

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE

Návrh způsobu čištění odpadních vod z rodinného domu
v obci Jistebnice

DIPLOMOVÁ PRÁCE

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

Diplomant: Bc. Tat'ána Dušková

2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra aplikované ekologie

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Taťána Dušková

Ochrana přírody

Název práce

Návrh způsobu čištění odpadních vod z rodinného domu v obci Jistebnice

Název anglicky

Wastewater treatment design of on – site system in Jistebnice

Cíle práce

1. Popsat princip čištění odpadních vod s využitím přírodních způsobů
2. Přehled využití přírodních způsobů čištění odpadních vod v České republice
3. Charakterizovat způsob nakládání s odpadními vodami v obci Jistebnice
4. Navrhnout variantní způsoby čištění odpadních vod z rodinného domu v obci Jistebnice

Metodika

V první části bude provedena rešerše problematiky čištění odpadních vod přírodními způsoby. Ve druhé části bude provedeno terénní šetření v obci Jistebnice a ve třetí fázi budou navržena variantní řešení pro čištění odpadních vod z konkrétního objektu.

Doporučený rozsah práce

60 stran včetně příloh

Klíčová slova

odpadní voda, kořenová čistírna, zemní filtr, domovní čistírna

Doporučené zdroje informací

- Kočková E., Kříž P., Legát V., Šálek J., Žáková Z. 1994: Vegetační kořenové čistírny odpadních vod. MZ ČR, Praha.
- Mlejnská, E., Rozkošný, M., Baudišová, D., Váňa, M., Wanner, F. a Kučera, J., 2009. Extenzivní způsoby čištění odpadních vod. VÚV Praha a MŽP ČR.
- Šálek, J. a Tlapák, V. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. ČKAIT Praha, 283 p.
- Vymazal, J. a Kröpfelová, L., 2008. Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow. Springer, Dordrecht, 576 p.
- Vymazal, J. 1995. Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách. ENVI Třeboň a Ekologie a využití mokřadů, Praha.
- Vymazal, J. 2004. Kořenové čistírny odpadních vod. ENKI, Třeboň.
- Vymazal, J., 2009. Kořenové čistírny odpadních vod: 20 let zkušeností v České republice. Vodní hospodářství 59: 113-119.

Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Elektronicky schváleno dne 25. 4. 2012

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 18. 12. 2013

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 14. 04. 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením prof. Ing. Jana Vymazala, CSc. (další informace mi poskytli Ing. Josef Nádvorník z OÚ Jistebnice a Ing. Kateřina Teibichová z firmy ČEVAK), a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 14.4.2015

.....

Poděkování

Děkuji prof. Ing. Janu Vymazalovi CSc. za odborné vedení práce, za vstřícnost a laskavost během celého procesu jejího vzniku. Dále děkuji všem, kteří mi byli po tuto dobu jakkoli nápomocni.

V Praze 14.4.2015

.....

ABSTRAKT

V první části práce je formou rešerše popsán a vysvětlen princip čištění odpadních vod s využitím přírodních způsobů, podán jejich přehled i rozšíření a využití v České republice.

Práce dále přináší informace o vývoji a současném stavu nakládání s odpadními vodami v obci Jistebnice. Jistebnice se nalézá 12 km severozápadně od města Tábor v Jihočeském kraji v oblasti Přírodního parku Jistebnické vrchoviny. V těsné blízkosti obce je vytipována jedna z možných lokalit pro úložiště vyhořelého vysoceradioaktivního jaderného odpadu (lokalita Magdaléna).

Pro konkrétní rodinný dům nalézající se na okraji obce Jistebnice byl řešen problém se zneškodňováním odpadních vod. Dům není napojen na veřejnou kanalizaci, kvůli nejasnému stavebnímu vývoji okolních pozemků a s ním související možnosti vybudování kanalizace a zároveň současnému neuspokojivému stavu byly hledány alternativní způsoby řešení. Vzhledem k sezónní obydlivosti domu byly vytvořeny tři varianty řešení založené na přírodních způsobech čištění odpadních vod. Jako optimální byla vybrána varianta I., která je relativně finančně nenáročná, splňuje kritéria pro čištění odpadních vod a umožňuje přizpůsobení a využití systému pokud dojde k napojení rodinného domu na veřejnou kanalizaci.

Klíčová slova: Odpadní voda; kořenová čistírna; zemní filtr; domovní čistírna

ABSTRACT

The first part of this work describes and explains principles of the wastewater cleaning with help of the natural treatment, brings an overview of the natural cleaning methods and shows their utilization in the Czech Republic.

The work then focuses on history as well as the present state of the wastewater cleaning at the city of Jistebnice. Jistebnice is located 12 km out of Tábor in the South Bohemia at the border of the natural park Jistebnice highlands. In the close neighbourhood of Jistebnice there is a locality Magdalena, one of the possible places considered for a dump of radioactive wastes.

Finally, the problem of the sewerage water elimination is solved for a specific family house at the border of Jistebnice. The house is not using a public drainage, which was not projected due to unclear development plans for the surrounding grounds. This unsatisfactory situation led to attempts to find an alternative. Taking into the account the seasonal usage of the house, three variants of the wastewater natural cleaning were proposed. The variant No 1 was selected as an optimal one because it was cheap, fulfilled the cleaning criteria and allowed other usage of the system after possible connection of the house to the public drainage in future.

Keywords: Wastewater; constructed wetland; sand filter; household wastewater treatment

1. ÚVOD

Voda je základním předpokladem života na Zemi, takového, jaký známe. Podle našeho současného poznání život ve vodě vznikl a odtud se rozšířil na pevniny. Voda tvoří přibližně 70% našich těl. Voda byla po čas trvání lidského rodu předmětem strachu i úcty, všechny civilizace byly a jsou na vodě závislé. Za vodu se prosilo i děkovalo, vodě byly přinášeny oběti. Voda byla odpradávná také zdrojem imaginace, krásy a inspirace:

Studánku dej mi blízko u lesa/A nehlubkou/ Jenom na dlaň vody/ A do ní žabku která vodu čistí/ Na podzim povybírám napadané listí/ V zimě se budu starat aby nezamrzla/ A v srpnu zavedu tam lidi žíznivé/ A to je všechno/Snad je v moci tvé/ Udělat pro mne malý důlek vody/ Ve kterém by se odrážela nebesa (Skácel, 1998)

Vědecko-technický pokrok přinesl kromě zrušení bezprostřední a fatální závislosti na přírodním prostředí (a tím i zlepšení kvality života) změnu postoje nejen k vodě, ale i k dalším přirozeným předpokladům žití - k půdě, ovzduší i krajině domova. Tento postoj přinesl řadu problémů – patří mezi ně i znečištěné životní prostředí spolu se změnou klimatu. Předpokládá se, že stoleté povodně a stoletá sucha se budou opakovat s periodicitou 10 – 50 let. Srážkové úhrny klesají, roste četnost a intenzita přívalových srážek (Hlavínek a kol., 2007). Zároveň se zvětšuje urbanizovaná plocha a ubývá volné, přirozeně produktivní půdy. Tím se urychluje povrchový odtok a snižuje vsakování srážkové vody, což negativně ovlivňuje obnovu zásob podzemních vod.

Jak udává Kravčík (2008), s urychlením odtoku a menším vsakem srážkové vody souvisí také menší výpar – voda se může odpařovat, pokud je v krajině přítomná v dostatečném množství. Při nedostatku vody se sluneční energie nemůže transformovat do skupenského tepla při odpařování vody, zvyšuje se množství tepelné energie, která vytváří nad takto postiženou oblastí umělou tlakovou výši. Ta brání proniknutí srážek spojených s nižším tlakem, a tak se narušuje ustálený oběh vody v krajině a prohlubují již zmíněné klimatické jevy jako extrémní sucha a přívalové deště s následnými povodněmi.

Očekávané změny hydrologického cyklu mohou narušit funkci vodohospodářské infrastruktury. Vyšší teplota vzduchu změní charakter srážek v zimním období, které budou spíše dešťové než sněhové. Nebude tak dostatečná zásoba vody ve sněhové pokrývce počátkem jara, tím se sníží dotace podzemních vod, poklesne průtok vody ve vodních tocích i jeho rychlost. Nižší ředící kapacita toků způsobí zvýšení koncentrace znečištění odpadními vodami, následkem přívalových srážek a splachy ze zemědělské půdy. Zvýšení teploty vzduchu ovlivní i teplotu povrchové vody, která ovlivňuje rychlost chemických reakcí a bakteriálních procesů, růst fytoplanktonu, makrofyty a životní cykly vodních organismů.

Postupné odvodňování povede ke zvýšeným nárokům na odběry vody, a to především na zemědělské závlahy (Mrkvičková a kol., 2012). Potřeba závlah se uvažuje ve dvou alternativách. První předpokládá pomalejší průběh klimatických změn a s nimi související

potřebnou výměru závlah 180 tisíc hektarů (v ČR). V případě nejnepříznivější alternativy vývoje klimatických změn by potřebná výměra závlah činila 1085 tisíc hektarů (Zasadil, 2008). Podle klimatického scénáře (regionální klimatické modely HIRHAM a RCAO) pro období 2070 – 2100 (Novický, 2009) se má teplota vzduchu na území České republiky zvýšit v letních měsících až o 10 stupňů celsia (v rozmezí 4 – 10), v zimních měsících od 1 do 3,7 stupně celsia. Roční srážkové úhrny mají zůstat stejné, ale dojde ke změně jejich sezónního chodu. V zimě má být srážek více, v létě méně. Na východě Moravy mohou podle nejnepříznivějšího modelu klesnout až o 48%. Roční odtoková výška na velkých tocích by podle tohoto modelu klesala o 15% – 30% v lepším případě, v horším o 30% - 60%. Na podzim by odtok na středně velkých povodích mohl klesnout až pod pětinu současného stavu, v malých povodích by mohlo docházet k úplnému vyschnutí toků.

Pod hrozbou klimatických změn se začínají objevovat snahy o nová řešení pro hospodaření se srážkovou i odpadní vodou. Podle výhledu na dalších padesát let má více než 40% světové populace žít v zemích, které se budou trvale potýkat s nedostatkem vody. Potřeba vody v zemědělství a v městských aglomeracích tento problém ještě prohloubí. Pro zemědělství může být odpadní voda spolehlivějším celoročním zdrojem závlahové vody, nicméně zde zůstává závislost na spolehlivosti zdrojů vody pitné pro města (FAO, 2010).

V hospodářsky vyspělých zemích se prosazuje princip hospodaření s dešťovou vodou – STORMWATER MANAGEMENT (SWM). Jeho podstatou je zadržování srážkové vody na pozemku, na který dopadne a její zasakování. Pokud k zasakování nejsou vhodné podmínky, odtok vody se zpožďuje – voda je akumulována v nádržích a z pozemku odtéká postupně. Tím je dosaženo snížení odtoku v případě přívalových srážek, sníží se hydraulické a látkové zatížení povrchových vod (podle studií zpracovaných v Německu je ve srážkových vodách více škodlivin než v odpadních vodách z ČOV), klesne potřeba budovat retenční nádrže na stokové síti a také je možné používat menší profily stok než při konvenčním odvodnění, dále se zlepší mikroklima v urbanizovaných oblastech. To je však možné pouze v případě, že tento model bude uplatněn celoplošně v rámci městské aglomerace. (Pro šíření nových principů odvodnění EU iniciovala projekt RainDROP, hlavním účelem je ochrana toků a ochrana obyvatel před povodněmi. Cílem projektu, do kterého se zapojilo z České republiky město Karviná, bylo změnit situaci v územním plánování ve prospěch zmíněného hospodaření se srážkovou vodou (Vítek, 2007)).

V současné době se v souvislosti s chápáním odpadní vody jako zdroje energie a vody objevuje termín použitá voda a v rámci hospodaření s vodou v obytných budovách je snahou takto chápanou použitou vodu řešit (čistit, recyklovat a využívat) v místě, kde k jejímu znečištění došlo. Vychází se z myšlenky, že kvalita a množství pitné vody závisí na způsobu nakládání s použitou vodou. Čím méně je pitné vody, tím je tato závislost výraznější. Komplexní hospodaření s použitou vodou v budovách (především ve vesnicích a horských oblastech) je smyslem tzv. ekologické sanitace. V některých zemích se však i v městské zástavbě uplatňuje nový ekonomicko-ekologický pohled na stavby, ve kterých je recyklována nejen voda, ale i teplo. (Šálek a kol., 2012). V těchto trendech mohou mít přírodní způsoby čištění odpadních vod významnou roli spočívající ve zdržování odtoku vody a jejím dalším využití, zvyšování výparu, zlepšování kvality zemědělské půdy a

výnosů plodin při závlahách, produkce rychlerostoucích dřevin a v případě zodpovědného zasakování také obnově zásob podzemní vody.

2. CÍLE PRÁCE

Cílem práce je popsat princip přírodního čištění odpadních vod, porovnat jednotlivé způsoby a jejich využívání v České republice.

Provést terénní šetření v obci Jistebnice, na jeho základě charakterizovat způsob nakládání s odpadními vodami v obci Jistebnice a navrhnout variantní řešení pro čištění odpadních vod z rodinného domu v obci Jistebnice.

Z navrhovaných variant pak vybrat optimální řešení s ohledem na místní podmínky, výše zmíněné trendy a pravidla pro nakládání s odpadními vodami.

3. METODIKA

V první fázi byla soustředěna a nastudována odborná literatura týkající se problematiky čištění odpadních vod přírodními způsoby, provedeny rešerže. Další fází bylo vymezení zájmového území z hlediska obecných a hydrologických charakteristik a seznámení s terénní situací v okolí vodní sítě (říčka Smutná a její přítoky, rybníční soustava). Následovalo terénní šetření v obci Jistebnici, které se skládalo ze dvou částí.

V první části byly zjištěny informace o stokové síti v obci a způsobu čištění odpadních vod. Byla pořízena fotodokumentace, čistírny odpadních vod (4) byly identifikovány v terénu a zaneseny do mapy. Základní informace o stokové síti a čistírnách odpadních vod byly získány na odboru životního prostředí obce Jistebnice od ing. Nádvorníka spolu s kontaktem na ing. Teibichovou z firmy ČEVAK, která poskytla informace podrobné.

Cílem druhé části bylo vyhodnotit vhodnost lokality (obytný dům s přilehlým pozemkem) pro konkrétní způsob extenzivního (přírodního) čištění odpadní vody z tohoto objektu. Byly prostudovány stavební výkresy a proměřena část pozemku vhodná pro navrhovaný účel. Na základě výše uvedeného pak bylo navrženo několik variant pro čištění odpadní vody přírodními způsoby. Jednotlivé varianty byly vyhodnoceny a z nich pak vybrána taková, která nejlépe vyhovuje celkovým podmínkám.

4. PŘÍRODNÍ ZPŮSOBY ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD?

4.1 Princip čištění odpadních vod s využitím přírodních způsobů

V přírodním vodním, mokřadním i půdním prostředí probíhají neustále přirozené samočistící procesy, při kterých je klíčovým prvkem mikrobiální rozklad organických látek na látky jednodušší – tzv. mineralizace organické hmoty. Na něj jsou navázány další, související procesy. Při extenzivním čištění odpadních vod jsou tato prostředí (vodní, mokřadní, půdní) uměle vytvářena a využívána v různých typech zařízení, neboť vytvářejí příznivé podmínky pro rozvoj společenstev mikroorganismů, ale i pro další procesy nezbytné pro vyčištění odpadní vody.

Přírodní (extenzivní) způsoby čištění odpadních vod tedy využívají v přírodě běžné samočistící procesy. Jejich výhodou je přirozené začlenění do okolního prostředí, poměrně jednoduché stavební provedení, nízké provozní náklady, minimální potřeba energií a obsluhy, schopnost vyrovnat se s nárazovým přetížením balastními vodami, relativně dobrý čistící účinek a v některých z nich i poutání části dusíku a fosforu vegetací.

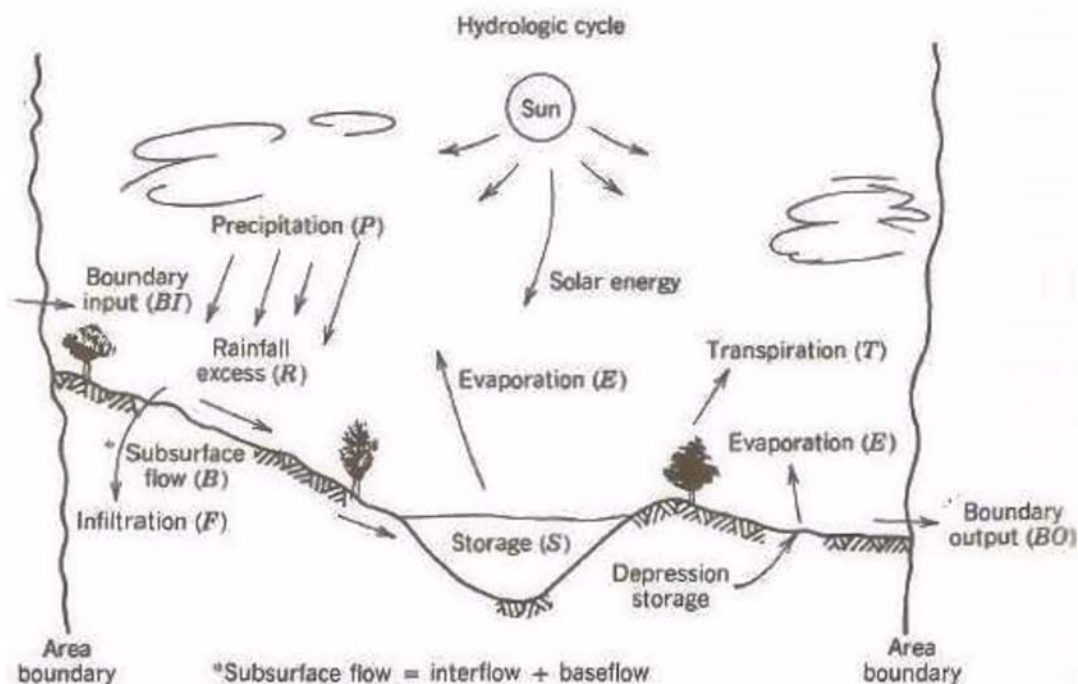
Další výhodou oproti klasickým intenzivním technologiím je možnost krátkodobého i dlouhodobého přerušení provozu a schopnost těchto zařízení čistit i organicky málo zatížené odpadní vody. Využívání předčištěných vod k závlaze může při jejich dočišťování přes půdní profil zlepšovat úrodnost půd.

Významný je přínos extenzivních technologií při zadržování vody v krajině, úpravě mikroklimatu a vytváření vodních a mokřadních biotopů vhodných pro řadu rostlin a živočichů v jinak nehostinném prostředí urbanizované nebo velkoplošně využívané krajiny (Šálek, Tlapák, 2006).

4.1.1 Voda podzemní, povrchová a srážková

Voda se v přírodě pohybuje v hydrologickém cyklu – atmosférická (srážková) voda dopadající na zemský povrch se částečně odpařuje, částečně odtéká jako voda povrchová a část jí prochází půdním profilem až na nepropustnou vrstvu, kde se může ve vhodných geomorfologických oblastech akumulovat a vytvářet tak zásoby podzemních vod. Ty pak mohou vyvěrat na povrch prameny a odtékat do moří jako vody povrchové. Moře pokrývají 70% rozlohy Země a obsahují 95% veškeré vody. Odpar mořské a povrchové vody sytí atmosféru vodními parami, které dříve či později kondenzují a opět dopadají na povrch Země ve formě srážek (Malý, Malá, 1996).

Retenci vody na vymezeném území lze stanovit podle rovnice $R=S+V-E-O$, kde R je retence vody v území, S atmosférické srážky, V množství vody přitéklé z přilehlých území, E evapotranspirace a O odtok vody z území. Hydrologický cyklus podle (Wanielista, 1990) je znázorněn na obr. č. 1.



Obr. č. 1: Hydrologický cyklus (Wanielista, 1990)

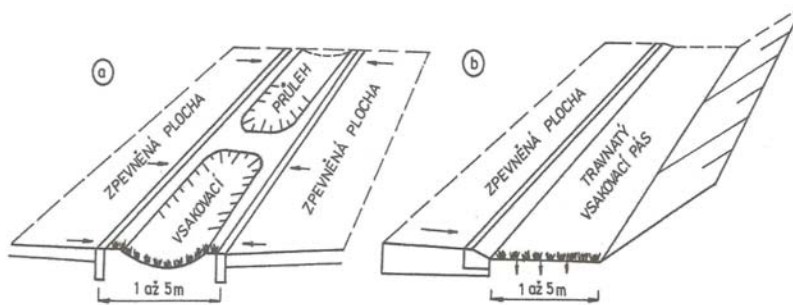
Již při průchodu atmosférou se do srážkové vody mohou dostávat (v závislosti na lokalitě) vedle oxidu uhličitého také oxidy síry a dusíku, toxické látky a těžké kovy. Oxidy síry a dusíku jsou příčinou tzv. kyselých dešťů (obsahují kyselinu dusičnou a sírovou), které snižují pH vody až k hodnotě menší než 3 (Malý, Malá, 1996).

V tabulce č. 1 je uvedena atmosférická depozice v roce 2013 na stanicích Rýchory a Hřiběcí boudy v Krkonoších. Měření provádí od roku 1981 Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. M. V Praze s cílem získat údaje o ceoplošném znečištění vodních toků a půdy depozicí síry, nutrientů a těžkých kovů. Měřením se potvrdilo, že hlavní složkou ve srážkových vodách jsou sírany a dusičnany (průměrná hodnota pH těchto vod je 5,65 na stanici Hřiběcí boudy a 4,90 na stanici Rýchory).

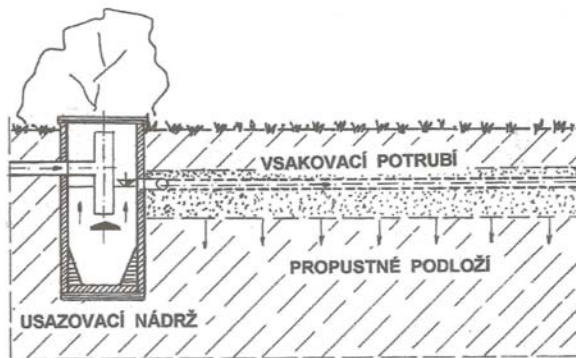
Tab. č. 1: Atmosférická depozice v roce 2013 na stanicích Rýchory a Hřiběcí boudy (Budská, 2004)

Stanice	Sírany	Dusičnany	Těžké kovy				
			Mangan	Olovo	Měď	Vanad	Zinek
Hřiběcí boudy	1,896 t/km ² rok	2,501 t/km ² rok	8,5 kg/km ² rok	5,8 kg/km ² rok	2,2 kg/km ² rok	4,4 kg/km ² rok	19,3 kg/km ² rok
Rýchory	1,872 t/km ² rok	2,023 t/km ² rok	6,3 kg/km ² rok	9,3 kg/km ² rok	1,9 kg/km ² rok	3,8 kg/km ² rok	13,8 kg/km ² rok

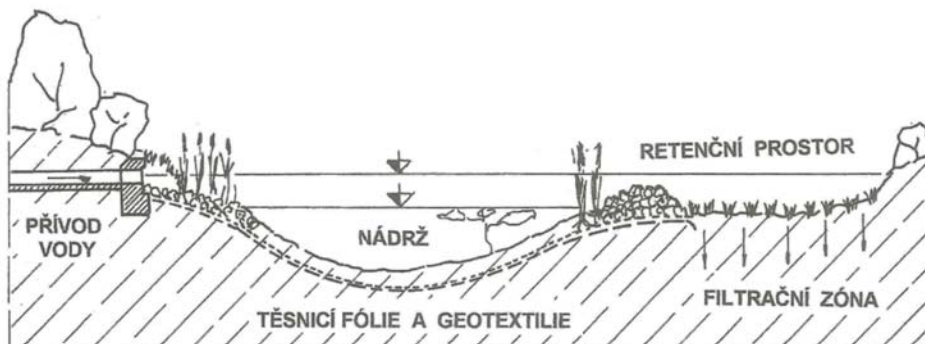
Srážkovou vodu je (podle stupně jejího znečištění) možné využívat k zalévání zahrad, parků a zelených střech, k mytí chodníků, parkovišť a komunikací a ke zvýšení zásob podzemní vody umělou infiltrací. Může se však používat, po úpravě a hygienizaci, i v domácnosti na splachování, praní, čištění nebo jako zdroj vody pro bazény. Pro umělou infiltraci srážkové vody jsou budována různá zařízení zobrazená na obr. č. 2 (vsakovací průlehy a pásy), na obr. č. 3 (vsakovací potrubí) a na obr. č. 4 (akumulační nádrž na dešťovou vodu) (Šálek, Tlapák, 2006):



Obr. č. 2: (a) Vsakovací průlehy, (b) vsakovací pás (Šálek, Tlapák, 2006)



Obr. č. 3: Vsakovací potrubí (Šálek, Tlapák, 2006)



Obr. č. 4: Akumulační dešťová nádrž s mokřadní filtrační zónou (Šálek, Tlapák, 2006)

Voda podzemní je spolu s upravovanou povrchovou vodou zdrojem vody pitné. Pro tento účel je v České republice podzemních vod nedostatek. Podzemní voda obsahuje rozpuštěné anorganické sloučeniny, kterými se obohatila při průchodu horninou. Jsou to zejména soli draslíku, vápníku a hořčíku, hydrogenuhličitany, chloridy a sírany. Vlivem zemědělské činnosti se v podzemní vodě mohou vyskytovat také nežádoucí dusičnany, případně látky další.

