



Kořenové čistírny odpadních vod

*METODICKÁ PŘÍRUČKA PRO POVOLOVÁNÍ, NÁVRH,
REALIZACI A PROVOZ*

Metodická příručka pro povolování,
návrh, realizaci a provoz

Kořenové čistírny odpadních vod

Vysoké učení technické v Brně

Michal Křiška, Miroslava Němcová



Ke zpracování metodiky bylo použito výzkumných aktivit realizovaných v rámci řešení výzkumného projektu MPO s pracovním názvem BIOSTREAM:

Čištění odpadních vod v integrovaném biotechnologickém systému

Ev. č. projektu: **FR-TI3/778**

Zahájení a ukončení projektu: **4/2011 – 5/2015**



Výzkumné práce byly realizovány na dvou poloprovozních objektech, které byly napojeny přímo na reálnou odpadní vodu, přitékající kanalizačním systémem.

Poloprovozní řešení jsou realizována na kořenových čistírnách v obcích **Kotenčice** (okr. Příbram) a **Dražovice** (okr. Vyškov). Současně se na obou čistírnách vyskytuje několik autorsky chráněných řešení (užitné vzory), pro detailní informace ohledně technických řešení a možností transferu výsledků na jiné aplikace se obračejte na autory:

Ing. Michal Křiška, Ph.D., Ing. Miroslava Němcová

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

Ústav vodního hospodářství krajiny

Veveří 95, 602 00 Brno

tel.: +420 54114 7778 (kancelář)

fax.: +420 54114 7771

Mob.: +420 774 889747

mail: kriska.m@fce.vutbr.cz, nemcova.m@fce.vutbr.cz



Rozbory, chemické analýzy a výsledky jsou uloženy v archívu pracoviště VUT v Brně, případně u hlavního řešitele výzkumného projektu, firmy Dekonta, a.s.:

Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

Dekonta, a.s.

Dřetovice 109

273 42, Stehelčevy

Mail: hnatkova@dekonta.cz



Obsah

1	Definice	7
2	Množství a charakteristika odpadních vod	11
2.1	Ukazatele znečištění odpadních vod.....	11
2.2	Kanalizační systém	14
2.2.1	Typy stokových soustav.....	15
2.2.2	Doprava odpadních vod	16
3	Kategorie kořenových ČOV podle velikosti	17
3.1	Domovní kořenové čistírny do 50 EO.....	17
3.2	Kořenové čistírny do 500 EO	19
3.3	Kořenové čistírny 500 – 2000 EO	20
3.4	Kořenové čistírny 2001 – 10 000 EO	21
4	Technické řešení kořenové čistírny	23
4.1	Mechanické předčištění	23
4.1.1	Odlehčovací komora.....	23
4.1.2	Štěrbínová usazovací nádrž	24
4.1.3	Velkoobjemový vícekomorový septik.....	25
4.2	Horizontální filtr	25
4.2.1	Návrh velikosti filtrační plochy.....	25
4.2.2	Návrh rozdělovacího potrubí.....	27
4.2.3	Návrh filtračních materiálů	27
4.3	Vertikální filtr.....	29
4.3.1	Návrh velikosti filtrační plochy.....	29
4.3.2	Návrh filtračních materiálů	30
4.3.3	Návrh rozdělovacího potrubí.....	31
4.4	Terciální dočištění	33
5	Koncepce a uspořádání kořenové čistírny	34
5.1	Vertikální filtrační pole	34
5.1.1	Pulzně skrápěné vertikální filtrační pole	35
5.2	Horizontální filtrační pole.....	35
5.2.1	Pulzně vypouštěné horizontální filtrační pole.....	36

5.3	Systém vertikální + horizontální filtrační pole.....	38
5.4	Systém horizontální + vertikální filtrační pole.....	38
6	Regenerace kořenových čistíren	40
7	Předpověď znečištění na odtoku z filtrů.....	42
8	Literatura	45

1 Definice

Kořenová čistírna odpadních vod

Jedná se o zařízení, sloužící primárně k čištění odpadní vody. Další funkce jako estetické působení na člověka, zlepšování mikroklima v okolí, aj. jsou doprovodné funkce, plynoucí z technologického uspořádání.

Jako celek se kořenová čistírna skládá podle druhu přiváděné vody a napojené kanalizace převážně z částí:

Mechanické předčištění

- Jemné a hrubé česle
- Lapák písku
- Usazovací nádrž



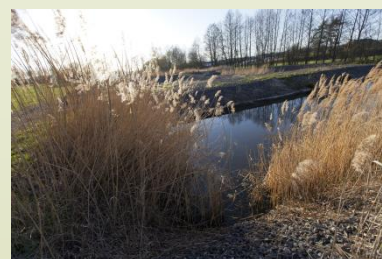
Hlavní stupeň čištění

- Vertikální nebo horizontální filtr
- Soustava filtrů



Dočištění

Stabilizační nádrž



Součástí kořenové čistírny odpadních vod je soustava šachet (betonových nebo plastových) plnicích specifické funkce, dále propojovací potrubí, měrné objekty apod.

Septik

Septikem je průtočná nádrž, skládající se z několika na sebe navazujících prostorů (tzv. komor), které jako soustava plní převážně funkci zadržení plovoucích nečistot (nerozpuštěných látek), jejich akumulaci a částečný rozklad. Odtok odpadní vody ze septiku by měl obsahovat převážně rozpuštěné látky. Pokud je špatně navržen nebo provozován, nastává ucpávání dalšího čistícího stupně (filtrační prostředí). Návrh septiku se nejčastěji provádí podle ČSN 75 6402: Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel



Vertikální filtr

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 rozdělovacího potrubí společně s předřazeným zařízením, umožňujícím nepravidelné (pulzní) napouštění filtru. Ve filtru převládá aerobní prostředí, které zajišťuje i odstranění amoniakálního dusíku.

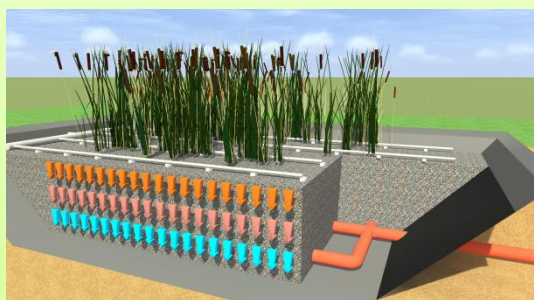


Schéma vertikálního filtru



Pohled na vertikální filtr před zahájením vegetačního období

Horizontální filtr

Název čistícího zařízení vyplývá z převládajícího směru proudění odpadní vody. Samotný horizontální filtr nelze pro splaškové vody použít jako samostatnou čistící jednotku – vždy musí být předřazeno mechanické předčištění, které zajistí zachycení plovoucích částic. Ve filtru převládá převážně anaerobní prostředí, hladina odpadní vody je téměř ve většině případů zavěšená těsně pod úrovní terénu.



Schéma horizontálního filtru



Pohled na horizontální filtr

Stabilizační nádrž

Nepovinně řazený objekt, doprovázející proces čištění v odůvodněných případech – vyšší nároky na kvalitu vyčištěné vody, zapojení za horizontálními filtry s účelem snížení koncentrace amoniaku na odtoku, vyrovnaní průtoků, snížení koncentrace CHSK_{Cr} apod. 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.



Pohled na stabilizační nádrž
pro 750 EO



Pohled na vegetační doprovod
stabilizační nádrže

Pulzní vypouštění

Jedná se o doplňující ovládání horizontálního filtru, spočívající v cyklické změně hladiny odpadní vody ve filtru. Kolísání hladiny má za následek zvýšení čistící účinnosti zejména v parametrech, které vyžadují pro odstranění (rozklad) vzdušný kyslík, tj. BSK_5 , CHSK_{Cr} , N-NH_4^+ .

Princip vychází ze zapojení zařízení (pulzní vypouštěč nebo elektro ventil) v odtokové šachtě za horizontálním filtrem. Odpadní voda se z filtru vypouští pouze při dosažení provozně maximální možné úrovně až po úroveň minimální hladiny. Proces vypuštění je přitom velice intenzivní, hladina vody klesá rychle. Proces napouštění je závislý na velikosti filtru, pórovitosti a přítoku.

Podrobnosti jsou uvedeny v dalším textu.

Pulzní skrápění

Princip, který se využívá při provozování zejména vertikálních filtrů. Bez pulzního skrápění lze provozovat vertikální filtry pouze v omezené velikosti, přičemž rychlé rozdělení odpadní vody zajišťuje např. silné čerpadlo (velikost ČOV do 5 EO).

Odpadní voda je zadržována před samotným filtračním polem v akumulární šachtě do té doby, než dojde k jejímu naplnění. Po naplnění po max. možnou hladinu dochází k automatickému otevření uzávěru (nebo spuštění čerpadla), akumulární šachta se v co možná nejkratším časovém intervalu vypustí na vertikální filtr pomocí precizně provedeného rozdělovacího potrubí. Důležitý je přitom návrh, dimenze a optimalizace soustavy akumulární šachta, příváděcí potrubí a rozdělovací potrubí.

Pulzní skrápění zajišťuje při správném návrhu, realizaci a provozu dostatečnou dotaci kyslíkem takovou, že z odpadní vody jsou odstraněny v dostatečné míře amoniakální dusík, CHSK_{Cr} i BSK_5 .



Pohled na vertikální filtr
bez vzrostlé vegetace



Pohled na filtr při pulzním skrápění

2 Množství a charakteristika odpadních vod

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 (mg/l). Všechny sledované koncentrace se společně se zvyšující spotřebou vody snižují a při znatelné úspoře vody se koncentrace zvyšují.

2.1 Ukazatele znečištění odpadních vod

Kořenové čistírny odpadních vod patří mezi technologie, o nichž do nedávné doby nebylo srozumitelné, jakým způsobem fungují, jak spolehlivě odstraňují daný ukazatel znečištění apod. V současné době existují zastánci tvrdící „*kořenová čistírna odstraní vždy všechno bez obsluhy*“, anebo zarytí odpůrci, tvrdící „*kořenová čistírna neodstraní nikdy nic*“. Mezi sledovanými ukazateli patří níže popsané: $CHSK_{Cr}$, BSK_5 , NL , $N-NH_4^+$, N_{celk} , P_{celk} – vše dané nařízením vlády č. NV 61/2003 ve znění novely NV 23/2011 Sb., resp. přílohou č.1, tabulkou 1a: Emisní standardy.



Z pohledu environmentálního ovlivnění recipientu, do něhož je vyčištěná voda vypouštěna, ovlivňují jednotlivé parametry ekologickou rovnováhu:

- **Chemická spotřeba kyslíku ($CHSK_{Cr}$):** je definována jako množství kyslíku, které se za přesně vymezených uzačnických podmínek spotřebuje na oxidaci organických látek ve vodě pomocí silného oxidačního činidla. Pokud vypouštěná voda obsahuje vyšší koncentrace chemické spotřeby kyslíku, znamená to, že čistírna nebyla schopna dodat do čištěné vody dostatek kyslíku. Takto nekvalitně vypouštěná voda způsobí v toku narušení rovnováhy, pokud se jedná o vypouštění do stojaté vody (nádrž, rybník, jezírko apod.), dochází k úbytku koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě vlivem postupného spotřebovávání na odstranění zbytkové koncentrace $CHSK_{Cr}$. Kořenové čistírny běžně nemají problém



s odstraněním znečištění ve formě CHSK_{Cr} , účinnost se pohybuje často nad 85 - 90 % – většina znečištění se odstraní téměř u přítoku na filtrační pole filtrací, další část se odbourá rozkladnými procesy s nebo bez přístupu kyslíku (podle volby filtračního pole). Pokud je provozovaná kořenová čistírna poddimenzovaná, resp. pokud obsahuje vysoké koncentrace CHSK_{Cr} na přítoku, je potřeba přistupovat k návrhu úprav obezřetně – nutné je zejména sledování v kombinaci s dalšími ukazateli, zejména je nutné soustředit se na nerozpuštěné látky. Problém může mít se znečištěním CHSK_{Cr} silně zakolmatované filtrační pole, v textu níže je uveden postup pro řešení.



