

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA

**Čištění komunálních odpadních vod v domovních kořenových
čistírnách - hygienické aspekty a možnosti využití v podmínkách ČR**

Diplomová práce

Vedoucí práce:

Ing. Tomáš Pícek, Ph.D.

Autor:

Bc. Alena Fišerová

25.5.2009

Abstrakt

ČIŠTĚNÍ KOMUNÁLNÍCH ODPADNÍCH VOD V DOMOVNÍCH KOŘENOVÝCH ČISTÍRNÁCH – HYGIENICKÉ ASPEKTY A MOŽNOSTI VYUŽITÍ V PODMÍNKÁCH ČR

Kořenové čistírny odpadních vod (KČOV) mají svůj původ v přirozených mokřadech a jsou využívány pro čištění odpadních vod jako alternativa klasického čištění.

Cílem této diplomové práce bylo udělat literární přehled o používaných typech domovních čistíren odpadních vod a kořenových čistíren odpadních vod v ČR a v zahraničí, o jejich hygienických aspektech, funkčnosti, účinnosti čištění, nákladnosti a možnosti využití v podmínkách ČR a o jejich výhodách a nevýhodách. Dalším cílem bylo navržení vhodného typu domovní KČOV pro podmínky ČR a udělat přehled o nutných krocích při výstavbě domácí KČOV.

V České republice i v zahraničí jsou používány k čištění odpadních vod jako domovní čistírny dosti podobné systémy – nejčastěji jsou to septiky, zemní filtry, kořenové čistírny, aktivační čistírny a biodisky.

Obecně platí, že pro budovy, které mají (nyní nebo v budoucnu) možnost napojení na obecní kanalizaci nejsou alternativní způsoby čištění odpadních vod vhodné. Naopak jsou vhodné pro objekty bez možnosti napojení na kanalizaci a dále pro sezónní objekty, samoty a chaty, kde je jen sezónní produkce odpadní vody.

V České republice se jako KČOV používá nejčastěji systém s horizontálním podpovrchovým tokem. V tomto typu KČOV dochází k dostatečnému odstraňování organického znečištění a nerozpuštěných látek, ale účinnost odstraňování dusíku a fosforu je relativně nízká. V případě použití pro malý počet EO však úplně postačuje, protože zatížení je většinou tak malé, že koncentrace znečišťujících látek v odtékající vodě splňují dané limity.

Ze zahraničních výzkumů vyplývá, že pro zvýšení účinnosti odstraňování dusíku jsou vhodnější hybridní systémy, kde se kombinuje horizontální tok s vertikálním

a s recirkulací. Pro odstraňování dusíku jsou vhodné také systémy s vertikálním tokem a přerušovaným dávkováním odpadní vody, které vykazují dobré výsledky zejména při odstraňování amoniaku.

Pro zlepšení odstraňování fosforu z odpadní vody je nejvhodnější použití jako náplň kořenového pole nebo doplnit jako zvláštní filtry speciální materiály s vyšším obsahem železa, hliníku nebo vápníku, s jejichž pomocí lze dosáhnout účinnosti přes 90%.

Ve své práci jsem dospěla k názoru, že nejvhodnějším typem domovní kořenové čistírny odpadních vod pro podmínky v ČR je KČOV s horizontálním podpovrchovým tokem. A to proto, že je to nejpoužívanější a tím pádem i nejvíc odzkoušený typ KČOV s dostatečně vysokou účinností čištění pro normami požadované látky.

Abstract

WASTEWATER TREATMENT USING HOUSE SEWAGE TREATMENT PLANTS – HYGIENIC ASPECTS AND USAGE IN THE CZECH REPUBLIC

Constructed wetlands (CWs) originate from natural wetlands and are used for waste water treatment as an alternative to conventional treatment.

This thesis was aimed at providing a literary summary of the types of house sewage water treatment plants and constructed wetlands used in the CR and abroad, of their hygienic aspects, functionality, treatment efficiency, expensiveness and the possibilities of their use in the conditions of the CR and their advantages and disadvantages. It also deals with a proposal of a suitable type of house CW for the conditions of the CR and a list of the necessary steps in construction of a house CW.

Quite similar systems are being used for house sewage treatment in the Czech Republic and abroad – mostly septic tanks, ground mounds, constructed wetlands, active treatment plants and biodiscs.

Alternative water treatment methods are generally not suitable for buildings having (now or in the future) the possibility of connection to municipal sewerage systems. They are on the other hand suitable for buildings not connected to sewerage systems or for seasonal objects, remote places and holiday houses with seasonal waste water production.

A system with horizontal subsurface flow is mostly used as a CW in the Czech Republic. This CW type ensures sufficient removal of organic contamination and insoluble substances, but the efficiency of nitrogen and phosphorus removal is relatively low. However it is fully sufficient in the instance of low PE numbers, as the loading rate is usually low and the concentration of contaminants in the output water meets the prescribed limits.

Foreign researches show that hybrid systems combining horizontal flow with vertical flow and with recirculation are more suitable for improving efficiency of nitrogen removal. Systems with vertical flow and intermittent waste water dosage

showing particularly good results in ammoniac removal are also suitable for nitrogen removal.

Special materials with higher iron, aluminium or calcium content are most suitable as filling of a constructed wetland or as additional filters or for improvement of phosphorus removal from waste water as they are able to reach efficiency of up to 90 %.

In my thesis I came to a conclusion that a CW with horizontal subsurface flow is the most suitable type of house constructed wetland treatment for the conditions in the CR, mainly because it is the most frequently used and thus best proven CW type with sufficient efficiency of treatment for the substances required by standards.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Čištění komunálních odpadních vod v domovních kořenových čistírnách - hygienické aspekty a možnosti využití v podmínkách ČR** vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě/v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zdravotně sociální fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách.

V Českých Budějovicích 25.5.2009

.....
Alena Fišerová

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu práce Ing. Tomáši Pickovi, Ph.D. za to, že mi umožnil pracovat na tak zajímavém tématu a dále za jeho odbornou pomoc, věcné korekce a předané vědomosti, které mi v průběhu zpracování této práce poskytl.

Mnohokrát děkuji také panu doc. Ing. Janu Vymazalovi, CSc., panu Petru Hrnčířovi, paní RNDr. Zdeňce Žákové, CSc., paní Marii Zemanové, panu Ing. Pavlu Královi, Ph.D. a dalším odborníkům za pomoc při získávání potřebných informací a za poskytnutí užitečných materiálů.

Nicméně největší dík patří mé rodině, která mi studium na vysoké škole umožnila a po celou dobu mě podporovala.

A mé speciální poděkování patří Lukášovi, bez kterého bych to nedotáhla tak daleko, a kterému vděčím za to, kým teď jsem.

OBSAH

	Úvod.....	10
1.	Současný stav zpracované problematiky.....	12
1.1	Koncepce nakládání s odpadními vodami	12
1.2	Situace v ČR	14
1.3	Situace v zahraničí.....	17
1.4	Způsoby čištění odpadních vod.....	19
1.4.1	<i>Principy přírodního čištění odpadních vod.....</i>	19
1.4.2	<i>Výhody a nevýhody přírodních způsobů čištění.....</i>	20
1.5	Technologie likvidací odpadních vod z rodinných domů.....	21
1.5.1	<i>Žumpa.....</i>	21
1.5.2	<i>Septik.....</i>	24
1.5.3	<i>Mechanicko-biologická čistírna.....</i>	26
1.5.3.1	<i>Biodiskové čistírny odpadních vod.....</i>	30
1.5.3.2	<i>Čistírny se skrápěnými biologickými filtry.....</i>	31
1.5.3.3	<i>Aktivační čistírny.....</i>	32
1.5.4	<i>Zemní filtr.....</i>	33
1.5.5	<i>Kořenová čistírna odpadních vod.....</i>	36
1.6	Dočištění.....	54
1.6.1	<i>Drenážní podmok</i>	54
1.6.2	<i>Okrasné dočišťovací jezírko.....</i>	55
1.7	Hygienické aspekty čištění odpadních vod.....	56
1.7.1	<i>Onemocnění přenášená vodou.....</i>	56
1.7.2	<i>Hygienické aspekty provozu.....</i>	58
1.7.3	<i>Hygienické aspekty závlah odpadními vodami.....</i>	58
2.	Cíle práce a hypotézy.....	60
2.1	Cíle práce.....	60

2.2	Hypotéza.....	60
3.	Metodika.....	61
4.	Výsledky.....	62
4.1	Metodický postup při plánování domovní KČOV.....	62
4.1.1	<i>Přípravné a průzkumné práce.....</i>	62
4.1.2	<i>Prověření možnosti vypouštění odpadních vod.....</i>	63
4.1.3	<i>Zajištění návrhových parametrů.....</i>	65
4.1.4	<i>Umístění čistírny.....</i>	66
4.1.5	<i>Výběr čistírny.....</i>	67
4.1.6	<i>Investiční a provozní náklady.....</i>	70
4.1.7	<i>Postup na úřadech.....</i>	71
4.1.7.1	<i>Projektová dokumentace.....</i>	71
4.1.7.2	<i>Vodoprávní řízení.....</i>	71
4.1.7.3	<i>Stavební připravenost.....</i>	73
4.1.7.4	<i>Kolaudace stavby.....</i>	73
4.1.7.5	<i>Uvedení do zkušebního a trvalého provozu.....</i>	74
4.1.8	<i>Vodohospodářský orgán.....</i>	76
5.	Diskuse.....	77
6.	Závěr.....	83
7.	Seznam použité literatury.....	85
8.	Klíčová slova.....	99
9.	Přílohy.....	100

Úvod

Téma této diplomové práce jsem si zvolila sama. Chtěla jsem navázat na svou bakalářskou práci, jež mě velice zajímala a obohatila. V České republice je nedostatek ucelených materiálů o domovních kořenových čistírnách odpadních vod a já bych ráda přispěla k rozšíření informovanosti o této problematice.

O důležitosti vody na Zemi a jejím vlivu na lidstvo není potřeba polemizovat. Vzhledem ke stálému množství vody na naší planetě a neustále vzrůstajícímu počtu obyvatel je nezbytné uvažovat o hospodárném zacházení s tímto cenným zdrojem. Každý člověk by měl orientovat svůj hlavní zájem na vodu jako na nejvýznamnější přírodní bohatství a zamyslet se nad tím, jak čelit nedostatku vody na Zemi.

Již v dávné historii si lidé uvědomovali nebezpečí plynoucí z odpadní vody, především z hlediska vzniku onemocnění, a tak bylo potřeba zavést čištění odpadních vod. A protože dávné civilizace samozřejmě nedisponovaly takovými materiály, přístroji a možnostmi jako má dnešní lidská společnost, čistily vodu právě metodami přírodního čištění, kterými se tato diplomová práce zabývá.

Čištění komunálních odpadních vod z bodových zdrojů se v současnosti stává závažnou tématikou ochrany životního prostředí. Po zpřísnění legislativy (nařízení vlády č. 229/2007 Sb.), která se týká čištění odpadních vod, vzniká nutnost kvalitně čistit odpadní vody i u objektů a zařízení o velikosti menší než 50 EO (ekvivalentních obyvatel). Kořenové čistírny odpadních vod (KČOV) jsou přírodní technologií, která využívá přirozené procesy fungující v mokřadním ekosystému pro čištění odpadních vod. V současnosti je v ČR asi 250 funkčních systémů KČOV, vesměs jde o systémy s podpovrchovým horizontálním tokem konstruované pro malé domovní čistírny (< 20 EO) a pro menší obce (většinou 100 až 500 EO). V ČR převažují domovní čistírny odpadních vod (DČOV), které využívají aerobní princip čištění odpadních vod. Jejich výhodou je znalost funkce těchto systémů a možnost zakoupení již hotového zařízení. Typů a modifikací těchto čistíren je několik. V zahraničí se rovněž využívají podobné systémy, které jsou již otestovány a ověřeny. Některé z těchto typů KČOV by se mohly zdárně využívat i v podmínkách ČR.

V předkládané práci je sepsán literární přehled o používaných typech DČOV a KČOV v ČR a v zahraničí, o hygienických aspektech, jejich funkčnosti, výhodách a nevýhodách, účinnostech čištění, nákladnosti a možnosti využití v podmínkách ČR. Na základě těchto informací byl navržen vhodný typ domovní KČOV pro podmínky ČR. Dále byl vypracován stručný návod o nutných krocích při výstavbě domovní KČOV a odhad finančních nákladů na vybudování čistírny.

1. Současný stav zpracované problematiky

1.1 Koncepce nakládání s odpadními vodami

Centralizovaný systém

Ve městech se nejčastěji uplatňuje **centralizované odvádění** odpadních vod kanalizací do jedné společné čistírny. Kanalizace může být buď jednotná nebo oddílná. **Jednotná kanalizace** odvádí jedním potrubím splaškové i dešťové vody. Je navržena na velké dešťové odtoky, ke kterým dochází zřídka a jednorázově. **Oddílná kanalizace** se skládá ze dvou potrubních systémů, splaškového a dešťového (26).



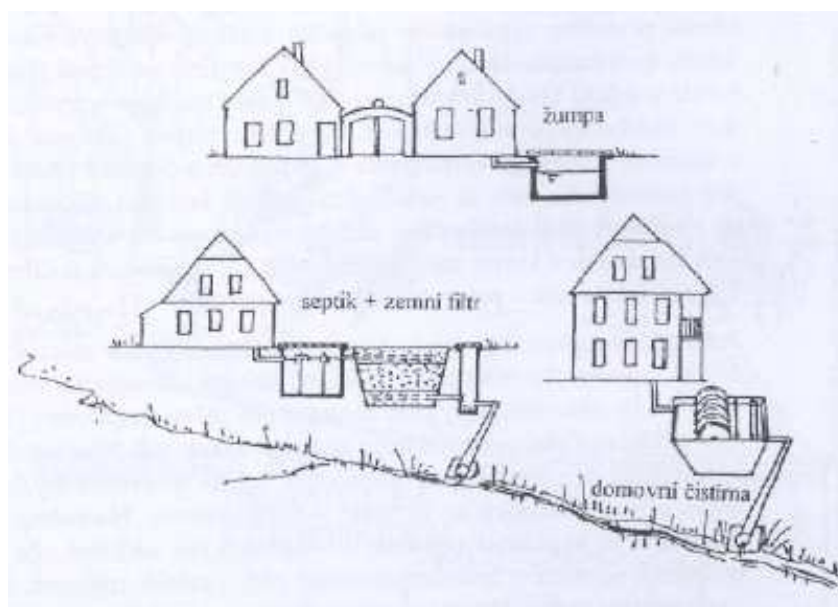
Obr.1: Centralizovaný systém odvádění a čištění odpadních vod s jednotnou kanalizací (26).



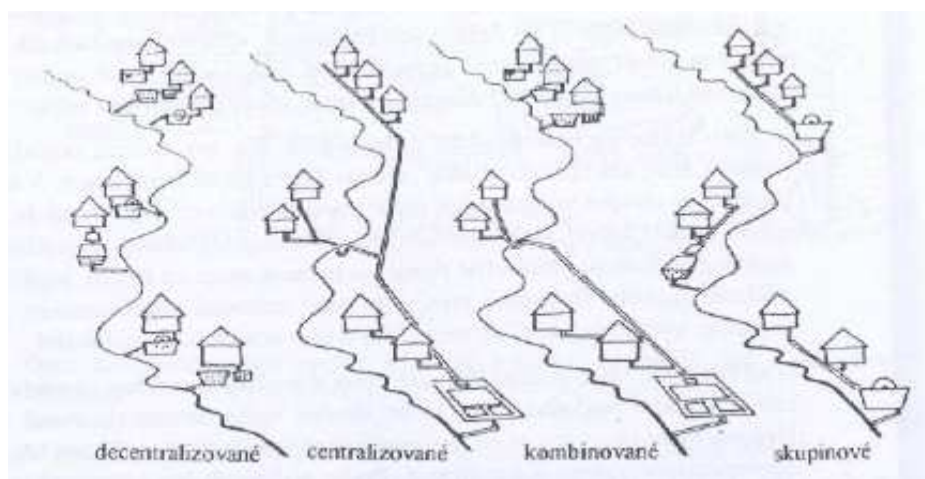
Obr.2: Centralizovaný systém odvádění a čištění odpadních vod s oddělenou kanalizací (26).

Decentralizovaný systém

Je založen na zneškodňování odpadních vod v jednotlivých domech, tedy přímo u zdroje znečištění, čímž je docíleno zkrácení a uzavření vodního cyklu v domácnostech (značné ušetření financí a pitné vody). Tento systém je vhodný tam, kde není hustá sídelní zástavba a není vybudována kanalizační síť. Jeho předností je to, že není potřeba rozkopávat obec, čímž se zamezí případnému porušení spodních vod. V úvahu tu přicházejí bezodtoké žumpy, septiky se zemními filtry a domovní mechanicko-biologické čistírny. Obecně lze říci, že decentralizovaný systém odpadních vod je investičně 10krát levnější. Některé obecní úřady na čištění odpadních vod poskytují dotaci pro občany (cca 15 000 Kč). Vody vyčištěné v domovních čistírnách je možné vypouštět rovnou do vodního toku. Pokud není blízko žádný vodní tok, může vzniknout potřeba budovat pro odvádění vyčištěných vod vlastní kanalizaci, to ale stírá rozhodující výhodu decentralizovaných řešení. Proto je nutné hledat v takových případech náhradní řešení, jako je např. závlaha vyčištěnými vodami (14, 26, 61, 66, 72).



Obr.3: Prvky decentralizovaného systému nakládání s odpadními vodami (26).



Obr.4: Možná řešení obce údolního typu s nesoustředěnou zástavbou (26).

1.2 Situace v ČR

Problematice komplexního hospodaření s vodou v samostatně stojících rodinných domech a rekreačních objektech se u nás (na rozdíl od některých okolních států s podmínkami podobnými našim, především Německa a Rakouska) dosud nevěnuje potřebná pozornost. Hlavní úsilí zatím směřuje k čištění odpadních vod v malých domovních čistírnách většinou s nákladným provozem, kterých je na trhu

několik desítek typů. V posledních letech se začíná řešit problematika čištění srážkových vod především se zaměřením na jejich pronikání do podzemních vod. Využití upravených srážkových a šedých vod (jako šedá voda je označována odpadní voda z domácnosti, konkrétně z umyvadel, dřezů, vany, sprchy, myčky a pračky) je zatím v počátcích **(65, 68)**.

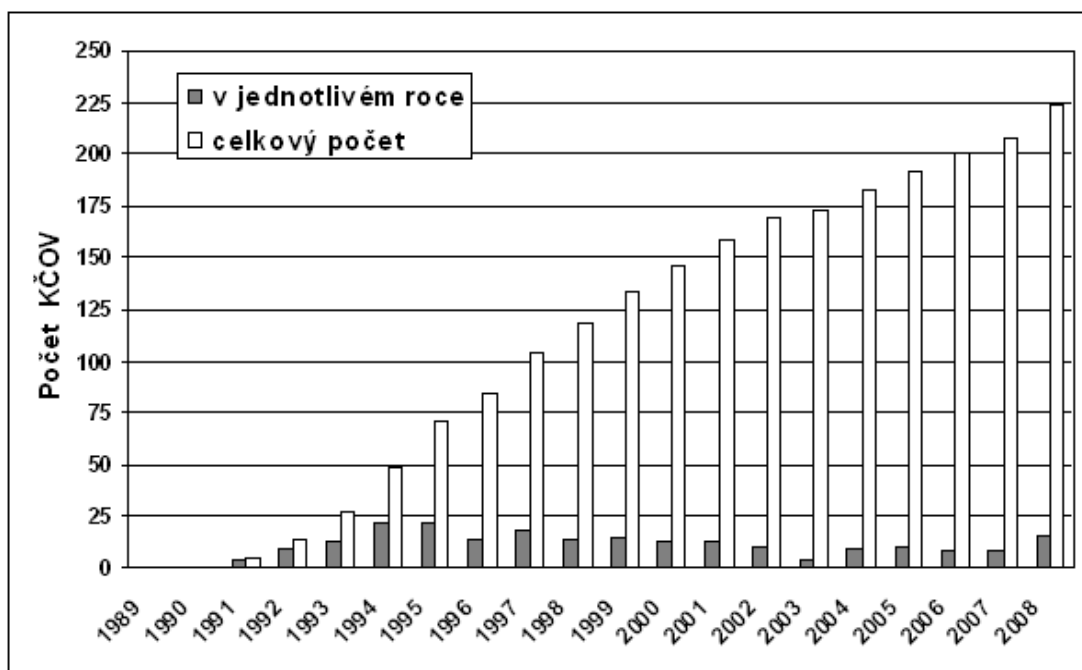
Přírodní čištění odpadních vod si u nás získává stále větší zájem občanů, kteří budují nové rodinné domy k trvalému bydlení nebo rekreační objekty se sezónním provozem v oblasti bez možnosti napojení na inženýrské sítě. Většímu rozšíření těchto alternativních řešení zatím na mnoha místech naší republiky brání nedostatek informací a nedůvěřivý přístup povolovacích orgánů – stavebních úřadů a vodohospodářských institucí **(68)**.

Kořenové (vegetační) čistírny odpadních vod jsou z alternativních způsobů čištění odpadních vod prostudovány nejvíce. Nejen, že kvalitně zajišťují čištění odpadních vod, ale navíc představují i zajímavý krajinný prvek a prostředí pro život řady rostlin a živočichů. V rodinném domě většinou proudí odpadním potrubím jen jeden druh znečištěné vody, ve skutečnosti se jedná o odpad dvojího druhu: šedá voda (zmiňovaná výše) a voda z toalety, označovaná jako černá. Černá voda může do kořenové čistírny proudit pouze po průchodu odkalovací jímkou. Lze to vyřešit i pomocí dvou odpadů - černá voda poteče do septiku, resp. kanalizace, šedá do kořenové čistírny. V České republice jsou rozšířeny zejména umělé mokřady s podpovrchovým horizontálním tokem. Tyto systémy jsou navrhovány a stavěny tak, aby se při čištění odpadních vod využívaly procesy, které probíhají v přirozených mokřadech a které zahrnují mokřadní vegetaci, půdní procesy a přítomná mikrobiální společenstva **(7, 65, 73, 77, 78, 82)**.