Povrchové vody tvoří vyvěrající vody podzemní a vody srážkové odtékající povrchovým odtokem. I v přírodních, antropogenně nekontaminovaných vodách se vyskytují látky organické. Jsou tvořeny produkty metabolismu zde žijících organismů a zbytky jejich odumřelých těl. Voda povrchová obsahuje podstatně více těchto látek než voda podzemní. Kvalita přírodních vod, především však vod povrchových, je nejvýznamněji ovlivňována odpadními vodami, které jsou do nich zpravidla vypouštěny (Malý, Malá, 1996).

4.1.2 Odpadní voda

Odpadní vodou se rozumí voda použitá, u které nastala změna vlastností. Před vypuštěním, nejčastěji do vod povrchových (recipientu), musí být odpadní voda vyčištěna na míru požadovanou vodohospodářským rozhodnutím. To stanoví mimo jiné množství vyčištěné odpadní vody, které může být do recipientu vypuštěno a limity pro jednotlivé složky znečištění, jejichž množství odpovídá velikosti zdroje. Pro městské odpadní vody se sleduje zejména koncentrace BSK₅, CHSK Cr, NL, N-NH₄⁺, P-celk.

Nedostatečně vyčištěné odpadní vody způsobují závady v kvalitě vody v tocích:

- zanášením koryt usaditelnými látkami
- vyčerpáním rozpuštěného kyslíku
- přítomností patogeních organismů
- kontaminací vody toxickými látkami (těžké kovy, fenoly aj.)
- eutrofizací (zvýšený přívod dusíku a fosforu)
- zvyšováním obsahu soli
- změnou teploty
- vizuelními a pachovými závadami (Malý, Malá, 1996).

Odpadní vody se rozdělují na splaškové (komunální), průmyslové (před vypuštěním do veřejné kanalizace by měly být předčištěné, zbavené toxických látek), srážkové a balastní (podzemní vody, které pronikají do kanalizace). Všechny tyto odpadní vody jsou ve většině případů odváděny veřejnou kanalizací, která může být jednotná, oddílná nebo modifikovaná (Šálek a kol., 2012)

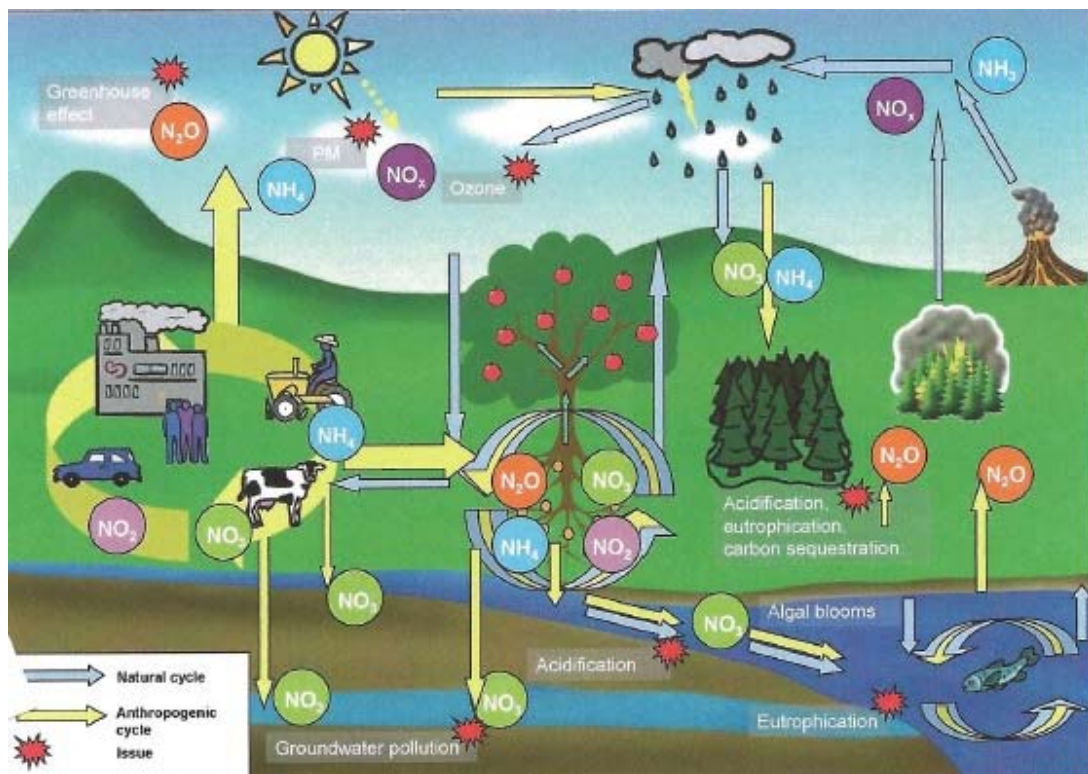
Jednotná kanalizace převažuje ve většině obcí, jedním potrubím jsou odváděny vody splaškové i srážkové, případně průmyslové a balastní.

Oddílnou kanalizací jsou odváděny zvlášť vody splaškové s průmyslovými a zvlášť vody srážkové (Malý, Malá, 1996).

Modifikovaná stoková soustava zahrnuje kombinaci jednotné i oddílné kanalizace navržené podle místních podmínek a možností toho kterého odvodňovaného území (Šálek a kol., 2012).

4.1.3 Přeměna látek

Všechny živé organismy na Zemi potřebují ke své existenci a růstu nezbytně biogenní prvky - kyslík, uhlík, dusík, vodík, fosfor a síru. Dalších 27 prvků, které mohou být v organismech vázány, již nemusí obsahovat každý druh. Při čištění odpadních vod je důležité odstraňování dusíku a fosforu, protože jejich nadbytek způsobuje eutrofizaci povrchových vod. Dusík je součástí bílkovin a nukleových kyselin rostlin i živočichů, fosfor zásadním způsobem ovlivňuje růst zelených rostlin. Průnik dusičnanů, případně dalších znečišťujících látek do podzemních vod je příčinou jejich znehodnocení (Elbl a kol., 2014). Antropogenně ovlivněný cyklus dusíku a proces eutrofizace je znázorněn na obr. č. 5 (Sutton, 2011).



Obr. č. 5: Cyklus dusíku ovlivněný lidskou činností (Sutton, 2011)

Při přeměně látek jsou rozkladné produkty jedněch organismů využívány jako substrát pro organismy další. Tím se udržuje koloběh látek tvořený procesy disimilačními

(rozkladnými – organizmy při nich získávají energii) a asimilačními (organická hmota buněčných těl je syntetizována). Potřebnou energii organizmy získávají při metabolických reakcích. Pro jejich průběh je rozhodující koncentrace rozpuštěného molekulárního kyslíku v prostředí.

Prostředí obsahující molekulární kyslík se nazývá aerobní (oxické). Prostředí kyslík neobsahující je nazýváno anaerobní. V anoxickém prostředí je kyslík vázaný do dusičnanů, případně dusitanů. Také organizmy rozdělujeme na aerobní a anaerobní podle základního metabolismu, kterým získávají přeměnou látek energii. Aerobní organizmy k oxidačním metabolickým procesům potřebují molekulární kyslík. Patří sem kromě vyšších živočichů také aerobní bakterie. Některé aerobní bakterie po vyčerpání kyslíku z prostředí změni metabolismus na anaerobní, nazývají se fakultativně anaerobní.

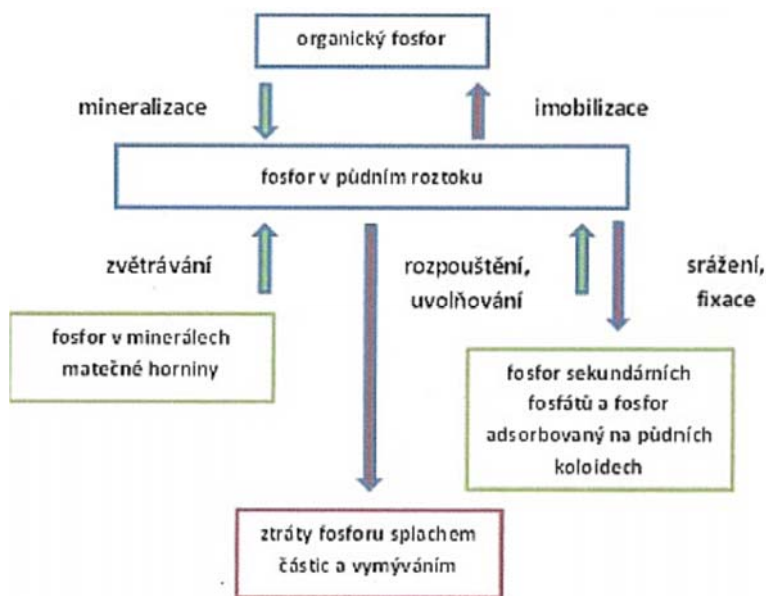
Anaerobní bakterie využívají k oxidaci organické hmoty místo kyslíku dusičnany a dusitany. Striktně anaerobní bakterie mohou existovat pouze v anaerobním prostředí, protože kyslík je pro ně toxický. Patří sem sulfát-redukující bakterie se schopností oxidovat organické látky působením síranů, které se redukují na sulfidy a dále metanogenní bakterie metabolizující jednoduché organické sloučeniny a směs H_2 a CO_2 na metan (Malý, Malá, 1996).

Mikroorganizmy rozkládají organickou hmotu rostlinného i živočišného původu včetně produktů živočišného metabolismu. Všechna tato hmota obsahuje dusík, který je činností mikroorganismů částečně vázán do jejich biomasy a částečně uvolňován ve formě amoniaku (Elbl a kol., 2014).

V aerobním prostředí nitrifikační bakterie oxidují amoniak na dusitany a dusičnany, tento proces se nazývá nitrifikace. V anoxických podmínkách probíhají procesy denitrifikační, kdy jsou dusičnany redukovány na dusitany a ty pak na elementární dusík a oxid dusný, přičemž malé množství může přejít na amoniak. Živočichové dusík získávají z rostlinné či živočišné potravy (tkáně živočišných těl, pletiva rostlin), kde je vázaný v organických sloučeninách (Malá, J., Malý, J., 1996; Megonikal et al., 2005).

Přeměny fosforu probíhají po menších krocích, které na sebe nenavazují, tak jako je tomu u dusíku. Ihned po vstupu do půdního prostředí jsou sloučeniny s obsahem fosforu mikroorganizmy imobilizovány, do povrchových vod se mohou dostat splachem ze zemědělské půdy a v odpadních vodách. Ve vodním, mokřadním, ale i v půdním prostředí je fosfor odstraňován zejména srážením a sorpcí, role mikroorganismů je v cyklu fosforu méně významná (Reddy et al., 1999; Vymazal, 2009).

Přehled procesů přeměn fosforu v půdním prostředí přináší obr. č. 6 (Elbl a kol., 2014), Přehled nejdůležitějších biologických procesů provázejících přeměny látek přináší tabulka č. 2.



Obr. č. 6: Hlavní procesy přeměn fosforu v půdě (Elbl a kol., 2014)

Tab. č. 2: Nejdůležitější biologické procesy při přeměně látek v aerobním, anaerobním a anoxickém prostředí (Malý, Malá, 1996)

proces:	reakce:	prostředí:	organizmus:
chemoorganotrofní organizmy			
aerobní rozklad organických látek	org. látka + O ₂ → CO ₂ + H ₂ O + NH ₃	aerobní	aerobní a fakultativně anaerobní bakterie, houby, živočichové
denitrifikace	org. látka + NO ₃ ⁻ → NO ₂ ⁻ + CO ₂ org. látka + NO ₂ ⁻ → N ₂ + N ₂ O + CO ₂	anoxické	fakultativně anaerobní bakterie
redukce SO ₄ ²⁻	org. látka + SO ₄ ²⁻ → H ₂ S	anaerobní	striktně anaerobní bakterie
předmethanizační fáze anaerobního rozkladu org. hmoty	složité org. látky → kys. octová, H ₂ , (metanol, kys. mravenčí) + NH ₃	anaerobní	fakultativně a striktně anaerobní bakterie, kvasinky
methanogeneze	CH ₃ COOH → CH ₄ + CO ₂ CH ₃ OH → CH ₄ + CO ₂ HCOOH → CH ₄ + CO ₂ H ₂ + CO ₂ → CH ₄	anaerobní	striktně anaerobní, methanogenní bakterie
chemolithotrofní organizmy			
nitrifikace	NH ₃ + O ₂ → NO ₂ ⁻ NO ₂ ⁻ + O ₂ → NO ₃ ⁻	aerobní	nitrifikační (aerobní) bakterie
oxidace sulfidů	S ²⁻ → SO ₄ ²⁻	aerobní	sírné bakterie (Beggiatoa, Chromatium)
fotolithotrofní organizmy			
fotosyntéza : asimilace disimilace	6 CO ₂ + 6 H ₂ O + energ. → C ₆ H ₁₂ O ₆ + 6 O ₂ , C ₆ H ₁₂ O ₆ + 6 O ₂ → 6 CO ₂ + 6 H ₂ O + energ.		rostliny, sinice

Tyto biologické (rozkladné) procesy jsou podstatou přírodních způsobů čištění odpadních vod. Uvolněné rostlinné živiny, především dusík a fosfor může částečně spotřebovávat ke svému růstu vodní, mokřadní a terestrická vegetace. V systému probíhají kromě biologických i další procesy - fyzikální a fyzikálně-chemické, které spoluvytvářejí výsledný čistící účinek. (Šálek, Tlapák, 2006).

4.1.4 Další procesy přírodního čištění

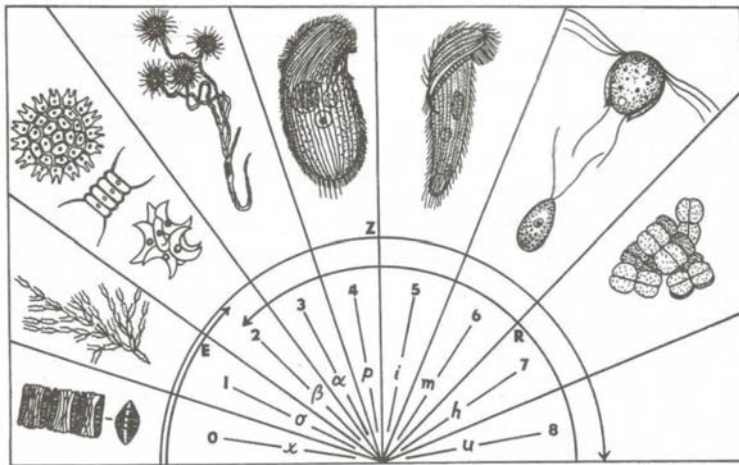
Nejdůležitějším dějem **fyzikálního** samočištění je usazování látek. Tento proces je kromě dalších ovlivňován rychlostí proudění a hloubkou vody, sedimentačními vlastnostmi a koncentrací suspendovaných částic (především jejich měrnou hmotností a sedimentační rychlostí), teplotou a dynamickou viskozitou vody (Šálek, Tlapák, 2006). Proces usazování nerozpuštěných látek (mechanické předčištění) je první fází při čištění odpadních vod. Na jeho kvalitě přímo závisí úspěch následujících stupňů čištění odpadní vody (Šálek a kol., 2012).

Chemické procesy spočívají zejména v hydrolýze a oxidaci látek obsažených ve vodním prostředí. Hlavním zdrojem potřebného kyslíku je kyslík získaný na přechodu atmosféry a kyslík vytvořený v procesu fotosyntézy vodními rostlinami. Ve vodních nádržích přestup kyslíku do vody významně ovlivňuje vítr, ve vodních tocích pohyb vody v korytě.

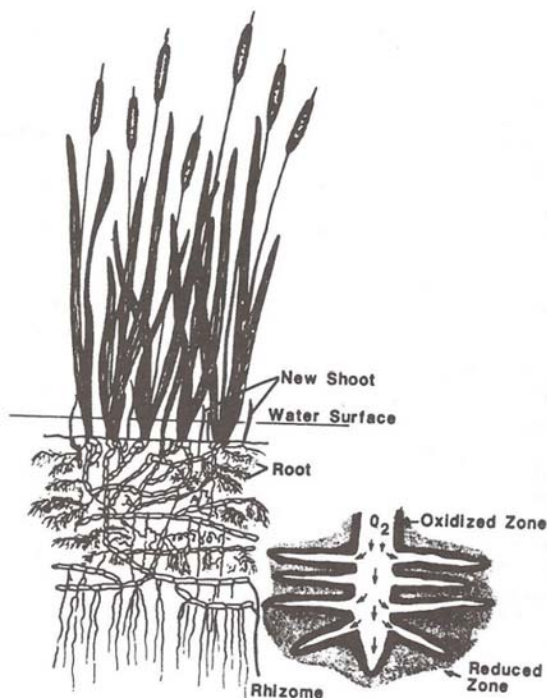
Průběh samočištění je rovněž ovlivněn reakcí vody, jako optimální je uváděna hodnota pH 6,5 až 8. Nižší a vyšší hodnoty pH narušují až znemožňují život organismů. Příčinou nízkých hodnot pH jsou kyselá deště (Tlapák a kol., 1992).

Aerobních samočistících pochodů se účastní mikro i makroorganismy. Mikroorganismy mají roli destruentů. Organickou hmotu upraví na jednodušší látky, které pak mohou difundovat buněčnou stěnou. Mezi destruenty jsou řazeny viry, spirochety, bakterie a houby. Prvoci v procesu samočištění mají malý podíl spočívající v adsorpci koloidů. Větší význam je přičítán bezobratlým a vyšším živočichům, kteří filtrují vodu nebo působí nepřímo v roli konzumentů. Různá míra organického znečištění vody (její saprobita) podmiňuje existenci různých biocenóz ve vodním sloupci (plankton, nekton), na hladině (neuston, pleuston), mezi litorální vegetací (včetně nárostů) a na dně (bentos). Strukturu saprobních společenstev přibližují na obr. č. 7 Sládeček, Sládečková (1996).

Významný podíl na aerobním procesu samočištění vody ve vodním prostředí mají nižší a vyšší vodní rostliny, které jsou producenty. Z minerálních roztoků živin syntetizují organické látky, zdrojem energie je sluneční záření (fotosyntéza) nebo anorganické reakce (chemosyntéza). Vyšší vodní rostliny dále působí jako mechanický filtr zachycující suspendované látky. Povrch kořenů dále zvětšuje plochu potřebnou pro nárosty bakterií. Mokřadní rostliny mají v kořenech a oddencích vzdušné prostory, kterými je přiváděn kyslík až ke dnu nádrží (Brix, 1990; Armstrong, Armstrong, 1990), kde jinak převládají anaerobní podmínky. Přestup kyslíku do okolí kořenů je znázorněn na obrázku č.8 (Vymazal, 1995).



Obr. č. 7: Zástupci biocenóz (bioindikátory) při procesu samočištění v různých částech stabilizační nádrže. Zleva xenosaprobni rozsivka *Diatoma hiemale*, dále směrem doprava oligosaprobni zlatý bičíkovec *Dinobryon divergens*, tři beta-mesosaprobni zelené řasy *Pediastrum boryanum*, *Scenedesmus quadricauda* a *Ankistrodesmus bibrainus*, alfa-mesosaprobni koloniální bezbarvý bičíkovec *Anthophysa vegetans*, polysaprobni nálevník *Colpidium colpoda*, isosaprobni nálevník *Metopuses*, dva metasaprobni bezbarví bičíkovci *Trepomonas rotans* a *Polytoma uvella*, hypersaprobni bakterie *Sarcina paludosa*. V pásmu ultrasaprobity (zcela vpravo) se již nenalézají živé organismy. Z = znečišťování, E = eutrofizace, R = rozklad a samočištění. V levé polovině grafu je znázorněno pět stupňů limnosaprobity, v pravé polovině čtyři stupně eusaprobity (anoxický až anaerobní stav) (Sládeček, Sládečková, 1996).



Obr. č. 8: Přenos kyslíku přes kořenovou zónu mokřadních rostlin (Vymazal, 1995)

Anaerobní (hnilobné) procesy probíhají při nedostatku kyslíku. V přírodním prostředí k nim dochází tam, kde byl vyčerpán O₂ (zejména při nedostatečné kompenzaci spotřeby kyslíku aerobními procesy). Jedná se zpravidla o dna vodních nádrží a vodní recipienty přetěžované odpadní vodou s vysokým organickým znečištěním. Za anaerobních podmínek dochází k rozkladu organických látek metabolickými na sebe navazujícími procesy několika mikrobiálních skupin. Produkty metabolismu jedné skupiny se stávají substrátem pro skupinu následnou (Malý, Malá, 1996).

Nejdůležitějšími procesy v průběhu anaerobního rozkladu organických látek jsou:

- převod močoviny na amonné sloučeniny
- rozklad bílkovin na jednoduché štěpné produkty (činností hnilobných bakterií vznikají nejprve aminokyseliny, konečným produktem mineralizace jsou CO₂, H₂O, NH₃, H₂S)
- štěpení mastných kyselin doprovázené tvorbou metanu
- štěpení celulózy a sacharidů
- redukce síranů na sirovodík, dusičnanů na dusitany, amoniaku až na plynný dusík

Anaerobní pochody jsou povlovnější než aerobní, bývají spojeny s pachovými závadami (Štěpánek, 1979).

4.2 Přehled využití přírodních způsobů čištění odpadních vod v České republice

Pro extenzivních způsoby čištění odpadních vod jsou budovány různé typy zařízení, která napodobují přírodní vodní (biologické nádrže) a mokřadní prostředí (kořenové čistírny odpadních vod). Přirozené půdní prostředí je využíváno k čištění odpadních vod závlahami. V zemních (půdních) uměle vytvořených filtrech dochází k pomalé biologické filtraci předčištěné vody propustným substrátem. Princip je podobný jako v kořenových čistírnách, hlavním rozdílem mezi těmito dvěma technologiemi je aerobní nebo anaerobní prostředí fitru (Mlejnská a kol., 2009).

Biologické nádrže mohou pracovat v aerobním, anaerobním nebo fakultativním režimu, přítomnost či nepřítomnost kyslíku rozhoduje o charakteru probíhajících procesů.

Z charakteru čistících procesů vyplývá i rozdílná účinnost při odstraňování jednotlivých druhů znečištění. Proto je vhodná kombinace více způsobů čištění. Jejich podrobný přehled přináší tabulka č. 3 (Šálek, Tlapák, 2006). Jako nejčastěji používané způsoby uvádí Mlejnská a kol. (2009) biologické nádrže, vegetační (kořenové) čistírny a zemní filtry. K nejstarším a nejdéle používaným patří závlaha odpadními vodami (Elbl a kol., 2014). Z hlediska praktického použití jsou nejpropracovanější půdní filtry, kořenové čistírny, biologické nádrže a závlaha odpadními vodami (Tlapák, Šálek, Legát, 1992).

Tab. č. 3: Možnosti využití přírodních způsobů čištění (Šálek a kol., 2006)

Druh přírodního způsobu čištění	Možnosti využití zařízení
a) Půdní filtry	
Vertikální filtry bez vegetace	Čištění a dočištění komunálních odpadních vod
Vertikální filtry s vegetací	Čištění a dočištění komunálních odpadních vod
b) Vegetační kořenové čistírny (půdní filtry s mokřadní vegetací)	
Horizontální povrchové proudění	Čištění OV a znečištěných povrchových vod
Horizontální podpovrchové proudění	Čištění komunálních OV a dočištění OV
Vertikální s prouděním směrem dolů	Čištění a dočištění komunálních OV – celoroční
Vertikální s prouděním vzhůru	Čištění OV, převážně v letním (bezmrazém) období
c) Biologické nádrže (součást stabilizačních nádrží)	
Aerobní nízkozatěžované	Čištění zneč. povrchových a komunálních OV
Aerobní vysokozatěžované	Čištění OV v klimaticky příznivých oblastech
Aerobní průběžně provzdušované	Intenzivní čištění OV při celoročním provzdušování
Dočišťovací	Dočištění OV za umělými stupni čištění OV
Fakultativní	Přechodné z anaerobního do aerobního procesu
Anaerobní průtočné	Anaerobní čištění předřazené aerobnímu čištění
Anaerobní sedimentační	Prodloužená sedimentace v zemních nádržích
Anaerobní akumulací	Čištění odpadních vod kampaňových producentů
d) Akvakultury a bioeliminátory	
Nádržní akvakultury	Čištění a dočištění OV okřehky a řasami
Kombinace akvakultur s vegetací	Čištění komunálních a vybraných průmyslových OV
Bioeliminátory	Čištění OV ve žlabech s přepážkami z nárostů
e) Průtočné žlaby	
Průtočné žlaby s mokřadní vegetací	Čištění a zejména dočištění OV za ČOV
f) Závlaha odpadními vodami (min. mechanicky čištěnými)	
Závlaha komunálními OV	Vegetační závlahy až celoroční provoz závlah
Závlaha průmyslovými OV	Vegetační provoz závlah OV potravinář. průmyslu
Závlaha zemědělskými OV	Vegetační závlahy silážními a provozními OV

Poznámka: ČOV – čistírna odpadních vod, OV – odpadní vody

4.2.1 Biologické a stabilizační nádrže

Biologické nádrže jsou malé účelové nádrže využívané k čištění i dočištění odpadní vody a k její krátkodobé akumulaci spojené případně s dalším využitím. Čistící procesy, které v těchto nádržích probíhají, jsou shrnuty v tabulce č. 4 (Šálek, Tlapák, 2006).