- **Biochemická spotřeba kyslíku (BSK_5):** Jedná se o biologicky rozložitelné znečištění, které se do odpadní vody dostává zejména společně se splašky. Hodnota BSK_5 určuje množství nebo koncentraci organického znečištění, které je odbouratelné pouze pomocí mikroorganismů. Mikroorganismy přítomné v odpadní vodě jsou schopny odstranit pouze snadno rozložitelné organické znečištění. Složité sloučeniny jako např. celulóza, polysacharidy, apod., odbourávají mikroorganismy pomalu a složitě, proto jsou tyto sloučeniny definovány jako výše popsané CHSK_{Cr} . Koncentrace BSK_5 se přirozeně vyskytuje v tekoucích i stojatých vodách – jedná se o přítomnost rozložených listů, větví, trávy, mrtvých organismů, výtrusy ryb a ptáků, aj. znečištění organického původu. Kořenové čistírny obdobně jako v případě CHSK_{Cr} nemají většinou problém s odstraněním, účinnost odstranění BSK_5 se pohybuje podle vstupní koncentrace znečištění u horizontálních filtrů po zapracování nad 80 %, správně řešené vertikální čistí až 95 % BSK_5 . Vždy ale záleží na správnosti provedení a uspořádání, výsledný účinek je ovlivněn mnoha faktory.

Zvýšená odtokové koncentrace CHSK_{Cr} a BSK_5 ve vypouštěné odpadní vodě narušují přirozenou rovnováhu kyslíku v toku. Současně je potřeba upozornit, že každá kořenová čistírna je unikátní stavba a nelze předpokládat vysoké účinnosti u všech řešení. **Vždy je ale u stávajících řešení možné zvýšit účinnost nenáročným technickým zásahem, vždy lze najít důvod ke snížené účinnosti a problém vyřešit.**



Jelikož hodnotu CHSK_{Cr} i BSK_5 určují rozpuštěné i nerozpuštěné látky ve vodě, dalším parametrem jsou právě nerozpuštěné látky:



- **Nerozpuštěné látky (NL):** Jedná se o znečištění, které je ve vodě viditelné často pouhým okem a tedy je lze snadno stanovit zachycením pomocí filtrace (stanovuje se v laboratorních podmínkách). Lze je z vody odstranit většinou mechanickou cestou,



relativně snadno. V rámci systému kořenové čistírny je z pohledu dlouhodobého bezporuchového provozu na místě, aby se většina z přítékajícího množství usaditelných NL odstranila na začátku, tj. v mechanickém stupni čištění. **Pokud je mechanické předčištění poddimenzované nebo špatně provozované, usazené NL se ve formě kalu dostávají na filtrační stupeň, kde způsobují problémy s ucpáváním jemného šterkového materiálu – tj. proces kolmatace**, viz níže. Proto je nezbytně nutné takové situaci předcházet optimalizací návrhu mechanického stupně čištění, který má z pohledu bezporuchového provozu čistírny nejvýznamnější vliv.

- **Amoniakální dusík (N-NH_4^+):** kanalizačním systémem přitéká na čistírnu amoniakální dusík po předchozím rozkladu močoviny. Podle množství balastních vod, podle druhu kanalizace a spotřeby vody se mohou koncentrace amoniakálního dusíku na přítoku výrazně lišit. Zároveň, pokud je mechanický stupeň předčištění silně předimenzován, může N-NH_4^+ vznikat se ještě před filtračním polem zvyšovat jeho koncentrace rozkladem usazené organické hmoty bez přístupu kyslíku. Na odstranění amoniakálního dusíku z odpadní vody **je potřeba vysoké množství kyslíku** a zároveň optimální nastavení prostředí pro bakterie, které N-NH_4^+ rozkládají (proces nitrifikace, popisuje rozklad na dusičnanový dusík N-NO_3 , který je finálním produktem nitrifikace). Pokud je kořenová čistírna nevhodně navržena nebo provozována a amoniakální dusík se neodstraní v dostatečné míře, způsobí silný výkyv ekologické rovnováhy v recipientu. Stojaté vody většinou nejsou schopny rychle odbourat nebo transformovat N-NH_4^+ na jinou formu. Problémem N-NH_4^+ je jeho potenciální přechod na toxickou formu NH_3 (při pH nad 9,0). Tato forma může způsobit toxicitu vůči rybám – zvýšené koncentrace ve vodě způsobují úhyn ryb, různé druhy jsou jinak citlivé na hodnotu koncentrace.

Pokud vzniká potřeba čištění amoniakálního dusíku na kořenové čistírně odpadních vod, je nutné přistoupit k řešení, založeném na vertikálním filtru, který je provozován jako pulzně skrápěný (detaily viz níže v kapitole Vertikální filtr).

- **Fosfor (P_{celk}):** Je společně s dusíkem (N) označován jako živina (nutrient). Oba prvky stimulují biochemické procesy, tvorbu buněčné hmoty, podporují růst a množení mikroorganismů, řas i vyšších rostlin. Pokud se ve stojaté vodě v krajině vyskytuje zvýšená koncentrace nutrientů ve vodě, přemnoží se jednobuněčné zelené řasy a sinice, které během sezónního cyklu klesají ke dnu nádrže, kde se rozkládají a způsobují tímto sekundární znečištění. Zároveň svou přítomností ve vodě způsobují zvýšenou potřebu kyslíku na



jejich rozklad, výše popsaná hodnota BSK₅ se tedy může silně navýšit. Fosfor se na kořenových čistírnách odstraňuje jednak v rámci mechanického předčištění (sedimentační procesy), ale i v samotném filtračním poli (částečný odběr rostlinami). Uvažovat lze i s uplatněním speciálních sorpčních materiálů, které na sebe fosfor navazují chemickou cestou, nicméně se jedná o dočasné řešení, následované potřebnou regenerací (výměnou) materiálu.

Jak je vysvětleno níže v textu, **kořenové čistírny nejsou v současné době v České republice podporovány a navrhovány pro velikost nad 2000 EO**, což v kombinaci s nastavením emisních limitů v nařízení vlády č. 23/2011 Sb., resp. příloze č. 1 a tabulce 1a vylučuje potřebu sledování koncentrace P_{celk} . **Nicméně většina kořenových čistíren odstraňuje díky zapojení několika technologických zařízení P_{celk} v takové míře, že na odtoku se hodnoty běžně pohybují v rozmezí 2 – 3 mg/l. Intenzivnější odstranění by bylo potřeba řešit individuálně řešeným terciálním dočištěním, případně srážením fosforu na přítoku v rámci mechanického předčištění.**



2.2 Kanalizační systém

Kanalizační systém, označovaný také jako stoková soustava či stoková síť, sloužící ke sběru, shromažďování a následnému odvedení tekutých odpadů na čistírnu odpadních vod. V České republice je známé zapojení stokové sítě jednotné (odvádí srážkové vody i splašky jedním potrubím) nebo oddílné (srážky odváděny v jiném potrubí, než splašky). Nejčastěji slouží kanalizace k odvádění **splaškových** z domácností, **dešťových** vod z urbanizovaných území a v některých případech i **vod z průmyslu**. Do starších stokových sítí se také dostávají **balastní** vody. Jedná se především o **podzemní** vody, které se netěsnostmi dostávají do kanalizace.



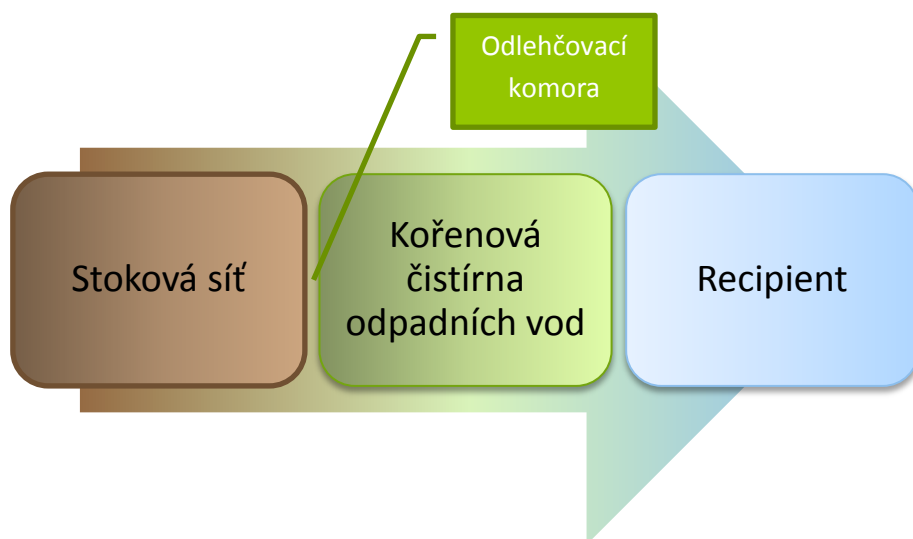
Kořenová čistírna odpadních vod, jak pramení z jejího principu, si ve srovnání s jinými technickými řešeními poradí se sníženými koncentracemi znečištění, které se často vyskytují na jednotných kanalizačních systémech. Přítomné balastní vody mohou způsobovat tak silné naředění, že již na přítoku před čistírnou jsou emisní limity nižší než limity stanovené v NV 23/2011 Sb.



Naopak zvýšené koncentrace znečištění – kořenová čistírna je schopna úspěšně odstranit i vyšší koncentrace znečištění z průmyslových areálů apod., nicméně **není možné přistupovat k návrhu standardním způsobem (dosazením do vzorce na výpočet koncentrace BSK₅ na odtoku), ale je za potřebí využití simulačních modelů nebo jiné sofistikované metody (vlivem potenciální přítomnosti zvýšené koncentrace např. NL, P, CHSK, apod.).**



Kanalizační systém je tvořen soustavou uličních stok, které jsou postupně napojeny na hlavní kmenovou stoku, jež zaústí na čistírnu odpadních vod. Odtud je pak vyčištěná odpadní voda odváděna do vodního recipientu.



Optimálně navržený a provozovaný kanalizační systém je nezbytnou podmínkou pro správnou funkci každé čistírny odpadních vod. **Kořenové čistírny jsou pro bezporuchový provoz velice citlivé na správnou funkci odlehčovací komory**, která je podmínkou pro dlouhodobé fungování čistírny.



2.2.1 Typy stokových soustav

Dle způsobu odvádění odpadních vod se stokové soustavy rozdělují zpravidla na tři základní 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, z tohoto důvodu se často navrhuje dešťové retenční nádrže, díky kterým dochází k rozložení odtoku ze srážky do delšího času.