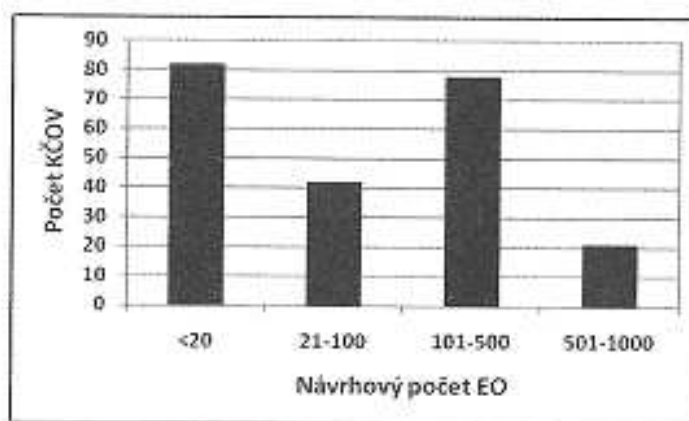
Ekvivalentní obyvatel (EO) je jedna osoba, producent znečištění. Je to uměle zavedená jednotka, která představuje produkci odpadní vody 150 l/den. Počet připojených obyvatel na jednotlivé KČOV se pohybuje od 2 do 1000 **(73, 91)**.

Podle průzkumu provedeném v roce 2003 bylo v České republice uvedeno od roku 1989 do provozu minimálně 155 KČOV. Počet KČOV v roce 2004 přesahoval 160, v současnosti je to již okolo 250 KČOV. Nejvíce KČOV je navrženo pro malé

domovní čistírny pro < 20 EO (Dokonalá evidence neexistuje, ale dá se odhadnout, že jejich počet se v současné době pohybuje kolem 100.) a pro zdroje znečištění 101 – 500 EO (kolem 80). Často je také odborníky navrhována celá zahrada a kořenová čistírna se stává už od zahájení projektování součástí zahrady (36, 81, 90, 100).



Obr.5: Počet KČOV uvedených do provozu v České republice od roku 1989 (86).



Obr.6: Rozdělení KČOV v České republice podle návrhového počtu ekvivalentních obyvatel (90).

1.3 Situace v zahraničí

V současnosti jsou kořenové čistírny využívány pro čištění různých typů odpadních vod prakticky všude ve světě. Nejvíce jich je pak v Německu (cca 50 000), následuje USA (cca 10 000), Velká Británie (1200), Rakousko (1000), Itálie (600), Portugalsko (400), Polsko (150) **(90)**.

Přírodní čištění je v mnoha zemích považováno za vhodný způsob čištění odpadních vod pro objekty v hornatých a venkovských oblastech s vysokou variabilitou provozu, denního množství odpadních vod a organického zatížení, zejména na místech, kde není možné nebo je obtížné napojení na kanalizační síť (jednotlivé rodinné domy, samoty, lovecké chaty, víkendové chalupy, hájenky apod.). Mnohé z nich jsou v provozu jen několik desítek dnů nebo pár měsíců v roce, a to v létě nebo v zimě **(68)**.

V USA jsou rodinné domy s kořenovými čistírnami běžné, jelikož asi čtvrtina obydlí se nachází v oblastech bez kanalizace. Většinou není ani možné realizovat běžný způsob odstraňování odpadních vod pomocí septiku a trativodu vzhledem k nepříznivým geologickým podmínkám, proto se začaly hojně používat malé přírodní čistírny s podpovrchovým tokem, umístěné za septikem, např. ve státě Kentucky (tam je jich známo přes tisíc), v Luisianě a Arkansasu (40 až 50), velké množství je jich ve státech Ohio, Tennessee, Texas a západní Virginie. Jejich velikost se nejčastěji pohybuje okolo 20 až 40 m². Podle zdejších předpisů je odtok vypouštěn buď do povrchových vod nebo do malého trativodu. Limity pro kvalitu odtoku se liší v jednotlivých státech **(68, 96)**.

V Německu byly první pokusy s čištěním odpadních vod v zemních ložích osázených mokřadními rostlinami prováděny již v 60. letech. Nejvíce vegetačních systémů se nachází v Bavorsku, v Severním Porýní – Vestfálsku, v Dolním Sasku, Hesensku a Šlesvicko-Holštýnsku. V tomto státě mají s budováním malých přírodních čistíren značné zkušenosti, jelikož je mnoho firem buduje na objednávku. **(68, 83)**.

I přesto, že v Rakousku je přírodním způsobům čištění věnována velká pozornost, nachází se v obdobné situaci jako Česká republika. Na jedné straně existují velice dobré a zcela průkazné výsledky z několika kořenových čistíren a na druhé straně

se nachází nedůvěra a odpor vodohospodářských orgánů a firem, které se zabývají výstavbou klasických čistíren. Největší množství kořenových čistíren je v provozu okolo Vídně a ve Štýrsku. Nejčastěji jsou malé čistírny stavěny pro horské rekreační chaty a zemědělské usedlosti. Vegetační čistírna pro zemědělskou usedlost nedaleko Steyeru čistí odpadní vody od osmi trvale bydlících obyvatel. Vyčištěná voda je vypouštěna do místního potoka. Další čistírny se úspěšně využívají i u vysokohorských hotelů v rakouských Alpách se sezónním provozem. Příkladem je horská chata Prielschutzhaus ve 1420 m n. m., Neue Magdeburger Hütte v 1633 m n. m. nebo Ignaz Mattis Hütte v 1986 m n. m. **(68, 83, 99)**.

Pro snížení množství odpadních vod z jednotlivých objektů je v evropských státech propagováno budování tzv. kompostovacích záchodů. Pro likvidaci odpadu pak už jen stačí menší kořenová čistírna v zahradě **(99)**.

I ve Švýcarsku se používají přírodní způsoby čištění odpadních vod (nejčastěji jsou to systémy velmi malé – pod 10 EO), nazývané nízkoenergetické, využívané zejména pro roztroušené samostatně stojící objekty, které nemohou být napojeny na centrální čistírnu odpadních vod. Nejvýše položená je kořenová čistírna ve výšce 1350 m n. m. a nejvyšší pískový filtr ve výšce 2190 m n. m. **(68,78)**.

Modelové řešení pro pět obyvatel švýcarského Centra aplikované ekologie Schattweid kombinuje čištění výkalů v kompostovacích záchodech s umělým mokřadem pro tekuté odpady. Odpadní voda je čištěna pomocí dvoukomorového septiku, za kterým následuje podzemní pískový filtr s vertikálním průtokem a kořenová čistírna s horizontálním průtokem **(99)**.

Velice dobře fungující malá přírodní čistírna odpadních vod pro domek s 2 – 3 obyvateli je již řadu let v provozu v Petit Hoursinne v Erezée v Belgii. Za septikem následuje stupeň s volnou vodní hladinou, za ním dvoustupňový mokřad s bažinnými rostlinami a záhon osázený dřevinami. Na konci je vybudován okrasný rybníček **(99)**.

Malé přírodní čistírny se nachází i ve Francii, Norsku, Velké Británii, Dánsku a v dalších zemích Evropy **(68, 83)**.

1.4 Způsoby čištění odpadních vod

Čištění lze rozlišit na intenzivní a extenzivní. Jako **intenzivní** se označuje čištění v mechanicko-biologických čistírnách. Tyto čistírny mají různou velikost. Nejmenší jsou domovní čistírny, které slouží v decentralizovaném systému nakládání s odpadními vodami v jednotlivém domě, popř. ve skupině několika sousedních domů. Mezi charakteristické rysy intenzivního čištění patří soustředění technologických zařízení v homogenním stavebním objektu a závislost na dodávce elektrické energie. Výhodami tohoto typu čištění jsou vysoká intenzita a říditelnost procesů, malé nároky na plochu a garantovatelné účinky. Nevýhodami jsou především potřeba soustavné obsluhy, jednoúčelovost a cizorodost v krajině, poměrně velké investiční a provozní náklady. Mechanicko-biologická čistírna rovněž potřebuje kvalitní kanalizaci, jejíž pořízení je několikanásobně nákladnější než pořízení samotné čistírny (26).

Extenzivní čištění odpadních vod využívá tradičních principů hnojení a závlah odpadními vodami, čištění vody při půdní filtraci a v biologických rybnících. Extenzivní postupy dělíme na centralizované (stabilizační nádrž, zemní filtr, kořenová čistírna), decentralizované (žumpy, septik se zemním filtrem) a postupy použitelné v centralizovaných i decentralizovaných sestavách (biologický neboli dočišťovací rybník, drenážní podmok). Tyto postupy nevyžadují trvalé napojení na elektrickou energii a mají jednodušší obsluhu. Většinou mívají menší provozní náklady. Nevýhodami jsou zejména větší nároky na plochu, horší ovladatelnost procesů, závislost výkonů na obtížně ovlivnitelných parametrech, proměnlivost a ztížená garantovatelnost účinků (26).

1.4.1 Principy přírodního čištění odpadních vod

Mezi přírodní způsoby čištění řadíme např. zemní filtry, kořenové čistírny odpadních vod, aerobní a anaerobní biologické nádrže nebo dočišťovací rybníky. Nezbytnou součástí těchto zařízení je předřazené, spolehlivé a kvalitní mechanické předčištění surových odpadních vod (1, 68).

Tyto přírodní způsoby využívají samočisticí procesy, které probíhají v půdním, vodním a mokřadním prostředí a za součinnosti rostlin. Čistící procesy v mokřadním prostředí s rostlinami tvoří procesy fyzikální, především sedimentace a filtrace, probíhající v porézním filtračním prostředí. Z fyzikálně chemických procesů se jedná zejména o adsorpci. Chemické procesy spočívají ve srážení sloučenin a rozkladu méně stabilních látek, oxidaci, redukci a také v působení UV záření. Biologické procesy zabezpečují mikroorganismy, žijící ve filtračním substrátu nebo přisedlé na kořenech rostlin. Mikroorganismy rozkládají přitékající znečišťující látky až na plynné sloučeniny, které jsou emitovány z mokřadu do atmosféry. Konečnými produkty rozkladu organických látek a dusíkatých sloučenin jsou oxid uhličitý, metan, oxid dusný a také plynný dusík. Jen u fosforu nedochází k významné tvorbě plyných látek, a proto se fosfor ukládá v mokřadu. Zde je z části navázán na minerální částice, a z části se zabudovává do mikroorganismů a také do mrtvé organické hmoty (**1, 36, 68, 100**).

Proces čištění je pozvolný a založený na řízeném průtoku předčištěné odpadní vody umělým mokřadem, osázeným bažinnými rostlinami, vodní kulturou s plovoucími nebo ponořenými vodními rostlinami, schopnými odebírat vodě znečišťující látky přirozenými procesy (**1, 100**).

Jednotlivé části přírodního čistícího systému jsou voleny a navrhovány tak, aby se docílilo co nejlepšího vyčištění odpadní vody, popřípadě jejího úplného odstranění evapotranspirací nebo závlahou (**100**).

1.4.2 Výhody a nevýhody přírodních způsobů čištění

K hlavním výhodám patří:

- Poměrně snadné stavební provedení, minimální nároky na vybavení a energii a srovnatelné stavební náklady v porovnání s umělou mechanicko-biologickou čistírnou.
- Menší nároky na obsluhu, nízké provozní náklady a značná úspora energie.
- Celkem dobrý čistící účinek i při přerušení provozu (rekreační objekty) bez vlivu na další funkci zařízení.

- Vysoký čistící účinek při odstraňování bakteriálního znečištění, detergentů, těžkých kovů atd.
- Mají ekologický charakter, protože stavební materiály se většinou vyskytují na místě a tím odpadají náklady za dopravu.
- Přirozeně zapadají do rázu krajiny, protože často nemají žádné nadzemní konstrukční části.
- Umělé mokřady jsou rezervoárem biodiverzity (porosty rostlin jsou útočištěm ptáků, obojživelníků, plazů, hmyzu a motýlů), zadržují vodu v krajině, ovlivňují mikroklima výparem z vodní hladiny a transpirací rostlin.
- Mohou být postaveny hned u zdroje odpadní vody.
- Sklizená biomasa se může používat na krmivo pro zvířata nebo do kompostu.
- Jsou nehlukné (**1, 11, 46, 68, 74, 95**).

K hlavním *nevýhodám* patří:

- Poměrně velké nároky na plochu (podle Evropské směrnice v průměru 5 m² na 1 EO).
- Nízký čistící účinek při odstraňování amoniaku u kořenových čistíren odpadních vod.
- Určitá závislost na klimatických podmínkách, teplotě a slunečním záření.
- Nepropracovanost biologického a technického uspořádání.
- Nedostatečné znalosti některých projektantů (**67, 68, 95**).

1.5 Technologie likvidací odpadních vod z rodinných domů

1.5.1 Žumpa

Žumpa je podzemní vodotěsná jímka bez odtoku používaná ke shromažďování splaškových odpadních vod. Žumpa tedy odpadní vodu nečistí, ale pouze ji shromažďuje. Podle ČSN 75 6081 se žumpy budují pouze tam, kde splaškové odpadní vody nelze odvádět do stokové sítě s centrální čistírnou odpadních vod, nebo kde tyto

odpadní vody nemohou být čištěny v samostatné malé čistírně odpadních vod podle řady norem ČSN EN 12566 a podle ČSN 75 6402, v samostatné čistírně průmyslových odpadních vod či zneškodňovány jiným zvláštním způsobem. Čili u obytných objektů vybavených vodovodem je třeba žumpu považovat za zařízení nevhodné a nevhodné. Naopak je vhodné tyto bezodtoké nádrže budovat u rodinných domů a rekreačních objektů, které nejsou vybaveny vodovodem, nebo slouží pouze ke shromažďování fekálních odpadů (při suchém záchodu) v místech, kde není vhodný recipient a znečištění splašků musí být co nejvíce omezeno. Do žumpe se nesmí svádět dešťové vody (**20, 28, 53, 59**).

Žumpe obvykle mívají obdélníkový, popř. kruhový půdorys. Betonové nebo plastové stěny a dno musí být vodotěsné (dno se sklonem nejméně 2% k místu čerpání) a nesmí docházet k úniku žádných odpadních vod. Strop musí být neprodyšný. Aby se zabránilo tvorbě plynu, má být prostor žumpe odvětrán připojenou vnitřní kanalizací nebo samostatným větracím potrubím (**20, 26, 42, 53, 70**).

Velice důležité je pravidelné vyvážení žumpe. Její obsah je nutné vyvážet ke zneškodnění, protože žumpa není zařízení, které by bylo způsobitelné snížit znečištění naakumulovaných vod a nelze z ní odpadní vody přímo vypouštět do vod povrchových nebo podzemních. Žumpa má být vyvezena při dosažení maximální hladiny, tj. 300 mm pod úrovní zakrytí. Vyprázdňování je prováděno vyčerpáním obsahu fekálním vozem. Žumpa nevyžaduje kromě vyprázdňování jejího obsahu žádnou obsluhu a údržbu. Místo, kam se její obsah vyváží, je nutné volit tak, aby obsah neohrožoval vodní zdroje a nepůsobil jiné hygienické závady. Běžné je vyvážení do čistíren odpadních vod, což není úplně levná záležitost. Další možností je využití k hnojivé závlaze, které ale ztěžují hygienická omezení – například ve vegetačním období není dovoleno obsahem žump přihnojovat zahrady (**16, 20, 25, 26, 39**).

• *shrnutí*

- **výhody:**

- není k ní potřeba povolení k vypouštění odpadních vod, dále odolnost vůči agresivnímu prostředí

- u plastových žump je to zejména: jednoduchá manipulace při dopravě a instalaci, dlouhá životnost (30 – 50 let), dokonalá vodotěsnost, možnost úprav rozměrů žumpy
- **nevýhody:**
 - nutnost zajišťovat pravidelné vyvážení žumpy fekálním vozem do čistírny odpadních vod, velký objem, možnost zápachu při manipulaci s odpadem
- **vhodnost použití:**
 - tam, kde není zavedena kanalizace, kde je problém získat povolení k vypouštění odpadních vod a u domů využívaných jen zřídka
- **pořizovací cena:**
 - 15 000 – 85 000 Kč
- **cena za 1 odvoz:**
 - cca 1000 Kč
- **stavební povolení:**
 - ano - vyřizuje příslušný stavební úřad, správní poplatek 300 Kč
 - na podzemní stavby do 300 m² zastavěné plochy a hloubky 3 m stačí pouze ohlášení stavby stavebnímu úřadu
- **povolení k vypouštění:**
 - ne - zde jde pouze o shromažďování, nikoli vypouštění odpadních vod (**16, 28, 38, 48, 70**).



Obr.7: Schéma osazení žumpy (63).

1.5.2 Septik

Septik je nejjednodušší čistírenské zařízení sloužící převážně k mechanickému předčištění komunálních odpadních vod. Slouží tedy zejména k zachycení nerozpuštěných látek a k částečnému anaerobnímu biologickému čištění. Jeho účinnost však není vysoká – obvykle se uvažuje se snížením znečištění o 30% (hodnota závisí na době zdržení). Jejich použití bez dalšího stupně čištění je jen výjimečné, protože se nepokládá za dostatečné a vodohospodářské orgány je tedy téměř vždy nepovolují. Septiky se proto obvykle používají jako předstupeň před dalším čištěním – např. před KČOV nebo zemním filtrem, což je zcela běžné i pro standardy v zahraničí. (V USA se používá za septikem pískový filtr usnadňující růst aerobních bakterií, které odstraňují patogeny, nerozpuštěné látky a snižují BSK.) Odtok ze septiku je horší kvality, protože tu probíhá nežádoucí zpětná komunikace mezi kalem a čištěnou vodou. Účinky zlepšuje dělení septiku do více komor oddělených příčkami, kterými voda postupně protéká. Nejběžnější je tříkomorové uspořádání. Prostupy a odtoky jsou chráněny pomocí norných stěn. Pro dosažení optimálního účinku se požaduje celková doba zdržení vody minimálně 3 dny. Dalším důležitým parametrem je dostatečný objem septiku – 0,675 m³/obyvatele, celkem nejméně 3 m³. Septik musí být vždy zakryt pevným stropem a odvětrán. Nesmí se do něj zavádět dešťové vody. Septiky by měly vyhovovat požadavkům ČSN EN 12566-1 a ČSN 75 6402. Podle těchto norem je septik doplněný dalším stupněm čištění zařízení zcela srovnatelné s domovní čistírnou. Nevýhodou septiků je vyšší pořizovací cena a nižší účinek čištění (**15, 19, 20, 26, 28, 51, 53**).

Kal přetéká z první do ostatních komor a usazuje se. Kal z první komory se označuje jako primární. Jde o hrubé nečistoty, které je nutné pravidelně v tekuté formě odstraňovat pomocí speciálních cisteren. Ve zbývajících komorách dochází k vyhnívání usazenin. Bakterie, které jsou obsaženy ve výkalech, napomáhají odbourávání kalů. Některé látky jako celulóza bakterie neničí, a proto je nutné k nim dodat speciální přípravek. Z poslední komory kal vytéká nornou stěnou. Následovat by měl další stupeň čištění, jak je zmíněno výše. Kal se má vyklízet nejméně jednou

za rok, jakmile vrstva kalu v septiku dosáhne 1/3 užitečné výšky. Přitom se však nesmí vyvézt všechny kal, asi 15 cm vyhnílého kalu je nutné v septiku ponechat pro naočkování čerstvého kalu (20, 26, 71).

• *shrnutí*

- **výhody:**

- malé provozní náklady
- žádná spotřeba elektrické energie
- provozně nenáročný
- stavebně jednoduchý

- **nevýhody:**

- nízká účinnost čištění
- vysoké pořizovací náklady
- omezená životnost filtrů (asi 15 let)

- **vhodnost použití:**

- rekreační zařízení a domy bez teplé vody
- rodinné domy, které budou v blízké době napojeny na centrální čistírnu odpadních vod
- hodí se tam, kde není kanalizace nebo kde majitel nechce často vyvážet žumpu

- **pořizovací cena:**

- 60 000 – 85 000 Kč (10 000 – 35 000 Kč za filtr)

- **cena za 1 odvoz:**

- cca 1000 Kč (stačí jednou ročně)

- **stavební povolení:**

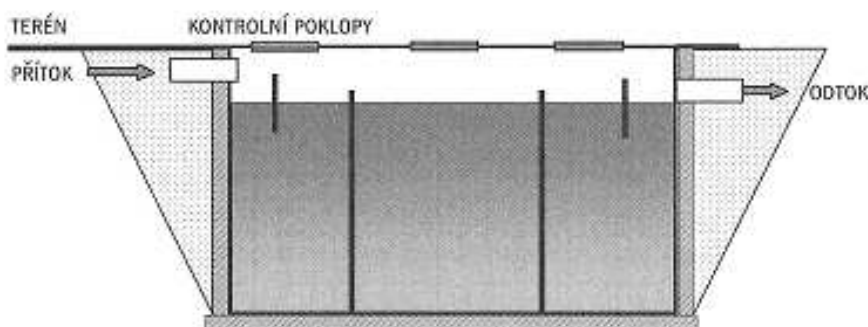
- ano - vyřizuje vodoprávní úřad, správní poplatek 300 Kč

- **povolení k vypouštění:**

- ano - vyřizuje vodoprávní úřad (nepodléhá správnímu poplatku)
- pokud je septik postavený „na černo“, je nutné před požádáním o povolení k vypouštění zlegalizovat stavbu septiku → žádost se podává na vodoprávním úřadě, což je odbor životního prostředí na obecním úřadě → teprve

po zlegalizování stavby septiku a jeho doplnění biologickým stupněm čištění je potřeba zažádat si o povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových nebo podzemních

- ne - pro objekty určené k individuálnímu čištění není potřeba povolení vodoprávního úřadu k vypouštění odpadních vod ze septiků do sběrného systému zaústěného do vod povrchových (20, 25, 28, 54, 63, 70).



Obr.8: Schéma osazení septiku (63).

1.5.3 Mechanicko-biologická čistírna

Mechanicko-biologickou čistírnu tvoří hrubé předčištění, mechanický stupeň čištění, biologický stupeň a kalové hospodářství. Pokud mechanický stupeň chybí, je potřeba ho nahradit větší kapacitou stupně biologického, což je v malých čistírnách běžné řešení (26).

