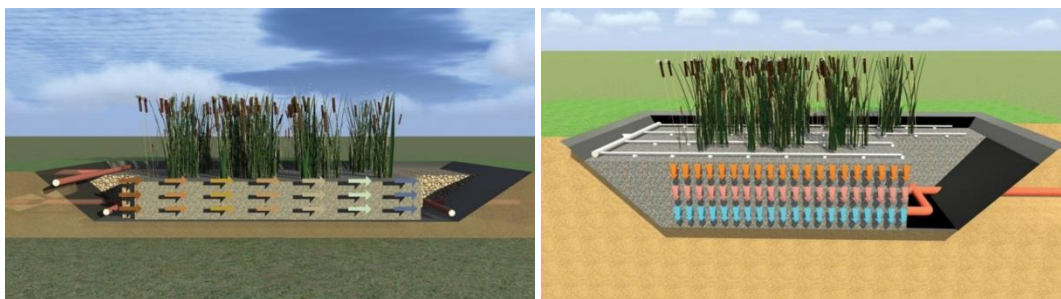
prostředí aj.), je potřeba řešit projektovou dokumentaci jinak než jen jednoduchým systémem výše uvedeným.

Tab. 2 Dosažitelné hodnoty pro jednotlivé ukazatele znečištění při použití BAT

Kat. ČOV [EO]	Nejlepší dostupná technologie	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄ ⁺				
		Konc. (mg/l)	Účinnost [%]	Konc. (mg/l)	Účinnost [%]	Konc. (mg/l)	Konc. (mg/l)	Účinnost [%]				
		p m		p m		p m	Prům. m					
<500	Nízko až středně zatěžovaná aktivace nebo biofilmové reaktory	110	170	75	30	50	85	40	60	-	-	-
500-2000	Nízko zatěžovaná aktivace se stabilní nitrifikací	75	140	75	22	30	85	25	30	12	20	75

Vývoj a výzkumné aktivity Ústavu vodního hospodářství krajiny v oblasti kořenových čistíren odpadních vod se soustředil i na již navržená a provozovaná řešení. V rámci intenzifikace technologicky zastaralých systémů, založených na výše uvedené soustavě „šterbinová usazovací nádrž + horizontální kořenový filtr“ (Křiška a Němcová, 2016), byl podrobně popsán princip pulzního prázdňení horizontálních filtrů. Uvedený princip, resp. úprava filtru, zajistí zvýšení účinnosti ve všech sledovaných znečištění, které vyžadují pro odbourání dostupný kyslík. Podrobněji jsou výsledky popsány níže v kap. 6.3.4.

Z uvedené kritiky plyne, že soustavy, navrhované od 90. let dvacátého století, jsou z pohledu účinnosti již velice zastaralé. Přesto se stále nachází početná množství projektantů (většinou velice zkušených vodohospodářů), kteří se z minulosti nepoučili a tato řešení navrhuji stejně jako před 30 lety. Mnohem lepším řešením, které na první pohled je minimálně odlišné, ale současně mnohem více účinné, je řešení, využívající coby hlavní stupeň čištění vertikální filtr s vegetací.



Obr. 1 A) Schéma horizontálního filtru B) vertikálního filtru s vegetací

Hlavní technologický rozdíl je zobrazen na Obr. 1 - u horizontálního filtru (A) je přítokové potrubí v levé části na povrchu (letní) a dole (zimní), voda protéká převážně v horizontálním směru k odtokovému potrubí (vpravo dole), zatímco u vertikálního filtru s vegetací (B) je přítokové potrubí rozloženo na povrchu (šedá barva), sběrná drenáž ve spodní části (oranžová), voda protéká převážně ve vertikálním směru. Do roku 2010 byl počet reálně provozovaných vertikálních filtrů v České republice minimální (téměř nedohledatelné). Současně se v rámci přeshraniční spolupráce ukázalo, že již za hranicemi České republiky jižním a západním směrem nemají s kořenovými čistírnami tak negativní zkušenosti. Naopak, kořenové čistírny v zahraničí jsou považovány za technologii naprosto konkurenceschopnou, což v roce 2010 bylo v České republice nepochopitelným překvapením. Jako hlavní vzor při práci na pochopení technologie jsme na Ústavu vodního hospodářství krajiny vybrali vzhledem k dostupnosti Rakousko, kde jsou čistírny založené na vertikálních filtrech s vegetací plnohodnotným technickým řešením, které dokáže bez problémů konkurovat jiným typům čistíren odpadních vod. V rámci novostaveb jsou tyto přírodní čistírny zastoupeny z 30 % (Langergraber

a Weissenbacher, 2017), přičemž celkový počet vertikálních systémů je 5500 ks (v kategorii 50–500 EO). Přístup ke kořenovým čistírnám je zde odlišný již od samotné projekce – používají jiná uspořádání kořenových polí, jiné technologické detaily řešení, jiné filtrační materiály apod.

4.2 TECHNOLOGIE A PŘÍSTUPY

Odborná veřejnost se od proniknutí technologie do praxe v 90. letech zformovala do dvou názorových skupin, které se v pohledu na kořenové čistírny zásadně rozcházejí. Za vším stojí, jak bylo uvedeno výše, nejspíše velice jednoduchá technická řešení, která vykazují nízkou čistící účinnost v odstraňování amoniakálního dusíku ve srovnání s čistírnami založenými na aktivačním procesu (Křiška Dunajský a Němcová Pumprlová, 2016). První zmínky o účinnostech kořenových čistíren uváděl již v roce 1996 prof. Vymazal (Vymazal, 1996), z pozorování 28 kořenových čistíren v České republice vyplývala účinnost odstranění $N-NH_4^+$ = 31,3 %. V platném nařízení vlády sice potlačena požadovaná účinnost v odstranění $N-NH_4^+$ pro velikosti zdrojů do 500 EO, nicméně navazující kategorie již požaduje účinnost 75 % vycházející z účinnosti nejlepší dostupné techniky (tzv. BAT). V praxi při konfrontaci daného zařízení potom dochází k častým a nepříjemným výměnám názorů. Nutno přiznat, že obě strany mají částečně pravdu. Ti, kteří odmítají povolovat realizace nových kořenových čistíren, vychází především z reálných výsledků, kterých jsou kořenové čistírny schopny dosahovat (ukázka fungujícího, ale senzorky nevhodného řešení, obr. 5). K argumentům v neprospěch kořenových čistíren, které byly zaznamenány při konzultační činnosti, komunikaci s úředníky, správci vodních toků a ze strany odborů životního prostředí, patří především tyto:

- nedostatečná všeobecná čistící účinnost kořenové čistírny,
- kořenová čistírna téměř neodstraňuje amoniakální dusík,
- filtry se ucpávají,
- nevhodné klimatické podmínky pro kořenovou čistírnu,
- nejde o nejlepší dostupnou technologii (BAT).

V opozici výše zmíněných odpůrců stojí naopak průkopníci, zastánci a většinou ekologicky zaměřeni projektanti. Ti se dlouhá léta snaží ve svých projektech a technických zprávách prosadit kořenové čistírny, jejichž vysokou čistící účinnost podkládají těmito závěry:

- rostliny dodávají potřebný kyslík do odpadní vody svým kořenovým systémem,
- rostliny odebírají přítomné živiny z odpadní vody,
- rostliny tvoří tepelnou izolaci proti zamrznání v zimním období,
- a další argumenty o estetickém působení čistírny jako celku, ekologickém charakteru čistírny,
- vytvoření ekosystému, životního prostředí pro obojživelníky, vodní ptactvo apod.
- kořenové čistírny spolehlivě odstraňují těžké kovy
- kořenové čistírny spolehlivě odstraňují farmaka

Mezi oběma názorovými skupinami stojí Ústav vodního hospodářství krajiny Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně, přinášející nové technologické přístupy jak na základě hlubšího pochopení hydraulického systému, tak na základě několika poloprovozních zařízení. Toto pracoviště, které má dlouholetou tradici ve výzkumné, výukové, vývojové i konzultační činnosti, soustředící se na oblast přírodních způsobů čištění odpadních vod, posunulo díky několika aplikovaným výzkumům a užitným vzorům za posledních 10 let celou oblast problematiky kořenových čistíren výrazným krokem vpřed. Za největší úspěch našeho řešitelského kolektivu považujeme reálné výsledky, které ukazují, že na odtoku z přírodní čistírny lze dosáhnout často vyšší kvality vody, než je často kvalita vody v samotném recipientu (malém potoce), do něhož je vyčištěná voda odváděna (Rozkošný a kol., 2014). Ve srovnání s původními systémy s nízkými účinnostmi dosahuje několik poloprovozních provozů účinností: $CHSK_{Cr}$ = 90–95 %, BSK_5 = 85–90 %, NL = 94–98 %, $N-NH_4^+$ = 90–99 %, N_{celk}

= 85 %, $P_{\text{celk}} = 80$ % (vždy záleží na množství balastních vod. Čím více je voda naředěná, tím horších účinností se dosahuje). Hodnoty korespondují s výsledky na víceetapové testovací kořenové čistírně (Vymazal a Kröpfelová, 2015). Případně lze doplnit odtokové koncentrace z provozní čistírny odpadních vod v obci Dražovice: $\text{CHSK}_{\text{Cr}} < 33,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, $\text{BSK}_5 < 0,77 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, $\text{NL} < 6,86 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, $\text{N-NH}_4^+ < 2,16 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ během celého roku (Tab. 17). Nemluvě o možnostech odstraňování fekálních bakterií pomocí vertikálních kořenových filtrů – účinnosti se pohybují např. u koliformní bakterie = 95 % odstranění, *Escherichia coli* = 92 %, Fekální bakterie = 84 % (Faladori a kol., 2015).

Stěžejním problémem této technologie je již naznačené zjednodušení samotného principu přírodního čištění odpadních vod. Projekční kanceláře, pohybující se ve vodohospodářské praxi, prodávaly tehdy kořenové čistírny jako alternativu pro investory, kteří se nechtějí o čistírnu starat, a naopak chtějí mít bezúdržbové řešení. Projektanti nabízeli řešení, které z odpadní vody vytvoří vodu vyčištěnou, kterou lze bez problémů vypouštět do vodního toku dle aktuálně platných nařízení vlády. Kořenové čistírny trpěly postupně stále více se projevujícími neduhy, které budou popsány níže. Projektanti současně ale ukazovali na odtokové parametry, které byly pod úrovní stanovených limitů pro vypouštění vod do recipientu. Situace se vyvinula do takového stádia, že čistírny vykazují sice dostatečnou čistící účinnost z pohledu legislativy (resp. z pohledu povolení k vypouštění odpadních vod), nicméně při vizuální posouzení vyčištěné vody i laik poznal nekvalitně vyčištěnou odpadní vodu na základě posouzení průhlednosti vody a typického zápachu.

Konkurenční technologie, založené na aktivačním procesu a často předkládané jako řešení, které je svými účinnostmi na mnohem vyšší úrovni, tehdy postupně vyvíjely jak výzkumné instituce, tak výrobci malých „balených“ čistíren. Konkurenční boj mezi jednotlivými výrobci vedl postupně ke zdokonalení aktivačních čistíren až na maximální možné účinnosti, které jsou zakotveny v nařízení vlády jako „nejlepší dostupná technika“ (podrobněji popsáno výše). Mezitím se kořenové čistírny postupně dostávaly do pozadí a byly čím dál častěji chápány jako alternativa pro vysoce specifické situace. Většinou se poukazovalo na jejich nedostatky, místo toho, aby se úpravou přístupu řešila příčina problému na kořenové čistírně odpadních vod. Čistící účinnosti kořenových čistíren v hlavních sledovaných parametrech zůstávaly hluboce pod výsledky, kterých se dosahuje čistírnami založenými na aktivačním procesu, což je třetí identifikovaný problém. Nízké účinnosti vedou postupně téměř k zákazu realizací a povolování kořenových čistíren, což se projevilo a dosud projevuje argumentací při povolovacích procesech. Kořenová čistírna není nejlepší dostupná technologie, proto nemůže být povolena jako vhodné technické řešení – takto běžně, a přitom v rozporu s výkladem definice BAT argumentují úředníci odborů životního prostředí a správci vodních toků.

4.3 VSTUPNÍ NÁVRHOVÉ PARAMETRY

Při rozhodování o způsobu volby technologie čištění odpadních vod je z pohledu optimalizace návrhu přinejmenším vhodné znát jakost a množství odpadních vod přitékajících na budoucí čistírnu. Znečištění, které přitéká kanalizačním systémem na čistírnu, je z pohledu dnešní legislativy charakterizováno a posuzováno několika dílčími ukazateli. Toto znečištění vniká na opačném konci kanalizačního systému – u spotřebitele pitné nebo užitkové vody, která se po použití stává vodou odpadní – splaškovou, šedou, černou, žlutou aj. typem. Podle spotřebovaného množství vody je produkováno znečištění v různé koncentraci ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Všechny sledované koncentrace se společně se zvyšující spotřebou vody snižují a při znatelné úspoře vody se koncentrace zvyšují.

Kořenové čistírny odpadních vod patří mezi technologie, o nichž do nedávné doby nebylo ze strany projektantů zcela srozumitelné, jakým způsobem fungují, jak spolehlivě odstraňují daný ukazatel znečištění apod. Mezi sledovanými ukazateli patří níže popsané: CHSK_{Cr} , BSK_5 , NL , N-NH_4^+ , N_{celk} , P_{celk} – vše dané nařízením vlády č. NV 401/2015 Sb., resp. přílohou č.1, tabulkou 1a: Emisní

standards. Pokud je při využití přírodních čistírenských technologií cílem i odstranění amoniakálního dusíku, je nutné přistoupit k řešení, založenému na vertikálním filtru, který je provozován jako pulzně skrápěný (detaily viz níže v kapitole 6.4).

Kořenová nebo přírodní čistírna odpadních vod, jak pramení z jejího principu, si ve srovnání s jinými technickými řešeními poradí se sníženými koncentracemi znečištění, které se často vyskytují na jednotných kanalizačních systémech. Přítomné balastní vody mohou způsobovat tak silné naředění, že konvenční čistírny odpadních vod vykazují provozní problémy. Kombinace kolísajících průtoků s rozkolísaným naředěním je pro intenzivně koncipované čistírny odpadních vod provozně komplikované zvládnout.

Naopak zvýšené koncentrace znečištění – je schopna přírodní čistírna úspěšně odstranit i znečištění z průmyslových areálů apod. Odpaní vodu s vysokou koncentrací znečištění je nutné bezpodmínečně čistit vícestupňovým filtračním systémem. Návrh vícestupňového systému musí zahrnovat jak stanovení účinnosti podle parametru BSK₅, tak zahrnutí i ostatních dimenzí jednotlivých čistírenských objektů dle ČSN 756402.



Obr. 2 Projevy kolmatace: povrchové toky a zakolmatovaný filtrační materiál

Nezbytnou podmínkou pro správnou funkci každé čistírny odpadních vod je optimálně navržený a provozovaný kanalizační systém. Dle způsobu odvádění odpadních vod se stokové soustavy rozdělují zpravidla na dva standardní typy:

- Jednotná stoková soustava: při tomto řešení jsou splaškové i dešťové odpadní vody na čistírnu odváděny společně. Nevýhodou jednotné kanalizace je nutnost dimenzování stokové sítě na velké průtoky dešťových vod. Současně musí být před samotnou čistírnu navržena odlehčovací komora, zajišťující bezpečný provoz čistírny vyloučením nebezpečných průtoků. Kořenové čistírny jsou od jejich prvních zmínek v České republice preferovány pro zapojení v kombinaci s jednotnou stokovou soustavou, níméně nevyhovující odlehčovací komory jsou v současné době hlavním důvodem k jednomu z největších problémů starších kořenových čistíren – kolmatace, neboli ucpávání filtračního materiálu (Obr. 2). Kromě problémů s povrchově protékající odpadní vodou dochází k zápachu a nedostatečným účinnostem kořenových čistíren jako celků. Pokud je kořenová čistírna navrhována pro jednotnou kanalizaci, odlehčovací komora je stěžejním objektem pro její dlouhodobé bezporuchové fungování.
- Oddílná stoková soustava: řešení kanalizační sítě je tvořeno dvěma kanalizačními soustavami, kdy jedna odvádí samostatně splaškové vody na čistírnu odpadních vod a druhá slouží k dopravě srážkových vod a zpravidla zaústíje přímo do recipientu. Ve většině malých obcí, které již mají vybudovanou splaškovou kanalizaci, se nová kanalizace na srážkové vody již

nebuduje a předpokládá se využití srážkových vod v intravilánu obce. Na oddílné kanalizaci se v potrubí pro splaškové odpadní vody vyskytují vyšší koncentrace znečištění, proto je potřeba navrhovat vícestupňovou filtraci odpadní vody (soustavy kořenových filtrů, viz kapitola 0).

Na návrh i provoz kořenové nebo přírodní čistírny odpadních vod má typ stokové soustavy zásadní vliv. Na jednotné kanalizaci jsou vody zejména za srážkových situací nařaděné, je potřeba náležitě dimenzovat mechanické předčištění, které se může v bezdeštném období jevit jako předimenzované (Rozkošný a kol, 2010). V případě dešťů nesmí docházet k vyplavování usazených látek ze septiku nebo usazovací nádrže.

4.4 JÍMKA

Jímka, na rozdíl od jakéhokoli jiného objektu dále popsaného, je neprůtočnou nádrží. Voda, která do jímky přiteče, dále neodtéká, ale zůstává v jímce akumulována do jejího naplnění. Po naplnění je potřeba jímku vyprázdnit – odčerpat, vysát (fekální savicí, fekálním vozem) a následně její obsah vyvézt na dostatečně větší čistírnu, která je schopna objem jímky pojmout bez negativního provozního ovlivnění. Odevzdání obsahu jímky zpracovateli odpadní vody je ale největším problémem. Likvidace odpadní vody prostřednictvím jímky je u trvale provozovaných objektů prokazatelně nejdražším způsobem řešení nakládání s odpadními vodami (Rozkošný a kol., 2014, Bodík a kol., 2017).

Rozměry, objemy a hloubky jímky vychází z počtu obyvatel a jimi vyprodukovaného množství odpadní vody, případně z plánované četnosti vyvážení. Větší jímka je vyvážena s delším časovým intervalem, malá jímka naopak velice často. Jelikož každé vyvážení jímky je nákladné a je spojeno s problémy technickými, provozními, senzorickými, ekonomickými i ekologickými, není toto řešení podporováno odborníky jako řešení pro nakládání s odpadními vodami u trvale provozovaných objektů.

Jímky se v minulosti uplatňovaly zejména pro producenty s velice nepravidelnou produkcí odpadní vody (sezónně obývané rekreační chaty, zahradní domky aj. objekty bez možnosti napojení na kanalizační síť). Své opodstatnění mají u nově realizovaných objektů jímky v podstatě pouze v situacích, kdy je provoz objektu velice rozkolísaný, např. několik víkendů v roce, případně pro specifické případy – sportovní areály se sociálním zařízením, čerpací stanice s restauracemi apod.

Vnitřní objem jímky lze stanovit z předpokládaného a očekávaného přítoku vody. Ve své podstatě, veškerá spotřebovaná voda vytváří následně odpadní vodu akumulovanou v jímce. V případě, že je jímka připojena na domácnost trvale obydlenou, vychází objem jímky z rovnice:

$$V = q_{sp} \cdot EO \cdot t \text{ (m}^3\text{)} \quad (1)$$

Kde je V – celkový objem vyprodukované odpadní vody (m^3), q_{sp} – specifická produkce vody na jednoho obyvatele ($\text{m}^3 \cdot \text{os} \cdot \text{d}^{-1}$), EO – počet připojených obyvatel, t – stanovená doba mezi vyvážení jímky (dny).

Případně, u stávajících objektů lze stanovit četnost vyvážení jímky t (ve dnech):

$$t = \frac{V}{q_{sp} \cdot EO} \text{ (dny)} \quad (2)$$

V tomto případě je možné za V (m^3) považovat objem jímky. Součin $q_{sp} \cdot EO$ lze nahradit reálnou spotřebou pitné vody na domovním vodoměru (pokud se nejedná o specifické nakládání s odpadními vodami, tj. využívání vyčištěné odpadní vody k závlaze, na opětovné splachování apod.).

Při čerpání odpadní vody z jímky je odčerpáván i částečně rozložená organická hmota, doprovodným projevem je silný zápach (vzniká bioplyn produkovaný během anaerobní digesce organického

substrátu. Stěžejní složkou bioplynu je zejména metan (CH_4) a oxid uhličitý (CO_2). Je nutné počítat s přítomností anaerobního kalu o koncentraci sušiny 5–10 %, tzn., je vyloučeno vypouštění takové vody na filtrační objekt přírodní čistírny, jelikož by hrozila již po první aplikaci kolmatace filtračního materiálu. Pokud má být odpadní voda dále čistěna na filtračních polích, je potřeba mezi stávající jímku a filtr navrhnout dostatečně dimenzovanou druhou a třetí komoru (dvoustupňovou sedimentační nádrž), do níž postupně odtéká voda např. prostřednictvím kalového čerpadla, resp. je nutné zadržet plovoucí nečistoty a co možná největší objem kalu před druhou komorou.

Tab. 3 Srovnání charakteristik bezodtokové jímky

Přednosti jímek	Nedostatky jímek
Jedná se o bezpečné řešení z pohledu kvality přírodních vod za předpokladu zodpovědného vyvážení a likvidace akumulované odpadní vody	Nelze používat jako samostatné čistící zařízení – jedná se pouze o akumulaci vody
Jímka není připojena na zdroj elektrické energie, vyžaduje pouze jedno přírodní potrubí propojující jímku se zdrojem odpadní vody	Jímka je při trvalém připojení na zdroj odpadní vody rychle plněna, vyžaduje pravidelné vyvážení
Dlouhá životnost – bez přítomnosti technologických prvků	Pravidelné vyvážení vyžaduje vhodný přístup (příjezd) pro fekální vůz
Výhodné pro nárazově provozované objekty, víkendové chaty, tábory, penziony apod.	Vysoká investice – velkoobjemová nádrž, nákladné řešení Anaerobní (bezokyslíkaté) prostředí může způsobovat zápach, daný rozkladem organické hmoty

4.5 SEPTIK

Septik je oproti jímce již čistícím zařízením. Účinnost čištění je minimální, proto není možné septik používat jako samostatné čistírenské zařízení. Septik je průtočnou sedimentační nádrží, sestávající z několika na sebe navazujících prostorů (tzv. komor), které jako soustava plní převážně funkci zadržení plovoucích nečistot (nerozpuštěných látek). Při dlouhodobé akumulaci nerozpuštěných látek organického původu dochází k jejich přirozenému rozkladu, přičemž doprovodným efektem je zvýšení koncentrace N-NH_4^+ (Plotěný a kol., 2014). Současně a téměř bez provozních problémů fungují septiky jako denitrifikační nádrže – přesněji pre-denitrifikační nádrže. Přitékající dusičnany, obsazené v pitné vodě, jsou přeměňovány na plynný dusík, který z odpadní vody uniká přes hladinu do atmosféry.

Testováním hydraulické účinnosti vícekomorových septiků se podle zpracované literární rešerše v Evropě ani ve světě nikdo příliš nezabývá. Provádí se například testování vnějších vlivů na výslednou čistící účinnost. Příkladem mohou být výsledky kolektivu autorů (Luostarinen a kol., 2007), kteří se zabývali vlivem teploty na výslednou čistící účinnost septiků. Studován byl vliv sezónních změn teploty v Severní Evropě a vliv nízké teploty na účinnost septiků, pokud jde o odstranění nerozpuštěných látek (NL) a rozpuštěného organického materiálu. Výsledky ukázaly, že vliv teploty na odstranění NL je bezvýznamný a použitelnost septiků pro splaškové vody, i při teplotách nižších než 15 °C, je přinejmenším vhodná. Dalším výsledky určující vliv nízké teploty přinesli (Luostarinen a Rintala, 2007), přičemž pozorovali anaerobní čištění směsi splaškové vody a kuchyňského odpadu. Smíšená odpadní voda produkovala více metanu než samotná splašková voda. Podobnou tematikou se

zabývali i (Jamal a Mahmoud, 2009), kteří monitorovali dva vzestupně protékané septiky během chladného období roku a představili tak efektivní technologii anaerobního předčištění odpadních vod při nízkých teplotních podmínkách v Palestině. Nízkou teplotou, konkrétně jejím vlivem na anaerobní filtraci, se zabývali i autoři (Viraraghavan a Dickenson, 1991). Výkonem vzestupně protékaného septiku (v poloprovozním měřítku) v místě decentralizovaného čištění domovního odpadu se rovněž zabýval kolektiv autorů (Moussavi a kol., 2010).

Určitou možností zvýšení čistící účinnosti septiků může být vystavení protékající odpadní vody elektrickému proudu. Autoři (Zaveri a Flora, 2002) se zaměřili na možnosti využití elektrického proudu v souvislosti se zlepšením odstranění chemické spotřeby kyslíku ($CHSK_{Cr}$). Při průchodu proudu 300 mA bylo dosaženo snížení hodnoty $CHSK_{Cr}$ ze $400 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ na $100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ během jednoho dne. Metoda se jeví jako efektivní, nicméně je odklonem od přirozeně fungující vícekomorové usazovací nádrže.

Snížením odtokových koncentrací chemické spotřeby kyslíku se zabýval také (Sabry a kol., 2010). Testování relativně levného septiku se vzestupným prouděním v první komoře ukázalo během ročního nepřetržitého provozu velmi uspokojivé výsledky odebraných vzorků – průměrné výsledky $CHSK_{Cr}$, BSK_5 a nerozpuštěných látek při účinnosti jejich odstranění dosahovaly 84 %, 81 %, a 89 %. Druhá komora (anaerobní tlumicí reaktor) byla hlavní čistící jednotkou při odstraňování nerozpuštěných látek. Při poklesu z průměrných $35 \text{ }^\circ\text{C}$ v letním období na $22 \text{ }^\circ\text{C}$ v zimním období ukázaly výsledky mírné ovlivnění poklesem teploty – snížení hodnot biologické a chemické spotřeby kyslíku o 9 %, což koresponduje s výsledky kolektivů (Al-Jamal a Mahmoud, 2009; Viraraghavan a Dickenson, 1991).

Kromě testování vícekomorových septiků je, jak ukazují zahraniční studie, problematické i samotné rozšíření septiků (výrobků) mezi veřejnost. Stejně jako v České republice jsou ceny septiků přibližně srovnatelné s „balenými“ čistírnami odpadních vod, založenými na aktivačních procesech. Jelikož za septikem musí být zařazen ještě další stupeň čištění, vychází následně septik investičně méně výhodně než balená aktivační čistírna. Obdobná situace je i v zahraničí- např. ve městě Baltimore v USA, se vlivem nedokonalé kanalizační infrastruktury zaměřila pozornost právě na intenzivnější využívání septiků (Loudon, 2005). Problémem jsou však negativní důsledky na životní prostředí, protože septiky jsou zdrojem dusíku – hlavní znečišťující látka zálivu Chesapeake (Harrison a kol., 2012). Přísunem živin do podloží z vytékajících odpadních vod se zabýval také kolektiv autorů (Gill a kol., 2009), nebo (Withers a kol., 2012). Poměrně vysoké zatížení dusíkem bylo zjištěno u septiku vypouštějícího odpadní vodu do vysoce propustného podloží, které neumožňovalo denitrifikaci. Vliv pohybu dusíku v podzemní vodě, vyplavovaného z domovního septiku, byl studován i nedaleko Perthu v západní Austrálii (Gerritse a kol., 1995), kde se současně (Whelan, 1986) již o mnoho let dříve zabýval srážením fosforu z vody vytékající ze septiku.

Problematikou nutrientů na odtoku ze septiků se zabývá spousta vědeckých skupin po celém světě, např. autoři (Montangero a Belevi, 2007) pro výzkum zaměřený na separování dusíku a fosforu vyvinuli jednoduché modely, založené na fyzikálních a biochemických procesech probíhajících v septicích, jímkách a latrínách. Uplatnění účinných zařízení přispívá ke snížení zatížení životního prostředí živinami, ke snížení spotřeby energie a neobnovitelných zdrojů pro výrobu hnojiv.

Spolu se zájmem o čištění odpadních vod a nakládání s nimi vzrostlo i používání „startovacích“ látek neboli stimulátorů pro septiky. Jedná se o výrobky, sloužící k urychlení zpracování kalů, odstranění pěny u hladiny, zlepšení usazování nerozpuštěných látek prostřednictvím koagulace, nebo oživení ucpaných půdních absorpčních systémů za septikem. Otázkou je prospěšnost přípravků pro systém septiků, zejména ekonomická návratnost vynaložených investic. Výzkumná studie profesora Grosse (2002) ukázala, že k odumření důležitých bakterií, které rozkládají organickou hmotu, může v septiku dojít v důsledku přítomnosti toxických látek, dezinfekčních přípravků nebo léků.

Návrh septiku

Návrh septiku by měl splňovat požadavek na co možná nejefektivnější zadržení nerozpuštěných látek, nicméně účinnost septiku je podmíněna pravidelností vyvážení zadrženého kalu. Tzn., odtok odpadní vody ze septiku by měl obsahovat převážně rozpuštěné látky, v ideálním případě by většina nerozpuštěných látek měla být zachycena již v první komoře septiku. Z důvodu usnadnění provozní náročnosti je doporučeno navrhovat tříkomorové septiky s rozdělením vnitřního prostoru v poměru 50 : 25 : 25 (první : druhá : třetí komora). Pokud akumulací prostor septiku není včas vyvezen (odčerpán), nastává vyplavování zachycených látek do odtokového potrubí, bezprostředně poté dochází ke kolmataci navazujícího stupně čištění.

Návrh septiku je doporučeno řešit v souladu s normou ČSN 75 6402, případně ČSN EN 12566-1 (ČSN 756404). Praxe však ukázala, že výrobci plastových prefabrikátů preferují často ekonomické zájmy před zájmy ekologickými. V České republice neexistuje žádný výrobce septiku, který by optimalizoval návrh vnitřního uspořádání sofistikovaným způsobem (Hradilová, 2015) – buď simulačními modely umožňujícími pozorování protékání dvou směsí kapalin, případně reálně provedeným testováním účinnosti v akreditované laboratoři. Nutné podotknout, že takto řešený septik je dle uvedené normy nazýván anaerobním separátorem.

Obecně známým postupem při návrhu vnitřního objemu septiku (V , m^3) je bilanční vzorec, vycházející ze známého počtu připojených obyvatel a jejich specifické spotřeby vody:

$$V = a \cdot n \cdot q \cdot t \quad (m^3) \quad (3)$$

Kde je: a – součinitel vyjadřující kalový prostor (obvykle $a = 1,5$ představuje objem kalového prostoru 50 %), n – počet připojených obyvatel, q – specifická potřeba vody na osobu v $m^3 \cdot oby\ddot{v}^{-1} \cdot den^{-1}$, t – střední doba zdržení ve dnech (obvykle $t = 3$ d).

Součinitel, vyjadřující kalový prostor, při hodnotě 1,5 představuje 50 % rezervu objemu vody pro akumulaci zachyceného kalu. Při známé produkci kalu lze bilancovat s předpokládanou četností vyvážení kalu z ČOV. Výpočty jsou nicméně zatíženy vysokým počtem teoreticky odhadnutých a předpokládaných parametrů, pohybují se tedy ve striktně teoretické rovině. Prevenci před přeplněním septiku lze řešit pouze precizně napsaným a dodržovaným provozním řádem čistírny odpadních vod, obsahující septik jako hlavní stupeň mechanického předčištění.

Tab. 4 Srovnání charakteristik vícekomorových septiků

Výhody septiků	Nevýhody septiků
Při správném návrhu a provozu vhodný stupeň mechanického předčištění	Nelze používat jako samostatné čistící zařízení – jedná se pouze o předčištění
Správné uspořádání zajistí dostatečné účinnosti v parametru nerozpuštěné látky (NL)	Není schopen odstranit amoniakální dusík ($N-NH_4^+$, při dlouhé době zdržení odpadní vody v septiku hrozí na odtoku vyšší koncentrace než na přítoku
Snadný provoz (odkalování 1–4 x ročně), nízké provozní náklady	Vysoká investice – velkoobjemová nádrž, zdržující vodu 3–5 dní, nákladné řešení
Není připojeno na zdroj elektrické energie	Anaerobní (bezokyslíkaté) prostředí může způsobovat zápach, daný anaerobním rozkladem organické hmoty

Jak bylo uvedeno výše, výrobci septiků deklarují v ideálním případě pouze těsnost vícekomorové nádrže. Tím, že je snahou každého výrobce najít na svém výrobku přednosti oproti konkurenci, dochází často až k nelogicky koncipovaným nádržím. Příkladem jsou pěti-komorové septiky, následované šestikomorovými septiky. Absurdita situace v průběhu podnikatelského boje vyvrcholila v multikomorové septiky, které vykazují dle výrobce nejvyšší účinnost na trhu. Tato účinnost ale není doložitelná výsledky, rozborů, ale jen pocitem výrobce.

Septik jako součást mechanického předčištění před filtračním stupněm je vhodné navrhovat pouze pro menší producenty. Tím, že objem septiku zahrnuje několikadenní akumulaci protékající odpadní vody i rezervu pro dlouhodobou akumulaci kalu, vychází objemy septiku řádově několikanásobně vyšší než při řešení čištění odpadních vod pomocí klasického uspořádání, zahrnujícím aktivací nádrž. Velký objem nádrže koresponduje s vysokými investičními náklady. Na druhou stranu, čím menší producent odpadní vody je připojen na čistírenský objekt, tím více rozkolísané průtoky odpadní vody vykazuje. Rozumným a ověřeným kompromisem je navrhování septiků do max. velikosti producenta v oblasti 200 EO (vyžaduje podrobnější ekonomické posouzení, zahrnující parametry jako bilanci vody, druh kanalizace, zdroj odpadní vody, morfologii terénu, skladbu podloží, dostupnost výrobce nádrží, vzdálenost větší čistírny pro likvidaci kalů apod.). Obdobně, rakouská norma ÖNORM B 2505 doporučuje uplatnění septiků jako mechanický stupeň čištění pro velikosti obcí do 200 EO, právě z důvodu příliš vysokých investičních nákladů pro větší aglomerace. Pro větší aglomerace se doporučuje nahrazení septiku soustavou dvou objektů: šterbinová usazovací nádrž a horizontální filtr, přičemž filtr plní částečně funkci mechanického stupně čištění. Horizontální filtr prostřednictvím pórovitého prostředí vytváří dostatečnou dobu zdržení pro bezpečně provozovaný navazující stupeň čištění. Při návrhu je nutné dodržet dobu zdržení soustavy minimálně 3 dny. Sestavu je minimálně vhodné doplnit o navazující vertikální filtr.

Moderní septiky jsou navrhovány na základě hydraulicky optimalizačních modelů. Nově jsou špičkové septiky nazývány jako „anaerobní separátory“, přičemž jejich podobnost je velice blízká. Anaerobní separátory dosahují vyšší účinnosti pomocí soustavy norných stěn, usměrňovačů proudů, eliminace zkratových proudů a v neposlední řadě bezpečnostním filtrem na odtoku. Účinnosti septiků a anaerobních separátorů jsou uvedeny v Tab. 11.

4.6 ŠTĚRBINOVÁ USAZOVACÍ NÁDRŽ

Jednou z mála možností, jak účinně odstranit z odpadní vody nerozpuštěné látky za současně relativně výhodné investiční náročnosti, je zapojení šterbinové usazovací nádrže. Jedná se o hlubokou nádrž, rozdělenou po výšce na dva prostory – hluboký kalový prostor (akumulační) a nad ním usazovací (sedimentační) prostor (pohled z povrchu viz Obr. 3). Proudění odpadní vody musí být zpomalené natolik, aby při laminárním proudění sedimentovaly i jemné částice s velikostí pod 2,0 mm, přičemž se předpokládá, že minerální částice budou zároveň strhávat organické látky, které mají objemovou hmotnost velice podobnou objemové hmotnosti vody. Nádrž zároveň plní funkci lapáku tuku, jelikož na přítoku i na odtoku má v příčném směru osazené norné stěny.

Samotný sedimentační prostor je řešen jako lichoběžníkový profil podélně protékáný v horizontálním směru, přičemž od akumulačního prostoru je oddělen spodními šikmými přepážkami. Mezi oběma přepážkami je úzká šterbina (např. 12 cm), zajišťující propadání sedimentujícího materiálu skrze šterbinu do hlubokého kalového (akumulačního) prostoru. Zachycený materiál postupně konsoliduje, rozkládá se za vzniku bioplynu. Akumulační prostor se dimenzuje dle teoreticky vyprodukovaného množství kalu a optimální frekvence odstraňování kalu (frekvence vyvážení na jinou ČOV, případně vlastní kalové hospodářství).

Nevýhodou šterbinových usazovacích nádrží je, ve srovnání s vícekomorovým septikem, nízká účinnost, daná menšími rozměry sedimentačního prostoru. Doba zdržení odpadní vody ve šterbinové usazovací nádrži je řádově 5 hodin, doba zdržení vody v septiku v ideálním případě 5 dní. Naopak malé rozměry nádrží vedou v nižší investiční náklady. Přestože za šterbinovou usazovací nádrží musí být připojen bezpečnostní filtr (horizontální filtr), realizace filtru o stejném objemu jako v případě septiku vychází po investiční stránce výhodněji. Šterbinové usazovací nádrže by se měly realizovat až od počtu připojených obyvatel přibližně 200 (EO) a více – byť záleží na konkrétní situaci (Kriška a Němcová, 2016).



Obr. 3 A) Zakrytá nádrž s česlemi a B) odkrytá nádrž s bezpečnostním filtrem

V České republice se za většinou případů dříve realizovaných šterbinových usazovacích nádrží osazovalo pouze horizontální filtrační pole, bez dalšího stupně čištění (případně pouze stabilizační nádrž). Horizontální filtry byly často již po několika letech zatíženy silnými projevy kolmatace, což vedlo k zařazení této technologie téměř do kategorie „nežádané“ a ve své podstatě se tento stav podepsal na silně negativním pohledu na kořenové čistírny. Šterbinová usazovací nádrž nicméně z fyzikální podstaty musí plnit svou funkci spolehlivě. V praxi se nádrže potýkaly s dvěma zásadními problémy: špatný návrh odlehčovací komory a nepravidelné vyvážení kalu z akumulčního prostoru. Špatně navržená odlehčovací komora na několika pozorovaných čistírnách způsobovala, že při většině dešťových událostí docházelo k extrémně silným průtokům odpadní vody usazovacím prostorem. Rychlý průtok vody vede ke krátké době zdržení, což má za následek snížení schopnosti sedimentace plovoucích částic. Současně, pokud nádrž není za deště účinná, odnáší silně znečištěný objem vody na filtrační stupeň, kde dochází k ucpávání filtračního materiálu, vzniku zkratových proudů, vyloučení části filtrační náplně a v důsledku k postupnému snížení účinnosti filtrační jednotky. V extrémním případě může vlivem zcela zakolmatovaného povrchu docházet k minimální době zdržení ve filtru, resp. odpadní voda v téměř nezměněném složení odtéká dále, často přímo do recipientu (Rudíkov, Němčičky, Osová Bítýška). Obdobně negativní vliv na účinnost má zanedbaná obsluha čistírny – tedy nečasné odstranění kalu z akumulčního prostoru. Přehlnění akumulčního prostoru znamená postupné vyplavování kalu výše do sedimentačního prostoru, odkud je tento kal odnášen na filtrační stupeň čištění.

Jak praxe v České republice ukazuje, šterbinové usazovací nádrže nejvíce trpí na nespolehlivou obsluhu. Pokud dojde k zanesení šterbiny (popsáno níže), musí být akumulční prostor bezprostředně po zjištění odkalen. Vzhledem k vytíženosti fekálních vozů je téměř po celé České republice sledována dlouhá prodleva mezi objednááním fekálního vozidla a přistavením vozidla na čistírnu. I když se obsluha řídí provozním řádem, při sledování několika čistíren došlo vzhledem ke zvýšení počtu obyvatel

v obci také k vyšší produkci kalů a dříve předpokládaný interval 3–4 x ročně je zvýšen na 12x ročně. I s touto situací se musí počítat, pokud provozovatel čistírny požaduje dlouhodobou životnost a potlačení projevů kolmatace.

Tab. 5 Srovnání charakteristik šterbinových usazovacích nádrží

Přednosti šterbinových usazovacích nádrží	Nedostatky šterbinových usazovacích nádrží
Při správném návrhu mohou být použity před horizontálními filtry nebo stabilizačními nádržemi	Nelze používat jako mechanické předčištění před vertikální filtry
Správný návrh odlehčovací komory před šterbinovou usazovací nádrží zajistí dostatečné účinnosti v parametru nerozpuštěné látky (NL)	Neodstraní dostatečně nerozpuštěné látky (NL), nutno počítat s postupným ucpáváním filtrů (horizontálních)
Provozní náklady jsou nízké – vyžaduje jen pravidelné odkalování 3–4 x ročně (v případě aplikace na kalová pole	Při silném výkyvu průtoku nezajišťují dostatečnou ochranu pro další čistící stupeň
Není připojeno na zdroj elektrické energie	Jsou odkázané na obsluhu – pokud dojde k naplnění a ucpání šterbiny, složitě se napravuje škoda, kterou nádrž napáchá
Investičně se jedná o výrazně levnější řešení ve srovnání s velkoobjemovými septiky	Jedná se o velice hlubokou nádrž, realizovanou na místě (hloubky cca 5 metrů a více)

4.7 HORIZONTÁLNÍ FILTR

Horizontální filtr s vegetací je čistírenským objektem, který byl od 90. let 20. století považován za hlavní čistící stupeň. Současně dal, vzhledem k přítomné vegetaci vysázené na povrchu filtru, vznik sousloví „kořenová čistírna“, byť rostliny mají minimální vliv na účinnost odstraňování základních forem znečištění v rámci celé čistírny odpadních vod.

Název objektu vyplývá z převládajícího směru proudění odpadní vody (Obr. 1). Tzn., převládající směr je horizontální, tj. vodorovný. Filtr samotný tvoří mělká, hydraulicky izolovaná nádrž, která je naplněna hrubým filtračním materiálem (Obr. 4). Povrch filtru je vodorovně urovňován při realizaci a současně je osázen mokřadní vegetací. Samotný horizontální filtr nelze, obdobně jako samostatný septik, pro splaškové vody použít jako samostatnou čistící jednotku. Před horizontálním filtrem musí být vždy předraženo mechanické předčištění, které zajistí zachycení plovoucích částic. Současně je za horizontálním filtrem, vzhledem k jeho nedostatečné účinnosti v odstraňování amoniakálního dusíku, nutný navazující stupeň, zajišťující odstranění i tohoto znečištění. Ve filtru převládá převážně anaerobní prostředí, hladina odpadní vody je téměř ve většině případu zavěšená těsně pod úrovní terénu.

Horizontální filtry jsou, co se výstavby týče, poněkud jednodušší než jakékoli jiné řešení a uspořádání filtru – nezahrnují složitější distribuční potrubí, ale pouze potrubí uložené v příčném směru u vtokové části. Jejich hlavní nevýhodou a nedostatkem je minimální účinnost v odstraňování amoniakálního dusíku, současně z horizontálních filtrů často odtéká zápachající voda, vykazující příznaky fekálního znečištění (obdobně jako odtok ze septiku). Voda je ve své podstatě spolehlivě zbavena nerozpuštěných látek, je částečně sníženo znečištění BSK₅ a CHSK_{Cr}. Ostatní rozpuštěné znečištění odtéká z filtru s minimálním ovlivněním, takže se rozhodně nedoporučuje realizace soustavy mechanické předčištění + horizontální filtr. Tuto sestavu je nutné doplnit např. o vertikální filtr, jehož velikost vychází z koncentrace znečištění CHSK_{Cr} za horizontálním filtrem).



Obr. 4 Schéma horizontálního filtru a B) pohled na horizontální filtr

Návrh horizontálních filtrů je prováděn prostřednictvím kinetické rovnice prvního řádu, přičemž jako hlavní vstupní parametr je znečištění BSK_5 . Pokud je horizontální filtr využit pouze jako bezpečnostní (pro účely zabezpečení bezproblémového provozu vertikálního filtru), mění se úprava rovnice na formu, v níž je neznámým a hledaným parametrem odtoková koncentrace, a ne objem filtru. Výpočet velikosti horizontálního filtru vychází z přítokového množství, koncentrace znečištění BSK_5 na přítoku, hloubky filtru, pórovitosti materiálu a z požadované kvality vody na odtoku:

$$A = \frac{Q_d(\ln(c_p) - \ln(c_o))}{K_{BSK} \cdot n \cdot h} \quad (4)$$

kde je A průměrná plocha filtru (m^2), Q_d průměrný denní přítok vody v $m^3 \cdot d^{-1}$, c_p předpokládaná koncentrace znečištění BSK_5 na přítoku do filtru v $mg \cdot l^{-1}$, c_o požadovaná koncentrace znečištění BSK_5 na odtoku z filtru v $mg \cdot l^{-1}$, K_{bsk} kinetická konstanta úbytku znečištění BSK_5 v $m \cdot d^{-1}$ (doporučovaná hodnota je $0,10 m \cdot d^{-1}$), n pórovitost (bezrozměrná forma, často $0,40 - 0,45$), h hloubka filtru v m .

Evropská směrnice z roku 1990 doporučuje pro čištění městských splaškových vod hodnotu reakční konstanty $K_{BSK} = 0,1 m \cdot d^{-1}$, což většinou vede k návrhové ploše horizontálních filtrů o specifické velikosti $5 m^2 \cdot EO^{-1}$. Tato hodnota se ukázala jako velmi vhodná (pro odstranění organického znečištění). Analýzou 624 VKČ (Vymazal, 1995) pro čištění splaškových vod po celém světě byla zjištěna průměrná hodnota $K_{BSK} = 0,122 m \cdot d^{-1}$ (pro BSK_5 na přítoku na kořenová pole $> 40 mg \cdot l^{-1}$).

Tab. 6 Srovnání charakteristik horizontálních filtrů

Výhody horizontálních filtrů	Nevýhody horizontálních filtrů
Účinnost v odstranění BSK_5 , $CHSK_{Cr}$ i NL je ve většině případů dostatečná	Účinnost v odstranění amoniaku je max. 50 %, často se může jednat o toxickou formu
Realizace horizontálního filtru je ve srovnání s vertikálním filtrem snazší, rychlejší.	Odtékající voda může silně zapáchat v případě, že ve filtru dochází k tvorbě bioplynu (s odpadní vodou přitéká množství organických látek)
Provozní náklady jsou nízké, nevyžaduje připojení el. energie	Horizontální filtry za štěrbinovými usazovacími nádržemi se postupně ucpávají (do hloubky cca 15–20 cm).
Rozdíl mezi hladinou na přítoku a odtoku je minimální, vhodné řešení pro rovinaté terény	Ve srovnání s vertikálními filtry jsou plošně více náročné (cca $5-8 m^2 \cdot EO^{-1}$)

Pro účinné odstraňování amoniaku a fosforu je nutné volit reakční konstantu výrazně nižší – cca $0,025 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$ (Vymazal a kol., 2008), čímž vychází velikost filtrační plochy téměř 5x vyšší. Při standardních průtocích a koncentracích (daných normami, např. ČSN 756402) vychází průměrná hodnota $5\text{--}6 \text{ m}^2 \cdot \text{EO}^{-1}$ pro BSK₅, resp. $25\text{--}30 \text{ m}^2 \cdot \text{EO}^{-1}$ při požadavku odstraňování amoniaku. Při prosazení v praxi je potom takové řešení nepřijatelné. Empiricky vychází samotná realizace jednoho metru čtverečního na $1000,-\text{Kč}$, při ploše $25 \text{ m}^2 \cdot \text{EO}^{-1}$ + investice do souvisejících objektů mechanického předčištění představuje přibližně $50 \text{ tis Kč} \cdot \text{EO}^{-1}$, tudíž násobně dražší technologie než jakákoli jiná.

Vysoká náročnost na plochu řadí horizontální filtrační pole do skupiny „nekonkurenceschopné“. Z tohoto důvodu je vhodnější využití jiného uspořádání. Jak se ukázalo přibližně v letech 2005, v zahraničí se preferovalo uspořádání filtru s vertikálním prouděním (Brix a Arias, 2005), detaily v samostatné kapitole 6.4. Případně při intenzifikaci stávajícího horizontálního filtru je možné zvýšit účinnost horizontálního filtru uplatněním pulzního vypouštění filtračního pole (viz kapitola 6.3.4).

Zároveň je potřeba uvést, že téměř žádná kořenová čistírna v České republice, složená pouze z horizontálního pole a zatěžována standardními koncentracemi a průtoky, není schopna odstraňovat v dostatečné míře N-NH_4^+ . Na druhou stranu, jak ukázaly výsledky specifického výzkumu FAST (FAST-J-17-4530 s názvem Monitoring, optimalizace a vyhodnocení provozu nového typu filtračního pole na kořenové čistírně odpadních vod a FAST-J-18-5294 s názvem Numerický model vertikálního filtru s využitím softwaru HYDRUS CWM1), je možné využít jiné uspořádání filtrů (vertikální, pulzně skrápěné), které naopak vykazují vysokou čistící účinnost v oblasti $90\text{--}99 \%$.

4.8 STABILIZAČNÍ NÁDRŽ

Stabilizační nádrž u stávajících čistíren odpadních vod většinou představuje prvek, který zajišťuje vyrovnání koncentračních a průtokových výkyvů. Na první pohled je stabilizační nádrž velice podobná rybníkům – jedná se o mělkou nádrž většinou s břehovým vegetačním doprovodem, na jejímž odtoku je vypouštěcí a měrný objekt. Nádrž, která je většinou řazena přímo za horizontálními filtry, představuje pro provozovatele často problematický objekt. Dostatek živin, přitékajících s odpadní vodou, způsobuje po většinu vegetačního období silné projevy eutrofizace (Obr. 5). Sekundární znečištění, vznikající ve stabilizačních nádržích a projevující se zejména ve zhoršení parametrů CHSK_{Cr} a NL, přináší po provozní stránce komplikace obsluze čistírny.



Obr. 5 Eutrofizace stabilizační nádrže za horizontálním filtrem

Správně fungující stabilizační nádrž, plnící dočišťovací funkci, musí mít do procesu čištění správně zapojené biologické procesy. Pokud se do nádrže vypouští voda, která vykazuje známky toxicity, není možné přepokládat vysokou účinnost této nádrže. Stabilizační nádrž jako hlavní čistící stupeň není vhodným řešením v mírném klimatu střední Evropy. Během zimního období nelze očekávat vysoké

účinnosti nádrží. Naopak, během letního období může docházet k uvedeným projevům eutrofizace, což je nežádoucí doprovodný efekt nesprávně navrženého řešení.

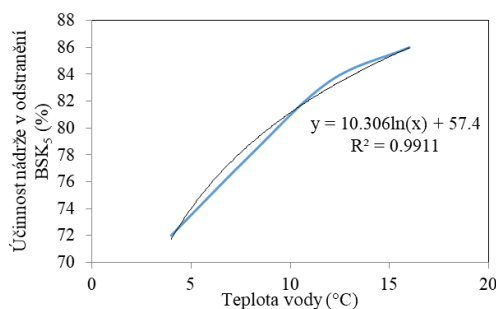
Tab. 7 Srovnání charakteristik stabilizačních nádrží

Výhody stabilizačních nádrží	Nevýhody stabilizačních nádrží
Účinnost v odstranění BSK ₅ , CHSK _{Cr} i NL je při správném provozování dostatečná	Při opomenutí nutnosti čištění dna může docházet k sekundárnímu znečištění (uvolňování živin)
Stavebně snadné řešení, technologicky nenáročné	Během letního období může docházet k eutrofizaci, zvýšení hodnoty nerozpuštěných látek na odtoku
Účinnost je silně ovlivněna klimatickými podmínkami	Plošná náročnost, jeden člověk = přibližně 10 m ²
Bez nutnosti připojení elektrické energie	Bez možnosti rychlého ovlivnění čistící účinnosti, pomalé zapracování „biologie“
	Nízká účinnost odstranění znečištění během zimního období (v případě vytvoření ledu)

Stabilizační nádrže by měly mít jako čistící stupeň také zapojený litorální břeh (pozdvolna se svažující břeh, přítomné mokřadní rostliny), stejně tak na odtoku by měla být přítomná filtrační vrstva, zabráňující vniku nerozpuštěných látek do odtoku.

V souvislosti s postupným přibýváním odumíráním řas, vznikajících v nádrži, dochází ke zvyšování množství „bahna“ na dně nádrží. Pokud se tento substrát nevyklízí, dochází k jeho postupnému rozkladu, což má za následek horší odtokové parametry než na přítoku do nádrže.

Stabilizační nádrže se při nejjednodušším uspořádání navrhují o velikosti 10 m²·EO⁻¹ s průměrnou hloubkou 1,0 m vody. Celková plocha nádrží je v ideálním případě rozdělena obdobně jako u septiků, na tři sériově zapojené nádrže. První nádrž je s ohledem na charakteristiku přitékající vody většinou anaerobní (bez přítomnosti kyslíku), její hlavní funkcí je zajištění sedimentace většiny plovoucích částic (nerozpuštěných látek). Druhá nádrž by měla zajistit dostatečnou nitrifikaci (potřebná doba zdržení v nádrži je 2–3 týdny).



Obr. 6 Účinnost odstranění organického znečištění ve stabilizační nádrži (Šálek a Tlapák, 2006)

Čistící účinnosti parametrů BSK₅, CHSK_{Cr} a N-NH₄⁺ jsou závislé na teplotě a ročním období (spojeno s délkou dne, vegetační sezonou apod.). Hrubě lze odhadnout čistící účinnost nádrže podle Obr. 6, uvedeném v (Šálek a Tlapák, 2006). Častým problémem stávajících nádrží v České republice je jejich poddimenzovaný stav nebo zanedbaná údržba, vedoucí v projevy sekundární produkce znečištění, ale zejména minimální účinnosti během zimního období.

4.9 KOLMATACE – PRAXÍ FORMULOVANÝ PROBLÉM Č.1

Mezi největší problémy, zejména z pohledu orgánů státní správy a správců povodí, patří postupné zanášení filtračních náplní kořenových čistíren. Proces je v odborné literatuře popsán a nazýván jako „kolmatace“. Fyzikální podstata kolmatace je popsána v četné národní i zahraniční literatuře (Kadlec a kol., 2009, Langergraber a kol., 2003, Mlejnská a kol., 2013, Šálek a Tlapák, 2006). Literatura téměř vždy popisuje proces, vývoj, vznik a následky kolmatace. Četné zahraniční studie prokázaly, že zanášení šterkového lože je jedním z nejběžnějších provozních problémů filtračních systémů, které jsou součástí kořenových čistíren. Tento nedostatek se může projevit po roce, po několika letech nebo na konci garantované životnosti. Vždy záleží na kvalitě mechanického předčištění (Fu a kol., 2013). Proto má kolmatace i velký vliv na stanovení ceny stočného, současně je ale potřeba správným uspořádáním, dimenzováním a provozem čistírny zajistit co možná největší potlačení a oddálení kolmatačních projevů.

V minulosti se kolmatací zabývalo mnoho autorů u nás i v zahraničí. Matematickým popisem proudění odpadní vody pórovitým prostředím se zabýval už v roce 1985 Ing. Igor Tesařík. Proces kolmatace je podrobně popsán několika obsáhlých publikacích (Kadlec a Wallace, 2009, Winter a Goetz, 2001 a 2003). Vždy jsou závěry totožné – preventivní opatření zajistí delší životnost a nižší projevy kolmatace.

Projev kolmatace je do určité míry nevyhnutelný, ba dokonce i nezbytný pro samotné čištění odpadní vody v kořenovém poli. Nevyhnutelnou kolmatací je myšlena kolmatace způsobenou tvorbou tenkého mikrobiálně oživeného biofilmu, v němž se rozvíjí mikroorganismy nezbytné pro plynulé čištění odpadních vod (Hyánková, 2005). Velmi často se na vzniku kolmatace podílejí přitékající nerozpuštěné látky, které nejsou odstraněny mechanickým předčištěním a jsou účinně odstraněny teprve samotnou filtrací bezprostředně po vniknutí do filtračního prostředí (Fu a kol., 2013). Kolmatace způsobuje tak zmenšování mezer a zvýšení skutečné rychlosti, odpor filtrační vrstvy se proto zvětšuje, snižuje se hydraulická vodivost (Tesařík, 1985). V důsledku toho dochází k pozvolnému snižování účinnosti filtračního prostředí, které je zapojeno do čistícího procesu. Samotné příčiny kolmatace lze v zásadě rozdělit do tří skupin. Jde o příčiny mechanické, chemické a biologické:

- mechanickými příčinami se rozumí kolmatace způsobená nerozpuštěnými látkami,
- chemické příčiny spočívají ve vytvoření mikrovloček a zachycování na povrchu či mezi částicemi filtračního materiálu,
- biologické příčiny jsou dány nadměrným růstem biomasy v důsledku nadbytku živin v přitékající vodě.

Mnoho kořenových čistíren, resp. horizontálně protékaných filtrů, pracuje se zatížením nerozpuštěnými látkami o specifické hustotě $NL = 5,4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ a organickým zatížením $BSK_5 = 3,9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ (Šálek, 2008). K ucpávání kořenového pole dochází nejčastěji ve vstupní zóně. Tj. cca do 1/4 velikosti pole. Tyto problémy horizontálně protékaných filtračních polí byly v předchozí dekádě intenzivně monitorovány. Zahraniční výzkumy (Cooper a kol., 2006) se uvádí, že 111 z 255 kontrolovaných kořenových polí byly zaplaveny ve vstupní části. Medián stáří těchto čistíren je cca 10 let (Kadlec a kol., 2000). Vývoj kolmatace popisuje spousta autorů velmi podobně (Nivala a kol., 2012, Knowles a kol., 2011 a 2012, Nivala a kol., 2009). Autoři se často zabývají popisem vývoje kolmatace na uměle připravené odpadní vodě (Liu a kol., 2018), případně popisují kolmataci matematicky na numerických modelech (Samsó, R. a kol., 2016).

Obecně lze přirozenou kolmataci nerozpuštěnými látkami rozdělit do třech fází vývoje:

- iniciační perioda, která je charakterizována infiltračními rychlostmi, pohybujícími se v blízkosti výchozí (počáteční) úrovně,
- fáze podstatného a trvalého poklesu hydraulické vodivosti,
- fáze přerušovaného a pak stálého zaplavení povrchu.



Obr. 7 A) Zakolmatovaný povrch horizontálního filtru B) porucha nového filtru vlivem ucpání

Hloubka zakolmatované vrstvy h_k [m] odpovídá použité zrnitosti filtračního materiálu. (Šálek a Malý, 1999) uvádí, že pro jemné zrnitosti je tato hloubka přímo úměrná účinnému průměru zrna d_e [m], prakticky se uvažuje:

$$d_e = d_{10}, h_k \approx 150d_e \quad (5)$$

Výpočet doby ucpání pórů

Blazejevski a Murat-Blazejevaska (1997) vyvinuli jednoduchý teoretický model pro výpočet času ucpání (doby kolmatace) rostlinného lože suspendovanými pevnými minerálními látkami. Pro výpočet času do naplnění pórů můžeme využít odvozené rovnice, kde je doba kolmatace t_k [den]:

$$t_k = \frac{150 \cdot n_{ef} \cdot \rho_s (1 - w_s) \cdot d_e}{q_s} \quad (6)$$

kde n_{ef} je účinná pórovitost (-), ρ_s [$\text{g} \cdot \text{m}^3$] hustota pevných látek ukládaných v pórech, w_s [%] vlhkost těchto pevných látek v pórech, d_e [m] je účinný průměr zrna, q_s [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$] specifické povrchové zatížení suspendovanými látkami.

Přesnost výpočtu, resp. jeho praktické uplatnění, je zatíženo vysokým počtem proměnných. V praxi se doba kolmatace může lišit až několikanásobně. Z provozního pohledu kolmatace přináší celou řadu nepříznivých následků. V první řadě je to snížení účinnosti kořenového pole a tím i zvýšení znečištění na odtoku z filtru. To je převážně zapříčiněno snížením hydraulické vodivosti pórovitého materiálu, a následným hydraulickým přetížením kořenového pole. Pakliže hydraulická vodivost ve vstupní části kořenového pole sníží do takové míry, že filtr není schopen převést průtok odpadní vody, dochází ke vzniku povrchového odtoku nebo privilegovaných cest. Ty se mohou vytvořit uvnitř filtru, nebo na povrchu. Příklad povrchového toku s povrchovými privilegovanými cestami je zobrazen na Obr. 7. V důsledku se podstatně zkrátí doba zdržení odpadní vody ve filtru, což má za následek snížení účinnosti čištění. Ukládání nerozpuštěných látek na povrchu filtrační náplně s sebou nese také estetické závady a negativní sensorické vjemy (zápach, komáři).

4.10 AMONIAKÁLNÍ DUSÍK – PRAXÍ FORMULOVANÝ PROBLÉM Č.2

Druhým nejvýznamnějším problémem, identifikovaným na základě komunikace s odbornými životního prostředí, je amoniakální dusík, resp. nedostatečná procentuální účinnost kořenových čistíren v jeho odstranění.

Princip funkčnosti kořenových čistíren, ze kterého vychází všechny nové poznatky, by se dal shrnout do jednoduché úvahy. Základní hrubé vyčištění vody zajišťuje nejprve cezení, sedimentace a následně filtrace. Výsledky ze systému, který není schopen zajistit vhodné životní podmínky pro aerobní mikroorganismy (nitrifikační bakterie), není zároveň schopen vykazovat vysoké čistící účinnosti ve všech parametrech, vyžadujících pro rozklad znečištění kyslík. S odkazem na legislativní požadavky není projektant nucen řešit návrh technologie tak, aby odstraňovala amoniakální dusík. Přesto pro nápravu reputace formulovalo pracoviště Ústavu vodního hospodářství krajiny na základě poznatků z praxe, na základě zkušeností získaných konzultační, znaleckou a jinak odbornou činností, závěry, že právě amoniakální dusík je nejčastěji zmiňovaným nedostatkem kořenových čistíren a je potřeba jej řešit ve všech případech a projektech.

Pokud není zajištěn optimální stav, nevyhovující životní podmínky pro bakterie způsobí nižší účinnost čistírny a z toho plynoucí provozní problémy s dodržováním odtokových parametrů. Pokud nebudou pro bakterie přítomné v kořenových filtrech nastaveny vhodné životní podmínky, nelze očekávat čistící účinnost, která by posouvala kořenovou čistírnu do konkurenceschopné kategorie. Například pokud se jedná o kořenovou čistírnu založenou na anaerobních procesech (horizontální kořenový filtr, viz kap. 4.7), není možné očekávat účinné odstraňování amoniakálního dusíku. A naopak, pokud je kořenová čistírna založena na aerobních procesech (vertikální kořenový filtr pulzně skrápěný, viz kap. 6.4), lze očekávat účinné odstranění amoniakálního dusíku i během zimního období (Arias a kol, 2005, Cooper, 2005, Prochaska a kol, 2007), protože se v podstatě jedná o určitou analogii vůči skrápěným biofiltrům, ve kterých nitrifikace probíhá v dostatečné míře. Zásadním rozdílem oproti biofiltrům jsou však nároky na mechanické předčištění a zejména hydraulické zatížení plochy filtru, materiálová skladba, přítomnost mokřadních rostlin, výška filtrační náplně, absence pohyblivých částí apod.

Důležité je také si uvědomit, že při prioritním požadavku na vysokou účinnost kořenové čistírny není na místě volit tradiční systém zapojení soustavy usazovací šterbinová nádrž – horizontální kořenový filtr. Taková soustava není schopna při napojení na splaškovou kanalizaci v dostatečné míře odstranit amoniakální dusík.

5 ZAMĚSTNANECKÉ VYNÁLEZY

V souvislosti s kořenovými čistírnami odpadních vod bylo realizováno několik výzkumných projektů, většina z nich se zaměřovala na stěžejní problémy. Výsledky typu užitiný vzor řeší vždy specifický problém, formulovaný nad rámec legislativních požadavků. Současně se při uplatnění užitných vzorů do technologie přírodní čistírny jedná o konkurenceschopné řešení, vykazující s největší pravděpodobností kvalitnější výsledky než konvenční čistírenské technologie.