Kořenové čistírny jsou již 20 let preferovány pro toto řešení kanalizačního systému, nicméně **nevyhovující odlehčovací komory jsou v současné době důvodem k ucpaným filtračním materiálům, povrchově protékající odpadní vodě, zápachům a nedostatečným účinností kořenových čistíren jako celků. Pokud je kořenová čistírna navrhována pro jednotnou kanalizaci, odlehčovací komora je základním prvkem pro její fungování.**



- **Oddílná stoková soustava:** Takovéto řešení kanalizační sítě je tvořeno dvěma stokovými 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 vyskytují vyšší koncentrace znečištění, proto je potřeba navrhovat vícestupňovou filtraci odpadní vody (soustavy kořenových filtrů, viz kapitola „Koncepce a uspořádání kořenové čistírny“).**

- **Modifikovaná stoková soustava:** V praxi jsou nejběžnější první dva uvedené typy stokových soustav. Modifikovaná kanalizační soustava vzniká kombinací právě prvních dvou typů, tedy jednotné a oddílné stokové soustavy.



Na provoz kořenové čistírny odpadních vod má typ stokové soustavy zásadní vliv. **Na jednotné kanalizaci jsou vody nařazené, je potřeba přítomnost mechanického předčištění, které se může v bezdeštném období jevit jako předimenzované. V případě dešťů nesmí docházet k vyplavování usazených látek z usazovacího prostoru septiku nebo usazovací nádrže. Na oddílné kanalizaci se musí naopak zohlednit vyšší koncentrace znečištění a náležitě zohlednit návrh filtrů.**

2.2.2 Doprava odpadních vod



Způsob řešení dopravy vod závisí na několika faktorech, především na morfologii terénu a použité soustavě odkanalizování.

Dle řešení dopravy odpadních vod se rozdělují kanalizační systémy na:

- Gravitační kanalizaci
- Podtlakové kanalizace
- Tlakové kanalizace

Odpadní vody jsou u výše uvedených typu kanalizačních soustav zpravidla dopravovány gravitačně. Toto řešení dopravy vody s volnou hladinou se považuje za tradiční způsob dopravy odpadních vod, a pokud si to nevyžadují konkrétní podmínky, nepřistupuje se k jiným způsobům řešení kanalizačních sítí.



V případě řešení tlakové nebo podtlakové kanalizace je potřeba zajistit co možná nejrovnoměrnější přítok vody na kořenovou čistírnu v průběhu dne. Opět nesmí jako ve všech jiných případech dojít k vyplavování nerozpuštěných látek z mechanického stupně čištění a je nutné očekávat zvýšené koncentrace znečištění na přítoku, obdobně jako v případě jakékoli volby čistírenské technologie.

3 Kategorie kořenových ČOV podle velikosti

Současná legislativní požadavky na kvalitu vyčištěné odpadní vody rozdělují producenty na několik velikostních kategorií. Platí, že čím větší producent, tím přísnější sledování – přísnější hodnoty ve více vybraných sledovaných parametrech. Skutečnost, že kořenové čistírny jsou pro větší producenty odmítány, pramení z provozních zkušeností v České republice, a sice nesprávného a velice jednoduše formulovaného závěru, že „*kořenová čistírna neodstraní amoniak*“.

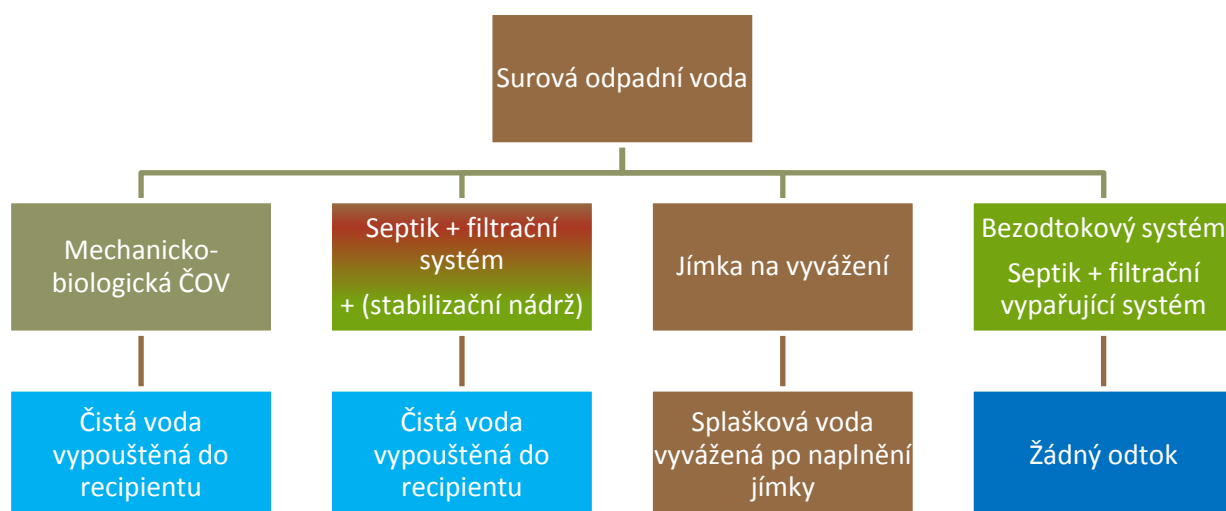


Jak je vysvětleno v kapitole Koncepce a uspořádání kořenové čistírny, existují různé typy a uspořádání, z nichž některé jsou pro odstraňování amoniaku nevhodné, proto je nelze za účelem snížení koncentrace N-NH_4^+ navrhovat. Naopak, zejména vertikálně protékané a pulzně skrápěné filtrační pole jsou určeny pro velice efektivní odstranění koncentrace N-NH_4^+ s vysokou účinností (rozsah účinnosti většinou kolísá podle správnosti návrhu a realizace filtru).

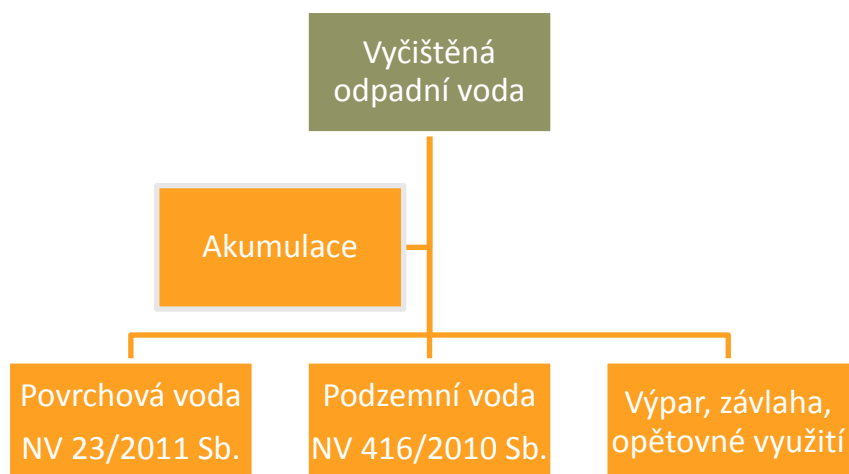


3.1 Domovní kořenové čistírny do 50 EO

Mezi nejmenší producenty odpadních vod se stává technologie kořenových čistíren stále oblíbenější, nicméně existuje málo schopných projektantů, kteří jsou schopni navrhnout správně malou fungující kořenovou čistírnu. Jelikož je kořenová čistírna pouze jednou z možných alternativ, je na místě uvedení i jiných řešení:



Po vyčištění je možné nakládat s odpadní vodou dle následujícího schématu:



Často (téměř ve většině případů) je čistírna realizována jako horizontálně protékané filtrační pole. Důvodem k tomuto jednoduchému řešení je i současná legislativa – nevzniká požadavek na odstranění amoniakálního znečištění N-NH_4^+ . **Horizontální filtry ve většině případů neodstraňují amoniakální dusík, ale obstojně si poradí právě se sledovanými parametry CHSK_{Cr} , BSK_5 a NL.**

Tab. 1 Emisní standardy, vypouštění do povrchových vod (přípustné hodnoty v mg/l)

Počet obyvatel	CHSK_{Cr} přípustné	CHSK_{Cr} max.	BSK_5 přípustné	BSK_5 max.	NL přípustné	NL max.
< 50	150	220	40	80	50	80

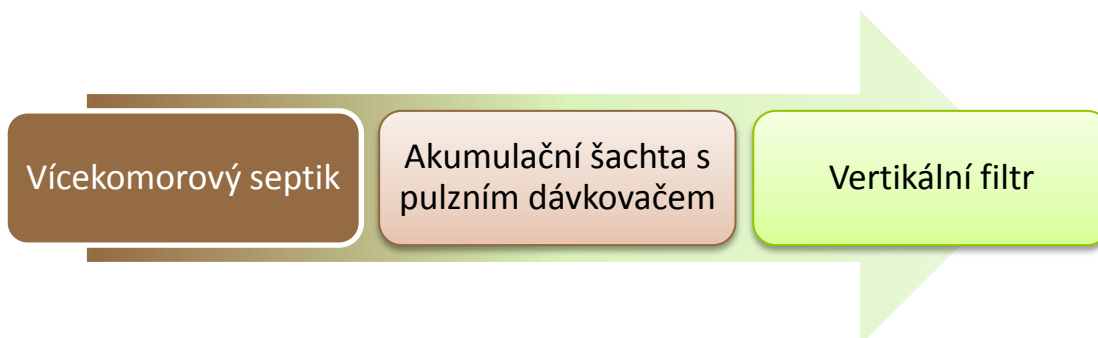


Je potřeba si uvědomit následující: **legislativní požadavky nevyžadují sledování vypouštěných koncentrací N-NH_4^+ a zároveň horizontální kořenová čistírna ve většině případů neodstraňuje N-NH_4^+ v dostatečné míře. To znamená: na odtoku není potřebně vyčištěná voda, není možné ji zasakovat a je nutné počítat s ovlivněním kyslíkových poměrů i v povrchových vodách, do kterých se voda vypouští.**



Jako doporučení pro nově vznikající kořenové čistírny této velikosti se jeví horizontální filtry jako jednodušší řešení, nicméně z pohledu ekologického působení nejsou tyto filtry nejvhodnějším řešením. **Optimálnější jsou bezesporu výše popsané vertikální filtry**, které navíc při precizně zpracovaným mechanickým předčištění nevyžadují takový plošný zábor půdy (specifická plocha na jednoho EO často vychází méně než $5,0 \text{ m}^2$).

Tzn., optimální technologické schéma kořenové čistírny, z níž je voda vypouštěna vsakem do podloží, lze zobrazit jako:



Po takto řešeném systému budou splněny všechny technické parametry, včetně dosud problematického amoniakálního dusíku, tzn., řešení vyhoví jak emisním limitům stanoveným pro vypouštění do vod povrchových, tak do vod podzemních.



3.2 Kořenové čistírny do 500 EO

Nejčastěji řešenou velikostní kategorií kořenových čistíren jsou čistírny do 500 EO. S ohledem na požadavky dané NV 61/2003 ve znění NV 23/2011 Sb. se oproti předchozí kategorii nesledují navíc žádné další parametry.