Hlavním úkolem *hrubého předčištění* je ochrana ostatních částí čistírny před poškozením hrubým materiálem. Velké naplavené předměty zachycují česle. V menších čistírnách jsou obvyklé česle ručně stírané, ale čím dál tím častěji se doporučují stírané strojně. Avšak pro malou domácí čistírnu bohatě postačí jednoduché síťové česle, protože se nepředpokládá tolik hrubých nečistot. Potom následuje lapák písku. Ve starších malých čistírnách jsou nejpoužívanější žlabové lapáky, kde se písek musí vybírat ručně. Dnes jsou v malých čistírnách nejběžnější vertikální lapáky vyklízené mamutkou (= čerpadlem na tlakový vzduch z kompresoru).

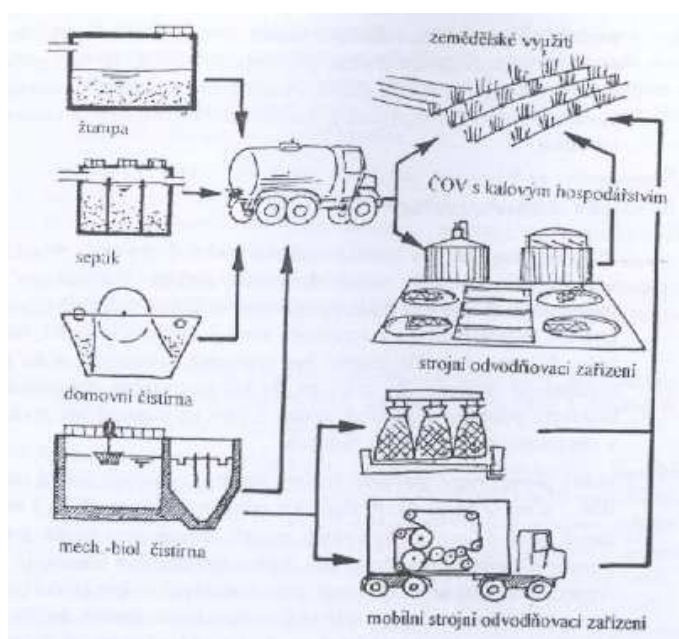
Jen výjimečně se do hrubého předčištění vkládá ještě lapák tuků. Ten je nutný, přitékají-li do čistírny vody z masné výroby nebo z větších kuchyní (24, 26).

Mechanický stupeň čištění zachycuje jemnější kalové částice. Je tvořen usazovacími nádržemi. V malých čistírnách se užívá jednodušších nádrží nebo usazovacích sekcí v podobě septiků, popř. šterbinových nádrží. Z těchto zařízení se kal odstraňuje jednorázově po delší době, většinou po několika měsících. V dnešní době jsou však malé čistírny bez mechanického stupně. To ale neplatí o čistírnách s biofiltry, které by se bez ochrany mechanickým čištěním ucpávaly. Dalším objektem mechanického stupně je šterbinová nádrž, která je hluboko založená a výškově rozdělená dnem se šterbinou. V horní části probíhá usazování, kal pak propadá šterbinou do dolní části, kde je kalový prostor. Kal je anaerobně stabilizován a většinou se vyváží 2x ročně. Šterbinové nádrže jsou spolehlivé a vykazují dobré účinky (26).

Biologický stupeň čištění využívá schopnosti bakterií, hub a prvoků rozkládat i na sebe vázat organické znečištění. Nejběžnější je čištění aktivovaným kalem. V takovémto případě se kultura mikroorganismů, tedy aktivovaný kal, volně vznáší v čištěné vodě a po skončení cyklu je z ní odstraňována usazováním. Jinou možností je využití kultury žijící přisedle na pevném nosiči obtékaném čištěnou vodou. Je-li nosičem hrubozrnná filtrační náplň, jde o biofiltry. Jsou-li nosičem rotující disky, jde o biodisky. Za aktivační nádrží, biofiltrem nebo biodiskem následuje dosazovací nádrž, kde je zachycován sekundární kal, který je produktem procesu čištění. V případě aktivačního čištění se část kalu vrací zpět do aktivačních nádrží, kde je nucena pracovat v dalším čistícím cyklu (=vratný kal). Odstraňují se jen přebytky, a to pod označením přebytečný kal. U přisedlých kultur není důvod zachycený kal vracet zpátky do procesu, a je tedy přímo z dosazovací nádrže všechn předáván ke zpracování do kalového hospodářství čistírny. Aktivovaný kal i přisedlé kultury rozkládají organické znečištění hlavně na oxid uhličitý a vodu, k čemuž potřebují kyslík. Proto je potřeba aktivační nádrže provzdušňovat. Ve větších čistírnách se v posledních letech prosazuje *druhý stupeň biologického čištění*. Má zajistit částečné odstranění dusíku a fosforu (26).

Kalové hospodářství čistírny odpadních vod zpracovává vzniklou přebytečnou biomasu do takové podoby, v které může být dále využita (jako hnojivo) nebo

zneškodněna. Surové kaly jsou tekuté, hnilobné a obsahují velké množství hygienicky nežádoucích mikroorganismů. Je nutné je přetvořit ve stabilizovanou, nepříliš hniječící a páchnoucí hmotu, zbavenou co nejvíce vody a použitelnou bez hygienických rizik v zemědělství. Ve velkých čistírnách je kalové hospodářství tvořeno zahušťovacími a vyhnívacími nádržemi (s jímáním bioplynu), uskladňovacími a homogenizačními nádržemi a strojním odvodňováním. V malých čistírnách připadají v úvahu zjednodušená řešení. Běžná je zahušťovací a uskladňovací nádrž. Kal v nádrži za delšího skladování vyhnívá a potom se zahuštěný odváží cisternou. Nejvhodnějším způsobem využití kalů je zpracování do kompostů. Překážkou zemědělské využitelnosti může být hlavně obsah těžkých kovů. Kal z malých čistíren je poměrně čistý, jeho zemědělské využití je tedy možné. Další běžné uplatnění je převážení kalů z malých čistíren odpadních vod do větších, vybavených strojním odvodňovacím zařízením. Některé firmy zabývající se kanalizacemi a čistírnami, disponují mobilním strojním zařízením k odvodňování kalů, které může objíždět malé čistírny (24, 26).



Obr.9: Způsoby nakládání s kaly (26).

Dobře provozované mechanicko-biologické čistírny jsou schopny odstranit z odpadních vod organické znečištění z více než 95% (26).

Navrhování čistíren se řídí podle normy: ČSN 75 6402 Čistírny odpadních vod do 500 EO. Podle tohoto předpisu se jednotlivé objekty čistírny navrhují tak, aby ukazatele zatížení dosahovaly přípustných hodnot za navrhovaného maximálního přítoku (26).

Mechanicko-biologickou čistírnu můžeme zakoupit jako hotový tovární výrobek (v kovových nebo plastových nádržích), vybudovat jako typovou stavbu nebo netypové zařízení respektující osvědčené zásady a normované parametry. Nabídka různých výrobců a dodavatelů je široká. Pro výběr čistírny jakéhokoli typu lze doporučit tyto požadavky:

- dobře provedená a dostatečně dimenzovaná dosazovací nádrž
- nucený odtah kalu z dosazovací nádrže
- přehlednost, přístupnost a dobrá dosažitelnost celé čistírny (26).

- *shrnutí pro DČOV*

- **vhodnost použití:**

- tam, kde není zavedena kanalizace
- tam, kde je zavedena elektřina
- tam, kde majiteli záleží na bezobslužnosti
- některé typy nejsou vhodné k rekreačním a sezónně užívaným objektům → pro tento případ je lepší vybrat si speciální (dražší) technologii DČOV, která je schopna zvládnout takový provoz nebo si při dostatku místa pořídit KČOV

- **pořizovací cena:**

- pro 4 EO je to cca 50 000 Kč

- **provozní náklady:**

- cena za 1 odvoz kalu (kal je potřeba vyčerpávat jednou za 3 – 6 měsíců): cca 1000 Kč (kdo nechce platit za odvoz kalu, může ho využít na pohojení zahrady)
- elektrická energie: cca 2000 Kč ročně
- rozbor vyčištěné vody (ten si může vodoprávní úřad vyžádat až 4krát ročně): cca 500 Kč / 1 rozbor

- stavební povolení:

- ano - vyřizuje příslušný vodoprávní úřad, správní poplatek 300 Kč

- povolení k vypouštění:

- ano - vyřizuje příslušný vodoprávní úřad (bez správního poplatku)

- ne - ten, kdo je napojen na městskou kanalizaci bez ČOV nemusí žádat vodoprávní úřad o povolení **(27, 43, 55)**.

1.5.3.1 Biodiskové čistírny odpadních vod

Principem těchto čistíren je biologické čištění využívající působení mikroorganismů rostoucích na povrchu biodisků, které odstraňují organický materiál z odpadní vody. Podklad tvoří kotouče z plastu na společné ose, které se noří téměř polovinou průměru do odpadní vody a jsou poháněny elektromotorem. Při jejich pomalém otáčení dochází opakovaně k ponoření a provzdušnění biomasy na kotoučích. Dochází tak ke střídavému kontaktu s vodou a vzduchem, čímž je bakteriím zajištěn trvalý přísun vzduchu. Mikroorganismy nárůstu odebírají nečistoty z odpadní vody, tloušťka biomasy se zvětšuje, její uvolněné části odpadávají a vznášejí se ve vodě vířené pohybem kotoučů jako biologický kal, a tím dále přispívají k likvidaci nečistot **(11, 15, 20, 26)**.

Biodiskové čistírny jsou charakteristické energeticky málo náročným (cca 1 Wh na osobu a den) a nehlučným provozem, poměrně velkým čistícím efektem a malými nároky na obsluhu. Jsou celosvětově rozšířeny a jsou považovány za jeden z nejvýhodnějších biologických způsobů čištění splašků. Technologie čištění dokáže snést i značné výkyvy v jakosti odpadních vod. Čistírna je schopna se rychle zapracovat i po přerušení provozu. Typizace biodiskových čistíren i pro velmi nízké počty obyvatel a výše zmíněné výhody poskytují předpoklady k jejich hojnému rozšíření. Jsou vhodné tam, kde je voda velmi málo znečištěna (při hodnotách BSK do 100 mg/l). Při správném fungování dosahuje účinnosti 80 až 90% **(6, 11, 20, 26)**.

• *shrnutí*

- **výhody:**

- snadná obsluha
- stabilita provozu
- nižší pořizovací náklady

- **nevýhody:**

- nejsou vhodné pro použití v místech s vyšším zatížením tj. s hodnotami BSK nad 400 mg/l
- vyšší spotřeba energie ve srovnání s aktivačními čistírnami (**6, 11, 63**).

1.5.3.2 Čistírny se skrápěnými biologickými filtry

Biofiltry představují nejstarší a provozně osvědčený způsob čištění a dočišťování odpadních vod. Technologie této čistírny se skládá z mechanického předčištění – usazovací nádrže, biofiltru a dosazovací nádrže. Jedná se o válcovité těleso s větracími otvory v dolní části naplněné materiálem přírodním (štěrk, struska) nebo umělým (desky, prvky z plastových hmot). Na této náplni žijí přisedle kultury mikroorganismů (bakterie, houby, *Flagellata apochromatica*, *Ciliata*, améby, hlístice, vířníci, máloštětinatci a hmyz), které rozkládají organické znečištění. Tvar a zrnitost náplně jsou důležité pro uchycení mikroorganismů a jejich další vývoj. Skrápěním náplně filtru mechanicky předčištěnou vodou se na povrchu vytvoří biologický povlak. Přestálé části nárůstu se odchlípují a protékající vodou jsou z biofiltru vyplavovány a následně zachycovány v dosazovací nádrži (**26, 57, 63**).

Podle parametrů, za kterých filtr pracuje (hydraulické zatížení, objemové látkové zatížení a doba styku povrchu náplně s odpadní vodou), se dělí na pomalé biologické filtry, rychlofiltry a věžové biologické filtry. Stejněměrné rozdělení odpadní vody na náplň biofiltru provádí Segnerovo kolo. Dosahuje účinnosti 80-90% na BSK₅. Účinnost procesů je velice závislá na teplotních podmínkách ovlivňujících rozpustnost kyslíku. Technologie biofiltrů je u nás používána spíše sporadicky. Můžeme

se s ní setkat např. v Německu, Rakousku, Nizozemí nebo USA, kde je běžně nabízena i pro malý počet EO (57, 63).

- *shrnutí*

- **výhody:**

- jednoduchý provoz
- nízká spotřeba elektrické energie
- nízké provozní náklady
- vyšší tolerance ke kolísavému zatížení

- **nevýhody:**

- nerozpuštěné látky ucpávají trysky skrápěče a vedou k nerovnoměrnému rozdělování odpadní vody na povrch filtru, dále působí zabahňování filtrů, zápach, nedostatek kyslíku až úplné zastavení činnosti
- omezená říditelnost procesu
- zamrzání
- čistička stojí na terénu, není zakopána v zemi a z estetického hlediska by mohla působit rušivým dojmem
- horší výsledky čištění u hodnot amoniaku (6, 11, 26, 57, 63).

1.5.3.3 Aktivační čistírny

Aktivace je založena na životním procesu biomasy, kterou představuje aktivovaný biologický kal, tedy mikroorganismy vznášející se ve formě vloček v čištěné odpadní vodě. V průběhu čistícího procesu dochází k žádoucím vedlejším jevům, a to k odstraňování amoniaku z vody (nitrifikační proces) a k odstraňování dusičnanů (denitrifikační proces). Vyčištěná voda je od aktivovaného kalu separována a ten je pak vrácen na začátek čistícího procesu. Nedostatkem aktivačních čistíren je hlučnost kompresoru. Rovněž i v systému „Aerobic Treatment Units“ (ATU) používaném ve Spojených státech, dochází k provzdušňování a to také pomocí kompresoru nebo vrtulí. ATU je náchylný na delší výpadky elektrické energie, protože se tím poruší

rovnováha mikrobiální fauny a je třeba systém přeočkovat. Domovní aktivační čistírny pracují bez primárního usazování na principu dlouhodobé aktivace. Aktivace se stává pro své mnohé přednosti nejpoužívanějším způsobem čištění odpadních vod i pro malé zdroje znečištění. Avšak je také zapotřebí kvalifikované obsluhy kvůli náchylnosti rozpadu vloček při nerovnoměrném nátoku. Aktivační čistírny jsou vhodné pro objekty s trvalým provozem (4, 15, 19, 26, 63).

• *shrnutí*

- **výhody:**

- nízké pořizovací náklady
- vysoký čistící efekt (účinnost čištění 90-95%)
- malá energetická náročnost
- spolehlivost, jednoduchost

- **nevýhody:**

- nestabilita při nerovnoměrném nátoku
- hlučnost (6, 15, 63).

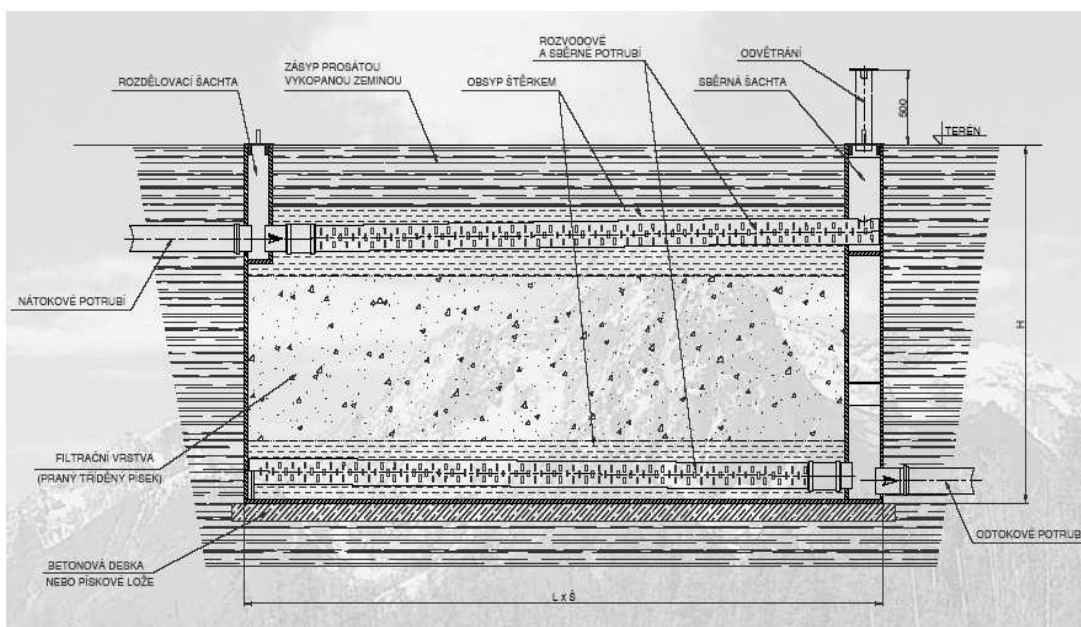
1.5.4 Zemní filtr

Zemní filtrace využívá schopnosti pórovitého prostředí zeminy či podobného materiálu (nejčastěji se používá písek či štěrk) podporovat fyzikální, chemické a biologické procesy a odstraňování znečištění. I zde hraje klíčovou roli společenstvo mikroorganismů, žijící na povrchu náplně filtru, které usnadňuje rozkládání organického znečištění. (Např. ve Wisconsinu se používá v typu zemního filtru nazývaném „Conventional In-ground System“ jako substrát pro bakterie zemina, v typu „Wisconsin Mound“ je to písek.) Životnost filtrační náplně se předpokládá 20 až 30 let (2, 19, 26, 58).

Zemní filtr je objekt, který se skládá z horní rozváděcí drenáže, filtračního lože a dolní sběrné drenáže. Je oddělen od okolního prostředí vodotěsnou fólií. Zásadní uplatnění nalézá zemní filtr jako malé domovní zařízení. Může být použit pro čištění

odpadní vody předčištěné v septiku, což je v souladu s ČSN 75 6402, nebo v domovní čistírně odpadních vod. Mají vynikající schopnost snížit BSK₅, nerozpuštěné látky a choroboplodné zárodky. Jde tedy o vyčištěnou vodu, kterou je možno vypouštět přímo do vodních toků a používat k závlahám. Nevýhodou zemního filtru je větší nárok na plochu a na spád, který je kolem 1 m (26, 58, 63).

Kontrola funkce se provádí rozbory vzorků vody podle metodiky obvyklé u malých čistíren. Počet vzorkování stanovuje vodohospodářský orgán v rozhodnutí, kterým povoluje provoz čistírny. Obsluha má za úkol čistit šachty a větrací potrubí (26).



Obr.10: Schéma zemního filtru (17).

- *shrnutí*

- **výhody:**

- nezávislost na trvalé dodávce energie
- minimální nároky na obsluhu
- vysoká účinnost čištění – zejména pro organické a nerozpuštěné látky

- **nevýhody:**

- větší nárok na plochu
- vysoký spád

- po určité době se zanese a je nutno vyměnit filtrační náplň

- vhodnost použití:

- vhodné pro malé producenty, především pro jednotlivé domy, skupiny domů, osady, sportovní a rekreační zařízení, hotely apod.

- k úpravě dešťových vod ze střech domů před dalším využitím

- k čištění znečištěných povrchových vod přitékajících z nezastavěné části obce
→ používají se jako ochranná bariéra proti znečištění, poškození a narušení cenných přírodních oblastí, zejména chráněných mokřadů, rašelinišť, vodních nádrží a jiných chráněných přírodních útvarů

- pořizovací cena:

- záleží na velikosti, cca 6000 – 40 000 Kč (obvykle se platí okolo 5000 Kč za m³)

- stavební povolení:

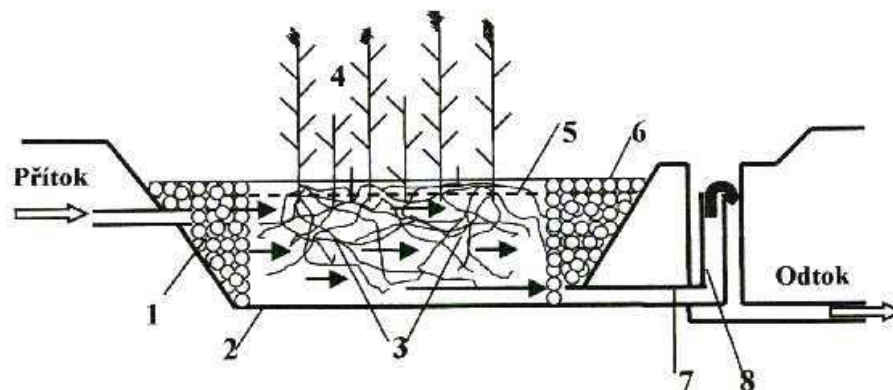
- ano - pro septik doplněný zemním filtrem, jako další stupeň dočištění, je nutné mít stavební povolení

- povolení k vypouštění:

- ano - vyřizuje vodoprávní úřad (nepodléhá správnímu poplatku)

- ne - ten, kdo je napojen na městskou kanalizaci bez ČOV nemusí žádat vodoprávní úřad o povolení (3, 23, 26, 41, 43, 63, 67, 75).

1.5.5 Kořenová čistírna odpadních vod



Obr.11: Schéma kořenové čistírny

- 1-rozvodná zóna vyplněná hrubým kamenivem, 2-nepropustná bariéra (nejčastěji PVC nebo PE fólie),
3-filtrační materiál (štěrk nebo drcené kamenivo), 4-mokřadní vegetace, 5-výška vodní hladiny
v kořenovém loži nastavitelná v odtokové šachtě, 6-odtoková zóna vyplněná hrubým kamenivem,
7-sběrná drenáž, 8-odtoková šachta s nastavitelnou výškou hladiny (81, 91).

Kořenové čistírny se řadí do skupiny extenzivních způsobů čištění odpadních vod. Využívají fyzikální, chemické a biologické samočisticí procesy probíhající v porézním půdním prostředí plně nasyceném vodou. Substrát musí být dostatečně propustný, aby nedošlo k ucpání a následnému povrchovému odtoku. Základním principem KČOV je průtok odpadní vody propustným substrátem, osázeným mokřadními rostlinami (36, 63, 81).

Odpadní voda je čištěna průchodem přes několik různých stupňů. Ani v jednom z nich voda "nestojí", tudíž nevzniká příhodné prostředí, ve kterém by se líhli v nadměrném množství komáři apod., ani zde nevyčištěná odpadní voda nezahnlává. Není ale pravdou, že by toto prostředí bylo bez komárů. Avšak jejich nadměrný výskyt redukuje další živočichové, kterých je tento umělý mokřad plný (35).