Prostřednictvím několika výzkumných úkolů a jejich vzájemné provázanosti bylo zapsáno několik užitných vzorů, z nichž většina byla uplatněna v praxi. Současně se prokázal pozitivní vliv na systém ať už přírodních čistíren odpadních vod, případně coby uplatnění jako samostatně působící prvek.

Mezi nejvýznamnější výsledky, související s kořenovými čistírnami, typu užitiný vzor patří:

- Odlehčovací komora
- Pulzní vypouštěč
- Anaerobní separátor
- Pulzní vypouštěč druhé generace
- Ostrovní aerace filtru
- Denitrifikační reaktor vertikální
- Distribuční systém pro vertikální filtry
- Plovoucí ostrovy pro čištění vody
- Denitrifikační bioreaktor horizontální

Ve své podstatě zahrnutí většiny výsledků do jednoho systému čistírny odpadních vod vytváří z kořenové čistírny odpadních vod čistírnu přírodní.

5.1 ODLEHČOVACÍ KOMORA PRO ČISTÍRNU ODPADNÍCH VOD

Prvním užitným vzorem je řešení vylepšující stávající neuspokojivý stav odlehčovacích komor. Jedná se o první užitiný vzor, jelikož nevhodně řešené odlehčovací komory na většině starších kořenových čistírnách vedly k negativnímu pohledu na původní kořenové čistírny odpadních vod. Prostřednictvím užitného vzoru je možné řešit velice snadnou rekonstrukci většiny odlehčovacích komor před kořenovými čistírnami, budovanými zejména v 90. letech 20. století.

Užitný vzor vznikl v rámci výzkumného projektu MPO TIP FR-TI3/778. Přes velice pozitivní výsledky nebyl užitiný vzor licencován, a kromě jednoho poloprovozního zařízení a dvou případů, které využívají pouze části užitného vzoru (popsáno níže), nebyl v praxi využit.

Základní bibliografie

Číslo přihlášky	2012-26925
Číslo zápisu	24924
Datum podání	01.11.2012
Název	CS: Odlehčovací komora pro čistírnu odpadních vod EN: Overflow of wastewater treatment plant
Přihlašovatel/Majitel	Vysoké učení technické v Brně, Antonínská 548/1, 601 90 Brno, Česká republika
Původce	Ing. Ph.D. Michal Kriška Dunajský, Prostějov, Česká republika
Zástupce	Ing. Libor Markes, Grohova 54/145, 602 00 Brno, Česká republika
MPT	E03F5/10

Datum zápisu	11.02.2013
Datum zveřejnění zápisu	20.02.2013
Stav	Zaniklý dokument
Druh	PUV – národní s žádostí o zapsání do rejstříku

5.1.1 *Oblast techniky*

Technické řešení se týká odlehčovací komory pro čistírnu odpadních vod tvořené jímkou s odlehčovacím potrubím, která má přítok odpadní vody a odtok do čistírny, jež jsou zaústěny proti sobě a propojeny žlabem.

5.1.2 *Dosavadní stav techniky*

Odpadní voda, tekoucí jednotnou kanalizací, může během intenzivních dešťů vážně ohrozit stabilitu režimu v čistírně odpadních vod, případně může způsobit poruchu, výpadek nebo sníženou účinnost v rámci mechanického stupně čištění. Na zahlcení extrémními přítoky ředěnou dešťovou vodou jsou citlivé zejména kořenové čistírny, u nichž dochází k vyplavení sedimentu z mechanického předčištění a následnému postupnému ucpání porézního prostoru filtračního prostředí, které vytváří náplň hlavních čistících stupňů. Zabránit těmto následkům má na jednotné kanalizační soustavě zařízení, které se nazývá odlehčovací komora. Odlehčovací komora je řešena buď jako součást kanalizace, případně je zahrnuta coby první objekt na čistírně odpadních vod. Stěžejním úkolem je oddělení části nařazených odpadních vod tak, aby do čistírny přitékalo jen maximální množství, které připouští parametry čistírny.

Odlehčovací komory před přírodními čistírnami jsou objekty (jímky), které mají zpravidla betonové svislé stěny a v podstatě rovinné dno ve velice mírném sklonu směrem k odlehčovacímu potrubí. Přítok do komory i odtok do čistírny, jakož i odlehčovací potrubí, jsou zaústěny při dně komory. Mezi standardní dráhou vody tekoucí po dně komory od přítoku k odtoku do čistírny a mezi vstupem do odlehčovacího potrubí je často na dně instalována přepadová stěna, která může být různě výškově uspořádána. V případě velkého průtoku přepadává nadbytečná voda na stranu odlehčovacího potrubí a odtéká jím do dešťové zdrže nebo recipientu. Nejčastějším typem odlehčovací komory před původními kořenovými čistírnami v České republice je uspořádání, v rámci něhož odpadní voda za normálních okolností protéká od přítoku k odtoku žlabem vybetonovaným ve dně a při nadbytku vody pak voda přetéká okraje žlabu a odtéká odlehčovacím potrubím. Nevýhodou těchto známých řešení odlehčovacích komor je v první řadě to, že je prakticky nemožné přesně vypočítat a navrhnout komoru, která by odpovídala návrhovým parametrům navazujících objektů mechanického předčištění čistírny odpadních vod a spolehlivě tak chránila další stupně čištění. Zkušenosti provozovatelů popsaných zařízení potvrzují nevhodnost použití z důvodu neumožnění přesnějšího nastavení průtokových poměrů v podstatě od samotné realizace (výstavby) čistírny. Dále stávající odlehčovací komory neumožňují přizpůsobit průtočné poměry měnícímu se charakteru, množství a rostoucímu objemu zpracovávaných komunálních vod během životnosti objektu.

Technické řešení si klade za úkol navrhnout řešení odlehčovací komory, které by podstatně omezilo uvedené nevýhody známých zařízení tohoto druhu.

5.1.3 *Podstata technického řešení*

Uvedený úkol řeší odlehčovací komora pro čistírnu odpadních vod, tvořená jímkou s odlehčovacím potrubím, která má přítok odpadní vody a odtok do čistírny, jež jsou zaústěny proti sobě a současně jsou propojeny prostorově vedoucím žlabem. Podstata odlehčovací komory spočívá v tom, že ústí přítokového potrubí a odtokového potrubí, která se nacházejí nad horním okrajem odlehčovacího potrubí nejméně 20 cm nad dnem jímky a do ní přečnávají do prostoru odlehčovací komory, jsou

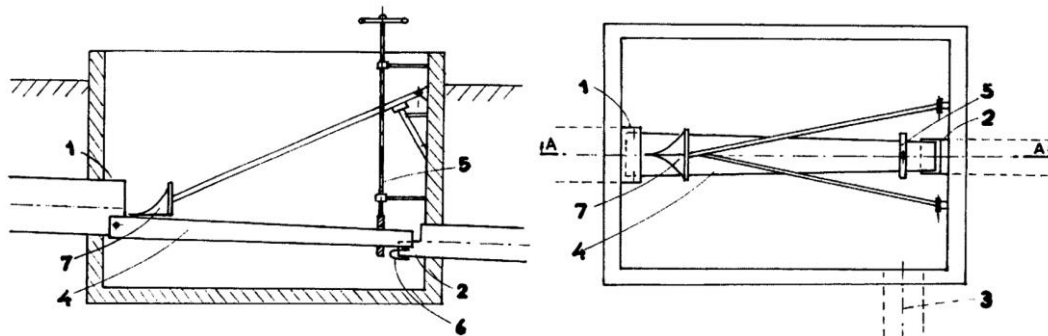
propojena přepadovým žlabem zužujícím se směrem k odtoku, přičemž první konec přepadového žlabu je uložen na spodní straně přečnávajícího ústí přítoku a druhý konec je vložen do ústí odtoku.

Za účelem regulace průtoku může být přepadový žlab uložen na ústí přítoku otočně, přičemž jeho druhému konci je umožněna změna úrovně, čímž dochází ke změně intenzity průtoku na čistírnu odpadních vod. Aby při standardním (bezdeštném) průtoku voda neodtékala z přepadového žlabu do jímky a následně do dešťové zdrže, je žlab na druhém konci propojen s odtokem pružným těsnicím pásem.

K efektivnějšímu snížení úrovně hladiny, resp. průtoku vody proudící na začátku přepadového žlabu, může být s výhodou nad žlabem proti ústí přítoku umístěna rozhrnovací radlice, příčná deska, případně jiná přepážka, jejímž přínosem je rychlé snížení úrovně protékajícího proudu odpadní vody. Ve výhodném provedení je rozhrnovací radlice uložena otočně na protilehlé stěně komory, což umožní snazší údržbu v případě zanesení nebo zachycení nežádoucích předmětů na samotnou radlici.

5.1.4 Objasnění obrázků na výkresu

Technické řešení bude dále objasněno pomocí výkresu, na němž Obr. 8 představuje svislý řez příkladnou odlehčovací komorou a v pravé části je zobrazena odlehčovací komora v půdorysném pohledu.



Obr. 8 Podélný schématický řez a půdorysný pohled na odlehčovací komoru

5.1.5 Příklady uskutečnění technického řešení

Odlehčovací komora podle Obr. 8 má v jedné (levé) stěně přítok odpadní vody a v protilehlé stěně (v pravé části obr.) odtok do čistírny, přičemž oba se nacházejí cca 60 cm nade dnem komory a přítokové potrubí 1 i odtokové potrubí 2, o menší světlosti, přečnávají dovnitř jímky. Kromě toho je jímka na úrovni dna opatřena odlehčovacím potrubím 3 pro odvádění přebytečné vody. Na spodní straně přečnávajícího přítokového potrubí 1 je kloubově upevněn svým prvním koncem přepadový žlab 4, který se směrem k odtoku zužuje a jehož druhý konec je vložen do přečnávajícího odtokového potrubí 2, jehož horní část je odříznuta. Druhý konec přepadového žlabu 4 je podepřen zvedacím zařízením 5; v popisovaném příkladu se jedná o zvedací šroub s ručním pohonem. Druhý konec žlabu 4 je vzhledem k přečnávajícímu odtokovému potrubí 2 utěsněn pružným těsnicím pásem 6 upevněným na spodní straně přepadového žlabu 4 a odtokového potrubí 2. Nad přepadovým žlabem 4 proti ústí přítoku je umístěna rozhrnovací radlice 7 sloužící k vyrovnání rychlému snížení úrovně hladiny vody proudící na začátku přepadového žlabu 4. Tato rozhrnovací radlice 7 je uložena otočně na protilehlé stěně jímky a lze ji proto snadno vysunout ze záběru, např. za účelem čištění žlabu, radlice aj. prvků.

Zařízení umožní pomocí jednoduchého mechanického ovladače snadnou a plynulou regulaci dle požadavku na odlehčený průtok. Odlehčovací komora, doplněná o popisované zařízení, zajistí bezpečný přítok do čistírny a vyloučí provozní problémy spojené s extrémními průtoky odpadní vody.

5.1.6 Nároky na ochranu

1. Odlehčovací komora pro čistírnu odpadních vod tvořená jímkou s odlehčovacím potrubím, která má přítok odpadní vody a odtok do čistírny, jež jsou zaústěny proti sobě a propojeny žlabem, vyznačující se tím, že ústí přítokového potrubí (1) a odtokového potrubí (2), která se nacházejí nejméně 20 cm nad dnem jímkou a do ní přečnívají minimálně nad horní úroveň odlehčovacího potrubí (3) a přečnívají do prostoru jímkou, jsou propojena přepadovým žlabem (4) zužujícím se směrem k odtoku, přičemž první konec přepadového žlabu (4) je uložen na spodní straně přečnívajícího ústí přítokového potrubí (1) a druhý konec je vložen do ústí odtokového potrubí (2).
2. Odlehčovací komora podle nároku 1, vyznačující se tím, že první konec přepadového žlabu (4) je uložen na ústí přítokového potrubí (1) otočně, přičemž jeho druhý konec je podepřen zvedacím zařízením (5).
3. Odlehčovací komora podle nároku 2, vyznačující se tím, že přepadový žlab (4) je na druhém konci propojen s odtokovým potrubím (2) pružným těsnicím pásem (6).
4. Odlehčovací komora podle nároků 1 až 3, vyznačující se tím, že nad odlehčovacím žlabem (4) je proti ústí přítoku umístěna rozhrnovací radlice (7).
5. Odlehčovací komora podle nároku 4, vyznačující se tím, že rozhrnovací radlice (7) je uložena otočně na stěně komory.

5.1.7 Uplatnění v praxi

Dílní část, resp. nekompletní řešení, vycházející z užitného vzoru, bylo použito při rekonstrukci zastaralé kořenové čistírny v obci Velká Jesenice v roce 2015 (Obr. 9). Odlehčovací komora byla nově provedena jako prostorový žlab s částečnou možností regulace náklonu. Do odlehčovací komory nebyla zahrnuta rozrážecí radlice, přesto dochází vcelku k uspokojivým výsledkům. Z navazující usazovací nádrže nedochází k tak intenzivnímu vyplavování nerozpuštěných látek, jako v situaci před rekonstrukcí. Upravená odlehčovací komora plní svou funkci.



Obr. 9 Pohled do odlehčovací komory před ČOV Velká Jesenice

Druhá čistírna, která je zapojena taktéž na jednotné kanalizační soustavě (přítok o průměru 600 mm) a současně se jedná o novostavbu (projekt z roku 2015), je kořenová čistírna v obci Skašov (Obr. 10 A). Zpracovaný znalecký posudek, podporující negativní stanovisko Ministerstva zemědělství (neposkytnutí dotačního titulu na zastaralý systém kořenové čistírny) a detailně navrhuje vhodnější řešení podle nejnovějších výsledků výzkumu, zahrnoval návrh odlehčovací komory pro čistírnu odpadních vod (230 EO). Přestože projektová dokumentace obsahovala návrh podle užitného vzoru, rozpočet dokumentace nemohl z důvodu veřejné podpory obsahovat odkaz na konkrétní užitný vzor ani přímo názvem označený výrobek. Tato podmínka byla důvodem k ukončení dialogu s výrobním subjektem, přestože byla téměř dojednána licenční smlouva s VUT.



Obr. 10 Odlehčovací komora: A) ČOV Skašov, B) ČOV Dražovice

Třetím objektem, na kterém probíhalo testování, ověření, seřízení a optimalizace (minimalizace nežádoucích odtoků, zatěsnění, drobné úpravy teoretického řešení), byla odlehčovací komora před čistírnou odpadních vod v obci Dražovice (850 EO, pohled do odlehčovací komory při jejím zapojení zobrazen na Obr. 10 B). Přítokové potrubí o průměru 300 mm je v odlehčovací komoře redukováno na 200 mm, úprava zahrnuje kompletní nároky na ochranu dle registrovaného užitého vzoru. Řešení velice intenzivně pomohlo k potlačení nebezpečného průtoku na čistírnu odpadních vod. Od provedené rekonstrukce již nedochází k vyplavování nerozpuštěných látek na filtrační pole, čistírna vykazuje postupně lepší výsledky (současně je potlačen zápach rozkládajícího se kalu na povrchu filtrů). Výsledky jsou uvedeny v kapitole 6).

5.2 ZAŘÍZENÍ K VYPOUŠTĚNÍ VODY

Kompletní název: Zařízení k automatickému vypouštění vody z nádrže po dosažení definované maximální hladiny.

Zařízení pomáhá rozkolísání úrovně odpadní vody na horizontálních filtrech, které jsou součástí většiny původních kořenových čistíren (přibližně 300 objektů). S jeho využitím lze upravit filtrační objekt na pulzně vypouštěný horizontální filtr. Případně je možné osazení zařízení před filtr vertikální, který bez rozkolísaného průtoku nemůže být účinný.

Užitný vzor vznikl v rámci výzkumného projektu TAČR, ozn. TA02021032.

Základní bibliografie

Číslo přihlášky	2013-27602
Číslo zápisu	25544
Datum podání	14.03.2013
Název	CS: Zařízení k automatickému vypouštění vody z nádrže po dosažení definované maximální hladiny EN: Device for automatic discharge of water from a tank after achievement of defined maximum level
Přihlašovatel/Majitel	Vysoké učení technické v Brně, Antonínská 548/1, 601 90 Brno, Česká republika
Původce	Ing. Ph.D. Michal Kriška-Dunajský, Prostějov, Česká republika
MPT	B65D88/54, B65D90/26
Datum zápisu	17.06.2013
Datum zveřejnění	26.06.2013
Stav	Platný dokument
Druh	PUV – národní s žádostí o zapsání do rejstříku

5.2.1 *Oblast techniky*

Technické řešení se týká zařízení k automatickému vypouštění vody z nádrže po dosažení definované maximální hladiny z určeného prostoru, fungujícího automaticky bez nutnosti obsluhy a použití elektrické energie.

5.2.2 *Dosavadní stav techniky*

Ve filtračních polích kořenových čistíren a zemních filtrech se v současné době využívá principu pulzního kolísání hladiny čištěné vody. Tato metoda vykazuje vyšší čistící účinnost ve vybraných parametrech jako biochemická spotřeba kyslíku, amoniakální znečištění a obsah dusíku ve srovnání s tradičním uspořádáním, tedy konstantní hladinou. Metoda pulzního vyprázdnění je založena na prudkém vypouštění vody ze zatopeného filtru. Během procesu vyprázdnění dochází k nasávání vzduchu pórovitým prostředím filtračního materiálu a zároveň k prokysličení vody, ulpělé na povrchu filtrační náplně, k mineralizaci organických látek, zpřístupnění dosahu kyslíku pro přítomné mikroorganismy apod.

Nevýhodou dosud známých způsobů zajišťujících pulzování vodní hladiny je buď nespolehlivé automatické řešení pomocí násosky, anebo nutnost využití elektrické energie, například pro vypouštění elektromagnetem, nastavení výšky přelivu elektromotorem a jiné metody. Při využití těchto způsobů trpí všechny kovové předměty při vystavení agresivnímu prostředí v odtokových šachtách výraznou korozi.

5.2.3 *Podstata technického řešení*

Výše uvedené nedostatky řeší zařízení k automatickému vypouštění vody z nádrže po dosažení definované maximální hladiny. Zařízení je realizováno jako magneticky uzavřená zpětná klapka na krátkém potrubí, vedoucím ve spodní části z vnitřního prostoru nádrže (šachty, popřípadě konstrukčně jinak určeného prostoru) skrz boční stěnu do vnějšího prostoru.

Zařízení k automatickému vypouštění vody z nádrže po dosažení definované maximální hladiny podle technického řešení je tvořeno odtokovým potrubím, na jehož spodním okraji je na konzole upevněn permanentní magnet, přičemž na tomto odtokovém potrubí je uchycena zpětná klapka uzavírající potrubí, opatřená druhým permanentním magnetem doléhajícím na permanentní magnet opačného pólu upevněném na potrubí. Ke zpětné klapce je pod permanentním magnetem upevněna konzola, přičemž v místě spoje konzoly se zpětnou klapkou je připevněn malý plovák a opačný konec konzoly je opatřen táhlem zakončeným plovákem, který je na straně protilehlé ke straně upevnění táhla zavěšen volně tak, aby při snížení hladiny neklesal směrem ke dnu.

Konzola pro permanentní magnet, permanentní magnety, konzola a táhlo, případně jiné nutné kovové součásti jsou realizovány buď z materiálu nepodléhajícím korozi, nebo jsou povrchově chráněny proti korozi nátěrem nebo epoxidovou pryskyřicí.

Při postupném zvyšování hladiny vody v nádrži je zpětná klapka uzavřena pomocí magnetické síly přítomných magnetů. Postupným navyšováním hladiny je klapka stále uzavřena také za spolupůsobení hydrostatického tlaku tak dlouho, než hladina dosáhne úrovně plováku. Po dosažení kritické úrovně hladiny, která je při správném návrhu v polovině výšky horního plováku, dochází k překonání magnetické a tlakové síly silou vztlakovou, plovák je během velice krátkého okamžiku vymršten směrem vzhůru k hladině. Jelikož je od spodního okraje plováku vedeno uchycení ke spodnímu konci pevné konzoly spojené s uzávěrem zpětné klapky, je tato část taktéž vytažena směrem vzhůru, resp. uzávěr zpětné klapky je otevřen. Bezprostředně poté dochází k postupnému vypouštění vody a tedy snižování hladiny v nádrži a v hydraulicky spojeném filtračním poli kořenové čistírny nebo zemního

filtru. Aby se zabránilo uzavření zpětné klapky po částečném snížení hladiny vlivem poklesu horního plováku, je ke zpětné klapce připevněn ještě malý plovák o nízké objemové hmotnosti takové, aby zajišťovalo plování klapky i při uvolněném uchycení na horní plovák, až po úplné snížení hladiny pod úroveň malého spodního plováku.

Uchycení mezi zpětnou klapkou a plovákem je provedeno pomocí konzoly a táhla, kdy konzola násobí velikost vztlakové síly, takže není nutno plovák provádět výrazně předimenzovaných rozměrů. Vzdálenost uchycení táhla od zpětné klapky je možné regulovat nastavovacím šroubem tak, aby se dosáhlo požadované síly k uvolnění zpětné klapky.

Těsnění na zpětné klapce je zhotoveno z gumy např. přírubovou formou, popřípadě přesným silikonovým těsněním aj. standardním způsobem, běžně užívaným u klasických zpětných klapek.

Plovák je proveden z materiálu o nízké objemové hmotnosti, např. polystyrén, jehož povrch má dostatečnou povrchovou ochranu proti mechanickému poškození. V horní části je plovák zavěšen ke stropu nádrže nebo k horní části stěny tak, aby při snižování úrovně hladiny nezpůsobil svým pohybem provozní problémy.

Princip a fungování zařízení je zajištěno kombinací základních fyzikálních přístupů – Archimédova zákona, magnetické síly a hydrostatického tlaku k rychlému (pulznímu) vypuštění nádrže s vodou, která může představovat např. regulační šachta ve filtračním poli. Nádrž je hydraulicky propojena s filtračními poli, to znamená, že vytváří spojené nádoby. Při vyprázdnění nádrže se sníží hladina ve filtračním poli.

Vztlaková síla je odvozena z Archimédova zákona, který říká: těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno vztlakovou silou F_v , která se rovná tíze kapaliny tělesem vytlačené. Výpočet vychází z objemové hmotnosti a objemu vytlačené kapaliny:

$$F_v = \rho \cdot g \cdot O [N] \quad (7)$$

Kde je: ρ – objemová hmotnost kapaliny ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), g – gravitační zrychlení ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$), O – objem ponořeného tělesa (m^3).

Magnetické pole je zajištěno permanentním magnetem řešeným anizotropicky, který vykazuje přídržnou sílu F_m , která je např. výrobcí stanovována při kontaktu s materiálem z měkké konstrukční oceli s leštěným povrchem tloušťky 10 mm. Určuje se jako maximální hodnota síly, působící na tah směřující kolmo na povrch ($1 \text{ kg} \approx 10 \text{ N}$). Reálná hodnota magnetické síly $F_m [N]$ je nižší vlivem zvýšené vzdálenosti od přitahovaného tělesa v důsledku uchycení magnetu, přesná hodnota je zjištěna měřením pomocí siloměru.

Tlaková síla, nazývána jako hydrostatická F_h , je silou působící na plochu uzávěru (zpětné klapky), se rovná součinu této plochy a hydrostatického tlaku v jejím těžišti:

$$F_h = \rho \cdot g \cdot h_t \cdot A [N] \quad (8)$$

kde: ρ – objemová hmotnost kapaliny ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), g – gravitační zrychlení ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$), h_t – hloubka kapaliny nad těžištěm zájmové plochy (m), A – plocha, na kterou působí hydrostatická síla (m^2).

V případě aplikace za použití magnetické zpětné klapky je potřeba navrhnout plovák, vykazující vztlakovou sílu F_v větší, než je součet síly magnetické F_m a tlakové F_t , které působí v opačném směru než síla vztlaková. Vzhledem k působení sil v různých bodech vzhledem k ose otáčení (otáčení uzávěru zpětné klapky) je potřeba vyhovět taktéž podmínce momentové věty, která definuje, že otáčivé účinky sil působících na tuhé těleso otáčené kolem nehybné osy se navzájem ruší, je-li vektorový součet momentů všech sil vzhledem k ose otáčení nulový. Proto v souvislosti s předchozím:

$$M_v > M_t + M_m \text{ a zároveň } M_v = F_v' r_v, \quad M_m = F_m r_m, \quad M_t = F_t r_t, \quad (9)$$

Kde: M_v – moment vznikající působením vztlakové síly F_v (síla F_v' je zmenšena přepočtem na kolmý směr působení na rameno r_v), r_v – vzdálenost působíště vztlakové síly od osy otáčení zpětné klapky, M_t – moment vznikající působením hydrostatické síly F_t , r_t – vzdálenost těžiště působící hydrostatické síly od osy otáčení zpětné klapky, M_m – moment vznikající působením magnetické síly F_m , r_m – vzdálenost těžiště působící magnetické síly od osy otáčení zpětné klapky.

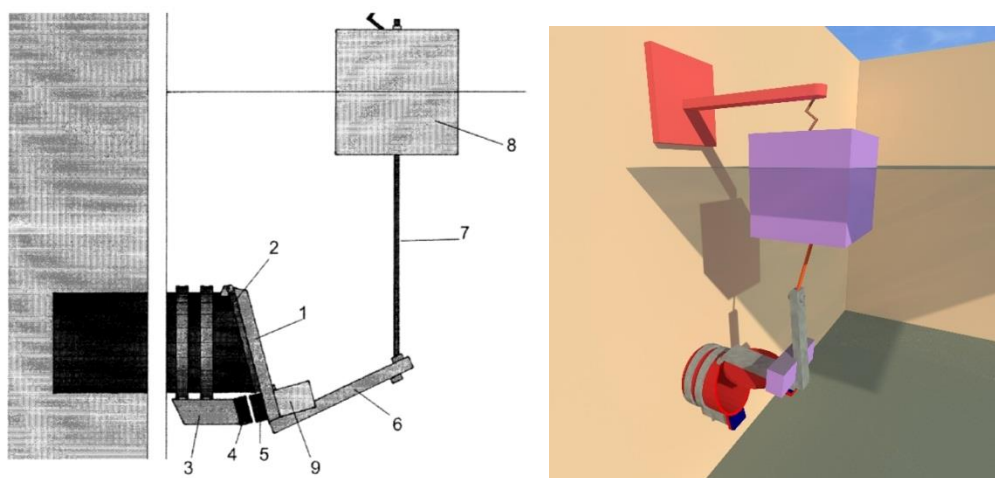
Technické řešení představuje jednoduché zařízení, které bez použití elektrické energie reaguje na úroveň hladiny a při dosažení maximální povolené hladiny vypustí hladinu až na požadovanou nastavenou úroveň.

Zařízení k automatickému vypouštění vody z nádrže představuje jednoduché a finančně nenáročné provedení umožňující automatické vypouštění vody z nádrže po dosažení definované maximální hladiny; nalezne využití ve filtračních polích kořenových čistíren a zemních filtrech a v dalších oblastech čištění odpadní vody filtrací. Zařízení lze využít i v jiných oborech, souvisejících s požadavkem vypouštění vody, příkladem může být malá vodní elektrárna, vyžadující vyšší průtok vody. V případě malého kontinuálního průtoku lze vodu prostřednictvím zařízení k automatickému vypouštění vody zadržet v určeném prostoru do té doby, než dosáhne požadované úrovně hladiny, po pulzním otevření výpustného potrubí a zvýšeného průtoku lze na vodní elektrárně dosáhnout vyššího elektrického výkonu.

Obdobně lze toto zařízení využít v případě instalovaného malého čerpadla a potřebného nepravidelného zvýšení průtoků – např. okrasné kaskády u zahradních jezírek, okrasných potoků aj. Čerpadlem lze vodu akumulovat ve výše umístěné nádrži do té doby, než voda dosáhne maximální úrovně hladiny. Při jejím dosažení se voda automaticky vypustí a její intenzivní průtok může působit estetickým dojmem ve srovnání s pomalým průtokem.

5.2.4 Objasnění obrázků na výkrese

Zařízení je zobrazeno na (Obr. 11), v němž jsou jednotlivá čísla: 1 – zpětná klapka, 2 – vypouštěcí potrubí, 3 – konzola pro permanentní magnet, 4 – permanentní magnet, 5 – permanentní magnet, 6 – konzola, 7 – táhlo, 8 – plovák, 9 – malý plovák.



Obr. 11 Provedení magnetické zpětné klapky v uzavřeném a otevřeném stavu

5.2.5 *Příklad uskutečnění technického řešení*

Zařízení k automatickému vypouštění vody z nádrže podle Obr. 11 je tvořeno zpětnou klapkou 1, napojenou na vypouštěcí potrubí 2, na které je ze spodní úrovně připevněna konzola 3 pro permanentní magnet 4. V těsné blízkosti od magnetu 4 je umístěn magnet 5 o opačném pólu, který je pevně uchycen na volném konci zpětné klapky 1. Pod permanentním magnetem 5 je na vnějším okraji zpětné klapky 1 upevněna konzola 6, na jejímž druhém konci je připevněno táhlo 7 zakončené plovákem 8.

Při nízkém stavu hladiny v nádrži je uzávěr zpětné klapky 1 uzavřen, voda neodtéká. Postupným zvyšováním hladiny vody dochází k nadzvedávání plováku 8 do úplného napnutí táhla 7. Během dalšího zvyšování hladiny dochází k zatápní plováku 8, vlivem čehož začíná působit vztlačová síla. Při dosažení kritické hladiny, jejíž vztlačová síla je větší než přitažlivá síla magnetů 4 a 5 za spolupůsobení hydrostatické síly na zpětnou klapku 1, dojde k prudkému vyzdvižení plováku 8 směrem vzhůru, zároveň táhlo 7 zajistí oddálení magnetů 4 a 5 snížením přídržné magnetické síly a postupné úplné otevření zpětné klapky 1 a cesty odtokového potrubí 2. Otevření zpětné klapky 1 má ve stejný okamžik vliv na postupné snižování hladiny vody v nádrži. Aby nedošlo k nechtěnému uzavření zpětné klapky 1 ještě před vypuštěním na minimální úroveň hladiny, je v místě spoje konzoly 6 a zpětné klapky 1 připevněn malý plovák 9, zajišťující otevření zpětné klapky 1 tak, aby bylo co nejdéle umožněno vypouštění vody z nádrže.

Uchycení magnetů 4 a 5 jak k volnému konci zpětné klapky 1, tak i ke konzole 3 spodní části odtokového potrubí 2, je zajištěno organickou epoxidovou pryskyřicí v kombinaci s plátnem, do kterého jsou magnety 4 a 5 důkladně obaleny. Pryskyřice musí navazovat v dostatečné míře na konstrukci tak, aby udrželo i vysokou přitažlivou sílu permanentních magnetů 4 a 5.

5.2.6 *Průmyslová využitelnost*

Zařízení k automatickému vypouštění vody z nádrže představuje jednoduché a finančně nenáročné provedení umožňující automatické vypouštění vody z nádrže po dosažení definované maximální hladiny; nalezne využití ve filtračních polích kořenových čistíren a zemních filtrech a v dalších oblastech čištění odpadní vody filtrací. Zařízení lze využít i v oborech souvisejících s požadavkem vypouštění vody, například u malé vodní elektrárny nebo i ve spojení s instalací malého čerpadla a při potřebě nepravidelného zvýšení průtoků, například v zahradnictví u okrasných kaskád a zahradních jezírek.

5.2.7 *Nároky na ochranu*

1. Zařízení k automatickému vypouštění vody z nádrže po dosažení definované maximální hladiny, vyznačující se tím, že je tvořeno odtokovým potrubím (2), na jehož spodním okraji je na konzole (3) upevněn permanentní magnet (4), přičemž na odtokovém potrubí (2) je uchycena zpětná klapka (1) uzavírající potrubí (2), opatřená permanentním magnetem (5) doléhajícím na permanentní magnet (4) opačného pólu, která uzavírá potrubí (2), ke zpětné klapce (1) je pod permanentním magnetem (5) upevněna konzola (6), přičemž v místě spoje konzoly (6) se zpětnou klapkou (1) je připevněn malý plovák (9) a opačný konec konzoly (6) je opatřen táhlem (7) zakončeným plovákem (8).

2. Zařízení podle nároku 1, vyznačující se tím, že plovák (8) je na straně protilehlé ke straně upevnění táhla (7) zavěšen volně tak, aby při snížení hladiny vody neklesal směrem ke dnu.

3. Zařízení podle nároků 1 až 2, vyznačující se tím, že konzola (3) pro permanentní magnet (4), permanentní magnety (4) a (5), konzola (6) a táhlo (7) jsou vyrobeny z kovu a povrchově chráněny proti korozi nátěrem nebo epoxidováním.

5.2.8 Uplatnění v praxi

Kromě testovacího a poloprovozního objektu byly na užitný vzor realizovány dvě licenční smlouvy:

- Rok 2015- Licenční smlouva ČR: ASIO, spol. s r.o.
Výrobek: AS-PULZ
- Rok 2016 - Licenční smlouva SR: ECOPLANET SLOVAKIA s.r.o.
Výrobek: EKO-PULZ

Do r. 2016 využívalo dle komunikace s výrobcí popsané zařízení přibližně 30 čistíren, na konci roku 2020 se jednalo přibližně o 80 vyrobených zařízení, přičemž některé čistírny mají nainstalováno více zařízení (Skašov 8ks, Dražovice 16 ks, Velká Jesenice 2ks, Kojetín 2ks, apod.).

5.3 VÍCEKOMOROVÝ SEPTIK

Užitný vzor vznikl v rámci výzkumného projektu TAČR TA02021032. Užitný vzor byl úspěšně licencován v České republice, v praxi je využit v několika desítkách případů v rámci podnikatelských aktivit licenčního partnera.

Základní bibliografie

Číslo přihlášky	2014-29263
Číslo zápisu	27142
Datum podání	21.02.2014
Název	CS: Vícekomorový septik EN: Multi-compartment septic-plant tank
Přihlašovatel/Majitel	ASIO spol. s r.o., Spáčilka 83, 664 51 Jiřkovice, Česká republika Vysoké učení technické v Brně, Antonínská 1, 601 90 Brno, Česká republika
Původce	Ing. Karel Plotěný, Jiřkovice, Česká republika Ing. Michal Křiška Dunajský, Ph.D., Prostějov, Česká republika
Zástupce	KANIA SEDLÁK SMOLA Patentová kancelář, Ing. Veronika Zemanová, Mendlovo nám. 1a, 603 00 Brno, Česká republika
MPT	E03F1/00, E03F5/10, E03F5/14, C02F9/00
Datum zápisu	07.07.2014
Datum zveřejnění	16.07.2014
Stav	Platný dokument
Druh	PUV - národní s žádostí o zapsání do rejstříku

5.3.1 Oblast techniky

Technické řešení se týká vícekomorového septiku. Takovéto zařízení je určeno k mechanickému předčištění odpadních vod.

5.3.2 Dosavadní stav techniky

Nakládání s odpadními vodami v oblastech České republiky, které nejsou napojené na kanalizaci, je umožněno buď pomocí čistírny odpadních vod, nebo častěji využitím septiku s navazujícím čistícím stupněm, popřípadě akumulací v jímce a následným vyvážením odpadní vody apod. Běžné řešení je zapojení septiku zejména jako mechanického stupně předčištění, na které navazuje hlavní stupeň čištění – pískový filtr nebo kořenová čistírna odpadních vod. Současný stav vyráběných septiků je podepsán nevhodně navrhovaným uspořádáním septiků, neboť výrobci nemají dodatečné prostředky pro optimální návrh hydraulicky dokonalejšího septiku. Vyráběné septiky vykazují nedostatečnou separační schopnost takovou, že navazující hlavní čistící stupeň nevyčistí protékající odpadní vodu zbavenou nerozpuštěných látek v takové míře, aby bylo možné vyčištěnou vodu vypouštět do recipientu. V literatuře často popisovaným problémem, souvisejícím se separační účinností septiků

v oblasti nerozpuštěných látek, jsou problémy s pozvolným ucpáváním filtračního prostředí – tzv. proces kolmatace. Zhoršená čistící účinnost zapojeného septiku s filtračním zařízením je pouze vyústěním postupně se zachycujících nerozpuštěných látek právě ve filtračním prostředí. Pokud je ve filtru deficit kyslíku, projevující se mj. vlivem kolmatace, je logické, že nemůže v dostatečné míře eliminovat znečištění, vyjadřované parametry $CHSK_{Cr}$, BSK_5 a $N-NH_4^+$. Při vhodně provedeném vhodném provedení septiku lze očekávat zvýšení čistící účinnosti, tedy zlepšení filtračních charakteristik a biochemických rozkladných reakcí. Delší doba zdržení v samotném objemu septiku je předpokladem zpomalení rychlosti proudění odpadní vody, a tedy ke snížení koncentrace nerozpuštěných látek na odtoku ze septiku. Během pomalejšího proudění nedochází k nadsázení plovoucích kalových částic, které se svou objemovou hmotností velice přibližují objemové hmotnosti vody.

Pro účely čištění odpadních vod bez nutnosti napojení na elektrickou energii (pískové filtry, kořenové čistírny, stabilizační nádrže aj.) patří septiky mezi typické objekty. Jak uvádí literatura (Vymazal, 1995), jsou septiky schopny prostřednictvím sedimentace a flotace dosáhnout odstranění částic o velikosti od 0,040 mm (a větších). V případě, že v prostoru septiku dochází k vyšším vzestupným rychlostem resp. kratší době zdržení, lze očekávat uvolňování usazených částic resp. jejich nedostatečnou sedimentaci.

Návrh dimenzí septiku je dán zejména objemem vnitřního zatopeného prostoru nádrže V (m^3), který je počítán dle vzorce v kap. 4.5.

Praxe ukazuje, že z důvodu předcházení kolmatačním procesům je výhodné navrhnout dobu zdržení optimálně 8 – 10 dní. Taková doba zdržení vyžaduje vyšší objemy septiku, což je doprovázené vyššími investičními náklady, nebo vhodnější řešení a uspořádání prostoru septiku.

5.3.3 Podstata technického řešení

Výše uvedené nedostatky a problémy řeší vícekomorový septik, který podle tohoto technického řešení zahrnuje soustavu komor, které jsou navzájem oddělené dělicími stěnami a které jsou hydraulicky propojené pro postupné protékání kapaliny z první komory přes další komoru až do poslední komory, přičemž aspoň jedna dvojice komor je propojená přepouštěcím prostředkem.

5.3.4 Objasnění obrázků na výkrese

Vícekomorový septik podle tohoto technického řešení bude dále podrobněji vysvětlen pomocí příkladného provedení schematicky znázorněného na pěti částech Obr. 12:

Obr. 12 A: Půdorys příkladného provedení,

Obr. 12 B: Pohled do první a druhé komory provedení z části A,

Obr. 12 C: Detail druhého, třetího nebo čtvrtého přepouštěcího prostředku se stříškou,

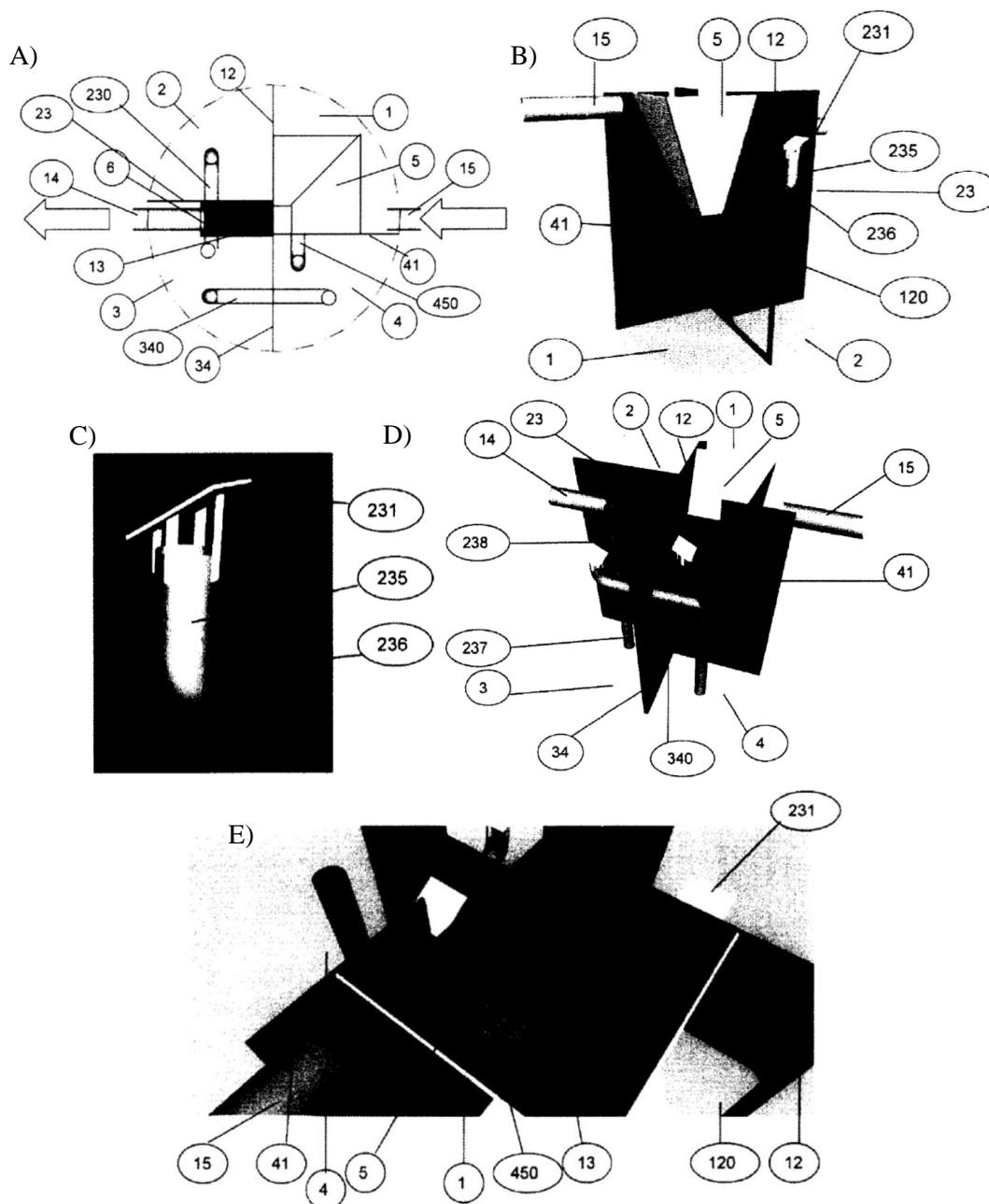
Obr. 12 D: Pohled šikmo shora ze strany čtvrté komory na příkladné provedení z části A,

5.3.5 Příkladné provedení technického řešení

Jak je zřejmé z výkresů, zahrnuje první příkladné provedení septiku podle tohoto technického řešení válcovitou nádrž, které je dělicími příčkami rozčleněna na první komoru 1, s ní sousedící druhou komoru 2, s ní sousedící třetí komoru 3, s ní sousedící čtvrtou komoru 4, přičemž v první komoře 1 je navíc vložena dolů se zužující pátá komora 5. Nádrž septiku může mít například tvar válce nebo kvádrů.

Přívod 15 znečištěné vody je zaústěn do první komory 1. První komora 1 a druhá komora 2 jsou navzájem oddělené první dělicí stěnou 12 a hydraulicky propojené prvním přepouštěcím prostředkem 120, kterým je otvor v dolní části první dělicí stěny 12. Otvor je veden téměř ze dna nádrže tak, aby bylo umožněno vyčerpání sedimentovaného kalu jedním ponořením kalového čerpadla. Zároveň je otvor natolik velký, aby byl umožněn volný pohyb kapaliny nad sedimentovaným kalem.

Druhá komora 2 a třetí komora 3 jsou navzájem oddělené druhou dělicí stěnou 23 a propojené druhým přepouštěcím prostředkem 230, kterým je potrubí se vstupním koncem ve druhé komoře 2 a výstupním koncem ve třetí komoře 3, přičemž vstupní otvor je uspořádaný výše nad dnem nádrže, než výstupní otvor. V tomto příkladném provedení je potrubí tvořené vstupní vertikální částí 235, na kterou navazuje horizontální část 236, která prostupuje druhou dělicí stěnou 23 a je napojená na výstupní vertikální část 237 s výstupním otvorem při dně třetí komory 3, přičemž na výstupní vertikální část 237 navíc směrem nahoru navazuje inspekční vertikální část 238, která je vyústěná nad předpokládanou úroveň hladiny ve třetí komoře 3.



Obr. 12 Schéma uspořádání a detaily provedení vícekomorového septiku

Navíc je nad vstupním otvorem druhého přepouštěcího prostředku 230 upevněná stříška 231 pro omezení nebo eliminaci vstupu plovoucích nečistot do potrubí. Stříška 231 je upevněná s odstupem od vstupního otvoru, šikmo a má takovou velikost, že v půdorysném pohledu zcela přesahuje vstupní otvor, například alespoň o 5 cm po všech stranách.

Třetí komora 3 a čtvrtá komora 4 jsou navzájem oddělné třetí dělicí stěnou 34 a propojené třetím přepouštěcím prostředkem 340 v obdobné formě jako výše popsany druhý přepouštěcí prostředek 230.

Čtvrtá komora 4 sousedí s první komorou 1 a je od ní oddělena čtvrtou dělicí stěnou 41. Čtvrtá komora 4 je propojena s pátou komorou 5 pomocí čtvrtého přepouštěcího prostředku 450, který má obdobnou formu jako druhý a třetí přepouštěcí prostředek 230, 340. Čtvrtý přepouštěcí prostředek 450 je zaústěn v páté komoře 5 co nejbliže dna páté komory 5. Pro lepší přehlednost obrázků nebyly označeny vztahovými značkami jednotlivé části třetího a čtvrtého přepouštěcího prostředku 340, 450.

V páté komoře 5 je uspořádaný hladinový přeliv 13 do filtrační komory 6 uspořádané v horní části třetí komory 3. Ve filtrační komoře 6 je uspořádaný filtr, například z hrubé PUR pěny. Na filtrační komoru 6 navazuje odtok 14.

Prostor septiku je tedy rozdělen na větší počet vzájemně hydraulicky propojených prostorů. První až čtvrtá komora 1, 2, 3, 4 mohou mít tvar čtvrt válce nebo kvádrů, přičemž první až čtvrtá dělicí stěna 12, 23, 34, 41 v půdorysném pohledu tvoří kříž, pátá komora 5 je realizována jako obrácený jehlan nebo kužel tak, aby v kapalině docházelo k postupnému zpomalování vzestupných rychlostí se stoupající výškou.

Septik podle tohoto technického řešení pracuje následovně: přívodem 15 je znečištěná kapalina přiváděna shora, z výšky například 10 cm nad hladinou, do první komory 1, kam klesá ke dnu, kde se shromažďuje. Kapalina dále protéká prvním přepouštěcím prostředkem 120, tedy otvorem v první dělicí stěně 12, přičemž první dělicí stěna 12 zejména brání přechodu při hladině plovoucích nečistot z první komory 1 do druhé komory 2. Dále kapalina v horní části druhé komory 2 natéká vstupním otvorem do druhého přepouštěcího prostředku 230 a přitéká ke dnu třetí komory 3. Stříška 231 brání vstupu plovoucích nečistot do potrubí druhého přepouštěcího prostředku 230, tedy vtoku částic, které vyplavou v procesu rozkladu organické hmoty ke hladině, a následně se fyzikálně chemickými procesy zvýší jejich objemová hmotnost a původně plovoucí hmota klesá ke dnu. Díky šikmému usazení stříšky 231 se mohou případné nečistoty, které se přemístí nad prostor stříšky 231 a následně se na ní usadí, sesunout po ní dolů směrem ke dnu a nedostanou se do vstupu druhého přepouštěcího prostředku 230. V horní části třetí komory 3 natéká kapalina vstupním otvorem do třetího přepouštěcího prostředku 340 a přitéká ke dnu čtvrté komory 4. V horní části čtvrté komory 4 natéká kapalina vstupním otvorem do čtvrtého přepouštěcího prostředku 450 a přitéká ke dnu páté komory 5. Z páté komory 5 je kapalina odváděna hladinovým přelivem 13 do odtoku 14, protéká filtrem a takto mechanicky předčištěná může být přivedena například do kořenové čističky čistírny nebo pískového filtru.

V případě potřeby je možno do první nebo druhé komory 1, 2 zanořit kalové čerpadlo a odčerpat kal shromážděný v obou těchto komorách.

Inspekční vertikální část 238 potrubí je vyvedena minimálně 10 cm nad předpokládanou hladinu, tedy více než 10 cm nad úroveň hladinového přelivu 13. Výstupní otvor druhého přepouštěcího prostředku 230 je přiveden do vzdálenosti 10 – 20 cm nade dnem třetí komory 3. Takovým uspořádáním se zajistí přívod kapaliny do spodní části třetí komory 3, lze tedy předpokládat delší dobu zdržení kapaliny ve třetí komoře 3 a zároveň rovnoměrnější rozdělení svislých rychlostí v celém prostoru. Zároveň se díky inspekční vertikální části 238 zajistí možnost kontroly z prostoru nad hladinou, případně je umožněno pročištění potrubí z prostoru nad hladinou. Obdobné platí i pro třetí a čtvrtý přepouštěcí prostředek.

Poté, co kapalina vystoupá v páté komoře 5 k hladinovému přelivu 13, přepadá do filtrační komory 6 hydraulicky oddělené od předchozích komor 1, 2, 3, 4 a umístěné v horní části třetí komory 3. V této filtrační komoře 6 je umístěn bezpečnostní filtr, vytvořený z hrubé PUR pěny. V případě ucpání filtru je možné jej pomocí vysouvacího mechanismu vyjmout a následně proplachováním vyčistit. Za filtrem je napojen odtok, prostupující obvodovou stěnou ze septiku.

Materiál, ze kterého je realizován vícekomorový septik podle tohoto technického řešení, zejména jeho obvodové stěny, dělicí stěny, potrubí, stříšky, stěny páté komory 5 a filtrační komory 6, jsou s výhodou z polypropylenu nebo polyetylenu.

5.3.6 Průmyslová využitelnost

Vícekomorový septik lze použít zejména pro účely mechanického předčištění odpadních vod s navazujícím dalším stupněm čištění. Využití najde převážně v případech, kdy není možné napojení na zdroj elektrické energie nebo dochází k velice nerovnoměrnému hydraulickému zatížení – např. sezónní rozkolísanost, víkendová zátěž apod.

5.3.7 Nároky na ochranu

1. Vícekomorový septik, vyznačující se tím, že zahrnuje soustavu komor (1, 2, 3, 4, 5, 6), které jsou navzájem oddělné dělicími stěnami (12, 23, 34, 45) a které jsou hydraulicky propojené pro postupné protékání kapaliny z první komory (1) přes další komoru až do poslední komory, přičemž alespoň jedna dvojice komor (2, 3, 4, 5) je propojená přepouštěcím prostředkem (230, 340, 450) ve formě potrubí, jehož vstupní otvor je uspořádaný výše nade dnem vícekomorového septiku než jeho výstupní otvor.

2. Vícekomorový septik podle nároku 1, vyznačující se tím, že přepouštěcí prostředek (230, 340, 450) ve formě potrubí zahrnuje:

- vertikální vstupní část (235) se vstupním otvorem pro vstup kapaliny v jedné komoře (2, 3, 4),
- na vertikální vstupní část (235) navazující horizontální část (236), která prochází skrz dělicí stěnu (23, 34, 41) do sousední komory (3, 4, 5), a
- na horizontální část (236) navazující vertikální výstupní část (237) s výstupním otvorem při dně komory (3, 4, 5) a s odstupem od něj (a vertikální část (238) vyvedenou nad hladinu).

3. Vícekomorový septik podle nároku 2, vyznačující se tím, že vertikální vstupní část (235) je opatřena stříškou (238 231), která je uspořádaná s odstupem od vstupního otvoru přepouštěcího prostředku (230, 340, 450), nad ním a se sklonem vzhledem k horizontální rovině v rozmezí 10 až 70°, nejlépe 40 až 50°.

4. Vícekomorový septik podle kteréhokoli z předcházejících nároků, vyznačující se tím, že zahrnuje první komoru (1), k ní přiléhající druhou komoru (2), k ní přiléhající třetí komoru (3), k ní přiléhající čtvrtou komoru (4), přičemž první komora (1) a druhá komora (2) jsou vzájemně oddělené první dělicí stěnou (12) a vzájemně propojené prvním přepouštěcím prostředkem (120), druhá komora (2) a třetí komora (3) jsou vzájemně oddělené druhou dělicí stěnou (23) a vzájemně propojené druhým přepouštěcím prostředkem (230), třetí komora (3) a čtvrtá komora (4) jsou vzájemně oddělené třetí dělicí stěnou (34) a vzájemně propojené třetím přepouštěcím prostředkem (340).

5. Vícekomorový septik podle nároku 4, vyznačující se tím, že zahrnuje pátou komoru (5), která má dolů se zužující tvar a která je uspořádaná v horní části první komory (1), přičemž čtvrtá komora (4) je propojená s pátou komorou čtvrtým přepouštěcím prostředkem (450).

6. Vícekomorový septik podle nároku 4 nebo 5, vyznačující se tím, že první přepouštěcí prostředek (120) je otvor v dolní a / nebo střední části první dělicí stěny (12).
7. Vícekomorový septik podle nároku 5 nebo 6, vyznačující se tím, že druhý přepouštěcí prostředek (230), třetí přepouštěcí prostředek (340) a čtvrtý přepouštěcí prostředek (450) zahrnuje vždy vstupní vertikální část (235), na ni navazující horizontální část (236) a na navazující výstupní vertikální část (237), přičemž do výstupní vertikální části je shora zaústěná inspekční vertikální část (238) se vstupním otvorem uspořádaným v horní části vícekomorového septiku.
8. Vícekomorový septik podle kteréhokoli z nároků 5 až 7, vyznačující se tím, že dále zahrnuje filtrační komoru (6), která je uspořádaná v horní části třetí komory (3) a hydraulicky propojená přes hladinový přeliv (13) s pátou komorou (5) a ve které je uspořádaný filtr.
9. Vícekomorový septik podle kteréhokoli z nároků 5 až 8, vyznačující se tím, že čtvrtý přepouštěcí prostředek (450) je zaústěný do páté komory (5) při jejím dně.

5.3.8 Uplatnění v praxi

Zařízení vzniklo v rámci společného výzkumného projektu TAČR, majiteli se stalo VUT v Brně společně s firmou ASIO, s.r.o. Firma ASIO zařízení v souladu s řešitelskou smlouvou využívá užitiný vzor, resp. podle užitného vzoru vyrábí zařízení, nazvané jako anaerobní separátor Anasep, stejně jako byl akronym celého výzkumného projektu.

Před uvedením do sériové výroby bylo zařízení testováno na VUV T.G.M. v.v.i v akreditované laboratoři v Praze (pravá část Obr. 13). Výsledky potvrdily výrazně vyšší účinnost ve srovnání s jakýmkoli vícekomorovým septikem. Testovací metoda, vedoucí k finálnímu výsledku, založená na mísení dvou vod s různou konduktivitou, dosáhla kýženého výsledku.

Do konce roku 2019 bylo vyrobeno několik desítek zařízení podle užitného vzoru, výrobky jsou převážně prodávány v České republice. Dosud nedošlo k intenzivnímu rozšíření z důvodu vyšších výrobních nákladů ve srovnání s klasickým a jednodušším septikem.



Obr. 13 Anaerobní separátor na výzkumném pozemku UVHK a v laboratoři VUV

5.4 RÁZOVÝ VYPOUŠTĚČ

Kompletní název: Zařízení pro automatické rázové vypouštění kapaliny

Zařízení plní obdobnou funkci jako užitný vzor č. 25544, navíc se soustředí na nedostatky – nemožnost přesné regulace spouštěcí a vypínací hladiny, možnost dodatečné instalace výrobným uspořádáním (namísto montování komponentů na místě instalace).

Užitný vzor vznikl v rámci výzkumného projektu MPO TIP FR-TI3/778.

Základní bibliografie

Číslo přihlášky	2015-30811
Číslo zápisu	28083
Datum podání	03.03.2015
Název	CS: Zařízení pro automatické rázové vypouštění kapaliny EN: Device for automatic sudden discharge of liquid
Přihlašovatel/Majitel	Vysoké učení technické v Brně, Antonínská 548/1, 601 90 Brno, Česká republika
Původce	Ing. Michal Kriška Dunajský, Ph.D., Prostějov, Česká republika
Zástupce	KANIA SEDLÁK SMOLA patentová kancelář, Ing. Veronika Zemanová, Mendlovo nám. 1a, 603 00 Brno, Česká republika
MPT	F16K33/00, F16K31/08, F16K1/00
Datum zápisu	09.04.2015
Datum zveřejnění zápisu	22.04.2015
Stav	Platný dokument
Druh	PUV - národní s žádostí o zapsání do rejstříku

5.4.1 Oblast techniky

Technické řešení se týká zařízení k vypouštění vody z akumulčního prostoru šachty po dosažení nastavitelné spouštěcí hladiny, fungujícího po seřízení bez nutnosti další obsluhy a bez nutnosti použití elektrické energie.

5.4.2 Dosavadní stav techniky

Kořenové čistírny odpadních vod a zemní filtry patří mezi varianty technologického řešení pro čištění odpadních vod. Jako celek jsou tvořeny několika stupni, přičemž samotný filtr tvoří hlavní čistící stupeň. Filtrační prostředí velice často trpí nedostatečným účinkem v několika vybraných a sledovaných parametrech. Jedná se zejména o parametry, které jsou přímo závislé na dotaci kyslíku – chemická spotřeba kyslíku ($CHSK_C$), biochemická spotřeba kyslíku (BSK_5) a amoniakální dusík ($N-NH_4^+$). Pokud je hlavní čistící stupeň realizován jako kořenová čistírna horizontálně resp. vertikálně vzhůru protékané filtrační pole, nelze očekávat vysokou účinnost v popsanych parametrech, neboť dotačním prvkem, dodávajícím do protékající odpadní vody kyslík, jsou pouze přítomné mokřadní rostliny společně s přestupem kyslíku přes vytvořenou povrchovou nebo podpovrchovou hladinu odpadní vody. Současná praxe dosud ukazuje, že není technicky možné navrhovat takto řešená zařízení pro více jak 500 zapojených ekvivalentních obyvatel (EO), neboť současná legislativa požaduje průměrné koncentrace $N-NH_4^+$ na odtoku do průměrné hodnoty $20 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

Jedinou variantou popsanych kořenových čistíren a zemních filtrů, které jsou schopny obstojně odstranit i vyšší koncentrace $N-NH_4^+$, je uspořádání vertikální proudění ve směru dolů, ovšem za dodržení několika dalších technických parametrů. Asi nejdůležitějším faktorem je pulzní (nepravidelné, nerovnoměrné) ovládání, resp. napouštění potrubí, které rozvádí odpadní vodu po

povrchu filtrační náplně, přičemž odpadní voda postupně pozvolna prokapává vlhkým prostředím až po sběrné potrubí, uložené na hydroizolaci.

Princip pulzního napouštění distribučního potrubí může být zajištěn pouze pomocí dvou známých přístupů:

- 1) čerpání odpadní vody velice silným čerpadlem v nepravidelných dávkách během provozování filtračního zařízení, což vyžaduje připojení na elektrickou energii,
- 2) využití zadržování odpadní vody v akumulacním prostoru před samotným filtračním zařízením do té doby, než dojde k naplnění akumulacního prostoru po maximální možnou úroveň a následně pomocí obsluhy zajistit co možná nejrychlejší vypuštění.

Nevýhodou popsanych řešení je nutnost přítomnosti obsluhy nebo využití elektrické energie například pro vypouštění elektromagnetem, plovákovým ovladačem napojeným na čerpadlo, resp. jiné metody, založené na sledování úrovně hladiny v akumulacní šachtici. Pro vyloučení připojení zdroje elektrické energie je nutností vhodné terénní uspořádání (dostatečný sklon terénu).

Řešení, které nevyužívá elektrickou energii, je ve starší literatuře popsáno jako automatická násoska, je však popsáno pouze teoreticky. V praxi v současné době není použito pro nemožnost seřízení, složité nastavení spouštěcí úrovně hladiny, nespolehlivost atd. S ohledem na přítomnost často agresivní odpadní vody je podmínkou vyloučení všech kovových součástí, které při vystavení agresivnímu prostředí v odtokových šachtách trpí výraznou korozi a tedy i rizikem poruchy vypouštěcího zařízení.

5.4.3 Podstata technického řešení

Výše uvedené nedostatky řeší zařízení, určené a vyvinuté k výše popsanému účelu – vypouštění vody z šachty, akumulacní nádrže, jímky aj. těles. Takovéto zařízení pro automatické rázové vypouštění kapaliny zahrnuje podle tohoto technického řešení

- dutý dílec, ve kterém je uspořádán vstupní prostor a výstupní komora, které jsou navzájem propojené přepouštěcím otvorem, přičemž vstupní prostor zahrnuje alespoň jeden vstupní otvor a výstupní komora zahrnuje výstupní otvor,
- nosnou tyč, která je s možností vertikálního posuvu zasazená svým dolním koncem do vstupního prostoru,
- uzávěr, který je upevněn na nosné tyči při jejím dolním konci a uzpůsobený pro uzavírání přepouštěcího otvoru,
- horní plovák upevněn na nosné tyči při jejím horním konci,
- dolní plovák upevněn na nosné tyči pod horním plovákem a s odstupem od něj,
- první permanentní magnet upevněn k dutému dílci a
- druhý permanentní magnet upevněn k nosné tyči protilehle vzhledem k prvnímu permanentnímu magnetu tak, že v poloze, v níž uzávěr uzavírá přepouštěcí otvor, na sebe první permanentní magnet a druhý permanentní magnet působí navzájem přitažlivou silou.

S výhodou je první permanentní magnet a / nebo druhý permanentní magnet opatřený korozivzdorným nátěrem a / nebo pouzdem.

Dolní plovák horní plovák je s výhodou upevnitelný na nosné tyči v alespoň dvou výškových pozicích. A tímto účelem je nosná tyč ve zvlášť výhodném provedení opatřena průběžným vnějším závitem,

příčemž je horní plovák a rovněž i dolní plovák, upevněný na nosné tyči mezi dvojicí matic s podložkami.

Také je výhodné, když první permanentní magnet a / nebo druhý permanentní magnet mají prstencový tvar, jehož středem prochází nosná tyč.

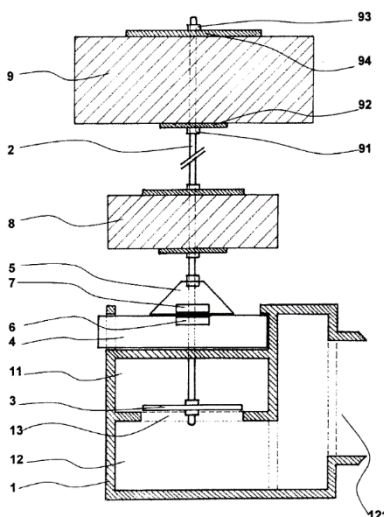
Rovněž je výhodné, když horní plovák a / nebo dolní plovák mají kruhový tvar, jehož středem prochází nosná tyč.

S výhodou je druhý permanentní magnet opatřený druhým korozivzdorným pouzdrům, které je uzpůsobené pro vedení směru pohybu nosné tyče.

Ve zvlášť výhodném provedení je první permanentní magnet opatřený prvním korozivzdorným pouzdrům, které je vyplněné montážní pěnou tak, že montážní pěna zcela obklopuje první permanentní magnet, a / nebo je druhý permanentní magnet opatřený druhým korozivzdorným pouzdrům, které je vyplněné montážní pěnou tak, že montážní pěna zcela obklopuje druhý permanentní magnet.

5.4.4 Objasnění obrázků na výkrese

Příkladné provedení zařízení podle tohoto technického řešení je znázorněno na výkrese, zobrazujícím příčný řez uzavřeným prostorem pulzního vypouštěče.