Na těchto procesech se podílejí mikroorganismy i makroorganismy. Jejich výsledkem je rozklad, poutání a přeměna znečišťujících látek. Vodní a pobřežní rostliny využívají uvolněné rostlinné živiny a mohou také poutat těžké kovy (Šálek, Tlapák, 2006).

Tab. č. 4: Procesy čištění v biologických nádržích (Šálek, Tlapák, 2006)

Složky	Procesy čištění v biologické nádrži									
	Mechanické		Chemické				Biologické			
	S	A	O, R	S _r	A	R _o	BM	RM	P	R _o
Suspendované NL	1		2							
RL a koloidní	2	2	2				1			
BSK ₅	3						1			
Živiny N	2				1 ^{x/}		1		1	
P	2			1	1				1	
Těžké kovy	2			1	1				1	
Organické látky LR	3		2		2	1	1	2		1
Organické látky TR	3		2		2	1	1	2		1
Mikroorganismy	2					1		2		1

1 – primární základní procesy, 2 – sekundární procesy, 3 – vedlejší procesy, S – sedimentace, A – adsorpce, O – oxidace, R – redukce, S_r – srážení, BM – bakteriální metabolismus, RM – rostlinný metabolismus, P – příjem živin, R_o – rozklad, NL – nerozpuštěné látky, LR – lehce rozložitelné látky, TR – těžce rozložitelné látky, ^{x/} adsorpce amoniaku

Podle způsobu upravování vlastností vody a technologie čištění se malé vodní účelové nádrže dělí do dvou skupin. První skupinou jsou nádrže upravující (stabilizující) fyzikální vlastnosti vody, druhou skupinu tvoří nádrže biologické, které upravují fyzikální, chemické a biologické vlastnosti vody. Podrobné rozdělení do dalších skupin přináší tabulka č. 5 (Šálek, Tlapák, 2006).

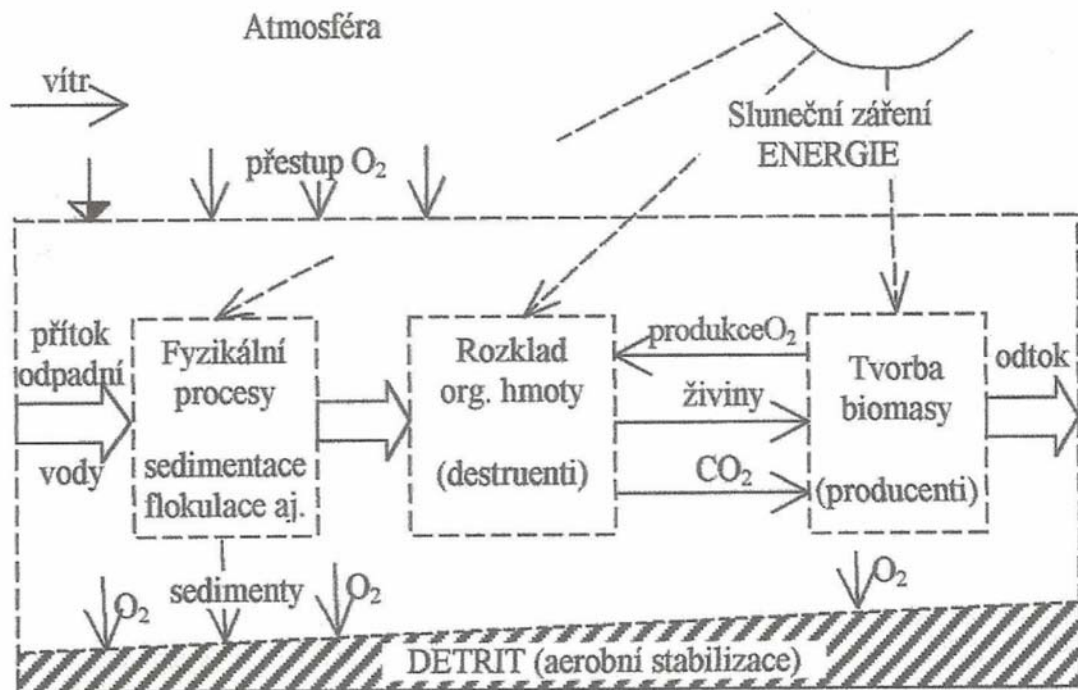
Tab. č. 5: Základní typy stabilizačních a biologických nádrží (Šálek, Tlapák, 2006)

Stabilizace	Typ nádrží	Rozdělení	Možnosti využití
Úprava fyzikálních vlastností	Chladicí	Akumul. / průtočné	Chlazení vody z energetických provozů
	Oteplovací	Akumul. / průtočné	Ohřev chladných podzemních vod (závlaha)
	Sedimentační	Podle doby zdržení	Odstranění usaditelných látek
Úprava a stabilizace fyzikálních, chemických a biologických vlastností	Aerobní biologické nádrže	Nízkozatěžované	Čištění znečištěných odpadních vod
		Vysokozatěžované	Čištění splaškových vod
		Provzdušované	Intenzivní čištění odpadních vod
		Dočišťovací	Dočištění čištěných odpadních vod
	Fakultativní	Přechodné	Přechod anaerobního a aerobního procesu
	Anaerobní biologické nádrže	Průtočné	Anaerobní čištění odpadních vod
		Sedimentační	Prodloužená sedimentace odpadních vod
Akumulační		Čištění vod kampaňových producentů	

Pro dobrý průběh čistících procesů v aerobních biologických nádržích je nezbytné dostatečné zásobení kyslíkem. Jeho zdroji jsou:

- přitékající povrchová voda, podzemní voda, částečně odpadní vody, zejména balastní
- vzdušný kyslík získaný přestupem z atmosféry na styku s vodní hladinou
- kyslík produkovaný při fotosyntéze zelenými řasami a jinými zelenými vodními rostlinami (pouze ve vegetačním období)
- umělá aerace (Šálek, Tlapák, 2006)

Průběh procesů v aerobní biologické nádrži přibližuje obr. č. 9 (Šálek, Tlapák, 2006).



Obr. č. 9: Průběh čistících procesů v aerobní biologické nádrži (Šálek, Tlapák, 2006)

Rychlost reakcí probíhajících ve vodním prostředí je závislá na intenzitě slunečního záření, vítru, teplotě vzduchu a vody, množství a složení odpadních vod, množství dešťových srážek, přítoku povrchových vod, výparu, obsahu a složení mikroorganismů, zooplanktonu, biomasy. Všichni tyto činitele mají proměnlivý charakter v závislosti na ročním období i denní době, proto je pro návrh biologických nádrží nezbytná znalost jejich průběhu v dané lokalitě (Šálek, Tlapák, 2006).

Mlejnská a kol. (2009) uvádějí ještě vliv návrhových parametrů nádrže, způsobu provozování a stárnutí systému. Čistící proces ovlivňuje také tvar nádrže – pokud je nepravidelný, mohou zde vznikat zkratové proudy a mrtvé zóny jako důsledek nepravidelného proudění. Proto se biologické nádrže navrhují nejčastěji tvaru

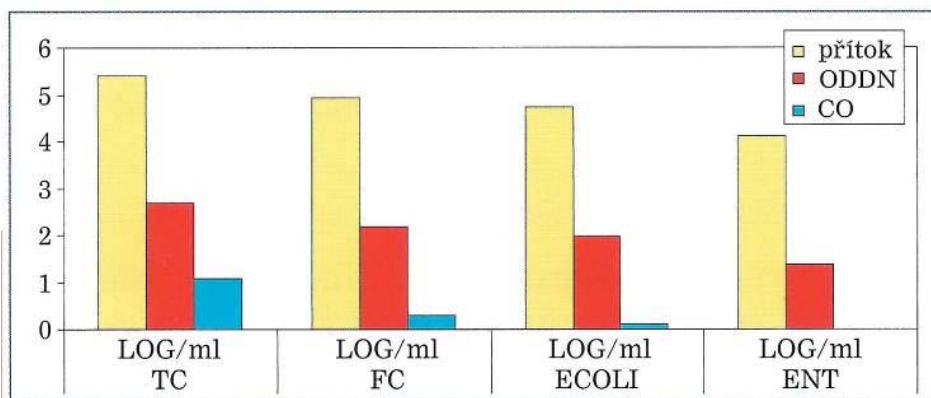
čtvercového, obdélníkového, kruhového a lichoběžníkového, v případě nepravidelného tvaru s větším množstvím vtoků a výtoků.

V praxi nejrozšířenější aerobní biologické nádrže se dělí do tří skupin:

- aerobní biologické nádrže uměle neprovzdušňované a nádrže s přídavnou umělou aerací (v zimním období)
- průběžně provzdušňované (oxidační) aerobní biologické nádrže
- dočišťovací biologické nádrže (k dočištění odpadních vod a znečištěných povrchových vod)

Jak uvádí Šálek a kol. (2012), patří dočišťovací nádrže k vůbec nejrozšířenějšímu způsobu využití malých vodních nádrží. Biologické aerobní nádrže jsou využívány při čištění odpadních vod již od konce 19. století (Rozkošný, Sedláček, 2013). Mlejnská a kol. (2009) uvádí, že v České republice jsou aerobní biologické nádrže nejvíce využívány při čištění odpadních vod z jednotlivých stavení, z rekreačních zařízení, z menších obcí a organicky nízkozatížených splachů ze zemědělské pudy a dále při dočišťování odpadních vod.

S rozvojem kořenových čistíren odpadních vod v České republice se uplatňují také v kombinaci s touto technologií. Účelem zařazení biologické aerobní nádrže za KČOV je odstranění amoniakálního dusíku a zároveň se předpokládá snížení odtokových koncentrací celkového dusíku a celkového fosforu (Rozkošný, Sedláček, 2013). Významná je také eliminace koliformních zárodků (Just a kol., 2004). Na obr. č. 10 je znázorněna eliminace hygienicky významných bakterií při dočištění odpadní vody z mechanicko-biologické čistírny v dočišťovací nádrži. Celková účinnost systému přesahuje 99,99% a potvrzuje efektivnost biologických aerobních nádrží při odstraňování mikrobiálního znečištění (Baudišová, Mlejnková, 2009)



Obr. č. 10: Účinnost biologické dočišťovací nádrže při eliminaci hygienicky závadných bakterií (modrá) v odpadní vodě přitékající z dosazovací nádrže konvenční ČOV (červená). Surová odpadní voda značena žlutě (Baudišová, Mlejnková, 2009).

TC = koliformní bakterie, FC fekální koliformní bakterie, ECOLI Escherichia coli, ENT enterokoky

Před aerobní biologické nádrže je nutné předřadit kvalitní mechanické předčištění. U malých producentů (jednotlivých domů) jej představuje biologický septik s lapákem tuků a olejů, u středních producentů jemné česle, lapák písku, lapák tuků a primární usazovací nádrž s kalovým hospodářstvím (Šálek a kol., 2012).

Anaerobní čistící procesy jsou závislé na teplotě – při teplotách nižších než 10°C je jejich průběh již značně omezený. Při anaerobním rozkladu organické hmoty dochází k posunu reakce vody do mírně alkalické oblasti, což zabraňuje kyselému kvašení. Závěrečnou fází čištění musí tvořit pochody oxidační, které brání vzniku pachových závad. Tato závěrečná fáze může být urychlena přidávkou aerací. Anaerobní biologické nádrže se dělí na tři základní skupiny – průtočné anaerobní nádrže, sedimentační biologické nádrže a akumulární nádrže (Šálek, Tlapák, 2006).

Průtočné anaerobní nádrže se většinou předřazují před aerobní nádrže. Účelem je narušení složitých vazeb organických sloučenin a tím usnadnění následně probíhajících aerobních procesů. Doba zdržení odpadní vody je kolem dvou až pěti dnů. Velmi důležité je zde zajištění rovnoměrného průtoku odpadní vody (Tlapák a kol., 1992).

Sedimentační biologické nádrže se rovněž předřazují před nádrže aerobní, zachycují většinu usaditelných látek. Dalším procesem je anaerobní stabilizace sedimentů. Tyto nádrže se navrhují zpravidla dvě a jsou provozovány střídavě - jedna nádrž je aktivní, druhá se odvodní a vytěží se z ní sediment. Plocha sedimentačních nádrží tvoří zpravidla 3 až 5% z celkové plochy soustavy biologických nádrží.

Akumulární anaerobní nádrže se navrhují tak, aby jejich kapacita odpovídala celkové produkci odpadních vod kampaňových producentů (cukrovarů, škrobáren, lihovarů). Odpadní voda je v nádrži postupně shromažďována, intenzita čistícího procesu narůstá v závislosti na teplotě od jara do léta a v srpnu dochází k ukončení mineralizace organického znečištění a postupnému přechodu na aerobní režim. Před novou kampaní se vzčištěná voda vypustí a nádrž se uvolní pro novou sezónu (Tlapák a kol., 1992).

Biologické nádrže, ve kterých dochází k přechodu z anaerobního do aerobního procesu jsou nazývány fakultativní. Toto prostředí se vytváří v nádržích s plovoucí biomasou, např. okřehky, která zabraňuje slunečním paprskům pronikat do hloubky. V tenké aerobní zóně probíhají aerobní rozkladné procesy včetně nitrifikace. Pod aerobní zónou se nachází zóna anoxická. Zde dochází k redukci řas a uvolňování živin. Pod anoxickou zónou je zóna anaerobní s anaerobními rozkladnými procesy. Při nich je uvolňován oxid uhličitý, sirovodík a metan. Také zde dochází k denitrifikaci. Průběh čistících procesů a rozmístění jednotlivých zón přibližuje obr. č. 11 (Šálek, Tlapák, 2006).

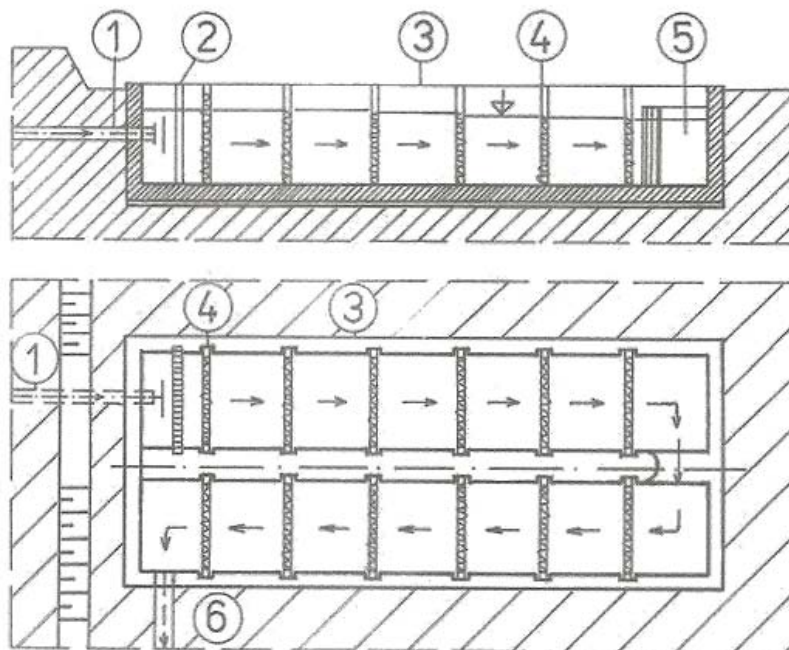


Obr. č. 11: Schematické znázornění čistících procesů v nádržích s plovoucí biomasou (Šálek, Tlapák, 2006)

4.2.2 Akvakultury a bioeliminátory

S využitím akvakultur a bioeliminátorů je zatím v České republice příliš málo zkušeností, použití zejména průtočných bioeliminátorů je spíše ve stadiu výzkumu. Průtočné bioeliminátory tvoří průtočné prizmatické žlaby s vyjímatelnými přepážkami tvořenými řídkou síťovinou. Na sítích se vytvářejí řasové nárosty, které filtrují odpadní vodu. Přepážky s nárosty mají zároveň biologickou funkci, zachycují se na nich suspendované látky a probíhá rozklad a mineralizace organické hmoty. Živiny z odpadní vody podporují tvorbu biomasy řasových nárostů, která se těží a kompostuje. Při celoročním provozu je nutné umístění do skleníku. Jednoduchý bioeliminátor ukazuje obr. č. 12 (Šálek, Tlapák, 2006).

K prvním řízeným akvakulturám patří provzdušňované aerobní biologické nádrže v kombinaci s dočištěním v nádrži s okřehky. V České republice se v praxi využívají kaskády nádrží s plovoucími vodními rostlinami (okřehkem či vodním hyacintem) a nádrže s řasami. Schéma kaskády na obr. č. 13 (Šálek, Tlapák, 2006).



Uspořádání jednoduchého bioeliminátoru: 1 – přívod odpadní vody, 2 – rozdělovací rošt, 3 – žlab, 4 – přepážky ze síťoviny, 5 – přeliv, 6 – odpad

Obr. č. 12: Jednoduchý bioeliminátor (Šálek, Tlapák, 2006)

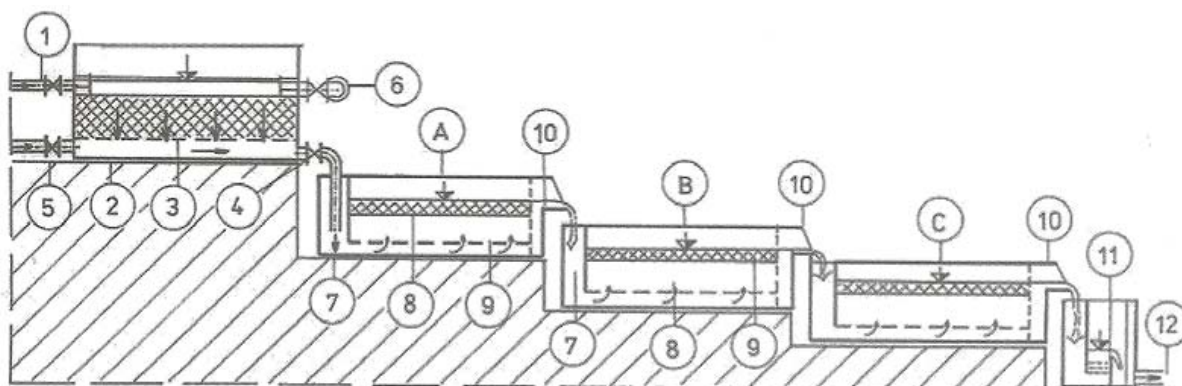


Schéma kaskády dočišťovacích nádrží s plovoucími rostlinami: 1 – přívod odpad. vody, 2 – filtr, 3 – filtr. náplň, 4 – odvod filtrované vody, 5 – přívod prací vody, 6 – odpad prací vody, 7 – přívod čištěné odpadní vody, 8 – plovoucí makrofyta, 9 – perforované dno, 10 – přeliv, 11 – měrný přepad, 12 – odpad čištěné vody; A, B, C – kultivační nádrže kaskády

Obr. č. 13: Kaskáda dočišťovacích nádrží s plovoucími rostlinami (Šálek, Tlapák, 2006)

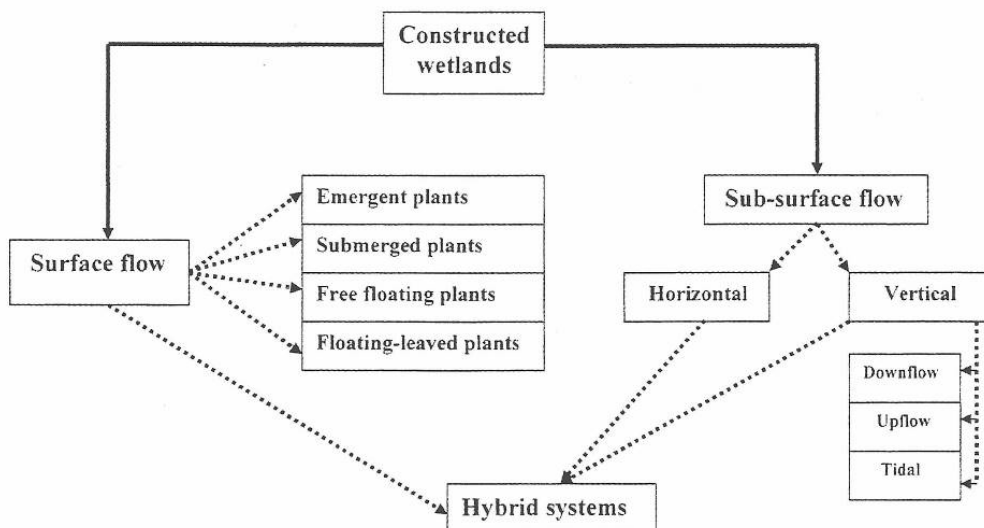
Kaskáda slouží k dočišťování mechanicko-biologicky čištěných odpadních vod. V zimním období je nutné celou kaskádu umístit do skleníku a přisvětlovat. Rostliny z dočišťovací kaskády se těží a používají nejčastěji jako krmivo. Využití akvakultur je v České republice také ve stadiu výzkumu (Šálek, Tlapák, 2006).

4.2.3 Kořenové čistírny odpadních vod

Umělé mokřady se budovaly již před 6000 lety, byly využívány pro chov ryb, závlahy nebo jako rýžoviště (Vymazal, 2008a). Kořenové čistírny odpadních vod jsou založeny na principu mokřadů. Přírodní mokřady jsou využívány pro čištění odpadní vody již přes sto let. Nekontrolované vypouštění odpadní vody může mokřad poškodit. (Vymazal, 2004).

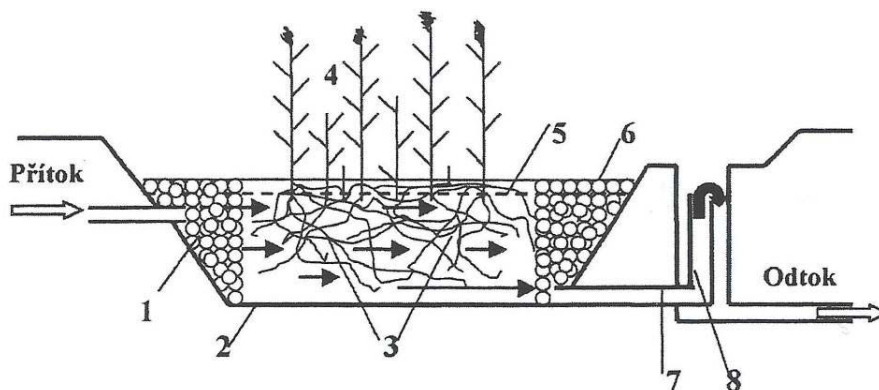
Čištění odpadní vody v umělých mokřadech (kořenových čistírnách) se děje v kořenových polích, která jsou řešena jako mělké nádrže s propustným substrátem osázené mokřadní vegetací (Cooper, 1990; Vymazal, 2008b). Při zaplavení filtrační vrstvy vodou dochází k izolaci od atmosférického kyslíku a systém se mění na prostředí s výrazně redukčními vlastnostmi. Probíhající mechanické, fyzikálně-chemické a biologické procesy jsou svým charakterem i rychlostí podobné procesům probíhajícím v přírodních mokřadních a vodních biotopech a v půdách s antropogenním znečištěním (Mlejnská a kol., 2009).

Podle způsobu průtoku odpadní vody a podle druhu rostoucí vegetace jsou kořenové čistírny odpadních vod děleny do několika základních typů, které ukazuje obr. č. 14 (Vymazal, Kröpfelová, 2008).



Obr. č. 14: Rozdělení jednotlivých typů kořenových čistíren odpadních vod (Vymazal, Kröpfelová, 2008)

V České republice jsou nejvíce používaným typem kořenové čistírny s pod površovým horizontálním průtokem (Mlejnská a kol., 2009). Tento typ kořenových čistíren je v České republice používán od roku 1989 (Vymazal, 2011). Na obr. č. 15 je schematicky zobrazena kořenová čistírna s horizontálním pod površovým průtokem (Vymazal, 2009)



Obr. č. 15: Schematické znázornění kořenové čistírny odpadních vod s horizontálním pod površovým průtokem (Vymazal, 2009)

Stejně jako v ostatních způsobech přírodního čištění, i v kořenových čistírnách mají hlavní podíl na čištění odpadní vody mikroorganismy. Jak uvádějí Kočková a kol. (1994), podílejí se na čištění hlavně těmito pochody:

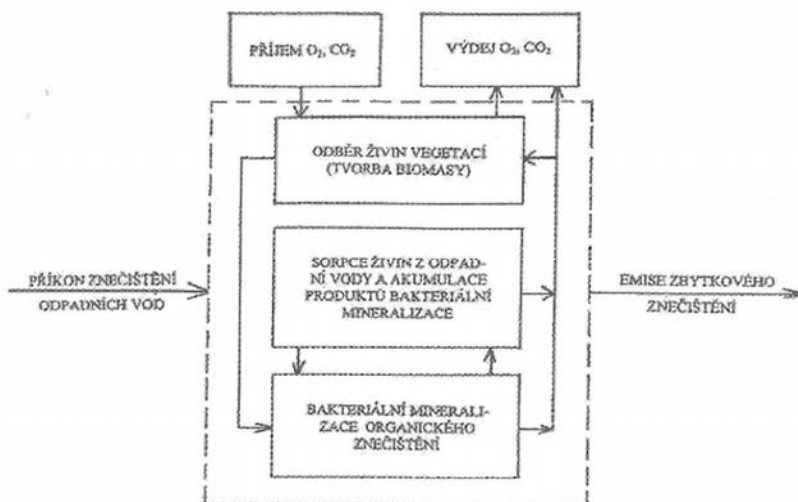
- rozklad dusíkatých organických látek (proteolytické bakterie štěpí aminokyseliny a amonizační bakterie způsobují přeměnu rozpuštěného organického dusíku na amonné ionty)
- nitrifikace – oxický chemoautotrofní mikrobiální proces, kdy amonné ionty přecházejí na dusitany a dusičnany (nitrifikační bakterie)
- denitrifikace – anoxický heterotrofní mikrobiální proces (bakterie denitrifikační)
- rozklad celulózy (metanobakteriemi za anaerobních podmínek, celulolytickými bakteriemi a myxobakteriemi za oxických podmínek)
- rozklad škrobu a nižších cukrů amylolytickými bakteriemi
- rozklad tuků lipolytickými bakteriemi
- rozklad organických a anorganických látek obsahujících síru sulfurikačními a desulfurikačními bakteriemi (k redukci síranů na sulfidy musí být silně anaerobní prostředí)
- rozklad organických a anorganických sloučenin fosforu fosfobakteriemi

Přehled a rozdělení hlavních čistících procesů v mokřadním prostředí vegetačních kořenových čistíren ukazuje tabulka č. 6, schéma průběhu těchto procesů znázorňuje obr. č. 16 (Šálek, Tlapák, 2006).