Do kořenových čistíren byly na počátku vkládány velké naděje pro dočišťování odpadních vod se zvýšeným důrazem na odstraňování živin. Brzy poté se ukázalo, že tento předpoklad je nesprávný a že kořenové čistírny jsou naopak pro takové využití

nevhodné. Oproti tomu KČOV prokázaly výbornou schopnost odstraňovat organické a nerozpuštěné látky (tj. ukazatele, které jsou nejčastěji limitovány ve vypouštěné vodě), a proto byly v 70. a 80. letech 20. století využívány téměř výhradně k čištění městských a domovních splaškových vod z malých zdrojů znečištění. Od konce 80. let 20. století se však použití kořenových čistíren rozšířilo na téměř všechny druhy odpadních vod včetně průmyslových a zemědělských. Neméně důležitá je skutečnost, že kořenové čistírny mohou být využity k čištění odpadních vod s velice nízkou vstupní koncentrací organických látek, tzn. v případech, kdy klasické technologie nemohou být úspěšně použity **(81, 90)**.

Před každou kořenovou čistírnou musí být předčisticí zařízení, které se skládá nejčastěji z česlí, lapáku písku, lapáku tuků, usazovací a šterbinové nádrže. V předčisticím zařízení se z odpadních vod oddělí písek, šterk, tuky a dále podle typu použitého zařízení také většina kalu, který zůstává v usazovacích nádržích. U domovních vegetačních čistíren je možno řešit mechanický stupeň septiky **(36, 60)**.

Takto předčištěná voda jde přes rozdělovací šachtu rozdělovacím potrubím přímo do kořenového pole čistírny. Pro rozvod se většinou užívají plastové trubky s velkými otvory, aby se zabránilo ucpávání. Pro čištění vody se používá samočisticího účinku půdního a vodního prostředí za přímé součinnosti rostlin, které plochu prokořeňují. Rostliny přivádějí do půdního prostředí kyslík, takže čištění odpadní vody probíhá částečně v aerobních podmínkách. Probíhají zde složité oxidační a redukční procesy řízené mikroorganismy **(36, 60)**.

Po průchodu kořenovým polem se voda sbírá do sběrného potrubí, které je uloženo na dně filtračního lože a je spojeno v odtokové šachtě s výpustným mechanismem, kterým se nastavuje výška vodního sloupce ve filtračním loži. Nejlépe se osvědčují flexibilní hadice zavěšené na řetízcích. Při běžném provozu se hladina vody v kořenovém poli udržuje 5-10 centimetrů pod povrchem, proto nemá kořenová čistírna volnou hladinu a tedy nezapáchá. Na konci čistírny je zařazena šachta s vyústěním do toku nebo do rybníka, případně do závlahové nádrže **(36, 60)**.

K vegetačnímu čištění vody je možné používat několik druhů vodních a mokřadních rostlin. V kořenových čistírnách se používají především emerzní helofyta (vynořené vodní a bahenní rostliny).

Nejvhodnějšími a nejčastěji používanými mokřadními rostlinami jsou rákos obecný (*Phragmites australis*) a chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*). Dále mezi mokřadní rostliny řadíme: orobinec úzkolistý a širokolistý, skřípinec jezerní a zblochan vodní. Mezi rostliny s vyšší estetickou hodnotou patří: kosatec žlutý, šmel okoličnatý a puškvorec obecný (32, 36).

Funkce rostlin v KČOV:

- Zajišťují vhodné prostředí pro růst různých druhů bakterií, které jsou vázány na podzemní části rostlin.
- Vytváří izolační vrstvu na filtračním poli a tím zateplují povrch kořenové čistírny, což je důležité v zimním období a v chladnějších oblastech.
- Poskytují organický uhlík nezbytný pro denitrifikaci. Nízká koncentrace organického uhlíku v přitékající vodě může omezovat denitrifikační proces.
- Kořeny mokřadních rostlin vylučují celou řadu látek (např. alkaloidů), které mají výrazné baktericidní účinky. Bylo prokázáno, že především exkrety rákosu obecného a skřípince jezerního redukuje počty bakterií *Escherichia coli* od 50 do 90 %.
- Neopomenutelná je i funkce krajiny. Díky nim se kořenová čistírna odpadních vod stává místem vhodným pro život řady živočichů a podporuje ekologickou stabilitu i estetickou stránku krajiny.
- Příjem a využívání organických látek z odpadních vod rostlinami má při čištění odpadních vod druhotný účel. Měření provedená v reálných systémech prokázala, že podíl dusíku akumulovaného v rostlinách tvoří jen velmi malou část celkově odstraněného dusíku – při optimálních podmínkách může dosáhnout hodnot 5–10 %.
- Přísun kyslíku rostlinami do filtračního lože se děje jen v minimálním množství (77).

Velkou výhodou kořenové čistírny ve srovnání s klasickými čistírnami je, že KČOV nepotřebují elektrickou energii a neobsahují žádné mechanické součásti,

které by se mohly opotřebovávat. Mohlo by se zdát, že KČOV jsou v podstatě bezobslužné, což však v žádném případě není pravda. Je nutné pravidelně vyvážet septik a lapák písku, popřípadě šterbinovou nádrž (1-4x ročně, podle zatížení KČOV). Také je třeba čistit česle a kontrolovat nastavení vodní hladiny. Kosení je nejlépe provádět v zimě. Pokud jsou v okolí vegetačního pole travní porosty, je žádoucí tyto porosty pravidelně kosit, jinak by se mohly stát zdrojem nežádoucích plevelů. Na údržbu obecních čistíren postačuje jedna hodina denně **(36, 78, 81)**.

Přes určité menší nedostatky převládají pozitivní zkušenosti majitelů malých přírodních čistíren odpadních vod, mezi které patří např.: dlouhodobá spolehlivost, levná stavba i provoz, snadná údržba, zvlhčení vzduchu, zvýšení přirozené diverzity životního prostředí, apod. **(97)**.

Kořenové čistírny jsou navrhovány a dimenzovány zejména pro odstraňování organických a nerozpuštěných látek, tj. parametrů, které jsou limitovány pro malé zdroje znečištění. Díky tomu je eliminace fosforu a dusíku poměrně nízká a pohybuje se v rozmezí 20-80% pro splaškové vody. Je nutno zmínit, že KČOV prokazují také vysokou účinnost při odstraňování mikrobiálního znečištění a těžkých kovů. Je důležité poznamenat, že účinnost čištění dosahovaná v České republice je naprosto srovnatelná s účinností KČOV po celém světě **(81)**.

Avšak někdy může být dosahováno nižších účinků čištění a to kvůli nízkým teplotám (nastane utlumení zejména odstraňování dusíku) a pak také kvůli možnému ucpání systémů s podpovrchovým tokem. Celková účinnost odstraňování dusíku závisí převážně na teplotě, době zdržení a zatížení, jež jsou variabilní mezi jednotlivými systémy **(56)**.

Odstraňování významných skupin látek v KČOV

• Organické znečištění

Organické látky většinou bývají asi z 1/3 odstraněny sedimentací v lapáku písku a ve šterbinové nádrži. Zároveň je mikroorganismy rozkládají na látky jednodušší. Po nátoky odpadní vody do kořenového pole dochází k filtraci částic a jejich usazování ve šterkovém substrátu. Mikroorganismy postupně organické látky odbourávají

a přeměňují na finální produkty (oxid uhličitý a metan), což jsou plynné látky těkající do atmosféry. K nejintenzivnějšímu odbourávání organického znečištění dochází na začátku kořenového pole. Sledováním provozovaných čistíren nebyl zjištěn významný rozdíl mezi účinností odstranění organického znečištění ve vegetačním a zimním období (77).

• Dusík

K odstraňování dusíku dochází především ve filtračních polích čistírny osázených makrofyty. Ve splaškové odpadní vodě je převážná část dusíku v organických sloučeninách a amonických iontech, přičemž organický dusík se snadno rozkládá na amoniakální dusík. K odstraňování amonických iontů dochází hlavně zabudováním dusíku do těl mikroorganismů a rostlin. V prostředí s dostatečným množstvím kyslíku a dlouhou dobou pro rozvoj biomasy dochází k přeměně amonických iontů nitrifikací na dusičnany. Dále je dusík odstraňován v procesu zvaném denitrifikace. Jde o proces, kdy bakterie přeměňují různé ve vodě rozpustné formy dusíku na plynné látky, jako je oxid dusný a molekulární dusík. Ty potom přecházejí z vody do atmosféry. Denitrifikační bakterie bývají přítomny v celkem vysokých počtech a denitrifikační rychlosti bývají o jeden i více řádů vyšší než nitrifikační. Jejich činnost bývá ale limitována nedostatečnou nitrifikací. Denitrifikace v kořenové čistírně probíhá i za velice nízkých teplot v zimním období. Naopak nitrifikace neprobíhá při teplotách nižších než 8 °C. Část dusíku v amoniakální formě může být vázána i na povrch částic filtrační náplně (47, 77).

Četné čisticí procesy se liší v závislosti na typu toku (povrchový tok, podpovrchový vertikální tok a podpovrchový horizontální tok), druhu rostlin, konceptu systému (rozměry a počet polí) a struktuře substrátu (půda nebo štěrk). V posledních letech byl zaznamenán nárůst zájmu o kombinované systémy s vertikálním a horizontálním tokem. Myšlenka kombinovat výhody těchto systémů je popisována mnoha odborníky a je dále rozebrána níže (30).

- *Fosfor*

Fosfor je odstraňován převážně díky sorpci fosfátů na substrát vegetačního pole (hlavně jemnější frakce – např. jíl) a srážením fosfátů do nerozpuštěných sloučenin s kovy – zejména s železem, hliníkem a vápníkem. Fosfor je zabudován i do mikrobiálních buněk a do biomasy rostlin. Obecně bývá účinnost odstraňování fosforu v KČOV vysoká v počátečním období fungování, později se obvykle snižuje. To je způsobeno ztrátou volných vazebných míst na minerálním substrátu a úbytkem volného železa, hliníku a vápníku. Tomu by se dalo v nově budovaných KČOV předejít instalací doplňkového zařízení na zachytávání fosforu a nebo vhodnou volbou filtrační náplně (substrátu). Vysrážené, ve vodě špatně rozpustné fosforečnany jsou pak zachycovány v usazovací nádrži. Je potřeba počítat se zvýšením objemu kalů, které je nezbytné vyvážet (77).

Sorpce fosforu v loži s pískovým substrátem je hlavním odstraňovacím mechanismem fosforu v KČOV osázené rákosem s podpovrchovým tokem. Výběr písku s vysokou sorpční kapacitou pro fosfor je nezbytné k docílení trvalého odstraňování fosforu. Vlastnosti jednotlivých písků se mění v závislosti na geografickém původu. Nejdůležitější vlastností písku, která určuje jejich schopnost odstraňovat fosfor je obsah vápníku. Vysoký obsah vápníku napomáhá srážení fosforečnanů s vápníkem za vzniku fosforečnanu vápenatého, který je velmi špatně rozpustný v domovní odpadní vodě (5).

- *Bakteriální znečištění*

Mikrobiální znečištění je v kořenových čistírnách odstraňováno velice úspěšně kombinací fyzikálních, biologických a chemických procesů. Není jednoduché určit podíl jednotlivých procesů, ale předpokládá se, že nejvíce se uplatňuje přirozený úhyn (vzhledem k době zdržení několika dní), oxidace (enterické bakterie jsou většinou striktně anaerobní), působení antibakteriálních látek vylučovaných z kořenů mokřadních rostlin a sedimentace. Většina KČOV vykazuje vynikající stupeň mikrobiologického čištění (přibližně 99%) (60, 81).

Kanalizační a komunální splašky obsahují různé patogenní nebo potenciálně patogenní mikroorganismy, které v závislosti na koncentraci jednotlivých druhů, představují možné riziko ohrožení zdraví lidí, a proto je žádoucí snížit jejich výskyt

v průběhu procesu čištění odpadní vody. I když odstraňování mikrobiálního znečištění není hlavním cílem procesu čištění vody v KČOV, jsou tyto mokřadní systémy ceněny pro svou vynikající schopnost snížení počtu bakterií pomocí fyzikálních (mechanická filtrace a sedimentace), chemických (oxidace, UV záření, exudace antimikrobiálních látek, adsorpce organického materiálu) a biologických procesů (predace hlístic, prvoků a zooplanktonu, přirozený úhyn virů a bakterií) (29, 62, 87).

Mezi nejčastější indikátory fekálního znečištění řadíme totální koliformní bakterie, fekální koliformní bakterie, fekální streptokoky a *Escherichii coli*. Výzkum na 60 KČOV celého světa zjistil, že účinnost odstraňování totálních a fekálních koliformních bakterií v KČOV s vynořenými rostlinami je vysoká, obvykle 95-99%, zatímco odstraňování fekálních streptokoků je nižší, obvykle 80-95%. Konkrétně u těchto zkoumaných KČOV s podpovrchovým tokem byla účinnost odstraňování fekálních koliformních bakterií 91,5%, totálních koliformních bakterií 88,1%, fekálních streptokoků 92,6% a *C. perfringens* 95,3%. Nejefektivnější odstranění bakterií je dosaženo u neupravované nebo mechanicky předčištěné odpadní vody. Počet bakterií na nátoky je velmi vysoký, obvykle se pohybuje v rozmezí $10^5 - 10^8$ KTJ/100 ml. Počet bakterií na odtoku je závislý na typu KČOV, ale zpravidla se pohybuje u totálních koliformních bakterií a fekálních koliformních bakterií v rozmezí $10^4 - 10^6$ KTJ/100 ml, zatímco u fekálních streptokoků se pohybuje počet bakterií v rozmezí $10^3 - 10^4$ KTJ/100 ml. Hodnoty pro *C. perfringens* jsou <100 KTJ/100ml (45, 87).

Fekální streptokoky jsou více rezistentní k okolním vlivům (teplota, chemické látky) než fekální koliformní bakterie, proto se používají jako sekundární indikátor fekálního znečištění a mohou být také indikátorem přítomnosti dlouhodobě žijících virů vznikajících v odpadní vodě. Nehledě na vyšší rezistenci fekálních streptokoků vůči okolním vlivům, přežívají tyto bakterie ve vodě kratší dobu než bakterie z rodu *Enterobacteriaceae*. Fekální streptokoky proto považujeme za indikátory „čerstvého“ fekálního znečištění (87).

Nejvyšší účinnost odstraňování střevních bakterií je zaznamenána u kombinovaných čistíren odpadních vod (87).

- *Těžké kovy*

U rozptýlené zástavby a malých obcí představují těžké kovy zanedbatelný problém. V kořenové čistírně zůstává velká většina těžkých kovů kumulována v zemním loži, kde se váže na podloží ve formě tzv. komplexů, a částečně také v biomase rostlin. Mokřadní rostliny přivádějí ke kořenům kyslík, který umožňuje rostlinám překonávat efekt rozpuštěných fyto toxinů, jež mohou být přítomny v anoxickém substrátu. Kosením a odklizením biomasy je určitý podíl toxických látek z cyklu odstraněn. Jestliže by pH substrátu kleslo do kyselé oblasti, mohou být kovy uvolňovány z komplexních sloučenin zpět do vody. Při normálním provozu by ale k výraznému poklesu pH do kyselé oblasti nemělo dojít (77).

Druhy umělých mokřadů

1. Umělé mokřady s horizontálním povrchovým prouděním

Povrchový tok vody je charakteristický velice malými průtokovými rychlostmi v nízké vrstvě vody, a tím zapříčiňuje intenzivní sedimentaci usaditelných částic na počátku půdního filtru. Zpomalení průtokové rychlosti napomáhají vlhkomilné, mokřadní a vodní rostliny. Při malé vrstvě vody dochází k dostatečnému styku vodního prostředí s ovzduším a k dobrému okysličování vody. Příznivé podmínky zrychlují proces čištění a nitrifikace; tím se významně snižuje amoniakální znečištění. Část uvolněných rostlinných živin je vázána biomasou. V chladném zimním období je nutné zvýšit hladinu vody, ta proudí pod ledem a v půdním prostředí. Při velkých mrazech se odpojí povrchová sekce a všechna odpadní voda se čistí jenom v KČOV s podpovrchovým tokem. Čisticí účinek velice úzce souvisí s rozsahem znečištění v přitékající vodě, zatížením, druhem a kvalitou porostu, klimatickými podmínkami atd. (67).

2. KČOV s horizontálním podpovrchovým prouděním

Tento typ KČOV je nejrozšířenějším a nejpoužívanějším extenzivním systémem v Evropě. Je obvykle sestaven z obdélníkového lože, které je nejčastěji osázeno

rákosem a vyztuženo nepropustnou fólií. Mechanicky předčištěná voda pomalu prochází filtračním substrátem pod povrchem kořenového pole v horizontálním směru, dokud nedosáhne odtokové zóny. Tam je voda shromažďována před vypuštěním pomocí regulačního zařízení do odtoku. Käthe Seidel navrhla, aby tento systém obsahoval filtrační materiál s vysokou hydraulickou vodivostí (79).

Obvyklé uspořádání tohoto systému má hloubku filtračního lože 0,6-0,8 m, aby umožnil kořenům rostlin proniknout celým polem a zajistit tak jeho okysličení. Kořeny a oddenky rákosu a dalších mokřadních rostlin jsou duté a obsahují vzduchové kanálky, které transportují kyslík do kořenového systému. Většina kyslíku je spotřebována kořeny a oddenky pro svou respiraci (79).

Hlavním způsobem odstraňování dusíku v KČOV s horizontálním tokem je nitrifikace a denitrifikace. Parametry kořenového pole ukazují, že okysličení rhizosféry je u tohoto typu KČOV nedostatečné, a proto je nedostatečná i nitrifikace (zejména oxidace amoniaku na dusičnany), což je hlavní příčina sníženého odstraňování dusíku. Nitrifikace, která je prováděná striktně aerobními bakteriemi je většinou omezená do míst přiléhajících ke kořenům a oddenkům, kde kyslík proniká do filtračního substrátu (79).

Volatilizace amoniaku, adsorpce a příjem rostlinami hrají mnohem méně důležitou roli v odstraňování dusíku. Volatilizace amoniaku je omezena skutečností, že tento systém nemá volnou hladinu spodní vody. Proto je u tohoto typu KČOV aktivita řas zanedbatelná, a proto hodnoty pH nevzrůstají. Jemnozrný substrát vždy vykazoval lepší odstraňování dusíku během adsorpce než hrubý. Nicméně se jemnozrný substrát pro tento systém v současnosti nepoužívá kvůli nízké hydraulické vodivosti. Proto tedy je adsorpční kapacita běžně používaného substrátu (jako je např. praný štěrk) velmi omezena (79).

Fosfor je v první řadě odstraňován výměnnou reakcí, kde fosfáty vytěsňují vodu nebo hydroxyly z povrchu hydroxidů železa a hliníku. Nicméně běžné filtrační materiály používané v KČOV s podpovrchových horizontálním tokem (praný štěrk, drcené kamenivo) obvykle neobsahují velké množství železa, hliníku nebo vápníku, a proto je tedy odstraňování fosforu zpravidla nízké. Je prokázáno, že povrchová vrstva

(10 cm) v osázených mokřadech je více aerobní než v odpovídajících neosázených mokřadech. Tím je dokázáno, že aerobní podmínky jsou příznivé pro sorpci fosforu. V případě použití speciálních materiálů (s vyšším obsahem železa, hliníku nebo vápníku) lze dosáhnout účinnosti přes 90%. Kromě železitých písků a vápencového štěrku se s velkým úspěchem používají i uměle vyrobené substráty, např. na bázi termicky expandovaného jílu **(79, 89)**.

Bylo zjištěno, že odstraňování dusíku a fosforu prostřednictvím sklizení rostlin je nepatrné a tvoří jen malý zlomek odstraňovaného množství. Příjem dusíku rostlinami je limitován teplotou. V případě použití běžných filtračních materiálů se odstraňování dusíku i fosforu pohybuje průměrně okolo 40-50% **(79, 89)**.

3. KČOV s vertikálním prouděním dolů

Při navrhování KČOV s vertikálním prouděním je z hlediska provozního výhodné následující konstrukční uspořádání:

- rozdělit filtrační pole do několika sekcí, což umožňuje jejich střídavý provoz, krátkodobé provzdušnění, a tím i regeneraci filtrační náplně
- pokud to sklon terénu dovolí, uspořádat jednotlivá pole kořenové čistírny kaskádovitě
- využít výhod impulsního plnění a prázdnění filtračního lože pomocí vhodného řešení náпустného a výpustného zařízení (docílí se tak vyššího obsahu kyslíku při uměle vyvolaném poklesu, přičemž při následujícím vzestupu se voda okamžitě okyslíčí) **(67, 69)**.

Voda je přiváděna mělce pod povrch, je rozváděna nadzemním rozdělovacím potrubím, přičemž je filtrována průchodem přes porézní substrát a je odváděna sběrným drénem uloženým na dně kořenové čistírny **(69)**.

4. KČOV s vertikálním prouděním vzhůru

Tento typ umělých mokřadů se běžně používá v Brazílii už od roku 1980. Jako vegetační rostliny se v Brazílii téměř vždy používá rýže. Na začátku 90. let minulého století se tento způsob čištění studoval poměrně intenzivně v malém měřítku v Austrálii.

V současné době se opět zvýšil zájem o tento typ mokřadů a jeho použití pro odstraňování nutrietů z odpadní vody **(84)**.

Tento typ KČOV patří k novějším řešením, vhodným pro rekreační objekty provozované v letním období **(68)**.

KČOV s vertikálním tokem jsou náročnější na provoz a údržbu vzhledem k nutnosti čerpání vody. Účinnost těchto systémů v porovnání s KČOV s horizontálním tokem je nižší pro organické a nerozpuštěné látky, přibližně stejná pro fosfor a vyšší pro dusík. Systémy s vertikálním tokem a přerušovaným dávkováním odpadní vody vykazují dobré výsledky při odstraňování amoniaku **(89)**.