Obr. 14 Schéma zařízení pro rázové rázové vypouštění vody

5.4.5 Příkladné provedení technického řešení

Příkladné provedení zařízení (Obr. 14) zahrnuje průtočný dutý dílec **1**, rozdělený na vstupní prostor **11** a výstupní komoru **12**. Vstupní prostor **11** zahrnuje dva neznázorněné vstupní boční otvory pro jeho propojení s akumulacním prostorem šachty, ve kterém je zařízení uloženo (neznázorněno). Výstupní komora **12** je opatřena vypouštěcím otvorem **121** pro její propojení s vypouštěcím potrubím. Vstupní prostor **11** a výstupní komora **12** jsou navzájem propojeny přepouštěcím otvorem **13**.

Zařízení dále zahrnuje nosnou tyč **2**, která je v zařízení uspořádána v podstatě vertikálně. Nosná tyč **2** prochází vstupní komorou **12** a je vedena skrz její horní stěnu přepouštěcím otvorem **13** s možností svislého pohybu ve vertikálním směru. Při jejím dolním konci je k nosné tyči **2** ve vstupním prostoru **11** upevněn kruhový uzávěr **3** s gumovým těsněním po obvodu, sloužící pro uzavírání přepouštěcího otvoru **13**.

Při opačném konci nosné tyče **2** je výškově přestavitelně upevněný horní plovák **9**. Pod ním a s odstupem od něj je na nosné tyči **2** upevněný rovněž výškově přestavitelně dolní plovák **8**.

K dutému dílci **1** je na jeho horní straně upevněn první permanentní magnet **6**. V tomto příkladném provedení je první permanentní magnet **6** uspořádaný v prvním ochranném pouzdře **4**, které jednak chrání první permanentní magnet **6** proti korozivním účinkům kapaliny uvnitř akumulčního prostoru a jednak napomáhá vedení pohybu nosné tyče **2** za provozu zařízení a zajišťuje konstantní polohu permanentního magnetu **6**. První permanentní magnet **6** může mít například prstencovitý tvar, jehož středem může nosná tyč **2** volně procházet.

Ve zvlášť výhodném provedení je první ochranné pouzdro **4**, ve kterém je uložený první permanentní magnet **6**, vyplněno montážní pěnou tak, aby jí byl permanentní magnet zcela obklopen. Tím je zaručeno, že se kapalina nedostane k prvnímu permanentnímu magnetu **6** a že má tento stabilní polohu uvnitř prvního ochranného pouzdra **4**. Obdobně může být zajištěn druhý permanentní magnet **7** ve druhém ochranném pouzdře **5**.

Pod dolním plovákem **8** je k nosné tyči upevněn druhý permanentní magnet **7**, s výhodou opatřený druhým pouzdrem **5** pro jeho ochranu před korozivními účinky. Druhý permanentní magnet **7** může mít rovněž prstencovitý tvar, jehož středem prochází nosná tyč **2**.

První permanentní magnet **6** a druhý permanentní magnet **7** jsou navzájem přivráceny opačnými póly tak, aby se navzájem přitahovaly.

Nosná tyč **2** je v tomto příkladném provedení opatřena průběžným závitem (neznázorněno). S výhodou je vyrobená z nerezové oceli, alternativně lze použít i jiný korozivzdorný materiál, například kompozit.

Rovněž první a druhé pouzdro **5**, **7** jsou výhodou vyrobená z nerezové oceli, alternativně lze použít i jiný korozivzdorný materiál, například tenkostěnný plast, kompozit, sklolaminát apod.

Horní plovák **9** je upevněn k nosné tyči **2** pomocí dolní matice **91** s dolní podložkou **92** a horní matice **93** s horní podložkou **94**, mezi kterými je horní plovák **9** navléknut a přesně ustaven do požadované polohy na nosné tyči **2**.

Obdobně je na nosné tyči upevněn a ustaven i dolní plovák **8**.

Rovněž uzávěr **3** a druhé pouzdro **5** s druhým permanentním magnetem **7** lze na nosné tyči **2** ustavit a upevnit pomocí matic.

Všechny matice i podložky jsou s výhodou vyrobeny z korozivzdorného materiálu.

Všechny součásti zařízení jsou na výkrese zakresleny pouze schematicky. Je zřejmé, že mohou mít výrazně složitější tvary, například uzávěr **3** a/nebo okraje vypouštěcího otvoru **13** mohou být vytvořeny s dosedacím těsněním, případně i s dosedací obvodovou drážkou s těsněním apod.

Poloha dolního plováku **8** se předpokládá na nejnižší možné úrovni, současně ale musí být nad úrovní horního okraje vypouštěcího otvoru **121**, resp. vypouštěcího potrubí.

Princip a funkce zařízení je možné rozdělit na několik fází. Rychlost opakování (frekvence) cyklu otevření – uzavření – otevření je závislá jak na intenzitě přítoku vody do akumulčního prostoru, ve kterém se zařízení podle tohoto technického řešení nachází, tak na samotném objemu tohoto zásobního prostoru, resp. nastavení úrovně hladiny, při které se uzávěr otevře.

V první fázi, která je znázorněna na výkrese, uzávěr **3** uzavírá vypouštěcí otvor **13** v dutém dílci **1** a do výstupní komory **12** a tedy ani do vypouštěcího potrubí nepřitéká žádná kapalina. Naopak se kapalina hromadí v akumulčním prostoru a postupně vyplňuje vstupní prostor **11**. Během plnění se pozvolna zatápí dolní plovák **8**, ale díky působení vzájemné přitažlivé síly mezi prvním a druhým permanentním magnetem **6**, **7** nedochází k pohybu nosné tyče **2** s dolním plovákem **8** nahoru ani po

úplném zatopení dolního plováku **8** a tedy nedochází oddálením uzávěru **3** k otevření přepouštěcího otvoru **13**, takže odtok je stále nulový.

Při postupném zvyšování hladiny vody až po horní plovák **9** je stále odtok nulový, ale v okamžiku, kdy dojde k zatopení části horního plováku **9**, dojde k překonání hydrostatické síly a přitažlivé síly zajištěné permanentními magnety **6**, **7**. Překonáním obou sil dochází k vynesení horního plováku **9** směrem vzhůru a vzhledem k pevnému spojení soustavy uzávěr **3** – druhý permanentní magnet **7** – dolní plovák **8** – horní plovák **9** pomocí nosné tyče dojde současně k oddálení uzávěru **3** od přepouštěcího otvoru **13** v dutém dílci **1**.

Okamžikem otevření přepouštěcího otvoru **13** nastává odtok kapaliny z akumulárního prostoru šachty, přičemž dochází ke snižování hladiny kapaliny v akumulárním prostoru. Již od vynesení horního plováku **9** vzhůru je tento v poloze nad hladinou. Při postupném snižování hladiny v akumulárním prostoru zajišťuje neuzavření uzávěru **3**, tedy polohu vzdálenou do přepouštěcího otvoru **13**, dolní plovák **8**.

V poslední fázi při dalším odtoku dále klesá hladina kapaliny v akumulárním prostoru a s ní i dolní plovák **8**, takže se uzávěr **3** přiblíží k přepouštěcímu otvoru **13** vlivem částečného vynoření dolního plováku **8**. Současně se druhý permanentní magnet **7** přiblíží k prvnímu permanentnímu magnetu **6**, a jakmile jejich magnetická síla převyší vztlakovou sílu dolního plováku **8**, dochází k jejich rychlému vzájemnému přitažení. V důsledku výše uvedeného pevného spojení soustavy dochází k rychlému přiblížení uzávěru **3** k přepouštěcímu otvoru **13** v dutém dílci **1**, čímž dojde k jeho uzavření a odtok je opět nulový. Akumulační prostor se opět může začít plnit vlivem pozvolna přitékající vody.

Z výše uvedené funkce zařízení vyplývá, že velikost dolního plováku **8** by měla být taková, aby vlivem hmotnosti uzávěru **13**, nosné tyče **2**, druhého pouzdra **5** s druhým permanentním magnetem **7** a horního plováku **9** v kombinaci s proudem odtékající kapaliny nedocházelo ke snížení polohy soustavy a k uzavření přepouštěcího otvoru **13** ještě před alespoň částečným vynořením dolního plováku **8**.

Horní plovák **9**, který je obdobně jako dolní plovák **8** ve výhodném provedení kruhový, je umístěn na nosné tyči **2** podle požadavku maximální hladiny, což je dáno výškovým uspořádáním akumulárního prostoru, v němž je zařízení umístěno. Velikost horního plováku **9** musí být taková, aby při zatopení jeho části došlo s podporou vztlaku působícího na dolní plovák **8** k otevření uzávěru **3** díky překonání hydrostatické síly vznikající sloupcem kapaliny a magnetické síly permanentních magnetů **6**, **7** a aby poté nedošlo k okamžitému uzavření přepouštěcího otvoru **13** uzávěrem **3** vlivem strhávající síly proudu odtékající kapaliny.

Technické řešení představuje jednoduché zařízení, které bez použití elektrické energie a přítomnosti obsluhy spolehlivě reaguje na úroveň hladiny tak, že při dosažení maximální nastavené hladiny otevře přepouštěcí otvor **13** a zajistí tak rychlé napouštění filtračního pole až do dosažení požadované minimální úrovně hladiny.

Řešení představuje velice jednoduché a finančně nenáročné provedení, které je navíc díky nastavitelnosti polohy plováků **8**, **9** snadno seřiditelné a nastavitelné, disponuje minimálními rozměry z pohledu půdorysného uspořádání a umožňuje vypouštění v neomezeném rozsahu úrovně hladin. Své uplatnění nalezne zejména jako součást pulzně ovládaných filtračních polí kořenových čistíren a zemních filtrů a v dalších oblastech čištění odpadní vody filtrací nebo zařízení, kde je potřeba pravidelně automaticky měnit výšku hladiny.

Obdobně lze toto zařízení využít v případě pulzního vypouštění horizontálních filtračních polí, přičemž musí být umístěno v odtokové šachtici za filtračním polem. Při dosažení maximální úrovně

hladiny, dané uspořádáním horizontálního pole, se voda automaticky začne z odtokové šachty vypouštět a zajistí se tedy přeměna klasického horizontálního pole na filtrační pole s proměnlivou úrovní hladiny, vykazující vyšší čistící účinnost ve většině sledovaných parametrů.

Ačkoli byla popsána řada příkladných provedení, je zřejmé, že odborník z dané oblasti snadno nalezne další možné alternativy k těmto provedením. Proto rozsah vynálezu není omezen na tato příkladná provedení, ale spíše je dán definicí přiložených patentový nároků.

5.4.6 Průmyslová využitelnost

Zařízení k automatickému vypouštění vody z nádrže představuje jednoduché a finančně nenáročné provedení umožňující automatické rychlé vypouštění vody z akumulární nádrže po dosažení definované maximální spouštěcí hladiny; nalezne využití zejména před filtračními poli vertikálních kořenových čistíren a zemních filtrů, za horizontálními kořenovými čistírnami, za stabilizačními nádržemi a v dalších oblastech čištění odpadní vody. Zařízení lze využít i v oborech souvisejících s požadavkem automatické a rychlé výměny vody v zásobním prostoru, například v zahradnictví, v pěstitelských stanicích, šlechtitelských zařízeních a okrasných architektonických prvcích.

5.4.7 Nároky na ochranu

1. Zařízení pro automatické rázové vypouštění kapaliny, **vyznačující se tím, že** zahrnuje

- dutý dílec (1), ve kterém je uspořádána vstupní prostor (11) a výstupní komora (12), které jsou navzájem propojené přepouštěcím otvorem (13), přičemž vstupní prostor (11) zahrnuje alespoň jeden vstupní otvor a výstupní komora (12) zahrnuje výstupní otvor,
- nosnou tyč (2), která je s možností vertikálního posuvu zasazená svým dolním koncem do vstupního prostoru (11) výstupní komory (12),
- uzávěr (3), který je upevněný na nosné tyči (2) při jejím dolním konci a uzpůsobený pro uzavírání přepouštěcího otvoru (13),
- horní plovák (9) upevněný na nosné tyči (2) při jejím horním konci,
- dolní plovák (8) upevněný na nosné tyči pod horním plovákem (9) a s odstupem od něj,
- první permanentní magnet (6) upevněný k dutému dílci (1) a
- druhý permanentní magnet (7) upevněný k nosné tyči (2) protilehle vzhledem k prvnímu permanentnímu magnetu (6) tak, že v poloze, v níž uzávěr (3) uzavírá přepouštěcí otvor (13) na sebe první permanentní magnet (6) a druhý permanentní magnet (7) působí navzájem přitažlivou silou.

2. Zařízení podle nároku 1, **vyznačující se tím, že** první permanentní magnet (6) a / nebo druhý permanentní magnet (7) je opatřený korozivzdorným pouzdem (4, 5).

3. Zařízení podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím, že** dolní plovák (8) je upevnitelný na nosné tyči (2) v alespoň dvou výškových pozicích.

4. Zařízení podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím, že** horní plovák (9) je upevnitelný na nosné tyči (2) v alespoň dvou výškových pozicích.

5. Zařízení podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím, že** nosná tyč (2) je opatřená průběžným vnějším závitem.

6. Zařízení podle nároku 5, **vyznačující se tím, že** horní plovák (9) je upevněný na nosné tyči mezi dvojicí matic s podložkami.

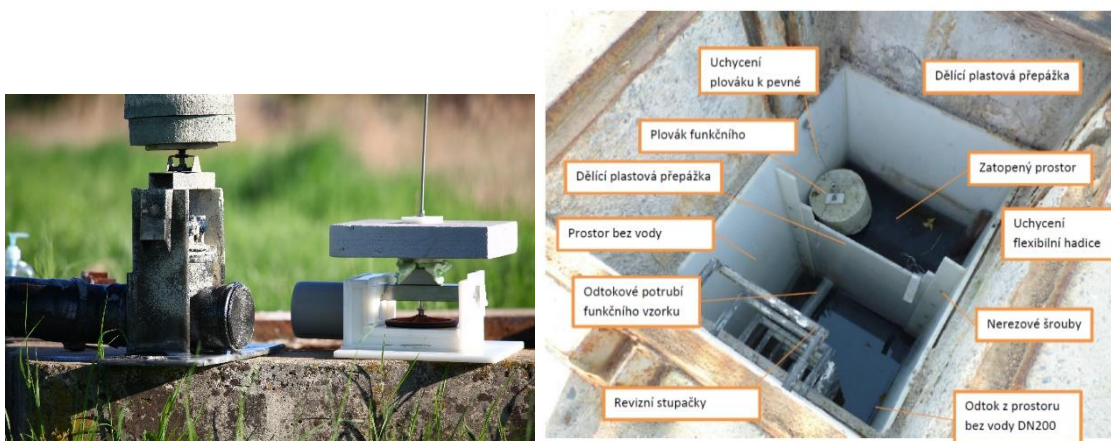
7. Zařízení podle nároku 5 nebo 6, **vyznačující se tím, že** dolní plovák (8) je upevněný na nosné tyči mezi dvojicí matic s podložkami.

8. Zařízení podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím, že** první permanentní magnet (6) a / nebo druhý permanentní magnet (7) mají prstencový tvar, jehož středem prochází nosná tyč (2).
9. Zařízení podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím, že** horní plovák (9) a / nebo dolní plovák (8) mají kruhový tvar, jehož středem prochází nosná tyč (2).
10. Zařízení podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím, že** druhý permanentní magnet (7) je opatřený druhým korozivzdorným pouzdem (5), které je uzpůsobené pro vedení směru pohybu nosné tyče (2).
11. Zařízení podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím, že** první permanentní magnet (6) je opatřený prvním korozivzdorným pouzdem (4), které je vyplněné montážní pěnou tak, že montážní pěna zcela obklopuje první permanentní magnet (6), a / nebo je druhý permanentní magnet (7) opatřený druhým korozivzdorným pouzdem (5), které je vyplněné montážní pěnou tak, že montážní pěna zcela obklopuje druhý permanentní magnet (7),

5.4.8 Uplatnění v praxi

Jediný funkční vzor zařízení byl realizován v roce 2015 na kořenové čistírně odpadních vod v obci Dražovice (Obr. 15 A). Umístění funkčního vzoru bylo podloženo smlouvou o využití výsledku s obcí Dražovice. Zařízení bylo instalováno za druhým filtračním polem s horizontálním průtokem. Rozkolísáním hladiny ve filtračním poli se zajistilo zvýšení čistící účinnosti v parametru amoniakální dusík. Přesto, jelikož postupně vlivem snížení hladiny podzemní vody v obci a tedy eliminaci balastních vod, dochází pozvolna k zakoncentrování odpadních vod na přítoku. Čistírna byla v následujícím roce částečně zrekonstruována, nicméně zařízení bez poruchy sloužilo do poloviny roku 2019, kdy bylo zcela vyjmuto z revizní šachty (Obr. 15 B). V první polovině roku 2019 došlo k dokončení rekonstrukce ČOV na moderní přírodní vícestupňovou čistírnu, zařízení by komplikovalo přečerpávání vody na nově realizovaný vertikální filtr.

Užitný vzor licencován na začátku roku 2020.



Obr. 15 Pohled na zařízení bezprostředně A) před a B) po instalaci (funkční vzor, Dražovice)

5.5 AERACE VERTIKÁLNÍHO FILTRU

Kompletní název: Sestava pro nucenou aeraci vertikálního skrápěného filtru

Při řešení výzkumných úkolů se ukázalo, že vertikální filtry jsou výrazně účinnějšími než filtry horizontální. Proto se hledala cesta, jak intenzitu filtrů ještě zvýšit. Nucená aerace prostřednictvím ostrovního systému coby zdroje elektrické energie se nabízela jako jedna z cest.

Užitný vzor vznikl v rámci výzkumného projektu MPO TIP FR-TI3/778. Přes velice pozitivní výsledky nebyl užitný vzor licencován a nebyl v praxi využit. Přes jeho značné stáří je ale jeho budoucnost slibná, s největší pravděpodobností bude zahrnut v několika projektových dokumentacích, tudíž lze předpokládat licenční smlouvu na využití podle užitného vzoru.

Základní bibliografie

Číslo přihlášky	2015-31311
Číslo zápisu	29181
Datum podání	13.07.2015
Název	CS: Sestava pro nucenou aeraci vertikálního skrápěného filtru EN: Assembly for forcible arrestment of vertical percolating filter
Přihlašovatel/Majitel	Vysoké učení technické v Brně, Antonínská 548/1, 601 90 Brno, Česká republika
Původce	Ing. Miroslava Němcová, Holešov - Tučapy, Česká republika Ing. Michal Kriška Dunajský, Ph.D., Prostějov, Česká republika
Zástupce	KANIA SEDLÁK SMOLA patentová kancelář, Ing. Veronika Zemanová, Mendlovo nám. 1a, 603 00 Brno, Česká republika
MPT	C02F3/04
Datum zápisu	22.02.2016
Datum zveřejnění zápisu	02.03.2016
Stav	Platný dokument
Druh	PUV - národní s žádostí o zapsání do rejstříku

5.5.1 Oblast techniky

Navržené technické řešení se týká zařízení pro nucenou aeraci vertikálního skrápěného filtru a vertikálních kořenových čistíren, fungujícího, po instalaci a seřízení, bez nutnosti další údržby a přívodu elektrické energie tak, že filtrační zařízení vykazuje vyšší účinnost odstranění znečištění po celou dobu životnosti tohoto zařízení. Pro vzdušňovací zařízení je umístěno ve svislé šachtě za vertikálním filtrem a je tvořené ventilátorem, který je přes svislé potrubí a T-kus napojen na potrubí přivádějící odpadní vodu z filtračního pole. Ventilátor je poháněn fotovoltaickým panelem, který je umístěn na speciálně upraveném poklopu šachty. Fotovoltaický panel pak pomocí sluneční energie, tedy bez potřeby nutnosti přívodu elektrické energie, pohání ventilátor umístěný v šachtě pod poklopem s mřížkou, který přivádí přes soustavu potrubí vzduch až do filtračního pole kořenové čistírny odpadních vod a tím přispívá k lepší čistící účinnosti, především při odstranění amoniakálního dusíku.

5.5.2 Dosavadní stav techniky

Kořenové čistírny odpadních vod a zemní filtry patří mezi varianty technologického řešení pro čištění odpadních vod. Jako celek jsou tato čistírenská zařízení tvořena několika stupni, přičemž za hlavní čistící stupeň je považován samotný filtr. Filtrační prostředí u klasických kořenových čistíren, které se v České republice používají od 90. let 20. století, velice často trpí nedostatečným účinkem při odstraňování amoniakálního dusíku (N-NH_4^+). Snížené účinnosti vykazují zejména kořenové čistírny s uplatněným horizontálním prouděním, resp. vertikálním prouděním ve směru vzhůru. Důvodem nízké účinnosti je nedostatek kyslíku ve filtračním prostředí, které je zatopeno odpadní vodou a kyslík se do přítomné vody dostává pouze přestupem přes hladinu společně se slabým přispěním přítomných mokřadních rostlin.

Stávající legislativa požaduje po čistírenských zařízeních, aby na odtoku byly koncentrace $N-NH_4^+$ do průměrné hodnoty $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (dle N.V. 401/2015 Sb.). Takto nízkých koncentrací lze pomocí horizontálně protékaného filtračního pole dosáhnout pouze ve výjimečných případech, kdy jsou např. přitékající odpadní vody silně naředěné.

Jedinou variantou popsaných kořenových čistíren a zemních filtrů, které jsou schopny úspěšně odstranit i vyšší koncentrace $N-NH_4^+$, je zařízení využívající vertikální proudění ve směru dolů, ovšem za dodržení několika dalších technických parametrů. Asi nejdůležitějším faktorem je pulzní (nepravidelné, nerovnoměrné) ovládání, resp. napouštění potrubí, které rozvádí odpadní vodu po povrchu filtrační náplně, přičemž odpadní voda po opuštění potrubí postupně pozvolna prokapává vlhkým prostředím filtrační náplně až po sběrné potrubí, uložené ve spodní části filtru na hydroizolaci.

Druhým nejdůležitějším faktorem je zajištění dostatečného množství kyslíku ve filtrační náplni, tvořenou pórovitým materiálem většinou přírodního charakteru. Přísun vzduchu do pórovitého materiálu by měl zajišťovat dostatečné množství kyslíku pro odbourání $N-NH_4^+$, k čemuž přispívá také perforované potrubí, ukládané na dně samotné filtrační náplně. Praxe však ukazuje, že otvory nejsou vzduch schopny přivádět samovolně, proto se jeví jako vhodnější řešení pro vyšší účinnost filtru buď půdorysně větší uspořádání, anebo přítomnost jiného technického zařízení, které zajistí dostatečné množství přiváděného vzduchu. Obě řešení se pro investora a provozovatele jeví jako nevýhodná, protože větší půdorysné uspořádání je sice fungující, ale investičně nákladnější řešení. Druhá varianta s uplatněním technického řešení vyžaduje přívod elektrické energie včetně příslušenství a dmychadlo, zajišťující dlouhodobě spolehlivý provoz, ovšem opět za cenu vysoké investice a průběžně rostoucích provozních nákladech (spotřeba elektřiny, opravy).

5.5.3 Podstata technického řešení

Výše uvedené nedostatky, tedy nízkou účinnost zařízení dané malou výměnou vzduchu, společně s minimálními provozními náklady a nutností minimální obsluhy, řeší zařízení určené k výše popsanému účelu – nucený přívod vzduchu do spodní části filtrační náplně vertikálních filtrů a vertikálních kořenových čistíren za současně minimálních nároků na obsluhu, doprovázené minimálními provozními náklady bez nutnosti přívodu elektrické energie.

Takovéto zařízení pro nucený přívod vzduchu zahrnuje následující technické řešení:

- svislou šachtu, v jejíž stěně jsou ve spodní části dva protilehlé otvory – jeden přivádějící vodu průtokem s volnou hladinou z vertikálního filtru do šachty a druhý otvor odvádějící vodu z šachty na další zařízení zapojené v sérii,
- poklop šachty, který je rozdělen na dvě poloviny, které jsou spojeny panty: první polovina poklopu je pohyblivá, tedy umožňuje vstup do šachty; druhá polovina poklopu je uvažována jako statická, případně trvale připojena k šachtě, v této části poklopu je vložena mřížka, pod níž je v šachtě umístěn ventilátor a která slouží k přístupu čerstvého vzduchu do šachty, respektive k ventilátoru, současně je na této polovině poklopu šachty, nad mřížkou, umístěn fotovoltaický panel, tak aby sloužil jako ochrana před mřížkou, před kapalnými i pevnými srážkami či zanesením např. od listí.
- svislé potrubí uvnitř šachty, které je přes odbočovací T-kus napojeno na potrubí přivádějící do šachty vodu, přičemž spodní konec T-kusu je zaústěn nade dnem šachty tak, aby byl umožněn odtok do prostoru šachty a současně tak, aby spodní konec byl vždy pod vodní hladinou, na svislé potrubí je dle potřeby napojeno redukční potrubí, na němž je pomocí těsnící pěnové hmoty uchycen ventilátor, který je opět pomocí těsnící pěnové hmoty připevněn k poklopu šachty přesně pod větrací mřížkou
- ventilátor, umístěný na svislém potrubí, výkonově vyhovující napětí, proudu

a maximálnímu výkonu fotovoltaickému panelu, zapojený přímo bez regulace napětí na fotovoltaický panel,

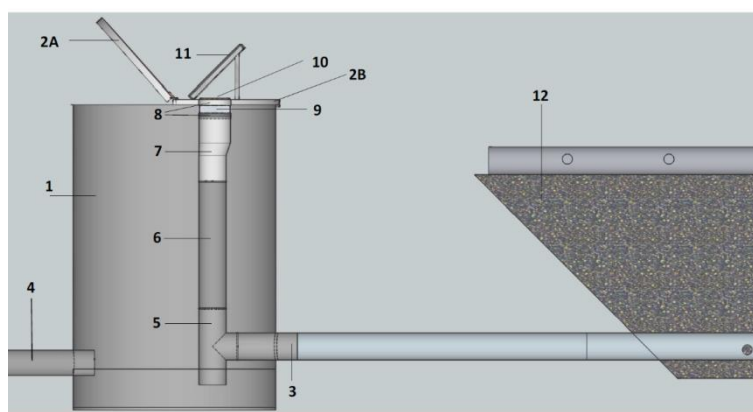
- fotovoltaický panel o malých rozměrech, pevně připojen k poklopu na šachtě ve sklonu 45° vůči poklopu šachty,

- drenážní potrubí pro přívod vzduchu s otvory po 25 cm o průměru 2,0 cm jsou od sebe vzdáleny max. po 200 cm.

S výhodou je celé řešení provedeno z plastových komponentů, šachta z pohledu dlouhodobé životnosti nejlépe z materiálu PP nebo PE, potrubí pro lepší zpracovatelnost a přichycení k šachtě taktéž z PP-HT.

5.5.4 Objasnění obrázků na výkrese

Příkladné provedení zařízení podle tohoto technického řešení je znázorněno na přiložených schématech.



Obr. 16 Schéma aerační šachty s napojením na drenážní potrubí vertikálního filtru

5.5.5 Příkladné provedení technického řešení

Příkladné provedení zařízení (Obr. 16) zahrnuje svislou PP nebo PE šachtu 1, v jejíž stěně jsou ve spodní části dva protilehlé otvory pro uložení potrubí. První z potrubí 3 uložené v otvoru přivádí vodu průtokem s volnou hladinou z vertikálního filtru do šachty 1. Druhé potrubí 4 odvádí gravitačně vodu z šachty 1 na další zařízení zapojené v sérii. Osa odtokového potrubí 4 je níž, než osa přítokového potrubí 3.

Přes T-kus 5 je na přítokové potrubí 3 napojen svislý kus potrubí 6 potřebné délky dle velikosti šachty, na který v případě potřeby navazuje redukční kus potrubí 7. Na konci celé této sestavy, tedy k redukci 7, respektive svislému kusu 6, je pomocí těsnící pěnové hmoty 8, připevněn ventilátor 9 potřebných rozměrů a výkonu. Ventilátor 9 je opět pomocí těsnící pěnové hmoty 8 přichycen k poklopu šachty 2B, přímo pod větrací mřížkou 10.

T-kus 5 je třeba umístit tak, aby jeho spodní svislý konec zasahoval pod hladinu vody v šachtě 1. Tím se zaručí, že vzduch vháněný ventilátorem 9 bude postupovat přívodním potrubím 3 do filtračního pole kořenové čistírny 12. Pokud by svislý spodní konec T-kusu 5 nezasahoval pod hladinu, procházel by vzduch skrz celou svislou sestavu tvořenou redukcí 7, potrubím 6, T-kusem 5 zpět do šachty 1. Současně musí T-kus 5 umístěn v dostatečné vzdálenosti nad dnem šachty 1, aby byl umožněn odtok odpadní vody z kořenového pole do šachty 1.

Poklop šachty 2 je rozdělen na dvě poloviny, které jsou spojeny nerezovými panty. První polovina poklopu je pohyblivá 2A, tedy umožňuje vstup do šachty, druhá polovina poklopu je uvažována jako

statická 2B a slouží k uchycení fotovoltaického panelu 11, pod kterým je v poklopu šachty vložena mřížka 10, pod níž je v šachtě umístěn ventilátor 9, a která slouží k přístupu čerstvého vzduchu do šachty, respektive k ventilátoru 9.

Fotovoltaický panel malých rozměrů 11, dle požadavku na výkon ventilátoru, je vůči poklopu šachty 2B umístěn pod úhlem 45° a otočen tak, aby na něj během dne dopadalo co nejvíce slunečního záření. Fotovoltaický panel 11 je zdrojem elektrické energie pro pohánění ventilátoru 9. Fotovoltaický panel 11 současně slouží jako ochrana větrací mřížky 10 a ventilátoru 9 před dešťovými i sněhovými srážkami a také před zanesením od možného znečištění, např. listí spadlé ze stromů.

Ventilátor 9, umístěný pomocí těsnící pěnové hmoty 8 na svislé sestavě T-kusu 5, potrubí 6 a redukce 7, výkonově vyhovuje napětí, proudu a maximálnímu výkonu fotovoltaickému panelu 11, a je na něj zapojený přímo bez regulace napětí.

Díky tomuto zapojení dochází během dne k provzdušňování filtračního pole kořenové čistírny, což má pozitivní vliv na zvýšení čistící účinnosti, především při odstranění amoniakálního dusíku. Celá tato sestava navíc funguje bez elektrické energie, a tak je její instalace možná prakticky kdekoli.

5.5.6 Průmyslová využitelnost

Zařízení pro nucenou aeraci vertikálního filtru kořenové čistírny odpadních vod představuje jednoduché a finančně nenáročné provedení umožňující bez nutnosti využití elektrické energie přivod vzduchu do filtračního pole a tím zvyšuje čistící účinnost tohoto filtru; nalezne využití zejména u filtračních polí vertikálních kořenových čistíren a zemních filtrů a v dalších oblastech čištění odpadní vody. Zařízení lze využít i v dalších oborech, kde je kladen požadavek na provzdušnění materiálu a současně není možnost přívodu elektrické energie.

5.5.7 Nároky na ochranu

1. Zařízení pro nucenou aeraci vertikálního filtru kořenové čistírny odpadních vod, vyznačující se tím, že zajistí zvýšení čistící účinnosti vertikálních filtrů kořenových čistíren pomocí přívodu vzduchu do spodní části filtračního pole.

2. Zařízení pro nucenou aeraci vertikálního filtru kořenové čistírny odpadních vod, vyznačující se tím, že využívá fotovoltaickou energii solárního panelu přímo k pohonu provzdušňovacího zařízení, zajišťujícího zvýšený přísun vzduchu do filtračního pole kořenové čistírny odpadních vod.

3. Zařízení pro nucenou aeraci vertikálního filtru kořenové čistírny odpadních vod, vyznačující se tím, že zahrnuje

- svislou šachtu (1), se dvěma otvory pro potrubí – přívodní potrubí (3), které do šachty dopravuje vyčištěnou odpadní vodu z filtračního pole, a odtokové potrubí (4), které z šachty odvádí odpadní vodu do recipientu nebo na další čistící zařízení; kdy v této šachtě (1) je na přívodním potrubí (3) umístěna pomocí T-kusu (5) svislá sestava potrubní ukončena v horní části ventilátorem (9), zajišťujícím přísun vzduchu do filtračního pole

- speciálně upravený poklop šachty (2), který je rozdělen na dvě části – pohyblivou (2A) spojenou s šachtou pomocí pantů z korozivzdorného materiálu a statickou (2B), na níž je vhodným způsobem přichycen fotovoltaický panel (11), pod nímž se v poklopu šachty nachází větrací mřížka (10)

4. Zařízení podle nároku 3, vyznačující se tím, že zapojení trubních kusů svislé provzdušňovací sestavy se skládá z T-kusu (5) připojeného na přívodní potrubí (3) ústící do šachty, ze svislého kusu (6) potrubí potřebné délky napojeného na T-kus (5), na svislé potrubí (6) je v případě potřeby

napojena redukce (7), na kterou je pomocí těsnící pěnové hmoty (8) umístěn ventilátor (9), který je pomocí těsnící pěnové hmoty (8) připevněn ze spodní strany k pevné části poklopu (2B).

5. Zařízení podle nároku 4, vyznačující se tím, že T-kus (5) napojený na přívodní potrubí (3) má spodní část umístěnou pod vodní hladinou, ale současně v takové vzdálenosti ode dna šachty, aby mohla odpadní voda odtékat.

6. Zařízení podle kteréhokoli z předcházejících nároků, vyznačující se tím, že pohon ventilátoru (9) zajišťuje fotovoltaický panel (11).

7. Zařízení podle nároku 3, vyznačující se tím, že fotovoltaický panel (11) umístěný na pevné části (2B) poklopu tvoří ochranu mřížky (10), která je umístěna pod ním.

5.5.8 Uplatnění v praxi

Systém popsany v užitém vzoru přišel v nesprávnou chvíli. Složitost prosazení samotných vertikálních filtrů způsobila vytlačení dalších možností zefektivnění účinnosti na okraj zájmu. Z tohoto důvodu nebylo možné prosadit u žádného výrobce čistíren odpadních vod prvek do výrobního programu. Nebylo možné přesvědčit výrobce, že se po ekonomické stránce oplatí zahájit výrobu, tudíž samotné zařízení zůstalo pouze u ověřeného funkčního vzorku. Funkčnost byla ověřena sezónním měřením na výzkumném pozemku Ústavu vodního hospodářství krajiny (Obr. 17), výsledky jsou zpracované v rámci obhájené bakalářské práce (Roupec, 2015).



Obr. 17 Pohled na improvizované řešení testovacího zařízení pro ostrovní aerační systém

5.6 DENITRIFIKAČNÍ VERTIKÁLNÍ BIOREAKTOR

Na základě předešlých pozitivních výsledků, souvisejících s účinnou nitrifikací na vertikálním filtru s vegetací, byl vyřešen problém s odstraňováním amoniakálního dusíku. Jelikož finálním produktem nitrifikace je dusičnan, bylo přistoupeno k řešení odstraňování dusičnanů. Jednou z možností, jak pomocí přirozeného přírodního řešení odstranit dusičnany z odpadní vody, je uspořádání prostřednictvím denitrifikačních bioreaktorů.

Užitný vzor vznikl v rámci výzkumného projektu NAZV, ozn. QJ1520280. Přes velice pozitivní výsledky nebyl užitný vzor licencován a kromě poloprovodního zařízení nebyl v praxi využit.

Základní bibliografie

Číslo přihlášky	2016-33030
Číslo zápisu	30185
Datum podání	09.11.2016
Název	CS: Denitrifikační vertikální bioreaktor EN: Vertical denitrifying bioreactor
Přihlašovatel/Majitel	Vysoké učení technické v Brně, Antonínská 1, 601 90 Brno, Česká republika

	DEKONTA, a.s., Dřetovice 109, 273 42 Stehelčevy, Česká republika
Původce	Ing. Michal Křiška Dunajský, Ph.D., Prostějov, Česká republika Ing. Karel Hrich, Ph.D., Říčany, Česká republika doc. Ing. Jitka Malá, Ph.D., Brno - Nový Lískovec, Česká republika Ing. Miroslava Němcová, Holešov - Tučapy, Česká republika Ing. Michal Šereš, Ph.D., Praha 6 - Řepy II, Česká republika Ing. Tereza Hnátková, Ph.D., Praha 6, Česká republika
Zástupce	INPROCHES Patentová a známková kancelář, Mgr. Alžběta Jurtíková, patentová zástupkyně, Mezírka 1, 602 00 Brno, Česká republika
MPT	B01D24/02, B01D24/14, B01D39/04, C02F3/30
CPC	B01D24/02, B01D24/14, B01D39/04, C02F3/30
Datum zápisu	20.12.2016
Datum zveřejnění	28.12.2016
Stav	Platný dokument
Druh	PUV - národní s žádostí o zapsání do rejstříku

5.6.1 Oblast techniky

Technické řešení se týká denitrifikačního vertikálního bioreaktoru pro odstraňování dusíkatých látek přirozenou cestou s využitím přírodního filtračního materiálu, v místě jejich vzniku či vstupu z vod, odtékajících zejména ze zemědělsky obhospodařovaných ploch, a to jak povrchovým odtokem, tak drenážním systémem.

5.6.2 Dosavadní stav techniky

Dusíkaté látky ze zemědělsky obhospodařovaných ploch, vznikající při procesu pěstování a hnojení plodin, vlivem intenzivního chovu hospodářských zvířat apod., kontaminují vodní ekosystémy a působí zhoršování kvality podzemní i povrchové vody, přičemž v případě podzemních vod může docházet ke zhoršování kvality potenciální pitné vody, resp. v případě povrchových a stojatých vod může docházet k eutrofizaci. Existují dva vzájemně se doplňující přístupy minimalizující zatížení povrchových vod dusíkatými látkami: omezování vstupů dusíku do krajiny (např. omezování hnojení nebo jeho změna) a zachycování vod s doplněnou úpravou vod kontaminovaných, probíhající většinou daleko od místa vzniku. I při omezování vstupu dusíku ze zemědělství do životního prostředí nelze s ohledem na potřebu zemědělsky udržitelného systému zcela zabránit úniku dusíku vstupujícího do systému smyvem z polí a pastvin, podpovrchovým odtokem apod.

Na území České republiky bylo v minulosti vybudováno přes 1,1 mil. ha zemědělského odvodnění. Drenáž se uplatňuje rovněž při transportu chemických látek z pozemku a je z tohoto důvodu začleněna do směrnic souvisejících s ochranou vodní složky krajiny, např. tzv. Nitrátová směrnice podle novelizací Nařízení vlády 103/2003 Sb. Drenáž odvodňující zamokřené zemědělské plochy zajistí sice možnost intenzivního obdělávání dotčené plochy zemědělskými plodinami, nicméně s rychle odváděnou vodou může způsobovat rychlejší transport dusičnanů v půdě a tedy vytvářet značné problémy v kvalitě vody popsané výše.

Inovativní technologickou metodou pro snižování množství dusičnanů ve vodách jsou denitrifikační bioreaktory, využívající denitrifikaci coby mikrobiální proces, při kterém jsou dusičnany redukovány na N_2 nebo N_2O v přirozených anoxických až anaerobních podmínkách za současného využití organické látky jako zdroje organického uhlíku a tzv. „donoru elektronů“, tzn., materiál vytváří příznivé prostředí pro rozvoj denitrifikačních mikroorganismů.

Technologie spočívá v umístění denitrifikačních bariér v místech s největším únikem dusičnanových iontů do vodních toků či do podzemních vod. 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, hobliny, štěpka, mulč, atd. Dusík je tímto způsobem z vody odstraňován.

Technologie denitrifikačních reaktorů je vysoce účinná technologie odstraňování dusičnanových iontů z vody, která zároveň představuje malé finanční nároky na realizaci zařízení, minimální provozní náročnost a současně negativně neovlivňuje vzhled okolní krajiny. Tato technologie je vhodným řešením zejména pro malé farmy a zemědělská zařízení, v případě tohoto technického řešení se jedná o zapojení na drenážní soustavu, budovanou zejména ve druhé polovině 20. století.

Denitrifikační reaktory se ve světě používají od 90. let 20. století. Mezi základní nedostatky tohoto zařízení patří negativní ovlivnění kvality vody vlivem výluhů z organického materiálu do protékající vody. Při pomalých průtocích vody dochází ke zhoršení kvality odtékající vody a při zvýšeném průtoku dochází ke snížené účinnosti odstranění dusičnanových iontů.

5.6.3 Podstata technického řešení

Výše uvedené nedostatky související s proměnlivou účinností systému a zhoršení kvality vody řeší vertikální bioreaktor podle technického řešení pro odstranění dusíkatých látek z podzemního odtoku ze zemědělské půdy přímo v místě jeho vzniku napojením na odtokové potrubí stávajícího melioračního systému, zaměřující se na měnící se dobu zdržení vody v reaktoru podle intenzity průtoku.

Předmětem technického řešení je denitrifikační vertikální bioreaktor pro odstraňování dusíkatých látek v místě jejich vzniku či vstupu z vod, odtékajících zejména ze zemědělsky obhospodařovaných ploch, a to jak povrchovým odtokem, tak drenážním systémem, přičemž hlavní část systému plní funkci odstraňování dusičnanů z protékající vody prostřednictvím vertikální filtrace směru dolů skrze pórovitý organický filtrační materiál.

Denitrifikační vertikální bioreaktor podle technického řešení je tvořen soustavou na sebe navazujících prvků vytvářejících po hydraulické stránce jeden celek. Je tvořen v horní části horizontálním postupně směrem od přítoku snižujícím se distribučním potrubím, které může případně vycházet z první drenážní šachty, zajišťující nátok vody na bioreaktor, které podle intenzity přítoku rozvádí vodu na předem určený počet infiltračních míst. Distribuční potrubí je opatřeno po celé délce vypouštěcími otvory a vertikálními přepážkami, které zajišťují hydraulický přetlak v každém vypouštěcím otvoru. Otvory jsou uplatňovány postupně od nejbližšího ve směru vodního toku; se zvyšujícím průtokem se postupně využívá vyšší počet otvorů. Nad každou přepážkou je vždy vyveden k povrchu terénu kontrolní komínek, který umožňuje provozovateli kontrolovat bezporuchovost systému a zároveň čistotu jednotlivých otvorů.

Distribuční potrubí je napojeno na filtrační těleso, nacházející se pod tímto potrubím, pod úrovní terénu, aby nebylo nutné znečištěnou vodu přečerpávat. Filtrační těleso je vyplněné pórovitým filtračním materiálem. Horní vrstva filtračního tělesa je tvořena filtračním materiálem o větší velikosti částic, než materiál ve střední části filtračního tělesa, čímž dochází k rovnoměrnému rozdělení vod na nátok a minimalizaci rizika kolmatace. Filtrační materiál ve střední části filtračního tělesa je tvořen organickým substrátem, např. dřevní štěpkou, hoblinami, mulčem a podobně, nspecifikovaného druhu dřevin. Ve spodní části filtračního tělesa bioreaktoru se bezprostředně pod filtračním materiálem střední části nachází přechodový filtr tvořený minerálním materiálem o zrnitosti hrubší, než je zrnitost filtračního materiálu střední části filtračního tělesa.

Pod přechodovým filtrem se nachází drenážní vrstva, v které je uloženo sběrné drenážní potrubí opatřené otvory, odvádějící již vyčištěnou vodu skrze hydroizolační fólii přírubovým prostupem dále do regulační šachty, jejíž odtok je vyveden do vhodného recipientu. Drenážní vrstva je tvořená

minerálním materiálem o vyšší velikosti částic, než jsou otvory drenážního potrubí. Samotné filtrační těleso je hydraulicky izolované od okolního prostředí pomocí hydroizolační fólie oboustranně chráněné vhodnou geotextilií, vedoucí pod samotným tělesem bioreaktoru, pod drenážní vrstvou.

Distribuční potrubí je podepřeno pomocí svislých podpěr, umístěných ve vertikálním směru přes hlavní filtrační těleso pod každou přepážkou. Svislé podpěry mohou být tvořeny např. dřevěným hranolem.

Čištěná voda s obsahem dusičnanů po opuštění distribučního potrubí odtéká prostřednictvím otvorů v distribučním potrubí na filtrační materiál organického původu hlavního filtračního tělesa, kterým se filtruje směrem k drenážnímu potrubí, přičemž během procesu filtrace dochází k postupnému odstranění dusičnanů.

Vyčištěná voda drenážním potrubím odtéká do regulační šachty, umístěné mimo bioreaktor, jejíž horní okraj je nad úrovní terénu. Vnitřní prostor bioreaktoru je propojen s regulační šachtou odpadním potrubím, které vytváří systém dvou spojených nádob. V regulační šachtě nejprve protéká voda svislou částí odpadního potrubí a následně vytéká z tohoto potrubí menšími vypouštěcími otvory ve svislé části tohoto potrubí, přičemž výše umístěné otvory nejsou při běžném provozu využity, resp. jsou využity pouze při zvýšených průtocích systémem. Vypouštěcí uzávěry jsou dimenzovány tak, že určují podle intenzity přítoku úroveň hladiny ve vnitřním prostoru bioreaktoru, přičemž horní okraj svislého potrubí vytváří svou polohou bezpečnostní přeliv, je tedy pod úrovní terénu nebo hlavního filtračního materiálu. Počet výpustí a velikost vypouštěcích otvorů závisí na přítoku a úrovni čištěné vody ve filtračním prostoru bioreaktoru.

Regulační šachta může být ve výhodném provedení umístěna i ve vnitřním prostoru bioreaktoru), její horní okraj ale musí být nad úrovní terénu. Při uspořádání takovém, kdy je šachta uvnitř samotného filtračního tělesa, může být napojena přímo na drenážní potrubí. Podle sklonu terénu může být v půdorysném pohledu před začátkem distribučního potrubí umístěna jako bezpečnostní prvek nízká sypaná hráz tvořená vhodnou frakcí kameniva, v provedení sloužícím jako ochrana filtračního tělesa před postupným ucpáváním potenciálním povrchovým smyvem, resp. přitékajícími nečistotami – zbytky organického materiálu zemědělských plodin, erozí půdy apod. Upravený povrch zemní sypané hrázky a případně i svrchní vrstvy nad bioreaktorem je možno osadit vhodnou travní směsí, optimálně směsí travin pro osev trávníků určených pro vsakování srážkových vod, případně rostlinnou vegetací cíleně pěstovanou v rámci lokality či původní vegetací v rámci lokality.

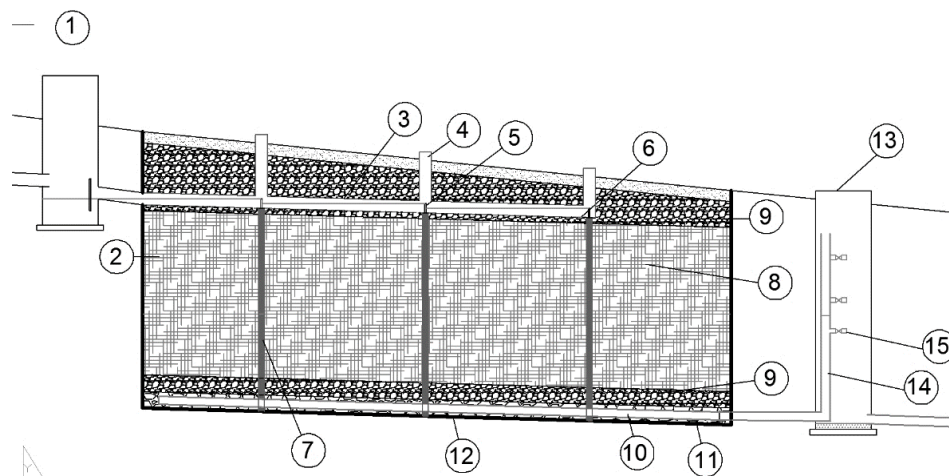
Princip technologie spočívá ve filtraci odtokové vody přes vrstvu vhodného organického materiálu (dřevní štěpka, kůra, hobliny, mulč apod.). Průtokem přes organický materiál vznikne za specifických podmínek anoxické prostředí, ve kterém dřevěný materiál slouží jako nosič a zároveň substrát pro růst fakultativně anaerobních bakterií. Činností bakterií dochází k denitrifikaci, kterou je možné v optimálním případě odstranit i více než 90 % dusičnanového dusíku. Odtok vyčištěné vody je realizován podzemním potrubím do vodoteče nebo rozlivem na povrch terénu nebo vsakovacím objektem nebo napojením na jiné navazující objekty.

Vertikální reaktor pro odstraňování dusičnanů ze zemědělských smyvů prostřednictvím filtrace organickým materiálem představuje jednoduché a finančně nenáročné provedení, umožňující bez nutnosti využití elektrické energie nebo technologicky složitějšího příslušenství zajistit v dostatečné míře dlouhodobě a spolehlivě odstranění dusičnanů.

5.6.4 *Objasnění obrázků na výkrese*

Denitrifikační bioreaktor podle technického řešení bude dále podrobněji vysvětlen pomocí příkladného provedení schematicky znázorněného na Obr. 18: 1 – první drenážní šachta, 2 – hlavní filtrační těleso,

3 – distribuční potrubí, 4 – kontrolní komínek, 5 – přepážky, 6 – vypouštěcí otvor, 7 – svislá podpěra, 8 – filtrační materiál hlavního filtračního tělesa, 9 – vrstva hrubého materiálu, tzv. přechodového filtru (pod i nad hlavním filtračním materiálem), 10 – drenážní potrubí, 11 – drenážní vrstva, 12 – izolační fólie (PE, PP, PVC), 13 – regulační šachta, 14 – odpadní potrubí, 15 – vypouštěcí otvory.



Obr. 18 Schématické znázornění umístění jednotlivých částí vertikálního bioreaktoru

Technické řešení je dále vysvětleno pomocí příkladu provedení, který však žádným způsobem neomezuje jiná možná provedení v rozsahu nároků na ochranu.

5.6.5 Příklad uskutečnění technického řešení

Denitrifikační vertikální bioreaktor tvoří několik na sebe navazujících prvků (Obr. 18). První drenážní šachta 1 je napojena na hlavní filtrační těleso 2 pomocí spojovacího distribučního potrubí 3, uloženém ve vrstvě přechodového filtru 9 tvořené částicemi minerálního materiálu o velikosti částic do 100 mm, jímž čistěná voda protéká ve vertikálním směru přes hlavní filtrační těleso 2 až k drenážnímu potrubí 10, kterým dále odtéká do regulační šachty 13 a následně do nezobrazeného recipientu. Horní vrstva filtračního tělesa 2 je tvořena pórovitým filtračním materiálem o velikosti částic v rozmezí 32/64 až 64/128 mm a velikost částic filtračního materiálu střední části hlavního filtračního tělesa 2 je 16/32 mm, kterým jsou dřevěné hobliny.

Distribuční potrubí 3 je rozděleno po celé délce pomocí vertikálních přepážek 5, které zajišťují hydraulický přetlak v každém vypouštěcím otvoru 6, vytvořeném podél distribučního potrubí 3. Otvory jsou uplatněny postupně od nejbližšího ve směru od první drenážní šachty 1; se zvyšujícím průtokem se postupně využívá vyšší počet otvorů 6. Nad každou přepážkou 5 je vždy vyveden k povrchu terénu kontrolní komínek 4, který umožňuje během provozování nebo neočekávaných situací kontrolovat bezporuchovost systému a čistotu otvorů 6. Distribuční potrubí 3 je podepřeno pomocí svislých podpěr 7, které tvoří dřevěné hranoly, umístěné ve vertikálním směru přes hlavní filtrační těleso 2 pod každou přepážkou 5.

Čistěná voda s obsahem dusičnanů po opuštění distribučního potrubí 3 odtéká prostřednictvím otvorů 6 v distribučním potrubí 3 na filtrační materiál 8 organického původu hlavního filtračního tělesa 2, kterým se filtruje směrem k drenážnímu potrubí 10, přičemž během procesu filtrace dochází k postupnému odstranění dusičnanů. Drenážní potrubí 10 je umístěno v hrubé drenážní vrstvě 11 tvořené minerálním materiálem o velikosti částic větší, než je velikost otvorů drenážního potrubí 10 nad níž je rozprostřena vrstva přechodového filtru 9 tak, aby bylo zajištěno nevyplavování filtračního materiálu 8 hlavního filtračního tělesa 2. Přechodový filtr je tvořen materiálem minerálního původu o velikosti částic do 100 mm. Filtrační těleso 2 je hydraulicky izolované od okolního prostředí pomocí

hydroizolační fólie 12 oboustranně chráněné vhodnou geotextilií, nacházející se pod samotným tělesem bioreaktoru, pod drenážní vrstvou 11.

Vyčištěná voda z drenážního potrubí 10 odtéká přes odpadní potrubí 14 do regulační šachty 13 umístěné mimo hlavní filtrační těleso 2, kde okraj šachty 13 je nad úrovní terénu, v níž nejprve protéká svislou částí odpadního potrubí 14 a následně vytéká z tohoto potrubí menšími vypouštěcími otvory 15, vytvořenými podél svislé části odpadního potrubí 14. Z regulační šachty 13 odtéká voda odpadním potrubím 14 dále do recipientu.

5.6.6 Průmyslová využitelnost

Průmyslové uplatnění nalezne zejména v citlivých a zranitelných oblastech s intenzivním zemědělstvím. Další využití může být uplatněno v oblastech s vybudovanými melioračními systémy s účelem odvodnění zemědělských ploch. V neposlední řadě budou moci zařízení využít provozovatelé golfových hřišť; v oblasti zahrádkářství a zemědělského chovu také plochy jako hnojiště, zahradní a lesní školky. Svě uplatnění může zařízení také využít u ochranných pásem vodních zdrojů; ochranných zón přírodních koupališť a koupacích biotopů, případně v lokálních úpravách ve zranitelných a citlivých oblastech. Dále se může jednat o kulturní oplocené pastviny; kompostárny či jiná plošná úložiště organických materiálů (odpadů), vybrané objekty (sklady statkových hnojiv), zařízení jímající povrchové vody pro závlahy. V neposlední řadě mohou být tato zařízení využita pro čištění průmyslových a jiných odpadních vod s minimálním obsahem uhlíku.

5.6.7 Nároky na ochranu

1. Denitrifikační vertikální bioreaktor, vyznačující se tím, že je tvořen horizontálním distribučním potrubím (3), uloženém ve vrstvě přechodového filtru (9) tvořeného částicemi minerálního materiálu o velikosti 50 mm – 200 mm, kde distribuční potrubí (3) je opatřené po celé délce vypouštěcími otvory (6) a vertikálními přepážkami (5), kde nad každou přepážkou (5) je vyveden k povrchu kontrolní komínek (4), přičemž je distribuční potrubí (3) napojeno na hlavní filtrační těleso (2), nacházející se pod tímto potrubím a distribuční potrubí (3) je podepřeno pomocí svislých podpěr (7), umístěných ve vertikálním směru přes hlavní filtrační těleso (2) pod každou přepážkou (5), kde hlavní filtrační těleso (2) je vyplněné pórovitým filtračním materiálem (8), jehož horní vrstva má velikost částic 32/64 mm až 64/128 mm, střední část filtračního tělesa (2) je tvořená organickým substrátem o velikost částic 16/32 mm a pod filtračním materiálem (8) střední části následuje vrstva (9) přechodového filtru, pod kterou se nachází drenážní vrstva (11), tvořená minerálním filtračním materiálem, ve které je uloženo horizontálně drenážní potrubí (10) opatřené otvory, přičemž velikost částic filtračního materiálu drenážní vrstvy (11) je větší než velikost otvorů drenážního potrubí (10), které je napojené na regulační šachtu (13) pomocí odpadního potrubí (14), vstupujícího do regulační šachty (13) svislou částí opatřenou podélně vypouštěcími otvory (15), kde horní okraj šachty (13) je nad úrovní terénu, přičemž je hlavní filtrační těleso (2) hydraulicky izolované od okolního prostředí pomocí hydroizolační fólie (12) nacházející se pod drenážní vrstvou (11).

2. Denitrifikační vertikální bioreaktor podle nároku 1, vyznačující se tím, že horizontální distribuční potrubí (3) vychází z první drenážní šachty (1).

3. Denitrifikační vertikální bioreaktor podle nároků 1 až 2, vyznačující se tím, že regulační šachta (13) se nachází uvnitř hlavního filtračního tělesa (2) a je napojena na drenážní potrubí (10), přičemž horní okraj šachty (13) je nad úrovní terénu.

4. Denitrifikační vertikální bioreaktor nároků 1 až 3, vyznačující se tím, že organickým substrátem ve střední části filtračního tělesa (2) je dřevní štěpka, hoblina nebo mulč.

5. Denitrifikační vertikální bioreaktor nároků 1 až 4, vyznačující se tím, že svislé podpěry (7) jsou tvořeny dřevěnými profily.

6. Denitrifikační vertikální bioreaktor, vyznačující se tím, že před začátkem distribučního potrubí (3) bioreaktoru je vytvořena sypaná hráz z kameniva.

5.6.8 Uplatnění v praxi

Jelikož aplikovaný výzkum, v rámci něhož výsledek vznikl, je zaměřen a cílen právě na aplikaci výsledků v praxi, byla během řešení projektu snaha řešitelského kolektivu zajistit možnosti realizace poloprovozních objektů v praxi (Křiška a kol., 2013, 2015). Výsledek byl nicméně neúspěšný – přesvědčit investora pro investici bez návratnosti, argumentovat dobrým vlivem na kvalitu vodního toku, je po zkušenostech z praxe téměř zbytečné. Zemědělské podniky nejsou vázány legislativním požadavkem, resp. typická situace v rámci jednání je: nevypouštím znečištění, jímky těsní, hnojím tak, aby živiny zůstávaly na povrchu zemědělské půdy. V rámci výzkumu vykázalo naše pracoviště dva poloprovozní modely, přičemž řešení proudění ve vertikálním směru se ukázalo spíše složitější, než praktičtější. Výhodnější uspořádání přináší výsledek popsany v kap. 5.9, který je na začátku roku 2020 zatím ve fázi předprojektové dokumentace a studie. Uplatnění na trhu bude následovat nejspíše v navazujícím období.

5.7 DISTRIBUČNÍ SYSTÉM PRO VERTIKÁLNÍ FILTRY

Kompletní název: Zařízení pro distribuci vody při pomalých průtocích

Vývoj situace ukázal, že řada projektantů z oblasti přírodních způsobů čištění často převezme nebo okopíruje řešení, které považuje za své. Přesto, že cílem přírodních způsobů čištění je možnost realizace svépomocí, bylo přistoupeno zejména u větších systémů k autorské ochraně na filtry o velikosti nad 150 m², což jsou již natolik rozsáhlé stavby, že je většinou musí realizovat stavební firmy. Popsaný systém zahrnuje optimální uspořádání po hydraulické stránce – byť optimalizace zahrnuje i investiční náročnost. Znamená to tedy, že distribuční systém je kompromisem mezi technickými možnostmi a investiční náročností.

Užitný vzor vznikl v rámci specifického výzkumu FAST, ozn. FAST-S-15-2850. Užitný vzor byl úspěšně licencován v České republice, v praxi byl využit na dvou obecních čistírnách (Dražovice, Skašov) a v následujících letech se předpokládá uplatnění minimálně v rámci desítek obecních ČOV (Machová, Biskoupky, Chlumětín, Hlína, a další).

Základní bibliografie

Číslo přihlášky	2017-33547
Číslo zápisu	30714
Datum podání	24.03.2017
Název	CS: Zařízení pro distribuci vody při pomalých průtocích EN: A device for water distribution at low flow rates
Přihlašovatel/Majitel	Vysoké učení technické v Brně, Antonínská 548/1, 601 90 Brno, Česká republika
Původce	Ing. Michal Křiška Dunajský, Ph.D., Prostějov, Česká republika Ing. Miroslava Pumprlová Němcová, Holešov, Česká republika
MPT	E03B3/00, E03B3/40, E03B5/04
CPC	E03B3/00, E03B3/40, E03B5/04
Datum zápisu	30.05.2017

Datum zveřejnění zápisu	07.06.2017
Stav	Platný dokument
Druh	PUV - národní s žádostí o zapsání do rejstříku

5.7.1 *Oblast techniky*

Technické řešení se týká systému pro distribuci vody při pomalých průtocích ve spádovém terénu, zajišťujících rovnoměrné rozdělení odtékající vody z nádrže na zvolený počet míst.

5.7.2 *Dosavadní stav techniky*

Problémy s nedostatkem vodních zdrojů v poslední době ukazují na nutnost využití alternativních a často zavrhaných přístupů. Závlaha a její široká aplikace není příliš populární, nemluvě o závlaze odpadními vodami. Známým faktem je, že při nejrozšířenějším typu závlahových systémů (postřikem) dochází k výrazným ztrátám (výpar, vsakování do podloží). Při nedostatku vody je vhodné zaměřovat se na úsporu vodního zdroje např. změnou typu závlahy. Jedním z adeptů se v tomto okamžiku naskytá kapková nebo bodová závlaha, která zajišťuje distribuci vody přímo k samotným rostlinám.

V praxi je často řešen hydraulický problém, který se často vyskytuje v oblasti problematiky distribuce vody. Jedním z příkladů aplikace popisovaného řešení mohou být speciální typy závlahových systémů, např. kapkové závlahy, typické úsporou závlahové vody, která je vedena přímo k samotným zavlažovaným rostlinám. Kapková závlaha ovšem vyžaduje aplikaci tlakově řešeného potrubí, což během zimního období představuje riziko zamrznutí povrchově řešených potrubí.

Druhým příkladem je využití v oblasti zemních filtračních systémů, resp. vertikálně protékaných filtrů s vegetací – tzv. vertikálních kořenových čistíren. Tyto systémy není možné navrhovat na plošně rozsáhlejší plochy, které jsou větší než několik desítek m². Větší filtry musí být řešeny stavebně složitějším uspořádáním a konfigurací.

V současné době je možné řešení distribuce vody na vysoký počet míst za účasti lidského faktoru. Obsluha, měnicí vyústění potrubí nebo zavlažovací hadice, je v tomto případě nevyhnutelná. Druhou nevýhodou se může jevit nutnost přívodu elektřiny, kterou vyžadují silná závlahová čerpadla, většinou napájena 360 V. Jednou z možností je případná změna způsobu závlahy, změna zavlažovaných plodin, případně jiné ekonomicky náročnější úpravy. V praxi tyto možnosti přináší vysoké provozní náklady, což vede ke hledání alternativního řešení, založeného na uplatnění základních zákonů hydrauliky.

5.7.3 *Podstata technického řešení*

Výše uvedené nedostatky související s neefektivním hospodařením s vodou při procesu zavlažování, případně s nemožnou distribucí vody na potřebnou rozsáhlou plochu u vertikálních zemních filtrů s vegetací, přináší řešení, založené na sofistikované distribuci vody, která se soustředí zejména na pomalý přítok vody.

Technické řešení se týká systému pro distribuci vody s pomalým průtokem, který je tvořen nádrží, která má v půdorysu tvar pravoúhelníku nebo kruhu, jejíž vnitřní prostor je rozdělen na sudý počet částí, nejlépe dvě, čtyři, šest nebo osm částí, kde protilehlé části mají shodný objem. Na horním okraji nádrže je vodorovně uloženo přívodní potrubí zakončené ve středu nádrže zátkou uzavírající odtokovou plochu přívodního potrubí opatřenou otvory, kde každý otvor je umístěn nad jednou částí vnitřního prostoru nádrže. Z každé dílčí části vede přes stěnu nádrže do venkovního prostoru odtokové potrubí zakončené v části prostoru nádrže uzávěrem, který je ve vodorovné poloze. Uzávěr je připevněn k jednomu konci horizontální tyče nacházející se nad uzávěrem, která je ve svém vnitřním prostoru osazena permanentním magnetem. Druhý permanentní magnet o opačném pólu,

umístěný v blízkosti uzávěru pod vodorovnou tyčí, je uchycen pomocí konzoly ke dnu nádrže. Druhým koncem je tyč volně uchycena pantovým závěsem ke stěně nádrže, umožňující otáčení tyče pouze v rovině svislé k uzávěru.

Horizontální tyč je v místě nad uzávěrem kolmo připojena k jednomu konci vodícího lanka, které je na opačném konci osazeno plovákem. Vzdálenost mezi horním okrajem nádrže a rovinou odtokového potrubí je nejméně 1,0 m.

Podle výhodného provedení leží odtokové potrubí dvou protilehlých částí nádrže na protilehlých stranách nádrže a v prostoru mimo nádrž se větví dvěma směry kolmo na odtokové potrubí na levou a pravou větev.