Tab. č. 6: Čistící procesy v mokřadním prostředí kořenových čistíren (Šálek, Tlapák, 2006)

Mechanismy čištění	NL	KL	BSK ₅	Dusík	Fosfor	TK	OL	Bakterie
a) Fyzikální procesy								
Sedimentace	P	S	V	V	V	V	V	V
Filtrace	S	S	S					S
Adsorpce		S						
b) Chemické procesy								
Srážení					P	P		
Adsorpce				P	P	P	S	
Rozklad						P	P	
c) Biologické procesy								
Bakteriální metabolismus		P	P	P			P	S
Rostlinný metabolismus							S	S
Příjem miner. látek				P	P	P		
Rostlinná adsorpce				S	S	S	S	

NL – nerozpuštěné látky, KL – koloidní látky, TK – těžké kovy, OL – organické látky
 Mechanismy odstraňování látek: P – primární, S – sekundární, V – vedlejší



Obr. č. 16: Schéma průběhu čistících procesů v kořenových čistírnách (Šálek, Tlapák, 2006)

Čištění odpadní vody probíhá při horizontálním podpovrchovém průtoku odpadní vody propustným substrátem, který je osázen mokřadní vegetací. Substrát musí být dostatečně propustný, aby nedocházelo k jeho ucpávání (kolmataci) a následnému povrchovému odtoku (Vymazal, 2009). Kolmatace snižuje čistící schopnost systému a způsobuje vizuelní a pachové závady (Langergraber, 2003).

Kolmatace může být způsobena vyšším obsahem nerozpuštěných látek v odpadní vodě (Winter a Goetz, 2003) a přílišném hydraulickém zatížení systému (Schwarz a kol., 2006). Závisí také na zrnitosti, struktuře a textuře materiálu filtračních polí, dále na době provozu kořenové čistírny, skladbě vegetace a odstraňování sařiny. Kolmatace se dříve řešila výměnou filtrační náplně, v současnosti je možné použít metodu in-situ chemického rozkladu nebo in-situ aplikaci bakteriálně-enzymatického přípravku. Výhodou posledně jmenované metody je to, že nedochází k poškození biofilmu a kořenů rostlin v mokřadu (Mlejnská, 2013).

Filtrační pole se osazují vodními a mokřadními rostlinami různých druhů, preferují se vytrvale kořenící druhy s trvale bohatým kořenovým systémem (Vymazal, 2011b). Dalšími kritérii jsou nenáročnost na prostředí a snadná množitelnost rostlin. Jako nejvhodnější se osvědčily tyto druhy:

- rákos obecný (*Phragmites australis*)
- chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinaceae*)
- orobinec úzkolistý i širokolistý (*Typha angustifolia*, *Typha latifolia*)
- zblochan vodní (*Glyceria maxima*)
- skřípinec jezerní (*Scripus lacustris*)
- sítina rozkladitá (*Juncus effusus*) (Just, Fuchs, Písařová, 2004)

Pro zlepšení estetického dojmu zejména malých domovních kořenových čistíren bývá vysazován:

- kosatec žlutý (*Iris pseudoacorus*)
- šmel okoličnatý (*Butomus umbellatus*)
- puškvorec obecný (*Acorus calamus variegatus*) (Kočková a kol., 1994)

Hlavní funkcí rostlin je zateplování povrchu filtračních polí v zimním období, poskytování podkladů (kořeny a oddenky) pro růst přisedlých bakterií a v omezené míře i dodávka kyslíku do filtračních polí a kumulace živin (Vymazal, 2009).

Kořenové čistírny s podpovrchovým průtokem vykazují dostatečnou účinnost při odstraňování nerozpuštěných a organických látek, odstraňování celkového fosforu a amoniaku je stále (u amoniaku mírné snížení během zimního období), ale velmi nízké. (Vymazal, Kröpfelová, 2008). K lepšímu odstraňování fosforu přispívá použití speciálního filtračního média s vysokou sorbční kapacitou, což není příliš rozšířené, protože v České republice není stanoven limit pro obsah fosforu v odpadních vodách ze sídel do velikosti 2000 EO (Vymazal, 2011a). V kořenových čistírnách dochází k významné eliminaci bakteriálního znečištění srovnatelné s účinností klasických čistíren, kořenové čistírny jsou pro tento účel často využívány. Také odstraňování těžkých kovů a dalších rizikových prvků je dostatečně vysoká. Většina stopových prvků je dislokována v sedimentech, ale jejich koncentrace je nízká, takže nadzemní biomasa mokřadních

rostlin jimi není zatížena a není nutné s ní zacházet jako s nebezpečným materiálem (Vymazal, 2009).

Aby se dosáhlo lepšího čistícího účinku, je možné kořenové čistírny s horizontálním podpovrchovým průtokem kombinovat s jinými typy umělých mokřadů. Takové kombinované systémy se nazývají „hybridní“ (Vymazal, 2005). Výhodné jsou především kombinace s aerobními typy umělých mokřadů, jako jsou vertikální umělé mokřady nebo mokřady s volnou vodní hladinou. Hlavním důvodem je odstraňování dusíku a likvidace odpadních látek, které obsahují hůře rozložitelné látky (Vymazal, 2001).

Nejčastěji se používají tyto dvě kombinace:

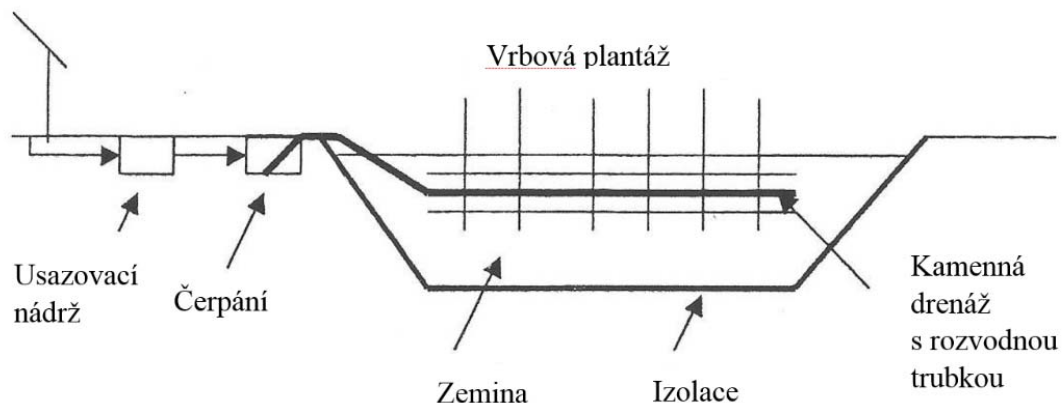
1) „Ciupa system“

velký mokřad s horizontálním průtokem (3 – 4 m²/1EO pro odstraňování BSK a NL a denitrifikaci v případě recirkulace) a menší mokřad s vertikálním průtokem (0,8 – 1,1m²/1EO pro nitrifikaci) (Ciupa, 1996)

2) „Burka system“ (modernější verze „systému Seidel“) je kombinace mokřadů s vertikálním průtokem v první fázi čištění a mokřadů s horizontálním průtokem ve fázi konečné (Burka, Lawrence, 1990).

V mokřadech s volnou vodní hladinou se cíleně využívají mokřadni emerzní rostliny, které jsou schopné růst v plovoucích trsech. Patří mezi ně např. orobince (*Typha ssp.*), *zblochan vodní (Glyceria maxima)*, *Hydrocotyle umbellata*.

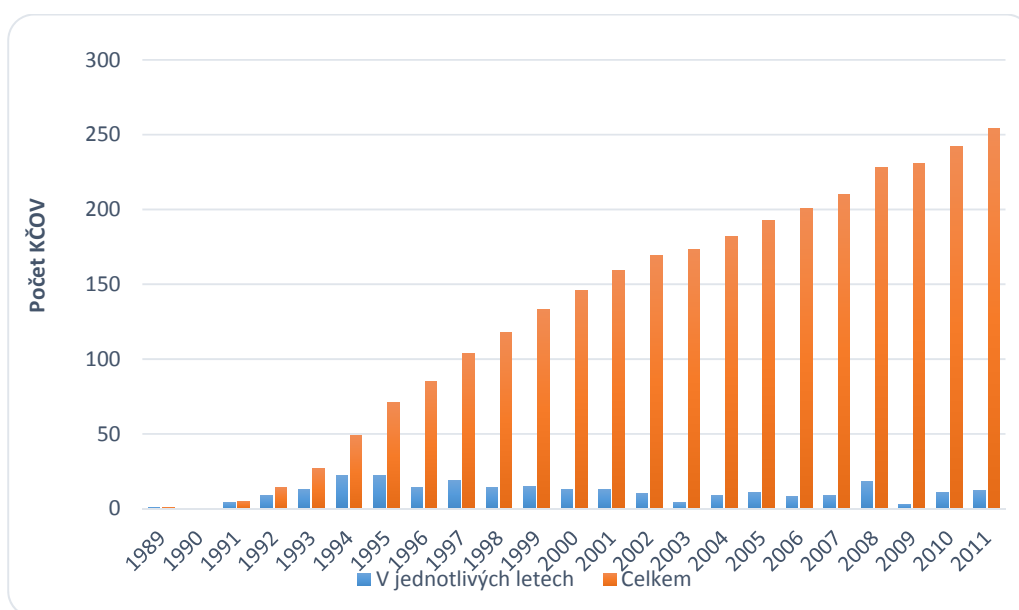
V Dánsku fungují bezodtoké mokřady, které jsou navrženy s kapacitou lože větší, než je součet objemu odpadních vod vyprodukovaných za rok a objemu ročních srážek. Filtrační lože je osázeno porostem vrb, jejichž nadzemní části váží většinu živin. Prořezáváním je dosaženo růstu nových výhonků a tím zvyšování pravidelně sklizené biomasy. Nevýhodou tohoto systému je velká náročnost na plochu – u rodinného domku to je 200 – 300 m² (Gregersen, Brix, 2001).



Obr. č. 17: Bezodtokový mokřad s porostem vrb – schema (Gregersen, Brix, 2001, in Vymazal, 2001)

Podobný příklad uvádí i Elbl a kol. (2014) ze středního Švédska. Předčištěná odpadní voda z města s 20 000 obyvateli je přiváděna na vrbovou plantáž, kde se dočistí průsakem přes půdní profil a následně vypustí do recipientu. Dřevní biomasa z vrbové plantáže slouží k výrobě tepla a elektřiny v místní elektrárně, čímž se pokrývá potřeba obojího v celém okrese. Popel ze spalování společně se spalškovými kaly je recyklován na hnojivo. Vrbová plantáž má rozlohu 76 ha.

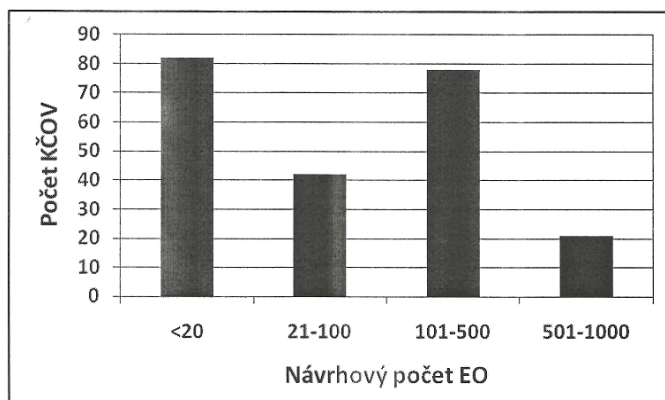
Vegetační kořenové čistírny pro čištění odpadních vod se začaly využívat před čtyřiceti lety, v Německu pokusně již počátkem 60. let. V České republice bylo uvedeno do provozu od roku 1989 doposud asi 250 kořenových čistíren (Vymazal, 2009). Jejich počty v jednotlivých letech přibližuje obr. č. 18 (Vymazal, 2012)



Obr. č. 18: Počty KČOV uváděných do provozu v ČR (Vymazal, 2012)

Podle Mlejnské a kol. (2009) prakticky všechny kořenové čistírny V České republice byly a jsou navrhovány jako čistírny s horizontálním podpovrchovým průtokem a vhodným mechanickým předčištěním. Patří zde k nejvíce rozšířeným typům extenzivních způsobů čištění odpadních vod. Nejvíce kořenových čistíren je navrženo jako malé domovní čistírny (do dvaceti EO) a pro malé obce (100 – 500 EO), v obou těchto kategoriích je v provozu asi 80 kořenových čistíren. Největší kořenová čistírna byla navržena v Osové Bitýšce pro 1000 EO, ve Spáleném Poříčí jsou v provozu dvě kořenové čistírny se společným odtokem, celkem pro 1200 EO (Vymazal, 2009).

Na obr. č. 19 jsou KČOV v České republice rozděleny podle toho, pro jaký počet připojených obyvatel byly navrženy (Vymazal, 2009).



Obr. č. 19: Přehled KČOV v ČR podle počtu EO (Vymazal, 2009)

Až na několik výjimek byly všechny kořenové čistírny v České republice navrženy pro čištění splaškových vod. Souhrn jejich účinností je uveden v tab. č. 7. Uvedené hodnoty jsou obdobné jako u KČOV jinde ve světě (Vymazal, 2004).

Tab. č. 7: Souhrn účinností KČOV v České republice (Vymazal, 2004)

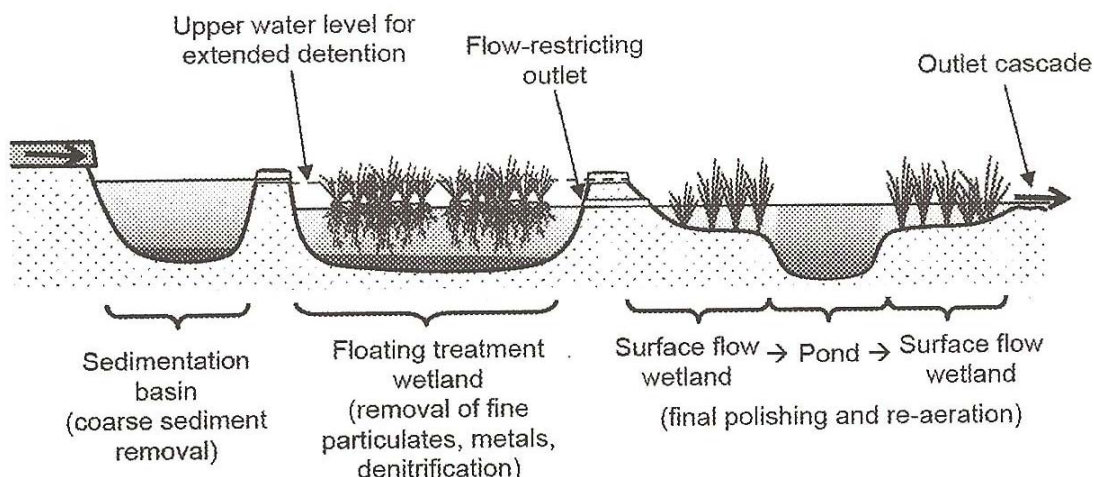
Parametr	Přítok (mg l ⁻¹)	Odtok (mg l ⁻¹)	Účinnost (%)	n	N
BSK ₅	150	14,4	85,8	184	65
CHSK _{Cr}	333	53	76,1	109	40
Nerozpuštěné látky	165	11,9	84,8	125	44
Celkový N	56	27,6	47,0	37	16
NH ₄ ⁺ -N	27,5	18,0	33,4	77	31
NO ₃ ⁻ -N	5,8	2,45	40,9	31	12
Celkový P	6,8	3,3	41,4	68	26

Vegetační kořenové čistírny se však dají využívat (a ve světě využívají) i pro jiné typy odpadních vod (Vymazal, 2009). V tab. č. 8 je podrobně rozvedeno pro jaké typy odpadních vod lze kořenové čistírny využít (Vymazal, 2007):

Tab. č. 8: Využití kořenových čistíren pro různé typy odpadních vod (Vymazal, 2007)

Splašky	Jednotná i oddílná kanalizace, domovní
Průmysl	Potravinářský (např. výroby sýrů, zpracování mléka, pivovary, lihovary, vinařství), chemický, kožedělný, papírenský, textilní, těžba a zpracování ropy
Zemědělství	Vepřiny, kraviny, drůbežárny, rybí farmy, sádky
Splachové a drenážní	Dálnice, městské intravilány, parkoviště, letiště, zahradnictví, golfová hřiště, zemědělství, uhelné a rudné doly
Průsaky	Skládky pevného odpadu, kompostárny

Na obr. č. 20 je zobrazen systém pro čištění vod z přívalových srážek z oblasti Nového Zélandu. Systém se skládá z usazovací nádrže, mokřadu s plovoucími makrofyty a rybníku s mokřady s povrchovým průtokem.



Obr. č. 20: Systém pro čištění vody z přívalových srážek (Headley a kol, 2008)

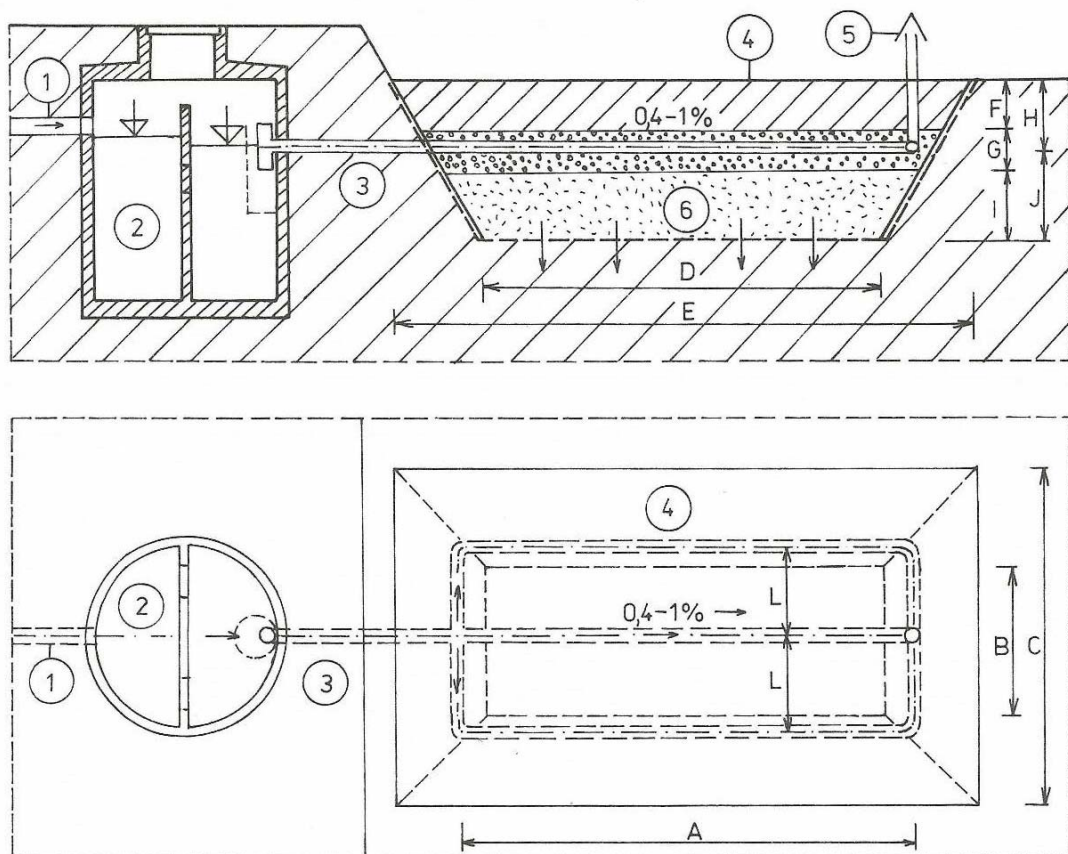
4.2.4 Půdní (zemní) filtry

Princip půdních filtrů spočívá ve využívání porézního filtračního prostředí k zachycení a odstranění znečištění. Hlavním procesem však není fyzikální filtrace. Filtr je nutné naopak co nejlépe chránit mechanickým předčištěním, které je rozhodující pro jeho funkčnost. Rozhodující úlohu má stejně jako v ostatních přírodních způsobech čištění společenstvo mikroorganismů žijící na povrchu náplně filtru a rozkládající organické znečištění. Proti kořenovým čistírnám je hlavní rozdíl v množství kyslíku obsaženého ve filtrační náplni – náplň filtru není trvale zatopená. Přítomnost kyslíku je příčinou lepšího odstraňování amoniakálního dusíku než je tomu v kořenových čistírnách (Mlejnská a kol., 2009).

Provzdušněnost filtrační náplně je dána tím, že není trvale zatopená, dále větráním nebo pulzním plněním a prázdněním filtru (Just a kol., 2004). Půdní filtry, které se používají pro čištění a dočištění odpadních vod, jsou dělené do čtyř základních skupin:

- vertikální průtok v nenasyceném filtračním prostředí směrem dolů, rovnoměrné rozdělení přítoku po celé ploše filtru, odběr filtrované vody ze dna
- vertikální průtok v nasyceném filtračním prostředí směrem dolů, rovnoměrné rozdělení přítoku po celé ploše filtru, odběr filtrované vody z výškově nastavitelného přelivu
- vertikální průtok v částečně nenasyceném a převážně nasyceném filtračním prostředí směrem dolů, rovnoměrné rozdělení přítoku po celé ploše filtru, pulzní prázdnění a postupné plnění horní části filtračního prostředí
- vertikální průtok směrem vzhůru v nasyceném filtračním prostředí, pulzní prázdnění horní části filtračního prostředí (Šálek a kol., 2012)

Na obr. č. je schema půdního filtru s vertikálním průtokem směrem dolů a odběrem vody ze dna. Filtr je napojen na dvoukomorový septik (Tlapák a kol., 1992).



Obr. č. 21: Půdní filtr – schema (Tlapák a kol., 1992)

Hloubka filtrační náplně se volí podle účelu využití zařízení:

- pro dočišťování znečištěných povrchových vod mělký filtr s maximální hloubkou 0,6 až 0,8 m
- jako druhý stupeň biologického čištění odpadních vod malých producentů středně hluboký filtr s hloubkou 0,8 až 1,6 m,
- jako první stupeň biologického čištění filtr hluboký 1,6 m a více

Podle půdorysného uspořádání mohou být půdní filtry pravidelné obdélníkové, čtvercové, kruhové a dále nepravidelně uspořádané (Šálek, Tlapák, 2006). Půdní filtry jsou nejčastěji zakládány do zemního lože, a to bez vegetace s krycí vrstvou pro tepelnou izolaci, s různými druhy porostů (travní, zemědělské..), s ovladatelnou hladinou spodní vody v případě přítomnosti mokřadních rostlin nebo se zakleslou hladinou spodní vody pro využití k pěstování rychle rostoucích dřevin (Šálek a kol., 2012)).