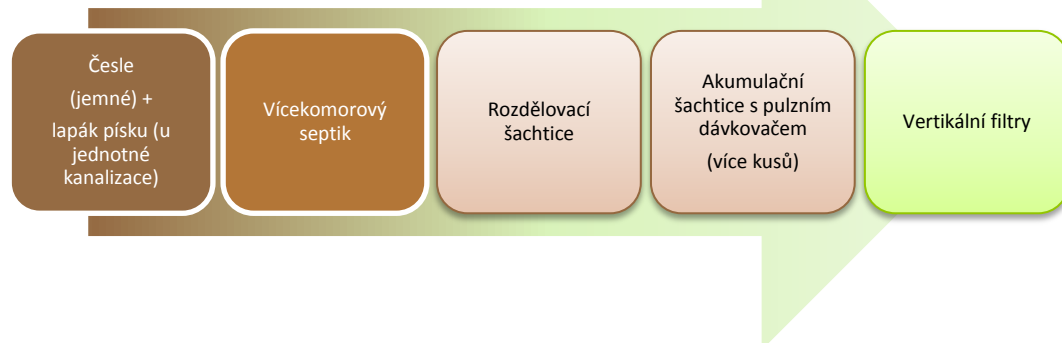
Tab. 2 Emisní standardy pro čistírny do 500 EO (přípustné hodnoty v mg/l)

Počet obyvatel	CHSK _{Cr} přípustné	CHSK _{Cr} Max.	BSK ₅ přípustné	BSK ₅ Max.	NL přípustné	NL Max.
do 500	150	220	40	80	50	80

Pokud je uvažováno se zapojením vertikálních kořenových filtrů, nastává rozdíl oproti předchozí kategorii <50 EO ve faktorech:

- **Mechanické předčištění** – není tvořeno pouze jedním vícekomorovým septikem, ale optimálně soustavou usazovacích nádrží. Je to zejména z důvodu náchylnosti k ucpání jemnějšího filtračního materiálu – větší objem usazovacího prostoru je předpokladem k lepší sedimentaci NL, tzn. menší riziko ucpání filtru.
- **Pulzní napouštění** – nebude řešeno jedním vypouštěčem, ale soustavou více vypouštěcích zařízení, které musí být doplněny o hydraulický výpočet. Každé vypouštěcí zařízení musí být zároveň umístěno ve vlastním akumulacím prostoru, jehož objem koresponduje s velikostí filtračního pole.
- **Filtrační pole** – není realizováno jako jeden filtr, ale je potřeba celkovou plochu rozdělit na několik filtračních polí (nejlépe sudý počet s ohledem na uspořádání rozdělovací šachtice).





3.3 Kořenové čistírny 500 – 2000 EO



V kategorii 500 – 2000 EO se v rámci České republiky vyskytuje z historických důvodů málo kořenových čistíren. Vysvětlení je následující: do současné doby na trhu neexistovala technologie, zajišťující rovnoměrné rozdělení odpadní vody na vertikální filtr, proto jsou všechny větší kořenové čistírny řešeny jako horizontální. Jelikož (jak bylo uvedeno výše) nejsou horizontální kořenové čistírny schopny odstraňovat amoniakální znečištění, velice často se potýkají s problémy právě v této oblasti – nejsou schopny dodržet limit průměrné hodnoty 20 mg/l na odtoku. **V této kategorii je tedy bezpodmínečně nutné uplatnění vertikálního filtru s pulzním skrápěním.**

Tab. 3 Emisní standardy pro čistírny 500 - 2000 EO (přípustné hodnoty v mg/l)

Počet obyvatel	CHSK _{Cr} přípustné	CHSK _{Cr} Max.	BSK ₅ přípustné	BSK ₅ Max.	NL přípustné	NL Max.	N-NH ₄ ⁺ Prům.	N-NH ₄ ⁺ Max.
500 - 2000	125	180	30	60	40	70	20	40

Uvedený fakt odsoudil v průběhu 20 let kořenové čistírny do nižších kategorií a v současné době úředníci z vodoprávních úřadů nepovolí realizaci kořenové čistírny nad 500 EO, protože mají zkušenosti spojené s praxí – horizontální kořenová čistírna neodstraní amoniakální dusík, proto není vhodné ji povolit.



Objektivně je ale nutno usoudit, že amoniak velice spolehlivě odstraňují právě vertikálně pulzně skrápěné kořenové filtry. Výzkumné výsledky ukázaly, že správně zapracovaný vertikální filtr je i během zimního období schopen odstraňovat amoniak (koncentrace během celého zimního období **do odtokových N-NH₄⁺ max. 10 mg/l, průměrně do 5 mg/l**). Vysvětlení je velice snadné – odpadní voda nepřichází do kontaktu se studeným vzduchem déle jak minutu, zbývající čas se vyskytuje v hlubších vrstvách, kde jsou teploty vyšší. Nitrifikační bakterie, jak ukázalo měření za poslední

dvě zimní období (2013/2014 a 2014/2015), navíc v kořenovém systému spolehlivě dovedou odstranit N-NH_4^+ při průměrné teplotě vody 4,5 °C.

3.4 Kořenové čistírny 2001 – 10 000 EO

S ohledem na předchozí text a obecnou nevůli v České republice k povolování čistíren v kategorii 500 – 2 000 EO je logické, že ve vyšší kategorii je odpor vůči kořenovým čistírnám ještě silnější. Přesto a na základě poloprovozního měření v obci Kotenčice je na místě tvrzení (není vyvratitelné, protože existují výsledky výzkumu a reálné koncentrace znečištění na odtoku z jednotlivých filtrů a jejich poloprovozních uspořádání):

Kořenová čistírna je schopna odbourat znečištění v takové míře, že emisní parametry budou s přehledem dosaženy v kategorii 2001 – 10 000 EO.

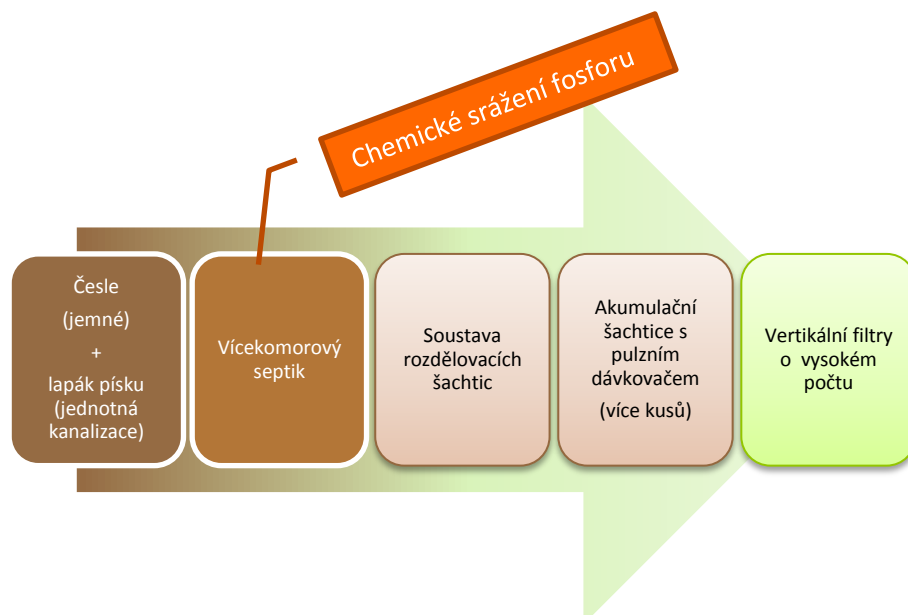
K tomu je však potřeba soustředit se na návrh, který zahrnuje zejména **rozdělení průtoku na soustavu vysokého počtu samostatných filtračních polí** (reálné jsou čísla max. 600 EO na jedno filtrační pole realizované jako vertikální filtr). Z tohoto důvodu potom narůstá počet filtračních polí a z celé soustavy se stává pro projektanta úkol, se kterým se dosud nesetkal. Není tudíž schopen se s úkolem vypořádat a zvolí snadnější technologii, založenou na intenzivních aktivačních procesech.

Podstatný problém také hraje **náročnost na zábor pozemku**. Nutno uvažovat s potřebnou specifickou plochou pro vertikální filtr 4 – 5 m² (podle druhu mechanického předčištění, viz kapitola Technické řešení kořenové čistírny), tzn. pro obec o velikost 5 000 EO je za potřebí 20 000 – 25 000 m².

Dalším problémem se může jevit **velikost (objem) mechanického stupně čištění**, kdy s ohledem na dlouhodobě spolehlivý provoz je opět vhodné navrhovat vícekomorové septiky. S ohledem na potřebnou velikost usazovacího prostoru je nejspíše právě velikost limitujícím faktorem pro rozšíření v této kategorii. Doba zdržení by přitom měla být cca 5 dní, při počtu obyvatel 5 000 vychází objemy septiku bez kalového prostoru cca 500 m³, což vyžaduje např. prostor nádrže o velikosti 5 x 20 m a hloubce 5,0 m (+ kalový prostor).

Čímž je výčet problémů uzavřen. **Provoz kořenové čistírny následně vychází do 5,00 – 6,00,- Kč/m³**, což je výrazně nižší hodnota ve srovnání s technologicky náročnějšími řešeními.





Tab. 4 Emisní standardy pro čistírny 2001 – 10 000 EO (přípustné hodnoty v mg/l)

Počet obyvatel	CHSK _{Cr} přípustné	CHSK _{Cr} Max.	BSK ₅ přípustné	BSK ₅ Max.	NL přípustné	NL Max.	N-NH ₄ ⁺ Prům.	N-NH ₄ ⁺ Max.	Pcelk. Průměr	Pcelk. Max.
500 - 2000	120	170	25	50	30	60	15	30	3	8



Ve srovnání s předchozími kategoriemi vzniká pro provozovatele povinnost sledování odtokových koncentrací fosforu. Z tohoto důvodu je nutné **doplnění chemického srážení fosforu** obdobně, jak se situace řeší u klasických mechanicko-biologických čistíren odpadních vod. Srážení fosforu je vhodné řešit ještě v rámci mechanického stupně čištění.

4 Technické řešení kořenové čistírny

Jak již bylo uvedeno výše, kořenová čistírna odpadních vod je složena z několika zařízení zapojených v sérii (více filtračních polí bývá zapojeno paralelně), pracujících jako celek. Soustava je složena z mechanického stupně čištění, hlavního stupně čištění a dočištění, které je potřeba pouze v případě nutnosti odstranění celkového dusíku, resp. nutnosti dodržení přísnějších limitů, než které ukládá NV 23/2011 Sb.



4.1 Mechanické předčištění

Součástí mechanického předčištění je několik zařízení, které postupně z protékající odpadní vody odstraňují plovoucí částice od nejhrubších po nejjemnější. Na odtoku z mechanického stupně by se měla vyskytovat co možná nejnížší koncentrace nerozpuštěných látek proto, aby se udržel co možná nejdelší 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).



4.1.1 Odlehčovací komora

Jak již bylo uvedeno výše, vzhledem k sériovému zapojení jednotlivých čistících stupňů, je odlehčovací komora z pohledu bezpečnosti provozování kořenové čistírny ten nejdůležitější prvek. Pokud nefunguje odlehčovací komora (většinou se jedná o nevhodný návrh, spojený s nedodržováním maximálně možných průtoků), není možné zajistit dlouhodobou udržitelnost čistírny, doprovázenou nízkými koncentracemi znečištění na odtoku.



Odlehčovací komora musí zajistit nepřetěžování zejména usazovací nádrže nebo septiku.

Zvýšené průtoky jsou důvodem k současným problémům s ucpanými kořenovými filtry na nejstarších čistírnách, nicméně i v současné době se realizují špatné projekty, u nichž se kolmatace filtračního prostředí objevuje již po několika letech provozu. Důvodem takového stavu je kombinace odlehčovací komora + usazovací prostor v septiku nebo šterbinové usazovací nádrži.



MINISTERSTVO
PRŮMYSLU A OBCHODU



Vyplavování usazeného kalu vede k postupnému zanášení filtrů, čímž vznikají povrchové proudy odpadní vody, způsobující provozní problémy zejména s dodržením parametrů CHSK_{Cr} , BSK_5 a N-NH_4^+ .