Voda přitéká gravitačně velmi pomalu (v řádech desetin litrů za sekundu) a je přívodním potrubím přiváděna k hornímu okraji nádrže. Samotná nádrž je v půdorysném pohledu rozdělena na sudý počet částí, optimálně maximálně osm. Dělení pomalého proudu vody na přítoku je řešeno pomocí velice přesného vykroužení požadovaného počtu otvorů v odtokové ploše přívodního potrubí, přičemž průměr každého otvoru vychází z požadovaného průtoku (objemového množství) vody v dílčí části nádrže. Následně tedy voda vytéká o průtoku $1/2$, $1/4$, $1/6$ nebo $1/8$ do vnitřního objemu části nádrže. V této objemové části nádrže je voda zadržována uzávěrem odtokového potrubí, vycházejícím z principu zpětné klapky. Dochází tedy k postupné akumulaci vody v každé části nádrže.

Uzávěr odtokového potrubí, umístěný ve vodorovné poloze, je připevněn k jednomu konci horizontální tyče, která je opačným koncem volně uchycena ke stěně nádrže tak, aby bylo umožněno její vyzvednutí v prostoru uzávěru. Samotná vodorovná tyč je v blízkosti uzávěru připojena na svislé vodící lanko, které je na opačném konci osazeno plovákem, zajišťujícím pomocí vztlakové síly vyzvednutí volného konce tyče, resp. k tyči připevněného uzávěru. Vodorovná tyč je ve svém vnitřním prostoru osazena permanentním magnetem. Druhý permanentní magnet - o opačném pólu, umístěný v blízkosti uzávěru pod vodorovnou tyčí, je uchycen pomocí konzoly ke dnu nádrže. Oba magnety společně zajišťují dodání potřebného pulzu, tedy rázové otevření a nadzvednutí uzávěru, což umožní odtok vody z dílčí části nádrže odtokovým potrubím intenzivním proudem ven z nádrže.

Voda odtéká z nádrže odtokovým potrubím, které vede až do středu určené plochy (zavlažovaný pozemek nebo plocha kořenového filtru). Odsud v ideálním případě vede potrubí dále dvěma směry kolmo na odtokové potrubí, čímž vytváří levou a pravou větev. Navazující distribuční potrubí je na odtokové potrubí napojeno podle pravidel výpočtu ztráty tlakové výšky v potrubí. Levá i pravá větev odtokového potrubí přivádí určenou vodu do dílčích distribučních řadů (potrubí o menším průměru než odtokové potrubí), které jsou ve spodní části opatřeny otvory. Distribuční potrubí zajišťuje přibližně rovnoměrné přivedení vody na požadovaný prostor, případně rostlinu. Vzdálený konec distribučního potrubí je vyvýšený minimálně o 25 cm vzhledem k rovině odtokového potrubí, přičemž zajišťuje hydraulické vyrovnání tlakové výšky pro všechny otvory v dílčím distribučním řadu. Konec svislé části distribučního potrubí je opatřen zátkou s otvorem, umožňujícím vypouštění vzduchu z potrubí.

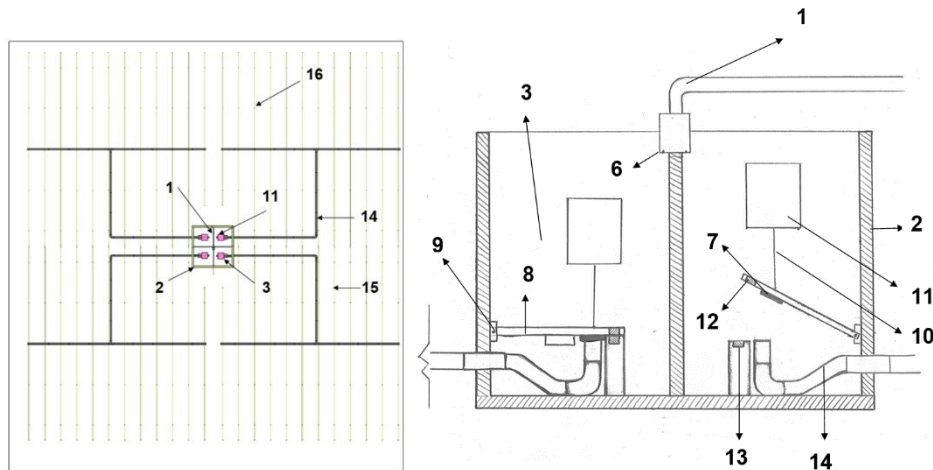
Smysl celého řešení spočívá v akumulaci a postupném rozdělení jednoho proudu pozvolna přitékající vody (závlahové, odpadní, apod.), na větší počet dílčích a menších objemů vody odváděných samostatným potrubím, kdy se celým systémem potrubí nárazově vypustí definovaný objem. Dělení potrubí se liší podle druhu protékající vody, resp. podle konfigurace terénu, které rozliší gravitační přítok vody a přítok vody zajištěný pomocí čerpání, při němž je uplatněno tlakové proudění. Řešení vyžaduje precizní mechanické předčištění, které zajistí odstranění plovoucích nečistot.

Výhodou systému je, že systém může pracovat bez nutnosti napojení na elektrickou energii a vždy je zajištěno téměř stejné množství vody v každém zavlažovaném bodě. Nutností je dostatečné převýšení

terénu. V případě nevhodné konfigurace terénu je možné předřazení čerpadla o malém výkonu (např. 300 W). Systém má detailně vyřešené rozdělení průtoků doplněné dávkovacím zařízením s připojeným přiváděcím potrubím a je tak možné pomalé přítoky rozdělit rovnoměrně na velký počet míst.

5.7.4 Objasnění obrázků na výkrese

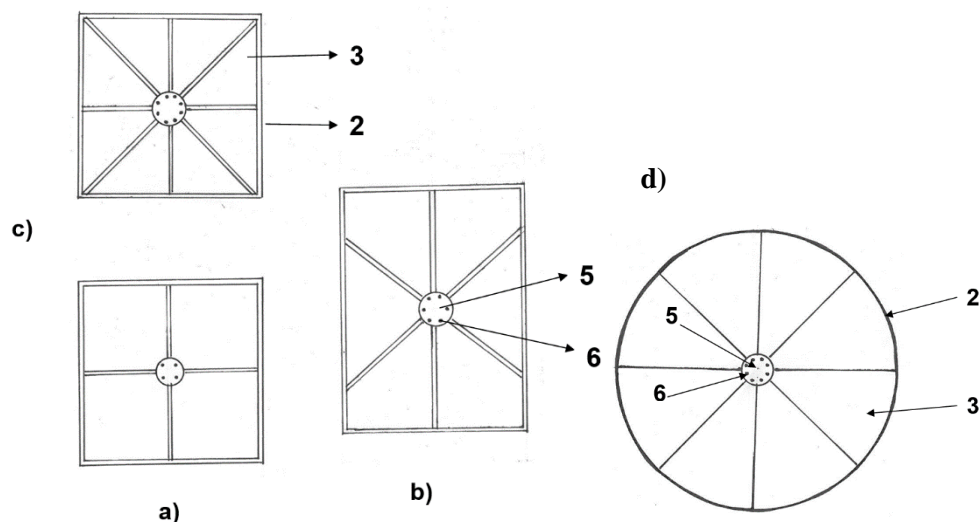
Umístění odtokového potrubí, jeho větvení, vedení do středu zavlažované plochy a jeho návaznost na distribuční potrubí s otvory je zobrazeno na Obr. 19, v pravé části schématu je zobrazeno umístění odtokového potrubí s uzávěrem, horizontální tyče a její spojení s plovákem v uzavřené a otevřené poloze. Čísla u jednotlivých prvků znamenají: 1 – přívodní potrubí, 2 – nádrž, 3 – část vnitřního prostoru nádrže, 4 – otvor pro zátku přívodního potrubí, 5 – odtoková plocha přívodního potrubí, 6 – otvory odtoková plocha přívodního potrubí, 7 – uzávěr odtokového potrubí, 8 – horizontální tyč, 9 – pantový závěs, 10 – vodící lanko, 11 – plovák, 12 – permanentní magnet horizontální tyče, 13 – druhý permanentní magnet, 14 - odtokové potrubí, 15 – distribuční potrubí, 16 – otvory distribučního potrubí.



Obr. 19 Distribuční nádrž - půdorysné uspořádání a svislý řez vnitřním prostorem

Následně je na Obr. 20 zobrazeno několik půdorysných konfigurací:

- nádrž tvaru čtverce s rozdělením vnitřního prostoru na čtyři části
- nádrž tvaru obdélníku s rozdělením vnitřního prostoru na šest částí
- nádrž tvaru čtverce s rozdělením vnitřního prostoru na osm částí
- nádrž kruhového půdorysu rozdělená na osm částí



Obr. 20 Variantní řešení distribuční nádrže v půdorysném pohledu

Technické řešení je dále vysvětleno pomocí příkladu provedení, který však žádným způsobem neomezuje jiná možná provedení v rozsahu nároků na ochranu.

5.7.5 Příklad uskutečnění technického řešení

System pro distribuci vody s pomalým průtokem pro rovnoměrnou závlahu svahovitého terénu plochy 700 m² je tvořen nádrží 2, která má v půdorysu tvar čtverce, jejíž vnitřní prostor je rovnoměrně rozdělen na čtyři části 3 (Obr. 20 A). Nad horním okrajem nádrže se nachází přívodní potrubí 1, které končí v její středové části nádrže 2 otvorem 4 pro zátku uzavírající odtokovou plochu 5 přívodního potrubí 1 opatřenou otvory 6, kde každý otvor 6 je umístěn nad jednou částí 3 objemu nádrže. Z každé části 3 nádrže vede přes stěnu nádrže 2 do venkovního prostoru odtokové potrubí 14 zakončené v prostoru části 3 nádrže uzávěrem 7, který je ve vodorovné poloze. Uzávěr 7 je připevněn k jednomu konci horizontální tyče 8 nacházející se nad uzávěrem 7, která je ve svém vnitřním prostoru osazena permanentním magnetem 12. Druhý permanentní magnet 13 opačného pólu, umístěný v blízkosti uzávěru 7 pod horizontální tyčí 8, je uchycen pomocí konzoly ke dnu nádrže. Druhým koncem je tyč 8 uchycena pantovým závěsem 9 k vnější stěně nádrže 2, kterou prochází odtokové potrubí 14. Pantový závěs 9 umožňuje otáčení tyče 8 pouze v rovině svislé k uzávěru 7. Horizontální tyč 8 je v místě nad uzávěrem 7 kolmo připojena k jednomu konci vodícího lanka 10, které je na opačném konci osazeno plovákem 11. (Obr. 19) Vzdálenost mezi horním okrajem nádrže 2 a rovinou odtokového potrubí 14 je 1,2 m.

Odtokové potrubí 14 dvou protilehlých částí nádrže 2 leží na protilehlých stranách nádrže 2 a v prostoru mimo nádrž 2 se větví dvěma směry kolmo na odtokové potrubí 14 na levou a pravou větev. Odtokové potrubí 14 se dále větví na distribuční potrubí 15, které je opatřené při spodním okraji otvory 16. Větve odtokového potrubí 14 přivádí určenou vodu do dílčích distribučních řadů (potrubí o menším průměru než odtokové potrubí), které zajišťují přibližně rovnoměrné přivedení vody na požadovaný prostor, případně rostlinu. Vzdálený konec distribučního potrubí 15 je vyveden o 25 cm v kolmém směru výše vzhledem k rovině odtokového potrubí 14, čímž zajišťuje hydraulické vyrovnání tlakové výšky pro všechny otvory v dílčím distribučním řadu. Konec distribučního potrubí je opatřen zátkou s otvorem.

Přitékající proud mechanicky dokonale vyčištěné závlahové vody je přívodním potrubím 1 přiváděn k hornímu okraji rozdělovací nádrže 2 do jejího středu, kde se na konci přívodního potrubí 1 postupně dělí na čtyři dílčí objemy vody natékající do jednotlivých částí 3 vnitřního prostoru nádrže 2. Dochází

tedy k postupné akumulaci vody v každé části nádrže 2. Po nahromadění vody v jednotlivých částech nádrže 2 plovák 11 pomocí vztlakové síly vyzvedne vodicím lankem 10 volný konec horizontální tyče 8, čímž se otevře uzávěr 7 na konci odtokového potrubí 14 připevněný k tyči 8, horizontální tyč 8 se nazvedne a zajistí se intenzivní proud vody z dílčí části 3 nádrže odtokovým potrubím 14 do středu zavlažovaného pozemku. Navazujícím distribučním potrubím 15 s otvory 16 je vedena voda dále dvěma směry kolmo na odtokové potrubí 14.

5.7.6 Průmyslová využitelnost

V reálných podmínkách najde popsané řešení uplatnění zejména u dosluhujících kořenových čistíren, přičemž se jedná primárně o případy vertikálních skrápěných filtrů, kdy je nutné vodu při pomalém přítoku přivést na plochu o velikosti několik stovek metrů čtverečních v rovnoměrné dávce. Systém je využitelný zejména v místech s dostatečným převýšením terénu, kdy není nutné napojení na elektrickou energii.

5.7.7 Nároky na ochranu

1. Systém pro distribuci vody s pomalým průtokem, vyznačující se tím, že je tvořen nádrží (2), která má v půdorysu tvar pravoúhelníku nebo kruhu, jejíž vnitřní prostor je rozdělen na sudý počet částí (3), kde protilehlé části (3) mají shodný objem, přičemž nad horním okrajem nádrže (2) je vodorovně loženo přírodní potrubí (1) ukončené ve středu nádrže (2) otvorem (4) pro zátku uzavírající odtokovou plochu (5) přírodního potrubí (1) opatřenou otvory (6), kde každý otvor (6) je umístěn nad jednou částí (3) vnitřního prostoru nádrže (2) a z každé části (3) nádrže vede v blízkosti jejího dna přes stěnu nádrže (2) do venkovního prostoru odtokové potrubí (14) zakončené v prostoru nádrže (2) uzávěrem (7), který je ve vodorovné poloze, kde uzávěr (7) je připevněn k jednomu konci horizontální tyče (8) nacházející se nad uzávěrem (7), opačným koncem je tyč (7) připevněna pantovým závěsem (9) ke stěně nádrže (2), kterou prochází odtokové potrubí (14), přičemž je horizontální tyč (8) v místě nad uzávěrem (7) kolmo připojena k jednomu konci vodicího lanka (10), které je na opačném konci osazeno plovákem (11) a horizontální tyč (8) je ve svém vnitřním prostoru osazena permanentním magnetem (12), kde druhý permanentní magnet (13) o opačném pólu je uchycen v blízkosti uzávěru (7) pod horizontální tyčí (8) pomocí konzoly ke dnu nádrže, přičemž vzdálenost mezi horním okrajem nádrže (2) a rovinou odtokového potrubí (14) je nejméně 1,0 m.

2. Systém pro distribuci vody podle nároku 1, vyznačující se tím, že vnitřní prostor nádrže (2) je rozdělen na dvě, čtyři, šest nebo osm částí (3).

3. Systém pro distribuci vody podle kteréhokoli z nároků 1 až 2, vyznačující se tím, že odtokové potrubí (14) dvou protilehlých částí nádrže (2) leží na protilehlých stranách nádrže (2).

4. Systém pro distribuci vody podle kteréhokoli z nároků 1 až 3, vyznačující se tím, že odtokové potrubí (14) se v prostoru mimo nádrž (2) větví dvěma směry kolmo na odtokové potrubí (14).

5. Systém pro distribuci vody podle kteréhokoli z nároků 1 až 4, vyznačující se tím, že na odtokové potrubí (14) navazuje distribuční potrubí (15), jehož větve jsou opatřeny otvory (16) a současně se konec distribučního potrubí (15) nachází minimálně o 25 cm výše než je rovina odtokového potrubí (14) a je opatřen zátkou s otvorem.

5.7.8 Uplatnění v praxi

Distribuční systém byl realizován v rámci poloprovozního testovacího zařízení (Roupec, 2017). Pro tyto účely byly využity finanční prostředky z rozpočtu obce Dražovice. První poloprovozní zařízení bylo realizováno v roce 2016 podle projektové dokumentace pro rekonstrukci třetího horizontálního filtru. Realizace zahrnovala polovinu filtru, na němž byly instalovány dvě testovací distribuční šachty,

každá rozdělená na čtyři dílčí celky. Ve sledovaném období po provedené rekonstrukci se ukázal pozitivní efekt vertikálního filtru s distribučním zařízením. Následně bylo přistoupeno k dostavbě druhé poloviny vertikálního filtru (r. 2019), přičemž o tři roky mladší řešení zahrnovalo poznatky z užitného vzoru č. 30714 a nové zkušenosti z tříletého provozování první části. V současné době je tedy užitný vzor zapojen v praxi na největší čistírně odpadních vod v České republice, resp. největším vertikálním filtrem v České republice. Plocha vertikálního filtru dosahuje přibližně 1600 m².

Užitný vzor je vyráběn na základě licenční smlouvy firmou ASIO NEW, s.r.o., přičemž v prvním roce platnosti smlouvy se dle informací od výrobce vyrobily dva distribuční systémy, uplatněné na čistírně odpadních vod – v obci Skašov a Cekov, další uplatnění se předpokládá u několika přírodních čistíren (Zedník, 2018). Pozvolné rozšíření systému bylo očekávaným, protože systém musí být nejprve zahrnut do projektové dokumentace a teprve po úspěšném schvalovacím procesu zpracované dokumentace pro stavební povolení může být přistoupeno k výstavbě. Systém je v současné době zahrnut přibližně ve dvaceti projektových dokumentacích na přírodní čistírny odpadních vod. Rozšíření je tedy očekávaným v navazujícím období.

5.8 SYSTÉM PLOVoucÍCH NOSIČŮ

Kompletní název: Systém plovoucích nosičů pro eliminaci vstupu vybraných rizikových látek z malých vodních nádrží do vodních toků

Užitný vzor vznikl v rámci výzkumného projektu NAZV, ozn. QJ1620040. Výsledek lze bez jakékoli úpravy aplikovat na stabilizační nádrže, případně na mokřadní tok s přiznanou vodní hladinou s cílem eliminace projevů eutrofizace, podpory samočisticích procesů a vytvoření denitrifikačního prostředí pro eliminaci dusičnanového dusíku ještě před vypuštěním odpadní vody do recipientu. Užitný vzor byl úspěšně licencován v České republice na začátku roku 2020, předpokládá se jeho postupné využití minimálně v rámci České republiky.

Základní bibliografie

Číslo přihlášky	2017-34059
Číslo zápisu	31169
Datum podání	30.08.2017
Název	CS: Zařízení pro eliminaci vstupu vybraných rizikových látek z malých vodních nádrží do vodních toků EN: A device for eliminating the entry of selected hazardous substances from small water reservoirs into watercourses
Přihlašovatel/Majitel	Vysoké učení technické v Brně, Antonínská 548/1, 601 90 Brno, Česká republika
Původce	Ing. Michal Kriška-Dunajský, Ph.D., Prostějov, Česká republika Ing. Miroslava Pumprlová Němcová, Brno - Řečkovice, Česká republika
MPT	C02F101/10, C02F3/32
CPC	C02F3/32, C02F3/308
Datum zápisu	07.11.2017
Datum zveřejnění	15.11.2017
Stav	Platný dokument
Druh	PUV - národní s žádostí o zapsání do rejstříku

5.8.1 Oblast techniky

Technické řešení se týká systému plovoucích nosičů, který umožňuje regulaci odtoku z malých vodních nádrží za současného zlepšení kvality odtékající vody.

5.8.2 *Dosavadní stav techniky*

Malé vodní nádrže jsou často projektovány jako vodohospodářské a krajinné prvky, které plní různé funkce (protipovodňová, závlahová, krajinná, rekreační, koupací, rybochovná, stabilizační, dočišťovací, aj.). Pokud jsou takovéto nádrže zásobeny přítoky s vysokým obsahem dostupných živin, zejména fosforem nebo dusíkem, může ve vodních nádržích během letních měsíců docházet k výraznému zhoršení kvality vody. Zdroje živin jsou popisovány jako plošné nebo bodové. Z plošných zdrojů jsou nejčastějším zdrojem živin zemědělsky obdělávané pozemky, u nichž hrozí potenciální splach živin z intenzivně obdělávané půdy. Bodovým zdrojem jsou nejčastěji zaústění kanalizačních přípojek do vodních toků, které do nádrží přitékají. Pokud se živiny vyskytují v tekoucí vodě, nejedná se z pohledu bilance živin o zásadní problém. Opačná situace nastává, pakliže voda vtéká do vodní nádrže, tj. nádrž se stojatou vodou, která je vystavena riziku rozvoji eutrofizace vody, resp. rozvoji řas a sinic s toxickým charakterem nejen pro vodu v nádrži, ale následně i v toku, do něhož je voda vypouštěna.

Z hlediska ochrany povodí před znečištěnými odtoky z eutrofizujících nádrží je vhodné a doporučené řešit problém znečištěné vody přímo v těchto nádržích. Známé jsou technologie na srážení fosforu před vtokem do nádrží, aerační věže proti rozvoji sinic, případně další technologické postupy, které zaručí potlačení rozvoje sinic ve stojatých vodách. Zásadním problémem při odnosu živin je fakt, že společně s plovoucí biomasou řas a sinic se odnášejí koncentrované živiny (N, P), ale i organické znečištění, které ve specifických situacích může nastávat deficit kyslíku v tekoucích vodách.

Jedním z přirozenějších způsobů, jak čelit problému odnosu živin, je zabránění odtoku nerozpuštěných látek z nádrže do toku, případně podporou procesu samočištění pomocí mokřadních rostlin. Jednou z cest, která využívá oba tyto přístupy, jsou jednoduchá zařízení, nazývaná jako umělé plovoucí ostrovy, čistící ostrovy, technologické plovoucí ostrovy apod.

5.8.3 *Podstata technického řešení*

Problémy s kvalitou odtékající vody a únikem nerozpuštěných látek z malých nádrží do recipientu lze řešit s využitím systému plovoucích nosičů pro eliminaci vstupu vybraných rizikových látek z malých vodních nádrží do vodních toků podle technického řešení.

Systém plovoucích nosičů je tvořen dvěma typy čtvercových nosičů stejné velikosti, výhodně o délce strany 0,50 – 0,60 m z nenasákového polystyrenu, tvořících jednotku systému plovoucích nosičů. První typ nosiče je opatřen nejméně jedním otvorem vedoucím z horní plochy na spodní plochu nosiče. Ve druhém typu nosiče je vytvořen otvor, kde v tomto otvoru je upevněna pomocí systému nerezových plechů, nerezové závitové tyče a flexibilní hadice, jejíž okraj je osazen pod úroveň hladiny a která je zaústěna do vypouštěcího objektu opatřeného hradicí stěnou. Každá ze dvou obvodových stěn každého typu nosiče je opatřena výřezem tvaru lichoběžníku, jehož strany vyřezané strany svírají vzájemně ostré úhly stejné velikosti a současně druhé dvě stěny každého nosiče jsou opatřeny výstupkem ve tvaru lichoběžníku, jehož strany tvořící výstupek svírají vzájemně ostré úhly stejné velikosti jako úhly, které svírají strany výřezu lichoběžníku. Každý nosič druhého typu je obklopen osmi nosiči prvního typu, kde všechny nosiče jsou vzájemně spojeny pomocí lichoběžníkových výřezů a lichoběžníkových výstupků. Centrální nosič druhého typu má jeden otvor, ke kterému je uchycena závitová nerezová tyč tak, aby bylo možné případně nastavit hloubku konce okraje hadice pod vodní hladinou.

Otvor v nosiči prvního typu je výhodně kruhový a na horní ploše nosiče má větší průměr než otvor na spodní ploše nosiče. Tento otvor má výhodně průměr 0,1 m až 0,15 m a je vyplněn přírodním materiálem. Otvor v nosiči druhého typu je výhodně čtvercový o velikosti stěny 0,20 m až 0,30 m.

Horní plocha vzájemně spojených nosičů je výhodně pokryta jutovou textilií.

Výběr plovoucího nosiče, jeho tvar a velikost, vychází z charakteristik a potřeb celého zařízení - jedná se o nenasákavý polystyren, v němž jsou vyvrtány otvory pro výsadbu mokřadních rostlin. Obvodový okraj nosičů je přizpůsoben tvarem tak, aby do sebe zapadaly jednotlivé segmenty jako části stavebnic "puzzle", systémem zámkového spoje. Do vyvrtaného otvoru je vložen přírodní materiál (např. konopná izolace) pro vhodnější a rychlejší uchycení rostlin. Svrchní část každého nosiče je kryta jutovou sítí, přibližující i vzhled prvku přírodnímu charakteru a zároveň chránící polystyrén před negativním vlivem slunečního záření. Společně s nadzemní biomasou (listy rostlin) vytváří jutová síť dostatečnou ochranu, zajišťující potlačení rozkladu polystyrénu.

Seskládané plovoucí prvky, tvořící libovolný tvar (nejlépe blízký se kruhovému půdorysu), jsou ze středu systému plovoucího nosiče propojeny odtokovou flexibilní hadicí s vypouštěcím objektem, tzn. voda, která odtéká z nádrže, musí protéci vrstvou kořenového systému. Předpokladem je snížení koncentrace nerozpuštěných látek, dusičnanového dusíku, amoniakálního dusíku a celkového fosforu.

Odtoková flexibilní hadice je svým vzdáleným koncem vyústěna do vypouštěcího objektu, přičemž otvor hadice je uchycen do svislé "dlužové stěny" (dřevěné fošny). Otvor na vzdušném líci je vyveden směrem vzhůru pomocí otočné pravouhlé tvarovky tak, že umožňuje dodatečnou regulaci polohy hladiny v nádrži.

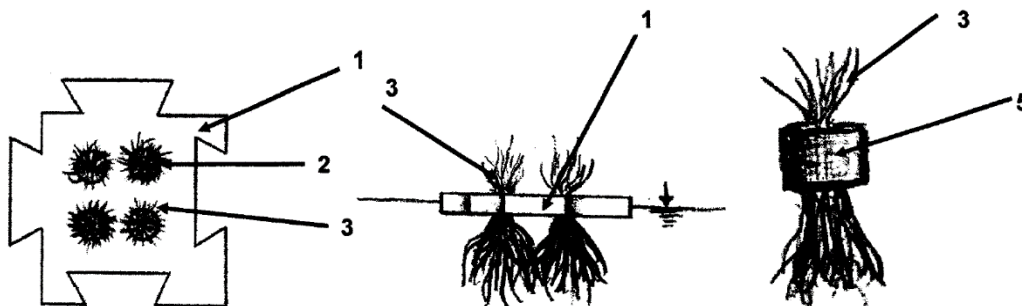
Princip zařízení spočívá v kombinaci zastínění hladiny proti rozvoji řas a sinic, pomocí plošného plovoucího nosiče, jehož povrch je osázen mokřadními rostlinami. Na základě běžných a v přírodě probíhajících samočisticích procesů dochází k jejich postupnému spotřebování (odbourání). Předpokládá se, že rostliny přirozeně odebírají živiny, současně jejich kořenový systém slouží jako nosič pro biofilm, zajišťující zejména přeměnu forem dusíku (nitrifikační bakterie transformují amoniak na dusičnan). Výhodou vytvoření hustého kořenového systému rostlin, plovoucího volně ve vodě, je jeho podobnost s filtračním prostředím – např. molitanem. Současně zakrytá vodní hladina předpokládá vyloučení vniku slunečního záření, což vede v případě přítomnosti zelených řas nejprve k přechodu z fotosyntézy na proces dýchání. Následně dochází k postupnému potlačení řas vlivem nevhodných životních podmínek. V důsledku toho dochází ke spotřebě kyslíku a za specifických podmínek ke vzniku anaerobního prostředí. Výhodou anaerobního prostředí je předpoklad procesu denitrifikace, tedy transformace dusičnanového dusíku na plynný dusík, který uniká do atmosféry. Bilance celkového dusíku, který odtéká z nádrže, se tedy tímto opatřením snižuje. Doprovodným efektem je účinné snížení hodnoty chemické spotřeby kyslíku ($CHSK_C$), biochemické spotřeby kyslíku (BSK_5) nerozpuštěných látek (NL), amoniakálního dusíku ($N-NH_4^+$) a dalších složitých sloučenin jako farmaka, hormony, estrogenu, xenobiotika apod.

Mokřadní rostliny pro svůj růst využívají kromě slunečního svitu také živiny, rozpuštěné ve vodě. Jelikož jejich kořenový systém může být trvale nebo přerušovaně ponořen pod úroveň podzemní (nebo povrchové) vody, lze kořenový systém mokřadních rostlin uplatnit pro účely filtrace vody. Specifické druhy rostlin mají velice jemný kořenový systém, u něhož lze předpokládat vysokou filtrační schopnost. Pokud se taková rostlina vysadí do plovoucího materiálu (materiál lehčí než voda), vznášejí se její kořenový systém ve vodním prostředí. Pakliže tímto kořenovým systémem je nucena voda proudit, využívá se kořenů rostlin i k nárůstu "užitečných" bakterií, které zajišťují dostupnost rozpuštěného znečištění pro rostliny. Současně se vytvoří mechanický filtr, který filtruje plovoucí nečistoty.

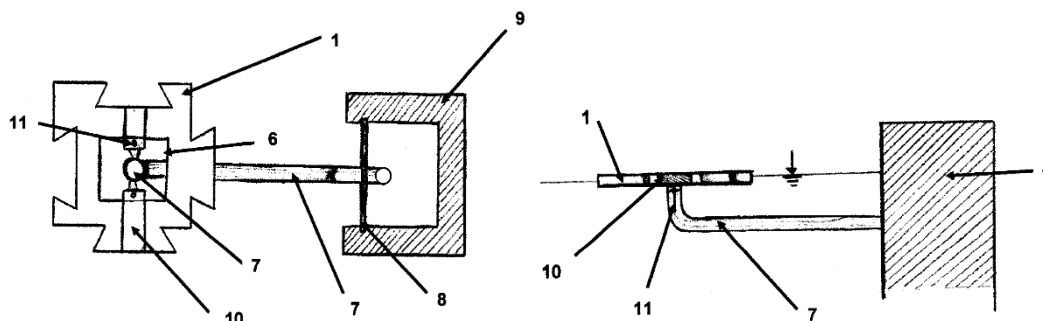
5.8.4 Objasnění obrázků na výkrese

Systém plovoucích ostrovů podle technického řešení bude dále podrobněji vysvětlen pomocí příkladného provedení schematicky znázorněném na Obr. 21: 1- Nosič z nenasákavého polystyrenu, 2-

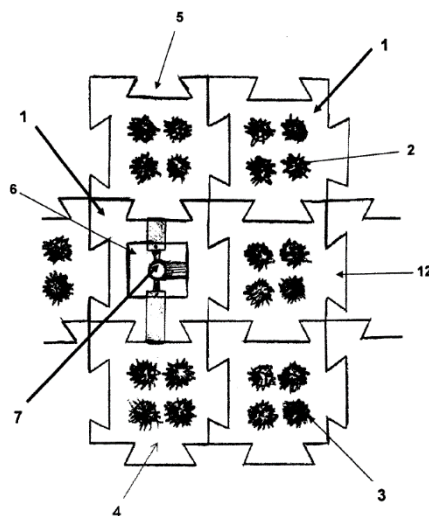
otvory v nosiči, 3- rostliny, 4- textilie, 5- tvaru lichoběžníku, 6- Čtvercové otvory v nosiči, 7- hadice, 8- Hradicí stěna, 9- Odtokový objekt, 10- Nerezový plech, 11- Nerezová tyč, 12- Výstupek tvaru lichoběžníku, 13 - Přírodní materiál.



Obr. 21 Nosič prvního typu s kruhovými otvory – půdorys, boční pohled, detail obalení rostliny



Obr. 22 Druhý typ nosiče s vypouštěcím zařízením, horní a boční pohled



Obr. 23 Schématické znázornění půdorysného uspořádání soustavy obou typů nosičů

5.8.5 Příklad uskutečněného technického řešení

Systém plovoucích nosičů **1** pro eliminaci vstupu vybraných rizikových látek z malých vodních nádrží do vodních toků se skládá s jednotlivých dílčích plovoucích nosičů **1** stejného rozměru, tvaru čtverce, dvou typů. Každý plovoucí nosič **1** je zhotoven z nenasákavého polystyrenu a má v půdorysu specifický tvar stavebnicové skládačky „puzzle“ dílku, který umožňuje pomocí zámkového spoje napojovat jednotlivé nosiče **1** do požadovaných rozměrů systému s libovolným výsledným tvarem a rozměrem. Každá ze dvou obvodových stěn každého typu nosiče **1** je opatřena výřezem **5** tvaru lichoběžníku, jehož strany vyřezané strany svírají vzájemně ostré úhly stejné velikosti a současně druhé dvě stěny každého nosiče **1** jsou opatřeny výstupkem **12** ve tvaru lichoběžníku, jehož strany tvořící výstupek **12** svírají vzájemně ostré úhly stejné velikosti jako úhly, které svírají strany výřezu **5**

lichoběžníku. Každý nosič **1** druhého typu je obklopen osmi nosiči **1** prvního typu, kde všechny nosiče **1** jsou vzájemně spojeny pomocí lichoběžníkových výřezů **5** a lichoběžníkových výstupků **12**. Nosič **1** má délku strany 0,50 m. První typ plovoucího nosiče **1** (Obr. 21) je opatřen čtyřmi kruhovými otvory **2**, kde průměr otvoru **2** na vrchní straně nosiče **1** je 0,12 m a průměr otvoru **2** na spodní straně nosiče **1** je 0,10 m. Do těchto otvorů **2** jsou vsazeny mokřadní rostliny **3**. Mokřadní rostliny **3** jsou obaleny vatou z přírodního materiálu **13** (Obr. 21) a vloženy do otvoru **2**. Druhý typ plovoucího nosiče **1** (Obr. 22) slouží jako odtokový díl, který je propojen flexibilní hadicí **7** s vypouštěcím objektem **9**, např. požerákem, regulační šachtou apod. Základem tohoto typu nosiče **1** je opět nenasákavý polystyren, který je opatřen jedním čtvercovým otvorem **6** o rozměrech strany 0,20 m. V tomto otvoru **6** je pomocí systému nerezových plechů **10** a nerezové závitové tyče **11** připevněna flexibilní hadice **7**, jejíž okraj je osazen v hloubce 0,15 m úrovní hladiny vody, přičemž hlavní funkcí hadice **7** je zabezpečení odtoku vody z nádrže. Flexibilní hadice **7** je zaústěna do vypouštěcího objektu **9**, například pomocí otvoru ve svislé hradici stěny **8**. Následně po prostupu dlužovou hradicí stěnou **8** je výust' opatřena pravouhlým L-kusem (Obr. 24), přičemž L-kus je vyveden směrem kolmo k zemi a současně umožňuje regulaci otočením, což zajistí změnu polohy hladiny vody v nádrži.

Každý nosič **1** druhého typu je obklopen osmi nosiči **1** prvního typu, kde všechny nosiče **1** jsou vzájemně spojeny jako protikusy pomocí lichoběžníkových výřezů **5** a lichoběžníkových výstupků **12** (Obr. 22). Oba typy plovoucího nosiče je důležité správně kombinovat do větších celků Obr. 23, které zabezpečí správnou funkčnost celého systému.

5.8.6 Průmyslová využitelnost

V reálných podmínkách najde popsání řešení využití zejména u majitelů a provozovatelů malých vodních nádrží s různou funkcí, u správců vodních toků, provozovatelů koupacích biotopů, dočišťovacích a stabilizačních nádrží jako součástí čistíren odpadních vod, u rybochovných nádrží s intenzivním chovem ryb, aj. typů, které jsou zatíženy vysokými koncentracemi zejména dusičnanů, organického znečištění, nerozpuštěných látek a celkového fosforu. Výhodou celého systému je jednoduchá instalace bez nutnosti častých kontrol.

5.8.7 Nároky na ochranu

1. Systém plovoucích nosičů **1** pro eliminaci vstupu vybraných rizikových látek z malých vodních nádrží do vodních toků vyznačující se tím, že je tvořen dvěma typy čtvercových nosičů **1** stejné velikosti z nenasákavého polystyrenu, přičemž první typ nosiče **1** je opatřen nejméně jedním otvorem **2** vedoucím z horní plochy na spodní plochu nosiče **1** a druhý typ nosiče **1** je opatřen otvorem **6** vedoucím z horní plochy na spodní plochu nosiče **1**, kde v tomto otvoru **6** je upevněna pomocí systému nerezových plechů **10** a nerezové závitové tyče **11** flexibilní hadice **7**, jejíž okraj je osazen pod úrovní hladiny vody a která je zaústěna do vypouštěcího objektu **9** opatřeného hradicí stěnou **8**, přičemž každá ze dvou obvodových stěn každého typu nosiče **1** je opatřena výřezem **5** tvaru lichoběžníku, jehož vyřezané strany svírají vzájemně ostré úhly stejné velikosti a současně druhé dvě obvodové stěny každého nosiče **1** jsou opatřeny výstupkem **12** ve tvaru lichoběžníku, jehož strany tvořící výstupek **12** svírají vzájemně ostré úhly stejné velikosti jako úhly, které svírají strany výřezu **5** lichoběžníku a každý nosič **1** druhého typu je obklopen osmi nosiči **1** prvního typu vzájemně spojených pomocí lichoběžníkových výřezů **5** a lichoběžníkových výstupků **12**.

2. Systém plovoucích nosičů **1** podle nároku 1, vyznačující se tím, že otvor **2** v nosiči **1** prvního typu je kruhový.

3. Systém plovoucích nosičů **1** podle nároků 1 až 2, vyznačující se tím, že otvor na horní ploše nosiče **1** má větší průměr než otvor na spodní ploše nosiče **1**.

4. Systém plovoucích nosičů **1** podle nároků 1 až 3, vyznačující se tím, že otvor **2** má průměr 0,1 m až 0,15 m.
5. Systém plovoucích nosičů **1** podle nároků 1 až 4, vyznačující se tím, že otvor **2** je vyplněn přírodním materiálem **13**.
6. Systém plovoucích nosičů **1** podle nároku 1, vyznačující se tím, že otvor **6** v nosiči **1** druhého typu je čtvercový.
7. Systém plovoucích nosičů **1** podle nároku 6, vyznačující se tím, že čtvercový otvor **6** má rozměr strany 0,20 m až 0,30 m.
8. Systém plovoucích nosičů **1** podle nároků 1 až 7, vyznačující se tím, že strana nosiče prvního i druhého typu má velikost 0,50 m.
9. Systém plovoucích nosičů **1** podle nároků 1 až 8, vyznačující se tím, že horní plocha vzájemně spojených nosičů **1** je pokryta jutovou textilií.

5.8.8 Uplatnění v praxi

Zařízení bylo v rámci výzkumných aktivit testováno na vybrané vodní nádrži v k.ú. Polička (Obr. 24). Monitoring probíhal během prvních dvou vegetačních sezon, vyhodnocení provozních zkušeností proběhlo při ukončení výzkumu.



Obr. 24 Plovoucí ostrov - výroba, připojení, schéma a pohled

Na začátku roku 2020 je prodána nevýhradní licence na využití (výrobu) zařízení podle užitého vzoru. Očekává se realizace zařízení na tři přírodní čistírny v roce 2020, v následujících letech se očekává pozvolný nárůst a rozšíření na nově projektované čistírny, u nichž je kladen důraz na odstraňování celkového dusíku – zařízení bude při pokrytí hladiny plnit společně se stabilizační nádrží denitrifikační funkci.

5.9 DENITRIFIKAČNÍ BARIÉRA

Kompletní název: Denitrifikační bariéra v podpovrchových odtocích ze zemědělských půd

Užitný vzor vznikl v rámci výzkumného projektu NAZV (Udržitelná technologie pro odstranění dusičnanů ze zemědělských smyvů, QJ1520280, řešitel za VUT: Ing. Michal Křiška, Ph.D., r. 2015 - 2018). Přes velice pozitivní výsledky nebyl užitný vzor licencován a kromě poloprovodního zařízení nebyl v praxi využit.

Základní bibliografie

Číslo přihlášky	2018-35617
Číslo zápisu	32426
Datum podání	15.11.2018
Název	CS: Denitrifikační bariéra v podpovrchových odtocích ze zemědělských půd EN: A denitrification barrier in subsurface discharge from agricultural soils
Přihlašovatel/Majitel	Vysoké učení technické v Brně, Antonínská 548/1, 601 90 Brno, Česká republika
Původce	Ing. Michal Křiška - Dunajský, Ph.D., Brno, Česká republika Ing. Karel Hrich, Ph.D., Říčany, Česká republika doc. Ing. Jitka Malá, Ph.D., Brno - Nový Lískovec, Česká republika Ing. Miroslava Pumprlová - Němcová, Brno, Řečkovice, Česká republika
Zástupce	Ing. Libor Markes, patentový zástupce, Grohova 54, 602 00 Brno, Česká republika
MPT	C02F3/34, C02F101/16
CPC	C02F3/34, C02F2101/16, Y02W10/18
Datum zápisu	10.12.2018
Datum zveřejnění	19.12.2018
Stav	Platný dokument
Druh	PUV - národní s žádostí o zapsání do rejstříku

5.9.1 Oblast techniky

Technické řešení se týká zařízení ke snižování obsahu dusíkatých látek v podpovrchových odtocích ze zemědělských půd.

5.9.2 Dosavadní stav techniky

K vyplavování dusíku ze zemědělské půdy v rozmezí 1,0-54,0 kg·ha⁻¹ dochází v závislosti na druhu půdy, aplikované plodiny, četnosti srážek a na způsobu využití a obdělávání půdy. Pokud se nitrátový dusík dostane mimo kořenovou zónu rostlin (0,8-1.0 m směrem do podloží), je denitrifikace jediný způsob, jak snížit obsah nitrátů v podpovrchových vodách před tím, než kontaminují recipient – vodní tok nebo vodní nádrž. Na pozemcích intenzívně zemědělsky obhospodařovaných s alespoň částečně zachovalým melioračním systémem podpovrchová voda proudí v podstatě vymezenými koridory, které lze poměrně snadno identifikovat. V opačném případě dochází k neřízenému odtoku znečištěné podpovrchové vody, přičemž ve většině situací dochází k toku vody ve směru sklonu terénu, tj. k vodnímu recipientu.

Jsou známy způsoby a zařízení k odstraňování dusíkatých látek z podpovrchových vod. CN101987760 A1 popisuje horizontální konstrukci schopnou posílit denitrifikační proces v podmačených půdách. Jedná se o výkop vyhloubený v půdě, ve kterém voda prochází postupně horizontálně uspořádanými vrstvami hrubozrnného a jemnozrnného zeolitu. Tato náplň je zespod provzdušňována a nahoře osazena rostlinstvem.

Samočisticí schopnost půd při nakládání s odpadními vodami využívají přírodní čistírenské technologie jako půdní filtr nebo horizontální filtr s vegetací. V příkopu nebo nádrži, které jsou na dně i na bocích opatřeny hydroizolací, protéká voda nejprve několika filtračními vrstvami kameniva a dále

filtračním prostředím, jehož pórovitou strukturu vyplňuje kořenový systém rostlin osázených na povrchu. Voda určená k vyčištění je do takto řešených filtrů přiváděna potrubím z přívodní šachty a odváděna do regulační šachty, která umožňuje nastavit hladinu v čistírně.

Popsaná zařízení nelze využít pro ošetření podpovrchových vod na velkých zemědělsky obdělávaných plochách, jelikož stěžejním kontaminantem je dusičnanový dusík, který popsané filtrační systémy nejsou schopny odstraňovat.

Technické řešení si klade za úkol navrhnout zařízení pro odstraňování dusičnanového dusíku z vod opouštějících pole, a to vod právě vsáklých a podpovrchově odtékajících půdním profilem i vod odtékajících drenážním systémem.

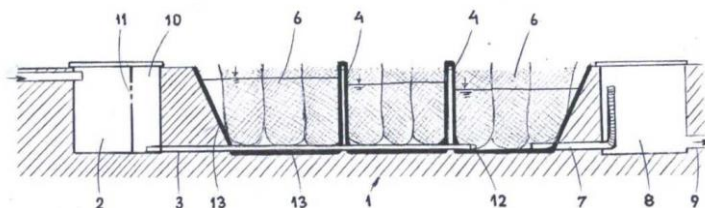
5.9.3 Podstata technického řešení

Uvedený úkol splňuje denitrifikační bariéra v podpovrchových odtocích ze zemědělských půd, jejíž podstata spořívá v tom, že je tvořena v příčném směru vůči sklonu terénu vodorovně situovaným podélným výkopem, který je na dně i na stěnách opatřen kompaktní hydroizolací a zcela zaplněn perforovanými vaky obsahujícími pórovitý materiál organického původu, přičemž na vstupu je výkop propojen alespoň jednou přívodní trubicí se zakrytou nátokovou šachtou, která má ve stěně vstup podpovrchové vody, a na výstupu je výkop propojen alespoň jednou odváděcí trubicí se zakrytou regulační šachtou, jejíž odtokové potrubí je zaústěno do recipientu, a přičemž odváděcí trubice je v regulační šachtě vyhnuta vzhůru a její konec je uzpůsoben k nastavení polohy ve svislém směru.

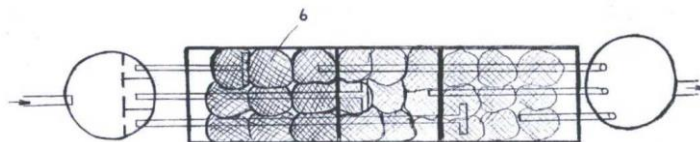
Ve výhodném provedení zajišťujícím rovnoměrný průtok vody a jeho regulaci je výkop rozdělen přepážkami z hydroizolačního materiálu po délce na n sekcí, z nichž každá je samostatnou přívodní trubicí propojena s nátokovou šachtou a samostatnou odváděcí trubicí propojena s regulační šachtou, přičemž v nátokové šachtě je vytvořeno n komor, z každé z nich vychází jedna přívodní trubice, a přičemž je každá komora otvorem ve své stěně propojena s nátokovým prostorem nátokové šachty. Pro lepší rozložení proudění uvnitř filtrační náplně může být konec přívodní trubice opatřen T kusem. Aby se zamezilo zanášení výkopu a šachet zeminou a povrchové vody se svedly ke vstupu do nátokové šachty, vyčnívají obě šachty nad úroveň terénu a po obvodu podélného výkopu je vytvořena zemní hrázka. Hydroizolační fólie je s výhodou alespoň vespod chráněna geotextilií. Aby se omezil přístup hmyzu na hladinu ve výkopu, měl by obsah vaků svou horní úroveň dosahovat nad úroveň hladiny.

5.9.4 Objasnění obrázků na výkrese

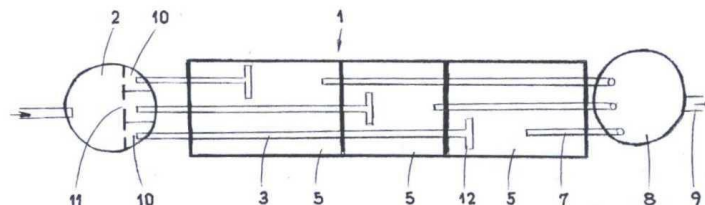
Technické řešení bude dále objasněno pomocí výkresu, na kterém Obr. 25 až Obr. 27 představují schematicky výhodné provedení denitrifikační bariéry pro podpovrchové odtoky, a to Obr. 25 v podélném svislém řezu a Obr. 26 a Obr. 27 v půdorysu, přičemž na Obr. 27 je podélný výkop vyobrazen s odejmutými vaky.



Obr. 25 Řez denitrifikační bariérou



Obr. 26 Půdorysný pohled na denitrifikační bariéru včetně filtračních vaků



Obr. 27 Půdorysný pohled na denitrifikační bariéru bez filtračních vaků

5.9.5 Příklady uskutečnění technického řešení

Denitrifikační bariéra podle Obr. 25 až Obr. 27 je soustavou několika sériově zapojených prvků, z nichž je hlavním prvkem filtrační prostor v podélném výkopu 1, vyplněný organickým pórovitým filtračním materiálem. Prvním prvkem ve směru proudění pak je nátoková šachta 2, napojená na podélný výkop 1 pomocí soustavy paralelních přívodních trubíc 3, uložených na úrovni dna výkopu 1, přičemž každá dílčí přívodní trubice 3 vede do jedné ze tří, hydroizolačními přepážkami 4 vzájemně oddělených sekcí 5 výkopu 1. To zajistí přibližně konstantní dobu zdržení znečištěné vody ve filtračním prostoru. Výkop 1 je vyplněn perforovanými vaky 6, vyplněnými organickým materiálem, zajišťujícím zdroj organického uhlíku pro denitrifikační bakterie, jejichž prostřednictvím dochází k odstranění dusičnanů z protékající vody.

Čištěná voda protéká převážně v horizontálním směru přes filtrační materiál v sekci 5 výkopu 1 až k příslušné odváděcí trubici 7, kterou dále odtéká do regulační šachty 8 a následně odtokovým potrubím 9 do nezobrazeného recipientu. Horní vrstva filtračního materiálu je vystavena atmosférickým podmínkám. Tím se zajišťuje volný přestup dusíku z filtračního materiálu do atmosféry a zároveň to umožňuje kontrolu stavu a úroveň filtračního materiálu. Podélný výkop 1 naplněný filtračním materiálem musí být zabezpečen proti vniknutí povrchového smyvu, v ideálním provedení např. vytvořením nízké zemní hrázky po svém obvodu, přičemž je možné využít tuto hrázku k odvedení vody do místa, kde se vsákne a je svedena do nátokové šachty 2.

Vnitřní prostor nátokové šachty 2 je rozdělen tak, že kromě nátokového prostoru jsou vytvořeny tři od něj oddělené komory 10, z nichž každá je s nátokovým prostorem propojena otvorem 11 ve své stěně a vychází z ní příslušná přívodní trubice 3 do sekce 5, kterou napájí. Otvory 11 ve stěnách komor 10 mohou být umístěny v různých výškách podle požadovaných a očekávaných průtoků. Tím je zajištěn požadovaný průtok resp. doba zdržení vody ve filtračním materiálu, dle průtoků a charakteristického znečištění se dimenzuje taková doba zdržení vody, aby byla zajištěna maximální efektivita zařízení.

Jako filtrační materiál organického původu uložený v perforovaných vácích 6, může sloužit dřevěná štěpka, mulč, kůra a jiné pórovité materiály o velikosti částic v rozmezí 16/32 až 32/64 mm, přičemž perforované vaky 6 jsou upraveny prostřednictvím ok tak, aby to umožnilo jejich vytažení v případě potřeby, např. při výměně již inertního a rozloženého filtračního materiálu na konci jeho životnosti.

Přívodní trubice 3 uvnitř filtračního materiálu jsou zakončeny T-kusem 12, který zabraňuje vytvoření zkratového proudu v horizontálním směru. Na protilehlé straně sekce 5 filtračního tělesa před dělicí hydroizolační přepážkou 4, tvořenou stejným izolačním materiálem jako je hydroizolační fólie 13 použitá na dně a na stěnách výkopu 1, se nachází ústí odváděcí trubice 7. Výkop 1 je hydraulicky

izolován od okolního prostředí hydroizolační fólií 13 s výhodou oboustranně chráněnou vhodnou geotextilií, přičemž hydroizolace vytváří kompaktní těsnící prvek.

Vyčištěná voda z každé sekce 5 odtéká odváděcí trubici 7 do regulační šachty 8 umístěné mimo výkop 1. Horní okraj regulační šachty 8 je umístěn nad úrovní terénu, přičemž voda ve vnitřním prostoru regulační šachty 8 nejprve protéká vzhůru svislou částí odváděcí trubice 7 nebo flexibilní hadice, jejíž konec je uchycen u horního okraje šachty 8 s možností regulace výšky výtoky. Odtud padá na dno regulační šachty 8 a následně odtokovým potrubím 9 odtéká dále do recipientu.

Byla testována denitrifikační bariéra tvořená izolovaným výkopem 1 s jedinou sekcí 5 o délce 4m, hloubce 1m a šířce 1m a šachtami 2, 8 o průměru a výšce 1,2 m. Náplň tvořila štěpka ze smrkového dřeva. Test probíhal na venkovní výzkumné laboratoři se zatravněným pozemkem, přičemž testována byla aplikace srážkových vod s uměle zvýšenou koncentrací dusičnanů přidávkem živin, přičemž vody byly akumulovány v dešťových nádržích a následně pozvolna čerpány do šachty 2, čímž byla simulována přirozená situace. Test byl prováděn za běžných klimatických podmínek, během zimního období byl sledován pokles teploty vody v izolovaném výkopu 1. Po 60 dnech po instalaci se ve filtračním materiálu vytvořila vhodná bakteriální kultura. Následovalo měření, které ukázalo, že při průtoku odpovídajícímu době zdržení 10 hodin obsah dusíkatých látek zjištěný v nátokové šachtě 2 poklesl po průchodu filtračním materiálem z původních $60 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ na výsledných $8 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

Výsledky ukazují, že uvedené denitrifikační zařízení může po dalším zdokonalení přispět k řešení ekologického problému, kterým je kontaminace povrchových vod dusičnany.

5.9.6 Nároky na ochranu

1. Denitrifikační bariéra v podpovrchových odtocích ze zemědělských půd, vyznačující se tím, že je tvořena vodorovně situovaným podélným výkopem (1), který je na dně i na stěnách opatřen kompaktní hydroizolací (13) a je zcela zaplněn perforovanými vaky (6) obsahujícími pórovitý materiál rostlinného původu, přičemž na vstupu je výkop (1) propojen alespoň jednou přívodní trubicí (3) se zakrytou nátokovou šachtou (2), která má ve stěně vstup podpovrchové vody, a na výstupu je výkop (1) propojen alespoň jednou odváděcí trubicí (7) se zakrytou regulační šachtou, jejíž odtokové potrubí (9) je zaústěno do recipientu, a přičemž odváděcí trubice (7) je v regulační šachtě (8) vyhnuta vzhůru a její konec je uzpůsoben k nastavení polohy ve svislém směru.

2. Denitrifikační bariéra podle nároku 1, vyznačující se tím, že výkop (1) je přepážkami (4) z hydroizolačního materiálu rozdělen po délce na n sekcí (5), z nichž každá je samostatnou přívodní trubicí (3) propojena s nátokovou šachtou (2) a samostatnou odváděcí trubicí (7) propojena s regulační šachtou (8), přičemž v nátokové šachtě (2) je vytvořeno n komor (10), z každé z nich vychází jedna přívodní trubice (3), a přičemž je každá komora (10) otvorem (11) ve své stěně propojena s nátokovým prostorem nátokové šachty (2).

3. Denitrifikační bariéra podle nároku 1 nebo 2, vyznačující se tím, že konec přívodní trubice (3) je opatřen T kusem (12).

4. Denitrifikační bariéra podle některého z nároků 1 až 3, vyznačující se tím, že šachty (2, 8) vyčnívají nad úroveň terénu a po obvodu podélného výkopu (1) je vytvořena zemní hrázka.

5. Denitrifikační bariéra podle některého z nároků 1 až 4, vyznačující se tím, že hydroizolační fólie (13) je alespoň vespod chráněna geotextilií.

6. Denitrifikační bariéra podle některého z nároků 1 až 5, vyznačující se tím, že obsah vaků (6) svou horní úroveň dosahuje nad úroveň hladiny.

5.9.7 Uplatnění v praxi

Před ukončením výzkumných prací nebylo dosaženo realizace v praxi. Aplikační partner projevil vysoké úsilí ve snaze o prosazení v provozních podmínkách, nicméně proces uplatnění zařízení v provozních podmínkách se jeví nadále jako velice složitý. Přesto se očekává, že provozní zařízení bude v následujících letech minimálně v několika situacích uplatněno. Zařízení bylo v poloprovozním prostředí testováno na výzkumném pozemku Ústavu vodního hospodářství krajiny (Obr. 28).



Obr. 28 Poloprovozní zařízení testované na výzkumném pozemku UVHK

6 VÝSLEDKY A APLIKAČNÍ PŘÍNOS

Jak již bylo uvedeno výše, přírodní čistírna odpadních vod je složena z několika stavebních prvků, zapojených v sérii (více filtračních polí bývá zapojeno paralelně, u větších ČOV je zapojení sériově-paralelní), pracujících společně jako celek. Soustava musí být složena z mechanického stupně čištění, hlavního stupně čištění a dočištění. Samotné dočištění je potřebné pouze v případě nutnosti odstranění celkového dusíku, resp. nutnosti dodržení přísnějších limitů, než které ukládá vždy platné nařízení vlády pro vypouštění do povrchových nebo podzemních vod.

Práce přináší několik dílčích výsledků, které při společném uplatnění vytváří výrazně účinnější a spolehlivější systém, který je i po ekonomické stránce výrazně výhodnější ve srovnání s klasickým uspořádáním mechanicko-biologické čistírny odpadních vod. Mezi vybrané výsledky, které jsou uplatnitelné v širším měřítku a zároveň jsou významné buď pro VUT nebo technologii samotnou, patří zejména:

- mechanické předčištění – řešení nového uspořádání odlehčovací komory a šterbinové usazovací nádrže,
- anaerobní separátor – coby náhrada klasických vícekomorových septiků,
- horizontální filtr – drobné úpravy konfigurace na základě zjištěných poloprovozních měření, zvýšení čistící účinnosti úpravou provozních podmínek,
- vertikální filtr – nová technologie řešení filtrace odpadní vody, výrazně vyšší účinnosti filtru, popis podmínek vedoucích ke kvalitním výsledkům,
- řešení odstraňování amoniaku a dusičnanů – pomocí tří různých inovací a technických řešení,
- vyřešení kolmatace, kalového hospodářství a celkové koncepce přírodních čistíren.

6.1 MECHANICKÉ PŘEDČIŠTĚNÍ

Mechanický stupeň předčištění odpadní vody, coby součásti čistírny odpadních vod, tvoří několik objektů, které postupně z protékající odpadní vody odstraňují plovoucí částice od nejhrubších po nejjemnější. Na odtoku z mechanického stupně by se měla vyskytovat minimální koncentrace nerozpuštěných látek proto, aby se udržel technicky nejdéle trvající bezporuchový provoz filtračního pole. Součástí mechanického stupně čištění je i odlehčovací komora, řazena na jednotné kanalizační síti těsně před česlemi, lapákem písku a usazovací nádrží (vícekomorovým septikem).

6.1.1 Odlehčovací komora

Vzhledem k sériovému zapojení jednotlivých čistících stupňů, je odlehčovací komora z pohledu bezpečnosti provozování kořenové čistírny ten nejdůležitější prvek (užitný vzor popsán v kap. 5.1). Pokud nefunguje odlehčovací komora (většinou se jedná o nevhodný návrh, spojený s nedodržením maximálně možných průtoků), není možné zajistit dlouhodobou udržitelnost čistírny, doprovázenou nízkými koncentracemi znečištění na odtoku.

Inovace zastaralých a nefungujících odlehčovacích komor byla stěžejním úkolem výzkumného projektu MPO TIP FR-TI3/778. V roce 2012 byla provedena úprava odlehčovací komory na ČOV v obci Dražovice, přičemž řešení je vykázáno současně jako funkční vzor (Obr. 29) a užitný vzor č. 24924.

Odlehčovací komora musí zajistit nepřetěžování zejména usazovací nádrže nebo septiku. Zvýšené průtoky, vlivem špatně fungující odlehčovací komory, jsou důvodem k současným problémům s ucpanými kořenovými filtry na nejstarších čistírnách. V současné době se i nadále realizují špatné projektové dokumentace, v důsledku čehož se kolmatace filtračního prostředí objevuje již po několika letech provozu.

Nejdůležitější ukazatel u návrhu odlehčovací komory je tedy Q_{\max} ($l \cdot s^{-1}$) a v projektové dokumentaci by mělo být výpočtem, modelem nebo měřením dokázáno, že sedimentačním prostorem navazující usazovací nádrže nebude proudit odpadní voda tak, aby uvolňovala a vyplavovala kal.



Obr. 29 Pohled na odlehčovací komoru před a po aplikaci užitého vzoru

Příkladem může být funkční vzor rekonstruované odlehčovací komory v obci Dražovice. Zařízení bylo vyrobeno podle užitého vzoru č. 24924. Užité vzor byl dle teoretických hydraulických výpočtů sestaven v modelovém měřítku 1:1 v laboratorním prostředí Ústavu vodního hospodářství krajiny. Hydraulické výpočty a testování průtočného žlabu bylo zpracováno v rámci práce (Herman, M., 2012), realizace řešení in-situ byla potom dílčí částí náplní v navazujícím roce (Pobořil, J., 2013). Od toku 2013 je funkční vzor odlehčovací komory zapojen v provozních podmínkách na čistírně odpadních vod v obci Dražovice, přičemž v letech 2018 a dále je na přítoku osazeno hladinové čidlo, prostřednictvím něhož se vyhodnocují průtokové poměry na Thomsonově ostrohranném přelivu.

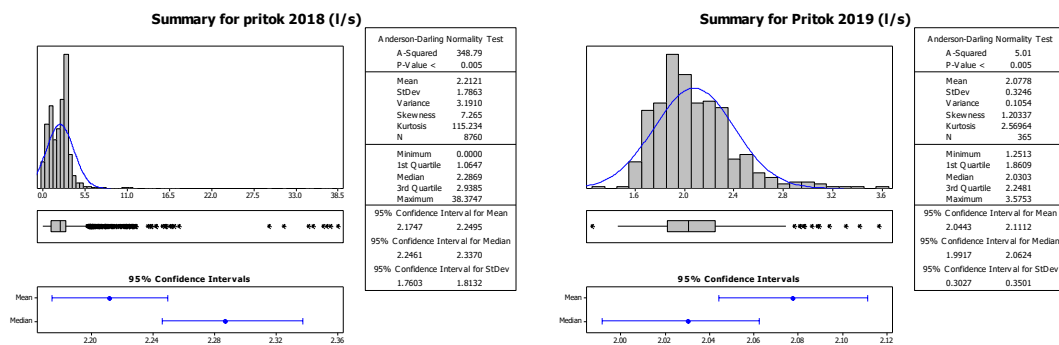
V roce 2018 způsobila banální provozní chyba několik pozorovatelných extrémních průtoků. Tento jev byl následně vysvětlen po konzultaci se správcem čistírny. V rámci dešťových situací byla ve všech případech naplněna dešťová nádrž, která byla následně prostřednictvím kalového čerpadla přečerpávána přímo na lapák písku. Tyto vysoké průtoky byly nicméně krátkodobého charakteru a nebyly způsobeny špatným řešením odlehčovací komory, ale nevhodným provozním přístupem. Další hodnoty nad bezpečnou hodnotu průtoku byly způsobeny opakovaným strojním odběrem akumulovaného písku, taktéž v následujícím roce upraven postup a přístup k odběru sedimentu. V následujícím roce 2019 již není registrován ani jeden problém, jelikož bylo přistoupeno k úpravě provozování odlehčovací komory:

- po ukončení dešťové situace a snížení průtoků byla odpadní voda z dešťové nádrže čerpána na začátek odlehčovací komory, aby nedocházelo k nežádoucímu navyšování průtoků vlivem napouštění vody do prostoru lapáku písku,
- během čištění odklápací radlice je v roce 2019 kladen důraz na skutečnost, aby byla radlice bezprostředně po vyčištění vracena zpět na prostorový žlab. V předchozím roce byla několikrát ponechána ve svislé poloze z důvodu nepředvídatelnosti následků ze strany správce čistírny,
- odběr sedimentu z akumulacího prostoru lapáku písku byl upraven tak, aby nedocházelo k silným průtočným výkyvům vlivem rychlého ponořování a vynořování lžice o objemu větším jak 100 litrů.

Průměrný průtok v roce 2018 představoval hodnotu $2,21 \pm 1,78 l \cdot s^{-1}$, v následujícím roce se hodnota snížila na $2,08 \pm 0,32 l \cdot s^{-1}$. Současně byl v roce 2019 maximální registrovaný přítok odpadní vody

z odlehčovací komory $3,6 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, což je z pohledu dlouhodobě udržitelného provozu filtračních stupňů již akceptovatelná hodnota. V následujících letech bude záznamové čidlo (hladinoměr) ponecháno v odtokovém profilu lapáku písku za účelem získání výsledků, které bude možné publikovat.