Půdní filtry jsou vhodné k čištění běžných a zředěných komunálních odpadních vod. Nehodí se pro čištění odpadních vod s velkým množstvím obtížně usaditelných kalů a organického znečištění (např. odpadní vody z potravinářských výroby), které rychle zanášejí filtr. V České republice nejsou rozšířeny tolik jako biologické nádrže a kořenové čistírny. Hlavní uplatnění nalézají půdní filtry jako malá domovní zařízení. Nejběžnější jsou půdní filtry vertikálně protékající. V lokalitách s nemožností napojení na kanalizaci se jako velmi vhodný a plnohodnotný způsob čištění odpadních vod jeví půdní filtr v kombinaci se septikem. Pokud oba stupně čištění řádně fungují, pak kvalita vyčištěné odpadní vody může mít stejnou úroveň jako voda odtékající z mechanicko-biologických čistíren (Mlejnská a kol., 2009). Takto vyčištěnou odpadní vodu je možné vypouštět do recipientu či kanalizace, nebo ji, při dodržení podmínek stanovených zákonem, zasakovat (Šálek a kol., 2012)

Vsakování, neboli vypouštění odpadních vod do horninového prostředí, je povolováno v ČR pouze výjimečně, a to u jednotlivých rodinných domů nebo rekreačních objektů. Šálek a Tlapák (2006) uvádějí tyto možnosti využití půdních filtrů:

- čištění a dočištění odpadních vod malých producentů, zejména jednotlivých domů, skupin domů, osad, sportovních a rekreačních zařízení, hotelů apod.
- úprava srážkových vod před dalším využitím (úprava dešťové vody ze střech a čistých zpevněných ploch)
- čištění znečištěných povrchových vod přitékajících z extravilánu (slouží jako ochranná clona cenných přírodních lokalit a vodních nádrží před znečištěním)

4.2.5 Filtrace v přirozeném půdním prostředí

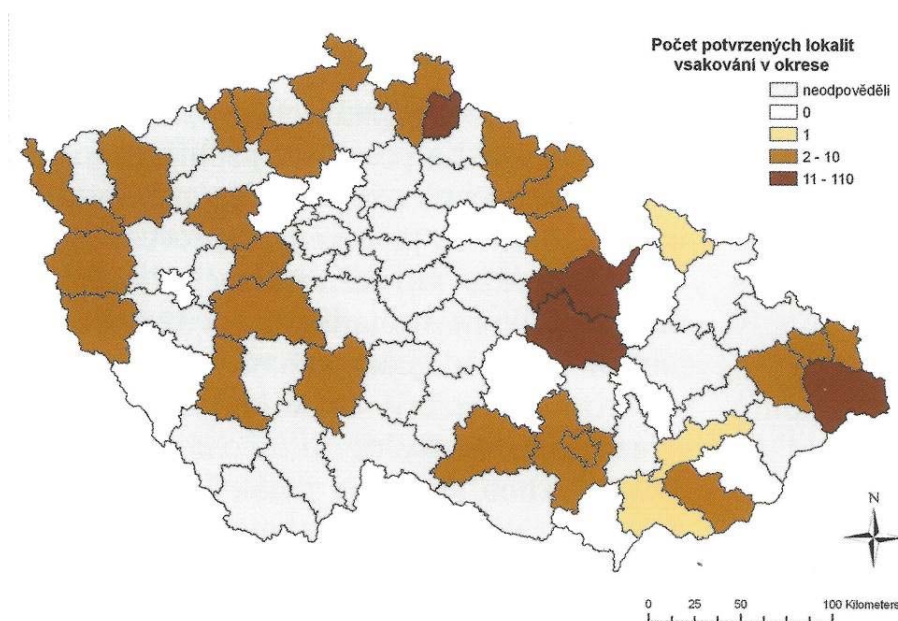
Při filtraci vody v přirozeném půdním prostředí se zachycuje převážné množství suspendovaných látek, v půdě pak probíhá postupný mikrobiální rozklad organické hmoty. Dochází zde k mnoha oxidačním a redukčním pochodům, poutání, sorpci a dalším. Na rozsahu a kvalitě těchto pochodů je závislý výsledný účinek. Při filtraci odpadní vody půdním prostředím jsou rovněž postupně poutány a odbourávány patogení mikroorganismy, čistící účinek se blíží 99 – 100 % (Tlapák a kol., 1992).

Zemina je porézní prostředí, kterým se na základě jejích fyzikálních vlastností filtruje různou rychlostí odpadní či znečištěná povrchová voda. Rychlost filtrace a její účinek závisí na zrnitostním složení půdy, struktuře, textuře, efektivní pórovitosti, složení odpadních vod a obsahu nerozpuštěných látek a jejich vlastnostech. Látky písčitého charakteru se zachycují ve svrchních vrstvách půdy, jemné jílnaté a koloidní organické částice pronikají hlouběji.

K hlavním fyzikálně-chemickým procesům patří vazba (zej. amoniaku, vápníku, hořčíku, sodíku, draslíku a dalších) na sorpční komplex půdy. Zasolování půd a změny propustnosti způsobuje nadbytek sodíku, který se váže na sorpční komplex půdy a vytěsňuje vápník a hořčík. Důležitá je vazba fosforu na sloučeniny železa, manganu a hliníku. Infiltrující voda také ovlivňuje půdní reakce. Chemické procesy probíhají v součinnosti s procesy biologickými. Na mikrobiálních procesech ve filtračním půdním prostředí se v maximální míře podílejí bakterie, aktinomycety a mikromycety. Jejich metabolismus tvoří syntéza látek a rozklad spojený s uvolňováním energie. Biologické procesy ovlivňují a usměrňují sorpční schopnosti půd (Šálek, Tlapák, 2006).

K infiltraci srážkových vod do půdního, hydrogeologického podloží a obohacení zdrojů podzemní vody slouží infiltrační nádrže, vsakovací jímky, průlehy, brázdy, limany a podobná zařízení (Šálek, Tlapák, 2006). Jak vyplývá ze zprávy Výzkumného záměru MZ0002071101 VÚV T. G. M., při vsakování předčištěných odpadních vod z menších (v rámci výzkumu sledovaných) obcí bylo potvrzeno významné snížení znečištění při průchodu horninovým prostředím. Zbytkové znečištění bylo uvolňováno do povrchových vod postupně, nikoliv nárazově jako v případě přímého vypouštění odpadních vod do recipientu. Na základě tříletého výzkumu je doloženo, že ve vhodných podmínkách může být vsakování odpadní vody šetrnější než její vypouštění do recipientu (Eckerhardt, 2009).

Vypouštění a následné zasakování vyčištěných odpadních vod povoluje vodoprávní úřad jen výjimečně, pokud není možné jejich odvádění do kanalizace či recipientu (Šálek a kol., 2012). Mapa na obrázku č. 20 ukazuje počty zasakování povoleného příslušnými úřady (Eckhardt, 2009).



Obr. č. 22: Rozšíření legálního vsakování odpadních vod v České republice (Eckhardt, 2009)

4.2.6 Závlaha odpadními vodami

Závlaha odpadními vodami patří k nejstarším způsobům čištění a využití sídlištních odpadních vod. Gravitační závlahy – podmok, přerón a výtopa byly používány již ve starověku (Sumer, Mezopotámie, Egypt, Římská říše, Čína...). Závlaha odpadními vodami patří k neekonomičtějším způsobům čištění a využití odpadních vod. Může být realizována postřikem, přímo na povrch půdy, podpovrchově nebo mikrozávlahou (Elbl a kol., 2014). Vysoký čistící účinek půdy, který zajišťuje zejména orniční vrstva, závisí na vlastnostech půdy, výšce půdního profilu, složení odpadní vody a na způsobu závlahy. Zavadil (2008) uvádí nejlepší výsledky na středních písčitohlinitých až hlinitých půdách při kapkové závlaze (mikrozávlaha).

Vyčištěná odpadní voda může být cennou surovinou, protože obsahuje živiny využitelné v zemědělství. Jejím používáním můžeme zvyšovat úrodnost a kvalitu půdy a zároveň šetřit přírodní pitnou či užitkovou vodou v době vláhového deficitu (závlaha hnojivá a doplňková). Pokud takto používáme předčištěnou odpadní vodu, je nezbytné zjistit vláhovou potřebu rostlin, celkové závlahové množství a závlahovou dávku, aby se zabránilo kontaminaci podzemních vod dusíkem, fosforem a draslíkem (Elbl a kol., 2014). K závlaze se využívají odpadní vody městské, vhodné odpadní vody průmyslové (zejména z potravinářského průmyslu), odpadní vody zemědělské, kejda a vyhnílé čistírenské kaly. Tabulka č. 9 ukazuje účinnost půdního profilu vysokého 0,8 m při čištění různých typů odpadních vod (Šálek, Tlapák, 2006).

Tab. č. 9: Čistící účinek půdního profilu o výšce 0,8 m při čištění různých typů odpadních vod (Šálek a Tlapák, 2006)

Čistící účinek 0,8 m vysokého půdního profilu při filtraci různých druhů odpadních vod

Druh odpadní vody	Půdní druh	Čistící účinek půdy (%)			
		amoniak	oxidovatelnost	BSK ₅	P ₂ O ₅
Mechanicky čištěná městská odpadní voda	P	78,0	87,0	99,2	66,7
	PH	98,3	95,0	100	98,0
	H	98,2	96,4	100	100
Mechanickobiologicky čištěná městská voda	P	*)	*)	*)	*)
	PH	98,1	86,2	100	100
	H	98,9	83,2	100	100
Tekuté vyhnílé čistírenské kaly	P	91,4	99,7	*)	90,7
	PH	100	99,8	*)	95,4
	H	99,8	99,9	*)	95,3
Surová kejda skotu	P	99,1	98,4	98,7	70,0
	PH	100	99,8	99,7	86,2
	H	99,9	99,5	99,2	77,5
Surová cukrovarská voda	P	100	85,7	94,9	100
	PH	100	88,0	96,1	100
	H	100	92,0	98,2	100

Poznámka: *) nebylo sledováno, P – písčité půda, PH – písčitohlinitá půda, H – hlinitá půda.

Šálek a Tlapák (2006) uvádějí tyto přednosti závlah odpadními vodami:

- stavební provedení a investiční náklady pro závlahu odpadními vodami jsou blízké závlaze čistými vodami
- vodní a hnojivá hodnota odpadních vod zvyšuje výnosy zemědělských plodin
- závlaha odpadními vodami tvoří buď první, nebo druhý stupeň přírodního biologického čištění odpadních vod a tím šetří náklady na výstavbu a provoz umělého biologického čištění 1. stupně, resp. na dočištění jako 2. stupeň biologického čištění
- vysoký čistící účinek půdního prostředí v mnoha případech převyšuje průměrný čistící účinek umělých čistíren a podílí se na zvýšení kvality vody v krajině
- využíváním a poutáním dusíku a fosforu při tvorbě rostlinné biomasy se snižuje eutrofizace vodních toků
- v půdním prostředí dochází k téměř 100% odstranění veškerého bakteriálního znečištění
- k závlaze je možné využívat odpadní vody s vysokým obsahem organických látek (kejdu, tekuté kaly) i odpadní vody silně naředěné
- organické látky v odpadních vodách zvyšují obsah humusu a tím i úrodnost zavlažovaných půd

Při používání odpadní vody k závlahám tedy dochází k jejímu čištění či dočištění a zároveň se využije vodní a hnojivá hodnota této vody, která obsahuje základní rostlinné živiny N, P, K, Ca, Mg, stopové prvky a organické humusotvorné látky. Závlahu odpadními vodami nelze využít při nedostatku vhodných pozemků, v prvním a druhém pásmu hygienické ochrany vodních zdrojů a v ochranných pásmech léčivých zdrojů, v okolí komunikací a sídlišť, při nevhodných hydrogeologických podmínkách (vysoká hladina podzemní vody přesahující 1,2 až 1,5 m, nevhodné složení odpadních vod, zejména vysoký obsah toxických látek). Vhodnost odpadní vody k závlahám je stanovena ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu.

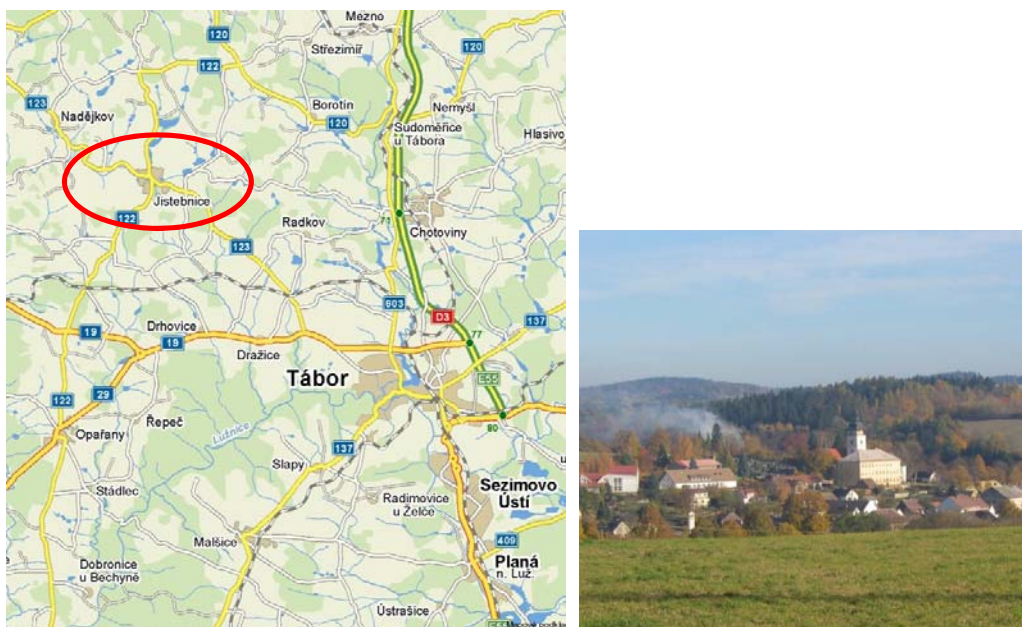
Nedostatkem tohoto typu čištění odpadních vod je obtížnost zabezpečení celoročního provozu, nižší čistící účinek při mimovegetačních závlahách (snížený odběr dusíku a tím možnost kontaminace podzemních vod), vznik pachových závad, možnost kontaminace povrchových a podzemních vod při případných haváriích a závislost čistícího účinku na klimatických podmínkách (teplotě, dešťových srážkách, sluneční radiaci). Rozhodujícím kritériem pro využití předčištěných odpadních vod závlahami je složení odpadní vody, podmínky a způsob aplikace. Při dodržení optimálních závlahových dávek čistící účinek převyšuje umělé mechanicko-biologické čištění. Nejlepších výsledků je dosahováno při kapkové závlaze. (Šálek, 1996). V České republice jsou závlahy vybudovány celkem na 140 000 ha zemědělské půdy (velkoplošné, střední i drobné závlahy), což je zhruba 3,5% z její celkové výměry (Dufková, 2007). V současnosti nejpoužívanější jsou závlahy lokalizované – mikrozávlahy. Kultyry vhodné pro závlahu jsou orné půdy, vinice a ovocné sady (Elbl a kol., 2014).

5. VÝSLEDKY A PŘÍNOS PRÁCE

5.1 Způsob nakládání s odpadními vodami v obci Jistebnice

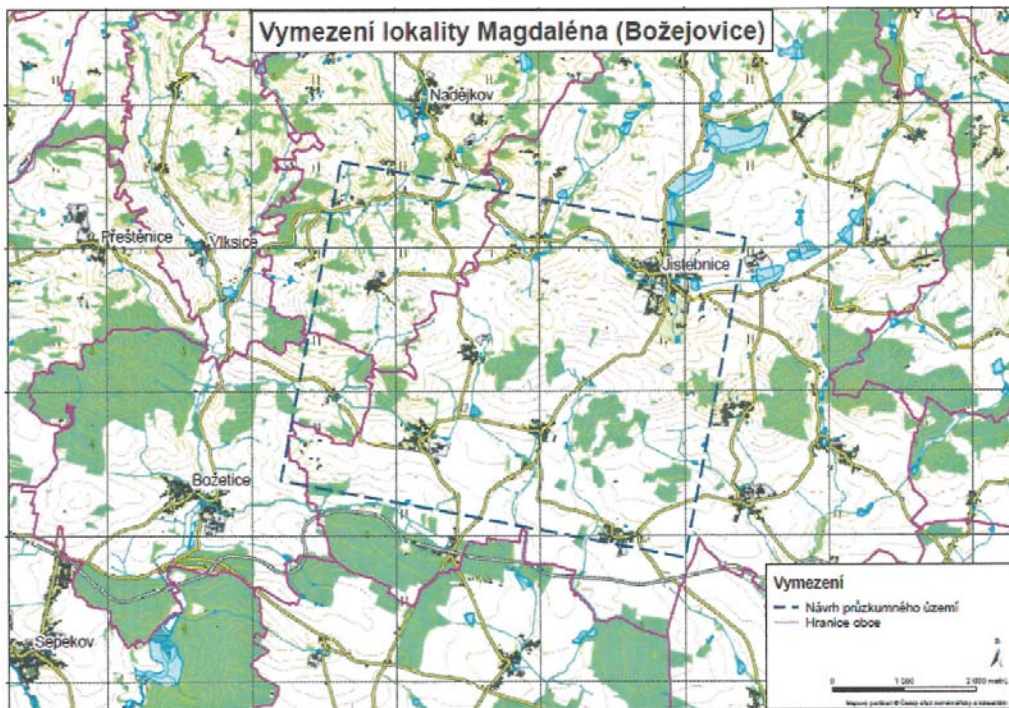
5.1.1 Charakteristika dané oblasti

Jistebnice se nachází 12 km od Tábora v Jihočeském kraji (viz obr. 23). Tato oblast po stránce geologické náleží do Jistebnické vrchoviny (oblast Čertovo břemeno) tvořené masivem intermediárních hornin – granodioritů, syneodioritů nebo syenitů. Část tohoto území patří do přírodního parku Jistebnická vrchovina, který byl postupně vyhlášen na území Jihočeského a Středočeského kraje. Jeho posláním je zachovat krajinný ráz utvořený dlouhodobým tradičním hospodařením s výraznou přírodní a estetickou hodnotou. Nejvyššími body Jistebnické vrchoviny jsou Javorová skála (722,6 m.n.m.) a Čertovo břemeno (713,6 m.n.m.). Obec Jistebnice je položena řádově o sto metrů níže s nejvyšším bodem u kaple sv. Maří Magdaleny (636 m.n.m.), sv. Anny (642 m.n.m.) a Starou Horou (629 m.n.m.).

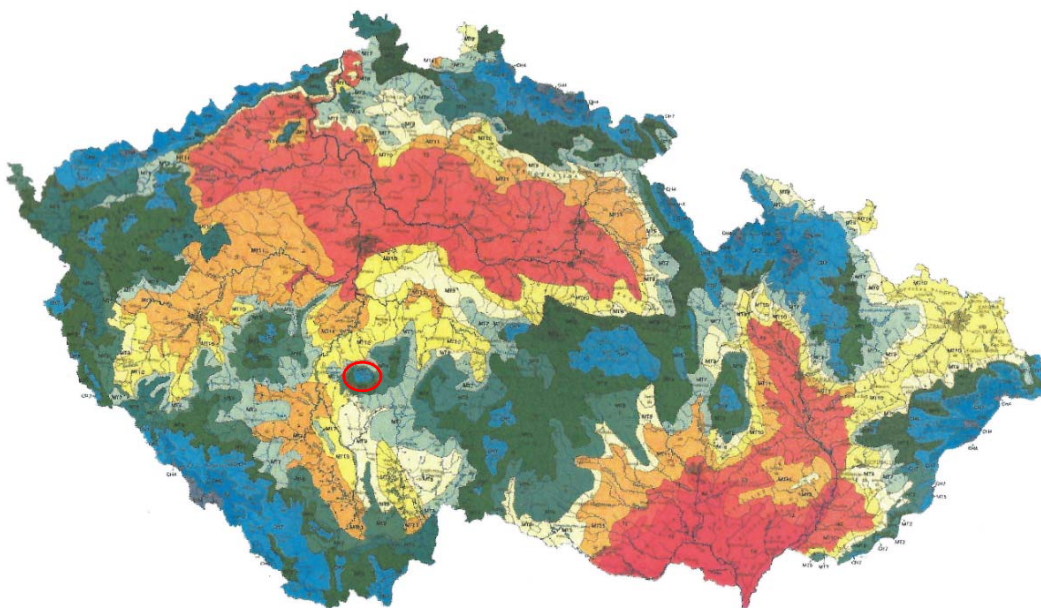


Obr. č. 23: Poloha obce Jistebnice (www.mapy.cz) a pohled na obec (foto.mapy.cz)

V těsné blízkosti obce se nachází jedna z možných lokalit pro výstavbu hlubinného úložiště vysoce radioaktivního jaderného odpadu, lokalita Magdalena (viz obr. 24).



Obr. č. 24: Vymezení lokality Magdaléna pro výstavbu hlubinného úložiště podle www.surao.cz



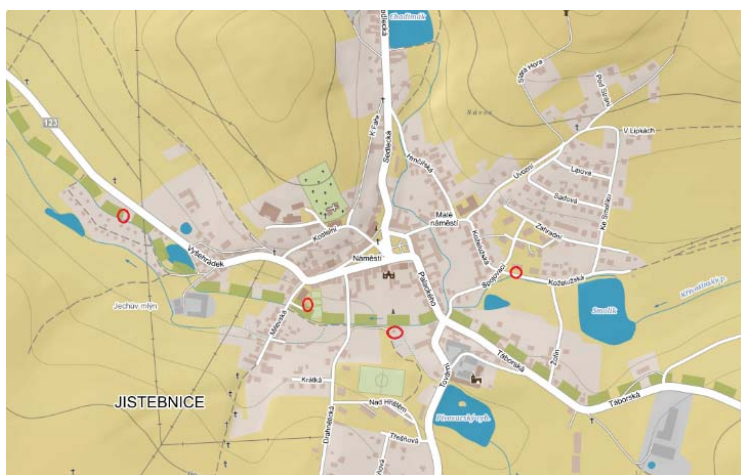
Obr. č. 25: Klimatická mapa České republiky s vyznačením polohy Jistebnice podle (<http://ovocnarskarnie.cz>)

Jistebnicko patří do chladné klimatické oblasti (viz. obr. č. 25), a to do její nejteplejší polohy CH7 (podle Quitta), která je charakteristická krátkým vlhkým létem, dlouhým přechodným obdobím, mírně chladným jarem a podzimem a dlouhou chladnou zimou.

Potenciální přirozenou vegetací jsou zde květnaté bučiny (Moravec, Neuhäslová, 1998). Oblast je nejsevernějším místem výskytu dřípátky horské (*Soldanella montana*) v České republice. Typické zde byly podmáčené vstavačové louky, které však v 80. letech minulého století byly částečně meliorovány. Povrchovou vodu odvádí říčka Smutná, na níž byla v 17. století vybudována soustava větších rybníků. Směrem od pramene k Jistebnici je to rybník Kaplice, Nový, Obecní a Chadimák, jejichž hráze prozatím odolaly každé povodni (Příl.č. 1). V obci samé i v okolí se nachází mnoho rybníků menších (Příl. č. 2). V okolí říčky Smutné jsou doložené mohyly z doby bronzové. O mokřadním charakteru oblasti může vypovídat i název obce – běžně se uvádí, že název Jistebnice je odvozen podle jistebky – součásti výpustě hráze. Jméno obce je však doloženo již ze 13. století, kdežto rybníky byly založeny až ve století 17., patrně rytíři z Kozího. Jistba ve staročeštině je také názvem mostního oblouku a mosty a můstky byly budovány k usnadnění přechodu přes močálovitá území.

Charakter oblasti dokládají i některé lokální názvy, např. Suché potoky – místo v polích na jaře zatopené vyvěrající vodou, v létě vysychající. Takových míst se v okolí Jistebnice nachází více (Příl. č. 3), voda z pramenů i voda srážková byla v minulosti odváděna z polí důmyslným systémem struh a stružek, které podle pamětníků hospodáři udržovali a zejména po přívalových deštích kontrolovali a obnovovali. Rozoráním mezí a dalšími změnami v krajině však byl tento systém zničen. Zbytky jemné struktury krajiny jsou v současnosti poškozovány intenzivní pastvou hovězího dobytka.

Pro obec Jistebnice je směrodatná intenzita přívalového deště ($t = 15 \text{ min.}$, $p = 1,0$) 130 l/s.ha (Černý, 2009). Průměrný srážkový úhrn je 689 mm/rok, průměrný počet srážkových událostí je 36,3. Odpadní vody z obce Jistebnice jsou odváděny do Křivošinského potoka a říčky Smutné. Čistírny odpadních vod jsou vyznačeny na obr. č. 26:



Obr. č. 26: Poloha čistíren odpadních vod (zprava na Křivošinském potoce ČOV1, dále doleva s vyústěním do říčky Smutné ČOV2, ČOV3, ČOV4). (www.mapy.cz)

Název recipientu: **Křivošínský potok** (Foto č. 1)

Kategorie podle vyhlášky č. 470/2001 Sb. : není významný vodní tok

Číslo hydrologického profilu: 1-07-04-094

Průměrný roční dlouhodobý průtok: $0,033 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$

Název recipientu: **říčka Smutná (místně Cedron)** (Foto č. 2)

Kategorie podle vyhlášky č. 470/2001 Sb. : není významný vodní tok

Číslo hydrologického profilu: 1-07-04-095

Průměrný roční dlouhodobý průtok: $0,091 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$



Foto č. 1 Křivošínský potok před ČOV1
(archiv autorky)



Foto č. 2 Říčka Smutná před Jistebnicí
(archiv autorky)

5.1.2 Stoková síť a čistírny odpadních vod

Většina obytných domů ve městě Jistebnici je napojena na jednotnou kanalizaci, v některých okrajových částech, zejména s novou výstavbou, kanalizace vybudována není. Jednotná kanalizace odvádí splaškové a dešťové vody společně, jedním systémem stok. Do roku 2002 byla odpadní voda z jednotlivých domů zachycována v septicích s vyústěním do kanalizace, příkopů či přímo do recipientu (říčka Smutná, Křivošínský potok). V roce 2002 – 2004 proběhla rekonstrukce staré a částečná výstavba nové kanalizace. Následně byly vybudovány čtyři menší čistírny odpadních vod a do nich svedeny odpadní vody z obce od uživatelů napojených na kanalizační síť. Čistírny zobrazují foto č. 3,4,5,6.



Foto č. 3: KČOV 1 (z archivu autorky)



Foto č. 4: KČOV 2 (z archivu autorky)



Foto č. 5: KČOV 3. (vlevo) Celkový pohled, (vpravo) detail odtoku (z archivu autorky)



Foto č. 6: KČOV 4 (z archivu autorky)

Toto řešení bylo navrženo kvůli terénním podmínkám, které by neumožnily gravitační odvod odpadních vod ze všech připojených budov až do jediné ČOV za městem. (V případě jediné ČOV by se odpadní voda musela přečerpávat). První dvě ČOV mají kapacitu pro 125 EO, třetí pro 350 EO a čtvrtá pro 75 EO.