Odstraňování fosforu ve vertikálních KČOV je velmi omezeno. Není možné získat pískový substrát, který má dostatečně velkou schopnost vázat fosfor po dlouhou dobu. Při jednom pokusu byl zaveden oddělený vyměnitelný filtr za kořenovou čistírnu k odstranění fosforu z odpadní vody. Byl použit vhodný vápencový materiál, ale plnoprovozní testy ukázaly, že odstraňování bylo zpočátku dobré, ale po několika měsících byly filtry nasycené fosforem a vyskytly se problémy s ucpáním. Místo toho může být odstranění fosforu docíleno jednoduchým srážením se směsí hliníku v usazovací nádrži, která je před mokřadem **(10)**.

Odpadní voda může být ze systému recirkulována do sedimentační nádrže za účelem zvýšení odstranění celkového dusíku denitrifikací. Po nezdařeném pokusu o odstraňování fosforu vápencovým filtrem kvůli výše zmíněným problémům se přešlo na jinou metodu a to odstraňování pomocí chemického srážení v usazovací nádrži, do které se v malých dávkách přidává polychlorid hliníku. Dávkovací systém se skládá z časově řízeného dávkovacího čerpadla a malého provzdušňovací čerpadla umístěného samostatně hned vedle usazovací nádrže. Polychlorid hliníku je dávkován do výpustě čerpadla, které je umístěno ve třetí komoře usazovací nádrže. Čerpadlo cirkuluje vodu pomalu ze třetí do první komory a zároveň smíchává polychlorid hliníku s odpadní vodou bez toho, aniž by byl rozvířen kal na dně nádrže **(10)**.

5. Hybridní KČOV

Jednotlivé typy KČOV mohou být kombinovány, aby bylo dosaženo vyššího čistícího účinku, zejména pro dusík. Nejčastěji se hybridní systémy skládají z vertikálních a horizontálních systémů uspořádaných postupně za sebou. V populaci začal vzrůstat zájem o dosažení plně nitrifikovaných odpadních vod (nepostačovalo jen dobré odstranění BSK₅ a nerozpuštěných látek). Samotné horizontální systémy toto nemohly splnit kvůli omezenému přenosu kyslíku. Na druhé straně vertikální systémy poskytují dobré podmínky pro nitrifikaci, ale už ne pro denitrifikaci. Proto byl zaznamenán zvýšený zájem o hybridní systémy (někdy také nazývané kombinované systémy). V hybridních systémech jsou výhody vertikálních a horizontálních systémů kombinovány a vzájemně se doplňují. Je tak možné vyprodukovat odpadní vodu s nízkým obsahem BSK₅, která je plně nitrifikovaná a částečně denitrifikovaná a proto má mnohem nižší koncentraci celkového dusíku (79).

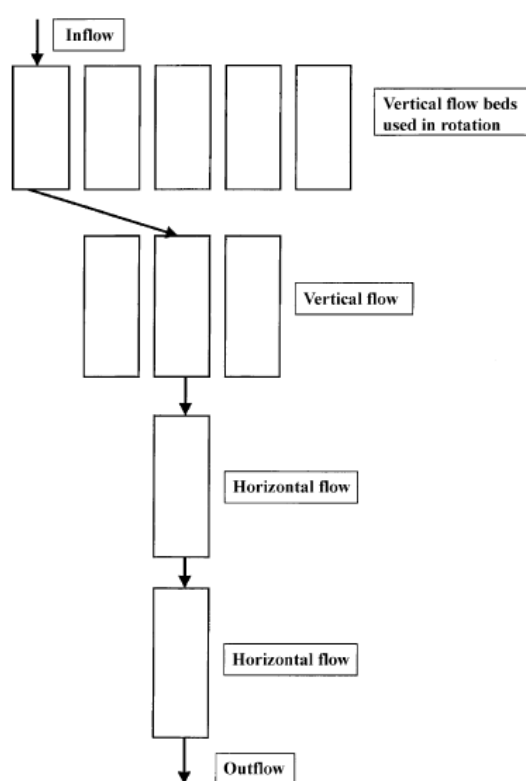
Nitrifikace a denitrifikace probíhají za odlišných redoxních podmínek, a proto je obtížné tyto procesy optimalizovat pouze v horizontálním nebo pouze ve vertikálním mokřadu. V současné době se nejčastěji používají dvě kombinace – „Burka system“ a „Ciupa system“ (84).

a) vertikální – horizontální systémy (VF-HF systems)

Mnoho těchto systémů je odvozeno od původního hybridního systému vytvořeného Seidelovou v Německu. Tato sestava je známá jako „Seidel system“. Návrh Seidelové se skládá ze 2 stupňů několika paralelních vertikálních polí následovaných 2 nebo 3 horizontálními poli napojených sériově. Vertikální stupně jsou obvykle osázené rákosem, zatímco horizontální stupně obsahují množství jiných emerzních makrofytů (např. kosatce, skřípince, zevary, ostřice, orobince a puškvorce) (79).

„Burka system“ představuje kombinaci mokřadů s vertikálním tokem v první fázi čištění a mokřadů s horizontálním tokem jako poslední část. První systémy tohoto druhu byly uvedeny do provozu ve Velké Británii a ve Francii. Tento systém lze označit jako modernější verzi původního „Seidel system“ (84).

Ve Velké Británii vykazují tyto systémy vysoké účinnosti odstraňování organického znečištění a nerozpuštěných látek. V porovnání se systémem s horizontálním tokem dosahují tyto hybridní systémy mnohem vyšších účinností odstraňování celkového dusíku. Ve vertikální části tohoto systému totiž dochází k intenzivní nitrifikaci a produkované dusičnany jsou následně redukovány v horizontální části denitrifikačními bakteriemi až na molekulární dusík a oxidy dusíku. Nicméně účinnost odstraňování fosforu je v těchto systémech nízká (79).



Obr.12: Schematické znázornění „Burka system“ ~ „Seidel system“ (79, 84).

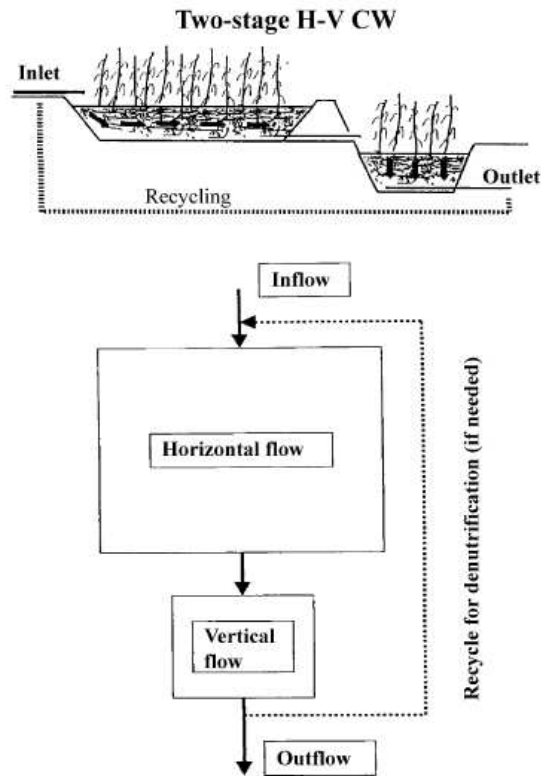
Keffala a Ghrabi ve svém výzkumu porovnávali účinnost odstraňování Kjeldahlova (celkového) dusíku u 2 kombinovaných systémů: první byl složen z vertikálního pole, které bylo osázené rákosem a z horizontálního pole, jež bylo osázeno orobincem. Druhý kombinovaný systém zůstal neosázený. (Průměrná koncentrace Kjeldahlova dusíku na odtoku u osázeného systému byla 44 mg/l a u neosázeného 58 mg/l). Přítomnost rostlin se zdá být důležitá pro odstraňování

dusíku. Rostliny přijímají dusík svými kořeny a včleňují ho do své biomasy. Nicméně, analýzy provedené na rostlinách ukazují, že vstřebávání dusíku rostlinami je příliš nízké (1%), čímž se nemůže vysvětlit signifikantní rozdíl mezi osázeným a neosázeným systémem (30).

Keffala a Ghrabi zjistili, že nitrifikace je v horizontálním poli limitovaná přísunem kyslíku kořeny rostlin. Tvrdí tedy, že rostliny jsou významné pro odstraňování dusíku, ale již neumí přesně určit, který z procesů v osázeném poli se nejvýznamněji podílí na jeho odstranění (30).

b) horizontální – vertikální systémy (HF-VF systems)

„Ciupa system“ byl poprvé uveden do provozu v Polsku v roce 1994, ale přesný způsob dimenzování byl propracován v Dánsku Brixem a Johansenem (1996, 1999). Jedná se o velký mokřad s horizontálním průtokem (cca 3 až 4 m² na 1 EO pro odstraňování BSK₅ a nerozpuštěných látek a denitrifikaci v případě recirkulace) a menší mokřad s vertikálním průtokem (cca 0,8 až 1,1 m² na 1 EO pro nitrifikaci). Za účelem odstranění celkového dusíku musí být nitrifikovaná odpadní voda z vertikálního pole vrácena do sedimentační nádrže (84).



Obr.13: Schematické znázornění „Ciupa system“ ~ „Brix and Johansen system“ (79, 84).

V Nepálu vykazoval hybridní systém HF/VF s recirkulací vynikající účinnosti odstraňování organických a nerozpuštěných látek, patogenních bakterií a amoniaku. Avšak účinnost odstraňování celkového dusíku byla velmi nízká kvůli malé denitrifikaci v posledním VF stupni. Amoniakální dusík byl oxidován na dusičnany ve vertikálním stupni bez recirkulace (79).

c) další typy hybridních systémů

V poslední době jsou hybridní KČOV složeny z více než dvou typů kořenových čistíren a poměrně často zahrnují i čistící stupeň s volnou vodní hladinou. Systém určený pro čištění městské odpadní vody v Kõo v Estonsku je složen ze dvou vertikálních polí (každé má 64 m² a je osázeno rákosem obecným) následovaných jedním horizontálním polem (jež má 350 m² a je osázeno rákosem obecným a orobincem širokolistým) a dvěma umělými mokřady s volnou vodní hladinou (ty mají

3600 m² a 5000 m² a jsou osázené orobincem širokolistým). Odstranění BSK₇, celkového dusíku a celkového fosforu bylo 88, 65 a 72%. Čisticí stupeň s volnou vodní hladinou zlepšuje kvalitu vody díky odstraňování organického znečištění, dusíku a fosforu, avšak koncentrace nerozpuštěných látek se po tomto stupni zvyšuje. To je nejspíš způsobeno přítomností fytoplanktonu. Toto vysvětlení je podpořeno také vyššími hodnotami pH (79).

U systémů, které počítají s 5 m² na 1 EO je odstraňování živin obvykle nízké a nepřesahuje 50%. Odstraňování dusíku je omezeno nedostatkem kyslíku ve filtračním poli a z toho vyplývá i nízká nitrifikace. Odstraňování fosforu je omezeno nízkou sorpční kapacitou filtračních materiálů (štěrk, drť). Hybridní KČOV kombinují různé typy umělých mokřadů za účelem dosažení vyššího čistícího účinku zejména pro dusík. Nejběžnější hybridní systém se skládá z kombinace horizontálního podpovrchového toku a vertikálního toku uspořádaných stupňovitě za sebou. Avšak i ostatní typy umělých mokřadů, jako jsou mokřady s volnou hladinou vody, jsou v hybridních systémech využívány (79).

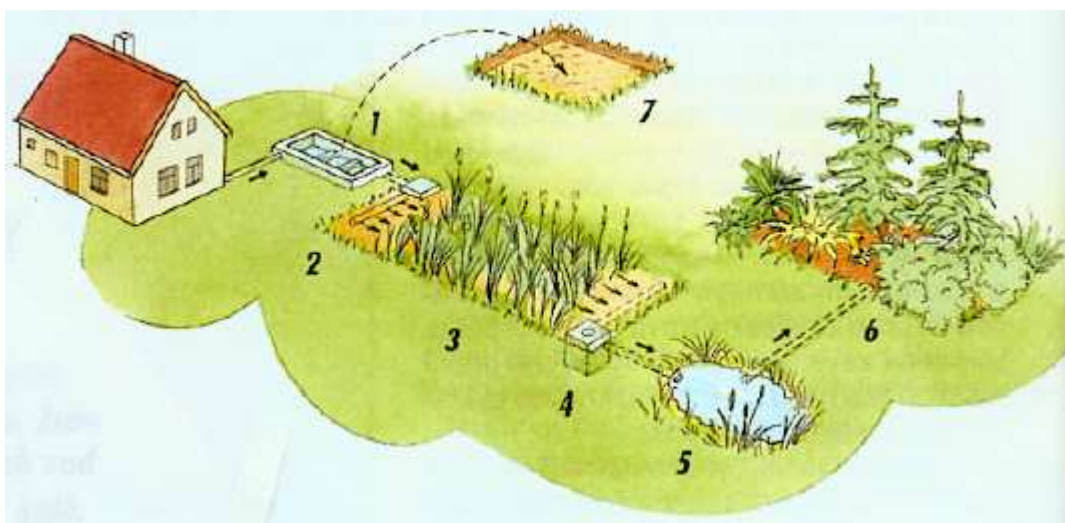
Mezi odborníky však nepřevládá jednotný názor na pořadí, v jakém mají být jednotlivá pole kombinována. Ve Velké Británii, Rakousku a Polsku je dáována přednost uspořádání VF/HF, kde ve vertikální části dochází k nitrifikaci a částečnému odstranění organických a nerozpuštěných látek a v horizontální části dochází k denitrifikaci a dočištění organických a nerozpuštěných látek. Na druhé straně dánští výzkumníci dávají přednost kombinaci HF/VF s recirkulací. HF pole je určeno na odstranění organických a nerozpuštěných látek, malé VF pole je dimenzováno k nitrifikaci. V případě požadavků na denitrifikaci je voda recirkulována zpátky do HF pole (89).

6. Bezodtoké mokřady

Přírodní čistírna může za vhodných podmínek fungovat i bez odtoku (veškerá voda se v systému odpaří nebo se využije na závlahu). Je vhodným řešením pro roztroušené objekty v oblastech se zvýšenými nároky na ochranu prostředí. Jedná se o uzavřený bezodtoký kombinovaný systém přírodního čištění odpadních vod a zneškodňování kalů se zařízeními na úplné využití čištěných odpadních vod (68, 100).

U menších sezónních objektů (využívaných ve vegetačním období) s úsporným hospodařením s vodou je možno dosáhnout úplného odstranění vyčištěných odpadních vod výparem v evaporačním (odpařovacím) porostu, který se sestává z potřebného počtu rostlin **(68)**.

Malé bezodtoké přírodní čistírny odpadních vod se mohou skládat ze septiku, kořenové čistírny s vhodnými rostlinami, případně ze zemního filtru s vegetací, dočišťovacího rybníčku, zavlažovaného porostu dřevin nebo jiných rostlin a z prostoru na kompostování. V chráněných oblastech s velkými nároky na dokonalou ochranu přírody a podzemních vod je potřeba všechny součásti systému izolovat nepropustnou fólií. Významný podíl na odstraňování čišťených odpadních vod v bezodtokových systémech má evapotranspirace (výpar vody z povrchu rostlin i půdy), která při vhodné volbě porostu, uspořádání a množství rostlin umožňuje dosáhnout úplného odstranění vyčištěné odpadní vody **(68)**.



Obr.14: Příklad bezodtokého systému přírodního čištění odpadních vod z menšího sezónního objektu 1-tříkomorový septik, 2-rozdělovací objekt, 3-umělý mokřad osázený bažinnými rostlinami s estetickou hodnotou, 4-kontrolní odtoková šachta, 5-dočišťovací okrasný rybníček, 6-odpařovací zavlažovaná plocha s porostem stromů nebo keřů, 7-kompost nebo plocha na odvodňování kalů rostlinami **(100)**.

Bezodtoké přírodní čistírny mají několik předností, pro které se navrhují. K nejdůležitějším výhodám patří to, že nemůže dojít ke kontaminaci povrchových

a podzemních vod a eutrofizaci malých vodních toků, do kterých se jinak zaústíují čištěné odpadní vody, dále to, že kaly mohou být ekologicky zneškodňovány přímo na lokalitě (kompostování, hnojení), dále je to jednodušší kontrola a údržba a v neposlední řadě také skutečnost, že se ušetří náklady na výstavbu výpustných a odpadních zařízení (68).

• *shrnutí*

- **výhody:**

- nepotřebují elektrickou energii
- nejsou hlučné a nezapáchají
- přirozeně zapadají do krajiny
- malé nároky na pravidelnou údržbu
- vhodné k čištění šedé a černé vody
- pracují spolehlivě po dlouhou dobu
- minimální poruchovost
- snadná likvidace celé ČOV

- **nevýhody:**

- náročné na prostor (5m² na 1 EO)
- menší účinnost při odstraňování dusíku a fosforu
- malá možnost regulace probíhajících procesů

- **vhodnost použití:**

- dají se bez problémů použít u objektů k rekreaci se sezónním provozem

- **pořizovací cena:**

- 5000 – 25 000 Kč na 1 EO

- **stavební povolení:**

- ano - vyřizuje vodoprávní úřad, správní poplatek 300 Kč

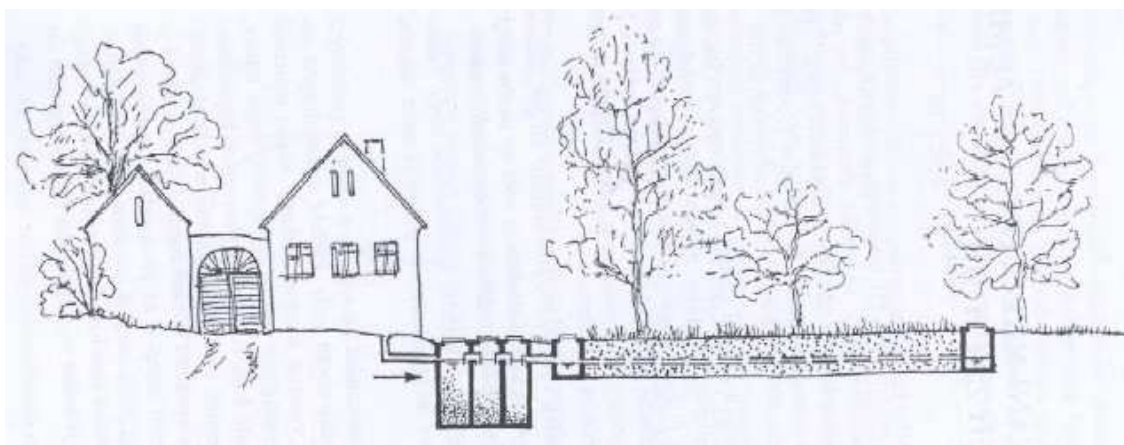
- **povolení k vypouštění:**

- ano - vyřizuje vodoprávní úřad (nepodléhá správnímu poplatku)
- ne - ten, kdo je napojen na městskou kanalizaci bez ČOV nemusí žádat vodoprávní úřad o povolení (12, 27, 43, 97).

1.6 Dočištění

1.6.1 Drenážní podmok

Drenážní podmok je závlaha mechanicky předčištěnými splaškovými odpadními vodami vhodná pro menší počty obyvatel. Při jeho aplikaci je však nutné dbát hlavně na ochranu podzemních vod používaných pro pitné účely. Drenážní podmok je schopen dosahovat odstraňování organických a nerozpuštěných látek z 90 až 99%. Tento systém je složen z předčištění, rozvodných šachet a z vlastní drenáže. Vsakovací drenáž je složena z ramen, jejichž délka by neměla přesahovat 30 metrů. Uspořádání ramen je podobné jako u běžné odvodňovací drenáže. Materiálem je flexibilní drenážní potrubí nebo pálené drenážní trubky, které chrání pískový obsyp. Drenáž je uložena v hloubce několika decimetrů. Drenážní podmok je možno použít tam, kde je hladina podzemní vody v hloubce menší než 1,2 m pod úroveň terénu (13, 26).



Obr.15: Domovní sestava septik + drenážní podmok (26).

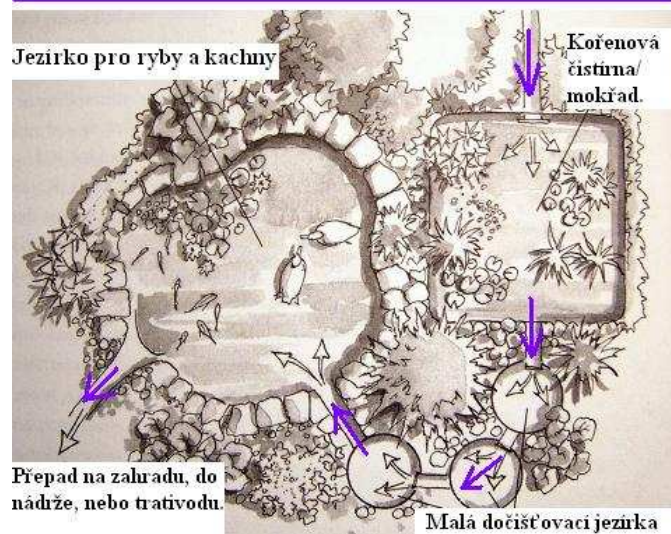
Drenážní podmok neboli - dnes již častěji používaný název - závlaha z potrubí je nejvhodnější způsob pro podpovrchovou závlahu odpadními vodami, při které se docílí kromě již zmíněného vysokého dočišťovacího účinku také minimalizace nebezpečí znečištění podzemních vod. Podpovrchová závlaha vytváří zónu kapilárně zavěšené vody v kořenovém poli (hlavní mase kořenů) zavlažované plodiny. Hloubka

uložení rozdělovacího zavlažovacího potrubí se nejčastěji doporučuje 0,30 – 0,50 m podle hloubky uložení hlavní masy kořenů zavlažované plodiny; u alternativního uspořádání i hlouběji – až 0,75 m. Určitým problémem je provoz rozdělovacího potrubí při velkých mrazech, kdy je možnost promrznání do větších hloubek (68).