Rok 2020 je již osmým rokem, kdy je odlehčovací komora po provedené rekonstrukci podle užitého vzoru VUT v bezporuchovém provozu a vykazuje požadované výsledky (Obr. 30). Drobnou nevýhodou z pohledu provozovatele je nutnost odkalování usazovací nádrže s frekvencí 1x měsíčně oproti původním 1x ročně. Na druhou stranu z dlouhodobého pohledu došlo k potlačení silně se projevujících kolmatačních procesů (popsáno v kapitole 0).



Obr. 30 Statistické vyhodnocení přítoků na ČOV Dražovice v roce 2018 a 2019

Podle pozorování v posledních letech již nedochází k vyplavování kalů na filtrační pole. Odlehčovací komora plní svou funkci a stává se vzorem pro rekonstrukce jak starších kořenových čistíren odpadních vod, tak pro nově projektované objekty.

Ukazuje se, že odlehčovací komora podle užitého vzoru č. 24924 je nejen funkčním vzorkem, ale zejména spolehlivým zařízením. Maximální průtoky, které byly zjištěny před rekonstrukcí, dosahovaly hrubým odhadem na základě odečtu z geodetické latě hodnoty nad $80 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Jak bylo uvedeno v diplomových pracích (Burešová, H., 2011, Pobořil, J., 2013), vlivem špatně navržené a v rámci zkušebního provozu neověřené funkčnosti odlehčovací komory docházelo téměř u všech původních kořenových čistíren k problémům, které mají velice nepříjemné provozně ekonomické následky. Nicméně lze jen smutně konstatovat, že ani publikační činnost, osvěta, případně konzultace se starosty obcí, které mají jako technologii zařazenou nefunkční odlehčovací komoru, nevedly k širšímu uplatnění užitého vzoru v praxi. V důsledku bylo potom rozhodnuto, že platnost užitého vzoru nebude nadále prodlužována, tzn., dnes již může odlehčovací komoru před kořenovou čistírnou upravovat neomezeně podle užitého vzoru kdokoli, aniž by Vysoké učení technické těžilo z úspěšného produktu maximum. Přestože je dokázán přínos řešení, nevidujeme na našem pracovišti dosud žádnou rekonstrukci odlehčovací komory před kořenovou čistírnou ani přesto, že užité vzor je volně k využití. Z tohoto důvodu se i nadále všem původním kořenovým čistírnám neustále zkracuje jejich životnost.

6.1.2 Štěrbínová usazovací nádrž

Štěrbínové usazovací nádrže byly zkoumány v rámci výzkumných prací spojených s projektem BIOSTREAM (projekt MPO TIP FR-TI3/778). Praxe již v letech 2003 a dále ukazovala na neutuchající situaci, související s intenzivní kolmatací tehdejších filtračních polí.

Výsledky z monitoringu několika štěrbinových usazovacích nádrží ukázaly, že štěrbinové usazovací nádrže fungují jako ve své podstatě správně, nicméně jsou zatěžovány extrémními průtoky vlivem špatně navržených odlehčovacích komor. Každá usazovací nádrž by měla být projektována na průměrnou dobu zdržení protékající odpadní vod, ale současně dimenzována na minimální dobu

zdržení při maximálním možném průtoku. Jelikož je usazovací nádrž svým objemem menším stavebním prvkem, nelze očekávat natolik účinnou sedimentaci jako v případě vícekomorových septiků.

Hlavní výhoda šterbinové usazovací nádrže ve srovnání se septikem spočívá pouze v úspoře prostoru, což se projeví snížením investice. Na druhou stranu, žádná šterbinová usazovací nádrž nemůže fungovat tak spolehlivě jako vícekomorový septik, u něhož je doba zdržení 3 - 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 běžně neprojektují.

Na nejvíce sledované šterbinové usazovací nádrži v obci Dražovice bylo provedeno několik pokusů o inovaci (Obr. 31). Z nejdůležitějších lze jmenovat:

1. Pokrytí hladiny systémem plovoucích ostrovů s mokřadními rostlinami: předpoklad vytvoření zakryté hladiny s celoplošně „pórovitou nornou stěnou“, kterou tvoří kořenový systém rostlin se ukázal jako efektivní pouze během krátkého období. Ve sledovaném období (jedna vegetační sezona) došlo k úplnému ucpání kořenového systému tukovými částicemi, výměna za nové ostrovní prvky byla natolik náročná, že tato úprava ve výsledku byla pro složitost zavržena.
2. Změna směru proudění odpadní vody – odpadní voda byla přiváděna do centrálního prostoru, v němž nejprve snížila rychlost, postupně proudila směrem do akumulárního prostoru a následně přes podélnou šterbinu vytékala do usazovacího prostoru. Jako neúčelné se ukázalo pozvolné vyplavování kalových částic z akumulárního prostoru neočekávanými zkratovými proudy.
3. Průběžné odčerpávání kalu – v rámci zjednodušení provozu bylo do akumulárního prostoru osazeno potrubí, umožňující odčerpávání kalů na základě automatického časového spínače. Provozní zkušenost ukázala na problémy ucpávání čerpadla, případně nedostatečnou účinnost mamutkového čerpadla. Problém s čištěním potrubí se ukázal jako slepá cesta (Mrvová, M., 2014).

Šterbinové usazovací nádrže byly tímto předurčeny nejprve k zavržení, ale paralelně probíhající rekonstrukce odlehčovací komory ukázala, že pokud je předřazená odlehčovací komora navržena správně, může i šterbinová usazovací nádrž plnit funkci dle očekávání projektanta. Jako důkaz správné funkčnosti sledované šterbinové usazovací nádrže lze konstatovat zkušenosti, které byly zahrnuty do revidované ČSN 756402 (revize v roce 2017):

- Šterbinová usazovací nádrž se musí odkalovat častěji, než bylo uvedeno v původní ČSN 756402, jinak hrozí vyplavování kalů na navazující filtry.
- Za šterbinovou usazovací nádrží musí následovat vždy horizontální filtr, teprve za ním může být umístěn vertikální filtr.
- Návrhové parametry na dobu zdržení jsou zpřísněny z důvodu efektivnější sedimentace, a tedy delší životnosti čistírny.

Rozhodovací proces, zda je nebo není šterbinová usazovací nádrž vhodným zajištěním mechanického předčištění, je postaven zejména na ekonomickém posouzení. Tím, že je kladen důraz na odstraňování amoniakálního dusíku, vzniká tedy potřeba zařadit vertikální filtr. Při uplatnění vertikálního filtru je také potom kladen důraz na vysokou účinnost odstraňování nerozpuštěných látek. Znamená to tedy, že za objektem šterbinové usazovací nádrže musí následovat horizontální filtr, zajišťující bezproblémový provoz navazujícího vertikálního filtru.

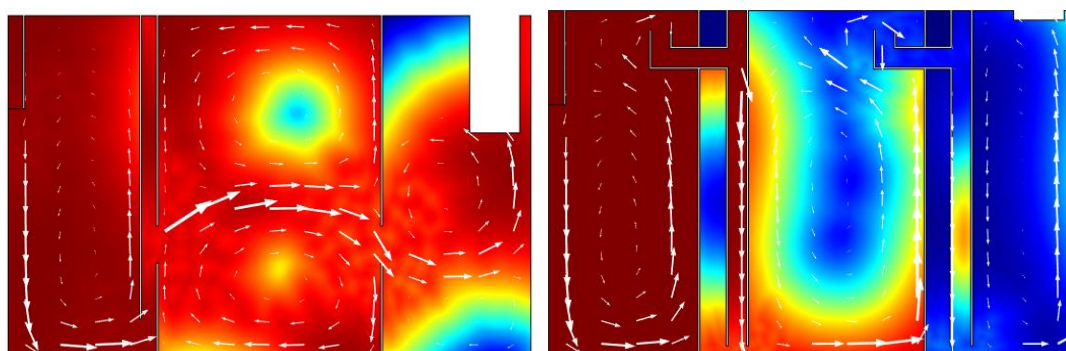


Obr. 31 Neúspěšný směr v rámci intenzifikace štěrbinových usazovacích nádrží

Doba zdržení u soustavy štěrbinová usazovací nádrž + horizontální filtr by měla být odpovídající jako u vícekomorového septiku (lépe anaerobního separátoru). Posouzení investiční a provozní náročnosti po dobu životnosti obou objektů je velice nasnadě, je nutností a mělo by být součástí každého posuzování ve smyslu nejlepší dostupné technologie pro konkrétního producenta (obec) odpadních vod.

6.2 ANAEROBNÍ SEPARÁTOR

Novinkou v oblasti předčištění odpadní vody, přicházející postupně v letech 2012–2014, byl anaerobní separátor. Řešení, vycházející z tříkomorového septiku, ale eliminující nedostatky septiku za současného zlepšení čistící účinnosti. V rámci řešeného projektu (TAČR: TA02021032) byl vyvinut funkční vzor budoucího anaerobního separátoru, který byl současně ochráněn užitným vzorem (kap. 5.3). Dílčím cílem projektu byla optimalizace doby zdržení odpadní vody ve čtyřkomorovém septiku a eliminace zkratového proudění.



Obr. 32 Zjednodušená simulace mísení dvou kapalin ve tříkomorovém septiku

Výsledky z vývoje modernizovaného víceúrovňového uspořádání sedimentačních prostor byly nejprve publikovány v diplomové práci (Šrámková, D., 2013). Ukázkou může být Obr. 32, v němž u levé varianty dochází k rychlému průtoku vody od přítoku k odtoku (původní voda = modrá, čerpaná voda = červená) a u pravé varianty uspořádání dochází k výrazně lepšímu zadržení vody již v první komoře septiku (barevná legenda totožná s předchozím). Závěry a doporučení byly následně rozvinuty prostřednictvím laboratorního měření, které bylo prováděno na výzkumném pozemku Ústavu vodního

hospodářství krajiny v roce 2014 (Hradilová, I., 2015), případně publikovány na seminářích, určených pro výrobce septiků a domovních čistíren odpadních vod (Křiška a Hyánková, 2013). V rámci diplomové práce I. Hradilové byla zároveň vyvinuta a opakovaně ověřena nová metoda pro testování využitelnosti prostoru usazovacích nádrží (vícekomorových septiků). Současně v rámci postupné optimalizace vznikla postupně upravovaná desátá verze jako finální řešení, vykázaná zároveň coby funkční vzor vícekomorového septiku (Křiška-Dunajský, M., Hradilová, I., Plotěný, K.: SEPTIK 4K-V10, Separace nerozpuštěných látek v anaerobním prostředí - septik. Venkovní výzkumný polygon Ústavu vodního hospodářství krajiny, Žižkova 17, Brno. Funkční vzorek).

6.2.1 *Konduktivní testovací metoda*

Z důvodu evidentní složitosti, náročnosti a relativně nevýznamného výsledku, jsme pro účely posouzení reálné doby zdržení vody v separačním objektu museli v rámci výzkumných prací vytvořit vlastní testovací postup. Obecně je známá testovací metoda, uvedená v normě ČSN EN 12566-1 (Příloha B – Zkouška hydraulické účinnosti), nicméně dle provedené dotazníkové rešerše mezi výrobci v České republice podle této metody septiky nikdo netestuje z důvodu její složitosti (Hradilová, I., 2015).

Vyvinutá vlastní testovací metoda, pomocí které byla srovnávána a následně vyhodnocována hydraulická účinnost (využití vnitřního prostoru vícekomorových septiků), je založena na zjišťování rozdílů konduktivity vody ve vybraných profilech při ustáleném přítoku kapaliny do septiku (neměnná okrajová podmínka v čase). Pro účely vzájemného srovnání více septiků (Obr. 33), resp. více konfigurací s různými objemy, bylo nutné zavést několik zásadních zjednodušení, resp. konstantních okrajových podmínek, protože napodobit náhodné průtoky v průběhu dne není realistické. Znamená to tedy, že metoda neodpovídá skutečným průtokovým poměrům, ale pokud by byly všechny výrobky testovány prostřednictvím snadné, levné, rychlé a účinné metody, byly by tyto výrobky následně srovnatelné navzájem. Tedy výrobky by byly klasifikovatelné, níže je uvedeno 8 klasifikačních tříd.

Zjednodušený princip testování spočívá v následujících krocích:

- 1) nádrž je napuštěna upravenou slanou vodou,
- 2) do přítokového potrubí se čerpá (pouští) konstantním průtokem neupravená (pitná) voda
- 3) kontinuálně se sleduje úbytek koncentrace soli (nebo lépe konduktivity) na odtoku
- 4) vyhodnocuje se rychlost úbytku zasolení v odtokovém profilu

Očekává se, že vlivem mísení, zkratových proudů, nosných prvků, výztuží, přepážek, tvaru komory, umístění norných stěn, velikosti otvorů mezi komorami, aj. fyzikálních charakteristik, se docílí ve stejném čase vždy různé koncentrace slané vody v odtokovém prostoru.

Předpokládá se, že čím později se začne neupravená voda v odtoku projevovat, tím je lepší hydraulické uspořádání a lze očekávat lepší dobu zdržení vody v septiku. Vyhodnocení spočívá tedy ve sledování poměru mezi neupravenou pitnou vodou a vodou s upravenou konduktivitou (zvýšení salinity přidávkem KCl). Pro potřeby určení minimální a maximální hodnoty je potřeba nejprve stanovit konduktivitu obou tekutin zvlášť, zjištěná hodnota minimální je transformována na hodnotu 0,0, hodnota maximální konduktivity je převedena na číslo 1,0. V odtokovém profilu (Obr. 34) při samotném měření je potom hodnota 1,0 postupně snižována – při výskytu čerpané neupravené vody dochází k naředění „slané“ vody, a tedy snižování konduktivity.



Obr. 33 První verze testovacího septiku před a po úpravách na základě získaných výsledků

Celou metodiku měření lze detailněji rozdělit do několika dílčích částí:

- 1) Příprava vícekomorového septiku – důsledné promísení vody, rozpuštění přísady soli, ideálně za využití silných kalových čerpadel. Konduktivita musí být ve všech prostorech stejná (resp. odchylka v jednotlivých měřených profilech musí být minimální).
- 2) Příprava vody určené pro čerpání – v ideálním případě se musí čerpat voda s teplotou vody, blízkou teplotě vody v septiku. Objem připravené vody by měl být aspoň 2x objem testovaného septiku.
- 3) Příprava pokusu – zajištění čerpadel, průtokoměrů, odečty průtokoměrů, osazení sond, kontrola funkčnosti dataloggerů, kontrola uklidněné hladiny v testované nádrži, případně zajištění potlačení vlivu větru na vodní hladinu, zastínění testované nádrže (potlačení prohřívání dílčích částí vodního sloupce)
- 4) Spuštění pokusu a měření – zapnutí čerpadla, zahájení měření, zapnutí stopek, dataloggerů, průběžná kontrola zápisu dat.
- 5) Zpracování naměřených dat – vyhodnocení max. a min. konduktivity, přepočty na rozmezí 0-1, časový průběh měnící se konduktivity v odtokovém profilu
- 6) Vyhodnocení naměřených dat, kategorizace – posouzení a zařazení využitelného objemu nádrže

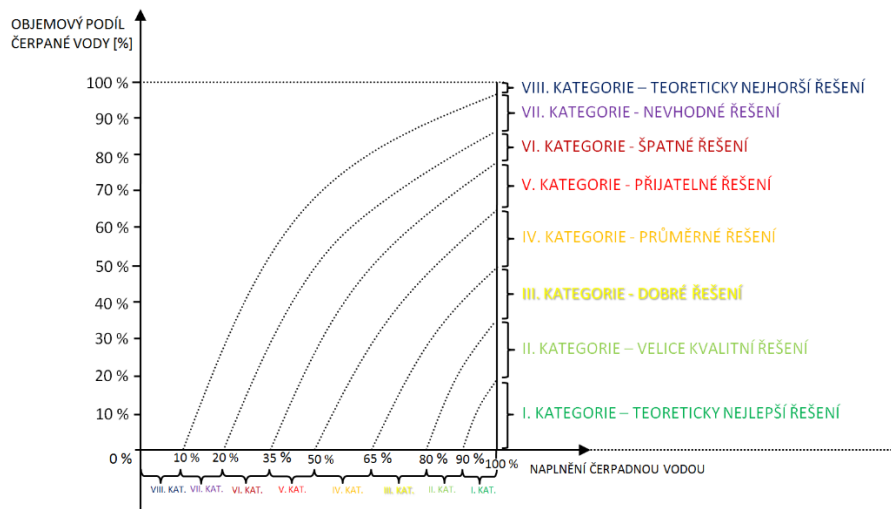


Obr. 34 Umístění sondy na prostupu přepážkou a v odtokovém profilu

6.2.2 Kategorizace separátorů

Dle výše popsané metody bylo provedeno několik úprav tříkomorového separátoru a několik postupně optimalizovaných řešení pětikomorového separátoru (čtvrtina kruhu rozdělena na dva oddělené prostory). Pro univerzálnost a reprodukovatelnost metody byla časová osa nahrazena množstvím

příčerpáné vody, přičemž hodnota není vyjádřena v jednotce objemu, ale výhodnější je vyjádření v procentech vůči celkovému objemu vody v separátoru (Obr. 35).



Obr. 35 Stanovené kvalitativní kategorie podle průběhu konduktivity při testování

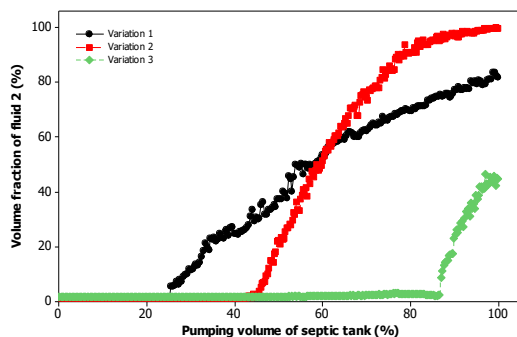
Naměřená a zpracovaná data byla vyhodnocena podle hodnotících kritérií, uvedených v tabulce č.8. V rámci testování na výzkumném pozemku ÚVHK byly všechny provedené pokusy při vývoji prototypu uspořádány do kategorií 1 až 8, podle vhodnosti a kvality řešení. Kategorie jsou seřazeny sestupně od teoreticky nejlepšího řešení, tzn. hydraulicky nejlepšího, avšak po finanční stránce nepřijatelného, přes řešení přijatelné až po teoreticky nejhorší řešení s nejnižšími náklady na výrobu, avšak hydraulicky naprosto nevhodné.

Jedním ze zásadních výsledků výzkumu TAČR TA02021032 je po stránce konstrukční zcela nový typ septiku s optimalizovaným prouděním a maximálním využitím prostoru z hlediska účinnosti v odstranění nerozpuštěných látek. Na Obr. 36 jsou zobrazeny výsledky z měření při konstantním průtoku $Q = 0.33 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ čtyřkomorovým septikem při 1., 2. a 3. úpravě, přičemž graf zobrazuje konduktivitu měřenou v odtokovém profilu upravovaného septiku. Názorný je zejména odsun náběhu, který představuje oddálení výskytu přítékající vody v odtokovém profilu.

Tab. 8 Kritéria pro hodnocení kvality separátoru

Hodnotící kritérium	KATEGORIE KVALITY SEPARÁTORU							
	I. Teoreticky nejlepší řešení	II. Velice kvalitní řešení	III. Dobré řešení	IV. Průměrné řešení	V. Přijatelné řešení	VI. Špatné řešení	VII. Nevhodné řešení	VIII. Teoreticky nejhorší řešení
Využití prostoru septiku	1	2	2	2	3	3	4	5
Potenciální zkratové proudy	1	2	3	3	4	4	5	5
Reálnost uspořádání prostoru septiku	5	4	3	3	3	2	2	1
Pečlivost návrhu prostoru septiku	1	2	2	3	4	4	5	5
Vliv na účinnost septiku (nerozpuštěné látky)	1	1	2	2	3	4	5	5
Náklady na vývoj septiku	5	4	3	3	2	2	1	1
Náklady na výrobu septiku	5	4	3	2	2	2	1	1
Návratnost vynaložených prostředků	5	4	3	3	2	2	1	1
	24	23	21	21	23	23	24	24

Provedené testy prokázaly možnost zvýšení účinnosti odstranění organických látek optimalizací užitečných objemů. Princip co nejlepšího využití objemu septiku může spočívat v úpravě stávajících septiků např. pomocí nalezení optimálního polohy rozrážecí stěny, které souvisí s koncentrací uvolněného kalu do odtokového potrubí. Vyšší účinnost vyvinutého zařízení zároveň staví na předpokladu: sedimentace je ovlivněna gravitačním polem země, takže pokud se zajistí převládající proudění vody v opačném směru, bude sedimentace efektivnější, bude docházet s největší pravděpodobností k výrazně lepší sedimentaci kalových částic, resp. k účinnější separaci nerozpuštěných látek.



Obr. 36 Konduktivní metoda - srovnání tří úprav septiku

Výsledky z testování septiků se promítly nejen do publikační činnosti na odborných seminářích a konferencích, ale byly zahrnuty do revidované ČSN 756402 (revize v roce 2017), kde nově vytvořil anaerobní separátor vlastní kategorii vedle septiku a sedimentační nádrže. Norma zahrnuje také

účinnosti anaerobních separátorů, přičemž hodnoty vychází jak z provozních měření, tak z testování v akreditované vodohospodářské laboratoři VUV T.G.M. v.v.i. v Praze. Účinnost odstranění znečištění u nově vyvinutého septiku se při dlouhodobém testovacím provozu v akreditované laboratoři pohybuje např. u $CHSK_{Cr} = 65 \%$, $NL = 72 \%$. Výsledek přímo souvisí s rychlostí a délkou trajektorie jednotlivých proudnic, výslednou dobou zdržení, zkratovými proudy, řešením norných stěn apod. Vyvinutý anaerobní separátor je od roku 2016 dosud vyráběn druhým majitelem užitého vzoru.

6.3 HORIZONTÁLNÍ FILTR

Technologie kořenových čistíren, založená na principu horizontálních filtrů, byla v letech 1990 – 2010 na území České republiky navrhována téměř ve všech případech, kdy byla použita jako technologie kořenová čistírna. Mezi hlavní důvody rozšíření horizontálních filtrů patří zejména jednoduchost návrhu i realizace a provoz s minimální náročností. Nevýhodou jsou všechny známé důsledky spojené s anaerobním prostředím, které vzniká v horizontálním filtru.

Téměř veškerá dostupná literatura uvádí návrh horizontálních filtračních polí podle vzorce, zajišťujícího odstranění znečištění BSK_5 . Praxe ukazuje, že s organickým znečištěním, definovaným na odtoku jako hodnota BSK_5 , jsou horizontálně protékané filtry schopny se vypořádat i při relativně nízkém zředění balastními vodami. Nedostatkem je nicméně skutečnost, že odpadní voda vypuštěná do recipientu vykazuje hlubokou hodnotu ORP (běžně až -300mV) a může dle vodnosti výrazně narušit hydrobiologickou bilanci ve vodním toku.

Jelikož je u horizontálních filtrů prokazatelně nízká účinnost v odstranění amoniakálního dusíku (Němcová, M., 2015) a současně je kladen důraz na minimalizaci nutrientů v povrchových vodách, je dnes na základě získaných zkušeností i tento poznatek zahrnut v revidované normě ČSN 756402. Horizontální filtry nejsou dle normy povoleným zařízením ve smyslu samostatného hlavního stupně čištění, což je hlavní technologický rozdíl oproti původní koncepci kořenových čistíren. Filtry jsou nově součástí mechanického stupně čištění, nazývají se bezpečnostními filtry, jejichž cílem je zajištění spolehlivého provozu navazujících vertikálních filtrů. Tudiž pokud je horizontální filtr zapojen pouze jako bezpečnostní prvek mezi mechanickým stupněm (septik, šterbinová usazovací nádrž) a hlavním stupněm (vertikální filtr), je nutné pro návrh navazujícího vertikálního filtru stanovení odtokové koncentrace BSK_5 a zejména $CHSK_{Cr}$ na odtoku z horizontálního filtru. Návrh takového filtru může mít pevně stanovenou plochu horizontálního filtru, např. $1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{EO}^{-1}$, tzn. neznámým parametrem je tedy odtoková koncentrace c_o :

$$c_o = e^{\left(\ln(c_p) - \frac{A \cdot K_{BSK} \cdot n \cdot h}{Q_d}\right)} \quad (10)$$

Kde je c_o zjišťovaná (hledaná) koncentrace znečištění BSK_5 na odtoku z filtru v $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$, c_p - předpokládaná koncentrace znečištění BSK_5 na přítoku do filtru v $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$, A je průměrná plocha filtru (m^2), K_{bsk} kinetická konstanta úbytku znečištění BSK_5 v $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$ (doporučovaná hodnota je $0,10 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$), n pórovitost (bezrozměrná forma, často $0,40 - 0,45$), h hloubka filtru v m , Q_d průměrný denní přítok vody v $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$.

Upravený vzorec umožňuje návrh vertikálního filtru, který je připojen v sériovém uspořádání za horizontálním filtrem. Detailní popis je uveden v kap. 6.4.

6.3.1 Úprava distribučního potrubí

Samotný návrh distribučního potrubí není z pohledu celkové účinnosti zásadním prvkem. Měření na poloprovozní čistírně v obci Kotenčice ukázalo (Hnátková a kol., 2014), že účinnost odstranění BSK_5 více ovlivňuje teplota vody, vzrůst a kondice mokřadních rostlin, celkové zapracování systému, zrnitost použitých filtračních materiálů a doba zdržení odpadní vody ve filtru. V důsledku není

nezbytně nutné řešit distribuční potrubí tak pracně jako u původních kořenových čistíren. Naopak se ukázalo v praxi např. na zakolmatovaném filtračním poli v několika obcích (Dražovice, Velká Jesenice, Rudíkov, Hostětín, Spálené Poříčí a mnoho dalších), že řešení potrubí pomocí děrovaných otvorů s průměrem 20 mm po vzdálenosti 1500 mm je nevhodné řešení. Po stránce hydraulické není možné dostáhnout rozdělení pomalého přítoku (řádově průtok do $1,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$) na délku např. 40 metrů celkem 25 otvory s očekáváním odtoku $40 \text{ ml}\cdot\text{s}^{-1}$ z každého otvoru. S ohledem na skutečnost, že uspořádání potrubí nemá vliv na účinnost, je vynaložené úsilí na optimalizaci řešení potrubí bezvýznamné. Novým řešením pro uspořádání potrubí je několik doporučení, která byla citována v revidované normě ČSN 756402 v roce 2017:

- 1) Pro spolehlivý odtok vody z potrubí, tj. proud vody bez nerozpuštěných látek, je nutná dostatečně dlouhá doba zdržení v odpadní vody v usazovacím prostoru (štěrbinová usazovací nádrž, anaerobní separátor).
- 2) Potrubí by mělo být umístěno nad úroveň filtračního materiálu – předejití prorůstání kořeny mokřadních rostlin, kontrola čistoty potrubí, kontrola rovnoměrnosti výtoků otvorů.
- 3) Potrubí není vhodné ukládat do distribuční zóny, tvořené hrubým drceným kamenivem o frakci 32/64 mm. V případě vniku kalových částic dochází v hrubém materiálu k hlubšímu průniku kalů do pórů kameniva (zrnitost má vliv na hloubku kolmatace, viz kap. 4.9).
- 4) Ukázalo se nefungující a bezpředmětné, aby horizontální filtr byl osazen dvěma potrubími (zimní a letní). Letní potrubí, resp. jedno kontrolovatelné potrubí plní funkci stejně, ne-li spolehlivěji – je čistitelné, opravitelné, kontrolovatelné.
- 5) Místo dlouhého potrubí napříč filtrem je vhodné na okraj filtru jedno krátké potrubí (Obr. 37). Jako vhodné se jeví umístění potrubí do rohu filtru, přičemž odtokový prostor je potom v protilehlém místě.
- 6) Potrubí má na obou viditelných koncích umístěné zátky, současně je minimálně v jednom místě osazen čistící (kontrolní) kus, umožňující kontrolu čistoty (Obr. 37 – obec Cekov).



Obr. 37 Přívodní potrubí na HF (Hostětín, Dražovice, Cekov)

Nicméně, i přes tato opatření je ovlivnění výsledku (zlepšení účinnosti) ve srovnání s vysokou účinností vertikálního filtru, zanedbatelné. Uvedené řešení zlevní realizaci, usnadní provoz a v případě kolmatace filtru sníží náklady na regeneraci filtru.

6.3.2 Nová skladba filtračních materiálů

Skladba filtračních materiálů během své historie zaznamenala taktéž četný vývoj. Nejdůležitějším faktorem pro návrh filtračních polí je samozřejmě výsledná účinnost. Obecně platné je: čím menší zrnitost filtračního materiálu, tím vyšší účinnost – vytvoří se vyšší specifická plocha pro růst mikroorganismů, vyšší počet bakterií je předpokladem pro vyšší účinnost (Křiška a kol., 2012). Nicméně, na výsledné účinnosti odstranění znečištění BSK₅ a CHSK_{Cr}, které je z velké části tvořeno plovoucími a nerozpuštěnými látkami, se podílí zejména proces filtrace, při kterém se tyto látky zachycují v pórovitém prostředí filtračního materiálu. Doprovodným efektem je postupné ucpávání pórů materiálu, snižování propustnosti, snižování doby zdržení doprovázené zkratovými proudy a zejména snížením účinnosti. Známý jsou případy, kdy obec (provozovatel) neřeší projevy kolmatace, odpadní voda vsakuje téměř u odtokové části filtračního pole, tzn. voda se zdrží ve filtračním poli řádově několik minut. Tím pádem není možné očekávat stejné výsledky jako v případě zapojení celého filtru.

Postupné a pozvolné zvyšování obsahu organických látek ve filtru také vede vzhledem k přítomnosti anaerobního prostředí k jejich rozkladu za uvolňování bioplynu, který obsahuje metan a amoniak. Znamená to tedy, že pomalé ucpávání pórů je doprovázeno zvyšující se koncentrací amoniakálního dusíku na odtoku. Často může také nastat situace, kdy je koncentrace amoniaku na odtoku vyšší než na přítoku (Křiška a Němcová, 2016).

Důvody pro použití jemného materiálu je potřeba obezřetně posoudit a zvážit. Jelikož filtračním materiálem protéká odpadní voda, má frakce (zrnitost, velikost kameniva) u filtrů zásadní vliv na celkovou čistící účinnost. V podstatě platí, že čím jemnější filtrační materiál se ve filtru nachází, tím více se odpadní voda filtruje a je tedy předpoklad lepšího odstranění znečištění (zejména NL, které je provázáno s parametry CHSK_{Cr} a BSK₅). Jemnější materiál navíc zajistí u vertikálních filtrů lepší nárost biofilmu (směs několika druhů bakterií), odstraňujícího i další sledované parametry (N-NH₄⁺).

Výhodu jemnějšího filtračního materiálu ocení zejména realizátor stavby – jedná se o snadnější práci s jemným materiálem, který lze nabírat bez problémů pomocí ručního nářadí, lze jej snadno hrabat a urovnávat pomocí lehkého ručního nářadí apod. Navíc jemný materiál působí přirozeněji než drcený štěrk o frakci např. 32/64 mm – což má přidanou estetickou hodnotu (Obr. 38).



Obr. 38 Srovnání dvou řešení horizontálních filtrů (ČOV Pavlínov, Cekov)

Z provozního pohledu je jemnější materiál vhodnější při procesu likvidaci kolmatačních projevů, tzv. regenerací. Jemný materiál se ucpává pouze do malé hloubky (tenké vrstvy), dle kap.4.9. Naopak

hrubozrnný filtr se často ucpe až do hloubky 0,5 metrů – což při regeneraci zvyšuje náklady na vytěžení ve srovnání s několikacentimetrovou vrstvou šterku o frakci 4/8 mm.

6.3.3 Vyloučení mokřadních rostlin

Jelikož vliv rostlin na celkovou účinnost v odstranění znečištění BSK₅, CHSK_{Cr} a NL horizontálního filtru je relativně nízký (Němcová, 2015), současně lze předpokládat po několika letech provozování projev kolmatačních procesů, musí i provozovatel čistírny očekávat nutnost regenerace zakolmatované části horizontálního filtru. Regenerace je nutná zejména pro svrchní vrstvu, přibližně do hloubky 10 cm (dle velikosti zrna filtračního materiálu).

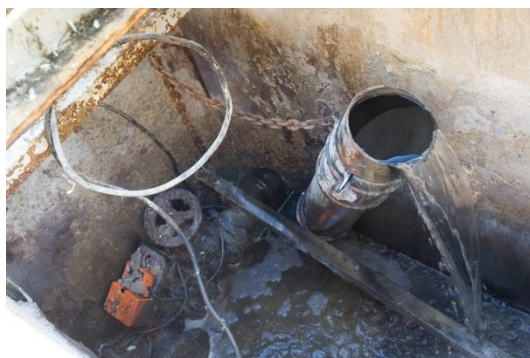


Obr. 39 Horizontální filtr bez vysázené vegetace (ČOV Skašov, 3 roky v provozu)

Pokud je filtrační materiál prorostlý kořenovým systémem mokřadních rostlin, potom je praní/čištění/těžba materiálu velice komplikovaná a je tedy ekonomickou zátěží pro provozovatele. Jako vhodné řešení se jeví vyloučení přítomnosti mokřadních rostlin v prostoru přívodního potrubí na horizontálním filtru (poslední část Obr. 37 a Obr. 38). Přínosem mokřadních rostlin naopak je, zejména v zimním období, tepelná izolace povrchu filtru, resp. pod úroveň filtru přítomné odpadní vody.

6.3.4 Pulzně vypouštěné horizontální filtry

Vysoká inovativnost v oblasti horizontálních filtračních polí spočívá v doplnění zařízení, které zajišťuje nepravidelné vypouštění do té doby vodou zatopeného horizontálně protékaného filtračního pole. Pulzní vypouštění horizontálního filtračního pole zajistí lepší přestup kyslíku do odpadní vody, doprovázený přechodem z anaerobního prostředí na anoxické. Výsledkem takové úpravy provozu filtru je lepší odstranění amoniakálního dusíku a znečištění, které je odbouráváno prostřednictvím kyslíku (BSK₅, CHSK_{Cr}).



Obr. 40 Pohled do pulzně vypouštěcí šachty s nefunkčním elektro ventilem

Technické řešení spočívá v umístění pulzně-vypouštěcího zařízení (popsáno v kap. 5.2 nebo 5.4) za filtračním polem. Zařízení umožňuje bez nutnosti napojení na elektrickou energii (zařízení využívající

elektro ventil je zobrazeno na Obr. 40) automatické vypouštění odpadní vody při dosažení maximální úrovně hladiny v horizontálním filtračním poli. Rozsah pulzního vypouštění tedy nastává v rozmezí „horní hranice zarovnaného terénu filtračního materiálu“ až „horní okraj svodného potrubí“.

Funkční vzorek zařízení je testován v provozních podmínkách na kořenové čistírně v obci Dražovice (850 EO), výsledky z poloprovozního měření dokazují nejen efektivnější odstranění amoniakálního dusíku (Kříška a kol., 2013), ale i dostatečné potlačení odtokové koncentrace CHSK_{Cr} a sirovodíku, způsobujících senzorické problémy, korozi betonu, aj. provozní problémy (Kříška a kol., 2015).

Tab. 9 Srovnání výhod a nevýhod přechodu na pulzní vypouštění filtru

Výhody přechodu na pulzní vypouštění	Nevýhody pulzního vypouštění
Nejlevnější řešení při rekonstrukci	Nutnost investice do úpravy odtokové šachty
Zvýšení účinnosti CHSK_{Cr} až o 55 %, zvýšení účinnosti N-NH_4^+ až o 40 %*	Nižší účinnost N-NH_4^+ ve srovnání s vertikálními pulzně skrápěnými poli
Bez nutnosti obsluhy čistírny (pouze kontrola cca 1 x týdně)	Nutnost pořízení speciálního automatického zařízení
Bez nutnosti napojení na elektřinu	-
Trvanlivé řešení s téměř nulovými provozními náklady	-
Plastové a nerezové provedení, zaručující dlouhé životnosti	-
Potlačení zápachu linoucího se z revizní šachty	-
Snížení šedivého povlaku na odtoku do recipientu	-

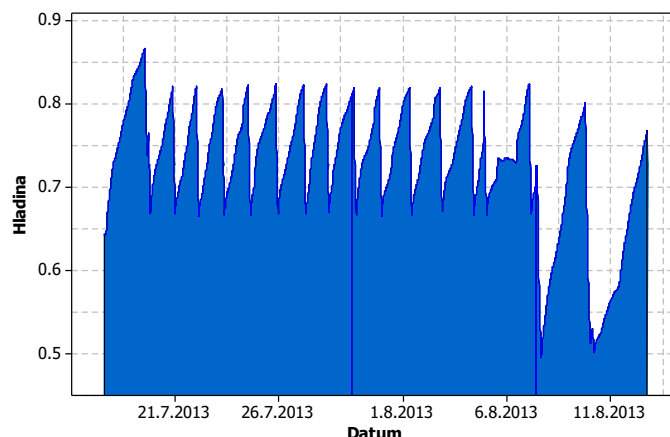
* Výsledky vychází z měření na filtračním poli, které je z 50 % povrchu zakolmatované, účinnost bez pulzního vypouštění v obou parametrech je max. 10 % (na paralelně zapojeném filtračním poli).

Výsledky poloprovozního měření

Poloprovoz světově prvního, automaticky fungujícího bez vnosu elektrické energie, pulzně vypouštěného horizontálně filtru, je testován od letního období 2013 do konce roku 2014, postupně je seřizováno vypouštěcí zařízení pro automatické rozkolísání hladiny – účelem je efektivnější využití výšky filtrační náplně v kořenovém poli. Sledované období je rozděleno do několika etap:

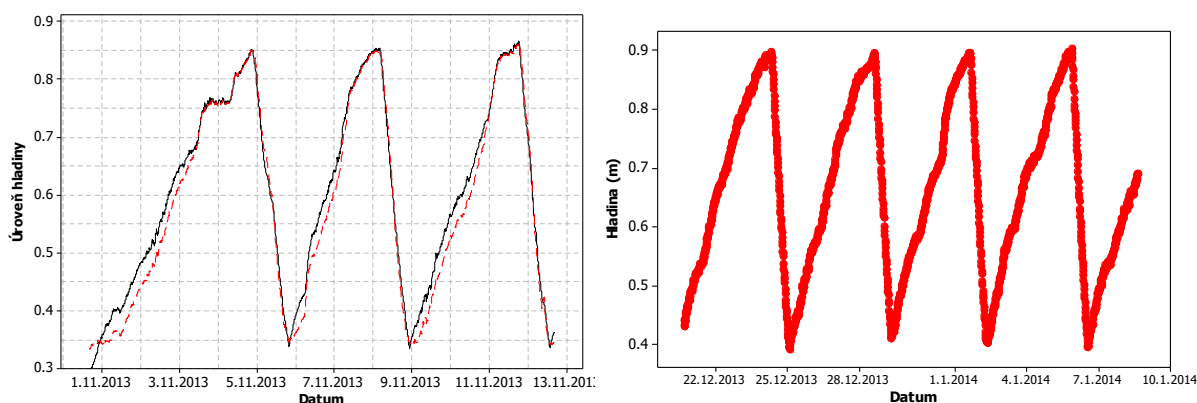
1. Příprava, úprava a rekonstrukce revizní šachty
2. Etapa č.1: léto 2013 (začátek července 2013 – začátek srpna 2013)
3. Etapa č.2: podzim 2013 (začátek srpna 2013 – konec října 2013)
4. Etapa č.3: zima 2014 a dál (listopad 2013 – začátek prosince 2014)

Příklad průběhu naměřené hladiny ve filtračním poli je zobrazen na Obr. 41, zároveň je pozorovatelné seřízení šachty 7.8.2013, čímž se měření přeneslo do etapy č. 2, charakteristické úpravou výšky spouštěcího a zastavujícího plováku, resp. výškou mezi maximální a minimální hladinou ve filtračním poli.



Obr. 41 Zobrazení průběhu období č. 1 a zahájení etapy č.2

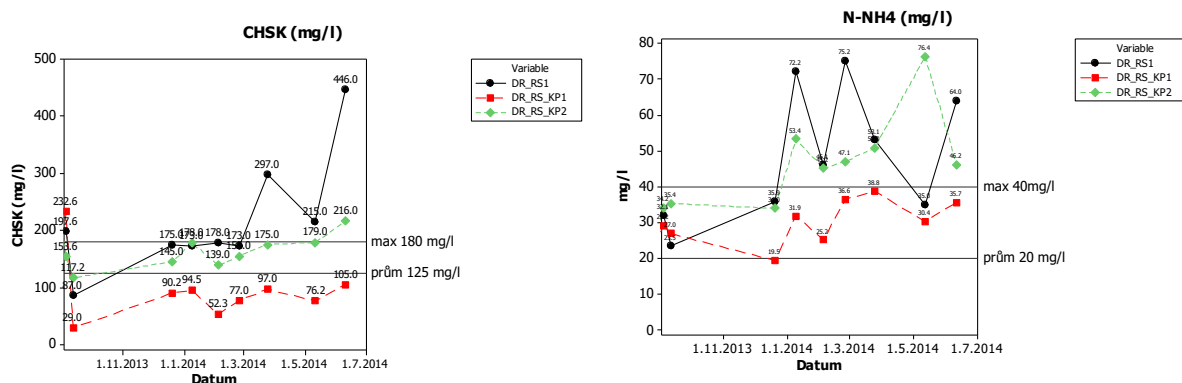
Na dalším obrázku (Obr. 42) je zobrazen průběh pozorování dvou úrovní hladiny ve vybudovaných sondách během třetí etapy. Jedna sonda se nachází u přítoku a druhá na odtoku z filtračního pole. Vzájemná vzdálenost obou šachet je 35 metrů, přitom výsledek dokazuje na téměř vyrovnané hodnoty úrovně hladiny. Výsledek se rozchází s předpoklady, uváděnými v literatuře – dno filtru je možné realizovat ve vodorovné ploše bez nutnosti zachování spádu 1 – 2 % směrem k odtokovému potrubí, protože i při prudkém otevření odtokového uzávěru je odtok limitován charakteristikou odtokového (drenážního) potrubí uvnitř filtru.



Obr. 42 A) Paralelní měření hladin na HF, B) Záznam hladiny (první filtr, třetí etapa)

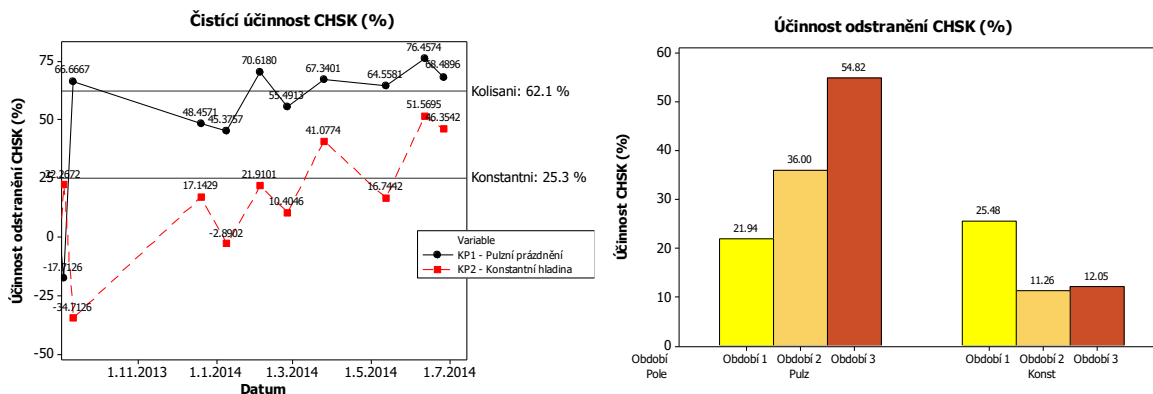
Pro účely vyhodnocení účinnosti musely být odebírány vzorky vody před filtry a za filtry. Následující graf zobrazuje průběh koncentrace $CHSK_{Cr}$ a $N-NH_4^+$ ve třech profilech čistírny:

- DR_RS1 = rozdělovací komora před filtry (odpadní voda je rozdělena na dva stejné průtoky prostřednictvím dvojice Thomsonových přelivů, jedná se o mechanicky předčištěnou odpadní vodu)
- DR_RS_KP1 = regulační šachta za prvním filtrem (filtr, který má na odtoku osazeno vypouštěcí zařízení)
- DR_RS_KP2 = regulační šachta za druhým polem (filtr provozován s úrovní hladiny na konstantní výšce, tj. bezprostředně pod povrchem filtrační náplně)



Obr. 43 Průběh znečištění CHSK_{Cr} a N-NH_4^+ na dvou sledovaných filtračních polích

Na základě získaných výsledků se ukázalo, že odtokové koncentrace při kolísající hladině jsou postupně snižovány (Obr. 43). První pole vykazuje na odtoku dlouhodobě nižší odtokové koncentrace, než je povolený limit vypouštění (přípustná hodnota CHSK_{Cr} na odtoku z ČOV $125 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, maximální $180 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$). Naopak druhé pole, které je provozováno s konstantní hladinou, vykazuje několikrát překročení nejen průměrné, ale i maximální hodnoty ($216 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ vs. povolených $180 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$). Odpadní voda vypouštěná z horizontálního filtru přímo do vodního toku by způsobovala nebezpečné hydroekologické ovlivnění vodního toku. Hodnoty CHSK_{Cr} po průtoku filtračním polem s kolísající hladinou se na odtoku snížily o několik desítek ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$) více, než u filtru s konstantní hladinou. Účinnost filtračního pole se postupně zvýšila 12 % na 55 %, tj. zlepšení účinnosti o 32 %. V následujícím grafu (Obr. 44) je vidět postupné zlepšování účinnosti. První tři sloupce platí pro první pole (s kolísáním hladiny), poslední tři sloupce pro druhé pole (konstantní hladina). Období 1 = léto 2013, období 2 = září a říjen 2013, období 3 = listopad 2013 až květen 2014.

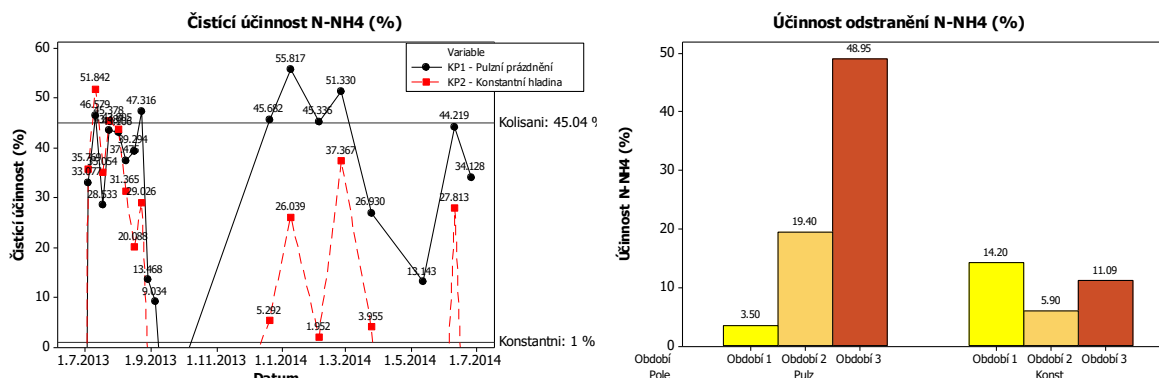


Obr. 44 Zobrazení čistících účinností (CHSK_{Cr} , %) ve vybraných etapách měření

Následující graf (Obr. 45) zobrazuje průběh koncentrace N-NH_4^+ ve třech profilech čistírny. Opět je vidět výrazný rozdíl mezi odtokovými koncentracemi z prvního a druhého pole. V prvním poli s kolísající hladinou jsou hodnoty po celou dobu měření nižší, než maximální povolené, ve druhém poli se ve většině měření pohybují hodnoty nad povoleným limitem. Kolísáním hladiny se sice nezajistí průměrná hodnota pod limit $20 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, ale zajistí se zvýšení účinnosti z 11 % (současná účinnost druhého pole) na 49 % (účinnost prvního pole).

Výsledek není, jak se ukázalo postupnou optimalizací provozu vertikálních filtrů, nijak oslnivý. Rozhodně jej nelze srovnávat s nejlepší dostupnou technikou, protože již na první pohled se jedná i přes úpravu s kolísající hladinou o řešení, které není schopné nejlepší dostupné technice konkurovat. Nicméně z pohledu kvality biologického oživení vodního toku, do něhož je taková odpadní voda

vypouštěná, se jedná o uspokojivý výsledek. Ve srovnání s klasickým řešením, tj. ustálenou hladinou odpadní vody, dochází k pozvolnému zvýšení účinnosti v parametrech CHSK_{Cr} , BSK_5 a N-NH_4^+ . Na druhou stranu, pokud by i takto znečištěná voda byla vsakována do podloží, již po průniku mělkou vrstvou substrátu je téměř většina znečištění odstraněna (Šálek a Křiška, 2012; Křiška a kol., 2018).



Obr. 45 Průběh čistící účinnosti N-NH_4^+ (%) ve vybraných etapách měření

Z pohledu technologie se jedná o vůbec první filtrační pole v České republice, které je řešeno jako pulzně vypouštěné. Druhá realizace, proběhla již v rámci licenční smlouvy na využití výsledku VUT, byla řešena na ČOV Kojetín (okr. Nový Jičín). Čistírna přibližně pro 100 obyvatel je provozována před úpravou na základě systému dvou paralelně zapojených horizontálních filtrů, které nejsou schopny obstojně snižovat znečištění CHSK_{Cr} . Oba filtry byly v roce 2017 upraveny instalací dvou pulzních vypouštěčů, čímž se zajistilo spolehlivé odstranění sledovaných parametrů BSK_5 , CHSK_{Cr} , NL . Od přechodu na pulzně vypouštěný horizontální filtr ČOV vykazuje podlimitní odtokové koncentrace.

6.4 VERTIKÁLNÍ FILTRAČNÍ POLE

Jak bylo zmíněno v úvodní kapitole, jedním z největších nedostatků původních kořenových čistíren odpadních vod, byla nedostatečná účinnost v odstraňování amoniakálního dusíku. Tato nedokonalost systému je potvrzena téměř všemi provozovateli, správci vodních toků i orgány životního prostředí. Oproti slibům projektantů u projektů z 90. let je dnes již dokázáno, že přísun potřebného kyslíku do odpadní vody na kořenové čistírně prostřednictvím mokřadních rostlin je nedostatečný. Na druhou stranu, nařízení vlády pro vypouštění odpadních vod pro producenty do 500 EO toto znečištění nevyžaduje ani sledovat, ani jej nijak nelimituje. Nelze tedy brát argumenty vyzdvihující účinnost horizontálních kořenových čistíren jako relevantní – prostřednictvím přítomných mokřadních rostlin se sice kyslík částečně do odpadní vody dostává, nicméně vzhledem k množství potřebného kyslíku je dotace téměř zanedbatelná (Křiška a kol., 2013).

Prokazatelně lepších výsledků než v případě horizontálně protékaného filtru, dosahuje vertikální filtr pulzně skrápěný (kap. 6.4), realizovaný za složitějších pravidel, přísnějších realizačních podmínek a provozovaný za relativně náročnější obsluhy – tato negativa jsou ale vyvážena výrazně vyšší účinností (Luederitz a kol., 2001), tedy odtékající odpadní vodou s minimálním zbytkovým znečištěním.

První testovací objekty vertikálních filtrů jsme společně s výzkumnými týmy projektů MPO TIP FR-TI3/778 a TAČR TA02021032 setkávali s vertikálními filtry, které měly téměř nulovou účinnost v odstraňování N-NH_4^+ - tedy srovnatelnou jako sledované poloprovozní horizontálně protékané filtry. Tento nedostatek byl způsoben našim, z dnešního pohledu ne zcela komplexním, pochopením

problematiky. Filtr neměl vhodné materiální složení, nízkou výškou filtrační vrstvy, postrádal systém pulzního napouštění, měl nevhodně řešené distribuční potrubí a byl hydraulicky přetěžován.

Výsledky na poloprovozních objektech přinášely postupně se zvyšující účinnosti vertikálních filtrů, s postupným vývojem od roku 2011 se vertikální filtry prosazovaly a preferovaly coby hlavní součást systému přírodní čistírny (Němcová, 2015; Pumprlová Němcová a Kriška Dunajský, 2017 a 2018). Z dnešního pohledu, v roce 2020, je již tato technologie všestranně výhodnější, účinnosti v běžně sledovaných parametrech staví vertikální filtry na vrchol ve srovnání s jakýmkoli jinými filtry, resp. konkurenčními technologiemi (Folador a kol., 2015).

Vertikální filtr s vegetací je v podstatě charakterizován jako mělce vyhloubená jámka, jejíž dno je hydraulicky izolované od podloží. Nad samotnou hydroizolací je umístěno sběrné potrubí, zajišťující odtok vody do dalšího stupně/na odtok. Vnitřní prostor nad hydroizolací je tvořen několika vrstvami filtračního materiálu (drenážní, přechodová, hlavní, krycí), přičemž max. výška dosahuje přibližně 1,0 m (podle nadmořské výšky a požadavku na kvalitu vyčištěné odpadní vody). Povrch filtru je osázen mokřadními rostlinami a současně je na povrchu umístěno distribuční potrubí, zajišťující rovnoměrné rozložení přitékající odpadní vody na plochu filtru. Proudění odpadní vody probíhá převážně ve vertikálním směru. Samotný filtr je obdobně hluboký jako horizontální, nicméně liší se zrnitostí filtračního materiálu (je jemnější) a zejména uspořádáním distribučního potrubí a zařazením pulzně vypouštěcího zařízení. Jelikož voda nepravidelně (nárazově, pulzně) protéká nenasyceným filtračním prostředím, průnikem vlhkým porézním materiálem dochází k jejímu pozvolnému prokysličení. Ve filtru tedy při nepřetížení převládá aerobní prostředí, které zajišťuje odstranění amoniakálního dusíku (N-NH_4^+), vysoké účinnosti v odstranění biologicky odbouratelných látek (BSK_5) i látek chemických, které na svůj rozklad spotřebovávají kyslík (CHSK_{Cr}).



Obr. 46 A) Vertikální filtr s distribučním systémem a B) pohled na VF pro chatářskou oblast

Ve světě se dnes již nejedná o novou technologii, nicméně v České republice bylo první provozní zařízení testováno teprve v letech 2013–2015 na kořenové čistírně v obci Kotenčice. Vertikální filtry jsou v průběhu posledních deseti let v zahraničí úspěšně používány pro čištění odpadních vod, přičemž nejvhodnějším příkladem je nám nejbližší Rakousko, kde evidují 5600 čistíren odpadních vod, založených na systému vertikálního filtru. Co se týče velikosti, např. v Moldávii byla v roce 2013 uvedena do provozu kořenová čistírna odpadních vod pro 22 000 EO (resp. $4\,600\text{ m}^3\cdot\text{den}^{-1}$). Úspěch vertikálních filtrů souvisí s dobrou účinností při odstraňování CHSK_{Cr} (90 %), NL (90 %), 90 % odstranění N-NH_4^+ (Kadlec a kol., 2009). Nicméně pro odstranění fosforečnanů je účinnost nízká, kolem 20 až 30 % (Langergraber a kol., 2003), což je ovlivněno zejména absencí chemického srážení fosforu. Při požadavku na účinnější odstranění celkového fosforu lze snadno doplnit jednotku na srážení fosforu, která umožní např. dle průtoku (polohy hladiny v měrném profilu) dávkovat definované množství srážedla.

6.4.1 Podmínky pro uspořádání vertikálních filtrů

Při samotném návrhu je potřeba dodržet několik pravidel, která lze rozdělit na projekční, realizační a provozní. Pouze dodržení všech podmínek potom zajistí účinnosti na špičkové úrovni (u parametrů BSK₅, CHSK_{Cr}, NL a N-NH₄⁺ v oblasti hluboce podlimitních hodnot).

Mezi projekční pravidla patří zejména:

- vertikální filtr není možné zapojit za šterbinovou usazovací nádrž s ohledem na její nízkou účinnost v odstraňování nerozpuštěných látek. Filtr vyžaduje předřazený vícekomorový septik s dobou zdržení min. 3 dny při maximálním průtoku a 5 dní při průměrném denním průtoku,
- mezi mechanickým předčištěním a filtrem musí být osazena distribuční šachta, jejíž vnitřní objem zajistí pulzní napouštění odpadní vody, rozložené ideálně v pěti, maximálně v 10 denních dávkách – dimenzovat je nutné tak, aby umožňovalo regulaci úrovně spouštěcí hladiny,
- filtry s plochou povrchu do 50 m² mohou být opatřeny na vtoku do distribučního potrubí výkonným čerpadlem, které zajistí dostatečný průtok – na nejvzdálenějším konci potrubí musí otvorem vytékat proud odpadní vody o průtoku min. 1,0 l·s⁻¹,
- filtry s plochou povrchu nad 50 m² (max. 150 m²) musí mít na vtoku do distribučního potrubí umístěno pulzně dávkovací zařízení, vykazující při spuštění průtok minimálně 30 l·s⁻¹,
- jako hlavní filtrační materiál musí být použit pouze praný přírodní materiál – praný písek 0/4 P, praný drcený štěrk 0/4P, apod., přičemž 10% propad má být v rozmezí velikosti zrna 0,2 – 0,4 mm, tj. (0,2 < d₁₀ < 0,4) mm,
- distribuční potrubí musí být uloženo na pevném podkladu, současně musí být potrubí k tomuto podkladu pevně přichyceno – prevence proti poškození, vzniku zkratových proudů a přetěžovaných ploch,
- potrubí musí být přivedeno nejprve na střed filtru, následně rozvedeno rovnoměrně po ploše – detailní popis je uveden v kap. 5.7 (popis pravidel je obsáhlý a rozsahově náročný, pro každou situaci specifický a unikátní),
- konec distribučního potrubí nesmí být vyveden až po půdorysný okraj filtru, minimální vzdálenost od okraje je 500 mm (odpadní voda, vytékající z potrubí, by mohla stékat po hydroizolaci na šikmém okraji filtru).

Základní realizační pravidla pro stavební firmu (stavitel, stavba svépomocí, apod.) jsou následující:

- drenážní potrubí se pokládá přímo na svrchní krycí geotextilii, max. sběrná vzdálenost pro jedno potrubí je 3,0 metru,
- hlavní filtrační vrstva musí být volně nasypávána, nesmí být pojížděna, pocházena ani žádným jiným způsobem hutněna,
- svrchní vrstva musí být nasypávána souběžně s hlavní vrstvou, čímž se vyloučí hutnění vzdušné hlavní filtrační vrstvy (platí pro velké plochy),
- teprve na urovanou svrchní pohledovou vrstvu je možné vstupovat – dochází k rozložení tlakové síly a potlačení hutnění hlavní filtrační vrstvy,
- veškeré potrubí musí být vzájemně propojeno nerezovými vruty tak, aby vytvářelo jednu kompaktní soustavu – zabrání se rozpojení potrubí vlivem vodních rázů,
- distribuční šachta musí být zajištěna proti chladu (tepelnou izolací) a proti případným deformacím vlivem vnějšího statického tlaku působícího substrátu,
- vypouštěcí zařízení musí být seřízeno tak, aby docházelo k jeho spouštění v ideálním případě 5x denně – seřizuje se poloha obou plováků,

- rostliny musí být vysázeny v blízkosti spodních otvorů v distribučním potrubí – zajistí se blízkost vody potřebné pro rozvoj kořenového systému,
- otvory v distribučním potrubí by měly být realizovány střídavě, tzn., pozice otvorů v daném potrubí je posunuta o poloviční vzdálenost mezi dvěma otvory vůči vedlejšímu potrubí, čímž se vytvoří pravidelná síť otvorů

Mezi nejdůležitější provozní pravidla patří:

- kontrola funkčnosti vypouštěcích zařízení prostřednictvím kontrolních kusů na širokém distribučním potrubí. Četnost 1x týdně,
- v případě ohledání pozvolného průtoku v distribučním potrubí je potřeba provést kontrolu správné funkčnosti vypouštěcího zařízení,
- pokud vypouštěcí zařízení propouští vodu, je třeba nalézt příčinu. Často může být pouze zachycen plovák, může být uvolněné těsnění, může být zachycena nečistota mezi těsněním, uvolněný šroub na uzávěru, apod.,
- kontrola nepoškození povrchově rozloženého potrubí vandaly, divokou zvěří, náletovými křovinami, UV-zářením, apod. Četnost 1x měsíčně,
- kosení mokřadních rostlin. Četnost 1x za dva roky,
- kontrola čistoty všech otvorů v distribučním potrubí – 2 x ročně,
- kontrola čistoty rozdělovacího prvku v distribuční šachtě – 1 x měsíčně.

Z uvedených projekčních a realizačních pravidel může vyplývat, že vertikální filtr je investičně náročnější. Vzhledem k výrazně vyšší účinnosti však nevyžaduje tak vysoký plošný záběr jako původní horizontálně protékané filtry (Pumprlová Němcová a kol., 2018).

Výhody vertikálního kořenového filtru ve srovnání s filtrem horizontálním:

- menší půdorysná velikost (standardně max. $4 \text{ m}^2 \cdot \text{EO}^{-1}$, možné i $2,0 \text{ m}^2 \cdot \text{EO}^{-1}$ při zapojení dvou filtrů sériově za sebou),
- vyšší účinnost odstraňování BSK_5 (odtokové koncentrace do $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, účinnosti až 95 %),
- vyšší účinnost odstraňování CHSK_{Cr} (odtokové koncentrace do $30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, účinnosti až 95 %),
- vyšší účinnost odstraňování N-NH_4^+ (odtokové koncentrace do $1,0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ při teplotě vody nad 12°C a $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ při teplotě vody do 12°C , účinnosti až 99 %),
- vyšší účinnost odstraňování NL (odtokové koncentrace do $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, účinnosti až 90 %),
- změna anaerobního prostředí na aerobní znamená potlačení zápachu, vyloučení vzniku hladiny odpadní vody na povrchu,
- zajištěna hygienizace odpadní vody (na odtoku z 99,9 % odstraněny fekální bakterie)
- odtoková voda s kladnými hodnotami ORP a obsahem rozpuštěného kyslíku (nezmění se hydrobiologie toku).

Naopak největší nevýhodou je nutnost napojení na vícestupňové mechanické předčištění (dražší), které ovšem zajistí prevenci proti kolmatačním projevům, současně umožní zmenšení plošné náročnosti vertikálně protékaných filtrů.

6.4.2 Skladba vertikálního filtru

Volba filtračního materiálu je ovlivňován několika, často protichůdnými, pravidly. V rámci výzkumných prací jsme testovali alternativní materiály, vykazující vysokou sorpční účinnost, nicméně pořízení např. zeolitů, keramzitů, aj. materiálů s vysokou sorpční kapacitou, je z pohledu praktického využití nevýhodné. Ekonomická dostupnost, požadavek na čistící účinnost, životnost, dávají vzniku tří základních tezí:

- Filtrační materiál nesmí obsahovat prachové částice (praný písek, praný štěrk)
- Jemnější materiál = riziko ucpání, tzn., vyžaduje preciznější mechanické předčištění a spolehlivý provoz (odkalování usazovacích prostor)
- Hrubší materiál = nižší účinnosti, na odtoku z filtru prokysličená, ale nevyčištěná voda

Povrch filtračního materiálu musí být řešen precizně, do distribučního potrubí není možné přivádět odpadní vodu pozvolna, ale rázově (pulzně) v několika oddělených denních dávkách (Molle a kol., 2006). Množství vody nesmí překročit $150 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$, ideální hodnota při uvažování připojeného obyvatelstva je $4,0 \text{ m}^2 \cdot \text{obyvatel}^{-1}$, tj. přibližně 40 litrů odpadní vody na každý metr čtvereční.

Velikost vertikálních filtrů vychází z denního množství znečištění parametru CHSK_{Cr} , které na filtr přitéká z mechanického stupně čištění. Při návrhu lze uvažovat o hodnotě $15 - 20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$, což představuje množství znečištění, které je schopen během každého dne odstranit jeden metr čtvereční vertikálního filtru s vegetací. Samotný návrh plochy vertikálního filtru musí zohledňovat jak kvalitativní hledisko, tak kvantitativní (hydraulické zatížení do $150 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$).