Nejdůležitější ukazatel u návrhu odlehčovací komory je tedy Q_{max} (l/s) a v projektové dokumentaci by mělo být dokázáno, že usazovacím prostorem nebude proudit odpadní voda tak, aby uvolňovala a vyplavovala kal.



4.1.2 Štěrbínová usazovací nádrž

Štěrbínové usazovací nádrže nebyly v rámci výzkumných prací spojených s projektem BIOSTREAM zkoumány, pozornost byla věnována pouze kalovému hospodářství a pozorování účinnosti od realizace nové štěrbinové usazovací nádrže po následující tříletý provoz.



Výsledky ukázaly, že štěrbinová usazovací nádrž funguje jako poddimenzovaný septik. Její výhoda spočívá v úspoře prostoru, tzn. nízké investiční náklady. Nicméně žádná štěrbinová usazovací nádrž nemůže fungovat tak spolehlivě jako vícekomorový (dle normy ČSN EN 12566-1 minimálně tříkomorový) septik, u



něhož je doba zdržení 5 dní. Zkušenosti ze zahraničí navíc ukazují, že doba zdržení 5 dní v septiku nezpůsobuje zápach, jak se předpokládá v České republice a na základě čehož se septiky neprojektují. Účinnost odstranění nově vyvinutého septiku (v rámci jiného výzkumného projektu) se při dlouhodobém testovacím provozu v akreditované laboratoři pohybuje např. u $CHSK_{Cr} = 65 \%$, $NL = 72 \%$. Vše souvisí s rychlostí jednotlivých proudnic, dobou zdržení, zkratovými proudy, řešením norných stěn apod.

4.1.3 Velkoobjemový vícekomorový septik

Pro praxi a dlouhodobé provozování se jeví soustava vícekomorových velkoobjemových septiků jako vhodnější řešení. Např. v Rakousku při využívání tříkomorových septiků nemají s ucpáváním filtračního materiálu problémy ani po 15 letech. Nevýhodou takového řešení je pouze **cena investice**, která může představovat pro obec cca 300 EO investici v oblasti 1 000 000,-Kč. Na řadu přichází argumentace odpůrců kořenových čistíren o nevýhodnosti z pohledu investice ve srovnání s klasickými čistírnami, nicméně je potřeba si uvědomit, že provozně se septiky s vlastním kalovým hospodářstvím pohybují na minimálních hodnotách. Opět jako příklad – kalové hospodářství založené na reed-bed systému v blízkosti mechanického předčištění může vycházet obec o 300 EO na částku 6 000,-Kč/rok, tzn. vliv na **stočné max. 1,00,-Kč/m³**.



4.2 Horizontální filtr

Technologie kořenových čistíren, založená na principu horizontálních filtrů, je na území České republiky používána a navrhována téměř ve všech případech. Mezi hlavní důvody jejich rozšíření patří zejména jednoduchost návrhu a realizace. Nevýhodou jsou všechny známé důsledky spojené s anaerobním prostředím, které vzniká v horizontálním filtru.



4.2.1 Návrh velikosti filtrační plochy

Téměř veškerá dostupná literatura uvádí návrh horizontálních filtračních polí podle vzorce, zajišťujícího odstranění znečištění BSK_5 . Praxe ukazuje, že s organickým znečištěním, definovaným jako hodnota BSK_5 , jsou horizontálně protékané filtry schopny se vypořádat.





Odtokové parametry jsou často velice nízké, tzn. účinnost dostatečné k dodržení limitů pro vypouštění do povrchových i podzemních vod.

$$A_h = \frac{Q_d(\ln C_{in} - \ln C_{out})}{K_{BSK_5}} (m^2)$$

kde	A_h	povrchová plocha kořenového filtru (m^2)
	Q_d	průměrný průtok odpadní vody ($m^3 d^{-1}$)
	C_{in}	BSK ₅ na přítoku do filtru ($mg l^{-1}$)
	C_{out}	BSK ₅ na odtoku z filtru ($mg l^{-1}$)
	K_{BSK}	rychlostní konstanta úbytku znečištění (m/d), doporučovaná hodnota 0,10

Evropská směrnice z roku 1990 doporučuje pro čištění městských splaškových vod hodnotu reakční konstanty $K_{BSK} = 0,1 m d^{-1}$, což většinou dává návrhovou plochu kořenových polí $5 m^2/EO$. Tato hodnota se ukázala jako velmi vhodná. Analýzou 624 VKČ pro čištění splaškových vod po celém světě byla zjištěna průměrná hodnota $K_{BSK} = 0,122 m d^{-1}$ (pro BSK₅ na přítoku na kořenová pole $> 40 mg l^{-1}$). Pro účinné odstraňování amoniaku a fosforu je nutné volit reakční konstantu výrazně nižší – cca $0,025 m d^{-1}$ (Vymazal a kol., 2008), čímž vychází velikost filtrační plochy téměř 5x vyšší. Při standardních průtocích (daných normami) a koncentracích (určenými legislativními požadavky) vychází průměrná hodnota $5 - 6 m^2/EO$, resp. $25 - 30 m^2/EO$ při požadavku odstraňování amoniaku.



Vysoká náročnost na plochu řadí horizontální filtrační pole do skupiny „nekonkurenceschopné“. Z tohoto důvodu je vhodnější využití filtru s vertikálním prouděním (detaily v samostatné kapitole), případně při rekonstrukci stávajícího filtračního pole je možné zvýšit účinnost horizontálního filtru aplikací pulzního vypouštění filtračního pole.

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 $N-NH_4^+$, protože projektanti jsou logicky tlačeni k co možná nejnižším plochám filtračních polí.

4.2.2 Návrh rozdělovacího potrubí

Samotný návrh rozdělovacího potrubí není z pohledu celkové účinnosti zásadním faktorem. Měření na poloprovozní čistírně v obci Kotečnice ukázalo, že účinnost odstranění BSK₅ více ovlivňuje teplota vody, vzrůst a kondice mokřadních rostlin, celkové zapracování systému, zrnitost použitých filtračních materiálů a doba zdržení odpadní vody ve filtru. Ve výsledku není potřebné řešit rozdělovací potrubí tak pracně jako v minulosti. Naopak se ukázalo např. na zakolmatovaném filtračním poli v obci Dražovice, že řešení potrubí pomocí děrovaných otvorů s průměrem 20 mm po vzdálenosti 1500 mm je nevhodné řešení. Nicméně, s ohledem na uvedený fakt, že uspořádání potrubí nemá vliv na účinnost, je vynaložené úsilí na optimalizaci bezvýznamné. Podstatné pro návrh rozdělovacího potrubí je:



- **Dostatečně dimenzované vícestupňové mechanické předčištění** – alespoň dvě nádrže, optimálně tři komory (předejítí postupnému ucpávání potrubí)
- **Umístění nad úroveň filtračního materiálu** (předejítí prorůstání kořeny mokřadních rostlin)



Jako doporučení je možné uvést: **přítok odpadní vody na filtr je lepší rozvézt na dvě, případně čtyři místa užším potrubím, které zajistí dostatečnou eliminaci zkratových proudů**. Přesto, ovlivnění výsledku ve srovnání s několika desítkami otvorů v příváděcím potrubí, je minimální.



4.2.3 Návrh 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. 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 také vede vzhledem k přítomnosti anaerobního prostředí k jejich rozkladu za uvolňování bioplynu, tzn. metanu a amoniaku. 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.**

Důvody pro použití jemného materiálu je potřeba obezřetně posoudit a zvážit. Jelikož filtračním materiálem protéká odpadní voda, má frakce (zrnitost, velikost kameniva) zejména u vertikálních 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 BSK_5). Jemnější materiál navíc zajistí u vertikálních filtrů lepší nárost biofilmu (směs několika druhů bakterií), odstraňujícího i další sledované parametry ($N-NH_4^+$).

Další výhodou jemnějšího filtračního materiálu ocení zejména realizátor stavby – jedná se o snadnější práci s jemným materiálem, který lze nabírat bez problémů pomocí lopat, lze jej snadno hrabat a urovnávat pomocí lehkého ručního nářadí apod. Navíc jemný materiál působí přirozeněji než drcený štěrk o frakci např. 32/64mm.

Z provozního pohledu je jemnější materiál vhodnější při procesu regenerace, jelikož jemný materiál se ucpává pouze do malé hloubky (tenké vrstvy). Naopak hrubozrnný filtr se často ucpe až do hloubky 0,5 metrů – což při regeneraci zvyšuje náklady na vytěžení ve srovnání s několikacentimetrovou vrstvou štěrku o frakci 4/8 mm.

4.3 Vertikální filtr

4.3.1 Návrh velikosti filtrační plochy

Zásadní rozdíl v dimenzování vertikálních filtrů vychází ze zkušeností a norem v Rakousku, kde mají se zemními vertikálními filtry osázenými vegetací (vychází z doslovného překladu „*bepflanzene bodenfilter*“). Po více jak 10 letech provozu se nevyskytuje ani náznak kolmatačních procesů (spojených s ucpáváním filtračního materiálu), nevyskytuje se zápach linoucí se z filtrů a současně se odtokové znečištění pohybuje velice blízko hodnotám nulovým ($\text{N-NH}_4^+ < 1,0 \text{ mg/l}$).



Návrh velikosti filtrační plochy vychází z koncentrace znečištění CHSK_{Cr} , protože s N-NH_4^+ se při maximální navržené úrovni hydraulického zatížení (tj. výška vodního sloupce přepočtená na plochu filtru, jednotka mm/den) vertikální filtr bez problémů vypořádá.



Podle zkušeností, které jsme získali výzkumnými pracemi, spojenými s vývojem optimálního řešení, kontrolovaného měřením a průběžnými výsledky, jsme došli k zásadnímu závěru, že účinnost, velikost a dimenze vertikálního pulzně skrápěného filtru, je **$15,0 \text{ g}_{\text{CHSK}}/\text{m}^2/\text{den}$** – což je nejspíše nejdůležitější údaj, podle kterého se musí při návrhu postupovat (v Rakousku dostavují účinnosti $20 \text{ g}_{\text{CHSK}}/\text{m}^2/\text{den}$)

Návrh půdorysné velikosti vertikálního filtru tedy vychází z celkového denního zatížení CHSK_{Cr} , které přitéká na vertikální filtr. Optimální je znalost kvality a kvantity odpadní vody, vycházející při stávající kanalizaci z reálného stavu (známé a měřitelné průtoky na výusti z kanalizace, opakovaně prováděné slévané vzorky). Případně, pokud se jedná o nově řešenou kanalizaci, je vhodné vyjít z normových hodnot, případně z reálné spotřeby pitné vody (situace s obecním vodovodem).



Výsledkem výpočtu tedy je:

- **Denní zatížení CHSK_{Cr}** přitékajícího z mechanického stupně čištění. Při účinnosti septiku $\mu = 50 \%$ (vícestupňové mechanické předčištění, dále odtéká 50 % znečištění) je koncentrační odtok ze septiku na filtrační pole



$$\text{CHSK}_{\text{Cr}} = 120 \text{ g/obyv./den} * (50 \%) = 60 \text{ g/obyv./den.}$$

- **Odstranění CHSK_{Cr} filtrem** vychází z ověřené hodnoty, filtr zpracuje $15(\text{g/m}^2/\text{den})$, tzn.

$$60 \text{ (g/obyv./den)} / 15 \text{ (g/m}^2/\text{den)} = 4,00 \text{ m}^2/\text{obyv.}$$

Následně je potřeba na známou velikost filtru navrhnout rozdělovací potrubí, kterým přitéká v maximálně 5 – 10 dávkách za den. Současně hydraulické zatížení by nemělo přesahovat maximální hodnotu $h_v = 125 - 150 \text{ mm/den}$. Minimální hodnota není definována ani není potřeba se jí podrobně zabývat. Hlavní výhodou vertikálních filtrů je odolnost vůči silně rozkolísaným přítokům (s dodržením výše uvedené hodnoty max. přítoku $150 \text{ litrů/m}^2/\text{den}$). Vertikální filtr při vzrostlé vegetaci spolehlivě vyčistí i víkendově provozované objekty (mokřadní rostliny snesou i dlouhodobé výpadky přítoku, nehrozí jejich úhyn).