Všechny čtyři čistírny odpadních vod jsou mechanicko-biologické, vlastní čištění zajišťují tři základní procesy - mechanické předčištění odpadních vod, biologické aktivační čištění, aerobní stabilizace a akumulace předčištěného kalu. Stavební povolení a povolení k nakládání s odpadními vodami bylo vydáno dne 4.7.2002, zkušební provoz byl povolen do 31.6.2006 a posléze prodloužen do 30.6.2007. Do trvalého provozu byly čistírny odpadních vod uvedeny v roce 2007. Celé území Jistebnice, na kterém je položena kanalizace, je tvořeno členitým terénem s prudším sklonem. V případě silných srážek odpadní vody rychle odtékají na čističky, což vede ke značnému hydraulickému přetížení jejich biologických systémů (Nádvorník, VII. 2013, in verb.; viz foto č. 7,8).



Foto č. 7: Křivošinský potok za ČOV1
(z archivu autorky)



Foto č. 8: Říčka Smutná mezi ČOV2 a ČOV3
(z archivu autorky)

Problémy s hydraulickým přetěžováním systémů ČOV a následným vyplavováním aktivního kalu se vyskytovaly od samého počátku zkušebního provozu. Ten musel být prodloužen, aby se tyto problémy dořešily. Do doby ukončení prodlouženého zkušebního provozu byly provedeny významné změny na technologii všech čtyř čistíren odpadních vod v obci (Teibichová, II 2014, in litt.).

ČOV I: Vybudování provizorní čerpací jímky, likvidace původního rozdělovacího objektu, vybudování nové čerpací jímky odpadních vod, osazení nového plastového kontejneru na písek, vlastní úprava ČOV – zvýšení skeletu o 0,65 m, gravitační odtok vyčištěných vod z ČOV. Cílem úpravy bylo změnit systém čerpání vyčištěné odpadní vody na systém čerpání nátoky do ČOV jen v množství, které neohrozí biologický proces čištění. Tato úprava si vyžádala i změnu vodoprávního rozhodnutí.

ČOV II: V polovině roku 2006 byla provedena úprava rozdělovacího objektu na nátoky do ČOV s cílem ochránit biologický stupeň před hydraulickými nárazy v případě přívalových srážek. Zároveň byl upraven odtok z ČOV na gravitační s periodickým odčerpáváním usazených částic v čerpací jínce.

ČOV III: V listopadu 2006 byla opravena prasklá dosazovací nádrž.

ČOV IV: V listopadu 2006 byla provedena oprava dmychadla a oprava provzdušňovacích elementů, které se rozbily vlivem utržení čerpací jímky sloužící k odčerpávání vody v případě zaplavení ČOV. Čerpací jímka byla po opravě vrácena a uchycena jiným způsobem, aby se situace neopakovala. Každá tato větší oprava znamenala vyčerpání a odvezení obsahu nádrží a opětovné naočkování celého systému čerstvým aktivním kalem. Po provedení uvedených stavebních úprav již všechny ČOV po ustálení provozu vykazovaly vyrovnané hodnoty na odtoku a plnily kvalitativní limity dané vodohospodářským rozhodnutím. Při uvedení ČOV do trvalého provozu bylo požádáno o navýšení kvantitativních limitů u všech ČOV a zrušení parametru N-NH 4, který pro dané velikosti ČOV není platnou legislativou vyžadován.

Dne 17.10.2008 bylo příslušným vodoprávním úřadem (MÚ Tábor) vydáno **Povolení k nakládání s vodami** spočívající ve vypouštění odpadních vod do vod povrchových – pod č.j.:S-META 45082/2008 OŽP /Ja3.

Limity v novém VH rozhodnutí:

ČOV I.:

množství: 50 000 max. m³/rok, max. 5 000 m³/měsíc
kvalita: CHSK cr.; p = 120 mg/l, m = 150 mg/l, 6,0 t/rok
BSK 5: p = 30 mg/l, m = 50 mg/l, 1,5 t/rok
NL: p = 30 mg/l, m = 50 mg/l, 1,5 t/rok

ČOV II.:

množství: max. 50 000 m³/rok, max. 5 000 m³/měsíc
kvalita: CHSK cr.; p = 120 mg/l, m = 150 mg/l, 6 t/rok
BSK 5: p = 30 mg/l, m = 50 mg/l, 1,5 t/rok
NL: p = 30 mg/l, m = 50 mg/l, 1,5 t/rok

ČOV III.: množství: max. 40 000 m³/rok, max. 4 000 m³/měsíc
kvalita: CHSK cr.; p = 120 mg/l, m = 150 mg/l, 4,8 t/rok

BSK 5: p = 30 mg/l, m = 50 mg/l, 1,2 t/rok
NL: p = 30 mg/l, m = 50 mg/l, 1,2 t/rok

ČOV IV: množství: max. 4 200 m³/rok, max. 400 m³/měsíc
kvalita: CHSK cr.: p = 120 mg/l, m = 150 mg/l, 0,5 t/rok
BSK 5: p = 30 mg/l, m = 50 mg/l, 0,126 t/rok
NL: p = 30 mg/l, m = 50 mg/l, 0,12 t/rok
(Teibichová, II 2014, in litt.)

5.1.3 Odpadní vody z obce

Odpadní vody z města (Černý, 2009) včetně vod srážkových jsou gravitačně odváděny jednotnou stokovou sítí na 4 čistírny odpadních vod. Vyčištěné odpadní vody pak odtékají do Křivošinského potoka (ČOV 1) a říčky Smutné, místně a na starších mapách zvané Cedron (ČOV 2, ČOV 3, ČOV 4). Celková délka dopravních cest stokové sítě je 7,71 km. Dešťové vody jsou odlehčovány z kanalizace čtyřmi odlehčovacími komorami, s ředícím poměrem 1 : 4

V obci vznikají a kanalizací jsou odváděny odpadní vody různého typu:

- a) z bytového fondu
- b) z výrobní činnosti
- c) ze zařízení občansko-technické a státní vybavenosti
- d) srážkové a povrchové vody
- e) jiné (podzemní a drenážní vody vznikající v zastavěném území)

Odpadní voda z bytového fondu

Jedná se o splaškové vody z domácností napojených přímo na stokovou síť. V ojedinělých případech jsou odpadní vody z bytového fondu odváděny do septiků nebo bezodtokových akumulčních jímek (žump). Z těchto zařízení není podle zákona č. 274/2001 Sb., § 18, odst. 4 dovoleno přímé vypouštění odpadních vod do kanalizace. V současné době je v Jistebnici připojeno na ČOV celkem 981 trvale bydlících osob. Pro jednotlivé ČOV to představuje tyto počty ((Teibichová, II 2014, in litt.)):

ČOV 1: 492

ČOV 2: 302

ČOV 3: 152

ČOV 4: 35

Většina připojených obyvatel žije v rodinných domech, malá část v domech bytových.

Odpadní voda z výrobní činnosti

Odpadní vody z výrobní činnosti jsou dvojího typu – vody spaškové a odpadní vody technologické z vlastního výrobního procesu. V obci existuje rozmanitá, nikoli však výrazná výrobní činnost, množství těchto odpadních vod není významné.

Odpadní voda z občansko-technické a státní vybavenosti

Patří sem odpadní vody převážně splaškového charakteru (ZŠ, MŠ, MěÚ, zdravotní středisko, restaurace, pekárna...), které neovlivňují ve zvýšené míře kvalitu odpadních vod ve stokové síti. V roce 2013 byla do veřejné vodovodní sítě dodaná pitná voda v množství 38 038 m³/rok, z toho fakturováno bylo (fyzickým a právnickým osobám) 28 504 m³/rok. Rozdíl je tvořen ztrátami vody v potrubí – poruchy, odkalování sítě, eventuelně černé odběry.

Fakturované množství odpadních vod je tedy o něco větší (menší počet osob připojených na kanalizaci má vlastní zdroj pitné vody – studnu), pro rok 2013 celkem 40 079 m³/rok. Pro jednotlivé ČOV jsou to tato množství (Teibichová, II 2014, in litt.):

ČOV 1: 12 207 m³/rok

ČOV 2: 14 173 m³/rok

ČOV 3: 12 534 m³/rok

ČOV 4: 1 164 m³/rok

Za rok 2014 bylo fakturováno 39 805 m³ odpadních vod, pro jednotlivé ČOV to znamená:

ČOV 1: 11 939 m³/rok

ČOV 2: 13 821 m³/rok

ČOV 3: 12 961 m³/rok

ČOV 4: 1 084 m³/rok

5.2 Variantní způsoby čištění odpadních vod z rodinného domu v obci Jistebnice

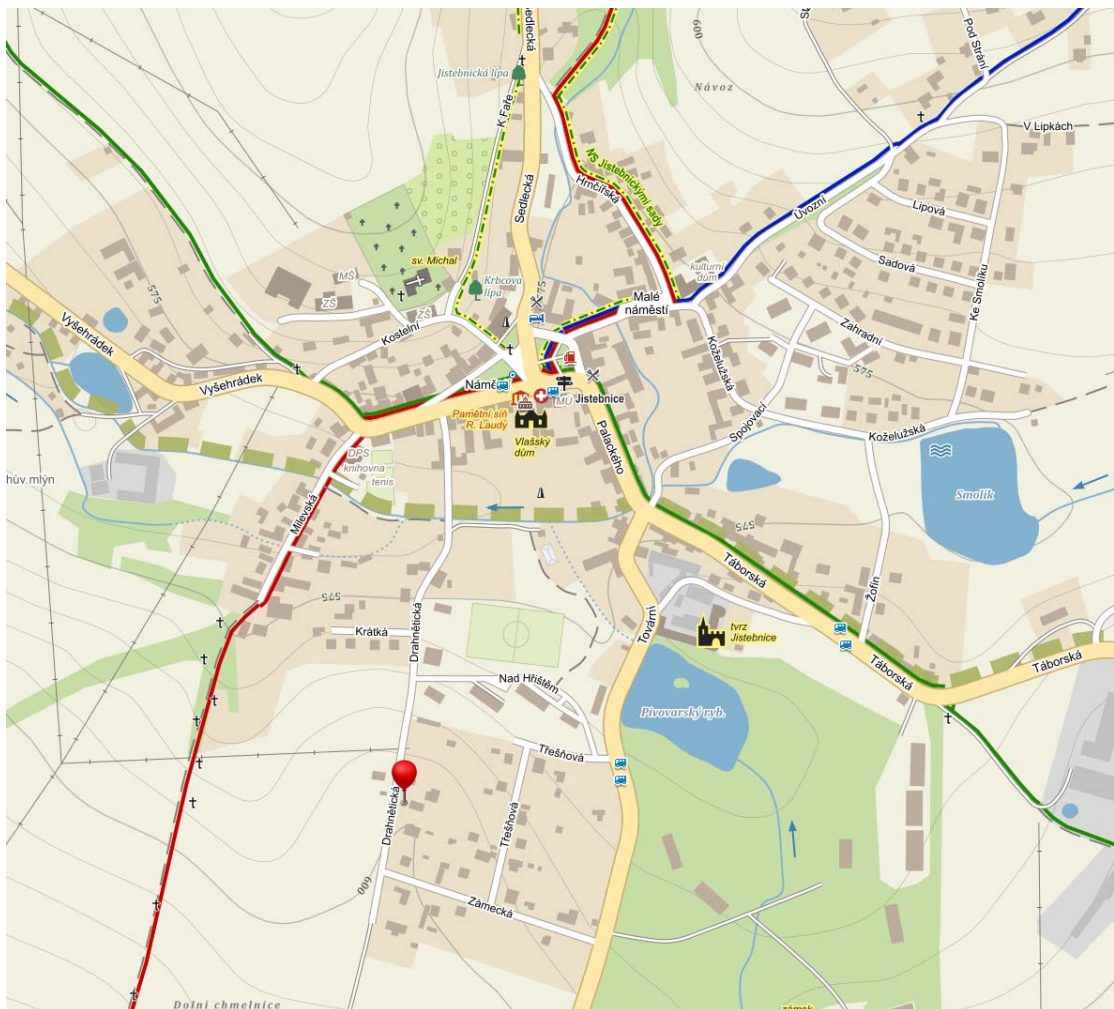
5.2.1 Popis objektu

Předmětný rodinný dům se nalézá na jižním okraji obce Jistebnice v ulici Drahnětická. V této části ulice není provedena kanalizační přípojka. V době stavby rodinného domu v letech 1993-96 však byla její realizace přislíbena v nedlouhém časovém horizontu. Proto bylo u rodinného domu zvoleno provizorní řešení nakládání s odpadními vodami, a to v dvoukomorovém septiku, který však měl do doby napojení na přislíbenou kanalizační síť fungovat jako žumpa, tj. bez odtoku a s nutností pravidelného vyvážení.

V té době nebyly v obci vybudovány čistírny odpadních vod, takže zde byl předpoklad budoucího napojení septiku na kanalizační síť. Po jejich vybudování došlo u všech stávajících septiků k vyřazení z provozu (podle § 18 čl. 4 zákona č. 274/2001 Sb o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu není dovoleno vypouštět odpadní vody do kanalizace přes septiky ani žumpy, pokud je kanalizace ukončena čistírnou odpadních vod).

Vybudování kanalizace v ulici Drahnětická je stále ve výhledu v závislosti na nově vznikající okolní zástavbě. V okamžiku jejího vybudování bude nezbytné podle se ke kanalizaci připojit. Není ale pevně stanoveno, kdy má k vybudování dojít a stále rostou náklady na vyvážení žumpy i ceny vodného. Proto je majiteli rodinného domu zvažována možnost zřídit vlastní decentralizované čištění odpadních vod.

Na obr. 27 je vyznačeno umístění rodinného domu (červeně).



Obr. č. 27: Mapa obce Jistebnice s označením rodinného domu (www.mapy.cz)

O volbě systému čištění odpadních vod rozhoduje stupeň znečištění a průběh jejich vypouštění v čase. V současnosti se navrhování decentralizovaných způsobů řeší pomocí intenzivních (malé domovní čistírny odpadních vod) nebo extenzivních technologií, které jsou založeny na přírodních způsobech samočištění. Intenzivní technologie se využívají při pravidelném přísunu odpadní vody, výhodou extenzivních technologií je možnost přerušovaného provozu a jejich schopnost zvládat silně naředěné odpadní vody i nárazové přetížení (Šálek a kol., 2012).

Rodinný dům je obýván v teplejší části roku, v zimním období pouze sporadicky. Z toho vyplývá i volba řešení pro čištění odpadních vod některou z extenzivních technologií. Očekávaným cílem čistícího procesu je vyčištěná odpadní voda vhodná k závlahám. Tato voda by měla být akumulována v nádrži plnicí kromě dočišťovací také okrasnou funkci. Měly by se zde shromažďovat i vody srážkové odváděné ze střechy budovy a nádrž by měla umožňovat čerpání vyčištěné vody pro závlahu okrasné i užitkové části zahrady. Nádrž by měla být opatřena přelivem pro případ nárazového přetížení srážkovými vodami a následnou infiltrační zónou.

Rodinný dům je obklopen přírodní zahradou (foto č. 9,10) o rozloze 1516 m², která je místem výskytu řady chráněných živočichů. Dlouhodobě jsou zde pozorováni například: ropucha obecná (*Bufo bufo*), skokan hnědý (*Rana temporaria*) i zelený (*Rana esculenta*), blatnice skvrnitá (*Pelobates fuscus*), ještěrka obecná (*Lacerta agilis*), slepýš křehký (*Anguis fragilis*), ježek západní (*Erinaceus europaens*) a další. Provedené zařízení pro čištění odpadní vody by mělo být takové, aby zde přítomné živočichy nerušilo, případně umožnilo jeho využití jako zdroj vody anebo vhodný biotop. Na obr. 28 je vyznačen prostor vhodný pro zařízení na čištění odpadních vod.



Foto č. 9 a 10: Přírodní zahrada kolem rodinného domu: (vlevo) ze západu; (vpravo) východní část (z archivu autorky)



Obr. č. 28: Rodinný dům se zahradou a vyznačením místa pro zařízení na čištění odpadních vod (www.mapy.cz)

5.2.2 Možnosti řešení čištění odpadních vod z objektu

Vzhledem k tomu, že stávající dvoukomorový septik je situován při severní stěně domu v sousedství nově vzniklé zástavby, jeví se jako nejvhodnější 2. stupeň čištění zemní filtr (vzhledem k překrytí zeminou nehrozí nebezpečí pachových závad), který by bylo možné napojit na septik při severní straně domu a využít prostor mezi domem a plotem.

Dvoukomorový septik a zemní filtr tvoří základní čistící systém dostačující pro čištění odpadních vod z jednotlivého obytného domu. Šálek a kol. (2012) doporučuje vložit do klasického septiku síťový filtr na zachycování hrubších nečistot s jednoduchým mechanickým mēlničem, lapákem tuku a soustavou přepážek pro zadržování vzplývavého kalu. Tím se docílí dokonalejšího mechanického předčištění. Za předpokladu, že vyčištěná odpadní voda bude na odtoku splňovat kritéria pro zasakování, bude jí možné buďto zasakovat anebo ji využívat k závlahám ovocných dřevin rostoucích na pozemku kolem domu. Základní systém septik – půdní filtr je možné dále rozšiřovat, v přehledu jsou uvedeny kombinace:

Varianta I: septik – půdní filtr – zasakování (zavlažování)

Varianta II: septik – půdní filtr – dočišťovací nádrže s přelivem – zasakování, závlahy

Varianta III: septik – půdní filtr – kořenová čistírna – dočišťovací nádrž s přelivem – zasakování, závlahy

Varianta I: septik – půdní filtr - zasakování, závlahy (Obr. č. 29)

V této kombinaci je možné uvažovat o dvou typech půdních filtrů podle počtu obyvatel domu (ceny jsou pouze orientační):

Rozpočet - půdní filtr pro 2 – 5 EO:

rozměry: 3200 mm x 1000 mm x 1200 mm (délka x šířka x hloubka)

užitný objem filtrační náplně 3,8 m³

cena filtru bez náplně 15 000 Kč

náplň filtru (písek frakce 1 – 4 mm) 1800 Kč

výkopové práce - filtr 3000 Kč

zasakovací potrubí (25 m) + výkop 3500 Kč

doprava materiálu 3000 Kč

Cena celkem 26300 Kč

Rozpočet - půdní filtr pro 6 – 9 EO:

rozměry: 4000 mm x 1000 mm x 1200 mm (délka x šířka x hloubka)

užitný objem filtrační náplně 4,8 m³

cena filtru bez náplně 17500 Kč

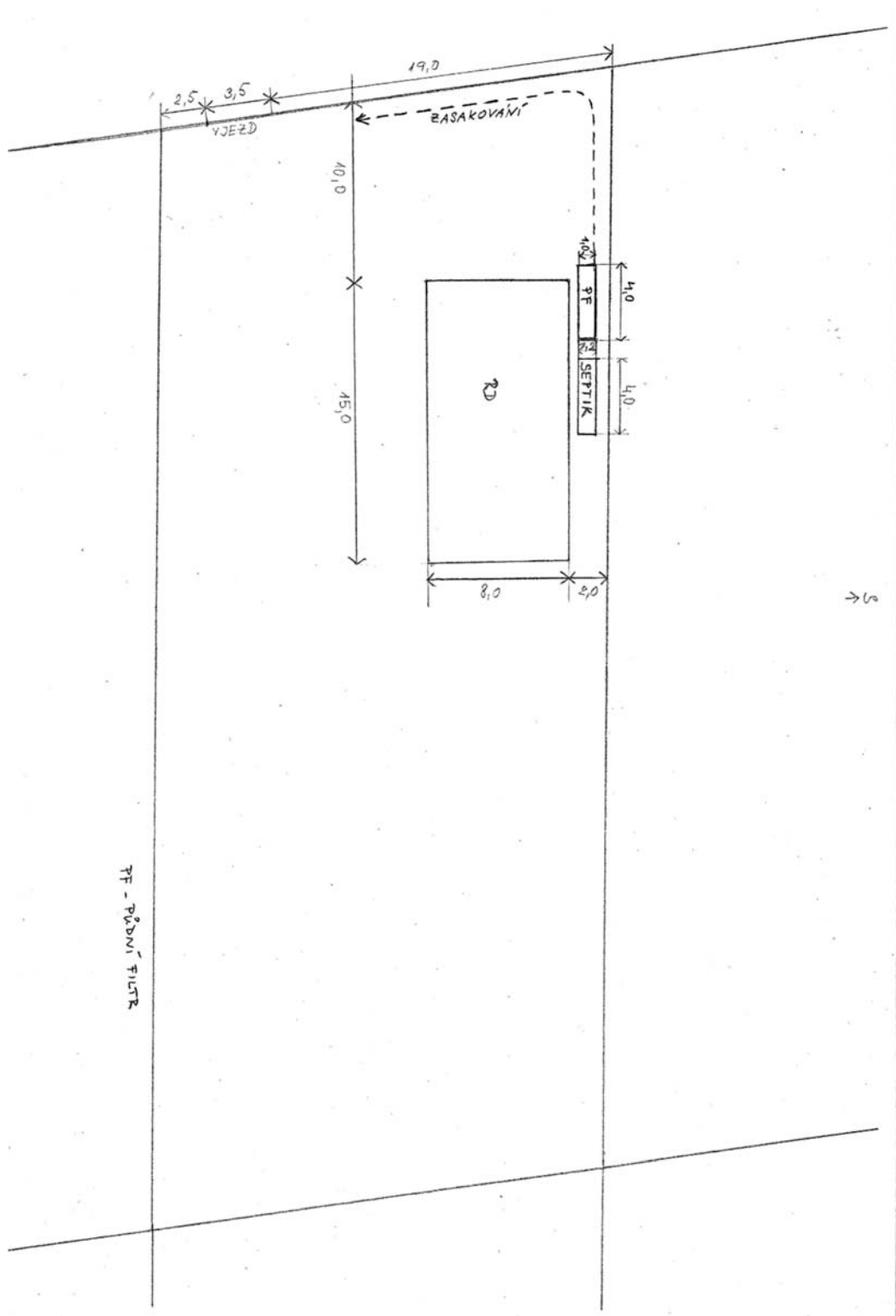
náplň filtru (písek frakce 1 – 4 mm) 2500 Kč

výkopové práce 4 000 Kč

zasakovací potrubí (25 m) + výkop 3500 Kč

doprava materiálu 3000 Kč

Cena celkem 30500 Kč



Obr. č. 29: Varianta I (RD = rodinný dům, PF = půdní filtr, S = sever)

Jako vhodnější se jeví zvolit půdní filtr pro 6 - 9 EO pro případ větší sezónní obydlenosti domu, aby bylo zaručeno dostatečné vyčištění odpadní vody. Zasakovací potrubí by bylo vedeno podél pásu lísek a vzrostlých ovocných dřevin při části severního a západního okraje pozemku (25 m), takže je zde předpoklad, že během vegetačního období by vyčištěná odpadní voda byla z velké míry spotřebována vegetací. Zasakování by tedy mělo charakter spíše podpovrchové závlahy.

Odhad celkové pořizovací ceny této technologie se pohybuje kolem 30000 – 35000Kč. Náklady mohou kolísat podle aktuálních cen dopravy, materiálu a práce a jejich dostupnosti.

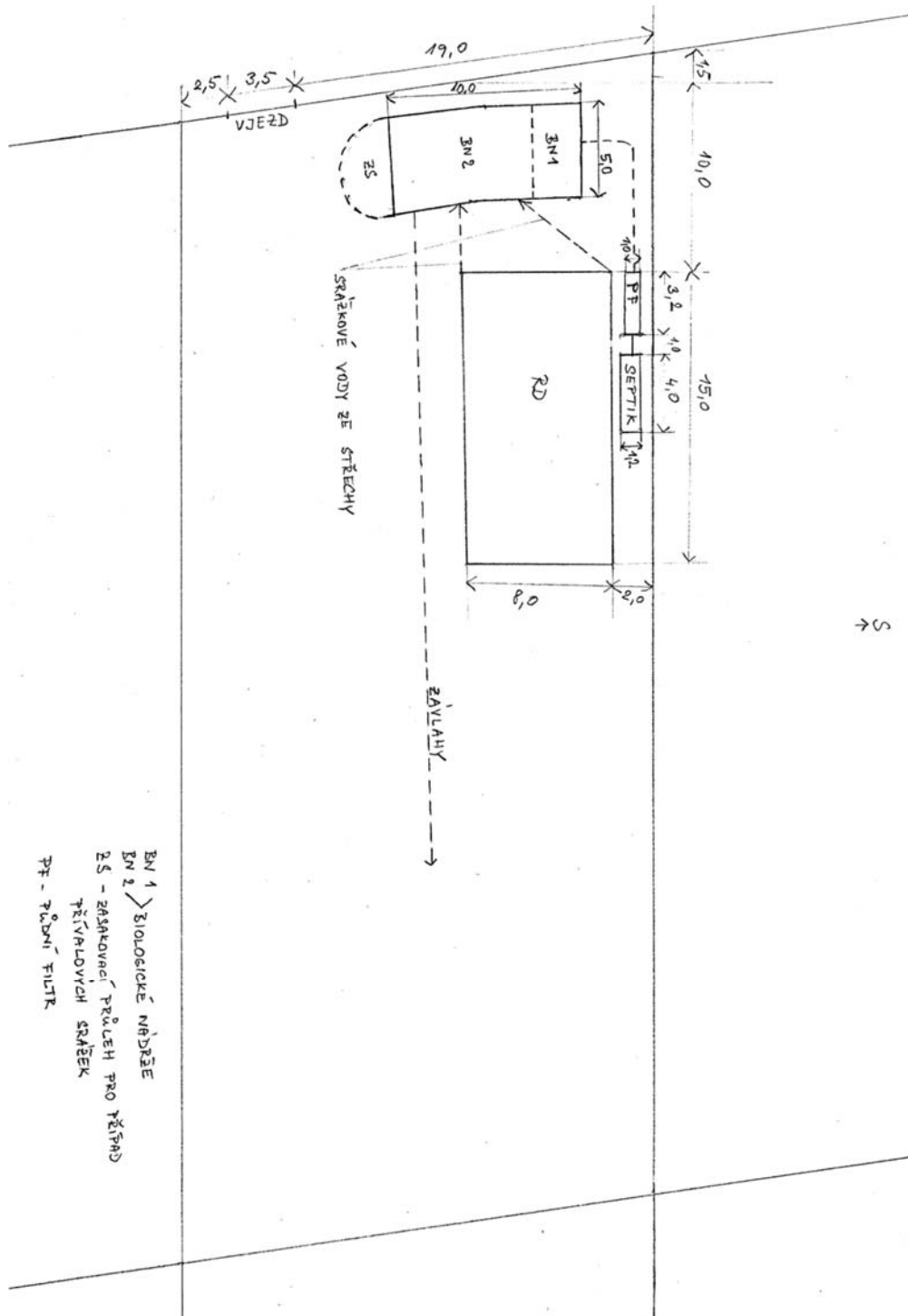
Pokud by v budoucnosti došlo k vybudování kanalizace, bylo by nutné přímé napojení objektu na stokovou síť. V tom případě by bylo možné srážkovou vodu akumulovat v septiku, který by napojením ke kanalizaci pozbyl své funkce, a půdní filtr využívat k jejímu dočišťování. Výhodou by bylo využití veškeré srážkové vody.