Jelikož z podstaty přírodních čistíren představuje filtrační prostředí systém, v němž probíhají složité metabolické procesy, vyžadující při odstraňování amoniaku a organického znečištění vysokou dotaci kyslíku, je více než vhodné použít pulzně napouštěný a zároveň skrácený vertikální filtr s vegetací (srovnání v Tab. 18). Téměř všichni autoři vědeckých článků v oblasti kořenových čistíren konstatují vyšší účinnosti vertikálních kořenových čistíren (vertikálních filtračních polí, vertikálních filtrů, apod. názvosloví). Nicméně ani předdimenzovaný vertikální filtr nemusí správně fungovat, pokud je nevhodně navržen systém distribučního potrubí a není provozován společně s pulzním napouštěním filtrů. Pouze pulzní napouštění potrubí a jeho precizní návrh a realizace jsou schopny zajistit vysoké účinnosti v oblasti 90 – 95 % ve sledovaném parametru CHSK_{Cr} , BSK_5 a zejména N-NH_4^+ .

Nerozpuštěné látky jsou vzhledem k použitému materiálu zachycovány a rozkládány spolehlivě tak, že na odtoku ze správně navrženého vertikálního filtru jsou koncentrace NL vždy menší než $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

Distribuční, povrchově rozložené, potrubí v zimním období promrzá, ale voda je přesto bezpečně vypouštěna pomocí otvorů ve spodní části potrubí. Výše položené potrubí neprorůstá kořeny rostlin, na vnitřní stěně potrubí nenarůstá biofilm (v potrubí se nevytvoří stojatá voda, většinu času bude prázdné). Rychlejší zatopení distribučního potrubí se projeví vznikem téměř stejné tlakové výšky nad všemi otvory v krátkém časovém horizontu, přičemž otvorů může být i několik stovek. Stejná tlaková výška odpadní vody zajistí rovnoměrné rozdělení vody na celou plochu filtru, tedy spolehlivější čistící účinnost filtru bez zkratových proudů, přetěžování lokálních částí apod.

Zásadní rozdíl v dimenzování vertikálních filtrů vychází z Rakouských zkušeností, přičemž v Rakousku mají se zemními vertikálními filtry osázenými vegetací (vychází z doslovného překladu „*bepflanzene bodenfilter*“) provozně velice bohaté zkušenosti. Po více jak 30 letech správně řešeného provozu se u původních filtrů nevyskytuje ani náznak kolmatačních procesů (spojených s ucpáváním filtračního materiálu) a současně se odtokové znečištění pohybuje velice blízko hodnotám nulovým ($\text{N-NH}_4^+ < 1,0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$).

Podle zkušeností, které jsme získali výzkumnými pracemi, spojenými s vývojem nejvhodnějšího řešení, kontrolovaného průběžným měřením, jsme došli k zásadnímu závěru: účinnost, velikost a dimenze vertikálního pulzně skráceného filtru, je $15,0 \text{ g}_{\text{CHSK}} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$ při využití hlavní vrstvy o frakci 2/4 mm a až $26 \text{ g}_{\text{CHSK}} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$ v případě praného písku 0/4 mm.

Na základě známého množství odpadní vody a na filtr přitékajícího znečištění CHSK_{Cr} je dle denního množství znečištění stanovena celková plocha filtru. Následně je potřeba na známou velikost filtru navrhnout distribuční potrubí, kterým přitéká v maximálně 5–10 dávkách za den. Současně průměrné

hydraulické zatížení by nemělo přesahovat maximální hodnotu $h_v = 125\text{--}150 \text{ mm}\cdot\text{den}^{-1}$. Minimální hodnota není definována ani není potřeba se jí podrobně zabývat. Hlavní výhodou vertikálních filtrů je odolnost vůči silně rozkolísaným přítokům. Např. na sledované čistírně odpadních vod v obci Dražovice se dosahuje denních přítoků v rozmezí $90 - 450 \text{ m}^3\cdot\text{den}^{-1}$. Vertikální filtr při vzrostlé vegetaci spolehlivě vyčistí i víkendově provozované objekty (mokřadní rostliny snesou i dlouhodobé výpadky přítoku, nehrozí jejich úhyn).

Výškový profil je v optimálním případě složen z následujících vrstev:

Tab. 10 Souvrství vertikálního filtru

Název vrstvy	Materiál	Výška (mm)
Svrchní vrstva	Praný říční štěrk 8/16 mm	50 – 100
Hlavní filtrační vrstva	Drcený štěrk 0/4P 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 $500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$	-
Pískový podsyp**	Písek	0 – 50

* je možná aplikace frakce 1/4, 1/5, 2/5 podle možnosti nejbližšího lomu

** (vhodné, ale není bezpodmínečně nutné)

Celková výška vrstvy filtračních materiálů tedy vychází v rozmezí 800 – 1100 mm. V zásadě je vhodné při požadavku nízkých koncentrací znečištění na odtoku použít hlavní filtrační vrstvu o výšce 600 mm a naopak. Spodní kompenzační vrstva a pískový podsyp pod hydroizolací je nutný pouze v případě přítomnosti nevhodného podkladu (ostré kamenivo), nebo nemožnosti zarovnění terénu tak, aby se nevyškytovaly nerovnoměrnosti, vedoucí k poškození nebo jiné deformaci hydroizolace.

6.4.3 Pulzně dávkovací zařízení

Nejspíše nejzásadnějším přínosem pro technologii vertikálních filtrů je zařízení, umožňující pulzní dávkování odpadní vody na povrch samotného filtru. Zařízení pro vypouštění odpadní vody je vyvinuto a testováno v rámci řešeného projektu (TAČR, ozn. TA02021032). Kromě funkčního vzorku a poloprovozního objektu byla provedena i registrace užitého vzoru (č. 25544). Následně je zařízení upraveno na základě zkušeností z poloprovozu v kombinaci s požadavkem z praxe (dané výrobcem). Úpravy jsou ale natolik zásadní, že vedou k registraci nového užitého vzoru (č. 28083), které je od roku 2015 zahrnuto do provozního objektu na ČOV Kotenčice. První pulzně dávkovací zařízení bylo testováno na ČOV Kotenčice, systém však vyžaduje opakované upravování, seřizování a kompletní přestavbu. Praktický výsledek byl vykázan jako poloprovoz (Křiška-Dunajský, M., Hnátková, T., Němcová, M.: VKF D1, Vertikální filtr s nenasyceným prostředím v kombinaci s pulzním napouštěním odpadní vody a originálně řešeným rozdělovacím potrubím. ČOV Kotenčice, tok označený jako D, třetí filtrační pole samostatně zapojené. Poloprovoz), přičemž se jedná o první funkční vertikální filtr s pulzním napouštěním odpadní vody na povrch v ČR. První vyhodnocení výsledků přináší diplomová práce (Němcová, M., 2015). Pulzní dávkovače svůj přínos prokazují bezprostředně po prvním období spolehlivého provozu, tj. jaro 2014.



Obr. 47 Postupný vývoj zařízení v rámci poloprovozního objektu na ČOV Kotečnice

Dávkovací systém může být založen na složitých hydraulických návrzích, ale nevyžaduje připojení elektrické energie, pouze pravidelnou kontrolu správné funkčnosti (pro obsluhu čistírny to znamená otevření šachty, posouzení pohledem + ve většině případů uzavření šachty). Současně je potřeba vertikální filtr dělit na několik hydraulických celků, resp. plocha zásobovacího potrubí pro jeden filtr by neměla být větší jak 150 m².



Obr. 48 Řešení pulzního dávkování odpadní vody (Rak., Francie, Německo)

Pro doplnění je vhodné uvedení stavu v okolních zemích (Obr. 48). V Rakousku se pro účely pulzního dávkování vody používá „hybná trubka“, uchycená na spodním konci šachty. Ve Francii je běžně

užívaným zařízením plovák na kloubové tyči, zásobující surovou splaškovou vodou přímo filtry, tzv. French systém, vhodný pro přímořské oblasti – odpadní voda se může na povrchu filtru zdržovat až 1 týden. V Německu je zejména pro menší producenty vyráběno zařízení na ohebné pryži, velice podobné zařízení v Rakousku.

6.4.4 Zapojení vegetace

Vertikální filtr během vegetačního období zajišťuje přítomnými rostlinami ochranu potrubí proti UV záření (Obr. 49). Na konci vegetačního období nadzemní části rostlin odumírají, postupně padají na potrubí a chrání jej i filtr proti promrzání. Rostliny jsou sklizeny 1x za dva roky, vždy bezprostředně před zahájením nového vegetačního období. Vertikální filtr po vyskosení a sklizení rostlin (březen) je za necelé dva měsíce porostlý, potrubí je opět skryto pod nově vzrostlou vegetací.



Obr. 49 Dvě sezónní charakteristiky vertikálních filtrů – jarní a podzimní pohled

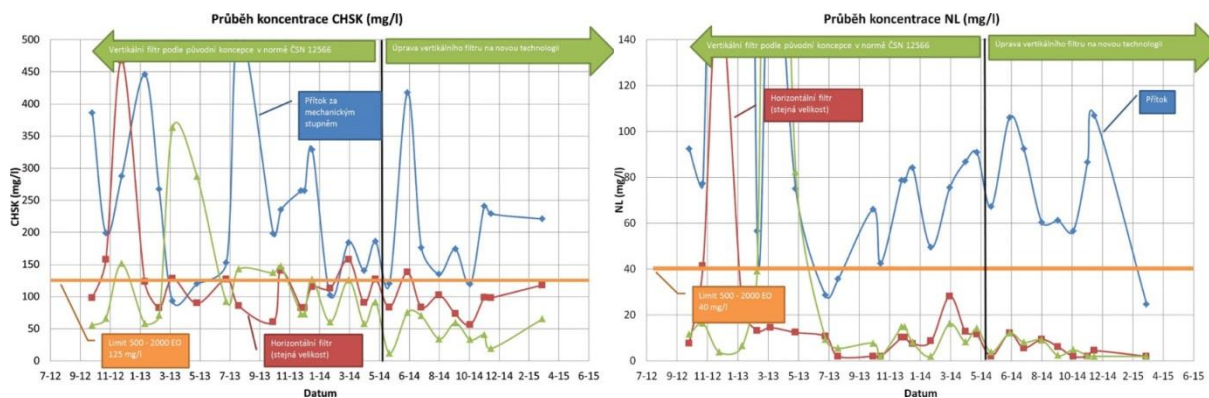
Povrch vertikálního filtru je tedy osázen mokřadní vegetací, výběr vegetace by měl respektovat vegetaci typickou pro Českou republiku. Doporučit lze obdobnou výsadbu jako u horizontálních filtrů – hustota rostlin v počtu $4 \text{ ks} \cdot \text{m}^{-2}$, nejvhodnější rostlinou je rákos obecný. Rostliny je doporučeno vysazovat v blízkosti vytvořeného otvoru (v distribučním potrubí). Hlavní funkce rostlin je ochrana rozvodného potrubí proti slunečnímu záření a klimatickým podmínkám. Mezi vedlejší funkce patří částečný vnos kyslíku do kořenové zóny, enzymatický rozklad makromolekul (farmaka, xenobiotika) a v neposlední řadě rostliny akumulace přibližně 10 % celkového přítokového množství živin (N, P) a zajištění vhodnějších hydraulických poměrů pro rozdělení vody ve filtračním materiálu.

6.4.5 První výsledky z prvního vertikálního filtru

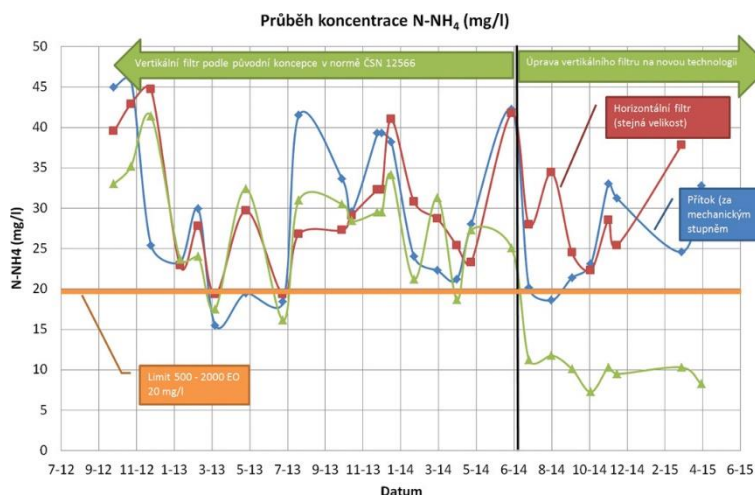
Návrh vertikálního filtru je složitější z pohledu výše uvedených podmínek – složitější návrh i realizace souvrství, náročnější realizace potrubí a potřeba důslednější provozní kontroly. Zásadní rozdíl v odtokových parametrech nastává však teprve při uplatnění pulzně skrápěného vertikálního filtru. Bez pulzního ovládání vykazují vertikální filtry srovnatelné výsledky jako horizontální filtry, jelikož u zatopeného filtru dochází pouze ke změně směru proudění (horizontální vs. vertikální). Při zapojení pulzního napouštění vykazuje vertikální filtr téměř ve všech parametrech lepší výsledky, jelikož do odpadní vody vstupuje několikanásobně více kyslíku, než v případě zatopeného vertikálního filtru resp. horizontálně protékaného filtru. Přesněji – hladina odpadní vody je vystavena několikanásobně většímu kontaktu se vzduchem, přičemž platí pravidlo, že čím větší specifická plocha filtračního materiálu, tím vyšší intenzita přestupu kyslíku.

Na vybraném vertikálním filtru (ČOV Kotenčice), který byl sledován a provozně optimalizován od poloviny roku 2012 v rámci výzkumného projektu MPO TIP FR-TI3/778, proběhlo postupně několik technických úprav (Hnátková a kol., 2014). V polovině roku 2014 byl změněn systém napouštění odpadní vody zapojením pulzního vypouštěče. Změna v odtokové koncentraci amoniakální dusíku je pozorovatelná na Obr. 45. Ve sledovaném období nepřesáhla koncentrace N-NH_4^+ na odtoku z filtru

hodnotu $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Pro srovnání výsledků uvádíme průměrnou odtokovou koncentraci N-NH_4^+ u VKF = $7,6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, za stejné období paralelně zapojený HKF vykazuje hodnotu $\text{N-NH}_4^+ = 26,6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Ve své době (r. 2014) se jednalo o dosud nejlepší výsledky na odtoku z kořenové čistírny odpadních vod. Takto vysoká účinnost dala podnět k novému názvosloví a nahrazení v podstatě nefunkčního systému kořenových čistíren novým řešením – přírodními čistírnami, založenými na technologii vertikálních filtrů.



Obr. 50 Srovnání průběhu znečištění CHSK_{Cr} a NL ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)



Obr. 51 Srovnání průběhu znečištění N-NH_4^+ u HF a VF

Jak ukazují výše uvedené grafy, měření probíhalo od října 2012 do dubna 2015, sledování se zaměřilo na parametry CHSK_{Cr} , NL a N-NH_4^+ analyzované 1x měsíčně. Parametr CHSK_{Cr} zobrazený na Obr. 50 vykazuje i v případě horizontálně protékaného filtru téměř dostačující účinnost pro samostatné zapojení ve smyslu hlavního stupně čištění. Odtokové hodnoty jsou ve většině případů horizontálního filtru podlimitní. Vertikální filtr, který je zatopený s trvale udržovanou hladinou bezprostředně pod úrovní terénu, vykazuje téměř totožné výsledky. Teprve přechodem na pulzní napouštění vertikálního filtru a snížení hladiny odpadní vody na minimální možnou úroveň v dubnu 2014 dochází ke zlepšení čistící účinnosti u vertikálního filtru. Nejvíce jsou patrné rozdíly u parametru N-NH_4^+ (Obr. 51), při pulzním dávkování dochází k výraznému zlepšení výsledků. Byť jsou z dnešního pohledu odtokové hodnoty, pohybující se v oblasti $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ nepříliš chvályhodné, v roce 2014 byly obrovským překvapením. Vertikální filtr byl prvním pulzně napouštěným filtrem v ČR, zapojeným v plně provozním měřítku. Přírodní čistírna v obci Kotenčice byla v roce 2014 první obecní čistírnou, která vykazovala uspokojivou čistící účinnost i v parametru N-NH_4^+ : odtoková koncentrace se pohybovala v oblasti $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ při nátokové koncentraci pohybující se v oblasti $30\text{--}48 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Na základě výtečných výsledků představovala čistírna drobnou revoluci a vzor, ze kterého dodnes vychází projektanti

a úředníci – využívají přitom poznatků z dostupné metodiky z roku 2015 (Metodická příručka pro povolování, návrh, realizaci a provoz kořenové čistírny odpadních vod, autoři: Křiška a Němcová). Celá tato příručka je současně uvedena jako jeden z mála literárních podkladů v normě ČSN 756402.

Výsledky z měření na poloprovozním objektu ČOV Kotenčice (KRIŠKA-DUNAJSKÝ, M., HNÁTKOVÁ, T., NĚMCOVÁ, M.: VKF D1, Vertikální filtr s nenasyceným prostředím v kombinaci s pulzním napouštěním odpadní vody a originálně řešeným rozdělovacím potrubím. ČOV Kotenčice, tok označený jako D, třetí filtrační pole samostatně zapojené. Poloprovaz, 2015) ukázaly přínos pulzního napouštění vertikálních filtrů. Zejména ukázaly cestu a podmínky, za kterých lze dosahovat vyšší čistící účinnosti – zejména v parametrech, které vyžadují pro rozklad znečištění vzdušný kyslík. Poloprovaz (ČOV Kotenčice) byl převeden do provozního režimu v roce 2015 a nebylo jej dále možné inovovat, proto bylo přistoupeno k úpravě jiného objektu – čistírny odpadních vod v obci Dražovice. Podmínky pro vhodnost vertikálního filtru, výběr filtračního materiálu a uspořádání filtračních vrstev, jsou řešeny v rámci specifického výzkumu Fakulty stavební (Němcová, M.: FAST-J-16-3284). Následně systém potrubí, včetně speciálně řešené šachty a dávkovacího zařízení jako součásti šachty, je řešen v rámci specifického výzkumu Fakulty stavební (Němcová, M.: FAST-J-17-4530). Kromě poloprovozního objektu (KRIŠKA-DUNAJSKÝ, M., PUMPRLOVÁ NĚMCOVÁ, M.: Hybridní vertikálně-horizontální pulzně skrápěné kořenové filtrační pole, poloprovaz, Dražovice, 2016) je registrován užitečný vzor (KRIŠKA-DUNAJSKÝ, M., PUMPRLOVÁ NĚMCOVÁ, M.: UV 30714 Zařízení pro distribuci vody při pomalých průtocích, r. 2017).

6.4.6 Návrh distribučního potrubí

Vysoké účinnosti vertikálního filtru zajistí kombinace dostatečně dimenzovaného mechanického stupně čištění, jemnozrnného materiálu coby hlavní filtrační vrstvy a distribučního potrubí podle UV 30714. Distribuční potrubí, jak bylo vyzkoušeno a ověřeno, je optimální realizovat z plastového potrubí, které je určeno pro rozvody vnitřní kanalizace – materiál PP-HT (Obr. 52). S ohledem na kompatibilitu s potrubím pro venkovní kanalizace a výrobním sortimentem několika výrobců je vhodné používat dimenze:

- Přívodní potrubí: DN 110
- Distribuční potrubí: DN50 (průměr DN40 je taktéž testován, ale nevyhovuje zimnímu provozu – voda se příliš ochlazuje, než dosáhne konce distribučního potrubí, vykazuje vyšší ztráty po délce)

Pro vysokou účinnost vertikálního filtru je vhodné řešit potrubí tak, aby se pulzně dávkovaná odpadní voda rozdělila rovnoměrně na celou plochu filtru. Všechny otvory v distribučním potrubí by měly vypouštět stejné množství vody. Rovnoměrného rozdělení nelze dosáhnout při kontinuálním provozu, je proto vždy potřeba, aby byl filtr vybaven buď čerpacím zařízením (čerpadlo s vysokým průtokem nad $5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, tzn., vyhovuje pouze malým producentům, cca do 10 EO), elektro ventilem nebo automatickým pulzně dávkovacím zařízením (pulzní vypouštěč), které pracuje bez nutnosti obsluhy a bez přívodu elektrické energie.

Další podmínky, které je nutno dodržet (Pumprlová a Křiška, 2017):

- Příváděcí i perforované potrubí musí být uloženy velice přesně ve vodorovné rovině (tolerance mezi nejvyšší a nejnižší úrovní max. 1,0 cm). Jedině tak je možné přiblížit se co možná nejlépe rovnoměrnému rozdělení odpadní vody po ploše vertikálního filtru
- Potrubí musí být uloženo nad filtrem, nejlépe podkládáno betonovými sloupky po vzdálenosti 1000 mm a současně musí být s těmito sloupky provázáno (např. stahovacími pásky). Předchází se tak posunu a vyvýšení potrubí vlivem silné a husté mokřadní vegetace, zároveň

se zajistí eliminace vnosu znečištění (zejména zbytky listí, kořeny rostlin) do vypouštěcích otvorů.

- Přívodní potrubí by mělo být vyvedené v půdorysném pohledu co nejbližší ke středu filtru, teprve poté je na toto potrubí nejlépe v kolmém směru (většina případů) napojeno přívodní potrubí a perforované distribuční potrubí.
- Otvory v perforovaném distribučním potrubí musí být všechny ve spodní části. Nutnou podmínkou je kontrola při realizaci potrubí, resp. při testování a prvním napouštění distribučního potrubí.
- Perforované potrubí musí být na konci vyvedeno aspoň o 25 cm výše (hydraulické vyrovnání hladiny odpadní vody, vypuštění vzduchových bublin, potenciální čištění potrubí v případě poruchy mechanického stupně).
- Veškeré potrubí musí být vzájemně provázané prostřednictvím nerezových vrutů, tzn., musí se z veškerých komponentů vytvořit jeden kompaktní celek. Zajistí se tak odolnost potrubí vůči rázům v potrubí, vznikajících při každém otevření pulzního zařízení.
- Ve vyšších oblastech je vhodné potrubí chránit dřevěným krytem ve tvaru A nebo obráceného U (ochrana proti UV záření, proti sněhu, vandalismu apod.). Zejména během prvního roku provozu vertikálního filtru není potrubí chráněno vzrostlou mokřadní vegetací, je vystaveno UV záření, které při dlouhodobém působení způsobuje ztrátu elasticity potrubí.

Samotné uspořádání potrubí na povrchu vychází z koncepce, kdy je nutné přivedení přívodního potrubí (DN110) ke středu filtračního pole, odkud je napříč filtrem napojena hlavní řada přívodního potrubí DN110, ze které jsou následně po vzdálenosti 80 cm vyvedeny v kolmém směru (obousměrně) distribuční řady DN50. Optimální je uspořádání:

Přívod – (DN110 dl. 500mm – odbočka DN110/50 vlevo - odbočka DN110/50 vpravo) x počet řad

Zároveň je potřeba počítat při návrhu potrubí s nepravidelnou kontrolou funkce mechanického předčištění a do hlavní řady přívodního potrubí DN110 instalovat několik kontrolních kusů.

Samotné distribuční potrubí je řešeno tak, že ve spodní části je po vzdálenosti 80 cm vyvrtán otvor o průměru 5,0 mm.



Obr. 52 Řešení distribučního potrubí na poloprovozním objektu

6.5 NOVÝ KONCEPT A USPOŘÁDÁNÍ PŘÍRODNÍCH ČISTÍREN

Původní schéma kořenové čistírny je z dnešního pohledu nefunkčním, nedostatečným, překonaným a nekonkurenceschopným. Nové čistírny, vycházející konceptu z původních kořenových čistíren, se nemohou s ohledem na velice negativní zkušenosti z minulosti nazývat jako kořenové čistírny, ale osvědčuje se nové názvosloví. Nová a doporučovaná technologická uspořádání jsou natolik odlišná, že nazývání systému jako „přírodní čistírna“ se jeví jako výstižnější a objektivnější. Nejen, že natolik neklade důraz na kořenový systém rostlin, ale ve skutečnosti většinu čistících procesů objektivně zajišťují přirozené/přírodní procesy, probíhající na základě fyzikálních a biochemických zákonů. Pokud se do systému vkládá elektrická energie, jedná se pouze o přenos objemu vody na vyšší úroveň (zvýšení potenciální energie) za účelem snížení investiční náročnosti čistírny (minimalizace výkopových prací, úspora prostoru apod.).

Přírodní čistírna je soustavou složenou z několika navazujících částí, přičemž každá plní specifický úkol a vykazuje specifickou účinnost v každém parametru sledovaného znečištění. Celková čistící účinnost vychází z koncepce zapojení jednotlivých stupňů. Jelikož se jedná o sériové zapojení objektů, předchodí stupeň ovlivňuje stupeň navazující v rámci celého toku.

Očekávané hodnoty výsledného znečištění na odtoku z kořenové čistírny, která je tvořena dvou nebo více stupňovou soustavou, lze stanovit podle Tab. 11. Vyšší hodnoty u účinností předpokládají vysoké nátokové koncentrace (splaškové odpadní vody, průmyslové odpadní vody) a precizně zpracovaný provozní řád, včetně dodržování správného provozování čistírny, údržbu a optimální provozní prostředí i podmínky. Nižší hodnoty naopak jsou podloženy dimenzováním objektů bez „výkonnostní rezervy“ - čistírna odpadních vod je napájena naředěnou odpadní vodou, předpokládá se nespolehlivá obsluha i horší prostředí pro rozvoj mikroorganismů, vysoké nadmořské výšky, silné rozkolísání průtoků a koncentrací apod. Střední hodnoty jsou často používaným parametrem, odpovídajícím průměrným účinnostem na většině sledovaných objektů (v rámci Ústavu vodního hospodářství krajiny).

Tab. 11 Účinnosti objektů pro přírodní čistírny odpadních vod

Technologie čištění	Účinnost čištění v %				
	BSK ₅	CHSK _{Cr}	NL	N-NH ₄ ⁺	P _{celk}
Septik	15 až 30	0 až 20	50 až 60	-	-
Anaerobní separátory	50 až 75	40 až 80	70 až 90	5 až 25	10 až 45
Sedimentační nádrž	20 až 30	10 až 30	30 až 60	0 až 5	0 až 8
Horizontální filtr	40 až 95	50 až 90	65 až 95	5 až 60	5 až 25
Vertikální filtr s vegetací	75 až 98	70 až 97	85 až 99	50 ²⁾ až 99 ¹⁾	5 až 20
Stabilizační nádrže	65 až 70 80 až 90 ¹⁾	60 až 85	85 až 90	20 až 90	5 až 20

¹⁾ v letním období (tj. pro T > 12 °C)

²⁾ v zimním období (tj. pro T < 6 °C)

Jedním z nejdůležitějších charakteristik pro stanovení hodnoty znečištění na odtoku z čistírny je znalost charakteristiky vody na přítoku. Nutné je povědomí o množství vody, které na čistírnu přitéká. Největším problémem při dimenzování objektů je stanovení množství balastních vod. Současně se ukazuje jako velice problematické spoléhání na normové stanovení specifické produkce odpadní vody. Pro projektanty může být jen doporučením: informovat se u investorů/starostů obcí apod., zjistit co

možná nejpřesněji charakter obyvatel, věkovou skladbu, zdroj pitné vody, stav kanalizace aj. relevantní informace, které povedou k přiblížení k reálným průtokům pro návrh budoucí čistíren.

Níže uvedená Tab. 11 je převzata z ČSN 756402, nicméně hodnoty u všech uvedených technologií jsou převzaty právě z výsledků pracoviště Ústavu vodního hospodářství krajiny (Ing. Michal Kriška, Ph.D., je jedním ze spoluautorů revidované normy). Všechny hodnoty byly získány sledováním několika čistíren, podloženy jsou zejména na základě výsledků ze dvou výzkumných projektů: MPO (ozn. TIP FR-TI3/778) a projektu TAČR (ozn. TA02021032).

6.5.1 Velikostní kategorie přírodních ČOV

Současné legislativní požadavky na kvalitu vyčištěné odpadní vody rozdělují producenty na několik velikostních kategorií. Obecně platí, že čím větší producent, tím nižší musí být odtokové koncentrace, resp. producent musí sledovat více parametrů současně s postupným zvyšováním účinnosti systému. Z pohledu platného nařízení vlády pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových (č. 401/2015 Sb.) a na základě výzkumných aktivit, souvisejících s vývojem nových řešení pro přírodní čistírny odpadních vod, doporučuje Ústav vodního hospodářství krajiny taková uspořádání přírodních čistíren, která splňují parametry odtékající vody pro kategorii o dva stupně přísnější. Přestože tedy legislativní požadavky stanovují pro přírodní čistírny vcelku mírné a snadno dosažitelné limity, není vhodné koncipovat přírodní čistírnu jako před 20 lety, byť by tato čistírna stále plnila svou účinností stanovené limity. Výsledky z realizovaných projektů mluví jasně – není vhodné navrhovat přírodní čistírnu bez vertikálního filtru, jelikož by takový postup byl cestou zpět o několik desetiletí. Jak bylo uvedeno výše v kap. 5, přítomnost vertikálního filtru vyžaduje jiný přístup v návrhu mechanického stupně čištění. Výběr konkrétního řešení pro návrh mechanického přečištění vychází z množství přitékající vody (počtu připojených obyvatel) a druhu kanalizačního systému (jednotná, splašková, tlaková). Podle kombinace uvedených je následně volena šterbinová usazovací nádrž s horizontálním filtrem, anaerobní separátor nerozpuštěných látek, septik, případně předřazené lapáky písku s česlemi, česlicovými koši, apod.

Počet obyvatel	Technologické kategorie	Kat. dle NV č. 401/2015 Sb.
	2000	> 500
1000	> 500	501 - 2 000
500	200 - 499	< 500
200	200 - 499	
50	36 - 199	
35	36 - 199	
10	11 - 35	
0	0-10	

Obr. 53 Odlišení kategorií přírodních čistíren dle přístupu

V Obr. 53 je uvedeno srovnání dvou přístupů – technologické kategorie vychází zejména z možnosti zapojení hydraulických pravidel pro uspořádání distribučního potrubí, legislativní kategorie vychází z platného nařízení vlády a jsou pro všechny technologie řešení ČOV univerzální. Hodnoty požadované nařízením vlády pro nejlepší dostupnou technologii jsou stanovené v Tab. 2. Z pohledu nařízení vlády není nutné rozlišování uspořádání čistírny do 500 obyvatel, nicméně technologie vyžaduje odlišný přístup – kombinaci podmínek jak pro vhodné hydraulické řešení a ekonomicky nejvýhodnější provedení. Z pohledu technologického (hydraulického řešení) uspořádání se naskýtá dle

Tab. 12 několik variantních uspořádání, která zároveň splňují platné legislativní požadavky pro vypouštění vyčištěných odpadních vod do vod povrchových.

Tab. 12 Doporučené uspořádání přírodní čistírny

Velikostní kategorie	Vhodná morfologie terénu	Nevhodná morfologie terénu
Do 10	AS + PV + VF	AS + Č + VF
10–35	AS + PV + VF	AS + Č + PV + VF
35–200	RK + P + AS + DS + VF	RK + Č + P + AS + DS + VF
201–500	RK + P + ŠUN + HF + DS + VF	Č + P + RK + ŠUN + HF + DS + VF
501 - více	RK + P + ŠUN + HF + DS + VF + DN	Č + P + RK + ŠUN + HF + DS + VF + DN

Kde je: AS – anaerobní separátor, Č – čerpací šachta, DN – denitrifikační zařízení, DS – distribuční systém, HF – horizontální filtr, P – srážení fosforu, PV – pulzní vypouštěč, RK – rozdělovací komora, ŠUN – štěrbínová usazovací nádrž, VF – vertikální filtr

- AS – anaerobní separátor navržený podle kap. 5.2, předpoklad vysoké účinnosti při správném provozování (tabulka účinností v kap. 5.3)
- Č – čerpací šachta, jímka, komora – pro čistírny do 10 EO musí vykazovat dostatečné průtoky při dopravní výšce, u velikosti 10 EO je potřeba čerpat $1,5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. U větších producentů musí být za čerpadlem šachta s dimenzovaným objemem na daný počet obyvatel, přičemž v této šachtě je nutné umístění pulzního vypouštěče (PV) pro zajištění dostatečně silných průtoků
- DN – denitrifikační stupeň, např. nádrž s plovoucími ostrovy (popsáno v kap.5.8), denitrifikační bioreaktor (popsáno v kap. 5.6), případně horizontální filtr (popsáno v kap. 4.7)
- DS – distribuční systém: plochy nad 150 m^2 musí být rozdělena na více dílčích hydraulických celků (podle kap. 5.7)
- HF – horizontální filtr, umístěn a řešen jako bezpečnostní filtr (pro spolehlivý provoz vertikálního filtru), případně pro největší kategorii tvoří denitrifikační stupeň (horizontální filtr s vegetací)
- P – srážení fosforu: z důvodu srážení před vznikajícími anaerobními podmínkami nutné srážení prostřednictvím solí hliníku
- PV – pulzní vypouštěč: vysoké průtoky zajistí automatické dávkovací zařízení bez nutnosti připojení na el. energii, realizované např. dle kap. 5.2 nebo kap. 5.4.
- RK – rozdělovací komora: dělení proudu odpadní vody dle počtu EO na dva, tři, čtyři a více toků (kap. 5.7), vhodné provedení pomocí překlápěcího mechanismu.
- ŠUN – štěrbínová usazovací nádrž: řešená dle doporučení v kap. 6.1.2
- VF – vertikální filtr: navržen a provozován dle kap. 6.4

Pokud je čistírna napojena na stávající jednotnou kanalizaci, je ve všech kategoriích předřazena precizně navržená odlehčovací komora (kap. 5.1) a následně lapák písku s česlemi, bez ohledu na velikost čistírny.

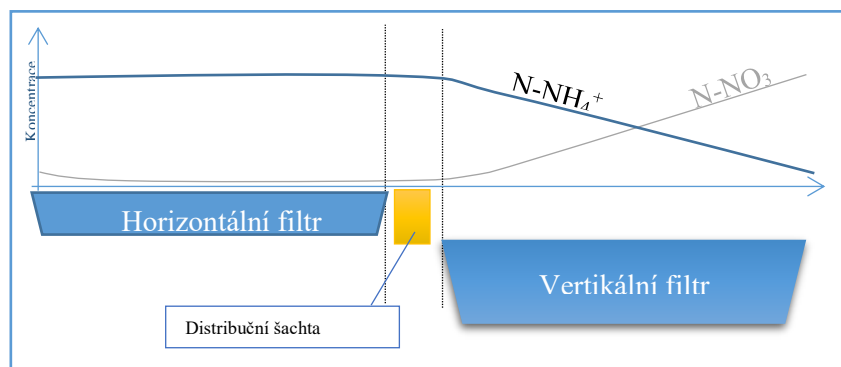
6.5.2 *Soustava horizontální + vertikální filtr*

Soustava dvou na sebe navazujících filtrů byla ještě před 10 lety neznámou technologií, popsanou spíše v teoretické rovině. Dnes je na základě výzkumných výsledků má pracoviště VHK praktické zkušenosti, získané zejména na základě několika poloprovozů. Horizontální filtr, který je předřazený filtru vertikálnímu, představuje záruku bezpečného provozu distribučního potrubí na vertikálním filtru (Chaloupka, 2019). Současně částečně snižuje koncentraci organického znečištění CHSK_{Cr} a BSK_5 ,

nicméně jednou z nejdůležitějších funkcí je právě zajištění spolehlivého provozu vertikálního filtru i při zanedbané údržbě mechanického předčištění. V situaci, kdy dochází k zaplnění kalového prostoru usazovací nádrže nebo septiku, zajišťuje horizontální filtr zachycení většiny nerozpuštěných látek a tím i nadále spolehlivě fungující vertikální filtr, řazený jako hlavní stupeň čištění (Obr. 54).

Jedná se o snadno dimenzované, poměrně bez problémů realizovatelné a zejména spolehlivě provozovatelné řešení, zaručující dlouhou životnost vertikálního filtru i v případě laxního přístupu obsluhy, případně předpokládající laxní přístup obsluhy, která nepostupuje podle provozního řádu. Přesto je na místě uvažovat s následujícím:

- kolmatace – očekávání kolmatačních procesů v blízkosti přívodního potrubí u horizontálního filtru. Ideálním řešením je rozdělení plochy filtru na dva paralelně uspořádané filtry a tyto provozovat střídavě s provozní periodou aspoň 7 dní. Změnou provozu dojde k vytvoření dvou pulzně vypouštěných filtrů, popsanych v kap. 0. Tato úprava se od podzimu 2019 testuje na provozním objektu ČOV Dražovice, do jara 2020 zatím vykazuje pozitivní výsledky,
- na horizontálním filtru není nutné vysazovat mokřadní vegetaci – při odstraňování usazeného kalu z povrchu komplikují regenerační proces. Drobnou nevýhodou je vyšší ochlazování povrchu v zimním provozu, pokud povrch filtru nezakrývá sněhová pokrývka.
- jemnější frakce – při povrchu vrstva 10–20 cm z říčního štěrku o frakci 8/16 mm. Toto opatření zajistí mělké pronikání kalů do vrstev filtračního materiálu a současně možnost snadné regenerace směsi štěrku + kal, případně možnost aplikace směsi za účelem rekultivace degradovaných pozemků, trávníků apod.,
- horní okraj urovaného štěrkového materiálu na vertikálním filtru je pod úrovní dna horizontálního filtru (rozdíl mezi přítokem na horizontální pole a odtokem z vertikálního filtru je min. 2,0 m)
- na odtoku z vertikálního filtru jsou vyšší koncentrace dusičnanového dusíku podle účinnosti vertikálního filtru



Obr. 54 Schéma uspořádání soustavy horizontální-vertikální filtr



Obr. 55 Uplatnění výsledků v obci Skašov a Cekov

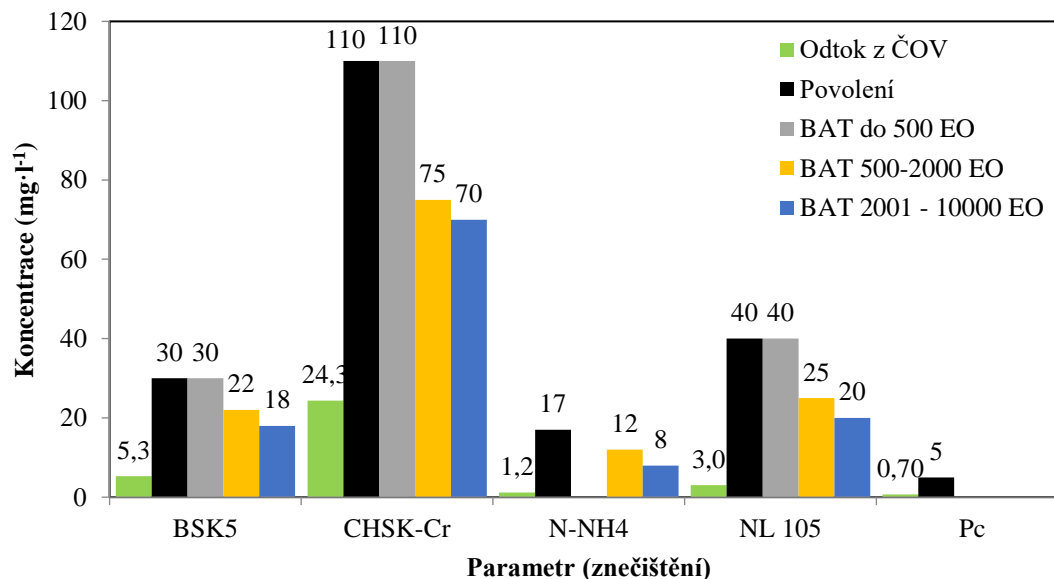
Vyhodnocení zkušební provozu na čistírně v obci Skašov, která byla realizována v roce 2017 (Obr. 55) přesně dle doporučení znaleckého posudku (ozn. 28/2014), vyšlo zejména k udivení správce vodního toku jako velice příznivé, resp. neočekávané. Hodnoty odtokových koncentrací jsou zobrazeny na následující tabulce, přičemž během navazujícího období po ukončení zkušební provozu v roce 2019 došlo k dalšímu zlepšení odtokových koncentrací (Tab. 14).

Tab. 13 Odtokové koncentrace ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) během zkušební provozu ČOV Skašov (2018)

Proměnná	Prům.	Stř. chyba prům.	Směr. odchylka	Min.	Q ₁	Medián	Q ₃	Max.
BSK ₅	7	1,83	4,47	1	3,25	7	10,25	14
CHSK _{Cr}	35,67	4,82	11,81	20	26	34,5	48,25	49
NL	12	4,68	11,47	2,5	4	9	18,25	34
N-NH ₄ ⁺	2,71	1,04	2,54	0,89	1,38	1,66	4,01	7,74
P _{celk}	2,1	0,467	1,143	1,27	1,39	1,665	2,763	4,33

Tab. 14 Odtokové koncentrace ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) rok po zkušebním provozu ČOV Skašov (2019)

Proměnná	Prům.	Stř. chyba prům.	Směr. odchylka	Min.	Q ₁	Medián	Q ₃	Max.
BSK ₅	5,33	1,33	2,31	4	4	4	8	8
CHSK _{Cr}	24,33	2,6	4,51	20	20	24	29	29
NL	3	0,764	1,323	2	2	2,5	4,5	4,5
N-NH ₄ ⁺	1,212	0,366	0,634	0,73	0,73	0,976	1,93	1,93
P _{celk}	0,697	0,182	0,315	0,39	0,39	0,68	1,02	1,02



Obr. 56 Srovnání dosahovaných výsledků s ostatními hodnotícími kritérii

Nabízí se srovnání s obecně uznávanou nejlepší dostupnou technologií ČOV ve vybraných velikostních kategoriích. Náhorné zobrazení na Obr. 56 ukazuje, že ve všech parametrech je navržená technologie vícestupňové ČOV výrazně efektivnější než doporučená "Nízko až středně zatěžovaná aktivace nebo biofilmové reaktory". Při srovnání s velikostní kategorií 500 – 2000 EO, která je přísnější ve všech parametrech, navíc doplněná o znečištění amoniakálním dusíkem, docházíme k obdobnému závěru – vícestupňová ČOV vykazuje lepší výsledky. Obdobně je tomu i v kategorii

2001 – 10 000 EO. Stále lepší výsledky z čistírenské technologie, která byla na přelomu století zavržována a téměř odepsána. Při větší opatrnosti lze konstatovat, že tato technologie je po stránce kvality vypouštěné vody akceptovatelná i pro větší velikostní kategorie. Jak bylo uvedeno výše, problémem technologie je náročnost na plochu – proto u velkých čistíren samozřejmě není žádoucí.

6.5.3 *Soustava vertikální + vertikální filtr*

Jak bylo uvedeno výše, vertikální filtry vykazují výrazně vyšší účinnosti ve srovnání s filtry, které jsou zatopené vodou, a proudění odpadní vody v nich probíhá v horizontálním směru. Proto se nabízí dnes velice netradiční řešení, tj. zapojení dvou vertikálních filtrů v sérii za sebou. Předpokládá se, že tato technologie bude přibližně za jednu dekádu nejběžnějším řešením, vzhledem k univerzálnosti a vysoké účinnosti. Uspořádání dvou vertikálních filtrů v sériovém zapojení je schopno zajistit výrazně vyšší účinnosti než na úrovni dnešní nejlepší dostupné technologie. Pokud u jednoho vertikálně zapojeného filtru je možné dosahovat účinnosti v parametrech BSK₅, CHSK_{Cr}, NL, N-NH₄⁺ v oblasti nad 90 %, potom při dvoustupňovém uspořádání lze očekávat pro stejné parametry účinnosti nad 98 %. Nutno ale podotknout, že odpadní voda musí být zkoncentrována – čistírna musí být připojena na splaškovou kanalizační síť. Odtokové koncentrace se dle modelů budou pohybovat v oblasti hodnot BSK₅ = 3 mg·l⁻¹, CHSK_{Cr} = 20 mg·l⁻¹, N-NH₄⁺ = 0,06 mg·l⁻¹, NL méně než 2,0 mg·l⁻¹.

Konfigurace filtrů

Při uspořádání dvou vertikálních filtrů zapojených v sérii, současně za potlačení nutnosti připojení el. energie, je vyžadováno minimální výškové převýšení 5,0 m. Pouze při dostatečném převýšení může systém dosahovat uvedených odtokových parametrů i bez nutnosti připojení zdroje el. energie, bez alternativního zdroje el. energie apod. Účelem prvního vertikálního filtru je zejména intenzivní přeměna amoniakálního dusíku na dusičnanový dusík a následně, ve spodní vrstvě filtru, transformace prostřednictvím denitrifikaci na molekulární dusík, unikající skrz filtrační materiál do atmosféry. Stěžejní procesy, které ve filtru probíhají, jsou nitrifikace a následná denitrifikace ve spodní vrstvě filtru, kde je ještě dostatek organického uhlíku. První vertikální filtr je řešen jako zemní nádrž (hloubená mělká jáma izolovaná od podloží), složená z několika vrstev (směrem od podloží):

- podklad pod hydroizolací musí být zarovnan písčovým podsypem (kamenivo přírodní těžené 0/4mm) o výšce cca 50 mm,
- na hydroizolačním podkladu je umístěno drenážní potrubí DN 80 pro odtok vyčištěné odpadní vody z filtru,
- drenážní potrubí je uloženo v drenážní a zároveň denitrifikační vrstvě o výšce 250 mm, nesmí být přikryto žádnou geotextilií,
- filtrační náplň vertikálního filtru je ve směru ode dna tvořena uvedenou drenážní vrstvou (kamenivo přírodní těžené prané 8/16P) mm o výšce 250 mm,
- nad drenážní vrstvou je rozprostřen přechodový filtr o výšce 100 mm, tvořený materiálem frakce 4/8P (přírodní kamenivo těžené prané),
- nad přechodovým filtrem je volně uložena hlavní filtrační vrstva o tloušťce 500–600 mm, přičemž materiálem je kamenivo přírodní těžené prané 2/4P, 2/5P, případně 1/5P,
- svrchní krycí vrstva o výšce 100 mm je tvořena přírodním praným kamenivem 8/16P mm
- povrch filtru musí být urovnán s max. výškovou odchylkou 20 mm.

Odpadní voda z vertikálního filtru odtéká systémem drenážního potrubí, které je vyústěno v revizní šachtě. Dno filtru je trvale zatopeno do výšky 250 mm, přičemž právě v této vrstvě probíhá denitrifikace za přítomnosti organického uhlíku ze zbytkového znečištění organického původu.

Povrch filtru řešen obdobně jako jednostupňový vertikální filtr (kap. 6.4) - na povrchu vertikálního filtru (nad svrchní krycí vrstvou) je uložena soustava betonových sloupků, které slouží pro vyrovnanou pokládku distribučního potrubí. Vertikální filtr je skrápěn odpadní vodou pomocí systému přívodního a distribučního potrubí v několika denních dávkách tak, že samotná filtrační náplň není vodou zatopená, ale vytváří jen vlhký substrát. Současně je potřeba, aby příváděcí potrubí (DN110) bylo spádováno směrem k distribučnímu potrubí (DN50).

Navazující na přívodní potrubí je distribuční potrubí, které je opatřeno při spodním okraji otvory velikosti 5 mm, vzájemná vzdálenost jednotlivých otvorů je 800 mm. Potrubí je přichyceno k podkladním betonovým sloupkům pomocí stahovací plastové pásky (stažení je potřebné na každém křížení „potrubí X sloupek“. Vzájemná vzdálenost distribučního potrubí je 800 mm, délka potrubí je taková, aby bylo ukončeno cca 500 mm od horního okraje filtračního materiálu (v půdorysném pohledu).

Za prvním vertikálním filtrem je umístěna druhá distribuční šachta, která je v podstatě ve všech detailech totožná jako distribuční šachta před prvním vertikálním filtrem.

Druhou část hlavního čistícího stupně tvoří vertikální filtr, na který je obdobně jako u prvního vertikálního filtru odpadní voda dávkována přerušovaně – několikrát denně. Cílem filtru je dočištění všech sledovaných parametrů (BSK_5 , $CHSK_{Cr}$, NL, $N-NH_4^+$) na minimální možnou úroveň. Druhý filtr je ve všech detailech totožný s jednostupňovými vertikálními filtry (kap. 6.4). Zásadní rozdíl mezi prvním a druhým filtrem je tedy pouze ve skladbě jednotlivých filtračních vrstev.

Vzhledem k zahrnutí denitrifikačního procesu, který probíhá ve spodní vrstvě prvního vertikálního filtru, je toto řešení dostatečně účinné i z pohledu odstraňování dusičnanového dusíku, resp. zajistí snížení koncentrace celkového dusíku minimálně o 70 %. Z pohledu stávající platné legislativy (N.V. 401/2015 Sb.) vzniká požadavek na odstraňování celkového dusíku až u čistíren ve velikostní kategorii 10 001 – 100 000 EO. Tzn., dvoustupňový systém vertikálních filtrů vykazuje výsledky o vyšší kvalitě, než je požadována pro velikostní kategorii 10 001 – 100 000 EO. Řešení je možné uplatnit při vypouštění odpadních vod do podloží (N.V. 57/2016 Sb.), koncentrace celkového dusíku v odtékající vodě je sledována od velikosti čistírny nad 10 EO, jedná se o povolené koncentrace $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, resp. nad 50 EO koncentrace $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

Na základě laboratorních výsledků prováděných v improvizovaném laboratorním prostředí na ČOV Dražovice, bylo navrženo např. uspořádání čistírny pro skupinu domů v obci Samopše pro 35 EO a pro obec Hlína (300 EO). Obě čistírny budou uvedeny do provozu nejdříve v roce 2021.

6.6 AMONIAKÁLNÍ DUSÍK – PROVOZNÍ VÝSLEDKY

Jak je patrné z uvedených naměřených výsledků, vertikální filtr při vícestupňovém zapojení vykazuje uspokojivé výsledky již v první poloprovozní konfiguraci. Druhé řešení, realizované v provozních podmínkách ČOV Dražovice, vycházející z poloprovozního objektu na ČOV Kotenčice, zahrnuje většinu získaných poznatků a detailů. Nejen, že plní požadavek na odtokové koncentrace dle platného povolení, ale při srovnání s nejlepší dostupnou technologií vykazuje lepší výsledky jak v kategorii „účinnost“, tak v odtokových koncentracích u jednotlivých parametrů znečištění. Odtokové koncentrace jsou potom nejlepším výsledkem ze všech publikovaných přírodních čistíren v České republice. Průměrná hodnota odtokové koncentrace $2,0 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ byla ještě před třemi lety nesplnitelným požadavkem, dnes se jedná o vzor s tím, že všechny budoucí přírodní čistírny by neměly dosahovat horších výsledků. Pokud ano, jedná se o nevědomost projektanta/provozovatele čistírny.

Tab. 15 Znečištění ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) před a po rekonstrukci (ČOV Dražovice, r. 2019)

Proměnná	Profil	N	Prům.	Stř. chyba prům.	Směr. odchylka	Min.	Q ₁	Medián	Q ₃	Max.
BSK ₅ před rekonstr.	přítok	5	86,6	15,4	34,4	33	60	91	111	129
	nátok do BN	5	13,56	4,7	10,51	1,1	3,65	12	24,25	25
	odtok	5	12,68	4,35	9,73	5,7	6,15	8	21,55	29,1
BSK ₅ po rekonstr.	přítok	7	74	10,9	28,8	30	50,5	77	94	113
	nátok do BN	7	0,657	0,042	0,1134	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8
	odtok	7	0,771	0,125	0,33	0,6	0,6	0,6	0,8	1,5
CHSK _{Cr} před rekonstr.	přítok	5	267,6	51	114,1	90	158,5	301	360	379
	nátok do BN	5	79,6	30,1	67,2	24	32,5	52	140,5	192
	odtok	5	64,4	14,6	32,6	34	40	55	93,5	118
CHSK _{Cr} po rekonstr.	přítok	7	235,3	33,4	88,3	128	154	273	286	368
	nátok do BN	7	27,86	3,57	9,44	11	21	31	31	41
	odtok	7	33,29	5,86	15,5	9	25	32	44	59
NL před rekonstr.	přítok	5	69	13,2	29,5	29	42,5	64	98	100
	nátok do BN	5	18,2	13,2	29,6	2	3	7	39	71
	odtok	5	10,4	1,25	2,79	7	7,5	11	13	13
NL po rekonstr.	přítok	7	52	5,52	14,62	23	49	52	66	66
	nátok do BN	7	2,143	0,143	0,378	2	2	2	2	3
	odtok	7	6,86	2,28	6,04	2	2	3	13	17
N-NH ₄ ⁺ před rekonstr.	přítok	5	46,24	8,05	18,01	16,7	31,1	47,5	60,75	61,6
	nátok do BN	5	22,8	4,36	9,75	8,5	12,8	28,1	30,15	32
	odtok	5	23,92	3,84	8,58	12	15,1	26,6	31,4	31,8
N-NH ₄ ⁺ po rekonstr.	přítok	7	42,36	7,06	18,68	13,9	32,5	35,25	57,3	67,7
	nátok do BN	7	2,72	1,01	2,67	0,76	1,04	1,52	5,5	7,53
	odtok	7	2,16	0,904	2,391	0,45	0,48	0,834	5,1	6,057

Zapojení vertikálního filtru, který je provozovaný jako pulzně skrápěný, je tedy zárukou vysoké kvality odtékající odpadní vody. Na druhou stranu, vertikální filtr neřeší problém s celkovým dusíkem. Odtokové koncentrace amoniakálního dusíku jsou na nízké úrovni, nicméně pokud je účinnost v odstraňování amoniakálního dusíku v oblasti 95 %, jsou současně odtokové koncentrace dusičnanového dusíku téměř na stejné koncentrační hodnotě. Proto je nutné (s ohledem na zodpovědnou živinnou bilanci) snížení celkového dusíku bez ohledu na velikostní kategorii ČOV. Znamená to tedy nutnost zařazení denitrifikačního stupně za vertikální filtr, viz navazující kapitola.

Tab. 16 Srovnání účinností (%) na ČOV Dražovice v roce 2019

Proměnná	BSK ₅	CHSK _{Cr}	NL	N-NH ₄ ⁺
Požadavek BAT	85	75	-	75
Před rekonstrukcí	85	76	85	48
Po rekonstrukci	99	86	87	95

Tab. 17 Srovnání odtokových koncentrací (ČOV Dražovice, r. 2019)

Proměnná	BSK ₅	CHSK _{Cr}	NL	N-NH ₄ ⁺
Požadavek BAT	22	75	25	12
Před rekonstrukcí	13	64	10	24
Po rekonstrukci	0,8	33	7	2

Naše výsledky z testování v poloprovozních podmínkách v letech 2013–2015 jsou uvedeny v Tab. 18, citovány v publikaci (Jelínková a Plotěný, 2015). Testovány byly nejprve lyzimetrické modely, získané zkušenosti byly následně překlopeny v několik poloprovozních objektů.

Tab. 18 Průměrná a maximální dosažená účinnost čištění (%) na ČOV Kotečnice

Parametr znečištění	Samotný horizontální filtr		Samotný vertikální filtr		Septik-vertikální filtr
	Prům.	Max.	Prům.	Max.	Prům.
CHSK _{Cr}	50,9	89,2	73,0	91,6	94
BSK ₅	69,4	95,6	78,1	93,9	98
NL	94,9	98,1	91,7	98,1	98
N-NH ₄ ⁺	-11,8	10,7	57,1*	89,6	93
P _{celk}	-6,2	14,4	20,7	51,2	60

* Nízká účinnost ve srovnání se zahraniční literaturou je dána použitím hrubšího filtračního materiálu

6.7 ODSTRAŇOVÁNÍ DUSIČNANŮ – DENITRIFIKACE

Možností, jak odstranit celkový dusík, resp. snížit odtokovou koncentraci amoniakálního dusíku, se nabízí pomocí přírodního přístupu hned několik. Vždy musí ale být denitrifikační řešení zapojeno za vertikálním filtrem:

- Horizontální filtr
- Filtr s organickým substrátem
- Nádrž pokrytá plovoucími ostrovy

V současné době nelze s jistotou určit, které ze zařízení je pro účely odstraňování celkového dusíku nejvýhodnější, protože pouze zapojení horizontálního filtru je v současné době dlouhodobě provozováno a vykazuje tedy provozní zkušenosti.

Odstraňování celkového dusíku je sice nad rámec požadavků platného nařízení vlády (401/2015 Sb.), nicméně se jedná o „službu nad rámec povinností“ pro životní prostředí. Transformace amoniakálního dusíku na dusičnany ve své podstatě probíhá prostřednictvím samočisticích procesů v každém hydrobiologicky oživeném vodním toku. S nadsázkou lze tvrdit, že v důsledku je čistírna odpadních vod, která vypouští dusičnanový dusík, pouze zkrácením délky vodního toku, v němž by jinak probíhalo samočištění odpadní vody. Odstraňování dusičnanového dusíku by mělo být zakotveno v čistírenské technologii bez ohledu na velikostní kategorii. Mělo by být povinností každého projektanta, zahrnovat tuto technologii do každého projektu čistírny odpadních vod.

6.7.1 Soustava vertikální + horizontální filtr

Dle výše uvedeného je soustava uspořádáním vertikální filtr + horizontální filtr zodpovědným řešením, které plní funkci odstranění dusičnanového dusíku. V teoretické rovině vznik anoxických podmínek v rámci posledního filtru s horizontálním prouděním zajistí redukci dusičnanového dusíku, vznikajícího v předřazeném vertikálním filtru. Denitrifikace nicméně vyžaduje pro účinný průběh optimální pH v rozmezí 6 – 9 a dostatek organického substrátu obsahujícího org. uhlík, sloužící jako zdroj energie pro přítomné organotrofní organismy za účelem tvorby biomasy (Hlavínek, 2003).

Sestava, založená na uspořádání v pořadí vertikální filtr – horizontální filtr, byla realizována v poloprovozním měřítku na ČOV Kotečnice v rámci výzkumného úkolu MPO FR-TI3/778, reálný výsledek byl vykázan jako poloprovoz (Křiška-Dunajský, M., Hnátková, T., Němcová, M.: *KČOV KOT B, Horizontální trvale zatopený filtr s navazujícím nezatopeným vertikálním filtračním polem pulzně skrápěným a horizontálním zatopeným denitrifikačním polem. ČOV Kotečnice, tok označený jako B. Poloprovoz*). Po ukončení výzkumu byly výsledky využity k návrhu rekonstrukce ČOV Velká

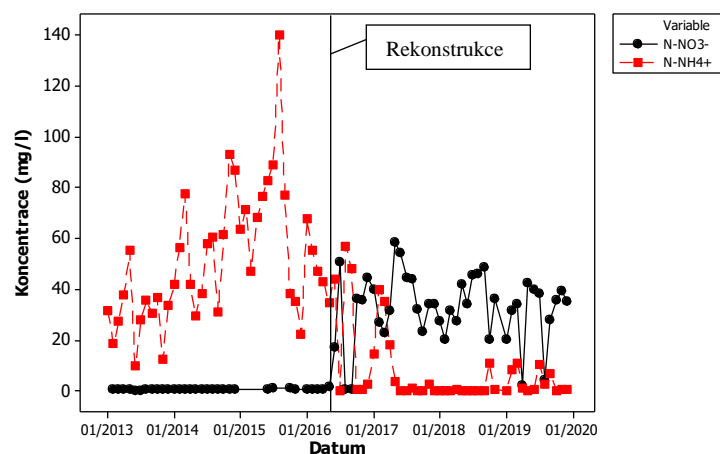
Jesenice, která byla v předchozím uspořádání řešena jako jednostupňová kořenová čistírna s horizontálním filtrem. Současně na základě poloprovozu (ČOV Kotenčice) vzniklo obdobné uspořádání s využitím výsledků VUT v Brně na ČOV Nová Ves (Třemešné).

Tab. 19 Vyhodnocení odtokových konc. ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) před a po rekonstrukci (ČOV Velká Jesenice)

Proměnná	Prům.	Stř. chyba prům.	Směr. odchylka	Min.	Q ₁	Medián	Q ₃
N-NO ₃ ⁻ (před rekonstrukcí)	0,5335	0,2106	0,2	0,46	0,46	0,5565	1,35
N-NO ₃ ⁻ (po rekonstrukci)	32,39	13,68	0,46	26,13	34,05	41,83	58,3
N-NH ₄ ⁺ (před rekonstrukcí)	51,05	25,88	9,85	32,6	42,8	67,88	140
N-NH ₄ ⁺ (po rekonstrukci)	7,74	14,73	0,16	0,16	0,44	8,98	57,1*

*Hodnota je zaznamenána v prvním měsíci po rekonstrukci

Určitým nedostatkem tohoto uspořádání je skutečnost, že prostřednictvím vertikálního filtru dochází k tak účinnému snížení přítomného organického uhlíku v odpadní vodě, že denitrifikace nemůže spolehlivě probíhat. Jednou z cest, jak zajistit dostatek organického uhlíku, bylo v rámci poloprovozního objektu na ČOV Kotenčice krátkodobé testování připouštění části předčištěné odpadní vody do toku za vertikální filtr (před filtr horizontální). Tato metoda se ukázala sice funkční pro zvýšení denitrifikační funkce, naopak ale narostly všechny ostatní sledované koncentrace. Tudíž nevýhodné řešení, z dnešního pohledu již překonané. Na nově realizovaných ČOV probíhá denitrifikace s nízkou účinností pouze první dvě vegetační sezony. Následně při rozvoji kořenového systému mokřadních rostlin, doprovázeného navyšujícím se množstvím odumřelé nadzemní biomasy, dochází k postupnému navyšování účinnosti v odstraňování dusičnanů až na hodnotu 50–60 %.



Obr. 57 Porovnání odtokových konc. před a po rekonstrukci (ČOV Velká Jesenice)

Předpoklady účinné denitrifikace u dlouhodobě sledované přírodní čistírny v obci Velká Jesenice, která prošla rekonstrukcí v roce 2016, se však ani po dvou vegetačních sezonách nepotvrdily (Obr. 57). Proložení libovolné regresní křivky je sice možné, ale kvalita regresních modelů je max. 10 %, není tedy prokazatelné, že se účinnost denitrifikace postupně zvyšuje. Vzhledem ke skutečnosti, že v České republice se nevyskytují funkční vertikální filtry v kombinaci s filtry horizontálními, plnicími primárně denitrifikační funkci, nelze spolehlivě určit, zdali dojde ke zlepšení systému nebo ne. Tato nejistota přináší otázku aplikovatelnosti jiných řešení, u nichž denitrifikace probíhá spolehlivě již bezprostředně po spuštění provozu a dlouhodobě, bez ohledu na pomalý vývoj vegetace (viz níže).

6.7.2 *Soustava vertikální filtr + denitrifikační bioreaktor*

Zařízení nazvané jako „denitrifikační bioreaktor“ bylo vyvíjeno a testováno v laboratorním prostředí Ústavu vodního hospodářství krajiny (společně s Ústavem chemie) v letech 2015 – 2018 v rámci řešení výzkumného projektu NAZV (Udržitelná technologie pro odstranění dusičnanů ze zemědělských smyvů, QJ1520280). Cílem práce bylo věnování stěžejní pozornosti aplikaci zahraničních zkušeností na místní poměry – s využitím místních dřevin, které jsou současně funkční a zároveň ekonomicky dostupné. Pro účely výzkumu byly testovány filtrační náplně organického původu, u nichž byla sledována při průtoku vody se zvýšenou koncentrací znečištění účinnost v odstraňování dusičnanů.

První výsledky z měření, kdy bylo testováno několik vybraných filtračních materiálů, jsou popsány v publikaci (Křiška a kol., 2015 a 2016), startovací fáze provozu reaktorů, která se jeví jako nejvíce problematická, je potom popsána v článku (Bílková a kol., 2017, 2018). Nejdůležitější výsledky jsou shrnuty ve dvou publikacích (Malá a kol., 2017 a 2018, Šereš a kol., 2019). Při provozu laboratorních denitrifikačních kolon s náplní z topolové štěpky v letech 2015–2018 bylo zjištěno, že při vstupní koncentraci N-NO₃ v rozmezí 19 až 41 mg·l⁻¹, dobou zdržení odpadní vody v rozmezí 32 až 34 h a teplotě protékající vody v rozmezí 17 až 21 °C, vykazuje nejvýhodnější filtrační materiál schopnost odstranit z vody N-NO₃ v rozmezí 6,7 až 13,1 g·m⁻³·d⁻¹ (Hrich a kol., 2018). Výsledky ze specifických výzkumů FAST přinesly závěry, že hodnota koncentrace dusičnanů na odtoku u spolehlivě fungujícího vertikálního filtru se pohybuje v oblasti 30–40 mg·l⁻¹ (Pumprlová Němcová a Křiška Dunajský, 2018).