4.3.2 Návrh filtračních materiálů

Skladba jednotlivých vrstev vychází z vlastních měření, podložených zkušenostmi v Rakousku. Výškový profil vertikálního filtru je rozdělen na několik vrstev, přičemž na povrchu filtračního materiálu je umístěno rozdělovací potrubí a při dně filtru je rozloženo sběrné drenážní potrubí.

Výškový profil je v optimálním případě složen z následujících vrstev:

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

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

** (vhodné, ale není bezpodmínečně nutné)

Celková výška vrstvy filtračních materiálů tedy vychází v rozmezí 800 – 1100 mm. V zásadě je vhodné při očekávání nízkých koncentrací znečištění použít hlavní filtrační vrstvu o výšce 500 mm a naopak. Spodní kompenzační vrstva a pískový podsyp pod hydroizolací je nutný pouze v případě přítomnosti nevhodného podkladu (ostré kamenivo), nebo nemožnosti zarovnání terénu tak, aby se nevyskytovaly nerovnoměrnosti, vedoucí k poškození nebo jiné deformaci hydroizolace.

4.3.3 Návrh rozdělovacího potrubí

Rozdělovací potrubí tvoří základní prvek pro správnou funkci celého vertikálního filtru. Další podmínkou je přerušovaný provoz (pulzní napouštění potrubí), skladba filtračního materiálu dle výše uvedeného a zatěžování podle návrhových parametrů.

Rozdělovací potrubí, jak bylo vyzkoušeno a ověřeno, je optimální realizovat z plastového potrubí, které je určeno pro vnitřní kanalizace – materiál šedý polypropylen, označení PP-H nebo PP-HT. S ohledem na kompatibilitu s potrubím pro venkovní kanalizace a výrobním sortimentem několika výrobců je vhodné používat dimenze:

- Přívodní potrubí: DN 110
- Rozdělovací potrubí: DN40

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 rozdělovacím 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 l/s, tzn. vyhovuje pouze malým producentům, cca do 10 EO), elektroventilem nebo automatickým pulzně dávkovacím zařízením (pulzní vypouštěč), které pracuje bez nutnosti obsluhy a bez přívodu elektrické energie. Při kontinuálním provozu může být průtok jedním otvorem v rozdělovacím potrubí podle níže uvedeného výpočtu $Q_1 = 0,06$ ml/s, tzn. **v reálném provozu nelze dosáhnout rovnoměrného rozdělení po povrchu celého filtru bez pulzního dávkování odpadní vody.**



Další podmínky, které je nutno dodržet:



MINISTERSTVO
PRŮMYSLU A OBCHODU



- Příváděcí i perforované potrubí musí být uloženy velice přesně ve vodorovné rovině (tolerance mezi nejnižší a nejvyšší 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



zámkovou dlažbou po vzdálenosti 500 - 600 mm (tj. 3 – 4 ks/m). Předchází se tak posunu a vyvýšení potrubí vlivem silné a husté mokřadní vegetace, zároveň se zajistí eliminace vnosu znečištění (zejména zbytky listů, 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 příváděcí potrubí a perforovaného rozdělovací potrubí.
- Otvory v perforovaném rozdělovacím potrubí musí být všechny ve spodní části. Nutnou podmínkou je kontrola při realizaci potrubí, resp. při testování a prvním napouštění rozdělovacího 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)

- 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 60 - 80 cm** vyvedeny rozdělovací řady DN40. Optimální je uspořádání:

Přívod – (DN110 dl. 500mm – odbočka DN110/40 vlevo - odbočka DN110/40 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 (kruhový otvor se závitem).

Samotné rozdělovací potrubí je řešeno tak, že ve spodní části je po vzdálenosti 25 cm vyvrtán otvor o průměru 5,0 mm.

4.4 Terciální dočištění

Terciální stupeň čištění nebyl předmětem náplně výzkumných prací. **Zkušenosti ale ukazují, že při správném návrhu a provozu vertikálních systémů není nutné žádné další dočišťování (vyjma případů, kdy se sleduje N_{celk} nebo $N\text{-NO}_3$ na odtoku).**



5 Koncepce a uspořádání kořenové čistírny

Obecným pravidlem pro optimální a udržitelné provozování kořenové 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 čistírny, různými koncepcemi využití jednotlivých stupňů, variabilním a individuálním půdorysným uspořádáním, propojením, atd.

Kořenová čistírna odpadních vod je stavba, k níž je potřeba přistupovat individuálně a stejně tak ji navrhovat a posuzovat. Lze se však orientačně držet pravidel pro návrh.



5.1 Vertikální filtrační pole

Jelikož z podstaty vegetačních 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. 6). Téměř všichni autoři vědeckých článků v oblasti kořenových čistíren konstatují vyšší účinnosti vertikálních kořenových čistíren (vertikálních filtračních polí, vertikálních filtrů, apod. názvosloví). **Nicméně ani předimenzovaný vertikální filtr nemusí správně fungovat, pokud je nevhodně navržen systém rozdělovacího 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}, BSK₅ a zejména N-NH₄⁺ (hodnoty vychází z rozborů poskytnutých několika obcemi v Rakousku).**

Nerozpuštěné látky jsou vzhledem k použitému materiálu zachycovány a rozkládány spolehlivě tak, že na odtoku ze správně navrženého vertikálního filtru jsou koncentrace NL menší než 10 mg/l.

Takto navržené potrubí nebude v zimním období zamrzat (po pulzním napouštění se pomocí otvorů ve spodní části vypustí), nebude prorůstat kořeny rostlin (je nad terénem), nebude v něm narůstat biofilm (v potrubí se nevytvoří stojatá voda, většinu času bude prázdné). Zároveň pomocí úzkých profilů DN40 zajistí vyšší rychlosti, tzn. rychlejší dopravení vody



k otvorům na konci potrubí. Rychlejší zatopení potrubí DN40 se projeví téměř stejnou tlakovou výškou nad všemi otvory, kterých 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.

5.1.1 Pulzně skrápěné vertikální filtrační pole



Zásadní rozdíl v odtokových parametrech nastává při uplatnění pulzně skrápěného vertikálního filtru. Takto řešený filtr vykazuje téměř ve všech parametrech lepší výsledky, jelikož **je schopen do odpadní vody dodat několikanásobně více kyslíku**, než zatopené vertikální filtry resp. horizontálně protékané filtry.

Tab. 6 Srovnání výhod a nevýhod dvou různých provedení filtrů

Pulzně skrápěný vertikální filtr	Horizontální filtr
Složitější návrh (potrubí)	Jednodušší návrh (potrubí)
Vyšší účinnost ve všech parametrech*	Nižší účinnost ve všech parametrech
Potlačení potenciálního zápachu – aerobní prostředí*	Možnost zápachu – anaerobní prostředí
Menší náročnost na plochu	Větší náročnost na plochu
Vyžaduje dostatečný spád terénu (min. převýšení přítok-odtok 2,0 m)	Většinou vhodné terénní podmínky
N-NH ₄ ⁺ odstraňuje i v zimě*	N-NH ₄ neodstraňuje dostatečně ani v létě

* Závěry vychází z výsledků realizovaných na jedné obecní kořenové čistírně, řešené jako 13 samostatných filtrů, které jsou zapojeny na stejné množství stejně znečištěné odpadní vody (čerpání z jedné akumulární jímky)

5.2 Horizontální filtrační pole



Horizontální pole jako samostatný filtr, umístěný za mechanickým stupněm čištění, je v dnešní době vzhledem k nízké čistící účinnosti znečištění N-NH₄⁺ považováno za řešení, které sice vyhovuje stávajícím limitům pro vypouštění, nicméně jako technologii je vhodnější doplnění navazujícím stupněm čištění. Stávající horizontálně protékané filtry trpí nedostatečnou účinností (N-NH₄⁺), často se na odtoku do toku tvoří za výstupu šedobílý povlak, charakteristický pro silně anaerobní prostředí, v němž se produkuje rozkladem organické hmoty sirovodík, srážející se v šachticích a v odtokovém potrubí.



Často doprovázeným jevem u horizontálních polí je **kolmatace (ucpávání)** povrchu ve směru od přítokového potrubí po odtok. Nutno je upozornit, že horizontální filtr se při správném návrhu mechanického stupně nemůže ucpávat, postupné usazování na povrchu je vždy způsobeno vyplavováním



nerozpuštěných látek z předchozího, mechanického stupně čištění. Pokud je mechanické předčištění provedeno spolehlivě, dimenzováno dostatečně a provozováno podle vhodného provozního řádu, není možné, aby docházelo k ucpávání povrchu filtru.

Rekonstrukce stávajících filtračních polí, které vykazují náchylnost k ucpávání, je tedy vhodné řešit ne v rámci horizontálního filtru, ale **pozornost je potřeba věnovat právě mechanickému stupni čištění**. Největší důraz je nutno soustředit na nárazové hydraulické přetížení na jednotlivých kanalizačních systémech. Nejčastějším důvodem ke kolmataci jsou špatně provedené odlehčovací komory, které na mechanický stupeň pouští často až 10 x větší průtoky, než jsou $Q_{\max}$ projektované. Logicky potom následuje při každém intenzivním dešti částečné vyplavení akumulovaného kalu ve šterbinové usazovací nádrži nebo vícekomorovém velkoobjemovém septiku.



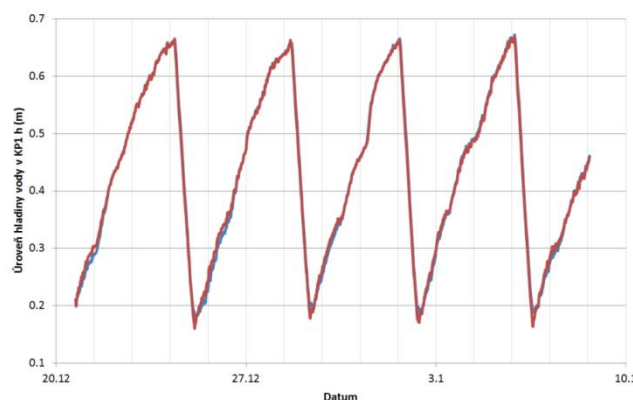
5.2.1 Pulzně vypouštěné horizontální filtrační pole

Vysoká inovativnost v oblasti horizontálních filtračních polí spočívá v doplnění prvku nebo 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, lepší odstranění zejména amoniakálního dusíku.



Technické řešení spočívá v umístění pulzně-vypouštěcího zařízení za filtračním polem. Zařízení umožňuje bez nutnosti napojení na elektrickou energii 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 (750 EO), **výsledky z měření dokazují nejen efektivnější odstranění amoniakálního dusíku, ale i dostatečné potlačení odtokové koncentrace CHSK_{Cr} a sirovodíku, způsobujících senzorické problémy, korozi betonu, aj. provozní problémy.**



Výhody přechodu na pulzní vypouštění	Nevýhody pulzně vypouštěného horizontálního pole
Nejlevnější řešení při rekonstrukci	Nutnost investice do úpravy odtokové šachtice
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)	-
Bez nutnosti napojení na elektřinu	-
Trvanlivé řešení s téměř nulovými provozními náklady	-
Plastové a nerezové provedení, zaručující dlouhé životnosti	-
Potlačení zápachu linoucím se z revizní šachtice	-
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).