Vzhledem k tomu, že se s vybudováním kanalizace zatím nepočítá k žádnému určitému datu, je předpokládána návratnost investice tři až čtyři roky.

Varianta II: septik – půdní filtr – biologická nádrž - dočišťovací nádrž s aerací, přelivem a infiltrační zónou– zasakování, závlahy (Obr. č. 30)

Rozpočet:

- půdní filtr pro 2 – 5 EO	22800 Kč
- biologická (dočišťovací) nádrž BN 1 (plocha 10 m ²)	20000 Kč
- biologická (dočišťovací) nádrž BN 2 s aerací (plocha 40 m ²)	67000 Kč
- zasakovací průleh – výkop (plocha 10 m ²)	6500 Kč
- odtokové potrubí (9 m)	1400 Kč
- potrubí pro závlahu (30 M)	3000 Kč
- potrubí pro srážkovou vodu (10 m)	1200 Kč
Celkem	121900 Kč



BN 1 } BIOLOGICKÉ NÁDRŽE
 BN 2 }
 ZS - ZASAKOVACÍ PRŮLEH PRO PŘÍPAD
 PŘÍVALOVÝCH SRÁŽEK
 PF - PŮDNÍ FILTR

Obr. č. 30: Varianta II (RD = rodinný dům, PF = půdní filtr, BN1, BN2 = biologické nádrže, ZS = zasakovací průleh za přelivem pro případ přívalových srážek, S = sever)

Biologické nádrže mohou kromě dočišťování také zadržovat srážkové vody. Tomu musí odpovídat jejich uspořádání – do 1. nádrže jsou vedeny vody odpadní k dočišťování, do 2. nádrže vody srážkové. Druhá nádrž musí mít dostatečnou retenční kapacitu.

I pro čištění odpadní vody jsou nádrže navrhovány v dvoustupňovém uspořádání s postupným průtokem, v případě jediné nádrže má tato být rozdělena do dvou částí pomocí hrází nebo stěn. První nádrž, nebo část nádrže, má tvořit 15 – 20% celkové plochy, druhá nádrž, nebo část, 80 – 85 % plochy (Mlejnská a kol., 2009).

Požizovací cena této kombinace je odhadována na 120 – 150000 Kč, předpokládaná návratnost 10 – 15 let.

Varianta III: septik – půdní filtr – kořenová čistírna – dočišťovací nádrž s aerací, přelivem a infiltrační zónou – zasakování, závlahy (Obr. č. 31)

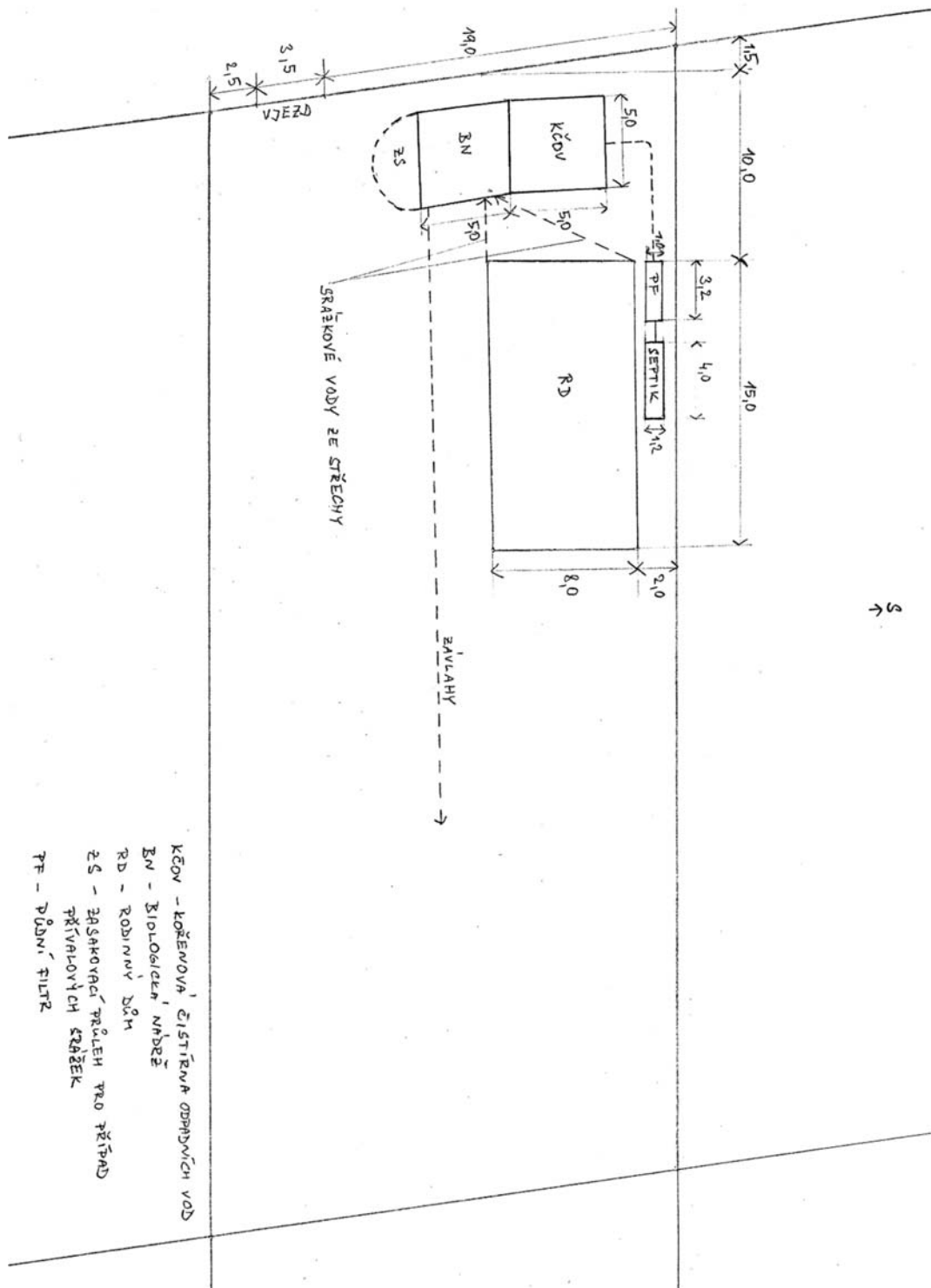
Rozpočet:

- půdní filtr pro 2 – 5 EO	22800 Kč
- KČOV 25 M2(výkop, izolace,rozvody, náplň filtru, sadba rostlin)	75000 Kč
- biologická dočišťovací nádrž s aerací (plocha 25 m2)	50000 Kč
- zasakovací průleh – výkop	6500 Kč
- odtokové potrubí (9 m)	1400 Kč
- potrubí pro závlahu (30 M)	3000 Kč
- potrubí pro srážkovou vodu (10 m)	1200 Kč
Celkem	159900 Kč

Na základní jednotku septik – půdní filtr by navazovala kořenová čistírna o ploše 25 m2, dočišťovací nádrž rovněž o ploše 25 m2 s přelivem a následnou infiltrační plochou pro případ přívalového deště.

Kořenové čistírny jsou navrhovány nejméně ve velikosti 5m2/1EO (v tomto případě by kořenová čistírna měla mít plochu nejméně 25 m2 pro 5 EO – jak uvádí Just a kol. (2004), s požadavkem na vyšší účinek čištění vzrůstá i nárok na plochu kořenové čistírny, pro 80% účinek v BSK5 až 9,6 m2/1EO).

Požizovací cena celé kombinace přibližně 160 – 200000 Kč, doba návratnosti investice 16 – 20 let.



KČOV - KOŘENOVÁ ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD
 BN - BIOLOGICKÁ NÁDRŽ
 RD - RODINNÝ DŮM
 ZS - ZASAKOVACÍ PRŮLEH PRO PŘÍPAD PŘÍVALOVÝCH SRÁŽEK
 PF - PŮDNÍ FILTR

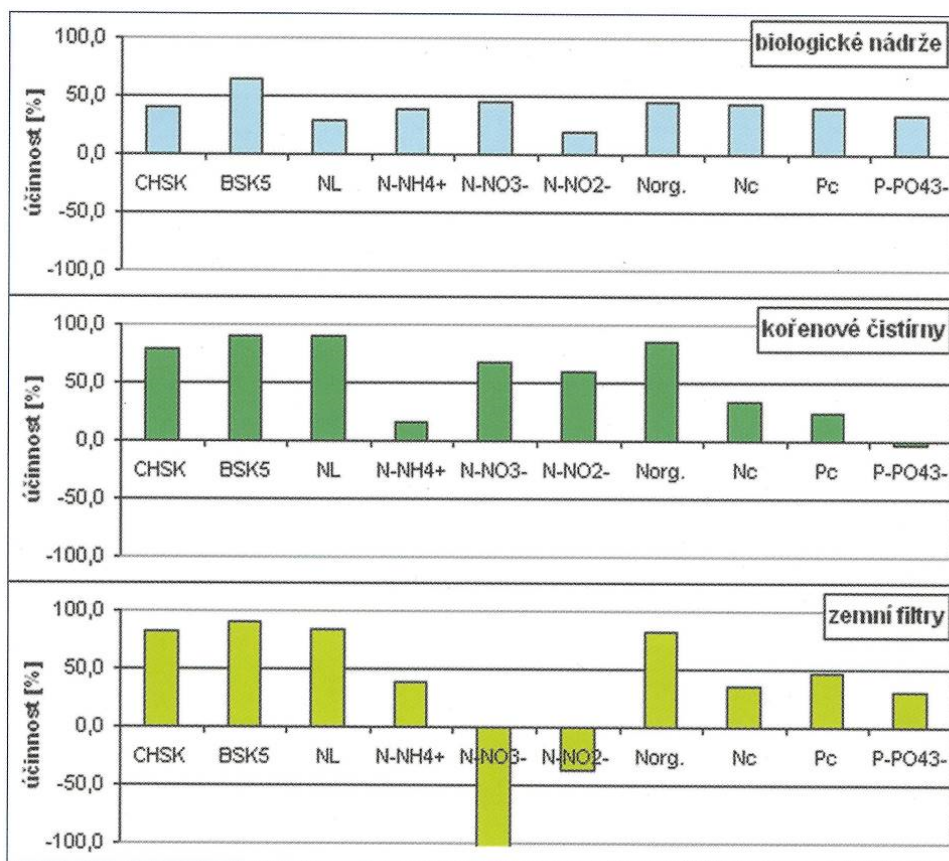
Obr. č. 31: Varianta III (RD = rodinný dům, PF = půdní filtr, KČOV = kořenová čistírna odpadních vod, BN = biologická nádrž, ZS = zasakovací průleh pro případ přívalových srážek)

6. DISKUZE

Porovnat navržené varianty odstraňování odpadních vod z rodinného domu je možné z několika hledisek - z hlediska pořizovací ceny a návratnosti investice, z hlediska účinnosti systému, z hlediska praktičnosti, estetiky nebo z hlediska přínosu či škody pro prostředí přírodní zahrady obývané (trvale či periodicky) různými druhy živočichů. Pořizovací cena jednotlivých variant je pouze orientační a týká se stavebních prací a materiálů. Dokončovací práce (např. úprava a osázení břehů nádrží, osázení umělého mokřadu apod.) se předpokládají svépomocí.

Orientační cena stavebních prací a materiálů byla konzultována telefonicky s jednatelem firmy Jezírka Praha odpovídá i cenám uváděným v internetových zdrojích (např. www.gonap.cz, www.ekoreny.cz, www.piskovnadolany.cz, www.baobab.cz).

Účinnost nejpoužívanějších technologií – biologických nádrží, kořenových čistíren a zemních filtrů porovnává obr. č. 32. Zdrojem údajů je projekt zaměřený na víceleté sledování 6 biologických nádrží, 5 kořenových čistíren a tří zemních filtrů (Mlejnská, 2009).



Obr. č. 32: Přehled průměrných účinností jednotlivých technologií (Mlejnská, 2009)

6.1 Varianta I: septik – půdní filtr – zasakování (zavlažování)

Kombinaci septik – zemní filtr uvádí Šálek (2012) jako plnohodnotný způsob čištění splaškových vod z rodinného domu. Při správném návrhu a funkci systému kvalita vyčištěné vody odpovídá nařízení vlády č. 61/2003 Sb. ve znění 23/2011 Sb. a lze ji vypouštět do recipientu, veřejné kanalizace, nebo vsakovat na základě povolení.

Mlejnská a Wanner (2008) zjistili u několika půdních filtrů s přítokovými koncentracemi CHSKCr 480mg/l, BSK5 219mg/l, NL 196 mg/l, N-NH₄⁺ 33mg/l, P 6,3 mg/l účinnost odstranění: CHSKCr 82%, BSK5 90 %, NL 83 %, N-NH₄⁺ 39 %, P 47 %.

Jak vyplývá ze zprávy Výzkumného záměru MZ0002071101 VÚV T. G. M., při vsakování předčištěných odpadních vod z menších (v rámci výzkumu sledovaných) obcí bylo potvrzeno významné snížení znečištění při průchodu horninovým prostředím. Zbytkové znečištění bylo uvolňováno do povrchových vod postupně, nikoliv nárazově jako v případě přímého vypouštění odpadních vod do recipientu. Na základě tříletého výzkumu je doloženo, že ve vhodných podmínkách může být vsakování odpadní vody šetrnější než její přímé vypouštění (Eckerhardt, 2009).

V tomto případě (kombinace septik – půdní filtr – zasakování) je na místě předpoklad, že zbytkové znečištění (nutrienty dusík a fosfor) bude spotřebováno pásem vzrostlé vegetace (lísky, ovocné dřeviny), v jejichž blízkosti by vedlo zasakovací potrubí.

Při porovnání pořizovací ceny se tato kombinace jeví jako nejvýhodnější, zejména vzhledem k panující nejistotě ohledně vybudování kanalizace do této části ulice.

Také stavební zásah do prostředí přírodní zahrady je relativně malý, takže by nedošlo k významnému rušení živočichů, ani k likvidaci jejich stávajících biotopů.

Nebyl by sice splněn požadavek na vybudování vodního prvku v zahradě, systém by se však mohl v případě napojení rodinného domu na kanalizaci přebudovat na dočišťování srážkové vody a její využití v domácnosti (praní, splachování, čištění) nebo k zalévání zahrady, případně připojit malou vodní nádrž okrasného charakteru.

Výhodou je otevřená možnost dotvoření systému – pokud by k připojení ke kanalizaci definitivně nedošlo, bylo by možné dovybudovat jednu ze zbývajících dvou možností.

6.2 Varianta II: septik – půdní filtr – dočišťovací nádrže (BN1 + BN2) s aerací, přelivem a infiltrační zónou – zasakování, závlahy

Dočišťovací nádrže jsou náročné na plochu, a 1 EO je vyžadována plocha 15 a více m² při pětidenní době zdržení čištěné vody.

Nárok na plochu může být snížen průběžnou aerací, kdy na 1 EO vychází plocha 2 – 3 m² při stejné době zdržení a hloubce nádrže 1 – 3 m (Šálek a kol., 2012).

Aeraci se dodává do systému kyslík v zimním období, kdy fytoplankton neprodukuje kyslík ale i v letním období, kdy dochází k jeho přemnožení a následnému rozkladu (Šálek, 2012).

Rozvoj fytoplanktonu může způsobit druhotné znečištění čištěné vody. Mlejnská a kol., (2009) udává, že rozvinutý vodní květ může zvýšit nárůst BSK₅ na odtoku z nádrže až o 60 – 90 %.

Šálek (2012) uvádí tento čistící účinek biologických dočišťovacích nádrží (při maximálním zatížení 0,30 – 0,35 kg BSK₅ na 100 m² za 1 den při minimálním 5denním zdržení, které je doporučováno): u BSK₅ 35 – 40 %, u CHSK 15 – 20 %, u Pcelk 35 – 40 %, u Ncelk 20 – 25 %, u koliformních zárodků minimálně 95 %. Mlejnská a kol. (2009) uvádějí i hodnoty vyšší na základě šetření různých autorů. Výsledky se však neliší zásadně. Nejlepších výsledků je dosaženo při odstraňování koliformních zárodků, rychlost jejich redukce je závislá na míře slunečního svitu, osvědčil se také systém dvou biologických nádrží s aerací. Po deseti letech provozu biologických nádrží je doporučováno odstranění sedimentu, což může zvýšit nákladnost tohoto systému.

V současné době se tato kombinace nejeví jako vhodná především kvůli nejasnosti napojení domu ke kanalizaci, poměrně vysokým pořizovacím nákladům a možnými provozními problémy (nadměrný rozvoj fytoplanktonu, provoz aeračního zařízení mimo dobu, kdy je dům obydlen).

6.3 Varianta III: septik – půdní filtr – kořenová čistírna – dočišťovací nádrž s aerací, přelivem a infiltrační zónou – zasakování, závlahy

Kořenové čistírny patří k nejvíce prostudovaným extenzivním způsobům čištění odpadních vod (Mlejnská a kol., 2009), také příslušná literatura je obsáhlá.

Již bylo zmíněno, že v České republice se nejvíce používají kořenové čistírny horizontální s podpovrchovým prouděním. Tento typ je uvažován i v navrhované variantě III.

V kořenových čistírnách s horizontálním průtokem převládají většinou anoxické až anaerobní podmínky. To je důvodem horšího odstraňování amoniaku. Nitrifikace probíhá v těsné blízkosti kořenů vegetačního pole, které sem přivádějí kyslík. Vzniklé dusičnany jsou denitrifikovány v anoxických a anaerobních částech filtračního pole (Vymazal, 2004).

Množství oxidovaného amoniaku je však příliš malé, proto se tento typ kořenových čistíren kombinuje s aerobními způsoby přírodního čištění, v tomto případě (varianta III)

s půdním filtrem a dočišťovací nádrží. Ta má sloužit k akumulaci vyčištěné a srážkové vody určené k dalšímu použití (zalévání zahrady).

Kořenové čistírny s podpovrchovým průtokem vykazují dostatečnou účinnost při odstraňování nerozpuštěných a organických látek, odstraňování celkového fosforu a amoniaku je stálé (u amoniaku mírné snížení během zimního období), ale velmi nízké. (Vymazal, Kröpfelová, 2008).

K lepšímu odstraňování fosforu přispívá použití speciálního filtračního média s vysokou sorbční kapacitou, což není příliš rozšířené, protože v České republice není stanoven limit pro obsah fosforu v odpadních vodách ze sídel do velikosti 2000 EO (Vymazal, 2011).

V kořenových čistírnách dochází k významné eliminaci bakteriálního znečištění srovnatelné s účinností klasických čistíren, kořenové čistírny jsou pro tento účel často využívány. Také odstraňování těžkých kovů a dalších rizikových prvků je dostatečně vysoká. Většina stopových prvků je dislokována v sedimentech, ale jejich koncentrace je nízká, takže nadzemní biomasa mokřadních rostlin jimi není zatížena a není nutné s ní zacházet jako s nebezpečným materiálem (Vymazal, 2009).

Vzhledem k tomu, že odpadní voda z předmětného domu je nejvíce zatěžována pracími a čisticími prostředky, je třeba vzít do úvahy i efektivnost jednotlivých typů čisticích zařízení při odstraňování tenzidů.

Jak vyplývá z výzkumných šetření (Pištěková, Šálek, 2008), vhodným materiálem pro odstraňování anionaktivních tenzidů z odpadních vod ve filtru kořenových čistíren odpadní vody jsou především písky a písčité půdy. Při podmínce správného provozování kořenové čistírny dochází k odstraňování anionaktivních tenzidů z 90%.

Domovní kořenové čistírny se mohou umístit i v těsné blízkosti obytných objektů, protože při podpovrchovém průtoku odpadní vody nedochází k hygienickým problémům.

Kořenové čistírny mají vysokou transpiraci, tím snižují odtok vyčištěné odpadní vody a zlepšují mikroklima. Vytvářejí přírodě blízký mokřadní biotop, který může být postupně osídlen příslušnými společenstvy rostlin a živočichů. Tento efekt však musí být v lokalitě určené pro další výstavbu rodinných domů předmětem pečlivé úvahy, aby zde nedošlo k vytvoření ekologické pasti pro volně žijící živočichy.

Z toho důvodu, jako i z důvodu největšího pořizovacího nákladu, je vhodné odložit tento záměr na dobu, kdy bude vyjasněna otázka napojení ke kanalizaci a dalšího stavebního vývoje celé lokality, přestože varianta III se jeví nejlepší z hlediska účinnosti čištění odpadní vody, využívání vody srážkové a vytváření různých biotopů (vodní a mokřadní prostředí).

Do té doby by bylo nejvhodnější zvolit variantu I (septik – půdní filtr, zasakování).

Žáková a Žák (2001) doporučují v objektech s přerušovaným provozem, kde je malá spotřeba vody, zařadit na konec čistícího systému evapotranspirační plochu. Pro úplné odstranění odpadní vody navrhuje například tento systém: septik, půdní filtr, umělý mokřad, dočišťovací nádrž, evapotranspirační porost, kompostování kalů ze septiku.

Vhodným porostem by měly být dřeviny s vysokou transpirační schopností, např. jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*), vrba popelavá (*Salix cinerea*), douglaska (*Pseudotsuga menziesii*). Výhodné může být spojení s plantáží rychlerostoucích dřevin. Koncovým stupněm bezodtokých systémů může být i biologická nádrž s plovoucími ostrůvky makrofyty a okrasnou funkcí (Koedood a kol., 1996). Plovoucí vodní rostliny či ostrůvky makrofyty výrazně zvyšují odpar vody.

Bezodtoké systémy jsou velmi náročné na plochu, proto nebyly zahrnuty do variantních řešení.

7. ZÁVĚR

Přírodní způsoby čištění odpadních vod využívají přirozenou samočisticí schopnost vody. Mohou probíhat ve vodním, mokřadním, či půdním prostředí. O charakteru probíhajících procesů rozhoduje přítomnost či nepřítomnost kyslíku. Při čištění odpadních vod je sledováno zejména odstraňování prvků N a P, které způsobují eutrofizaci povrchové vody. Při odstraňování dusíku je rozhodující činnost mikroorganismů, fosfor je odstraňován zejména srážením a sorpcí. Zařízení pro přírodní (extenzivní) způsoby čištění odpadních vod jsou navrhována tak, aby zde tyto, a další procesy mohly účinně probíhat.

V České republice jsou nejvíce využívaným způsobem přírodního čištění biologické nádrže, kořenové čistírny a půdní filtry, odedávna se využívají závlahy. Biologické aerobní nádrže mají výraznou schopnost eliminovat bakteriální znečištění. Používají se pro čištění odpadních vod z jednotlivých stavení, z rekreačních zařízení, z menších obcí, organicky málo zatížených splachů ze zemědělské půdy a při dočišťování odpadních vod. Půdní filtry slouží v kombinaci se septikem nejčastěji jako malé domovní zařízení pro čištění odpadních vod z objektů, které nelze napojit na veřejnou kanalizaci. Odtékající voda může být odvedena do recipientu anebo na základě povolení zasakována. Půdní filtry pracují v aerobním režimu. Určitým nedostatkem může být menší účinnost při odstraňování mikrobiálního znečištění. Kořenové čistírny odpadních vod jsou v České republice navrhovány převážně s horizontálním podpovrchovým prouděním. U tohoto typu je trvale zatopená náplň filtru, procesy probíhají v anoxickém až anaerobním prostředí. Tím je daná menší účinnost při odstraňování amoniaku. Dostatečně účinné je odstraňování nerozpuštěných a organických látek i mikrobiálního znečištění. Výhodná je kombinace s jinými způsoby čištění, které probíhají v režimu aerobním. Závlahy patří k nejstarším způsobům čištění odpadních vod, využívána je jejich vodní i hnojivá hodnota. Nejúčinnější formou je závlaha bodová (mikrozávlahy). Při použití v zemědělství je třeba stanovit závlahové množství a závlahovou dávku, aby nedocházelo ke kontaminaci podzemní vody. Vhodnost vody pro závlahy je dána ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu.