Náhrada horizontálního filtru vertikálním bioreaktorem umožní výrazně snížit investiční náklady, současně zvyšuje účinnost systému – byť se jedná pouze o předpoklady a hypotézy formulované na základě laboratorního měření bez ověření v poloprovozním měřítku. Samotné laboratorní měření probíhalo na upravené pitné vodě a teprve budoucí testování ukáže, jestli a jak se shodují laboratorní výsledky se zapojením reaktoru na reálnou odpadní vodu. Předpokládáme schopnost reaktoru snížit koncentraci N-NO₃ ve vypouštěné odpadní vodě na hodnotu pod 10 mg·l⁻¹ z maximální vstupní koncentrace N-NO₃ cca 16 až 30 mg·l⁻¹ (nebo vyšší).

Určitou nevýhodu má toto uspořádání z důvodu postupného vyluhování organických látek do vypouštěné vody. Pro stanovení hodnoty (množství) výluhu je možné využít model vyluhování CHSK_{Cr} z náplně denitrifikačního bioreaktoru, který byl publikován v článku (Schmidt a Clark, 2013) a který lze vyjádřit rovnicí:

$$R_{\text{CHSK}}(t) = R_{\text{CHSK}}(0) \cdot e^{-rt} + \theta \quad (11)$$

kde $R_{\text{CHSK}}(t)$ a $R_{\text{CHSK}}(0)$ je rychlost vyluhování CHSK_{Cr} (g·m⁻³·d⁻¹) v čase t a v čase $t = 0$, r je exponenciální rychlostní konstanta a θ je asymptotická rychlost (g·m⁻³·d⁻¹).

Aplikací daného modelu vlastní naměřená data byly získány hodnoty parametrů $R_{\text{CHSK}}(0) = 99 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, $r = 0,027$ a $\theta = 5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$. Modelová data byla v dobré shodě s daty naměřenými, koeficient determinace R^2 byl roven 0,96.

V dohledné době (vegetační sezona 2020) je v plánu zapojení testovacího objektu na vytypované přírodní čistírně odpadních vod – s největší pravděpodobností ČOV v obci Dražovice pro její vysokou nitrifikační schopnost a vysoké odtokové koncentrace N-NO₃. Výsledek bude sledován, pravidelně budou odebírány a analyzovány vzorky. Pro predikci odtokových koncentrací budou uplatněny zkušenosti z matematického modelování v problematice šíření znečištění filtračním prostředím, publikované v souvislosti se šířením dusičnanů (Křiška a kol., 2017 a 2018). Stavba bude vykázána jako výsledek typu poloprovoz. Následný postup bude standardní, resp. obdobný jako v případě

vertikálních filtrů. Novou technologii je náročné prosadit, ale jakmile se očekávané kvalitní výsledky dostaví, bude snad tato technologie postupně rozšiřována.

6.7.3 *Soustava vertikální filtr + nádrž s plovoucími ostrovy*

Technologie plovoucích ostrovů představuje alternativní řešení k předchozím dvěma uspořádáním. Princip plovoucích ostrovů vychází již z jejich názvu:

- přítomnost lehkého nosiče, plovoucího na vodní hladině, sloužícího jako zakrytí vodní hladiny proti slunečnímu záření
- osázení nosiče mokřadními rostlinami, které odebírají dostupné živiny z vodního prostředí
- kořenový systém rostlin vytváří filtrační prostředí, zajišťuje snížení množství nerozpuštěných látek
- přítomné rostliny zajišťují částečné prokysličení kořenové zóny, uvolňování a tvorbu organických kyselin a ovlivnění pH vnosem CO₂ při procesu dýchání (Tanner, 1998).

Plovoucí ostrovy jsou inovativním ekologickým řešením ke kontrolování bodových, ale zejména plošných zdrojů znečištění v povodí vodních toků (Hubbard a kol., 2011, Rangarajan a kol., 2012). Publikovány byly také pozitivní výsledky o snížení koncentrací N-NO₃, N-NH₄⁺, K a nerozpustných látek pod plovoucími ostrovy, na kterých dominuje porost orobince (*Typha spp.*). Nejen, že součástí plovoucího ostrovu jsou mokřadní rostliny, ale přítomný je velice často i zooplankton a perifyton, přirozeně narůstající na povrchu kořenového systému.

Po celém světě byly provedeny desítky studií a realizací, přičemž navzdory prokázanému pozitivnímu efektu představuje hledání spolehlivých účinností velkou výzkumnou mezeru. Jedna z prvních zmínek o plovoucích ostrovech popisuje uměle realizované studie (Nakamura a kol., 1999) s cílem zlepšení kvality vody díky jejich čtyřem hlavním funkcím:

- čištění vod,
- zajišťování specifického životního prostředí vodním a mokřadním druhům zvířat,
- ochrana před abrazí pobřežní linie (rybníky, nádrže, vodní toky),
- pozitivní vliv na krajinné prvky (zejména rozšíření druhové skladby).

Potenciál této technologie je v literatuře uváděn např. pro proměnlivé průtoky odpadní vody (Smith, Kalin, 2000; Hubbard a kol., 2004; Todd a kol., 2003), kdy jsou plovoucí ostrovy určeny pro zadržení převážně nerozpuštěných látek v případě jednotných kanalizací a dešťových stok. Procesy probíhající při aplikaci plovoucích ostrovů byly popsány v rozsáhlých, zejména zahraničních, studiích (Vymazal 2007). Účinky odstranění řady znečišťujících látek pomocí plovoucích ostrovů byly hodnoceny mnoha různými autory (Tanner a kol., 1995; Headley and Tanner 2008). Co se týče výzkumných výsledků a realizací v České republice, je pracoviště VUT v Brně bylo v roce 2014 nejspíše jedním z historicky prvních, které má s plovoucími ostrovy reálné zkušenosti, získané prostřednictvím poloprovozních objektů (Kohut, 2015; Mrkývka, 2017).

Hlavní přínos čistícího účinku této technologie spočívá v přítomnosti rostlin, které jsou schopny čistit vodu pomocí prokysličení kořenové zóny, vylučováním H⁺ do vodního prostředí, pomocí uvolňování a tvorby organických kyselin společně s produkcí CO₂ při procesu dýchání (Tanner a kol., 1995). Často jsou publikovány také pozitivní výsledky týkající se snížení koncentrace CHSK např. až o 85 % (Chen a kol., 2013), realizované na uměle připravené odpadní vodě v kombinaci s jíllem vytrvalým (*Lolium perenne*). Účinky ve snížení koncentrace N-NH₄⁺ zaznamenali autoři (Sun a kol., 2009), přičemž se charakteristikou prostředí podobali našemu laboratornímu uspořádání a využití lyzimetru – zjistili účinnost 96,7 %. Snížení hodnoty celkového dusíku (N_{celk}) na stojaté vodní hladině v kombinaci se směsí přítomných rostlin prezentují autoři (Zao a kol., 2012), kdy účinnost

v odstranění celkového dusíku při jejich měření je 50,3 %, naopak velmi vysoké výsledky v čistící účinnosti na živinami dotované vodě uvádí autoři (Keizer-Vlek a kol., 2014), kdy účinnost v odstranění N_{celk} byla až 98 %. Mezi často sledované živiny patří $N\text{-NH}_4^+$, výsledky se i zde často liší v závislosti na vstupní koncentraci, zdroji čištěné vody, druhu přítomné rostliny a dalších parametrech. Nepříliš pozitivní hodnoty s účinností mezi 24,6 – 33 % zjistili autoři (Ayaz and Saygin, 1996), naopak extrémně kvalitních účinností s výsledkem 99,6 % přišli Xian a kol. (2010) nebo 99,4 % (Zhou a kol., 2012). V neposlední řadě je sledována i hodnota celkového fosforu (P_{tot}), přičemž i zde se výsledné účinnosti často rozcházejí podle vnějších okrajových podmínek. Nejnížší účinnost v odstranění P_{tot} mezi hodnotami 8–15 % publikovali např. (Yang a kol., 2008), nesrovnatelně příznivějších hodnot dosahují autoři 92 % (Keizer-Vlek a kol., 2014) nebo 82 - 98,5 % (Sooknah a Wilkie, 2004). Jiní autoři Nakamura a Shimatani (1997) věnovali své výzkumné práce vlivu plovoucích ostrovů (AFI – artificial floating island) na kvalitu vody v malých vodních nádržích. Pro účely našeho výzkumu je důležitá zejména informace, že zaznamenali letní kvetení řas v kontrolních nádržích (bez přikryté hladiny), zároveň zjistili minimální řasové nárosty na nádržích, kde se nacházely plovoucí ostrovy zakrývající vodní hladinu. Shimada a kol. (2007) vyvinuli dva druhy plovoucích ostrovů navržené pro emerzní vegetaci. Jejich objevy prokázaly, že zlepšení stavu čistoty vod díky zavedení plovoucích ostrovů s sebou může nést i expanzi přirozené vegetace a potlačení potřeby rozšiřování plochy pokryté umělými plovoucími ostrovy. Stewart a kol. (2008) publikoval výsledky, popisující schopnost bakterií rostoucích v kořenech rostlin (vysázených na plovoucích ostrovech). Tyto bakterie jsou schopny odstranit 10 600 mg dusičnanů za den, 273 mg amoniaku, 428 mg fosfátů za den na 0,16 m³ objemu kořenové zóny. Další studie zaměřená na těžké kovy ukázala, že plovoucí ostrovy jsou schopny odstranit uvolněné sloučeniny mědi od 3,8 do 6,4 mg·m⁻²·den⁻¹ a sloučenin zinku ve výši od 25 do 88 mg·m⁻²·den⁻¹ (Headly, Tanner, 2007). Také bylo prokázáno, že díky přítomnosti vegetace došlo k odstranění 20,2 % celkového fosforu z již eutrofizujících vod (Song a kol., 2009).

Jednou z důležitých součástí technologie plovoucích ostrovů jsou přítomné rostliny. Při výběru druhové skladby rostlin je potřeba zohlednit mnoho faktorů, kterými jsou: klimatické podmínky, citlivost na živiny, citlivost na přímý sluneční svit, délka, hustota a objem kořenů, nadzemní biomasa, vztlková síla vznikající vlivem ponoření vzdušných částí kořenů, druh a koncentrace znečištěné vody, absence substrátu v kořenové zóně, schopnost zadržování vody a rychlost růstu biomasy nad i pod hladinou. Jak se ukázalo na laboratorním i poloprovozním měření, nádrže, jejichž součástí je na hladině plovoucí ostrov, zajišťují spolehlivěji denitrifikační funkci nádrže s volnou hladinou. Při pokrytí hladiny dochází k potlačení prostupu světla do vodního prostředí, přičemž potenciálně se vyskytující zelené řasy a sinice ve vodním sloupci pod zakrytou vodní hladinou dýchají, tj. produkují CO₂ a spotřebovávají kyslík. Současně se pokrytou hladinou eliminuje vstup kyslíku právě prostřednictvím pohybu vzduchu bezprostředně nad vodní hladinou. V takto modifikovaném prostoru vznikají předpoklady ke vzniku anoxického až anaerobního prostředí. Zároveň, s ohledem na přítomnost kořenového systému lze předpokládat přítomnost dostupného organického uhlíku. Prostředí pro rozvoj denitrifikačních bakterií je téměř ideální i pro zimní provoz – plovoucí nosič je tvořen tepelným izolantem (kap. 5.8). Proto nádrže, pokryté plovoucími ostrovy, dosahují efektivního odstranění dusičnanů, zejména po rozsáhlém zpracování rostlin.

Výzkumné práce pracoviště VUT v Brně byly zaměřeny na dva dílčí cíle: získání výsledků z laboratorního měření a získání zkušeností z poloprovozního zařízení, které se realizovalo na malé vodní nádrži v k.ú. Oldřiš (Křiška a kol., 2018). Měření na laboratorních lyzimetrech probíhalo od dubna 2017 do podzimu 2018, testovací poloprovozní zařízení bylo realizováno v srpnu 2018 a sledováno bylo do zimy 2019/2020, přičemž další sledování vývoje bude probíhat prostřednictvím komunikace s majitelem vodní nádrže i v dalším období po ukončení výzkumných prací. Podrobné výsledky byly publikovány v práci (Křiška Dunajský a Němcová Pumpřlová, 2018).

Laboratorní (lyzimetrické) měření

Bezprostředně od zahájení měření (start 30.4.2017) byl zaznamenáván amoniakální dusík ($N-NH_4^+$), dusičnanový dusík ($N-NO_3^-$) a celkový dusík (N_{celk}). Předpokládáme minimální koncentrace dusitanového dusíku ($N-NO_2^-$) ve všech fázích měření, proto tuto formu přes vnos chyby zanedbáváme. Jelikož jsme stanovili všechny tři formy dusíku ($N-NO_3^-$, $N-NH_4^+$, N_c), organický dusík je určen jako rozdíl $N_c - (N-NO_3^- + N-NH_4^+)$.

Tab. 20 Množství organického dusíku v lyzimetrech (N_{org} , $mg \cdot l^{-1}$)

Proměnná	Prům.	Stř. chyba prům.	Směr. odchylka	Min.	Medián	Max.
Hladina*	6,911	0,829	3,103	15,017	6,322	2,748
Ostrov*	6,071	0,788	2,948	11,637	4,732	2,969
Plovák*	5,424	0,499	1,868	8,819	4,829	2,64

* Hladina = lyzimetr s volnou hladinou, Ostrov = lyzimetr se vzrostlým plovoucím ostrovem, Plovák = lyzimetr se zakrytou hladinou (nosičem pro rostliny) bez přítomných rostlin

Vzhledem k rozkolísaným výsledkům neuvažujeme průměrnou hodnotu, ale medián hodnot. Výsledná hodnota organického dusíku u lyzimetry označené hladina – ostrov – plovák je tedy N_{org} ($mg \cdot l^{-1}$) = 6,32–4,73–4,8. Dalším významným výsledkem jsou soubory hodnot N_c pro jednotlivé lyzimetry, vycházející z 36 měření (Tab. 21).

Tab. 21 Vyhodnocení sledované koncentrace celkového dusíku ($mg \cdot l^{-1}$)

Proměnná	Prům.	Stř. chyba prům.	Směr. odchylka	Min.	Medián	Max.
Hladina	7,43	0,262	1,569	6,573	6,812	13,772
Ostrov	5,619	0,255	1,528	4,904	5,184	12,16
Plovák	6,275	0,305	1,828	5,098	5,52	12,269

Celkový dusík je tedy podle předpokladů nejlépe odstraňován prostřednictvím přítomného plovoucího prvku se vzrostlou vegetací. Průměrná hodnota ze všech měření je $5,619 \pm 1,528 \text{ mg} \cdot l^{-1}$, ve srovnání s nejhorsím lyzimetrem, ve kterém je vodní hladina ponechána volná, v němž je výsledná hodnota téměř o $2 \text{ mg} \cdot l^{-1}$ vyšší. Průměrná hodnota koncentrace N_c u lyzimetry „hladina“ je $7,43 \pm 1,569 \text{ mg} \cdot l^{-1}$. Mezi oběma lyzimetry se opět dle předpokladu pohybuje lyzimetr se zakrytou hladinou, který s největší pravděpodobností vytváří podmínky pro rozvoj denitrifikace pomaleji než zapojení plovoucích ostrovů s rostlinami. Hodnota N_c vychází u zakryté vodní hladiny bez přítomných rostlin $6,275 \pm 1,828 \text{ mg} \cdot l^{-1}$.

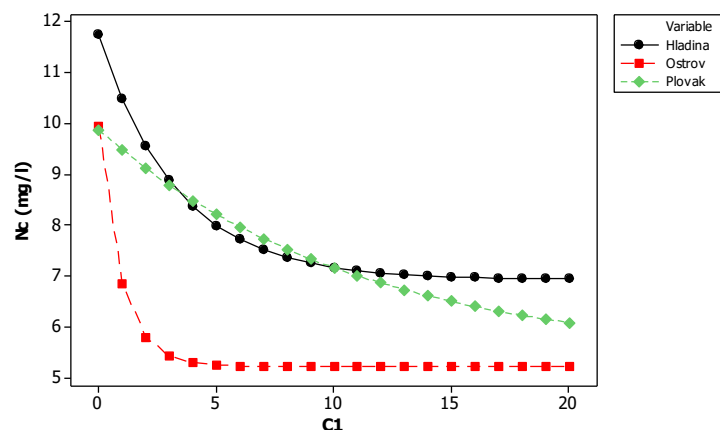
Při rozložení jednotlivých měření do časové osy (pozorování poklesu celkového dusíku v závislosti na vystavení přirozeným podmínkám v lyzimetru) s cílem vytvoření regresní nelineární křivky, která stanovuje úbytek celkového dusíku v daném lyzimetru a libovolném čase (RT), vzniká na základě naměřených a extrapolovaných hodnot série rovnic ve tvaru:

$$N_c = \theta_1 - \theta_2 * \exp(-\theta_3 * RT) \text{ (mg} \cdot l^{-1}\text{)} \quad (10)$$

Tab. 22 Parametry regresních křivek pro vývoj znečištění v lyzimetrech

Lyzimetr	θ_1	θ_2	θ_3
Hladina	6,93094	-4,81465	0,3025310
Ostrov	5,22445	-4,70758	1,0579400
Plovák	5,36294	-4,50724	0,0917953

Právě hodnota RT (Retention Time, neboli doba zdržení vody v lyzimetru), určuje rychlost poklesu. Čím vyšší číslo, tím rychleji dochází k poklesu koncentrace celkového dusíku ve vodním prostředí. Nejlepšího výsledku dosahuje dle očekávání lyzimetr s přítomnými plovoucími ostrovy, následuje neočekávaně lyzimetr s volnou hladinou. Nejpomalejšího poklesu dosahuje lyzimetr se zakrytou vodní hladinou – nedochází k účinné nitrifikaci, resp. probíhá velice pozvolna. Na druhou stranu, po pozvolném poklesu je v čase $RT = 10$ dní a dále koncentrace N_c snížena na nižší hodnotu než u lyzimetru s volnou hladinou.



Obr. 58 Vývoj koncentrace N_{celk} ($mg \cdot l^{-1}$) na testovacích lyzimetrech

Vliv přítomného plovoucího ostrova s mokřadní vegetací má největší podíl během prvních 7 dní (doba zdržení vody pod plovoucím ostrovem). Po 7 dnech (Obr. 58) se vliv přítomného ostrova eliminuje. Z výsledků plyne, že není vhodné realizovat pro málo znečištěné vody plovoucí ostrovy na rozsáhlou vodní plochu – výsledný efekt vzhledem k investičním nákladům by byl minimální. V podstatě lze největšího rozdílu pozorovat během prvních sedmi dní, následně se množství odstraněného celkového dusíku srovnává.

Vyhodnocení znečištění $N-NO_3^-$

Očekávaným procesem je odběr dusičnanů prostřednictvím kořenů rostlin, plovajících ve vodním prostředí. Předcházejícím procesem je nitrifikace, kterou musí zajistit autotrofní mikroorganismy. Nitrifikaci mohou ovlivnit přítomné rostliny vnosem kyslíku vnosem CO_2 během procesu dýchání. Rostliny současně vytváří kořenovým systémem nosič pro mikroorganismy (nitritační a nitrační bakterie). Při zakrytí hladiny se očekává bezkyslíkaté prostředí s potlačením přestupu kyslíku přes vodní hladinu a s předpokladem denitrifikačních procesů.

Zjištěné výsledky ukazují nejednoznačnost předpokladů. Hodnota dusičnanů je téměř konstantní, což je nejspíše dáno postupnou a pozvolnou nitrifikací za současně probíhající denitrifikace. Nejvyšší koncentrace se u všech lyzimetrů pohybují do $2,0 \text{ mg} \cdot l^{-1}$, přičemž průměrné hodnoty i mediány jsou u všech lyzimetrů taktéž srovnatelné, tj. v rozmezí $(0,43 - 0,47) \text{ mg} \cdot l^{-1}$ průměr a $(0,34 - 0,41) \text{ mg} \cdot l^{-1}$ medián. Ukazuje se tedy, že ani zakrytá hladina, ani přítomnost rostlin nemá zásadní vliv na rychlost probíhající nitrifikace.

Tab. 23 Koncentrace $N-NO_3^-$ ($mg \cdot l^{-1}$) na jednotlivých lyzimetrech

Proměnná	Prům.	Stř. chyba prům.	Směr. odchylka	Min.	Medián	Max.
Hladina	0,4706	0,0453	0,272	0,216	0,3935	1,45
Ostrov	0,4757	0,0413	0,2477	0,175	0,412	1,61
Plovak	0,4367	0,0341	0,2045	0,222	0,344	1,13

Na základě poloprovozních zkušeností, které byly získány na realizovaném zařízení, umístěném na malé vodní nádrži v k.ú. Oldřiš, jsou formulovány praktické závěry, shrnuté do několika oblastí:

a) Výsadba plovoucích ostrovů

Výsadba mokřadních rostlin do polystyrénových plováků byla provedena v polovině měsíce srpna 2017 (Obr. 59). Jak ukázalo navazující období, některé rostliny již nebyly schopny zakořenit a v jarním období 2018 musela být téměř polovina odumřelých rostlin nahrazena novými. Tento handicap se týká obou druhů vysázených mokřadních rostlin – sítiny sivé i ostrice latnaté. Rostliny, resp. plovoucí ostrovy, doporučujeme na základě této zkušenosti vysazovat v jarních měsících, aby byla rostlinám umožněna dostatečná doba na zpracování kořenového systému ve vodním prostředí.



Obr. 59 Realizace poloprovozního objektu se systémem plovoucích ostrovů

b) Provoz v zimním období

Příprava na zimní období nevyžaduje specifický přístup, činnost ani aktivitu. Plovoucí ostrov je zařízení, které funguje na přirozeném samočisticím principu, nezahrnuje žádné pohyblivé části ani připojení elektřiny, není tedy nutná příprava na zimní období. Jak ukazují zkušenosti z poloprovozního zařízení, určitým technologickým rébusem bude řešení sklizení biomasy, která vyrostla nad vodní hladinou. Během prvního a druhého zimního období, kdy ještě nejsou rostliny v plném vzrůstu, není potřeba sklizeň provádět (Obr. 61), nicméně, v dalších letech bude sklizeň jednou z hlavních činností, která zajistí dlouhodobou udržitelnost plovoucího systému. Pokud nebude vegetace sklizena s pravidelností min. 1x za dva roky, bude docházet k úhynu a rozkladu organické hmoty, tzn., bude docházet k sekundární produkci znečištění před odtokem vody z nádrže. Výsledná živinná bilance se bez sklizně může výrazně zhoršit, resp. přiblížit se stavu, kdy vodní hladina postrádá umístěný plovoucí ostrov.

Právě sklizeň „nadhladinové“ odumřelé biomasy se jeví z provozního pohledu jako největší problém. Při sklizni v zimním období by mohlo dojít k následujícímu problému: polystyrénové nosiče vytváří tepelný izolant, který zabraňuje nebo částečně eliminuje vznik vrstvy ledu pod samotnými plováky. Je tedy nebezpečné se v zimním období pohybovat po plovoucím ostrovu.

Pokud se provozovatel (majitel, správce) nádrže rozhodne sklízet plovoucí nosiče, musí brát zřetel na hrozící prolomení ledu – pokud by např. obsluha s křovinořezem využila polystyrény jako podklad pro chůzi. Plovákový systém není kompaktní, nejedná se o pevně spojené komponenty a v případě prolomení ledu hrozí riziko utonutí obsluhy – i vlivem zamotání se do kořenového systému, přítomného zimního oblečení, zavěšeného křovinořezu atd. Sklizeň je tedy nutné realizovat s maximální opatrností.



Obr. 60 Plovoucí ostrov v zimním provozu

c) Regenerace odumřelých mokřadních rostlin

Jak ukázaly další výsledky z poloprovozního měření na vodní nádrži, při regeneraci nebo nahrazování odumřelých částí rostlin je vhodné osazování nových rostlin do čerstvé biomasy – např. tráva, obilí, apod.



Obr. 61 Pohled na odumřelé sazenice a výsadbu nových rostlin

Odumřelé části při aplikaci vytvoří vhodný substrát pro uchycení mokřadní rostliny, přitom postupně dojde k rozkladu malého objemu biomasy, čímž se v dalším rozvoji rostlin zajistí volný prostor pro rozšíření mokřadní rostliny. Při kontrole na konci vegetačního období r. 2019 nebyly již shledány žádné negativní důsledky takto řešené úpravy a výsadby nových rostlin.

d) První nevegetační období

První mimo vegetační období (podzim 2017–jaro 2018) ukázalo na problém, který v laboratorním měřítku nebylo možné předpokládat. Plovoucí segmenty, které ještě nemají dostatečně zakořeněné mokřadní rostliny, jsou vystaveny v případě poryvů větru riziku „podfouknutí“. Na vodní hladině můžou vlny způsobit částečné nadzvednutí plovoucího nosiče, při jeho nadzvednutí může v extrémním případě dojít k převrácení. Pokud se rostliny v takové situaci dostávají do opačné polohy (kořenovým systémem vzhůru, může hrozit jejich vypadání do vodního prostředí, případně uhynutí a pozbytí hlavní funkce.

Z tohoto důvodu je doporučeno předpěstování rostlin na menší vodní nádrži, která je pod pravidelnou kontrolou. Teprve po zakořenění je doporučeno silné a těžké rostliny přenášet na určenou vodní plochu. Zároveň je doporučeno při výsadbě mokřadních rostlin aplikovat velice malou dávku hnojiva, čímž se zajistí potlačení stresu, vznikajícího u rostliny při přesazování.

6.8 KOLMATAČE - EFEKTIVNÍ ŘEŠENÍ NÁSLEDKŮ

V rámci výzkumu MPO TIP FR-TI3/778 byla soustředěna pozornost také na možnosti regenerace filtračních materiálů, resp. řešení následků špatného návrhu a zanedbaného provozování kořenových čistíren.

Důležité je upozornění, že ucpávání probíhá postupně vlivem poddimenzovaného mechanického stupně čištění (usazovací nádrž nebo vícekomorový septik) nebo při nevhodně řešené odlehčovací komoře, případně při zanedbané obsluze (přeplnění akumulčního prostoru):

1. V první fázi dochází k postupnému vyplavování částic z mechanického stupně čištění, nerozpuštěné látky o vysoké koncentraci jsou často vynášeny z usazovacího prostoru v nepravidelných intervalech – většinou při vyšších průtocích.
2. Postupně unášené částice jsou akumulovány v distribučním potrubí, následně jsou vyplavovány na povrch filtračního materiálu.
3. Následuje zachycení mezi póry filtračního materiálu. Pokud se jedná o horizontálně protékané filtrační pole, nerozpuštěné látky se usazují ve svrchní vrstvě, max. do hloubky několika cm.
4. Odpadní voda postupně přináší další zachytitelné částice, které se nejsou schopny dostat do filtru (povrch je ucpaný), proto se vytváří preferenční cesty, na povrchu viditelné toky odpadní vody vlivem nepropustné vrstvy kalu.
5. Voda postupně vsakuje to filtračního prostředí dále od přítoku, v extrémních případech může nastat, že voda vsakuje až u odtoku. Taková situace je předpokladem k minimální účinnosti ve všech parametrech.

Popsaný postup kolmatačního procesu je impulzem k vyhodnocení a posouzení možností regenerace. Vyplývá z něj následující: pokud čistírna vykazuje tendence k ucpávání filtru, je potřeba nejprve vyřešit příčinu – většinou mechanický stupeň čištění. Teprve potom je na místě řešení navazujícího stupně čištění (horizontální nebo vertikální filtr).

Rozhodovací proces před samotnou regenerací nebo rekonstrukcí je následující:

1. Posouzení stupně kolmatace povrchu filtru, následně rozhodnutí ohledně nakládání s povrchově zakolmatovaným materiálem, případně jeho ponechání bez zásahu.
2. Sledování nedostatečné účinnosti vybraného parametru ($N-NH_4^+$, P, $CHSK_{Cr}$, NL) – nutné sledování znečištění na přítoku a odtoku z filtru
3. Nalezení ekonomicky výhodného a technicky nejlepšího řešení

Čistící účinnost je srovnatelná s jinými technologickými zařízeními: u námi sledovaných přírodních ČOV je možné dosahovat na odtoku z kořenové čistírny koncentrace $CHSK_{Cr} < 40 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, $BSK_5 < 1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, $NL < 2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, $N-NH_4^+ < 2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Nejmodernější přírodní ČOV v České republice dosahuje $CHSK_{Cr} < 33 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, $BSK_5 < 0,8 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, $NL < 2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Nové výsledky z výzkumu v oblasti septiků ukazují také výrazně vyšší účinnosti ve srovnání se šterbinovými usazovacími nádržemi. Nejnovější výsledky dosahují u septiků účinnost $CHSK_{Cr} = 78 \%$, $BSK_5 = 75 \%$, $NL = 94 \%$. Současně nový směr, jak navrhovat moderní kořenové čistírny, je jasný – spojit všechny výsledky, technologie a ověřená řešení v jeden celek. Navrhnout kořenovou čistírnu, která odstraní nejen dosud uváděné $CHSK_{Cr}$, BSK_5 a NL, ale také $N-NH_4^+$, N_{celk} a P_{celk} tak, aby byla konkurenceschopným řešením.

Problém kořenových čistíren tedy není v neschopnosti dosahovat vysokých čistících účinností. Negativní roli v jejich neprospěch hraje fakt, že se v České republice často v rámci nových projektů kořenových čistíren objevují neověřená řešení, s nadsázkou lze říci „pokusní králici“. Taková řešení z rukou některých projektantů zaručují, že vznikne další čistírna, která bude vykazovat provozní problémy. Anebo druhým častým případem je situace, kdy projektanti často navrhnou řešení, plnící pouze limity pro vypouštění, sledované danou kategorií počtu EO. Pracoviště ÚVHK se podílelo jako spoluředitel na vyřešení problému s nefungujícími kořenovými čistírnami v rámci několika výzkumných projektů. Mezi nejzásadnější nedostatky kořenových čistíren, na které se výzkumné práce zaměřovaly, patřily zejména:

- problematika kolmatace a následné regenerace filtračního materiálu,
- odstraňování $N-NH_4^+$,
- problematika kalového hospodářství (v tomto článku není blíže popsáno).

Je potřeba zdůraznit, že porucha provozu vlivem kolmatace hrozí všem typům filtrů, jimiž protéká odpadní vody s obsahem nerozpuštěných látek. Přirozeně, že čím jemnější materiál (frakce) je použit jako filtrační náplň, tím vyšší náchylnost na ucpaní filtr vykazuje. S odkazem na výše popsané vertikální filtry (kap. 6.4) s hlavní filtrační vrstvou frakce 0/4P je tedy nutné upozornit, že tyto filtry jsou více citlivé na kvalitu předčištění odpadní vody než horizontální filtry (filtrační materiál 8/16 mm). Postupná kolmatace má za následek pokles hydraulické vodivosti, v důsledku čehož může dojít ke vzniku zkratového proudění uvnitř filtru a s tím související snížené účinnosti (Ragusa, 2004). Dále může docházet ke vzniku povrchového proudění a s tím spojeným hygienickým a estetickým problémům, kterými jsou zápach nebo viditelný úbytek rostlin osázených ve filtrech. Životnost hlavní součásti čistírny, tedy filtračního pole, je tedy nejvíce závislá na rychlosti kolmatace. Při správné funkci čistírny by měla čistírna i více než 30 let (Pedescoll a kol., 2011). V praxi tomu tak často není a existuje spousta čistíren, které jsou na hranici životnosti po cca 10 letech (Jaime a kol., 2012). U vertikálních filtrů kolmatace ztěžuje dopravu kyslíku do kořenového pole, a to vede k rychlému selhání schopnosti systému čistit odpadní vodu (Langergraber a kol., 2003; Petitjean a kol., 2016). Vertikální filtry nemohou z tohoto důvodu být umístěny za nedostatečně účinnou šterbinovou usazovací nádrž, ale musí mít předřazen správně hydraulicky vyřešený vícekomorový septik (dražší a složitější řešení), u kterého lze předpokládat vyšší účinnost v odstranění nerozpuštěných látek. Tato skutečnost byla implementována do revidované ČSN 756402.

6.8.1 Indikátory zanesení kořenového pole

Hodnocení obsahu kolmatantu v poli může být provedeno několika způsoby. Patří mezi ně hodnocení pórovitosti, která představuje objem pórů, z nichž je voda schopna samovolně odtéci za atmosférického tlaku. Proto je nutné, aby byly póry dostupné pro čištění odpadní vody (Rowe a kol. 2000). Dalším ze způsobů kvantifikace kolmatace je stanovení hmotnosti nahromaděných pevných látek v objemu filtračního materiálu (směs kořenů, kalu a minerálního materiálu). Toho je dosaženo tím, že se určí hmotnost kalu získaného promytím vzorku zakolmatovaného materiálu a usušeného při 105°C. Z následných testů ztráty žíháním (tj. zahřátím na 550 °C) lze vypočítat obsah organické hmoty ve vzorku, resp. zjistit stupeň mineralizace.

Teoretická řešení jsme v rámci výzkumných aktivit testovali na několika provozních objektech, výsledky byly publikovány v rámci bakalářských prací (Burešová 2011, Pobořil, 2012, Pobořil 2013), na tuzemských seminářích a konferencích. Pro široké uplatnění v praxi je nejvýznamnějším faktorem ekonomický pohled.

Většina metod, řešící regeneraci ucpaného filtračního materiálu se pro praxi ukázala jako nerealistická (zkušenosti z ČOV Kotenčice, Lutopecny, Dražovice). Ať se jedná o provzdušňování filtru,

odčerpávání kalů, těžba materiálu, případně aplikace silného oxidačního činidla na kal organického původu. Zahraniční autoři (Blazejewski a Murad-Blazejewska, 1997, Rowe a kol., 2010) prokázali významný vliv zakolmatovaného vertikálního filtru na výslednou čistící účinnost, zejména ve znečištění, vyžadujícím pro odbourání přítomnost kyslíku: CHSK_{Cr} , BSK_5 , N-NH_4^+ .

Proces kolmatace se vyskytuje téměř u všech kořenových čistíren odpadních vod v České republice, protože je při stávajících uspořádání technologie čištění logickým důsledkem. Ukazuje se, že u kořenových čistíren nastávají projevy kolmatace z několika příčin:

- nevhodně navržená odlehčovací komora – na jednotné kanalizaci, špatná řešení bez hydraulických výpočtů, stejné návrhy pro různé situace,
- nevhodně provozované odlehčovací komory – snaha provozovatelů o zjednodušení provozu a provozní úspory pramenila z kutilské úpravy v odlehčovacích komorách (zvýšení přelivné hrany),
- poddimenzované mechanické předčištění – šterbinové usazovací nádrže jsou méně účinné vzhledem ke krátké době zdržení, v nově revidované ČSN 756402 je zahrnuta úprava potřebné doby zdržení,
- zanedbané údržba usazovací nádrže – podle provozního řádu čistírny odkalování 1–4x ročně, při zaplnění usazovací nádrže je kal vyplavován na filtrační pole.

Při extrémních projevech kolmatace není provozovatel schopen dodržovat odtokové limity. Čistírny se zbytečně rekonstruují a často se revitalizují nevhodně. Na takovéto čistírny se pak právem ukazuje jako na odstrašující případy, spojující se s větou „kořenová čistírna nefunguje“. Jako preventivní opatření lze uvažovat např. návrh čistírny v souladu s ČSN 756402, která již zahrnuje zjištěné poznatky. Na základě výsledků výzkumu (zejména provozních zařízení v obci Kotečnice a Dražovice) je silný předpoklad k opakování stejných (pozitivních) závěrů i na jiných objektech.

6.8.2 Vytěžení filtrační náplně

Jedním z technickoekonomických problémů, který staví zastaralé kořenové čistírny mezi ekonomicky nevhodné technologie, patří náprava zakolmatovaného materiálu odtěžením. U horizontálně protékaných kořenových filtrů probíhá kolmatace často jen do hloubky 10–20 cm (podle zrnitosti materiálu, uspořádání mechanického předčištění, charakteru odpadní vody, koncentrace znečištění, specifického průtoku filtrem). Proto bylo v minulosti jako dostačující řešení situace odtěžení svrchní vrstvy a regenerací materiálu (přirozená mineralizace kalu). Těžba svrchní vrstvy proběhla např. na kořenové čistírně v obci Lutopecny, a dvou poloprovozních a sledovaných objektech v rámci výzkumných úkolů: obec Kotečnice a Dražovice.



Obr. 62 Odtěžení zakolmatované vrstvy šterku v obci Lutopecny a Dražovice

Jakákoli manipulace s filtračním materiálem (na 1 EO přibližně $1,0 \text{ m}^3$) je pro provozovatele velice nákladná. Kromě odebrání zakolmatovaného materiálu (Obr. 62) je potřeba jej následně buď vyprat

a vrátit zpět anebo umístit na skládku nebezpečného odpadu (s očekáváním přítomných fekálních bakterií a jiných nebezpečných látek) a následně pořídit materiál nový. Rozpočet takto provedeného řešení následně, resp. preventivně, přímo zvyšuje cenu stočného. S ohledem na stanovenou životnost horizontálního filtru se může jednat o navýšení v částce 4–10 Kč·m⁻³. V důsledku způsobuje těžba zakolmatovaného filtračního materiálu z kořenových čistíren nekonkurenceschopnou technologii.

V České republice proběhla řada případů výměny filtračního materiálu (např. obec Zbenice, Olší nad Oslavou, Moraveč, Břehov). Pokud ale provozovatel řeší pouze následky a nezaměří se na příčiny, je poměrně jasné, že ke kolmataci dojde opět za přibližně stejnou dobu jako v předešlém období.

Záleží na dané situaci – na druhu kanalizace, na četnosti odkalování, na kvalitě odlehčovací komory apod., ale v odtokové zóně může i po deseti a více letech provozu být přítomno minimum sedimentu (Pobořil, J., 2012). Na druhou stranu, jsou známy i případy obcí (Spálené Poříčí, Žernovník, Onšov, Biskoupky, Machová, Němčičky, Rudíkov, Hostětín, Dražovice), které mají zakolmatovanou téměř celou plochu horizontálního filtru. V takovém případě dochází většinou k pozvolnému zhoršení odtokových koncentrací vlivem zmenšení využitelného objemu filtračního materiálu (dle výpočtu v kap. 4.7).

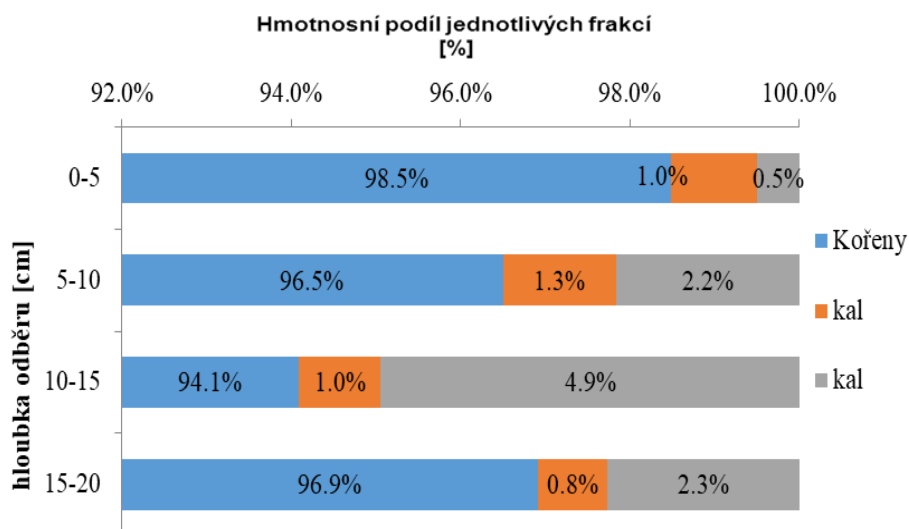
6.8.3 Regenerace filtračního materiálu

Výše popsáný proces kolmatace vedl v mnoha situacích provozovaných kořenových čistíren k potřebě regenerace filtračního materiálu. Problém bylo potřeba řešit urgentně, jelikož ucpávání filtrů a potřeba jejich regenerace, bylo zmiňováno jako jeden z největších nedostatků přírodních čistíren. V rámci výzkumných prací na projektu Biostream (MPO, ozn. TIP FR-TI3/778), jsme již v roce 2012 pracovali na alternativách – jak zajistit vhodnou metodu, postup a přístup k širokému problému souvisejícím s regenerací filtrů. Práce byly podrobně popsány v bakalářské práci (Pobořil, J., 2012), testovány a srovnávány byly dvě metody regenerace: umělé skrápění a přirozené ponechání klimatickým podmínkám. Vytvořeno bylo celkem pět dílčích lyzimetrických těles (Obr. 63) a jedna velkoplošná rovina.



Obr. 63 Testovací plochy pro regeneraci filtračního materiálu

Všechny testovací plochy byly naplněny silně zakolmatovaným filtračním materiálem (štěrk 8/16 mm s podílem jemného substrátu organického původu) a sledován byl posun organického substrátu směrem do hlubších vrstev. Zpracována byla jak závislost poklesu množství kolmatantu v různých hloubkách (Obr. 64), tak časová závislost a změna, resp. očekávané zlepšení způsobené vyplavováním kolmatantu z filtračního materiálu, ať už přirozenou cestou nebo vyplavováním aplikací užitkové vody.



Obr. 64 Hmotnostní podíl jednotlivých frakcí filtračního materiálu

Kromě samotných výsledků jsme hledali nejvhodnější řešení, nejefektivnější metodu a postup, který by vedl k nápravě a regeneraci filtračního materiálu. Postupně jsme testovali rozprostření filtračního materiálu do vrstvy o různé výšce, přičemž jsme testovali krátkodobé i dlouhodobé (sezónní) expozice vůči přirozeným klimatickým podmínkám. Výsledky ukázaly, že při tomto postupu dochází postupně k několika procesům:

1. Mineralizace (přirozená přeměna organického materiálu na substrát anorganické povahy, obr. Obr. 65 se zobrazením přeměny substrátu po ročním rozprostření do tenké vrstvy), vystaveno působení srážek), ke které dochází u materiálu, který je rozprostřen nad hladinu odpadní vody. Již tento poznatek byl nový a do roku 2012 nebyl publikovaný v tehdy dostupné literatuře.
2. Vyplavování – mineralizovaný kal prosakuje vlivem působení srážek do hloubky 5–10 cm. Povrchová vrstva je vlivem působení deště téměř zbavena původního kalu.
3. Akumulace – vyplavený kal zůstává zachycen v nižších vrstvách – přibližně 10 – 15 cm pod povrchem. Pro postupné odstranění v celém profilu by musela být každá vrstva postupně odhrnována, což je sice efektivní, ale nákladné – tedy nereálné.



Obr. 65 A) Projev mineralizace při pulzním vypouštění a B) úplné vypláchnutí sedimentu

Vyhodnocena byla jak samotná efektivita procesu, tak náročnost a složitost celého postupu, která má vliv zejména na ekonomickou návratnost. Srovnáním dostupnosti filtračního materiálu nového a regenerovaného jsme vyhodnotili, že obě metody (přirozená i umělá) regenerace vystavením do

jakkoli silné vrstvy, je ekonomicky nerentabilní. Z tohoto důvodu bylo v navazujícím období a ve všech souvisejících činnostech od tohoto postupu upuštěno. Příkladem může být obec Lutopecny, která měla pro účely rozprostření filtračního materiálu vybudovanou betonovou plochu. Při provozování čistírny byla tato plocha nevyužita a materiál byl vyvážen na skládku. Na žádné námi sledované čistírně nebyla tato metoda uplatněna.

Na druhou stranu, i přes ekonomickou nevýhodnost práce se zakolmatovaným materiálem přinesla zkušenosti, které se ukázaly naopak ekonomicky nejvýhodnější. Jak bylo výše uvedeno – pokud je zakolmatování filtračního materiálu při vystavení nad hladinu odpadní vody odvodněn a bezprostředně poté mineralizován, potom se nabízí snížení hladiny odpadní vody v horizontálním filtru jako jedno z možných řešení. O problematice snižování hladiny pojednává navazující podkapitola. Výsledkem je tedy úprava koncepce horizontálního filtru, přičemž se bez jakékoli manipulace se zakolmatovaným filtračním materiálem docílí zvýšení propustnosti – tedy vyřešení největšího problému spojeného s kolmatací.

6.8.4 *Přechod na pulzní vypouštění*

Pokud odpadní voda přitéká na silně zakolmatovaný filtr, je logické, že neprotéká filtračním materiálem. V praxi je při pozorování in-situ patrný povrchový tok odpadní vody směrem k odtokovému profilu. Současně podpovrchová vrstva (hlouběji než 20 cm) není zanesená, resp. je nevyužitá, póry vyplňuje stagnující odpadní voda. Ke zvýšení účinnosti takového filtru může pomoci využití většího objemu filtrační náplně, což znamená přesun stagnující odpadní vody do odtokového potrubí a následná náhrada původní stagnující vody protékající odpadní vodou. V případě, že se filtrační pole zcela vypustí snížením přelivné hrany v revizní šachtě za filtrem, je vyplněna podpovrchová vrstva vzduchem, tedy dochází k prokysličení přítomného anaerobního biofilmu. Zároveň je povrchový sediment (kal, ucpávající filtrační materiál) odvodněn, rozpraská za vzniku vzdušných kapilár, čímž se zvyšuje jeho pórovitost. Paralelně dochází k prokysličení tohoto organického substrátu a částečné mineralizaci povrchové vrstvy.

Prosté snížení hladiny odpadní vody ve filtru sice zajistí zvýšení propustnosti filtračního materiálu, ale zároveň dochází ke zmenšení objemu filtračního materiálu – povrchová odvodněná vrstva není zahrnuta do čistícího procesu. Proto postupně docházíme k závěru, že ještě výhodnějším přístupem bude postupné kolísání hladiny vody ve filtru, čímž dojde k využití veškerého objemu filtračního materiálu a zároveň k vyššímu provzdušnění odvodňované vrstvy. Důkaz lepšího vnosu kyslíku do odpadní vody spočívá ve vyšší účinnosti v odstraňování znečištění, které vyžaduje pro rozklad kyslík – CHSK_{Cr} a N-NH_4^+ . Podrobné výsledky přináší práce (Pobořil, J., 2012), případně závěry v kapitole 6.8.4.

Pokud se po vypuštění filtru následně opět zvýší odtoková přelivná hrana, dojde v závislosti na intenzitě přítoku k vyplnění celého využitelného prostoru filtračního materiálu. Stagnující odpadní voda je vypuštěna, naopak je stávající materiál prokysličen a využit v plném jeho objemu, což má za následek zvýšení čistící účinnosti. Při opakování popsaného cyklu „vypuštění a napuštění“ nastává změna režimu provozování filtru, jedná se o nově popsané hydraulické řešení – pulzně vypouštěný horizontální filtr. Postupně se mění kyslíkové poměry ve filtru (z anaerobního prostředí se stává anoxické), voda dosahuje delší doby zdržení (musí vyplnit všechny vzdušné póry), uvolňují se povrchové ucpané vrstvy (mineralizací se z kalu stává substrát vizuálně podobný kompostovému substrátu). Nejdůležitější změnou je očekávané zvýšení čistící účinnosti v parametrech, které vyžadují pro odstranění (rozklad) vzdušný kyslík, tj. BSK_5 , CHSK_{Cr} , N-NH_4^+ . Provozně se mění původně téměř vyrovnaný průtok filtrem na nárazový, tedy pulzní odtok. Odpadní voda se z filtru vypouští automaticky v okamžiku dosažení maximální úrovně hladiny ve filtračním poli. Odtok přitom probíhá

až do okamžiku dosažení minimální úrovně hladiny, při které je odtok automaticky uzavřen. Proces vypuštění je přitom velice intenzivní (např. $Q =$ až $30 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$), proces napouštění je naopak pozvolný – závislý na velikosti filtru, pórovitosti a přítoku. Přechod na takový typ uspořádání vychází po ekonomické stránce výhodněji než předchozí varianta odtěžování materiálu. Nutné je pouze osazení zařízení pro pulzní vypouštění (např. podle kap. 5.2 nebo 5.4).

Pulzní vypouštění horizontálních filtrů bylo srovnáváno s metodami:

- Mechanické odtěžení – odvoz zakolmatovaného materiálu na skládku (nákladné)
- Regenerace rozprostřením – popsáno výše a podrobně v práci (Pobořil, J., 2012) – neefektivní, složité
- Odsávání sacím zařízením – vyrobeno speciální zařízení, zabraňující kontaktu sacího stroje s kalem (Obr. 66A). Neúčinné, pomalé, náročné.
- Aerace filtračního prostředí – velice zdlouhavé, bez efektu, nákladné (obsluha).
- Odčerpávání kalů z povrchu filtru (Obr. 66B) – ucpávání čerpadla, poškozování čerpadla štěrskem, tudíž provozně drahé

Stěžejní výzkumné aktivity, související se zvýšením propustnosti zakolmatovaného filtračního materiálu, probíhaly v období 2012–2013 na čistírně odpadních vod v obci Dražovice. Využito bylo zejména dvou výzkumných projektů: projekt MPO (ozn. TIP FR-TI3/778) a projektu TAČR (ozn. TA02021032).



Obr. 66 A) Odsávání kalů podtlakovým zařízením, B) Odčerpání kalů kalovým čerpadlem

Metoda pulzního vypouštění horizontálních filtrů, řešená doplněním vyvinutého pulzního zařízení, viz kap. 5.2) je vybrána jako nejefektivnější způsob úpravy režimu, kombinující současně několik výhod:

- Nahrazuje vytěžování filtračního materiálu – ekonomicky výhodnější
- Zvyšuje účinnost stávajícího filtru – provozně příznivější výsledky
- Eliminuje senzorické problémy čistírny – potlačuje zápach v bezprostředním okolí
- Eliminuje problémy s výskytem komárů – z povrchu filtru mizí hladina odpadní vody



Obr. 67 Kolmatovaný a mineralizovaný substrát v horizontálním filtru

6.9 KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ „REED-BED“

Název technologie vychází z anglické literatury. Jedná se o obdobné řešení jako kalová pole, nutné je provedení systému hydraulicky odděleného od podloží. Zvýšená účinnost systémů je dána přítomností mokřadních rostlin (rákos obecný, chrastice rákosovitá). Mokřadní rostliny se ponechávají na povrchu, čímž zajišťují lepší podmínky pro mineralizaci kalu – vzdušnější prostředí.

Problematika kalového hospodářství vyvstala na povrch, jelikož se na námi sledovaných objektech ukázalo, že likvidace anaerobně stabilizovaného kalu se jeví po provozní stránce kořenových i přírodních čistíren jako jedna z hlavních položek. Motivace k vyřešení přirozeného odvodňování, resp. zpracování odpadního kalu a vytvoření produktu na bázi kompostového substrátu, je tedy zřetelná. Hlavním důvodem k řešení vlastního kalového hospodářství je provozní úspora, resp. nižší stočné, na přírodních čistírnách odpadních vod.

Na základě výsledků z měření na výzkumném pozemku Žižkova (Křiška a Šálek, 2012; Křiška a kol., 2013) jsme práce rozšířili na poloprovozní měření v prostředí obecní čistírny odpadních vod. Výzkumné práce, podrobně popsané v diplomové práci (Mrvová, 2014), probíhaly paralelně na dvou čistírnách odpadních vod – ČOV Dražovice a ČOV Kotenčice, přičemž v rámci objektu na ČOV Dražovice jsme vytvořili výsledek typu poloprovoz (Křiška-Dunajský, M.; Němcová, M.: Kalové pole se skleníkem; Reed-bed se skleníkovým přístřeškem a drenážním systémem. ČOV Dražovice. Poloprovoz).

Postup vlastních prací je rozdělen na teoretické stanovení evapotranspirace, resp. definování metodiky měření na základě teoretických předpokladů, na které navazuje měření na poloprovozních konfiguracích. Stěžejní úkol se zabývá definicí bilanční hydrologické rovnice odvodňování kalů pomocí mokřadní vegetace, přičemž vyšetřovaným výsledkem je hodnota evapotranspirace kalových polí v různých technologických konfiguracích.



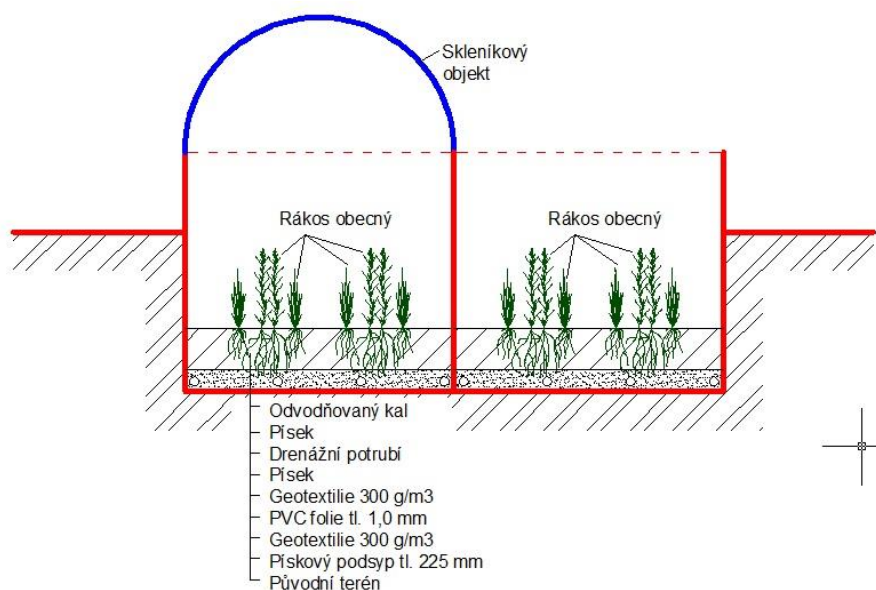
Obr. 68 Kalová pole v Dražovicích – A) se skleníkovým přístřeškem, B) bez přístřešku

Výsledky evapotranspirace v Dražovicích u kalového pole se skleníkem se pohybují v až v hodnotách $1700 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$, u kalového pole bez přístřešku $1520 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$. Na čistírně v Kotenčicích se hodnoty roční evapotranspirace pohybují u kalového pole bez vegetace v oblasti $710 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$, u chřastice rákosovité je hodnota $975 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$, u jednoletého rákosu obecného $420 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$ a u orobince širokolistého $595 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$. Všechny hodnoty jsou poměrně nízké, což je dáno stářím vegetace – rostliny byly vysázeny v předchozí vegetační sezoně.

Bilanční hydrologická rovnice kalového pole s mokřadní vegetací, drenážním systémem, současně bez přístřešku, je zobrazena níže. Rovnice zahrnuje všechny nezanedbatelné parametry ovlivňující celkovou bilanci systému.

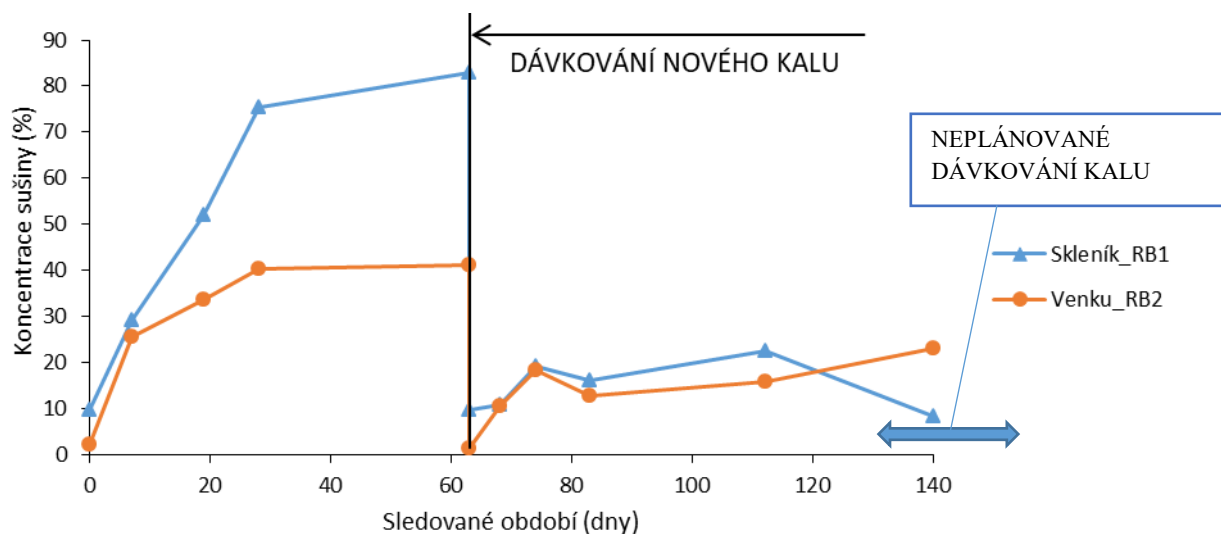
$$W = \frac{\left(\frac{w_1}{100} \cdot H\right) + \left(\frac{100 - S_k}{100}\right) \cdot H_k - \frac{V_d}{A_{kp}} + \frac{H_d}{1000} - \frac{E_p}{1000}}{(H + H_k)} \quad (12)$$

Kde je: W - vlhkost odvodňovaného kalu (%), w_1 - vlhkost substrátu před aplikací kalu (%), H - hloubka substrátu před aplikací kalu (m), S_k - koncentrace sušiny aplikovaného kalu (%), H_k - výška nového aplikovaného kalu (m), V_d - odtok z drenáže (m^3), A_{kp} - půdorysná plocha kalového pole (m^2), H_d - srážkový úhrn za sledované období (mm), E_p - teoretický výpar za sledované období (mm).



Obr. 69 Schématický řez kalovými poli na ČOV Dražovice

Podle konfigurace lze rovnici upravit na systém bez drenážního odvodnění, s přístřeškem, případně jakoukoli jinou variantní konfigurací. Jako příklad měření je uveden průběh koncentrace sušiny na dvou polích (Obr. 70), přičemž RB1 je kalové pole kryté skleníkovým přístřeškem, RB2 je kalové pole vystavené atmosférickým podmínkám.



Obr. 70 Průběh změn koncentrace sušiny a vlhkosti u systému reed-bed (Dražovice)

Z výše znázorněných grafů lze pozorovat, že na odvodnění kalu v reed-bed systému má lepší vliv kalové pole opatřené skleníkovým objektem. Maximální hodnota koncentrace sušiny během 63 dní dosáhla u kalového pole se skleníkovým objektem hodnotu 83 %, kdežto kalové pole nezastřešené pouze hodnoty 41,2 %. V následujícím období dosáhlo kalové pole se skleníkovým objektem maximální hodnoty 22,4 % a kalové pole bez objektu 22,9 %, nicméně výsledek je velice ovlivněn neohlášenou manipulací a dávkováním nového kalu za účasti správce čistírny bez předchozího upozornění (bez měření množství, odběru vzorků aj.). Jelikož se při neplánovaném dávkování do skleníkového objektu nezaznamenalo množství čerpaného kalu, není možné srovnávat účinnost dvou pozorovaných objektů v tomto období.

Přes příznivější výsledky se ukázalo, že po stránce ekonomické vychází jako výhodnější provedení bez skleníkového přístřešku. Od roku 2012 se i přes snahu v rámci publikační činnosti a osvěty nezadařilo realizovat jiný objekt než námi testovaný. V České republice se jedná tedy o unikátní řešení, které ale zůstalo pouze v poloproduční konfiguraci.

Na základě výsledků měření ale vzniklo několik zajímavých poznatků, které byly překlopeny do revidované ČSN 756402:

1. Kalová voda musí být z kalových polí odvedena drenáží zpět před biologický stupeň čištění.
2. Velikost kalových polí je nutno prokázat výpočtem. Má se zohlednit technické vybavení kalových polí, vlastnosti kalu, klimatické podmínky apod.
3. Vhodné je umístění reed-bed systémů v blízkosti objektu, v němž se kal akumuluje (septik, anaerob-ní separátor, usazovací nádrž). Výškově se doporučuje uspořádat systém tak, aby voda odtékala drenážním potrubím samospádem před akumulací objektu.
4. Plošná velikost reed-bed systémů odpovídá 2-3 EO·m⁻² (podle srážkových úhrnů a jiných meteorologických vlivů), při koncentraci sušiny kalu do 5 %. Hloubka vnitřního prostoru reed-bed systému může dosahovat 2–4 m, vyšší hloubka zajistí delší provozování systému (10–15 let).
5. Dávkování kalu na plochu reed-bed systému by mělo být rovnoměrně rozděleno v roce na 3–4 aplikace, přičemž každá dávka kalu by měla dosahovat výšky 0,3 – 0,4 m. Úroveň kalu po

napuštění musí být min. o 0,2 m nižší, než je výška vzrostlých živých částí mokřadních rostlin. Pouze tak se zajistí přežití přítomných mokřadních rostlin

6. Reed-bed systém je v odvodněných případech možné kryt skleníkovým objektem, čímž dojde ke zvýšení účinnosti eliminací srážkových úhrnů, zvýšením evapotranspirace a prodloužením vegetačního období rostlin. Systém krytý skleníkovým nebo fóliovým objektem umožňuje připojení až 5 EO·m⁻².
7. Reed-bed systém se v posledním roce provozu ponechává bez dalšího dávkování kalu tak, aby byla zajištěna dostatečná stabilizace a mineralizace kalu. Konečným produktem je odvodněný a mineralizovaný substrát, odpovídající svou strukturou kompostovanému materiálu. S tímto materiálem je dále nakládáno v souladu s příslušnými právními předpisy a na základě jeho skutečných kvalitativních vlastností.



Obr. 71 Aplikace kalů na poloprovozní reed-bed kalové hospodářství (ČOV Kotečnice)

7 DISKUZE

Porozumění technologii přírodních způsobů čištění odpadních vod docházelo postupně od roku 2003. V sobě zpracování vlastní diplomové práce byla situace téměř jasná, rozhodně nemluvila ve prospěch kořenových čistíren. Konkurenční technologie, založené na intenzivním přístupu, vykazovaly mnohem kvalitnější odtokové parametry. Současně zastánci těchto technologií stále častěji ukazovali na problémy, spojené s tehdejšími kořenovými čistírnami. Ve své podstatě se jednalo o všechny nedostatky, které se z dnešního pohledu povedlo vcelku úspěšně vyřešit, objasnit a následně napravit, resp. překonat původně stanovený záměr, kterým bylo srovnání se s ostatními čistírenskými technologiemi.

Současně s překlopením zkušeností a poznatků do revidované normy ČSN 756402 v roce 2017 se aspoň v teoretické rovině povedlo zajistit prevenci před opakováním projekčních nedostatků.

V roce 2005 a dále během doktorského studia s názvem „Výzkum vlastností filtračních materiálů pro kořenové čistírny odpadních vod a zemní filtry“ se došlo k závěru, že nemá smysl řešit specifické detaily ve smyslu zaměření se na odstraňování těžkých kovů z odpadní vody prostřednictvím přírodních čistíren, odstraňování farmak a hormonální antikoncepce, odstraňování jiných specifických polutantů apod., když se kořenové čistírny potýkaly s provozními problémy v oblasti základních sledovaných parametrů (sledovaných v jakékoli době platným nařízením vlády).