5.3 Systém vertikální + horizontální filtrační pole

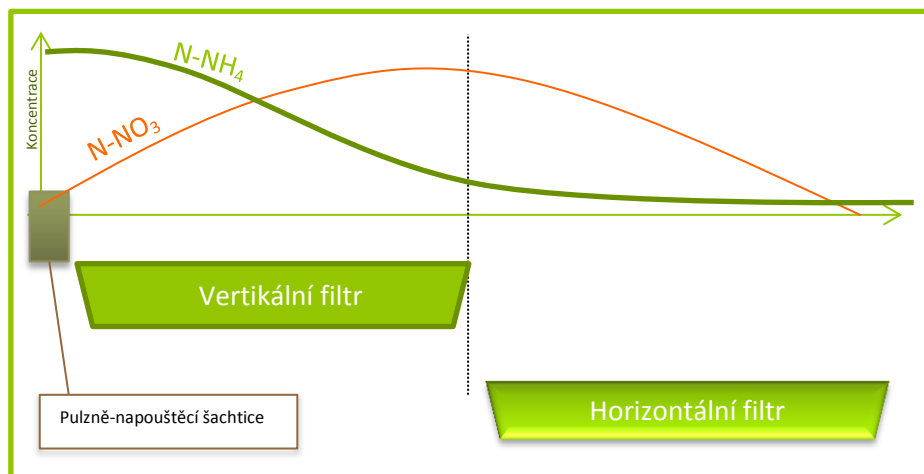
Uspořádání, které lze analogicky přirovnat k aktivační a denitrifikační nádrži, najde uplatnění zejména u malých producentů, kteří nejsou napojeni na kanalizační síť, případně u producentů, u nichž je potřeba podle současné legislativy (NV 61/2003 Sb.) sledovat celkový dusík N_{celk} . Kategorie ČOV, která toto sledování vyžaduje, je však pro 10 001 – 100 000 EO, pro které není v České republice pochopení z důvodu zaběhnutých systémů ČOV založených na aktivačních procesech. Pro větší producenty než 50 EO, kteří vypouští vodu do povrchových toků, je tedy toto řešení nadčasové – v případě, že se v budoucnu budou zpříšňovat limity pro vypouštění N_{celk} , bude takové řešení s největší pravděpodobností splňovat přísnější limity.



Důležité je však upozornění, že horizontální filtr má zejména denitrifikační funkci. Jeho funkci je možné nahradit stabilizační nádrží s plovoucími čistícími ostrovy, které zajistí obdobnou funkci jako horizontální pole.



Odtokové koncentrace celkového dusíku jsou díky zapojení denitrifikačního horizontálního filtračního pole snižovány, nicméně se takto neděje bezprostředně po realizaci kořenové čistírny. Denitrifikační bakterie potřebují pro metabolické procesy jako zdroj energie organický uhlík, který se v odpadní vodě za horizontálním filtrem nevyskytuje. Dostává se do vody pouze prostřednictvím odumřelých částí rostlin.

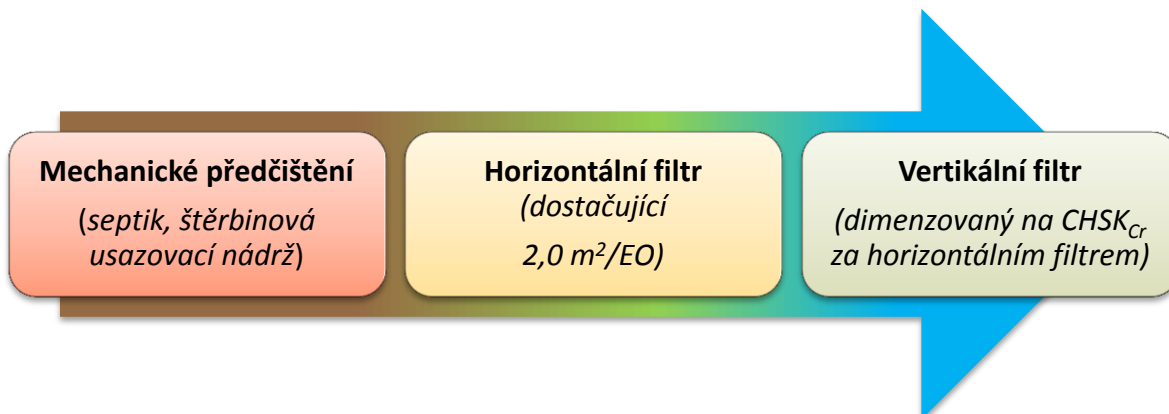


5.4 Systém horizontální + vertikální filtrační pole

Jedná se o netradiční řešení, které lze přirovnat u klasických čistíren (mechanicko-biologických) k pre-denitrifikaci. Horizontální filtr, který je předřazený filtru vertikálnímu, představuje záruku bezpečného provozu rozdělovacího potrubí na vertikálním filtru. Zároveň ale předřazené pole způsobí pokles hodnoty ORP do hluboce redoxních hodnot v rozmezí -200

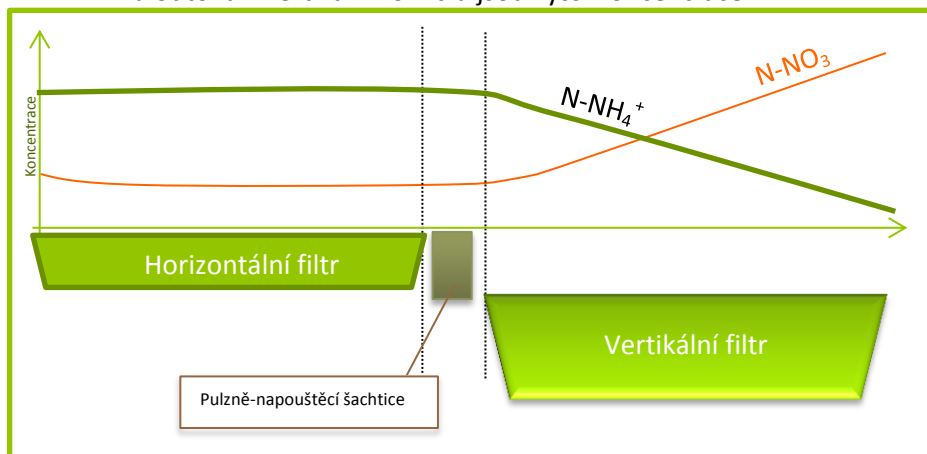
až - 300 mV, s čímž se vertikální filtrační pole nevyrovná tak rychle jako v případě přímého napojení za mechanický stupeň čištění. Lze uvažovat tak, že horizontální filtr plní funkci mechanického stupně čištění, zajišťuje zejména filtraci odpadní vody a tedy účinné zachycení nerozpuštěných látek (NL), doprovázené snížením koncentrací znečištění $CHSK_{Cr}$ a BSK_5 .

Systém je tedy koncipován jako soustava:



Jedná se o bezpečně realizované řešení, zaručující dlouhou životnost vertikálního filtru bez nutnosti precizně řešeného mechanického stupně čištění. Přesto je na místě uvažovat s následujícím:

- **očekávání kolmatačních procesů na začátku horizontálního filtru** (v případě uplatnění pouze jediné štěrbínové usazovací nádrže)
- **na horizontálním filtru není nutné vysazovat mokřadní vegetaci** (při odstraňování usazeného kalu z povrchu komplikují situaci)
- **vhodnější pro realizaci filtru je štěrk o frakci 4 / 8 mm** (jemnější frakce zabráňuje šíření vyplavovaného kalu do hloubky, kolmatace probíhá pouze v tenké povrchové vrstvě)
- **horní okraj urovnaného štěrkového materiálu na vertikálním filtru je pod úroveň 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



6 Regenerace kořenových čistíren

V rámci výzkumu MPO Biostream byla soustředěna pozornost také na možnosti regenerace filtračních materiálů, resp. řešení následků špatného návrhu a (nebo) provozování kořenových čistíren.



Důležité je upozornění, že ucpávání probíhá postupně vlivem poddimenzovaného mechanického stupně čištění (usazovací nádrž nebo vícekomorový septik):

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 rozdělovacím potrubí, následně jsou vyplavovány na povrch filtračního materiálu, ze kterého je tvořeno kořenové pole.
3. Následuje zachycení na pórech 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 „potůčky“ mezi vrstvou 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.



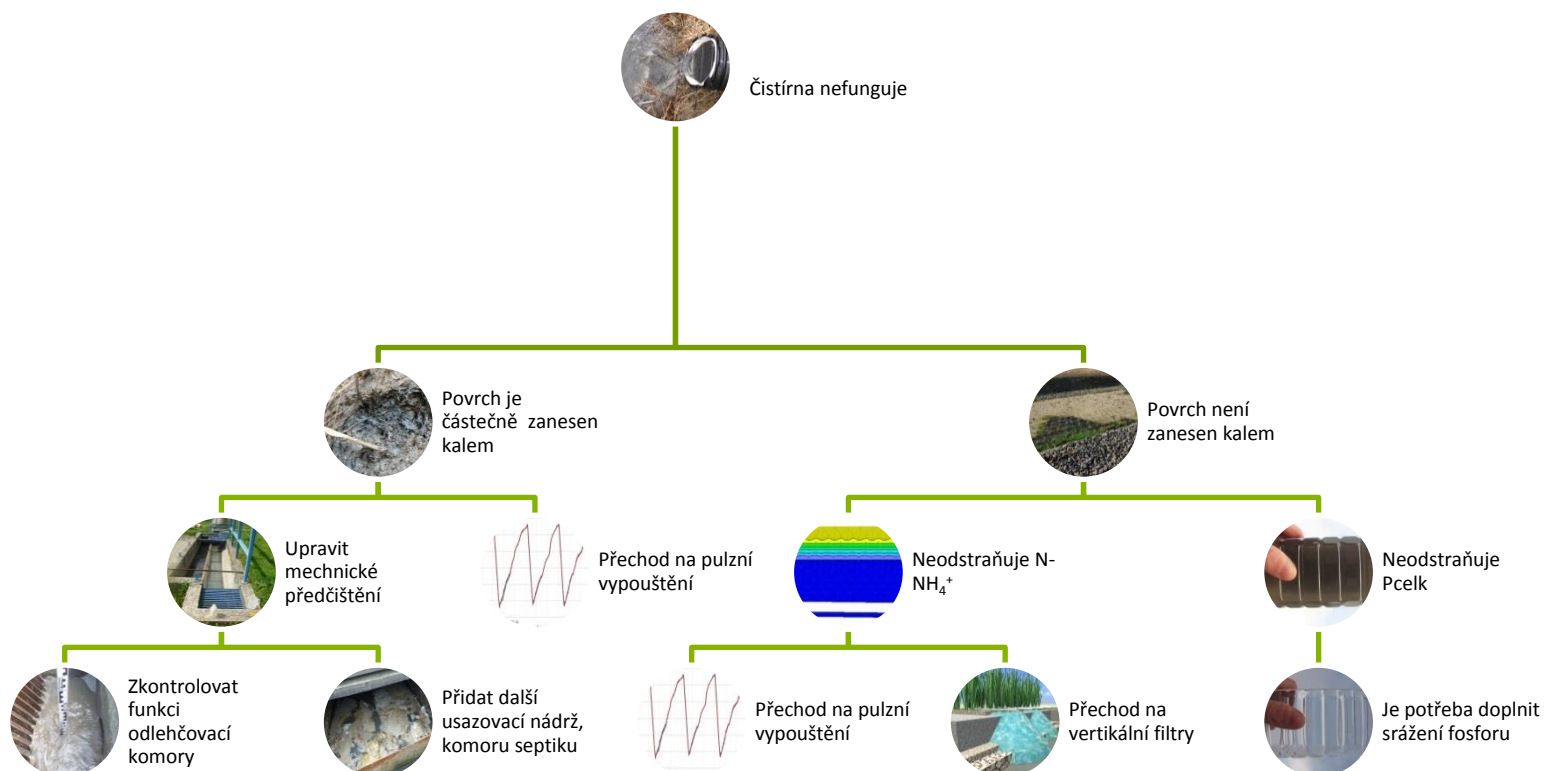
Popsaný postup kolmatačního procesu je impulzem k vyhodnocení a posouzení možností regenerace. Vyplývá z něj následující: **pokud kořenová čistírna vykazuje tendence k ucpávání filtru, je potřeba nejprve vyřešit mechanický stupeň čištění. Teprve potom je na místě řešení navazujícího stupně čištění (horizontální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