1.6.2 Okrasné dočišťovací jezírko

Základem okrasného dočišťovacího jezírka je vyhloubený prostor vysypaný pískem, vyložený geotextilií a rybníční fólií (případně dusaným jílem). Okraje jsou překryty drny, dlaždicemi atd. Objem nádrže závisí na množství dodané vody a hospodaření s ní (závlaha). Hloubka jezírka by se měla pohybovat v rozmezí 50 až 100 cm. Pokud by v letním období vyvstal problém s nedostatkem odpadní vody, je možné ji použít k závlaze kořenového políčka. Naopak při přebytku vody je možné ji použít na závlahu zahrady, nebo zde existuje možnost vybudování jako dalšího stupně čištění odpařovací plochu. V okrasném jezírku je dobré chovat ryby, aby požíraly larvy komárů (okrasné rybky vyžadují přezimování v teple, proto jsou lepší běžné druhy, které přezimují venku). Jeho účinnost a estetický vzhled je možné vylepšit plovoucími vodními rostlinami (např. vodním hyacintem *Eichhornia crassipes* nebo babelkou řezanovitou *Pistia stratiotes*) nebo plovoucími ostrovy s bažinnými rostlinami, které zároveň poskytují úkryt rybám a umožňují jejich přezimování. Jezírko je třeba čistit od spadaneho listí, jehličí, vláknitých řas apod. V horkých dnech je nutné podle potřeby doplňovat vodu. Na podzim se část výše zmíněných plovoucích vodních rostlin přenese do skleníku k přezimování a zbytek se zkompostuje (98, 100).

Systém jezírek napájených šedou vodou z domácnosti.



Obr.16: Systém jezírek napájených šedou vodou z domácnosti (64).

1.7 Hygienické aspekty čištění odpadních vod

1.7.1 Onemocnění přenášená vodou

Vodou mohou být rozšiřovány četné přenosné choroby. Je to zejména v případech, kdy:

1. původci nemocí jsou do vody vylučováni nemocným člověkem, zvířetem nebo jiným zdrojem;
2. původce nemoci zůstává ve vodě delší dobu životaschopný;
3. původci nemocí se dostávají kontaminovanou vodou do trávicího traktu lidí náchylných k onemocnění nebo když se osoby v kontaminované vodě koupou.

Sporadický výskyt nemocí, endemie nebo epidemie vznikají v závislosti na druhu původce onemocnění, jeho množství ve vodě, přesnosti a také vnímavosti populace.

Odpadní voda je důležitým faktorem přenosu (ne však infekčním zdrojem) pro mnohá infekční onemocnění (34).

Mezi infekční agens a onemocnění přenášená vodou patří:

Viry

- *Enteroviry* (*polioviry*; *coxackieviry*; *echoviry* – dětské letní průjmy, respirační onemocnění s trávícími obtížemi, horečky s vyrážkou)
- *Rotaviry* – hepatitida A
- *Papilomaviry* – bradavice na kůži
- *Adenoviry*

Bakterie

- *Původci střevních nákaz* (*Salmonella typhi*, *paratyphi* a *enteritidis* – břišní tyfus, paratyfus a salmonelózy; *Shigella dysenteriae*- bacilární dysenterie; *Citrobacter*; *Vibrio cholerae* – cholera; *Escherichia coli*; *Streptococcus faecalis*, *Campylobacter fetus*, *Cyanobakterie*)
- *Původci hnisavých kožních onemocnění* (*Staphylococcus aureus*; *Candida albicans* – onemocnění kůže a poškození trávícího traktu)
- *Inkluzní zánět spojivek, lehké záněty močového a pohlavního ústrojí* (*Chlamyidium oculogenitalis*; *Pseudomonas aeruginosa* – záněty močového měchýře a mozkových blan)
- *Původci tuberkulózy* (*Mycobakterium tuberculosis*, *balnei*, *kansassi*, *xenopi*)
- *Původce tularémie* (*Francissella tularensis*)
- *Původci leptospiróz* (*Leptospira icterohaemorrhagica*, *grippotyphosa*)
- *Původce legionářské nemoci* (*Legionella pneumophilla*)

Parazité

- *Měňavky* (*Naegleria fowleri* – amoebové meningoencefalitidy; *Acanthamoeba* – ulcerace rohovky, keratitis)
- *Bičkovci* (*Giardia lamblia*)
- *Výrusovci* (*Cryptosporidium parvum*)
- *Červi* (*Schistosoma mansoni*; *japonicum*)
- *Hlísti* (*Ascaris lumbricoides* – poškození jater, plic, trávícího traktu; *Enterobius vermicularis*) (31, 40, 76).

1.7.2 Hygienické aspekty provozu

Při posuzování čistíren jsou důležité zejména otázky zabezpečení odpadních vod před šířením choroboplodných zárodků a zápachu do obytného prostředí (voda je vektorem několika infekčních onemocnění), ochrany okolí čistírny (odpovídající šíře ochranného pásma – zápach, aerosol mikroorganismů) a podmínky hygieny práce pro obsluhu ČOV. Posuzuje se i účinnost čistírny v návaznosti na další využití recipientu vypouštěných odpadních vod čistírny. Důležité je také posuzování zabezpečení kalů **(33)**.

Hygienizační postupy jsou využívány podle potřeby ke zlepšení mikrobiologické jakosti v odtoku z čistírny. Dezinfekce odtoků z čistírny může být žádoucí, aby bylo ochráněno zdraví obyvatelstva a zabráněno kontaminaci lidskými patogeny při:

- koupání a dalších rekreačních aktivitách
- využívání vyčištěných odpadních vod a znovu používaných pro závlahu nebo jako užitkové vody **(50)**

Dezinfekce odtoků z čistírny může být dosaženo pomocí inaktivace mikroorganismů tak, že jsou znemožněny jejich reprodukční schopnosti nebo odstraněním mikroorganismů z odtoku (např. mikrofiltrací) bez nutnosti jejich inaktivace. K opatřením používaným k dezinfekci odpadních vod inaktivací mikroorganismů v odtoku z čistírny patří zejména UV záření, chlorace a ozonizace. K postupům používaným k dezinfekci odpadních vod odstraňováním nebo redukcí mikroorganismů v odtoku z čistírny patří hlavně membránová filtrace, biologická dočišťovací nádrž a zemní filtry **(50)**.

1.7.3 Hygienické aspekty závlah odpadními vodami

Možnost mikrobiální kontaminace u splaškových vod rodinných domů a rekreačních objektů odpovídá složení odpadních vod malého počtu producentů, jejichž zdravotní stav je známý, a tím i hygienická problematika je jednoznačnější a riziko šíření onemocnění prostřednictvím vody je výrazně menší **(68)**.

V současné době se řeší možnost odděleného odvádění moče a tuhých exkrementů, které by se přímo kompostovaly ve speciálních kompostérech, což by z hygienického hlediska zpřehlednilo další využívání odpadních vod. Kvalita závlahové vody se posuzuje dle ČSN 75 7143 Jakost vod pro závlahu. K závlaze se používá mechanicko-biologicky čištěná odpadní voda, kterou je možné hygienicky zabezpečit UV zářením, které má nejvyšší baktericidní účinek při vlnové délce 253,7 nm. UV záření má toxický účinek na bakterie, viry, kvasinky, plísňe, jednobuněčné organismy apod. **(68)**.

V případech, kdy nebyla použita dezinfekce UV zářením, vyžaduje závlahové využití čištěných odpadních vod povrchovými způsoby respektování ochranných vzdáleností a lhůt mezi poslední závlahou a sklizní nebo spasením. Tyto ochranné lhůty není potřeba dodržovat při podpovrchových způsobech závlahy, při podpovrchové bodové závlaze a podmoku z perforovaného potrubí. Při závlaze mikropostřikem hygienicky nezabezpečenými vodami je limitujícím faktorem rychlost větru 2,5 m/s a ochranná vzdálenost od rozptýlené bytové zástavby by měla být 50 m. Při povrchové bodové a kapkové závlaze vystačí ochranná vzdálenost 15 až 20 m **(68)**.

Vhodnost odpadních vod k závlaze se posuzuje podle souhrnného hodnocení odpadních vod z hlediska fyzikálního, chemického a biologického složení a podle agronomického, hygienického, vodohospodářského, veterinárního, stavebně a strojně technologického hlediska. Podle normy ČSN 75 7143 se odpadní vody dělí na vhodné k závlaze, podmíněně vhodné k závlaze a vody nevhodné k závlaze. Návrh na zavlažování odpadními vodami se řeší v souladu s místními podmínkami, technologicko-provozním uspořádáním závlahy při respektování druhu, charakteru a složení odpadních vod a způsobu jejich čištění, plodině a osevních postupech, agronomických, agrotechnických, vodohospodářských a dalších podmínkách při současném dodržování základních právních předpisů a nařízení, které se týkají čištění a využívání odpadních vod **(67)**.

2. Cíle práce a hypotézy

2.1 Cíle práce

1. Udělat literární přehled o používaných typech DČOV (domovních čistíren odpadních vod) a KČOV (kořenových čistíren odpadních vod) v ČR a v zahraničí, o jejich hygienických aspektech, funkčnosti, účinnosti čištění, nákladnosti a možnosti využití v podmínkách ČR a o jejich výhodách a nevýhodách
2. Navrhnout vhodný typ domovní KČOV pro podmínky ČR, který bude splňovat hygienické požadavky a normy pro vypouštění odpadních vod do povrchových vod.
3. Udělat přehled o nutných krocích při výstavbě domovní KČOV.

2.2 Hypotéza

Předpokládám, že v zahraničí existují různé typy domovních KČOV, které mají vyhovující hygienické parametry (účinnost odstraňování znečištění, včetně odstranění patogenních organismů z odpadních vod). Také náklady na výstavbu by měly být cenově dostupné. Některý z těchto typů domovních KČOV bude možné využít i v podmínkách ČR.

3. Metodika

V literární rešerši je sepsán přehled typů domovních čistíren odpadních vod (DČOV) v současnosti používaných v ČR a v zahraničí, popsána jejich funkce, hygienické parametry, účinnosti čištění, pořizovací a provozní náklady. V předložené práci jsou dále uvedeny současné normy na kvalitu vypouštěných odpadních vod, požadavky na účinnosti čištění odpadních vod, přehled o výhodách a nevýhodách existujících DČOV. Ze získaných informací byl vybrán vhodný systém pro podmínky ČR. Následně byl vytvořen přehled nutných kroků, které vedou ke schválení výstavby domovní KČOV (postup pro jednotlivce či organizace, které se rozhodnou pro výstavbu domovní KČOV).

4. Výsledky

4.1 Metodický postup při plánování domovní KČOV

V následujících několika bodech popíši nezbytné kroky, které vedou k realizaci domovní kořenové čistírny odpadních vod. Tyto informace by měly posloužit všem zájemcům o výstavbu čistírny u jejich domu či rekreačního objektu. Pevně věřím, že přehled následujících kroků povede k usnadnění orientace v dané problematice a ke zdárnému uvedení čistírny do provozu.

4.1.1 Přípravné a průzkumné práce

Budoucí uživatelé o výstavbu malé domovní čistírny odpadních vod by si nejprve měli zjistit potřebné údaje a odpovědět si na následující otázky:

- Kolik má daná lokalita obyvatel a jakou občanskou vybaveností disponuje?
- Jakou má podobu stávající kanalizační sít i další inženýrské sítě?
- Existuje vhodný pozemek pro stavbu domovní čistírny?
- Nebude stát čistírna v ochranném pásmu mezi zástavbou a kanalizačním zařízením a bude v dostatečné vzdálenosti od studně?
- Jaké jsou zaznamenány místní meteorologické a klimatické údaje?
- Jaké bude množství vyprodukované odpadní vody?
- Co se bude dál dít s vyčištěnou odpadní vodou?
- Je ve vyhlédnuté lokalitě vhodný recipient?
- Kolik EO bude napojeno na čistírnu?
- Jak často se bude objekt, pro který se domovní čistírna staví, využívat?
- Jakou finanční částku jsou ochotni do čistírny investovat?

4.1.2 Prověření možnosti vypouštění odpadních vod

Další kroky zájemců by měly směřovat na obecní úřad, kde je potřeba z územního plánu zjistit, zda obec, v níž je zamýšlena výstavba domovní ČOV má stávající kanalizaci, nebo zda má v plánu teprve veřejnou kanalizaci s ČOV vybudovat. Mohou tedy vzniknout následující varianty:

1. Obec má stávající kanalizaci a ČOV

Pokud je v blízkosti stavební parcely kanalizační síť, je možné se na ni napojit kanalizační přípojkou. Vypouštění odpadních vod do kanalizace se pak řídí kanalizačním řádem.

2. Obec má v plánu výstavbu veřejné kanalizace a ČOV

Pokud je parcela napojitelná na budoucí kanalizaci je doporučeno postavit si prozatím žumpu na vyvážení s následným napojením domovních splaškových odpadních vod do budoucí kanalizace. Zde je opět potřeba položit si několik otázek: Jak daleko a jakým způsobem bude obsah jímky vyvážen do doby napojení na veřejnou kanalizaci? Je v místě nebo jeho blízkém okolí firma, která by odvoz zajistila a jak finančně nákladné by to bylo? Má přístupová cesta k domu, resp. k čistírně zpevněný povrch? Dostanou se pracovníci firmy s fekálním vozem k nám v létě při dešti a v zimě, kdy lze očekávat sněhovou nadílku? Jak dlouho bude trvat toto provizorní vyvážení fekálního odpadu – nebude to finanční ztráta? Nebylo by levnější postavit si dočasnou domovní ČOV?

3. Obec nemá v plánu výstavbu veřejné kanalizace a ČOV

Pokud v obci není kanalizace a ani se s ní do budoucna nepočítá, ať už pro vysoké náklady nebo z jiného důvodu, je zřejmě nejlepší variantou postavit si domovní čistírnu odpadních vod. Při komunikaci s odborníky jsem zjistila, že se kaly z domovní čistírny, na kterou jsou napojeni 4 EO musí vyvézt asi dvakrát nebo třikrát za rok, záleží to také na průtoku. Co budeme dělat s kaly, to už víme, ještě je ale nutné

zjistit, co budeme dělat s vyčištěnou vodou, zda je zde reálná možnost zaústění zamýšlené domovní ČOV do vodoteče. Nabízí se opět několik variant:

- *existuje reálná možnost zaústění plánované domovní ČOV do vodoteče*

V tomto případě je optimálním řešením sloučit zaústění odpadních vod z dalších nemovitostí v dané lokalitě (dle místních podmínek) do společné domovní či skupinové ČOV. V případě společné domovní nebo skupinové ČOV bude nutno vyhotovit jednoduchý kanalizační řád (vzájemná dohoda připojených obyvatel o společném užívání ČOV, měření objemů vypouštěných vod z připojených nemovitostí, způsob dělení úhrady nákladů na provoz, poučení o používání látek ohrožujících účinnost ČOV atd.), vyřešit majetkoprávní vztahy (umístění ČOV, potrubí atd.), určit osobu odpovědnou za provoz ČOV (obec, zástupce uživatelů, třetí osoba vlastníci příslušné oprávnění). Předpokladem tohoto řešení je vzájemný pozitivní přístup a spolupráce žadatele s ostatními obyvateli (majícími zájem o napojení) a s obcí **(15)**.

Při vypouštění vyčištěných odpadních vod do recipientu je důležité zjistit nakolik je tok vodnatý, aby po smísení s vyčištěnou odpadní vodou netekla korytem pouze odpadní voda **(70)**.

- *neexistuje reálná možnost zaústění plánované domovní ČOV do vodoteče*

Zde se nabízejí tyto 3 možnosti:

- a) zaústění do stávající dešťové kanalizace vyústěné do nedostatečně zvodnělé vodoteče nebo na „suchý pozemek“ (což může být např. strž, terénní deprese, příkop apod.) povolit nelze;
- b) vypouštění odpadních vod z domovní ČOV na terén (zálivka) lze povolit jen ve výjimečných a dostatečně zdůvodněných případech, a to za podmínky, že vypouštěné odpadní vody budou vyčištěny, popřípadě upraveny tak, aby nezhoršily ani neohrozily jakost podzemních vod (hydrogeologický posudek);
- c) vsakování (vypouštění odpadních vod z domovní ČOV pod úroveň zemského povrchu) je povoleno jen v opravdu výjimečných a dostatečně odůvodněných

případech (tam, kde není možné zajistit jiný způsob vypouštění odpadních vod, např. do vodního recipientu nebo do kanalizace a kde je vyhovující podloží), a to za podmínky, že vypouštěné odpadní vody budou vyčištěny, popřípadě upraveny tak, aby nezhoršily ani neohrozily jakost podzemních vod. Pro povolení je nutný hydrogeologický posudek, řešení se nabízí ve vložení dočišťovacího filtru, dále ve vsakovacích nádržích, hlubokých filtračních příkopech či ve filtrační drenáži (15, 70).

4.1.3 Zajištění návrhových parametrů

Na základě počtu EO připojených na ČOV se vypočítá množství a kvalita přivedených znečištěných odpadních vod, množství a kvalita vod vypouštěných, doba zdržení, množství kalu, četnost vyvážení a další parametry (70).

Obvykle se vychází z toho, že 1 EO vyprodukuje 60 g BSK₅ a z jeho činnosti vznikne 150 l odpadní vody denně. I když poslední měření ukazují, že zatímco hodnota BSK₅ je stále aktuální, tak množství produkované odpadní vody na 1 EO se snižuje. V České republice byla podle statistik naměřena dokonce hodnota pod 100 l/osobu/den, což je méně než doporučuje i Světová zdravotnická organizace. Také dnešní vybavení domácností je šetrnější ke spotřebě vody, obyvatele domu k tomu vedou zejména ekonomické důvody (49, 52).

Množství ekvivalentních obyvatel se obvykle stanoví v závislosti na typu obydlí, občanské vybavenosti, četnosti využití objektu atd. V České republice neexistuje speciální předpis, a tak se vychází z vlastních poznatků a zkušeností, případně se počty EO dají odvodit z hodnot pro výpočet spotřeby vody. V zahraničí je několik předpisů, na základě kterých je možné stanovit počet EO velice jednoduše, např. jde o rakouské a německé normy, ve kterých je pro rodinný dům stanoveno, že 1 osoba = 1 EO (52).

Technické návrhové parametry by měly splňovat následující kritéria:

- dostatečná bezpečnost provozu v souvislosti s recipientem
- vhodné přirozené začlenění do rázu krajiny
- mít na vědomí větší zábor plochy

- mít na vědomí nutnost dovozu většího množství vhodné náplně do kořenového pole
- posoudit možnost vhodného zajištění dostatečné těsnosti pole (22).

Posouzením všech hledisek pak vyjde optimální řešení a mnohdy se ukáže, že KČOV je pro danou lokalitu opravdu nejvýhodnější. V případě, že jsou např. problémy s vysokou pevností horniny, kterou je navíc někdy nezbytné těžít ve značném rozsahu, nebo pokud není v přiměřené vzdálenosti náplň pole, nebo když není možné snadno uložit přebytečnou zeminu, nebo v případě jiných závažných komplikací, má tento handicap výrazný vliv na finanční náklady stavby. Pokud se však nabízí příznivé terénní podmínky a nejlépe, pokud je přirozený hydraulický odpor zeminy dostatečně velký, může být stavba nesrovnatelně efektivnější než jakýkoli jiný typ (22).

4.1.4 Umístění čistírny

Pro umístění ČOV platí následující zásady:

- ***Pásma ochrany mezi zástavbou a kanalizačním zařízením***

Pásma ochrany prostředí mezi kanalizačním zařízením a zástavbou jsou dána podle TNV 75 6011 Ochrana prostředí kolem kanalizačních zařízení. Pásmo ochrany prostředí je ohraničeno přímou vzdáleností od okraje souvislé zástavby k vnějšímu líci kanalizačního zařízení nebo k okraji pozemku čistírny. Tyto vzdálenosti také platí proti směru převládajících větrů v otevřeném terénu. Za to ve směru převládajících větrů se vzdálenosti přiměřeně prodlužují, zpravidla ale ne více než na dvojnásobek. V případě členitého nebo zvlněného terénu je třeba podle místních podmínek vzdálenosti přiměřeně upravit (63).

- ***Manipulace se zachycenými produkty vznikajícími provozem čistírny odpadních vod***

Provozem čistírny odpadních vod vzniká jako odpad přebytečný stabilizovaný kal, jež je skladován v uskladňovacím prostoru ČOV a jehož likvidace se provádí vyčerpáním pomocí fekálního vozu. Tuto práci zajišťuje organizace mající k této činnosti oprávnění. Přímý kontakt a manipulace s kalem má být co nejkratší a nejmenší,

a proto je nutné volit umístění čistírny odpadních vod co nejbližší komunikaci. Toto umístění je vhodné i z důvodu oprav a revizí ČOV **(63)**.

- ***Vzdálenost od studní a zdrojů možného znečištění***

Podmínky jsou dány ČSN 75 5115 Studny individuálního zásobování vodou **(63)**.

4.1.5 Výběr čistírny

KČOV s horizontálním podpovrchovým tokem

Vhodnost použití:

KČOV jsou nejvhodnější pro rekreační objekty se sezónním využíváním a dále pro rodinné domy v obcích, kde není kanalizace. Zapotřebí je též dostatečně velký pozemek.

Pořizovací cena:

Pořizovací cena čistírny se pohybuje v rozpětí od 5000 do 25 000 Kč na 1 EO.

Účinnost čištění:

Tento typ KČOV má výbornou schopnost odstraňovat organické a nerozpuštěné látky. Také odstraňování mikrobiálního znečištění je vysoké (pohybuje se okolo 99%). Horší je to už s odstraňováním dusíku a fosforu. Eliminace těchto dvou nutrientů se pohybuje průměrně okolo 40-50%.

Instalace KČOV s horizontálním podpovrchovým tokem:

- ***Předčištění***

Před samotnou kořenovou čistírnu je vždy potřeba zařadit mechanické předčištění, které je pro tento typ čištění velmi důležité. V případě nedostatečného předčištění se zcela neodstraní nerozpuštěné látky, které mohou následně ucpat vlastní filtrační lože. Pro domovní čistírnu postačuje jednoduchý septik či usazovací nádrž. Je ale možné využít i různé intenzifikované septiky nebo domovní anaerobní filtr **(81)**.

- *Filtrační lože*

Kořenovou čistírnu je dobré vybudovat na tak nízkém místě u domu, aby do ní voda tekla samospádem, ale natolik vysoko, aby vyčištěná voda z ní sama přetékala do rybníčku, který může být za KČOV umístěn jako dočištění. Je z dlouhodobého hlediska daleko výhodnější podstoupit určité terénní úpravy, než používat čerpadlo **(11)**.