Největším problémem v první dekádě 20. století byla dle správců vodních toků skutečnost, že kořenové čistírny si velice obtížně dovedly vypořádat se základními sledovanými parametry $CHSK_{Cr}$, BSK_5 , NL , $N-NH_4^+$. Právě poslední jmenovaný parametr byl největším problémem a současně argumentem proti povolování přírodních čistíren. Postupně, až do dnešního dne, jsme postupně prostřednictvím vědeckých týmů, zapojených do převážně aplikovaných výzkumů, dovedli vyřešit nejen zvýšení účinnosti v těchto uvedených parametrech na hodnoty blízké se konkurenčním technologiím, ale dokonce se dosáhlo mnohem lepších výsledků a účinností v parametrech $CHSK_{Cr}$, BSK_5 , NL , $N-NH_4^+$, než jaké jsou dnes zakotveny v nařízení vlády jako nejlepší dostupné techniky. Nad rámec požadovaných účinností jsou dnes navrhovány přírodní čistírny, které jsou schopny odstraňovat i v nejnižší velikostní kategorii kromě $N-NH_4^+$, i např. dusík dusičnanový ($N-NO_3^-$), resp. celkový dusík (N_{celk}). Posledním ze sledovaných parametrů je potom celkový fosfor (P_{celk}), který přírodní čistírny odstraňují prostřednictvím přirozených čistících procesů s poměrně nízkou účinností – výsledky z několika sledovaných čistíren se pohybují v oblasti 50 – 60 %, odtokové koncentrace většinou dosahují hodnot v oblasti 2,0 – 2,5 $mg \cdot l^{-1}$. Historie se opakuje. Byť odstraňování celkového fosforu vyžaduje nařízení vlády pro vypouštění odpadních vod až u velikosti čistíren od 2001 obyvatel a současně je odtoková koncentrace velice benevolentní (3,0 $mg \cdot l^{-1} P_{celk}$ jako průměrná roční hodnota), teoreticky by po přírodní čistírně při procesu povolování ani během provozování neměl nikdo požadovat. Opak je pravdou, celkový fosfor se stává nejsilnějším argumentem proti přírodním čistírnám. Proto je i tento polutant redukován prostřednictvím zařazení jednotky pro dávkování koagulantu na bázi hliníku (testováno a srovnáváno v rámci projektu TAČR: Anaerobní separátor nerozpuštěných látek a nutrientů, TA02021032, řešitel za VUT: Ing. Michal Křiška, Ph.D., r. 2012-2014). Současná situace při prosazování pokročilé technologie přírodních čistíren odpadních vod je tedy taková, že byť jsou čistírny, zahrnující nejnovější poznatky z výzkumu, schopny spolehlivě odstraňovat dle legislativních pravidel požadované, je na tento typ čistírny kladen vyšší nárok ve vyšším počtu parametrů.

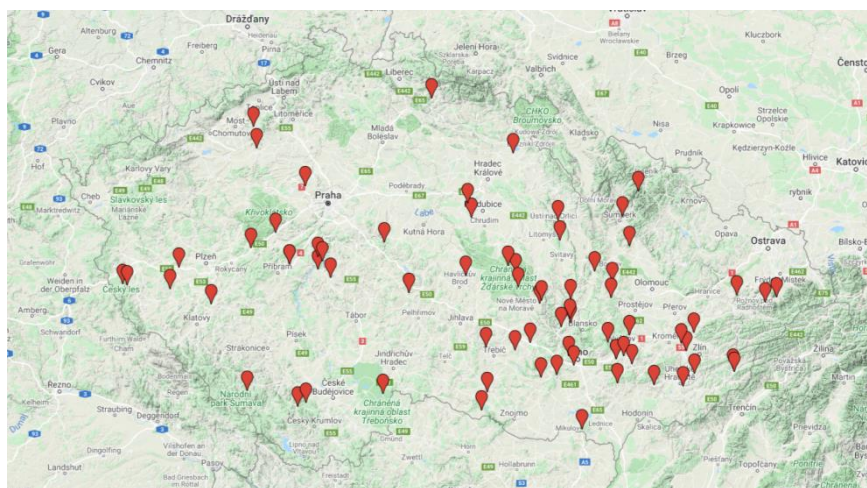
Ve své podstatě jsou v dnešní době (r. 2020) tedy vyřešené všechny základní a dříve uváděné nedostatky. Nad rámec kritiků byla vyřešena také otázka nakládání s kaly, která má zásadní vliv na ekonomiku provozu. Kalové hospodářství včetně odpadního hospodářství je řešeno na základě

principu fungování cirkulární ekonomiky – z odpadu se vytvoří v rámci čistírny produkt, který je možné prodat (ekonomicky využít) a přímo tak zvýšit příjmy čistírny (často zahrnuté pouze v rámci výběru stočného od producentů odpadní vody).

Dnes již lze konstatovat, že přírodní čistírny nejsou zcela zapovězeny, jak se tomu jevílo před prvními výzkumnými úkoly. Současně, na základě:

- objasnění důvodů, vedoucích k provozním problémům,
- modernizace technologie na základě výzkumných výsledků,
- vzniku četného duševního vlastnictví a realizace několika licenčních smluv o využití výsledků,
- prostřednictvím publikační činnosti v obdobných časopisech,
- konzultační činnosti a opakovaného řešení četných problémů v praxi,
- rozšiřování osvěty mezi potenciální investory (starostové menších obcí),
- osvěty mezi odbornou veřejností (přednášky pro veřejnou správu pod záštitou Ministerstva zemědělství),
- mezi studenty oboru Vodní hospodářství a vodní stavby, Městské inženýrství a příležitostně i další (studenti následně pracující v projekci i ve státní správě),
- zahrnutí přírodních způsobů do aktualizované ČSN 756402,
- působení v Asociaci pro vodu ČR, vedení skupiny Malé čistírny a odlučovače,
- a další činnosti související s popularizací přírodní čistírenské technologie,

došlo během předchozích několika let k pozvolné změně pohledu na dříve téměř zavrženou čistírenskou technologii. Přírodní čistírny se jako dobré příklady postupně rozšiřují v praxi, nové výsledky postupně očišťují špatnou pověst a postupně přesvědčují zaryté odpůrce, že při správném návrhu a provozování čistírny může i přírodní čistírna vykazovat velice příznivé výsledky. Dnes lze tedy s vědeckým uspokojením konstatovat, že usilovná činnost postupně přináší úspěšné výsledky. Jedním z důkazů je např. uplatnění (projekce a realizace) užitného vzoru VUT č. 25544 na minimálně 78 lokalitách v rámci České republiky (Obr. 72).



Obr. 72 Využití pulzního systému v rámci ČR (78 realizačních projektů)

Přesto, že odpůrců je samozřejmě stále mnoho, že i nadále budou nejspíše problematické čistírny, vykazující přes veškerou snahu špatné odtokové parametry, přesto lze předpokládat slibnou budoucnost přírodní čistírenské technologie.

Právě kvalitní výsledky ze stále častějších reálných provozů potom povedou k možnosti zapojení pracoviště do dalších vědeckých úkolů. V budoucnu se pozornost zaměří zejména na tato témata:

- vytváření provozních pravidel pro vícestupňové přírodní čistírny na základě přicházejících podnětů z praxe,
- popis vícestupňových přírodních čistíren ve vztahu k látkám jako léky, hormonální antikoncepce, těžké kovy, pesticidy, drogy, apod.
- nové konstrukční uspořádání, nové typy technických řešení, nové užité vzory a patenty

Je téměř neodiskutovatelné, že původní koncept je nahrazen novým řešením, uspořádáním a zapojením nových poznatků a zkušeností. Původní horizontálně protékané filtry, uplatněné jako hlavní stupeň čištění, jsou z pohledu nových výsledků překonané. Vertikální filtry, realizované za téměř stejných investičních nákladů a provozované téměř se stejnou náročností, vykazují mnohem kvalitnější odtokové parametry, proto je jejich zapojení coby hlavního stupně čištění více než jasné. Jak bylo ale uvedeno výše, vertikální filtry vyžadují jiný přístup pro řešení mechanického předčištění. Tudíž zapojení anaerobních separátorů, vykazujících ve srovnání se septiky taktéž výrazně vyšších účinností, je logickým důsledkem pro uplatnění na přírodní čistírně. Podle velikost producenta zůstává potom sestava „usazovací nádrž + horizontální filtr“ jako součást mechanického stupně čištění v kategorii nad 200 připojených nebo ekvivalentních obyvatel.

Kromě nových čistíren odpadních vod je na místě řešení starších a zanedbaných kořenových čistíren, které na první pohled jeví známky poruchového provozu – neplní odtokové parametry, případně se odtokovými koncentracemi přibližují limitním hodnotám. Naše pracoviště řešilo několik studií, souvisejících s rekonstrukcí stávajících filtračních polí, které vykazují známky zakolmatování. Pozornost je potřeba zaměřit u jednotlivých případů na specifické příčiny – od zanedbané údržby, špatného návrhu nebo poddimenzovaného stavu dílčích objektů. Většina problémů s vyplavováním kalů z usazovacích nádrží souvisí se silným a nárazovým hydraulickým přetížením. Téměř ve všech případech byly důvodem ke kolmataci špatně provedené (nebo provozované) odlehčovací komory, které na mechanický stupeň pouští často až 10 x větší průtoky než projektované Q_{max} . Logicky potom následuje při každém intenzivním dešti částečné vyplavení akumulovaného kalu ve šterbinové usazovací nádrži nebo vícekomorovém velkoobjemovém septiku.

Pokud se nezanedbá projekt a současně obsluha, potom je přírodní čistírna schopna odbourat znečištění v takové míře, že emisní parametry budou s přehledem dosaženy i ve velikostní kategorii 2001 – 10 000 EO. Důležité je neopomenout skutečnost, že přírodní čistírna ve své podstatě vykazuje velice podobné výsledky pro velikost 5 nebo 5 000 obyvatel. Dimenzování objektů je přímo úměrné počtu obyvatel, takže u správně navržených přírodních čistíren je jistota kvalitních výsledků závislá pouze na obsluze, resp. dodržování provozního řádu. Podstatný problém, resp. nedostatek pokročilé technologie přírodních ČOV je pouze plošná náročnost. Při ideální konfiguraci vychází průměrná velikost oploceného areálu obecní ČOV přibližně $9-10 \text{ m}^2 \cdot \text{EO}^{-1}$, tzn. pro obec o velikost 5 000 EO je za potřeby 20 000 – 25 000 m^2 .

Obecným pravidlem pro optimální a udržitelné provozování přírodní čistírny je dostatečný sklon terénu. Není možné stanovit jako sklon terénu jedno číslo, které bude platit pro všechny situace a případy, protože je potřeba počítat s různými velikostmi objektů, ochrannými pásmy, různými koncepcemi využití jednotlivých stupňů, se vzrostlými stromy a jiným vegetačním doprovodem, variabilním a individuálním půdorysným uspořádáním, propojením, atd.

Přírodní čistírna odpadních vod je stavbou, k níž je potřeba přistupovat individuálně a stejně tak ji navrhovat a posuzovat. Dodržování návrhových pravidel, která byla překlomena do revidované normy ČSN 756402, je prvním předpokladem k dlouhodobě udržitelné čistírně. Druhým předpokladem, jak

bylo uvedeno výše, je správný přístup k provozu čistírny. Tato činnost je dána zejména včasným odkalováním akumulčního prostoru v usazovací nádrž / septiku / anaerobním separátoru. V rámci poloprovozních objektů byla ověřena funkčnost přirozeného odvodňování a kompostování vyprodukovaných čistírenských kalů. Snadný provoz a minimální ekonomická zátěž jsou cestou, jak dosáhnout zároveň nízkých provozních nákladů – tudíž hlavní motivace ze strany provozovatelů a majitelů.

8 ZÁVĚR

S drobnou nadsázkou lze konstatovat, že kořenové čistírny odpadních vod mají za sebou životní etapu, na jejímž konci dnes stojí dva tábory vodohospodářských odborníků. Na jedné straně jsou to správci toků a orgány životního prostředí, kteří si zakládají na svých provozních zkušenostech a jsou přesvědčeni o neúčinnosti kořenových čistíren. Na druhé straně ekologičtí nadšenci a zastánci z řad projektantů, snažící se prosadit přírodní čistírny vždy a ve všech situacích. Obě skupiny si spolu permanentně mění názor, což dělá z problematiky téměř kontroverzní téma. Často, přes snahu zahrnout do projektových dokumentací nejnovější poznatky a výsledky VUT v Brně, naráží projektanti na bariéru, kterou nejsou ochotni překonávat, a tudíž se vydávají jinou cestou.

První aplikované výsledky, které přicházely v letech 2011 a dále, se soustředily na objasnění problémů a rozklíčování příčin, proč jsou v České republice s kořenovými čistírnami nekončící komplikace. Problémy byly odhaleny a vyřešeny, ověřeny v rámci poloprovozních a následně provozních objektů během několika zimních období na několika obecních i domovních přírodních čistírnách odpadních vod. Potvrzuje se, že třicetileté zahraniční zkušenosti zejména z Rakouské strany lze s úpravami implementovat i v podmínkách České republiky. Povedlo se překonat stanovené cíle – přírodní čistírny jako vícestupňové sestavy se přes odpor četných státních institucí vykazují nejen hluboce podlimitní odtokové koncentrace, ale hodnoty účinností překonávají dnes „nejlepší dostupnou techniku“ ve všech sledovaných parametrech podle nařízení vlády pro vypouštění odpadních vod. Budoucí vytyčené cíle jsou poměrně jasné – přírodní technologie budou usilovat o zahrnutí mezi nejlepší dostupné techniky v nařízení vlády. Důležitou metou bude překonání procentuálního zastupení mezi technologickou konkurencí a samozřejmě zastoupení v realizacích v co možná největším počtu.

Aby samotná technologie ale nestagnovala, v rámci pracovního kolektivu s několika doktorandy jsou dnes řešena témata, která postupně budou vylepšovat a inovovat již tak kvalitní řešení. Plánuje se širší uplatnění výsledků prostřednictvím firmy propojené s VUT – tzv. spin-off VUT v Brně, která v rámci licenčních smluv bude v budoucnu rozšiřovat užité vzory a prototypy vzniklé na VUT v Brně do praxe a projektových dokumentací. Při širším upatnění na trhu budou vznikat ve spolupráci s provozovateli jednotlivých čistíren nové výsledky, budou přicházet nové zkušenosti a poznatky, které bude možné publikovat nejen na odborných workshopech, ale zejména v rámci článků ve významných časopisech.

Je evidentní, že oblast přírodního způsobu čištění odpadní vody zažila v poslední dekádě silný progres. V současné době dochází k postupnému prosazování zjištěných poznatků zejména prostřednictvím projekční činnosti. Paralelně probíhá spolupráce s obcemi a provozovateli přírodních čistíren s cílem získání široké základny provozních poznatků. Nové provozní objekty prochází kontinuálním vývojem, přičemž se ukazují jako pravdivé závěry plynoucí z teoretických a poloprovozních zkušeností.

Lze očekávat, že do budoucna se bude postupně měnit názor i zarytých skeptiků. Pokud budou ověřeny teoretické předpoklady v souvislosti s parametry N_{celk} a P_{celk} , pokud se ověří funkčnost nových technologických uspořádání filtrů a nových filtračních materiálů, potom nebrání téměř nic jejich širokému rozšíření – obdobně jako v Německu, Rakousku, Francii a dalších státech rozvinutých států. Teprve potom přijde na řadu sledování účinností v odstraňování specifických polutantů jako farmaka, mikroplasty, pesticidy, apod.

Technologii čeká bezpochyby slibná budoucnost. Kombinací investičních nákladů, provozní náročnosti, ekologické zátěže, životnosti a udržitelnosti, společně s pozitivním ovlivněním mikroklima, zadržováním vody v krajině a dalších benefitech, vychází objektivně tato technologie minimálně pro velikostní kategorii do 500 EO jako nejlepší dostupná technika. Stejně tak je evidentní, že v posledních letech se pohled na přírodní čistírny postupně mění k lepšímu, a že i na základě výsledků získaných z vědeckých prací na Ústavu vodního hospodářství krajiny budou přírodní čistírny v budoucnu uznávanou a konkurenceschopnou technologií pro čištění odpadních vod.

9 POUŽITÁ LITERATURA

1. Al-Jamal, W., Mahmoud, N., February 2009. Community onsite treatment of cold strong sewage in a UASB-septic tank. *Bioresource Technology* 100 (3), str. 1061-1068.
2. Arias, C. A., Brix, H., Marti, E., 2005. Recycling of treated effluents enhances removal of total nitrogen in vertical flow constructed wetlands. *J. Environ. Sci. Health* 40, 1431–1443.
3. Beal, C. D., Gardner, E. A., Kirchof, G., Menzies, N. W., July 2006. Long-term flow rates and biomat zone hydrology in soil columns receiving septic tank effluent. *Water Research* 40 (12), str. 2327-2338.
4. Bílková, Z., Hrich, K., Křiška Dunajský, M., Schrimpelová, K., Malá, J. Holistický přístup k hodnocení denitrifikačních bioreaktorů. In *Sborník přednášek a posterových sdělení z 12. bienální konference a výstavy VODA 2017*. 2017. s. 215-218. ISBN: 978-80-263-1322-9.
5. Bílková, Z., Hrich, K., Malá, J., Schrimpelová, K., Křiška-Dunajský, M. *Start-Up Phase of Denitrifying Bioreactors Used For Agricultural Runoff Treatment*. International Conference Agriculture for Life, Life for Agriculture, Book of Abstracts, Land Reclamation, Earth Observation and Surveying, Environmental Engineering. Bucharest, Romania: UNIV AGRICULTURAL SCIENCES & VETERINARY MEDICINE BUCHAREST, 59 MARASTI BOULEVARD, DISTRICT 1, BUCHAREST, 011464, ROMANIA, 2018. p. 19-19. ISSN: 2457-3248.
6. Bílková, Z., Hrich, K., Malá, J., Schrimpelová, K., Křiška-Dunajský, M. Start-up phase of denitrifying bioreactors used for agricultural runoff treatment. *SCIENTIFIC PAPERS-SERIES E-LAND RECLAMATION EARTH OBSERVATION & SURVEYING ENVIRONMENTAL ENGINEERING*, 2018, vol. VII, no. 2018, p. 24-31. ISSN: 2285-6064.
7. Billore, S.K., Prashant Sharma, J.K. 2009. Treatment performance of artificial floating reed beds in an experimental mesocosm to improve the water quality of river Kshipra. *Water Sci. Technol.* 60: 2851–2859
8. Blazejewski, R., Murat-Blazejewska, S. 1997.: Soil clogging phenomena in constructed wetlands with subsurface flow. *Water Science Technology* 35, (5), 1997: pp. 183-188
9. Bodík, I., Křiška Dunajský, M., Gemeran, D., Jurík, L., Mackulák, T., Zamkovský, J., Žember, J.: *Analýza podmienok správneho návrhu a aplikácie extenzívnych systémov čistenia odpadových vod vo vybraných obciach okresu Rimavská Sobota*, Cerogema, n.o., 2017., 96 s.
10. Borne, K.E., Fassman, E.A., Tanner, C.C. 2013. Floating treatment wetland retrofit to improve stormwater pond performance for suspended solids, copper and zinc. *Ecological Engineering*, 54 173–182.
11. Bouwman, A.F., Beusen, A.H.W., Billen. G. 2009. Human alteration of the global nitrogen and phosphorus soil balances for the period 1970–2050, *Global Biogeochemical Cycles*, 23: 1–16. DOI:10.1029/2009GB003576.
12. Brix, H., Arias, C. A., 2005. The use of vertical flow constructed wetlands for onsite treatment of domestic wastewater: new Danish guidelines. *Ecol. Eng.* 25, 491–500. Brix, H., 1997.
13. Burešová, H. *Výzkum regenerace filtračního materiálu zemních filtrů a kořenových čistíren odpadních vod*. Brno, 2011. 145 s., 157 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Křiška, Ph.D.
14. Cao, W., Zhang, Y. Removal of nitrogen (N) from hypereutrophic waters by ecological floating beds (EFBs) with various substrates. *Ecological Engineering*, 62: 148-152. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.10.018

15. Cooper, P., 2005. The performance of vertical flow constructed wetland systems with special reference to the significance of oxygen transfer and hydraulic loading rates. *Water Sci. Technol.* 51 (9), 81–90.
16. ČSN 75 6402, 2017. *Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
17. ČSN EN 12566-1 (ČSN 756404): Malé čistírny odpadních vod do 50 ekvivalentních obyvatel – Část 1: Prefabrikované septiky.
18. Faulwetter, J.L., Burr, M.D., Cunningham, A.B., Stewart, F.M., Camper, A.K., Stein, O.R. 2011. Floating treatment wetlands for domestic wastewater treatment. *Water Science Technology*, 64: 2089–2095. DOI: 10.2166/wst.2011.576.
19. Foladori, P., Bruni, L., Tamburini, S. Bacteria viability and decay in water and soil of vertical subsurface flow constructed wetlands, *Ecological Engineering*, Volume 82, September 2015, Pages 49–56, ISSN 0925-8574.
20. Fu, G., Zhang, J., Chen, W., Chen, Z.: Medium clogging and the dynamics of organic matter accumulation in constructed wetlands, *Ecological Engineering*, Volume 60, November 2013, Pages 393-398, ISSN 0925-8574, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.012>.
21. Gerritse, R. G., Adeney, J. A., Hosking, J., September 1995. Nitrogen losses from a domestic septic tank system on the Darling Plateau in Western Australia. *Water Research* 29 (9), str. 2055-2058.
22. Gill, L. W., O'Lunaigh, N., Johnston, P. M., Misstear, B. D. R., O'Suilleabhain, C., June 2009. Nutrient loading on subsoils from on-site wastewater effluent, comparing septic tank and secondary treatment systems. *Water Research* 43 (10), str. 2739-2749.
23. Harrison, M., Stanwyck, E., Beckingham, B., Starry, O., Hanlon, B., Newcomer, J., July 2012. Smart growth and the septic tank: Wastewater treatment and growth management in the Baltimore region. *Land Use Policy* 29 (3), str. 483-492.
24. Headley, T. R., Tanner, C.C. 2008. *Application of floating wetlands for enhanced stormwater treatment: A review*. New Zealand: Auckland Regional Council Technical Publication. 93 p.
25. Headley, T.R., Tanner, C.C. 2012. Constructed wetlands with floating emergent macrophytes: an innovative stormwater treatment technology. *Critical Reviews. Environmental Science and Technology*, 42: 2261–2310. DOI:10.1080/10643389.2011. 574108
26. Herman, M.: *Rekonstrukce odlehčovací komory pro kořenovou čistírnu odpadních vod*. Brno, 2012. 95 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Kriška, Ph.D.
27. Hlavínek, P. Stokování a čištění odpadních vod. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, 253 s. ISBN 80-214-2535-0.
28. Hnátková, T., Vymazal, J., Kriška-Dunajský M. Reconstruction of a constructed wetland with horizontal subsurface flow after 18 years of operation. *Water Science and Technology*. 2014. 68(5). p. 1195 - 1201. ISSN 0273-1223.
29. Hnátková, T., Vymazal, J., Kriška-Dunajský, M. Reconstruction of a constructed wetland with horizontal subsurface flow after 18 years of operation. *Water Science and Technology*, 2014, vol. 68, no. 5, p. 1195-1202. ISSN: 0273-1223.
30. Hradilová, I.: *Modelování hydraulické účinnosti vícekomorových septiků*. Brno, 2015. 92 stran, 33 stran příl., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Kriška, Ph.D.
31. Hrich, K., Schrimpelová, K., Malá, J., Bílková, Z., Kriška-Dunajský, M. Návrh in situ denitrifikačního bioreaktoru. In *Odpadové vody 2018 Zborník posterov 10. bienálnej konferencie s medzinárodnou účasťou*. Bratislava: Asociácia čistiarenských expertov Slovenskej republiky, 2018. s. 93-98. ISBN: 978-80-973196-0-1.

32. Huang, J., Xu, Ch., RIDoutt, B.G., Wang, X., ren, P. 2017. Nitrogen and phosphorus losses and eutrophication potential associated with fertilizer application to cropland in China. *Journal of Cleaner Production*, 171-179. DOI:10.1016/j.jclepro. 2017.05.008
33. Hubbard, R.K., Anderson, W.F., Newton, G.L., Ruter, J.M., Wilson, J.P. 2011. Plant growth and elemental uptake by floating vegetation on a single-stage swine wastewater lagoon. *Transactions of the ASAE I*, 54: 837–845. DOI:10.13031/2013.37108
34. Hubbard, R.K., Gascho, G.J., Newton, G.L. 2004. Use of floating vegetation to remove nutrients from swine lagoon wastewater. *Transactions of the ASAE*. 47: 1963–1972.
35. Hyánková, E.: Vlastnosti filtračního prostředí pro přírodní způsoby čištění odpadních vod (2005), ÚVHK FAST VUT, Brno, 150 s. Disertační práce.
36. Chaloupka, O.: *Výzkum technologie víceúrovňového filtračního systému kořenové čistírny*. Brno, 2019. 110 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Křiška, Ph.D.
37. Chen, C., Zhang, R., Wang, L., Wu, W., Chen, Y. 2013. Removal of nitrogen from wastewater with perennial ryegrass/artificial aquatic mats biofilm combined system. *Journal of Environmental Science*, 25: 670–676. DOI:10.1016/S1001-0742(12)60099-0
38. Jaime, N. Knowles, P., Dotro, G., García, J., Wallace, S.: Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: Measurement, modeling and management, *WaterResearch*, Volume 46, Issue 6, 15 April 2012, Pages 1625-1640, ISSN 0043-1354, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.051>.
39. Jelínková, V., Plotěný, K.: Čištění odpadních vod za septikem a netradiční domovní čistírna odpadních vod, 11. Bienální konference CzWA VODA 2015, Poděbrady, 2015, s. 143–150, ISBN 978-80-263-0971-0.
40. Kadlec, R. H., Knight, R. L., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P., Haberl, R., 2000. Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation, IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control, Scientific and Technical Report 8. IWA Publishing, London, UK.
41. Kadlec, R. H., Wallace, D. S.: *Treatment wetlands*. 2nd ed. Boca Raton: Taylor, c2009, 1016 s., [4] s. ISBN 978-1-56670-526-4.
42. Kato, Y., Takemon, Y., Hori, M. 2009. Invertebrate assemblages in relation to habi- tat types on a floating mat in Mizorogaike Pond, Kyoto. Japan. *Limnology*, 10: 167–176. DOI: 10.1007/s10201-009-0274-8
43. Keizer-Vlek, H. E., Verdonschot, P. F. M., Verdonschot, R. C. M., Dekkers, D. 2014. The contribution of plant uptake to nutrient removal by floating treatment wetlands, *Ecol. Engineering*, 73: 684–690. DOI:10.1016/j.ecoleng.2014.09.081
44. Knowles, P., Dotro, G., Nivala, J., García, J., Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: occurrence and contributing factors. *Ecol. Eng.* 37, p. 99–112, 2011.
45. Knowles, P., Griffin, P., Davies, P.A., Complementary methods to investigate the development of clogging within a horizontal sub-surface flow tertiary treatment wetland. *Water Research*, 44, p. 320–330, 2010.
46. Kohut, R.: *Technologie plovoucích ostrovů pro čištění odpadních vod*. Brno, 2015. 94 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Křiška, Ph.D.
47. Konečná, J., Karásek, P., Fučík, P., Podhrázská, J., Pochop, M., Ryšavý, S., Hanák, r. 2017. Integration of soil and water conservation measures in an intensively cultivated watershed – a case study of Jihlava river basin (Czech Republic). *European Countryside*, 1: 17-28. DOI: 10.1515/euco-2017-0002

48. Křiška Dunajský, M., Malá, J., Králová, H., Hrich, K., Němcová, M., Schrimpelová, K., Hnátková, T. Nové technologie pro odstranění dusičnanů ze zemědělských smyvů. SOVAK, 2015, roč. 2015, č. 12, s. 12-16. ISSN: 1210-3039.
49. Křiška Dunajský, M., Němcová Pumprlová, M. Possibilities of improve the environmental performance of small water reservoirs on surface water quality in agricultural landscapes. *European Countryside*, 2018, Volume 66, p.77-87, ISSN: 1803-8417, <https://doi.org/10.11118/actaun201866010077>
50. Křiška Dunajský, M., Němcová Pumprlová, M., Kořenové čistírny - rekapitulace a budoucnost v České republice. *Vodní hospodářství*, 2016, č. 2, s. 14-20. ISSN: 1211-0760.
51. Křiška Dunajský, M., Pumprlová Němcová, M., Malá, J., Hrich, K. Numerical prediction of nitrates concentrations using natural treatment for agricultural water. In *10th International Workshop on Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetland*. Třeboň: ENKI, o.p.s, Třeboň, 2017. p. 49-51. ISBN: 978-80-905483-3-6.
52. Křiška, M., Hyánková, E.: Vliv umístění rozrážecí stěny v komoře septiku na odtokové parametry, in. *ČOV pro objekty v horách, Dolní Morava*, 2013, ISBN 978-80-214-4746-2, str. 89-100.
53. Křiška, M., Němcová, M., Hyánková, E. The Influence of Ammonia on Groundwater Quality during Wastewater Irrigation, *Soil and Water Research*, Volume: 13,161-169p., DOI: 10.17221/124/2017-SWR. 2018
54. Křiška-Dunajský, M., Fialová, T., Pobořil, J. Bilance přestupu kyslíku ve skrápěném filtračním prostředí zemních filtrů. In *Voda 2013, Sborník přednášek a posterových sdělení*. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2013. s. 461-464. ISBN: 978-80-263-0506-4.
55. Křiška-Dunajský, M., Malá, J., Králová, H., Hrich, K., Němcová, M., Schrimpelová, K., Hnátková, T. Nové technologie pro odstranění dusičnanů ze zemědělských smyvů. SOVAK, 2015, roč. 2015, č. 12, s. 12-16. ISSN: 1210-3039.
56. Křiška-Dunajský, M., Mrkývka, M., Pumprlová Němcová, M., Chaloupka, O. Testing of floating island technology capabilities in the Czech Republic. In *16th IWA International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Conference Proceedings*. Universitat Politècnica de València, Valencia, Spain: The International Water Association, 2018. p. 532-535. ISBN: 978-84-17098-53-7.
57. Křiška-Dunajský, M., Němcová, M., Malá, J., Hrich, K., Olejníčková, Z. Extensive technology used for the nitrates removal from agricultural runoffs in Czech Republic. In *SGEM Conference Proceedings. International multidisciplinary geoconference SGEM. Ecology, Economics, Education and Legislation*. 51 Alexander Malinov Blvd., 1712, Sofia, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd., 2016. p. 373-380. ISBN: 978-619-7105-66-7. ISSN: 1314-2704.
58. Křiška-Dunajský, M., Pumprlová Němcová, M., Hyánková, E. The Influence of Ammonia on Groundwater Quality during Wastewater Irrigation. *Soil and Water Research*, 2018, vol. 13, no. 3, p. 161-169. ISSN: 1801-5395.
59. Křiška-Dunajský, M., Pumprlová Němcová, M., Konečná, J., Karásek, P., Podhrázká, J. Possibilities of Small Water Reservoir Impact Improvement on Surface Water Quality in Agricultural Landscape. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2018, vol. 66, no. 1, p. 77-87. ISSN: 1211-8516.
60. Křiška-Dunajský, M., Pumprlová Němcová, M., Malá, J., Hrich, K. Numerical prediction of nitrates concentrations using natural treatment for agricultural water. In *10th International Workshop on Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetland*. Třeboň: ENKI, o.p.s, Třeboň, 2017. p. 49-51. ISBN: 978-80-905483-3-6.
61. Křiška-Dunajský, M., Pumprlová Němcová, M., Malá, J., Hrich, K. The filter materials for denitrification barriers. In *16th IWA International Conference on Wetland Systems for Water*

- Pollution Control. Conference Proceedings.* Universitat Politecnica de Valencia, Valencia, Spain: The International Water Association, 2018. p. 656-656. ISBN: 978-84-17098-53-7.
62. Křiška-Dunajský, M., Šálek, J. Problematika kalového hospodářství kořenových čistíren odpadních vod. In Kouty nad Desnou: CEMS, 2012.
 63. Křiška-Dunajský, M., Šálek, J., Pištěková, M. Výzkum vhodných filtračních materiálů pro půdní filtry a vegetační kořenové čistírny. *Acta Environmentalica Universitatis Comenianae*, 2012, roč. 20, č. 1, s. 68-73. ISSN: 1335-0285.
 64. Křiška-Dunajský, M., Šálek, J., Šálek, J. Využití vegetace k odvodnění kalů. *Acta Environmentalica Universitatis Comenianae*, 2012, roč. 20, č. 1, s. 38-43. ISSN: 1335-0285.
 65. Langergraber, G., Haberl, R., Laber, J., Pressi, A., 2003. Evaluation of substrate clogging processes in vertical flow constructed wetlands. *Water Sci. Technol.* 48 (5), 25–34.
 66. Langergraber, G., Weissenbacher, N. (2017): Survey on number and size distribution of TWs in Austria. *Water Sci Technol* 75(10), 2309-2315.
 67. Liu, H., Hu, Z., Zhang, J., Ji, M., Zhuang, L., Nie, L., Liu, Z.: Effects of solids accumulation and plant root on water flow characteristics in horizontal subsurface flow constructed wetland, *Ecological Engineering*, Volume 120, 2018, Pages 481-486, ISSN 0925-8574.
 68. Loudon, T. 2005. *Will Additives Help My Septic Tank?* Michigan State University, Biosystems and Agricultural Engineering. Department Newsletter, March-April 2005.
 69. Luederitz, V., Ecker, E., Lange-Weber, M., Lange, A., Gersber, R. M., 2001. Nutrient removal efficiency and resource economics of vertical flow and horizontal flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, Volume 18, 157–171.
 70. Luostarinen, S., Rintala, J., July 2007. Anaerobic on-site treatment of kitchen waste in combination with black water in UASB-septic tank at low temperatures. *Bioresource Technology* 98 (9), str. 1734-1740.
 71. Luostarinen, S., Sanders, W., Kujawa-Roeleveld, K., Zeeman, G., March 2007. Effect of temperature on anaerobic treatment of black water in UASB-septic tank systems. *Bioresource Technology* 98, str. 980-986.
 72. Malá, J., Bílková, Z., Hrich, K., Schrimpelová, K., Křiška Dunajský, M., Šereš, M. Sustainability of denitrifying bioreactors with various fill media. *Plant, Soil and Environment (PSE)*, 2017, vol. 63, no. 10, p. 442-448. ISSN: 1805-9368.
 73. Malá, J., Křiška Dunajský, M., Hrich, K., Králová, H., Bílková, Z., Schrimpelová, K. Náplně bioreaktorů pro odstranění dusičnanů ze zemědělských smyvů in situ. In *Odpadové vody 2016 Zborník prdnášok 9. bienálnej konferencie s medzinárodnou účasťou*. Bratislava: Asociácia čistiarenských expertov Slovenskej republiky, 2016. s. 67-72. ISBN: 978-80-89882-00-7.
 74. Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. 2015. Global gray water footprint and water pollution levels related to anthropogenic nitrogen loads to fresh water. *Environmental Science and Technology*, 49: 12860–12868. DOI: 10.1021/acs.est.5b03191
 75. Mlejnská, E. a Česko. *Extenzivní způsoby čištění odpadních vod*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 2009. s. ISBN 978-80-85900-92-7. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:70a81e70-6aad-11e4-85f4-5ef3fc9ae867>
 76. Mlejnská, E. Vyhodnocení IN-SITU aplikace bakteriálně-enzymatického preparátu do kolmatovaných kořenových čistíren. In: VTEI: Vodohospodářské technicko-ekonomické informace. Praha: Vodní hospodářství, 2013 [cit. 2014-01-04]. s. 1-3. ISSN 0322-8916. Dostupné z: http://www.vuv.cz/fileadmin/user_upload/pdf/vtei/2013/vtei_5-2013.pdf
 77. Molle, P., Lienard, A., Grasmick, A., Iwema, A., 2006. Effect of reeds and feeding operations on hydraulic behaviour of vertical flow constructed wetlands under hydraulic overloads. *Water Res.* 10, 606–612.

78. Montangero, A., Belevi, H., March 2007. Assessing nutrient flows in septic tanks by eliciting expert judgement: A promising method in the context of developing countries. *Water Research* 41 (5), str. 1052-1064.
79. Moussavi, G., Kazembeigi, F., Farzadkia, M., January 2010. Performance of a pilot scale up-flow septic tank for on-site decentralized treatment of residential wastewater. *Process Safety and Environmental* 88 (1), str. 47-52.
80. Mrkývka, M.: *Technologie umělých plovoucích ostrovů pro zlepšení kvality vody v nádržích*. Brno, 2017. 112 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Křiška, Ph.D.
81. Mrvová, M.: *Odpadové hospodářství na kořenové čistírně odpadních vod*. Brno, 2014. 119 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Křiška, Ph.D.
82. Nakamura, K., Shimatani, Y., Suzuki, O., Oguri, S., Yasumochi, T. 1995. The ecosystem of an artificial vegetated island. Ukishima: *Con. of Lakes-Kasumigaura*.
83. Nařízení vlády 401/2015 Sb. Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.
84. Nařízení vlády 57/2016 Sb., Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních.
85. Němcová, M.: *Modelování biochemických pochodů ve filtračním prostředí kořenových čistíren*. Brno, 2015. 96 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Křiška, Ph.D.
86. Němcová, M., Křiška, M. 2016. Development of constructed treatment wetlands in Czech Republic for five years term. In *SGEM conference proceedings. Ecology, Economics, Education and Legislation*. Sofia : STEF92 Technology Ltd., 225-232. ISBN: 978-619-7105-66-7.
87. Němcová, M., Křiška Dunajský, M. Development of constructed treatment wetlands in Czech Republic for five years term. In *SGEM Conference Proceedings. International multidisciplinary geoconference SGEM. Ecology, Economics, Education and Legislation*. 51 Alexander Malinov Blvd., 1712, Sofia, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd., 2016. p. 225-232. ISBN: 978-619-7105-66-7. ISSN: 1314-2704.
88. Němcová, M., Křiška Dunajský, M. Kořenové čistírny - rekapitulace a budoucnost v České republice. *Vodní hospodářství*, 2016, č. 2, s. 14-20. ISSN: 1211-0760.
89. Nivala, J., Knowles, P., Dotro, G., García, J., Wallace, S.: Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: Measurement, modeling and management, *Water Research*, Volume 46, Issue 6, 2012, Pages 1625-1640, ISSN 0043-1354.
90. Nivala, J.A., Rousseau, D.P.L.: Reversing clogging in subsurface-flow constructed wetlands by hydrogen peroxide treatment: two cases studies. *Water Sci. Technol.* 59 (10), 2037–2046. 2009.
91. ÖNORM B 2505- Kläranlagen – Intermittierend beschickte Bodenfilter („Pflanzenkläranlagen“)
92. Pavlineri, N., Skoulikidis, N., Tsihrintzis V. 2017. Constructed floating wetlands: A review of research, design, operation and management aspects, and data analysis. *Chemical Engineering Journal*, 308: 1120-1132.
93. Pedescoll, A., Corzo, A., Álvarez, E., García, J., Puigagut, J. The effect of primary treatment and flow regime on clogging development in horizontal subsurface flow constructed wetlands: An experiment aevaluation, *Water Research*, Volume 45, Issue 12, June 2011, Pages 3579-3589, ISSN 0043-1354, <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2011.03.049>.
94. Perdomo, S., Bangueses, C., Fuentes, J., 1999. Potential use of aquatic macrophytes to enhance the treatment of septic tank liquids. *Water Science and Technology* 40 (3), str. 225-232.

95. Petitjean, A., Forquet, N., Boutin, C. Oxygen profile and clogging in vertical flow sand filters for on-site wastewater treatment, *Journal of Environmental Management*, Volume 170, 1 April 2016, Pages 15–20, ISSN 0301-4797.
96. Philippi, L. S., Rejane H.R. da Costa, Sezerino, P. H., 1999. Domestic effluent treatment through integrated system of septic tank and root zone. *Water Science and Technology* 40 (3), str. 125-131.
97. Plotěný, K., Vinklárková, D., Křiška, M., Rozkošný, M., Plotěný, M.: Odstraňování amoniaku jinými než biologickými způsoby, in. Čištění odpadních vod v horských oblastech 2014, Sborník přednášek z odborného semináře, Ostravice, 2014, 978-80-214-4993-0, str. 33-41.
98. Pobořil, J.: *Hodnocení vlivu deště na přirozenou regeneraci filtrační náplně*. Brno, 2012. 60 s., 0 s. příloh. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Křiška, Ph.D.
99. Pobořil, J.: *Technologie pro zvýšení propustnosti vod v kořenových ČOV*. Brno, 2013. 87 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Křiška, Ph.D.
100. Polomski, R.F., Taylor, M.D., Bielenberg, D.G., Bridges, W.C., Klaine, S.J., 2009. Nitrogen and Phosphorus Remediation by Three Floating Aquatic Macrophytes in Greenhouse-Based Laboratory-Scale Subsurface Constructed Wetlands. *Water, Air, and Soil Pollution*, 197(1-4): 223-232.
101. Prochaska, C. A., Zouboulis, A. I., Eskridge, K. M., 2007. Performance of pilot-scale vertical-flow constructed wetlands, as affected by season, substrate, hydraulic load and frequency of application of simulated urban sewage, *Ecological Engineering*, Volume 31, Issue 1, 3, Pages 57–66, ISSN 0925-8574.
102. Pumprlová Němcová, M., Křiška Dunajský, M. Performance of vertical flow constructed treatment wetland for 850 PE: reconstruction and first year of operation. In *10th International Workshop on Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetland*. Třeboň: ENKI, o.p.s, Třeboň, 2017. p. 54-56. ISBN: 978-80-905483-3-6.
103. Pumprlová Němcová, M., Křiška Dunajský, M. Performance of vertical flow constructed treatment wetland for 850 PE: reconstruction and first year of operation. In *10th International Workshop on Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetland*. Třeboň: ENKI, o.p.s, Třeboň, 2017. p. 54-56. ISBN: 978-80-905483-3-6.
104. Pumprlová Němcová, M., Křiška Dunajský, M. Possibility of simulation of vertical flow CW using HYDRUS CW2D. In *16th IWA International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Conference Proceedings*. Universitat Politecnica de Valencia, Valencia, Spain: The International Water Association, 2018. p. 631-634. ISBN: 978-84-17098-53-7.
105. Pumprlová Němcová, M., Křiška Dunajský, M., Mrkývka, M. Assessment of treatment efficiency and optimization of operating of vertical flow filter bed on constructed wetland for 850 PE. In *16th IWA International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Conference Proceedings*. Universitat Politecnica de Valencia, Valencia, Spain: The International Water Association, 2018. p. 693-696. ISBN: 978-84-17098-53-7.
106. Ragusa S.R., McNevin D., Qasem S., Mitchell C. (2004) Indicators of biofilm development and activity in constructed wetlands microcosms. *Water Research* 38: 2865–2873.
107. Ran, N., Agami, M., Oron, G. 2004. A pilot study of constructed wetlands using duckweed (*Lemna gibba* L.) for treatment of domestic primary effluent in Israel. *Water Research*, 32(9): 2241-2248.
108. Rangarajan, S., Sample, D.J., Boone, M., Lee, J., Muneer, A., Narayanaswamy, K., Hochstedler, M. 2012. Urban wet-weather flows. *Water Environmental*, 84: 861–970.

109. Rodríguez-Canché, L. G., Cardoso Vigueros, L., Maldonado-Montiel, T., Martínez-Sanmiguel, M., May 2010. Pathogen reduction in septic tank sludge through vermicomposting using *Eisenia fetida*. *Bioresource Technology* 101 (10), str. 3548-3553.
110. Roupec, L.: Studie rekonstrukce kořenové čistírny pro obec Dražovice. Brno, 2017. 51 s., 0 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Křiška, Ph.D.
111. Rowe, K.R., Armstrong, M.D., Cullimore, D.R., 2000. Particle size and clogging of granular media permeated with leachate. *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 126 (9), 775e786.
112. Rozkošný, M., Křiška, M., Šálek, J., Bodík, I., Istenič, D. *Natural Technologies of Wastewater Treatment*. Brno: GWP CEE, 2014.
113. Rozkošný, M., Křiška-Dunajský, M., Šálek, J. Možnosti využití přírodních způsobů čištění odpadních vod a posouzení vlivu předčištění. *Vodní hospodářství*, 2010, roč. 2010, č. 5, s. 116-121. ISSN: 1211- 0760.
114. Rozkošný, M., Křiška-Dunajský, M., Šálek, J., Bodík, I., Istenič, D. *Natural Technologies of Wastewater Treatment*. Brno, GWP CEE. 2014. (138 p.).
115. Sabry, T., February 2010. Evaluation of decentralized treatment of sewage employing Upflow Septic Tank/Baffled Reactor (USBR) in developing countries. *Journal of Hazardous Materials* 174 (1-3), str. 500-505.
116. Samsó, R., García, J., Molle, P., Forquet, N.: Modelling bioclogging in variably saturated porous media and the interactions between surface/subsurface flows: Application to Constructed Wetlands, *Journal of Environmental Management*, Volume 165, 2016, Pages 271-279, ISSN 0301-4797.
117. Shilton, A.N. 2006. *Pond Treatment Technology*. IWA Publishers. 496 p.
118. Shimada, Y., Fukuro, S., Kubota, H. 2007. Improvement of lake water quality and ecosystems through use of composite vegetated floating islands. *Journal of Water and Waste* 49(7): 612 - 618. DOI:10.5897/AJB11.2964
119. Schmidt C.A., Clark, M. W.: Deciphering and modeling the physicochemical drivers of denitrification rates in bioreactors. *Ecol. Eng.* 60, pp. 276–288 (2013).
120. Schöntag, J. M., Pizzolatti, B.S., Jangada, V. H., de Souza, F. H., Sens, M. L. 2015. Water quality produced by polystyrene granules as a media filter on rapid filters. *Journal of Water Process Engineering*, 5: 118-126. DOI:10.1016/j.jwpe.2015.02.001
121. Smith, V.H. 2003. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems: a global problem, *Environmental Science and Pollution Research*, 10: 126–139. DOI: 10.1065/espr2002.12.142
122. Song, X., Ding, Y., Wang, Y., Wang, W., Wang, G., Zhou, B.: Comparative study of nitrogen removal and bio-film clogging for three filter media packing strategies in vertical flow constructed wetlands, *Ecological Engineering*, Volume 74, (january, 2015), Pages 1–7, ISSN 0925-8574.
123. Song, Y.W., Nian, Y.G., Huang, M.S., Nie, Z.D. 2009. Effects of substrates and plants on pollution removal of constructed wetlands. *Journal of Environmental Engineering*, 3(7): 1213-1217. DOI:10.4236/jwarp.2013.512128
124. Sooknah, R.D., Wilkie, A.C. 2004. Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater. *Ecological Engineering* 22: 27–42. DOI:10.1016/j.ecoleng.2004.01.004
125. Stewart, F.M., Mulholland, T., Cunningham, A.B., Kania, B.G., Osterlund, M.T. 2008. Floating islands as an alternative to constructed wetlands for treatment of excess nutrients from

- agricultural and municipal wastes – results of laboratory-scale tests. *Land Contamination and Reclamation*, 16(1): 25-33.
126. Sun, L., Liu, Y., Jin, H. 2009. Nitrogen removal from polluted river by enhanced floating bed grown canna. *Ecological Engineering*, 35, 135–140. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2008.09.016
127. Šálek, J., Malý, J., Čistící procesy ve stabilizačních nádržích využívaných k čištění odpadních vod v krajině, příspěvek na konferenci *Krajina, meliorace a vodní hospodářství na přelomu tisíciletí*, VUT, MZLU, ICID, Brno, 1999
128. Šálek, J., Tlapák, V.: Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. 1. vydání. Praha: Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2006. 283 s. ISBN 80-86769-74-7.
129. Šálek, J., Křiška Dunajský, M. Rizika vypouštění (infiltrace) čištěných odpadních vod do podzemních vod. *Vodní hospodářství*, 2012, roč. 2012, č. 5, s. 159-164. ISSN: 1211-0760.
130. Šereš, M., Mocová, K., Moradi, J., Křiška Dunajský, M., Kočí, V., Hnátková, T. The impact of woodchip-gravel mixture on the efficiency and toxicity of denitrification bioreactors. *Science of the Total Environment*, 2018, no. 647, p. 888-894. ISSN: 0048-9697.
131. Šrámková, D.: *Simulace proudění vody v jímce*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2013. 59 s., příl 48s CD. Vedoucí diplomové práce Ing. Michal Křiška Dunajský, Ph.D.
132. Tanner C.C., Sukias J.P.S., Upsdell M.P. (1998) Organic matter accumulation and maturation of gravel bed constructed wetlands treating dairy farm wastewaters. *Water Research* 32(10): 3046–3054.
133. Tanner, C. C., Headley, T. R. 2011. Components of floating emergent macrophyte treatment wetlands influencing removal of stormwater pollutants. *Ecological Engineering* 37: 474–486. DOI:10.1016/j.ecoleng.2010.12.012
134. Tesařík, 1985 Vodárenství, Praha, SNTL, 1985. Vyd. 1. 487 s
135. Todd, J., Brown, E.J.G., Wells, E. 2003. *Ecological design applied*, Elsevier Ltd. DOI:10.1016/j.ecoleng.2003.08.004
136. Valencia, R., D. den Hamer, Komboi, J., Lubberding, H. J., Gijzen, H. J., February 2009. Alternative treatment for septic tank sludge: Co-digestion with municipal solid waste in bioreactor landfill simulators. *Journal of Environmental Management* 90 (2), str. 940-945.
137. Van de Moortel, A.M.K., Meers, E., De Pauw, N., Tack, F.M.G. 2010. Effects of vegetation, season and temperature on the removal of pollutants in experimental floating treatment wetlands. *Water, Air, and Soil Pollution*, 212(1-4): 281-297.
138. Viraraghavan, T., Dickenson, K., August 1991. Low-temperature anaerobic filtration of septic tank effluent. *Cold Regions Science and Technology* 19 (3), str. 245-252.
139. Vymazal, J. 2007. Removal nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, 380(1-3): 48-65.
140. Vymazal, J. 2010. Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water*, 2010, 2(3), 530-549. DOI:10.3390/w2030530
141. Vymazal, J., 2013. Plants in constructed, restored and created wetlands. *Ecological Engineering*, 61(B): 501-504. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.10.035>.
142. 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.
143. Vymazal, J.: Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách. ENVI Třeboň: 1995, str. 146.

144. Vymazal, J.: The use of subsurface-flow constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic, *Ecological Engineering*, Volume 7, Issue 1, September 1996, Pages 1–14, ISSN 0925-8574.
145. Vymazal, J., Kröpfelová, L.: Multistage hybrid constructed wetland for enhanced removal of nitrogen, (2015), *Ecological Engineering*, 84, pp. 202–208.
146. Vymazal, J., Švehla, J., Kröpfelová, L., Němcová, J., Suchý, V. Heavy metals in sediments from constructed wetlands treating municipal wastewater, *Biogeochemistry*, 2010, Volume 101, Issue 1, pp 335–356.
147. Wang, C., Sample, D.J. 2014. Assessment of the nutrient removal effectiveness of floating treatment wetlands applied to urban retention ponds. *Journal of Environmental Management*, 137: 23-25.
148. Wen, L., Hua, C. L., Ping, Z. Y., Xiang, L. Z.: Removal of Total Phosphorus From Septic Tank Effluent by the Hybrid Constructed Wetland System. *Procedia Environmental Sciences 10 Part C*, str. 2102-2107, r. 2011.
149. Wetzel, R.G. 2001. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. Academic Press. 1006 p.
150. Whelan, B. R., December 1986. Mineral phosphate precipitates from septic-tank effluent, Perth (Australia). *Geoderma 39 (2)*, str. 125-139.
151. Winter K. J., Goetz D. (2003) The impact of sewage composition on the soil clogging phenomena of vertical flow constructed wetlands. *Water Science and Technology 48(5)*: 9–14.
152. Winter, K. J., Goetz, D.: Kolmation in Bewachsenen Bodenfiltern. (2001), 53. *Wasser u. Boden*, č. 3, s. 19-22
153. Withers, P. J. A., Jarvie, H. P., Stoate, C., April 2011. Quantifying the impact of septic tank systems on eutrophication risk in rural headwaters. *Environment International 37 (3)*, str. 644-653.
154. Withers, P. J. A., May, L., Jarvie, H. P., Jordan, P., Doody, D., Foy, R. H., Bechmann, M., Cooksley, S., Dils, R., Deal, N., December 2012. Nutrient emissions to water from septic tank systems in rural catchments: Uncertainties and implications for policy. *Environmental Science & Policy 24*, str. 71-82.
155. Xian, Q., Hu, L., Chen, H. Chang, Z., Zou, H. 2010. Removal of nutrients and veterinary antibiotics from swine wastewater by a constructed macrophyte floating bed system. *Journal of Environmental Management*, 91(12): 2657–266. DOI: 10.1016/j.jenvman. 2010.07.036
156. Yang, Z., Zheng, S., Chen, J., Sun, M. 2008. Purification of nitrate-rich agricultural runoff by a hydroponic system. *Biomass Bioenergy*, 99: 8049–8053. DOI:10.1016/j.biortech.2008.03.040
157. Zaveri, R. M., Flora, J. R.V., November 2002. Laboratory septic tank performance response to electrolytic stimulation. *Water Research 36 (18)*, str. 4513-4524.
158. Zedník, O.: *Studie intenzifikace kořenové čistírny pro obec Machová*. Brno. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. 2018. Vedoucí práce Ing. Michal Křiška, Ph.D.
159. Zedník, O.: *Využití stavebních recyklátů pro čištění odpadních vod*. Brno, 2020. 118 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Křiška, Ph.D.
160. Zhang, C., Liu, W., Pan, X., Guan, M., Liu, S., Ge, Y., Chang, J. 2014. Comparison of effects of plant and biofilm bacterial community parameters on removal performances of pollutants in floating island systems. *Ecological Engineering*, 73: 58-63.
161. Zhao, F., Yang, W., Zeng, Z., Li, H., Yang, X., He, Z., Gu, B., Rafiq, M.T., Peng, H. 2012. Nutrient removal efficiency and biomass production of different bioenergy plants in hypereutrophic water. *Biomass Bioenergy*, 42, 212–218. DOI:10.1016/j.biombioe. 2012.04.003

162. Zhou, X.-H., Wang, G.-X., Yang, F. 2012. Nitrogen removal from eutrophic river waters by using *Rumex acetosa* cultivated in ecological floating beds. *Fresenius Environmental Bulletin*, 21: 1920–1928.

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

10.1 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 A) Schéma horizontálního filtru B) vertikálního filtru s vegetací.....	14
Obr. 2 Projevy kolmatace: povrchové toky a zakolmatovaný filtrační materiál	17
Obr. 3 A) Zakrytá nádrž s česlemi a B) odkrytá nádrž s bezpečnostním filtrem	23
Obr. 4 Schéma horizontálního filtru a B) pohled na horizontální filtr	25
Obr. 5 Eutrofizace stabilizační nádrže za horizontálním filtrem.....	26
Obr. 6 Účinnost odstranění organického znečištění ve stabilizační nádrži (Šálek a Tlapák, 2006).....	27
Obr. 7 A) Zakolmatovaný povrch horizontálního filtru B) porucha nového filtru vlivem ucpání	29
Obr. 8 Podélný schématický řez a půdorysný pohled na odlehčovací komoru	33
Obr. 9 Pohled do odlehčovací komory před ČOV Velká Jesenice.....	34
Obr. 10 Odlehčovací komora: A) ČOV Skašov, B) ČOV Dražovice	35
Obr. 11 Provedení magnetické zpětné klapky v uzavřeném a otevřeném stavu	38
Obr. 12 Schéma uspořádání a detaily provedení vícekomorového septiku.....	42
Obr. 13 Anaerobní separátor na výzkumném pozemku UVHK a v laboratoři VUV	45
Obr. 14 Schéma zařízení pro rázové vypouštění vody.....	48
Obr. 15 Pohled na zařízení bezprostředně A) před a B) po instalaci (funkční vzor, Dražovice)	52
Obr. 16 Schéma aerační šachty s napojením na drenážní potrubí vertikálního filtru.....	55
Obr. 17 Pohled na improvizované řešení testovacího zařízení pro ostrovní aerační systém.....	57
Obr. 18 Schématické znázornění umístění jednotlivých částí vertikálního bioreaktoru	61
Obr. 19 Distribuční nádrž - půdorysné uspořádání a svislý řez vnitřním prostorem.....	66
Obr. 20 Variantní řešení distribuční nádrže v půdorysném pohledu	67
Obr. 21 Nosič prvního typu s kruhovými otvory – půdorys, boční pohled, detail obalení rostliny	72
Obr. 22 Druhý typ nosiče s vypouštěcím zařízením, horní a boční pohled.....	72
Obr. 23 Schématické znázornění půdorysného uspořádání soustavy obou typů nosičů	72
Obr. 24 Plovoucí ostrov - výroba, připojení, schéma a pohled	74
Obr. 25 Řez denitrifikační bariérou.....	76
Obr. 26 Půdorysný pohled na denitrifikační bariéru včetně filtračních vaků.....	77
Obr. 27 Půdorysný pohled na denitrifikační bariéru bez filtračních vaků.....	77
Obr. 28 Poloprovozní zařízení testované na výzkumném pozemku UVHK	79
Obr. 29 Pohled na odlehčovací komoru před a po aplikaci užitého vzoru	81
Obr. 30 Statistické vyhodnocení přítoků na ČOV Dražovice v roce 2018 a 2019.....	82
Obr. 31 Neúspěšný směr v rámci intenzifikace šterbinových usazovacích nádrží.....	84
Obr. 32 Zjednodušená simulace mísení dvou kapalin ve tříkomorovém septiku.....	84
Obr. 33 První verze testovacího septiku před a po úpravách na základě získaných výsledků	86
Obr. 34 Umístění sondy na prostupu přepážkou a v odtokovém profilu.....	86
Obr. 35 Stanovené kvalitativní kategorie podle průběhu konduktivity při testování	87
Obr. 36 Konduktivní metoda - srovnání tří úprav septiku.....	88
Obr. 37 Přívodní potrubí na HF (Hostětín, Dražovice, Cekov).....	90
Obr. 38 Srovnání dvou řešení horizontálních filtrů (ČOV Pavlínov, Cekov)	91
Obr. 39 Horizontální filtr bez vysázené vegetace (ČOV Skašov, 3 roky v provozu).....	92
Obr. 40 Pohled do pulzně vypouštěcí šachty s nefunkčním elektro ventilem.....	92
Obr. 41 Zobrazení průběhu období č. 1 a zahájení etapy č.2	94
Obr. 42 A) Paralelní měření hladin na HF, B) Záznam hladiny (první filtr, třetí etapa).....	94
Obr. 43 Průběh znečištění $CHSK_{Cr}$ a $N-NH_4^+$ na dvou sledovaných filtračních polích.....	95
Obr. 44 Zobrazení čistících účinností ($CHSK_{Cr}$, %) ve vybraných etapách měření.....	95

Obr. 45 Průběh čistící účinnosti N-NH ₄ ⁺ (%) ve vybraných etapách měření	96
Obr. 46 A) Vertikální filtr s distribučním systémem a B) pohled na VF pro chatařskou oblast	97
Obr. 47 Postupný vývoj zařízení v rámci poloprovozního objektu na ČOV Kotečnice.....	102
Obr. 48 Řešení pulzního dávkování odpadní vody (Rak., Francie, Německo)	102
Obr. 49 Dvě sezónní charakteristiky vertikálních filtrů – jarní a podzimní pohled	103
Obr. 50 Srovnání průběhu znečištění CHSK _{Cr} a NL (mg·l ⁻¹).....	104
Obr. 51 Srovnání průběhu znečištění N-NH ₄ ⁺ u HF a VF.....	104
Obr. 52 Řešení distribučního potrubí na poloprovozním objektu	106
Obr. 53 Odlišení kategorií přírodních čistíren dle přístupu.....	108
Obr. 54 Schéma uspořádání soustavy horizontální-vertikální filtr	110
Obr. 55 Uplatnění výsledků v obci Skašov a Cekov	110
Obr. 56 Srovnání dosahovaných výsledků s ostatními hodnotícími kritérii.....	111
Obr. 57 Porovnání odtokových konc. před a po rekonstrukci (ČOV Velká Jesenice)	116
Obr. 58 Vývoj koncentrace N _{celk} (mg·l ⁻¹) na testovacích lyzimetrech.....	121
Obr. 59 Realizace poloprovozního objektu se systémem plovoucích ostrovů	122
Obr. 60 Plovoucí ostrov v zimním provozu	123
Obr. 61 Pohled na odumřelé sazenice a výsadbu nových rostlin	123
Obr. 62 Odtěžení zakolmatované vrstvy šterku v obci Lutopecny a Dražovice	126
Obr. 63 Testovací plochy pro regeneraci filtračního materiálu.....	127
Obr. 64 Hmotnostní podíl jednotlivých frakcí filtračního materiálu.....	128
Obr. 65 A) Projev mineralizace při pulzním vypouštění a B) úplné vypláchnutí sedimentu	128
Obr. 66 A) Odsávání kalů podtlakovým zařízením, B) Odčerpání kalů kalovým čerpadlem.....	130
Obr. 67 Kolmatovaný a mineralizovaný substrát v horizontálním filtru.....	131
Obr. 68 Kalová pole v Dražovicích – A) se skleníkovým přístřeškem, B) bez přístřešku	132
Obr. 69 Schématický řez kalovými poli na ČOV Dražovice	132
Obr. 70 Průběh změn koncentrace sušiny a vlhkosti u systému reed-bed (Dražovice).....	133
Obr. 71 Aplikace kalů na poloprovozní reed-bed kalové hospodářství (ČOV Kotečnice)	134
Obr. 72 Využití pulzního systému v rámci ČR (78 realizačních projektů)	136

10.2 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Emisní standardy podle velikostních kategorií (N.V. 401/2015 Sb.).....	13
Tab. 2 Dosažitelné hodnoty pro jednotlivé ukazatele znečištění při použití BAT	14
Tab. 3 Srovnání charakteristik bezodtokové jímky	19
Tab. 4 Srovnání charakteristik vícekomorových septiků	21
Tab. 5 Srovnání charakteristik šterbinových usazovacích nádrží.....	24
Tab. 6 Srovnání charakteristik horizontálních filtrů.....	25
Tab. 7 Srovnání charakteristik stabilizačních nádrží.....	27
Tab. 8 Kritéria pro hodnocení kvality separátoru.....	88
Tab. 9 Srovnání výhod a nevýhod přechodu na pulzní vypouštění filtru.....	93
Tab. 10 Souvrství vertikálního filtru	101
Tab. 11 Účinnosti objektů pro přírodní čistírny odpadních vod.....	107
Tab. 12 Doporučené uspořádání přírodní čistírny	109
Tab. 13 Odtokové koncentrace ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) během zkušebního provozu ČOV Skašov (2018)	111
Tab. 14 Odtokové koncentrace ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) rok po zkušebním provozu ČOV Skašov (2019)	111
Tab. 15 Znečištění ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) před a po rekonstrukci (ČOV Dražovice, r. 2019)	114
Tab. 16 Srovnání účinností (%) na ČOV Dražovice v roce 2019	114
Tab. 17 Srovnání odtokových koncentrací (ČOV Dražovice, r. 2019)	114
Tab. 18 Průměrná a maximální dosažená účinnost čištění (%) na ČOV Kotečnice.....	115
Tab. 19 Vyhodnocení odtokových konc. ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) před a po rekonstrukci (ČOV Velká Jesenice).....	116
Tab. 20 Množství organického dusíku v lyzimetrech (N_{org} , $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$).....	120
Tab. 21 Vyhodnocení sledované koncentrace celkového dusíku ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$).....	120
Tab. 22 Parametry regresních křivek pro vývoj znečištění v lyzimetrech	120
Tab. 23 Koncentrace N-NO_3^- ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) na jednotlivých lyzimetrech.....	121

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

BAT	nejlepší dostupná technologie (Best Available Technology)
BSK ₅	biochemická spotřeba kyslíku
ČOV	čistírna odpadních vod
EO	ekvivalentní obyvatel
EU	Evropská unie
HF	horizontální filtr
RB	reed-bed systém kalového hospodářství
CHSK _{Cr}	chemická spotřeba kyslíku
N _{celk}	celkový dusík
NL	nerozpuštěné látky
N-NH ₄ ⁺	amoniakální dusík
N-NO ₃ ⁻	dusičnanový dusík
N ₂	elementární dusík
N ₂ O	oxid dusný
P _{celk}	celkový fosfor
PE	polyetylén
PP	polypropylén
PVC	polyvinylchlorid
ŠUN	štěrbínová usazovací nádrž
UN	usazovací nádrž
VF	vertikální filtr
UVHK	Ústav vodního hospodářství krajiny
VUV	Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M., v.v.i.
VUT	Vysoké učení technické v Brně