Rozhodovací proces před samotnou regenerací nebo rekonstrukcí je následující:



1. Posouzení stupně zakolmatování povrchu filtru
2. Sledování nedostatečné účinnosti vybraného parametru (N-NH_4^+ , P, CHSK_{Cr} , NL)
3. Nalezení ekonomicky výhodného a technicky nejlepšího řešení



7 Předpověď znečištění na odtoku z filtrů



Správný projekt kořenové čistírny libovolného typu a uspořádání je základem pro kvalitní odtokové parametry. Nicméně s ohledem na neomezené možnosti a kombinace průtoků, koncentrací znečištění, dimenzí filtračních polí a všech vnějších podmínek nelze ani u dvou geometricky stejných čistíren očekávat stejné odtokové parametry. Pro nejpřesnější stanovení odhadovaných parametrů lze jako u předpovědi počasí použít předpovědní modely. **Složitě filtrační prostředí a biochemické rozkladné procesy nejlépe napodobuje simulační model HYDRUS 2D + doplňkový modul CW2D (Constructed Wetland, tj. kořenová čistírna ve 2D rovině).**



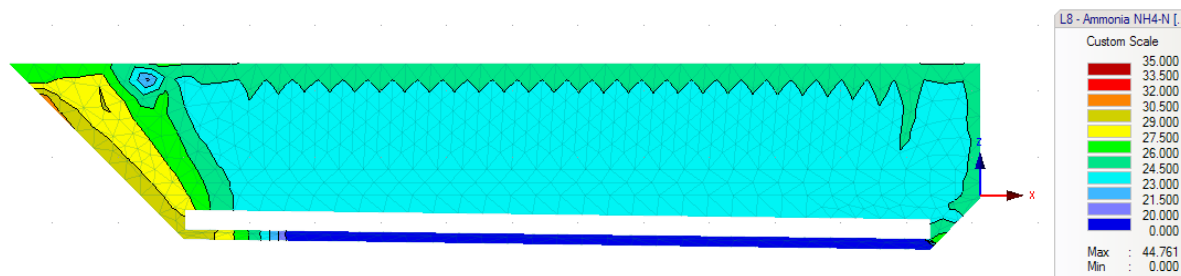
Jak ukázaly domácí a zahraniční studie, je Hydrus účinným nástrojem a nenahraditelným pomocníkem pro návrh a kontrolu chování všech druhů filtračních polí kořenových čistíren a zemních filtrů. Právě a v současné době pouze HYDRUS 2D CW dokáže spolehlivě simulovat účinky různých organických dějů, které při čištění odpadní vody probíhají a následně na základě známých vstupních hodnot koncentrací sledovaných látek (CHSK_{Cr} , BSK_5 , N-NH_4^+ , P_{celk}), dokáže předpovědět výstupní koncentrace těchto látek na odtoku z filtračního pole pro období dnů, týdnů či měsíců.

V programu HYDRUS 2D CW je možné namodelovat chování horizontálního i vertikálního filtru v nasyceném i nenasyceném prostředí. Přesné zadání geometrie pole dle skutečnosti, různé řešení přítoku a odtoku (různý typ potrubí) pomocí okrajových podmínek, typ filtračního materiálu v poli i výběr typu rostlin, které jsou na povrchu filtračního pole osázeny, umožňuje dokonale nasimulovat reálně řešené filtrační pole tak, aby byl model v programu HYDRUS 2D CW popsán co nejvěrohodněji. Samozřejmě se při tvorbě modelu zohledňuje mnohem víc kritérií, která popisují vlastnosti chování celého modelu, ale pro účely popisu není v tomto textu dostatek prostoru a je natolik náročný, že běžnému uživateli by přinášel zbytečné informace. Důležitý je závěr a aplikace v praxi:

- simulace proudění v definovaném projektu kořenové čistírny
- odhad chování za nepříznivých podmínek
- chování při extrémních průtocích
- chování systému po potenciální úpravě kanalizace
- přínos technického řešení předčištění + plány rekonstrukce filtrů

Obdobně jako při projektování kořenových čistíren se vychází i při definování simulačního modelu z co možná nejpřesněji získaných vstupních parametrů. Jedním z důležitých vstupních údajů je složení odpadní vody, která do filtračního pole přitéká. Na základě koncentrací již zmíněných

sledovaných parametrů lze procesem modelování získat informace o hodnotách koncentrací těchto látek. Je možné tak získat přehled o tom, jaké hodnoty CHSK_{Cr} , N-NH_4^+ , P_{celk} , N-NO_2 , N-NO_3 obsahuje odpadní voda na odtoku z kořenové čistírny.



Software HYDRUS 2D CW poskytuje jedinečnou možnost sledovat chování celého čistícího procesu, kontrolovat hodnoty koncentrací sledovaných látek a to v průběhu různého časového období, a v závislosti na změně důležitých projekčních parametrů filtračního pole (velikost pole, hloubka či samotný typ filtračního pole, atd.). Na základě takto vytvořeného modelu je pak možné zdokonalit celé řešení filtračních polí a najít ekonomicky a technicky nejlepší variantu pro návrh konkrétní KČOV.



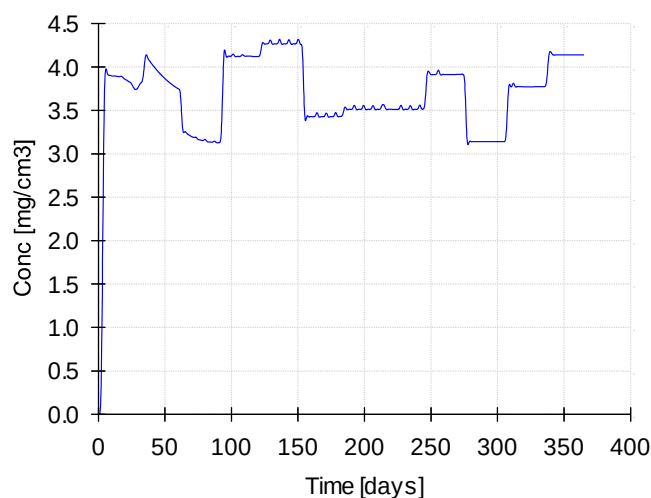
Příkladem může být znázornění řezu zatopeného vertikálního filtru na obrázku výše, ve kterém je sledována hodnota koncentrace amoniakálního dusíku N-NH_4^+ . Filtrační pole je znázorněno v podélně-svislém řezu, kdy je odpadní voda přiváděna rozdělovacím potrubím rovnoměrně na povrch a následně drenážním potrubím ve dně odváděna z filtračního pole pryč.

Dalším příkladem může být pozorování koncentrace celkového fosforu na odtoku z kořenové čistírny na obrázku vpravo.

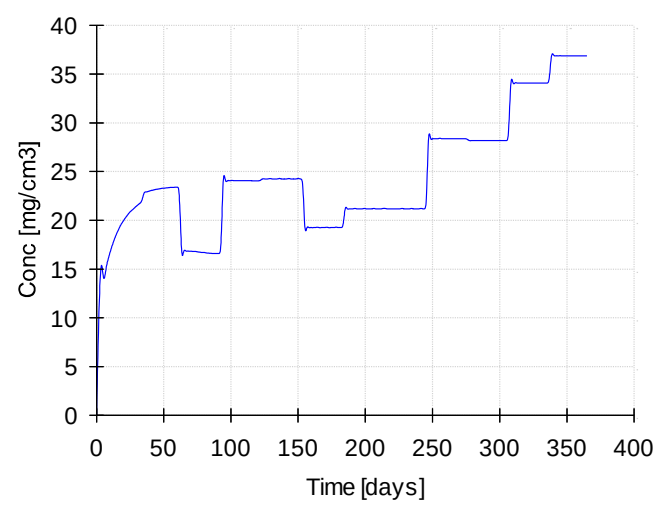
Výsledky z nakalibrovaného modelu korespondují s reálnými hodnotami, přičemž průměrná odchylka od skutečně naměřených hodnot je rozdílná o 5 %.



Observation Nodes: Concentration - 12



Observation Nodes: Concentration - 8



Obdobně jako výše uvedené koncentrace celkového fosforu na odtoku z filtru je možné pomocí modelu Hydrus 2D předpovídat koncentrace amoniakálního dusíku. Graf v levé části ukazuje výstupní koncentrace amoniakálního dusíku v odpadní vodě na odtoku ze zatopeného vertikálního filtračního pole v průběhu jednoho kalendářního roku.



Optimalizací návrhu, uspořádání, proudění, materiálů a potrubí, lze dosáhnout vysoce kvalitních výsledků. Hodnoty z posledních měření, která jsou prováděna těsně před ukončením projektu BIOSTREAM ukazují, že odtokové parametry jsou příznivější, než hodnoty znečištění v toku, do kterého je vyčištěná odpadní voda vypouštěna.

V samotném měrném žlabu je při hloubce 40 cm voda průzračně čistá, nezapáchá, hodnota ORP dosahuje v průběhu dne hodnot od +20 do +95mV, koncentrace amoniakálního dusíku se pozvolna snižují (předělání filtračních polí proběhlo během jarního období před vzrůstem mokřadních rostlin).

Do budoucna lze očekávat příznivé změny minimálně do letního období 2015, následný provoz ukáže funkčnost celého systému.

8 Literatura

1. ČSN 75 6402: Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel
2. ČSN EN 12566-1 (ČSN 756404): Malé čistírny odpadních vod do 50 ekvivalentních obyvatel - Část 1: Prefabrikované septiky
3. ČSN CEN/TR 12566-5: Malé čistírny odpadních vod do 50 ekvivalentních obyvatel - Část 5: Filtrační systémy pro předčištěné odpadní vody
4. Nařízení vlády 23/2011 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech k vypouštění odpadních vod do povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění nařízení vlády č. 229/2007 Sb.
5. Nařízení vlády 416/2010 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do podzemních
6. ÖNORM B 2505- Kläranlagen – Intermittierend beschickte Bodenfilter („Pflanzenkläranlagen“)
7. Vymazal, J., Beneš, J., Hrnčíř, P., Rozkošný, M., Šálek, J., Kriška, 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.