V obci Jistebnice jsou odpadní vody přiváděny jednotnou kanalizací na 4 menší mechanicko-biologické čistírny (ČOV1, ČOV2, ČOV3, ČOV4). (Nutnost provozovat více menších čistíren je dána terénními podmínkami obce.) Vyčištěná odpadní voda je vypouštěna z ČOV1 do Křivošinského potoka (levobřežní přítok říčky Smutné), z ČOV2, ČOV3 a ČOV4 do říčky Smutné (pravobřežní přítok Lužnice). (Křivošinský potok se vlévá do Smutné zhruba uprostřed obce před ČOV II.) Čistírny odpadních vod byly uvedeny do trvalého provozu v roce 2007. V některých okrajových částech obce kanalizace vybudována není a uvažuje se o ní až v souvislosti s další výstavbou rodinných domů.

Předmětný rodinný dům se nalézá na jižním okraji obce Jistebnice na rovinatém pozemku o rozloze 1516 m², který je udržován jako přírodní zahrada. Obývá se periodicky, zejména v letním období. Zneškodňování odpadních vod je řešeno provizorně (od roku 1996) v souvislosti se stále odkládaným dovybudováním kanalizace do této části obce, a

to septikem, který je provozován jako bezodtoká žumpa s pravidelným vyvážením. Pro řešení tohoto nevyhovujícího stavu byly navrženy tři varianty.

Varianta I - septik se zemním filtrem a zasakováním vyčištěné odpadní vody podél pásu vzrostlých dřevin. Předpokládaná cena je 30 – 35000 Kč, návratnost investice tři až čtyři roky. Půdní filtr má z uvedených přírodních způsobů čištění odpadní vody nejmenší účinnost při eliminaci koliformních zárodků, vyčištěná odpadní voda však bude vedena podpovrchově zasakovacím potrubím, takže nedojde k žádným hygienickým ani pachovým závadám. Návratnost investice je krátká, systém nepotřebuje pravidelnou údržbu. Pouze jednou ročně by bylo vhodné jednorázové vyvezení septiku, nejlépe před zimním obdobím. Výhodou je variabilita systému, který je možno v případě připojení odpadní vody z domu k veřejné kanalizaci přebudovat pro čištění a akumulaci vod srážkových. Ty by pak bylo možno používat nejen k závlahám, ale i v domácnosti jako vodu užitkovou.

Varianta II – septik se zemním filtrem, biologickou nádrží, dočišťovací nádrží s aerací, infiltrační zónou a závlahami. Náklady na vybudování se pohybují kolem 120 – 150000 Kč, návratnost je 10 – 15 let.

Varianta III – septik, půdní filtr, kořenová čistírna, dočišťovací biologická nádrž s aerací, infiltrační zónou a závlahy je variantou nejnákladnější i nejpracnější. Pořizovací cena 160 – 200000 Kč, návratnost 16 – 20 let. Z hlediska účinnosti čištění odpadních vod se jeví jako nejlepší (kombinace aerobního, anoxického a anaerobního prostředí), podpovrchové proudění odpadní vody v kořenové čistírně eliminuje hygienické závady. Systém je možné využít k modelaci rozmanitých biotopů v prostředí přírodní zahrady za současného plnění okrasné funkce. Vzhledem k vysokým nákladům, nejasnosti v otázce kanalizace a s ní související další výstavbou rodinných domů v lokalitě je vhodné záměr odložit a zvolit variantu I, ke které je možné variantu III v případě potřeby dobudovat.

PŘEHLED LITERATURY

- ARMSTRONG, J., A ARMSTRONG, W., 1990. Light-enhanced convective throughflow increases oxygenation in rhizomes and rhizosphere of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *New Phytol.* 114: 121-128.
- BAUDIŠOVÁ D., MLEJNKOVÁ H., 2009: Výzkum v oblasti mikrobiálního znečištění povrchových a odpadních vod. Výzkum a ochrana hydrosféry. Výzkumný záměr MZP0002071101. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. M., Praha.
- BRIX, H., 1990. Gas exchange through the soil-atmosphere interface and through dead culms of *Phragmites australis* in a constructed wetland receiving domestic sewage, *Water Res.* 24: 259-266.
- BUDSKÁ, E., 2004: Atmosférická depozice ekologicky významných látek na stanicích Hřibecí boudy a Rýchory v Krkonoších v roce 2003: *VTEI*, 46: 8.
- BURKA, U., A LAWRENCE, P., 1990. A new community approach to wastewater treatment with higher water plants, in: *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*, P.F. Cooper and B.C. Findlater, eds., Pergamon Press, Oxford, UK, pp. 359-371.
- CIUPA, R., 1996. The experience in the operation of constructed wetlands in North-Eastern Poland, in: *Proc. 5th Internat. Conf. Wetland Systems for Water Pollution Control*, Univ. für Bodenkultur Wien, Austria, Chapter IX/6.
- COOPER, P.F., ed., 1990. European Design and Operation Guidelines for Reed Bed Treatment Systems. Prepared for the European Community/European Water Pollution Control Association Emergent Hydrophyte Treatment System Expert Contact Group. WRc Report UI 17.
- ČERNÝ J., 2009: Kanalizační řád veřejné kanalizace pro obec Jistebnice. VaK JČ a.s. PS Tábor ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu
- DUFKOVÁ J., 2007: Krajinné inženýrství. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita Brno, 204 s. ISBN 978-80-7375-112-8
- ECKHARDT P., 2009: Vsakování odpadních vod do horninového prostředí. In.: *Výzkum a ochrana hydrosféry (Výzkumný záměr MZP0002071101)*. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. M., Praha.
- ELBL J., FOUKALOVÁ J., KINTL A., PLOŠEK L., 2014: Použití odpadních vod v zemědělství. Mendelova univerzita, Brno, 53 s. ISBN: 978-80-7375-994-0
- FAO, 2010: The wealth of waste – The economics of wastewater use in agriculture. *FAO Water Reports* (35), Roma. 129 s.
- GREGERSEN, P., AND BRIX, H., 2001. Zero-discharge of nutrients and water in a willow dominated constructed wetland, *Wat. Sci. Tech.* 44(11-12): 407-412.
- HEADLEY, T., TANNER, C., DAVISON, L., BAYLEY, M., 2008: Treatment wetlands in Oceania: experiences and case studies. In.: *Sb.konf. Mokřady a voda v krajině*. ENKI o. p. s., Třeboň, 99 – 101 s. ISBN 978-80-254-2329-5
- HLAVÍNEK P., PRAX P., HLUŠTÍK P., SKLENÁROVÁ T., KUBÍK J., DVOŘÁKOVÁ D., 2007: Hospodaření s dešťovými vodami v době nastupujícího globálního oteplování. In: *Sb. konf. Odpadní vody 2007*. Asociace čistírenských expertů ČR, Brno. 105 – 110 s. ISBN 978-80-239-9618-0

- JUST T., FUCHS P., PÍSAŘOVÁ M., 2004: Odpadní vody v malých obcích. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. M., Ústav pro ekopolitiku, Praha, 118 s. ISBN 80-903244-5-2
- KOČKOVÁ E., KRÍŽ P., LEGÁT V., ŠÁLEK J., ŽÁKOVÁ Z., 1994: Vegetační kořenové čistírny odpadních vod. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha, 67 s. ISBN 80-7084-104-4
- KRAVČÍK M., Voda v krajině, 2008: In.: Sb.konf. Mokřady a voda v krajině. ENKI o. p. s., Třeboň, 26 – 28 s.
- KOEDOOD J., HAVEKES M., TONKES B., 1996: Floatlands als onderdeel van integraal waterbeheer in Amsterdam. H2O (29), s.382-385
- LANGERGRABER, G., 2003. Simulation of subsurface flow constructed wetlands-results and further research needs, Wat. Sci. Tech. 48: 157-168.
- MALÝ J., MALÁ J., 1996: Chemie a technologie vody. NOEL 2000, s.r.o., Brno, 197 s. ISBN 80-86020-13-4
- MEGONIKAL, J.P., HINES, M.E., A VISSCHER, P.T., 2004. Anaerobic metabolism: linkage to trace gases and aerobic processes, in: Biogeochemistry, W.H. Schlesinger (ed.), Elsevier-Pergamon, Oxford, U.K., pp. 317-424.
- MLEJNSKÁ E., WANNER F., 2008: Porovnání čistícího účinku zemního filtru a kořenové čistírny. Vodní hospodářství 58: 1–12 s.
- MLEJNSKÁ E., ROZKOŠNÝ M., BAUDIŠOVÁ D., VÁŇA M., WANNER F., KUČERA J., 2009a: Extenzivní způsoby čištění odpadních vod. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. M., Praha, 119 s. ISBN 978-80-85900-92-7
- MLEJNSKÁ E., 2009b: Extenzivní způsoby čištění odpadních vod z malých obcí. In.: Výzkum a ochrana hydrosféry (Výzkumný záměr MZP0002071101). Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. M., Praha.
- MLEJNSKÁ E., 2013: Vyhodnocení in-situ aplikace bakteriálně-enzymatického preparátu do kolmatovaných kořenových čistíren. VTEI 5: 1 – 4 s.
- MORAVEC J., NEUHASLOVÁ Z., 1998: Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky. Academia, Praha, 341 s. ISBN 8020006877
- MRKVIČKOVÁ M., KOŽÍN R., HANEL M., BERAN A., BRABEC J., NOVICKÝ O., FRIDRICHOVÁ R., 2012: Navrhování adaptačních opatření pro snižování dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v České republice. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. M., Praha, 132 s. ISBN 978-80-87402-25-2
- Nařízení vlády č. 23/2011 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb. ve znění nařízení vlády č. 229/2007 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.“
- NOVICKÝ O., 2009: Dopady klimatických a antropogenních změn na vodní režim a přírodní prostředí. In.: Výzkum a ochrana hydrosféry (Výzkumný záměr MZP0002071101). Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. M., Praha.
- PIŠTĚKOVÁ M., ŠÁLEK J., 2008: Čistící účinek vegetačních kořenových čistíren při odstraňování tenzidů. In: Sb. konf. Monitoring těžkých kovů a vybraných rizikových prvků při čištění odpadních vod v umělých mokřadech. ENKI, o.p.s. Třeboň, 119 – 127.

- REDDY, K.R., KADLEC, R.H., FLAIG, E., GALE, P.M., 1999. Phosphorus retention in streams and wetlands: a review, *Crit. Rev. Environ. Sci. Tech.* 29: 83-146.
- ROZKOŠNÝ M., KRIŠKA M., ŠÁLEK J., 2010: Možnosti využití přírodních způsobů čištění odpadních vod a posouzení vlivu předčištění. *Vodní hospodářství*, Praha, 5: 116-121 s.
- ROZKOŠNÝ M., SEDLÁČEK P., 2013: Dočištění odtoků z kořenových čistíren odpadních vod stabilizačními nádržemi. VTEI (Vodohospodářské technicko-ekonomické informace). Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. M., Praha. 5: 7 – 12 s.
- SCHWARZ M., FUCHS S., HAHN H. H., 2006: Nucleic acids: indicators for dynamic processes of clogging in soil filter systems. *Water Science and Technology* 54(11 – 12): 183 – 189.
- SKÁCEL J., 1998: *Básně (I)*. Akcent, Třebíč, 235 s.
- SLÁDEČEK V., SLÁDEČKOVÁ A., 1996: Atlas vodních organismů se zřetelem na vodárenství, povrchové vody a čistírny odpadních vod. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 350 s. ISBN 80-02-01080-9-(1)
- SUTTON M. A., 2011: *The Europeannitrogenassessment: sources, effects and policyperspectives*. Cambridge University Press, New York. 612 s. ISBN 11-070-0612-0
- ŠÁLEK J., 1996: Vliv závlah odpadními vodami na životní prostředí. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha, 56 s.
- ŠÁLEK J., TLAPÁK V., 2006: Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Informační centrum ČKAIT, Praha, 283 s. ISBN 80-86769-74-7
- ŠÁLEK J., KRIŠKA, M., PÍREK, O., PLOTĚNÝ, K., ROZKOŠNÝ, J., ŽÁKOVÁ, Z., 2012: *Voda v domě a na chatě*. Grada Publishing, a.s., Praha, 144 s. ISBN 978-80-247-3994-6
- ŠTĚPÁNEK M., 1979: *Hygienický význam životních dějů ve vodách*. Avicenum, Praha, 587 s.
- TLAPÁK V., ŠÁLEK J., LEGÁT V., 1992: *Voda v zemědělské krajině*. Zemědělské nakladatelství Brázda, Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, 318 s. ISBN 80-209-0232-5
- VÍTEK J., 2007: *Vyhodnocení projektu RainDROP, aneb co z něj vyplývá pro hospodaření s dešťovou vodou v ČR*. *Odpadní vody*, Brno, 89 – 96 s.
- VYMAZAL, J., 1995: *Algae and Element Cycling in Wetlands*. CRC Press, Inc., 689 s. ISBN 0-87371-899-2
- VYMAZAL J., 2001: *Nové trendy v použití umělých mokřadů pro čištění odpadních vod*. In: *Sb. konf. Přírodní způsoby čištění a využití odpadních vod II*. Vysoké učení technické, Brno. 77-82 s. ISBN 80-214-1862-1
- VYMAZAL J., 2004: *Kořenové čistírny odpadních vod*. ENKI o. p. s., Třeboň
- VYMAZAL J., 2005: *Constructed wetlands with horizontal sub-surface flow and hybrid systems for wastewater treatment*. *Ecological Engineering* 25:478-490s.
- VYMAZAL J., 2008a: *Funkce mokřadů*. In: *Sb. konf. Mokřady a voda v krajině*. ENKI o. p. s., Třeboň, 99 – 101 s. ISBN 978-80-254-2329-5
- VYMAZAL, J., 2008b: *Využití umělých mokřadů pro čištění odpadních vod z malých zdrojů znečištění*. In: *Sb. konf. Decentralizované nakládání s odpadními vodami*, ARDEC, s.r.o., Brno, 61-7s.

- VYMAZAL J., KRÖPFELOVÁ L., 2008: Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow. Springer Science + Business Media B. V. 566 s. ISBN 978-1-4020-8579-6
- VYMAZAL J., 2009: Kořenové čistírny odpadních vod: Dvacet let zkušeností v České republice. Vodní hospodářství 4: 113 – 118 s.
- VYMAZAL J., 2011a: Long-term performance of constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: Ten case studies from the Czech Republic. Ecological Engineering 37 (2011): 54 – 63 s.
- VYMAZAL J., 2011b: Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review. Hydrobiologia 674: 133-156.
- VYMAZAL, J., 2012: Elektronická databáze kořenových čistíren v České republice.
- WANIELISTA M. P., 1990: Hydrology and Water Quantity Control. John Wiley & Sons, USA, 565 s. ISBN 0-471-62404-7
- 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.
- Zákon č. 274/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů, o vodovodech a kanalizacích.
- ZAVADIL J., 2008: Kritéria využití městských odpadních vod k závlaze zemědělských plodin. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha. 67 s. ISBN 978-80-904027-5-1
- ŽÁKOVÁ Z., ŽÁK P., 2001: Bezodtokové přírodní čistírny odpadních vod pro menší objekty se sezónním provozem. In: Sb. konf. Přírodní způsoby čištění a využití odpadních vod II. Vysoké učení technické, Brno. 35-40 s. ISBN 80-214-1862-1

Seznam zkratek

BSK - biologická spotřeba kyslíku (vyjadřuje obsah biologicky rozložitelných organických látek ve vodě)

BSK₅ – množství kyslíku spotřebovaného mikroorganismy za 5 dní při biochemickém rozkladu organických látek

ČOV - čistírna odpadních vod

ČSN - česká technická norma

Denitrifikace – redukce dusičnanů na plynný dusík

EO - ekvivalentní obyvatel (= průměrná hodnota znečištění odpovídající produkci od jednoho obyvatele za den, v ČR to je 125l/den a 60g BSK₅/den)

CHSK - chemická spotřeba kyslíku (oxidovatelnost) je mírou obsahu látek schopných oxidace (nejčastěji dichromanem draselným CHSK_{Cr} a manganistanem draselným CHSK_{Mn}), vyjadřuje přibližně celkovou koncentraci organických látek ve vodě

KČOV - kořenová čistírna odpadních vod

N – dusík

N_{min} – minerální dusík

NT – nitrogen total (celkový dusík)

N_{org} – organický dusík

N-NH₄⁺ - amonný dusík

N-NO₃⁻ - dusičnanový dusík

Nitrifikace – oxidace amonných iontů a amoniaku na dusičnany (s dusitany jako meziproduktem)

P – fosfor

Recipient – vodstvo, vodní tok nebo podzemní vrstva přijímající vodu z určitého povodí nebo vodu odpadní

Obsah

ABSTRAKT	6
1. ÚVOD	7
2. CÍLE PRÁCE	9
3. METODIKA	9
4. PŘÍRODNÍ ZPŮSOBY ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD?	10
4.1 Princip čištění odpadních vod s využitím přírodních způsobů	10
4.1.1 Voda podzemní, povrchová a srážková	10
4.1.2 Odpadní voda	13
4.1.3 Přeměna látek	14
4.1.4 Další procesy přírodního čištění	17
4.2 Přehled využití přírodních způsobů čištění odpadních vod v České republice.....	19
4.2.1 Biologické a stabilizační nádrže.....	20
4.2.2 Akvakultury a bioeliminátory	25
4.2.3 Kořenové čistírny odpadních vod	27
4.2.4 Půdní (zemní) filtry	34
4.2.5 Filtrace v přirozeném půdním prostředí	37
4.2.6 Závlaha odpadními vodami.....	38
5. VÝSLEDKY A PŘÍNOS PRÁCE	41
5.1 Způsob nakládání s odpadními vodami v obci Jistebnice.....	41
5.1.1 Charakteristika dané oblasti	41
5.1.2 Stoková síť a čistírny odpadních vod.....	44
5.1.3 Odpadní vody z obce.....	48
5.2 Variantní způsoby čištění odpadních vod z rodinného domu v obci Jistebnice	49

5.2.1 Popis objektu.....	49
5.2.2 Možnosti řešení čištění odpadních vod z objektu	52
6. DISKUZE.....	59
6.1 Varianta I: septik – půdní filtr – zasakování (zavlažování)	60
6.2 Varianta II: septik – půdní filtr – dočišťovací nádrže (BN1 + BN2) s aerací, přelivem a infiltrační zónou – zasakování, závlahy	60
6.3 Varianta III: septik – půdní filtr – kořenová čistírna – dočišťovací nádrž s aerací,přelivem a infiltrační zónou– zasakování, závlahy.....	61
7. ZÁVĚR	64
PŘEHLED LITERATURY.....	66
Seznam zkratk	70
Seznam obrázků	73
Seznam tabulek	75
PŘÍLOHA 1: hráze rybníků na říčce Smutné (archiv autorky).....	76
PŘÍLOHA 2: rybníky u Křivošínského potoka (archiv autorky).....	77
PŘÍLOHA 3: podmáčené louky na Jistebnicku (archiv autorky)	78

Seznam obrázků

Obr. č. 1: Hydrologický cyklus (Wanielista, 1990)	11
Obr. č. 2: (a) Vsakovací průleh, (b) vsakovací pás (Šálek, Tlapák, 2006).....	12
Obr. č. 3: Vsakovací potrubí (Šálek, Tlapák, 2006).....	12
Obr. č. 4: Akumulační dešťová nádrž s mokřadní filtrační zónou (Šálek, Tlapák, 2006)	12
Obr. č. 5: Cyklus dusíku ovlivněný lidskou činností (Sutton, 2011)	14
Obr. č. 6: Hlavní procesy přeměn fosforu v půdě (Elbl a kol., 2014).....	16
Obr. č. 7: Zástupci biocenóz (bioindikátory) při procesu samočištění v různých částech stabilizační nádrže.....	18
Obr. č. 8: Přenos kyslíku přes kořenovou zónu mokřadních rostlin (Vymazal, 1995)....	18
Obr. č. 9: Průběh čistících procesů v aerobní biologické nádrži (Šálek, Tlapák, 2006) ..	22
Obr. č. 10: Účinnost biologické dočišťovací nádrže při eliminaci hygienicky závadných bakterií (modrá) v odpadní vodě přitékající z dosazovací nádrže konvenční ČOV (červená). Surová odpadní voda značena žlutě (Baudišová, Mlejnková, 2009).	23
Obr. č. 11: Schematické znázornění čistících procesů v nádržích s plovoucí biomasou (Šálek, Tlapák, 2006)	25
Obr. č. 12: Jednoduchý bioeliminátor (Šálek, Tlapák, 2006)	26
Obr. č. 13: Kaskáda dočišťovacích nádrží s plovoucími rostlinami (Šálek, Tlapák, 2006)	26
Obr. č. 14: Rozdělení jednotlivých typů kořenových čistíren odpadních vod (Vymazal, Kröpfelová, 2008)	27
Obr. č. 15: Schematické znázornění kořenové čistírny odpadních vod s horizontálním podpovrchovým průtokem (Vymazal, 2009)	28
Obr. č. 16: Schéma průběhu čistících procesů v kořenových čistírnách (Šálek, Tlapák, 2006)	29
Obr. č. 17: Bezodtokový mokřad s porostem vrb – schema (Gregersen, Brix, 2001, in Vymazal, 2001)	32
Obr. č. 18: Počty KČOV uváděných do provozu v ČR (Vymazal, 2012)	32

Obr. č. 19: Přehled KČOV v ČR podle počtu EO (Vymazal, 2009)	33
Obr. č. 20: Systém pro čištění vody z přívalových srážek (Headley a kol, 2008)	34
Obr. č. 21: Půdní filtr – schema (Tlapák a kol., 1992).....	35
Obr. č. 22: Rozšíření legálního vsakování odpadních vod v České republice (Eckhardt, 2009)	38
Obr. č. 23: Poloha obce Jistebnice (www.mapy.cz) a pohled na obec (foto.mapy.cz)....	41
Obr. č. 24: Vymezení lokality Magdalena pro výstavbu hlubinného úložiště podle www.surao.cz	42
Obr. č. 25: Klimatická mapa České republiky s vyznačením polohy Jistebnice podle (http://ovocnarska-unie.cz).....	42
Obr. č. 26: Poloha čistíren odpadních vod (zprava na Křivošinském potoce ČOV1, dále doleva s vyústěním do říčky Smutné ČOV2, ČOV3, ČOV4). (www.mapy.cz)	43
Obr. č. 27: Mapa obce Jistebnice s označením rodinného domu (www.mapy.cz)	50
Obr. č. 28: Rodinný dům se zahradou a vyznačením místa pro zařízení na čištění odpadních vod (www.mapy.cz)	52
Obr. č. 29: Varianta I (RD = rodinný dům, PF = půdní filtr, S = sever).....	54
Obr. č. 30: Varianta II (RD = rodinný dům, PF = půdní filtr, BN1, BN2 = biologické nádrže, ZS = zasakovací průleh za přelivem pro případ přívalových srážek, S = sever)	56
Obr. č. 31: Varianta III (RD = rodinný dům, PF = půdní filtr, KČOV = kořenová čistírna odpadních vod, BN = biologická nádrž, ZS = zasakovací průleh pro případ přívalových srážek)	58
Obr. č. 32: Přehled průměrných účinností jednotlivých technologií (Mlejnská, 2009)....	59

Seznam tabulek

Tab. č. 1: Atmosférická depozice v roce 2013 na stanicích Rýchory a Hřibčcí boudy (Budská, 2004)	11
Tab. č. 2: Nejdůležitější biologické procesy při přeměně látek v earobním, anaerobním a anoxickém prostředí (Malý, Malá, 1996).....	16
Tab. č. 3: Možnosti využití přírodních způsobů čištění (Šálek a kol., 2006).....	20
Tab. č. 4: Procesy čištění v biologických nádržích (Šálek, Tlapák, 2006)	21
Tab. č. 5: Základní typy stabilizačních a biologických nádrží (Šálek, Tlapák, 2006)	21
Tab. č. 6: Čistící procesy v mokřadním prostředí kořenových čistíren (Šálek, Tlapák, 2006)	29
Tab. č. 7: Souhrn účinností KČOV v České republice (Vymazal, 2004)	33
Tab. č. 8: Využití kořenových čistíren pro různé typy odpadních vod (Vymazal, 2007)	34
Tab. č. 9: Čistící účinek půdního profilu o výšce 0,8 m při čištění různých typů odpadních vod (Šálek a Tlapák, 2006).....	39

PŘÍLOHA 1: hráze rybníků na říčce Smutné (archiv autorky)

Pohled na hráz mezi rybníkem Obecním a Chadimák



Nová úprava hráze Chadimáku



PŘÍLOHA 2: rybníky u Křivošínského potoka (archiv autorky)

Rybník Smolík a detail jeho hráze



Malý pramenný rybník s odtokem do Křivošínského potoka



PŘÍLOHA 3: podmáčené louky na Jistebnicku (archiv autorky)

Louka mezi Jistebnicí a Drahněticemi



Průleh ve svažité louce mezi Jistebnicí a Svoříží