Filtrační lože je nejčastěji 60 až 80 cm hluboké a substrát musí být dostatečně propustný, aby nedocházelo k ucpávání. V současné době se nejvíce používá praný štěrk, drcené kamenivo a kačírek o zrnitosti 4/8 nebo 8/16 mm. Je vhodné používat jen jednu frakci, protože při použití více frakcí může dojít k nedostatečnému promísení jednotlivých frakcí a poté se mohou vytvářet zkratové proudy ve filtračním loži. Je také bezpodmínečně nutné použít materiály zbavené prachu, případně zeminy. V případě použití štěrku je nejvhodnější ten praný. Rozvodné a sběrné zóny jsou vyplněny hrubým kamenivem (50-200 mm), aby se odpadní voda dobře rozvedla po celém profilu nátokové hrany. Filtrační lože musí být odděleno od podloží nepropustnou vrstvou, nejčastěji plastovou fólií (z PVC nebo PE), aby se zabránilo průsakům do podloží a následnému znehodnocování podzemních vod. Plastovou fólii je nezbytné ochránit před poškozením, např. podložit a překrýt geotextilií, aby nedošlo k protržení fólie při navážení filtračního materiálu. Pokud je podloží tvořeno málo propustným materiálem (jíly s hydraulickou vodivostí $<10^{-8}$ m/s), není potřeba použít další izolace **(81)**.

Plocha pole je většinou dimenzována na 5m² na 1 EO a mají často poměr délka:šířka menší než jedna. Široká nátoková hrana brání lokálnímu přetížení a případnému ucpávání lože, krátké pole snižuje výskyt zkratových proudů **(81)**.

- *Distribuce odpadní vody*

Předčištěná odpadní voda je přiváděna do rozvodné zóny, která je vyplněna hrubým kamením. Pro rozvod se nejčastěji používají plastové trubky s velkými otvory, aby se předešlo ucpávání. Rozvodné potrubí může být uloženo buď pod úrovní povrchu filtračního pole a povrch rozvodné zóny je v té samé úrovni jako povrch filtračního pole

nebo jsou rozvodné trubky uloženy nad úrovní povrchu filtračního pole a jsou převrstveny hrubým kamenivem **(81)**.

Sběrné potrubí je uloženo na dně filtračního lože a je spojeno v odtokové šachtě s výpustním mechanismem, jímž se koriguje výška vodního sloupce ve filtračním loži (funguje na principu spojených nádob). Pro tento účel se velmi osvědčily flexibilní hadice zavěšené na řetízcích. Manipulace s hadicemi je velmi jednoduchá a lze docílit velice přesného nastavení výšky vodní hladiny. Při běžném provozu je hladina vody udržována 5-10 cm pod povrchem filtračního lože **(81)**.

- *Vegetace*

Pro osázení KČOV se nejvíce používá rákos obecný, který je často vysazován v kombinaci s chrasticí rákosovitou. V našich klimatických podmínkách je jejich nejdůležitější funkcí zateplování povrchu filtračních polí v průběhu zimního období. Z tohoto důvodu se vegetace sklízí až na konci zimního období, když už nehrozí nebezpečí velkých mrazů. Pro malé domovní čistírny lze použít i jiné mokřadní rostliny, které mají navíc i estetický charakter, např. orobinec nebo různé druhy kosateců. Rostliny se mají vysazovat v hustotě 4-8 kusů na 1 m² přímo do štěrkového lože, pokud možno bez zeminy. Po vysazení rostlin je vhodné udržovat hladinu vody při povrchu lože, popřípadě těsně pod povrchem, až do té doby než rostliny pořádně zakoření **(81)**.

I když je účinnost odstraňování dusíku a fosforu v tomto typu KČOV poměrně nízká, nařízení vlády č. 229/2007 Sb. 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, v platném znění stanovuje limity přípustného znečištění pouze pro tři ukazatele uvedené v tabulce 1:

Tab. 1: Emisní standardy ukazatelů přípustného znečištění městských odpadních vod (v mg/l) pro ČOV, které mají menší počet EO než 500 (44).

Kategorie ČOV (EO)	CHSK _{Cr}	BSK ₅	nerozpuštěné látky (NL)
< 500	150	40	50

Vzhledem k tomu, že pro dusík a fosfor nejsou u malých domovních čistíren stanoveny limity, můžeme si ji bez obav postavit. V diskuzi však jsou popsány návrhy a myšlenky, jak tyto čistírny ještě vylepšit, aby účinnost odstraňování výše zmíněných dvou nutrientů byla vyšší.

4.1.6 Investiční a provozní náklady

V současné době jsou investiční náklady přibližně stejné ve srovnání s klasickými čistírnami. Je ale nutné uvést, že KČOV mají na realizaci velice specifické požadavky, a ty by neměly být opomíjeny. Pokud se staví na nevhodném místě (nedostupnost vhodného filtračního materiálu, špatný přístup pro stavební techniku atd.), může dojít k velkému zdražení vlastní stavby. Na druhé straně je možné i podstatně snížit cenu stavby a to při vhodné konfiguraci území (např. terénní deprese) nebo v případě podloží s dostatečně nízkou hydraulickou propustností, kde není potřeba použít plastové fólie. Z tohoto důvodu je každá KČOV jakýsi originál, a proto tedy není možné stanovit přesnou cenu, jako je tomu u sériově vyráběných klasických čistíren. Z dostupných zdrojů vyplývá, že cena KČOV (včetně předčištění) se v současnosti pohybuje v rozmezí od 4000 do 25 000 Kč na 1 EO. Při stanovení průměrné ceny KČOV se ten nejlepší odhad pohybuje okolo 10 000 Kč na 1 EO, přičemž pro domovní čistírny lze očekávat vyšší a pro obecní čistírny nižší částky. Při vyjádření investiční ceny jednotlivých součástí čistírny, pak předčištění činí asi 25%, vlastní filtrační pole 60% a ostatní (šachty, rozvody atd.) 15% z celkových investičních nákladů. V investičních nákladech na filtrační pole tvoří největší položku cena a doprava filtračního materiálu (asi 40%), dále pak cena a uložení ochranných fólií (asi 10%),

zemní práce (asi 5%) a výsadba rostlin (asi 5%). Avšak cenové relace se mohou výrazně lišit v závislosti na místních podmínkách **(81)**.

Do provozních nákladů je třeba počítat: čerpání kalu ze septiku (četnost vývozů záleží na počtu EO a velikosti septiku), vyžínání porostu v zimě nebo časném jarním období, dále pokud jsou zařazeny česle, tak jejich čištění dle potřeby, a také čištění dočišťovacích jezírek, případně osazování rostlinami nebo rybami **(94)**.

4.1.7 Postup na úřadech

Zatím jsme si popsali a seznámili se s tím, za jakých okolností by taková KČOV byla reálná a jaký je stavební postup. Nyní, než začneme stavět, je nutné naši budoucí stavbu zlegalizovat. Musíme se obrnit trpělivostí a bojovat s přebujelou administrativou. Postup je popsán v následujících bodech:

4.1.7.1 Projektová dokumentace

Projektová činnost je upravena vyhláškou, která vychází ze stavebního zákona č. 183/2006 Sb., v platném znění. U staveb, které vyžadují stavební povolení se zpracovává projekt pro stavební povolení. Projekt stavby provádí autorizovaná osoba nebo organizace oprávněná k projektové činnosti dle stavebního zákona **(63)**.

Projektová dokumentace stavby, která se předkládá ke stavebnímu (územnímu) řízení.

4.1.7.2 Vodoprávní řízení

Vodoprávní řízení se řídí vodním zákonem č. 254/2001 Sb., v platném znění a stavebním zákonem č. 183/2006 Sb., v platném znění **(63)**.

Vzhledem ke skutečnosti, že stavba čistírny je vodohospodářským dílem, je potřeba k jejímu zřízení, změnám a zrušení dle vodního zákona povolení vodohospodářského orgánu. Vodohospodářský orgán v povolení vodohospodářského

díla stanoví povinnosti, případně podmínky, za kterých je uděluje. Podle potřeby nařídí žadateli o povolení zřídit vodní značku (cejch), případně předložit ke schválení návrh manipulačního nebo provozního řádu vodohospodářského díla. Povolení vodohospodářského díla je zároveň rozhodnutím o přípustnosti stavby podle zákona o stavebním řádu. Vodohospodářský orgán příslušný k povolení vodohospodářského díla rozhoduje také o jeho uvedení do zkušebního a trvalého provozu **(63)**.

V praxi to vypadá tak, že vydání kladného souhlasu vodohospodářského orgánu k vodohospodářskému dílu předchází:

- *Vypracování projektové dokumentace ke stavebnímu povolení*
- *Žádost o stavební povolení*
- *Stavební (územní) řízení*

Žádost o stavební povolení spolu s předepsanou dokumentací podává žadatel u stavebního úřadu. Tím je započato stavební řízení. Žadatel musí prokázat, že je vlastníkem pozemku nebo stavby, která jej opravňuje zřídit na pozemku požadovanou stavbu (výpisem z katastru nemovitostí a kopií katastrální mapy). Žádá-li žadatel o povolení stavby, která má z části spočívat na pozemku ve vlastnictví jiné osoby, je nezbytné připojit k žádosti o povolení stavby písemnou smlouvu o zřízení věcného břemene uzavřenou s vlastníkem pozemku, na jejíž části má spočívat. Stavební úřad může zastavit stavební řízení, pokud:

- dokumentace nebyla vyhotovena oprávněnou osobou
- žadatel nedoplnil žádost ve lhůtě dané stavebním úřadem
- žadatel neuvedl dokumentaci do souladu s podmínkami územního rozhodnutí **(63, 70, 93)**.

- *Stavební povolení*

Ve stavebním povolení stanoví stavební úřad závazné podmínky pro uvedení stavby do provozu a její používání a rozhodne o námitkách účastníků řízení. Stavební povolení pozbývá platnost, jestliže stavba nebyla započata do dvou let ode dne, kdy nabylo právní moci, pokud stavební úřad v odůvodněných případech nestanovil pro zahájení stavby delší lhůtu **(63)**.

- Souhlas vodohospodářského orgánu, povolení

Na základě kladného stanoviska stavebního úřadu, žádosti a výsledku uskutečněného vodoprávního řízení udělí místně příslušný referát životního prostředí (oddělení vodního hospodářství) povolení:

- k vypouštění odpadních vod do vod povrchových nebo podzemních podle § 8 vodního zákona č. 254/2001 Sb., v platném znění a nařízení vlády č. 229/2007 Sb., kterým se stanoví příslušné ukazatele a hodnoty přípustného stupně znečištění vod
- k množství vypouštěných odpadních vod
- k realizaci vodohospodářského díla dle § 9 zákona č. 254/2001 Sb., v platném znění **(63)**.

Povolení je udělováno za podmínek, které specifikuje vodohospodářský orgán na dobu omezenou **(63)**.

4.1.7.3 Stavební připravenost

Stavba se provádí až po schválení projektové dokumentace. Instalaci (osazení) ČOV a další stavební úpravy je nutné provést podle schváleného projektu **(63)**.

4.1.7.4 Kolaudace stavby

Kolaudační řízení se zahajuje na návrh žadatele písemnou formou. Návrh může podat i budoucí uživatel stavby, musí ale předložit písemnou dohodu se žadatelem (stavebníkem) o užívání stavby **(63)**.

Účastníkem kolaudačního řízení je žadatel, vlastník stavby, popřípadě uživatel **(63)**.

Návrh na vydání kolaudačního rozhodnutí obsahuje:

- jméno a adresu žadatele
- označení a umístění stavby
- datum a číslo jednací stavebního povolení

- předpokládané datum dokončení stavby
- datum dokončení úprav okolí stavby
- údaj, jestli bude prováděn zkušební provoz a doba jeho trvání
- popis a odůvodnění odchylek od územního rozhodnutí **(63)**.

K ústnímu jednání spojenému s místním šetřením je nezbytné předložit:

- doklady a vytyčení stavby
- doklady o výsledcích předepsaných zkoušek a měření, revize, informace o komplexních zkouškách
- projektová dokumentace ověřená stavebním úřadem při stavebním řízení
- výkresy s vyznačením změn, k nimž došlo během realizace stavby
- doklad o převzetí a předání stavby
- doklady o ověření vlastností výrobků – doklad o vodotěsnosti nádrže a souvisejících kanalizačních přípojek
- protokol o zaškolení obsluhy (nebo při vlastním provozu zodpovídat za kvalitu čištění)
- provozní řád (u menších ČOV stačí i od výrobce)
- vyjádření správce vodního toku (kanalizace)
- smlouva o odvozu přebytečných kalů z DČOV **(15, 63)**.

Zjistí-li se během kolaudačního řízení na stavbě závady bránící jejímu užívání, především nejsou-li splněny podmínky stavebního a vodohospodářského povolení k bezpečnému užívání stavby, stanoví vodohospodářský orgán lhůtu pro jejich odstranění **(63)**.

4.1.7.5 Uvedení do zkušebního a trvalého provozu

• Zkušební provoz

Na základě kladného stanoviska kolaudačního řízení udělí místně příslušný odbor životního prostředí, oddělení vodního hospodářství, jako příslušný orgán dle § 2

zákona č. 130/1974 Sb. o státní správě ve vodním hospodářství v platném znění povolení k prozatímnímu užívání vodního díla ke zkušebnímu provozu podle §9 a 14 vodního zákona č. 254/2001 Sb., v platném znění a NV č. 229/2007 Sb., kterým stanoví příslušné ukazatele a hodnoty přípustného znečištění povrchových a odpadních vod **(63)**.

Povolení je udělováno za následujících podmínek:

- zkušební provoz se bude řídit schváleným provozním řádem
- na ČOV budou vedeny záznamy do provozního deníku
- budou odebírány vzorky odpadní vody a analyzovány v souladu s rozhodnutím vodohospodářského orgánu

Povolení je vydáváno na dobu omezenou **(63)**.

• *Trvalý provoz*

Po úspěšném ukončení zkušebnímu provozu požádá provozovatel (majitel) vodního díla o jeho uvedení do trvalého provozu. Pro uvedení do trvalého provozu je potřeba předložit na místně příslušný odbor životního prostředí, oddělení vodního hospodářství:

- žádost v písemné formě
- zprávu o zhodnocení zkušebnímu provozu
- vypracovaný provozní řád pro trvalý provoz
- projektovou dokumentaci **(63)**.

Vypracování zprávy o zhodnocení zkušebnímu provozu může být provedena dodavatelskou firmou ČOV, projekční organizací nebo organizací, která zajišťuje poradenství v oblasti vodního hospodářství na základě poskytnutých podkladů provozovatele (majitele) vodního díla – provozní deník, rozborů odpadní vody, projektová dokumentace **(63)**.

U domovních ČOV se 4 až 6 připojenými EO bude v rámci kolaudace ČOV uvedena přímo do trvalého provozu. Provozovatelé DČOV jsou povinni dodržovat schválený provozní řád, vést řádnou provozní dokumentaci, provádět kontrolní prohlídky spojené s údržbou a likvidací přebytečného kalu a předkládat výsledky

kontrolních rozborů vodohospodářskému orgánu (první rok: 2x/rok, druhý rok: 1x/rok, dále 1x/2 roky v případě vyhovující účinnosti ČOV. Součástí provozního řádu bude mj. i vyloučení látek, které ohrožují účinnost ČOV z přítoku (mezi ně patří: vyšší koncentrace tuků, regenerační roztoku z domácích změkčovačů, barvy, laky, ředidla, silné dezinfekční prostředky – např. Savo, silné kyseliny a zásady) (15).

4.1.8 Vodohospodářský orgán

Po uvedení domovní ČOV do trvalého provozu bude vodohospodářský orgán dle potřeby provádět **kontroly vedení provozu ČOV** (provozní deník, zodpovědná osoba, odběry vzorků vody, předávání výsledků rozborů vodohospodářskému orgánu, likvidace kalů, provozní řád) a **kontrolní odběry vzorků vody** (výsledek nesmí překročit limitní hodnotu). V případě porušování provozního řádu, podmínek rozhodnutí vodohospodářského orgánu nebo v případě nadlimitních hodnot výsledků rozborů vody bude udělena pokuta (15).

5. Diskuse

Ve své práci jsem dospěla k názoru, že nejvhodnějším typem domovní kořenové čistírny odpadních vod pro podmínky v ČR je KČOV s horizontálním podpovrchovým tokem. A to proto, že je to nejpoužívanější a nejvíc odzkoušený typ.

KČOV s horizontálním podpovrchovým tokem velice dobře odstraňuje CHSK, BSK i nerozpuštěné látky, což jsou ukazatele, které se kontrolují ve vyčištěné odpadní vodě v případě čistíren pro méně než 500 EO. Dále ale také velmi efektivně odstraňuje mikrobiologické znečištění – což mohu potvrdit i ze svých zkušeností. (Ve své bakalářské práci **(18)** jsem se zabývala účinností odstraňování termotolerantních koliformních bakterií a enterokoků v odpadní vodě v KČOV Slavošovice. Průměrná účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií v KČOV v zimním období byla 99,9%, pro enterokoky 100%, v letním období to bylo 100% pro obě sledované skupiny bakterií. Z toho vyplývá, že celková účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií a enterokoků se v zimním a letním období téměř nelišila.).

Bohužel tento typ nevyniká v odstraňování nutrientů. KČOV s podpovrchovým horizontálním tokem odstraňuje dusík a fosfor často s poměrně nízkou účinností, ale odstraňování dusíku a fosforu zde není primárním účelem. Navíc ani v NV č. 229/2007 Sb., v platném znění nejsou stanoveny limity pro tyto nutrienty pro domovní čistírny (resp. pro čistírny do 10 000 EO).

Pokud bychom i přes tuto skutečnost uvažovali o nějakém systému, který by lépe odstraňoval nutrienty, jak by asi vypadal? Po přečtení různých zahraničních článků (zejména **30, 79 a 88**) a po rozhovoru s panem Hrnčářem **(21)** by pro odstraňování nutrientů byl vhodnější kombinovaný systém VF/HF s recirkulací. Pan Hrnčář dále upozorňuje na důležitost kvalitního předčištění. Za nejvhodnější považuje systém SL, což je intenzifikovaný septik s lamelami, jenž se mu velice osvědčil. V **(68)** je možno se dočíst, že u septiku typu SL bylo snahou zachovat jeho dlouhodobou bezobslužnost při současném zmenšení objemu a zvýšení účinnosti. Toho je dosaženo tím, že je výrazně prodloužena cesta vodní částice vestavbou svislých

dělicích a norných stěn do druhé a třetí komory. Tím se vytvoří podmínky pro intenzivnější a řízené nastartování anaerobních rozkladných procesů. Anaerobní biocenóza porůstá množstvím dělicích lamel a je obsažena v kalu u dna nádrže. Voda usměrněná do spodní části s kalem je tím zároveň čištěna. Zapojením kalové části do čistícího procesu zaniká potřeba zvětšování objemu, a proto stačí objem septiku SL pro čtyřčlennou rodinu (4 EO) již od 1,8 m³. Pro zrychlení rozkladu a odstranění zápachu je možné přidávat komerčně dostupné přípravky obsahující směs mikroorganismů.

Názory na to, jak často se má vybírat a vyvážet kal ze septiku se různí. Některé zdroje uvádí 2-3krát/rok (**85**), jiné 1-2krát/rok (**94**). Dle sdělených zkušeností (**21**) stačí při použití septiku typu SL vyvážet kal jednou ročně. Častější vývoz by byl na škodu. Část anaerobního aktivovaného kalu je totiž potřeba pro kvalitní odstranění znečištění, jak je vysvětleno v předchozím odstavci. Účinnost odstraňování BSK₅ a nerozpuštěných látek tohoto typu septiku dosahuje až 50%, což je zhruba o polovinu více než se uvádí u běžných septiků. Doba zdržení se tu pohybuje okolo 3 dnů.

Poměrně často se na konaných seminářích a v různých debatách na internetu objevuje otázka, zda je kal z čistíren nebezpečný odpad. Podle klasifikace odpadů kal JE nebezpečný odpad. Ale lidé z oboru většinou tvrdí, že ne. Každopádně mineralizovaný kal ze septiku by měl být použitelný pro zemědělství nebo na kompost vlastní zahrádky. Další možností, jak s kalem naložit je nechat ho odvézt na velkou ČOV, kde mají kalové hospodářství, což je z mého hlediska nejlepší varianta. Dále např. Ing. Kulovaná (**39**) uvádí o kalu z ČOV následující: Podle zákona o odpadech je kalem jednak kal z čistíren odpadních vod zpracovávajících městské odpadní vody nebo odpadní vody z domácností a z jiných čistíren odpadních vod, které zpracovávají odpadní vody stejného složení jako městské odpadní vody a odpadní vody z domácností, potom kal ze septiků a jiných podobných zařízení, nebo kal z čistíren odpadních vod výše neuvedených. Významným pojmem je i upravený kal, což je kal, který byl podroben biologické, chemické nebo tepelné úpravě, dlouhodobému skladování nebo jakémukoliv jinému vhodnému procesu tak, že se výrazně sníží obsah patogenních mikroorganismů v kalech, a tím zdravotní riziko spojené s jeho aplikací.

Dále Ing. Kulovaná (39) píše, že upravené kaly z ČOV mohou být použity na zemědělské půdě pouze v podmínkách daných vyhláškou č. 382/2001 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, v platném znění; popř. jako hnojivo v souladu se zákonem o hnojivech č. 156/1998 Sb., v platném znění. Ing. Kulovaná (39) ještě zmiňuje, že kaly ze septiků nelze pokládat za upravené kaly, a že obsah domovních jímek nelze považovat ani za hnojivo podle zákona o hnojivech. Tudíž já osobně bych obsah septiků nechávala odvézt na velkou ČOV na kalové hospodářství, čímž se vyhneme sporným debatám a případným nepříjemnostem.

V pomyslně navrženém VF/HF systému, který je v diskuzi rozebírán, by po septiku typu SL následovalo vertikální pole, kde by mělo dojít k zachycení organického znečištění a také proběhnout mechanické dočištění. Za vertikálním polem by byla rozdělovací šachta s čerpadlem, které by 50% odpadní vody hnalo na začátek systému, a to proto, aby se odpadní voda obohatila o uhlík, který je nezbytný pro denitrifikaci. Místo recirkulace jsem mohla navrhnout, že by se do čištěné odpadní vody přidávala látka s obsahem uhlíku, ale pokud má být čistírna opravdu extenzivním přírodním čištěním, rozhodla jsem se chemické látky nepoužívat.

Za vertikálním polem by bylo dalším článkem v diskutovaném VF/HF systému horizontální lože osázené rákosem, popřípadě ještě jinými rostlinami s esteticky vyšší hodnotou. Rostliny jsou totiž pro čištění odpadní vody v KČOV nezbytné. Pro odstraňování mikrobiálního znečištění to opět mohu doložit svým výzkumem v bakalářské práci (18) (bakterie se z odpadní vody odstranily ve velkém množství až po průchodu kořenovým polem). Co se týče odstraňování celkového dusíku, tak v tom také hrají roli rostliny, čímž se zabývali např. Keffala a Ghrabi (30). Zjistili, že pozitivní vliv rostlin na odstraňování celkového dusíku je prokazatelný.

Je samozřejmé, že čím více nutíme vodu „kličkovat“, tím dosáhneme lepšího účinku čištění. Pan Hrnčář (21), mi poradil, aby byl hrubý štěrk (6 – 12 cm) nejen na nátokové a sběrné zóně, ale také uprostřed pole. Voda bude takto efektivněji čištěna. Další praktickou informací je to, aby nátoková zóna kořenového pole byla širší než odtoková, aby nedocházelo k ucpávání (21).

Na konci rozebíraného VF/HF systému by byla odtoková šachta s hadicemi na řetízkách, které umožňují regulaci výšky hladiny vody, jak je to známo z větších KČOV. Je také možné mít na konci systému jezírko s tryskou (která vodu kromě designového prvku navíc okysličuje) a také rybičkami (které jsou indikátorem nezávadné vody), jak jsem to viděla u pana Hrnčíře v Žitenicích. Takto vyčištěná voda je vhodná na zalévání zahrady.

Nedokáží odhadnout, kolik by takový VF/HF systém stál. Není odzkoušen, ale domnívám se, že by byl nákladný. Leč spíše než finance systému jako takového, by v nákladech velkou roli sehrály nedostatečné zkušenosti a ojedinělí projektanti, kteří by uměli tento typ navrhnout a zkonstruovat. A proto by cena byla navýšena zejména transportem materiálu, techniky a pracovních sil na jeho výstavbu. A z toho vyvozují závěr, že prozatím nemá smysl nabízet ani uvažovat o hybridních domovních KČOV pro běžné zákazníky.

Účelem navržení jiného typu nežli horizontálního podpovrchového systému bylo zlepšení odstraňování nutrientů z odpadní vody. Pro zlepšení odstraňování dusíku jsou tedy vhodné kombinované VF/HF systémy, protože voda je nucena protékat přes několik stupňů, tím dochází k okysličení a tedy k nitrifikaci a přeměně dusíku na dusičnany. Je to ale pořád pouhá přeměna dusíku z jedné formy na druhou, nedochází tak ke snížení množství dusíku v recipientu. Proto je důležitý další krok – denitrifikace (té vždy musí předcházet nitrifikace a přítomnost uhlíku, čili je nutná recirkulace), která přeměňuje dusičnany na plynnou formu dusíku, který vytěká. Odumřelý rákos též obsahuje uhlík, na což mě upozornil pan Hrnčíř (21), takže by bylo vhodnější rákos spíše nekosit. Na druhou stranu si myslím, že zřejmě neobsahuje až tak významné množství uhlíku, protože téměř na všech KČOV dochází k pravidelnému sklízení biomasy. Navíc by snad ani samotní majitelé nechtěli mít na zahradě spletitou a přerostlou masu rostlin.

V článku (88) jsou vyjmenovány procesy, které ovlivňují odstranění a zadržení dusíku v KČOV. Jsou to: volatilizace amoniaku, nitrifikace, denitrifikace, rostlinná a mikrobiální absorpce, amonifikace, redukce dusičnanů na amonné ionty, anaerobní oxidace amoniaku, rozklad, sorpce, desorpce, asimilace rostlinami a ukládání

v kořenovém poli KČOV. Ale jen několik málo procesů skutečně odstraňuje celkový dusík z odpadní vody. Většina procesů dusík jen přeměňuje na různé jiné formy, což potvrzuje i výrok od pana Hrnčíře v předchozím odstavci (21). Kořenové čistírny s vertikálním tokem úspěšně odstraňují amoniakální dusík, avšak denitrifikace je v tomto systému limitovaná. Na druhou stranu kořenové čistírny s horizontálním tokem poskytují dobré podmínky pro denitrifikaci, zatímco nitrifikace je zde nedostatečná. Proto by měly být různé typy KČOV navzájem kombinovány v takovém pořadí, aby se co nejvíce zužitkovaly výhody jednotlivých systémů.

V článku (88) jsou rovněž vyjmenovány i procesy, které ovlivňují odstranění fosforu v KČOV. Jsou to: adsorpce, desorpce, precipitace, rozklad, rostlinná a mikrobiální absorpce, vylučování, mineralizace a ukládání.

Čím by se dalo zlepšit odstraňování fosforu z domovních KČOV? Na tuto otázku mi pan Hrnčíř (21) jednoznačně odpověděl, že sorpcí, což potvrzuje i pan Vymazal (88) a ještě k tomu dodává precipitaci, rostlinnou absorpci a zachycení štěrkem. Já bych tedy do navrhovaného VF/HF systému dala štěrk s obsahem vápníku, železa nebo hliníku, což doporučují i (5, 77, 85). Další radou odborníků je nepoužívat prací prostředky s obsahem fosforu a zamezit tak jeho vstupu do odpadních vod (92).

Dalším rozdílem, jež je mezi teorií a praxí jsou odběry vzorků vody kontrolními orgány. Ze zákona na to mají právo, což mi potvrdil i Ing. Král (37), ale většina odborníků, s kterými jsem hovořila mi řekla, že domovní čistírny jsou kontrolovány velmi málo. Kontrolní orgán (Česká inspekce životního prostředí) nejčastěji přichází z důvodu prověření stížnosti – že někde vytéká odpadní voda do potoka apod.

Ještě je tu ale jedno upozornění – limity pro dusík a fosfor u domovních čistíren sice stanoveny v NV č. 229/2007 Sb., v platném znění nejsou, ale může je stanovit ten, kdo KČOV povoluje (orgán životního prostředí), jak mi sdělila paní Zemanová (92).

Když jsem se již zmínila o povolování KČOV, nemohu se u této problematiky nezastavit. Někteří úředníci kořenové čistírny podceňují, nevěří jim a považují je za neplnohodnotný systém. S těmito názory se mnozí odborníci, podle svých slov, potýkali a bohužel ještě potýkají. Je úsměvné, spíše tragicky, že ještě ve 21. století někdo nedůvěřuje odzkoušeným inovacím a raději preferuje klasické balené ČOV,

i když se účinnost kořenových čistíren bez problémů vyrovná tradičnímu čištění. Netvrdím, že se KČOV hodí všude a za všech okolností, to jistě ne, ale kdo o ni má zájem, proč mu v tom administrativa někdy tak hloupě brání?!

Hodně zájemců o KČOV se ptá, zda se mu vyplatí do toho financovat tolik peněz? Je to samozřejmě na zvážení. V rozhodování zda ano či ne hraje roli spousta faktorů. Ale měli bychom mít na paměti, že KČOV má životnost cca 20 let, což mi potvrdil i pan Hrnčír (21). Avšak k jejímu provozu není zapotřebí elektrické energie a vývoz kalu jednou ročně majitele KČOV také nezruinuje. Třeba obsah žumpy se musí vyvážet častěji a klasické balené ČOV také nevydrží věčně.

6. Závěr

1) V teoretické části je předložen přehled o používaných typech domovních ČOV a KČOV v ČR a v zahraničí. Jsou zde rozpracovány informace o jejich hygienických aspektech, funkčnosti, účinnostech čištění, nákladnosti a možnosti využití v podmínkách ČR a o jejich výhodách a nevýhodách.

V České republice i v zahraničí jsou používány k čištění odpadních vod jako domovní čistírny dosti podobné systémy – nejčastěji jsou to septiky, zemní filtry, kořenové čistírny, aktivační čistírny a biodisky.

Obecně platí, že pro budovy, které mají (nyní nebo v budoucnu) možnost napojení se na obecní kanalizaci nejsou alternativní způsoby čištění odpadních vod vhodné. Naopak jsou vhodné pro objekty bez možnosti napojení na kanalizaci a dále pro sezónní objekty, samoty a chaty, kde je jen sezónní produkce odpadní vody.

2) V České republice se jako KČOV používá nejčastěji systém s horizontálním podpovrchovým tokem. V tomto typu KČOV dochází k dostatečnému odstraňování organického znečištění a nerozpuštěných látek, ale účinnost odstraňování dusíku a fosforu je relativně nízká. V případě použití pro malý počet EO však úplně postačuje, protože zatížení je většinou tak malé, že koncentrace znečišťujících látek v odtékající vodě splňují dané limity.

3) V praktické části je vytvořen přehled o nutných krocích při výstavbě domácí KČOV. Ze zahraničních výzkumů vyplývá, že pro zkvalitnění odstraňování dusíku existuje několik možností. Je to zejména použití hybridních systémů, nejlépe kombinace horizontálního pole s vertikálním a s recirkulací.

4) V horizontálním poli dochází k odstraňování organických a nerozpuštěných látek a také k odstraňování dusíku denitrifikací. V poli vertikálním dochází k okysličení vody a tím k tvorbě dusičnanů v procesu nitrifikace. Voda z vertikálního pole

je recirkulována zpět do horizontálního pole a dusík ve formě dusičnanů je zde odstraňován denitrifikací.

5) Pro zlepšení odstraňování fosforu z odpadní vody je nejvhodnější použití speciálních materiálů s vyšším obsahem železa, hliníku nebo vápníku, jimiž lze dosáhnout účinnosti odstraňování fosforu přes 90%. Kromě železitých písků a vápencového štěrku se s velkým úspěchem používají i uměle vyrobené substráty, např. na bázi termicky expandovaného jílu.

Nicméně každá dokonalejší varianta čistírny bude i finančně nákladnější.

7. Seznam použité literatury

1. *Aplikovaná hydrobiologie – čištění odpadních vod* [online]. [cit. 2009-02-18]. Dostupné z: <http://ekologie.upol.cz/ku/ahdo/Cistení_odpadnich_vod.pdf>.
2. AQUA-CONTACT. *Typy zemních filtrů* [online]. © 2008, [cit. 2009-03-05]. Dostupné z: <<http://www.aquacontact.cz/SA531B0C1630D0S0-zemni-filtry.html>>.
3. AQUA-CONTACT. *Zpracování projektové dokumentace* [online]. © 2008, [cit. 2009-03-05]. Dostupné z: <<http://www.aquacontact.cz/SA531B0C1634D0S0-projektovani.html>>.
4. AQUA IMPEX spol. s r.o. *Aktivační domovní čističky DC* [online]. [cit. 2009-04-09]. Dostupné z: <<http://www.aquaimpex.cz/index.php?menu=67>>.
5. ARIAS, C. A. – BUBBA, M. DEL, BRIX, H. Phosphorus removal by sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds. *Water Research*, 2001, vol. 35, no. 5, pp. 1159-1168.
6. ASIO, spol. s.r.o. Budete stavět domovní čistírnu?. *TZB-info* [online]. 27.8.2003. [cit. 2009-03-05]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1593>>. ISSN 1801-4399.
7. BAUDIŠOVÁ, D. Redukce mikrobiálního znečištění alternativními způsoby čištění odpadních vod. *Vodní hospodářství*, 2008, roč. 58, č. 2, Vodohospodářské technicko-ekonomické informace 1/2008, s. 4-7. ISSN 1211-0760.

8. BOLDIŠ, P. *Bibliografické citace dokumentů podle ČSN ISO 690 a ČSN ISO 690-2 (01 0197): Část 1 – Citace: metodika a obecná pravidla* [online]. Verze 3.3. Poslední aktualizace 11.11.2004 [cit. 2009-05-02]. Dostupné z <<http://www.boldis.cz/citace/citace1.pdf>>.
9. BOLDIŠ, P. *Bibliografické citace dokumentů podle ČSN ISO 690 a ČSN ISO 690-2: Část 2 – Modely a příklady citací u jednotlivých typů dokumentů* [online]. Verze 3.1. Poslední aktualizace 11.11.2004 [cit. 2009-05-02]. Dostupné z <<http://www.boldis.cz/citace/citace2.pdf>>.
10. BRIX, H. – ARIAS, C. A. The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines. *Ecological Engineering*, 2005, vol. 25, pp. 491-500.
11. BŘEZOVÁ, K. *Poradna ekologie* [online]. © 2002-2009, [cit. 2009-02-18]. Dostupné z: <<http://www.industry-eu.cz/ekologie/cz/poradna.php>>.
12. CIFERA, K. *Kořenové čističky odpadních vod: výhody a nevýhody pro vaši obec* [online]. © 2008, [cit. 2009-03-05]. Dostupné z: <http://www.ekoreny.cz/web/info/korenove_cisticky>.
13. *Člověk a odpadní voda – I. část* [online]. [cit. 2009-03-05]. Dostupné z: <http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=64&idkapitola=129>.
14. Decentralizované čištění odpadních vod. *Obec & finance*, 2008, č. 4. ISSN 1211-4189.
15. *Domovní čistírny odpadních vod – přednákupní rozhodování a legislativa*. PLOTĚNÝ, K. – KOLEKTIV FIRMY ASIO, spol. s.r.o. 25 s. Účelová informace firmy ASIO, spol. s.r.o. pro zákazníky a projektanty.

16. EKOSYSTEM s.r.o. *Plastová výroba: Žumpy* [online]. [cit. 2009-02-17].
Dostupné z: <<http://www.ekosystem.cz/docs/13-18.pdf?PHPSESSID=6978d85e0cbf49025dad1de81ba576ba>>.
17. EKOSYSTEM s.r.o. *Zemní filtry typové řady ZF* [online]. [cit. 2009-03-05].
Dostupné z: <<http://www.ekosystem.cz/docs/18-77.pdf?PHPSESSID=91d43ba5eb93f5a3c4900619d55c04cd>>.
18. FIŠEROVÁ, A. *Účinnost odstraňování enterokoků a termotolerantních koliformních bakterií v kořenové čistírně odpadních vod*. České Budějovice, 2007. 62 s., 10 s. příloh. Bakalářská práce na Zdravotně sociální fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Pícek, Ph.D.
19. *General descriptions of common types of onsite sewage systems* [online]. ©1999, [cit. 2009-02-25]. Dostupné z: <http://www.wra.org/pdf/government/landuse/Onsite_System_Descriptions.pdf>.
20. HERLE, J. – BAREŠ, P. *Čištění odpadních vod z malých zdrojů znečištění*. 1990. ISBN 80-03-00587-6.
21. HRNČÍŘ, P. Osobní sdělení. EKOS – Žitenice s.r.o. Žitnice, 7.5.2009.
22. HRNČÍŘ, P. Zkušenosti se stavbou a provozem kořenových čistíren odpadních vod. In *Nové poznatky při řešení vegetačních kořenových čistíren. Sborník přednášek ze semináře*. Brno: Kabinet životního prostředí při Ústavu vodního hospodářství krajiny. FAST VUT Brno. Česká stavební společnost FAST VUT Brno. Odborná skupina ICIDu Malé vodní nádrže a mokřady, 1998. s. 40-44.

23. HYDROCLAR s.r.o. *Ceníky* [online]. [cit. 2009-03-05]. Dostupné z: <<http://www.hydroclar.cz/ceniky.htm>>.
24. *Jak funguje mechanická čistička odpadních vod* [online]. 11.6.2007, [cit. 2009-03-05]. Dostupné z: <<http://www.cisticka.info/?p=44>>.
25. *Jak je to s vypouštěním odpadních vod z domácností a jejich povolením?* [online]. [cit. 2009-02-17]. Dostupné z: <http://www.hodkovicenm.cz/mu/dokumenty/formulare_hosp/Studny2007/clane k_MZP__vypousteni.pdf>.
26. JUST, T. – FUCHS, P. – PÍSAŘOVÁ, M. *Odpadní vody v malých obcích*. První vydání. 1999. ISBN 80-85900-31-9.
27. KADLÍKOVÁ, L. Kořenová čistička (KČOV) nebo mechanická domovní čistička odpadních vod (DČOV)? *Příroda.cz* [online]. 26.6.2007. [cit. 2009-03-05]. Dostupné z: <<http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=931>>. ISSN 1801-2787.
28. KADLÍKOVÁ, L. Žumpa, septik, domovní čistírna odpadních vod - pro a proti. *Příroda.cz* [online]. 17.5.2007. [cit. 2009-02-17]. Dostupné z: <<http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=901>>. ISSN 1801-2787.
29. KARIM, M.R. et al. The persistence and removal of enteric pathogens in constructed wetlands. *Water Research*, 2004, vol. 38, pp. 1831-1837.
30. KEFFALA, C. – GHRABI, A. Nitrogen and bacterial removal in constructed wetlands treating domestic waste water. *Desalination*, 2005, vol. 185, pp. 383-389.

31. KOCMOUD, Z. *Patogeny přenášené vodou*. Přednáška oboru Ochrana veřejného zdraví na Zdravotně sociální fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.
32. KOČKOVÁ, E. et al. *Obnova venkova: Vegetační kořenové čistírny odpadních vod*. 1994. ISBN 80-7084-104-4.
33. KOLÁŘ, J. Hygienické aspekty návrhu a provozu přírodních způsobů čištění odpadních vod. In *Přírodní způsoby čištění a využití odpadních vod II. Sborník přednášek ze semináře*. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství krajiny. Kabinet životního prostředí, 2001. s. 32-35.
34. KOLEKTIV AUTORŮ. *Hygienický význam životních dějů ve vodách*. První vydání. 1979.
35. *Kořenová čistírna odpadních vod: Nejčastější otázky a odpovědi* [online]. Poslední aktualizace 11.6.2005 [cit. 2007-03-07]. Dostupné z: <<http://hostetin.org/programy.php?id=voda&at=106>>.
36. KOUŘIL, M. *Kořenové čistírny: Alternativní způsob nakládání s odpadními vodami (informační brožura pro obce, soukromníky a zemědělce)*. 2006. ISBN 80-86778-22-3.
37. KRÁL, P. Konzultace k diplomové práci [online]. 17.2.2009 13:54; [cit. 2009-05-10]. Osobní komunikace.
38. *Kruhové žumpy a nádrže Bioreal ZKB a ZKS* [online]. [cit. 2009-02-17]. Dostupné z: <<http://www.bioreal.cz/upload/download/2Zumpy%20-%20Popis.htm>>.

39. KULOVANÁ, M. Jsou sedimenty, kaly z ČOV a vody žump odpady? In *Současnost a výhled legislativy životního prostředí. Sborník XXIII. setkání vodohospodářů v Kutné Hoře*. LÁZŇOVSKÝ, J. První vydání. Kutná hora, 2008. s. 53-60.
40. MICHEK, V. *Mikrobiologické znečištění* [online]. 2000, [cit. 2007-04-05]. Dostupné z: <<http://www.fontanus.cz/?obsah=2e>>.
41. MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. *Vypouštění odpadních vod* [online]. 5.10.2007, poslední revize 8.10.2007 [cit. 2009-03-05]. Dostupné z: <http://mesta.obce.cz/mool-vol/dokumenty2.asp?id_org=9908&id=159404>.
42. MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Jak je to ve skutečnosti s vypouštěním odpadních vod z domácností. *Příroda.cz* [online]. 27.4.2007. [cit. 2009-02-17]. Dostupné z: <<http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=889>>. ISSN 1801-2787.
43. MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových nebo podzemních* [online]. [cit. 2009-03-05]. Dostupné z: <<http://www.mesto-orlova.cz/meu/dokumenty/vypoustenivod.pdf>>.
44. Nařízení vlády č. 229/2007 Sb. 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, v platném znění.
45. OSEM, Y. et al. The effects of plant roots on microbial community structure in aerated wastewater-treatment reactors. *Ecological Engineering*, 2007, vol. 29, pp. 133-142.

46. PEREZ, E. et al. Wastewater treatment technologies. In *Source Book of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean*. International Environmental Technology Centre. Místo vydání: Osaka/Shiga, 1997.
47. PICEK, T. – DUŠEK, J. Odstraňování znečištění v kořenovém poli vegetační čistírny. In *Kořenové čistírny - výstavba a financování. Sborník příspěvků celorepublikového semináře*. České Budějovice, 2003. s. 11-16.
48. PLAST SERVIS KAMENICE s.r.o. *Septiky, žumpy, vodoměrné šachty* [online]. © 2006, [cit. 2009-02-17]. Dostupné z: <<http://www.plastservis.net/septiky.htm>>.
49. PLOTĚNÝ, K. DČOV – návrh vhodného typu biologické ČOV. In *Jaro 2005. Sborník přednášek*. ASIO, spol. s.r.o. 2005. s. 35-36.
50. PLOTĚNÝ, K. Hygienizace odpadních vod. In *Jaro 2005. Sborník přednášek*. ASIO, spol. s.r.o. 2005. s. 71-76.
51. PLOTĚNÝ, K. Od jímky na vyvážení k domovním čistírnám s membránami. *TZB-info* [online]. 25.6.2007. [cit. 2009-02-25]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4202>>. ISSN 1801-4399.
52. PLOTĚNÝ, K. Postup při návrhu domovních a komunálních ČOV. In *Jaro 2008. Sborník*. ASIO, spol. s.r.o. 2008. s. 57-60.
53. PLOTĚNÝ, K. Přehled ČOV používaných v obcích v kategorii do 2000 EO. In *Jaro 2008. Sborník*. ASIO, spol. s.r.o. 2008. s. 41-56.

54. PLOTĚNÝ, K. Vypouštění odpadních vod ze septiků. *TZB-info* [online]. 17.11.2008. [cit. 2009-02-25]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=5216>>. ISSN 1801-4399.
55. *Pozvánka na veřejné zasedání ohledně problematiky likvidace odpadních vod v obci* [online]. [cit. 2009-03-05]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/bratkovice/doc/OZ_POZVANKA%20VEREJNE_070525.pdf>.
56. ROUSSEAU, D.P.L. et al. Constructed wetlands for water reclamation. *Desalination*, 2008, vol. 218, pp. 181-189.
57. ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, J. Biofiltr. *Encyklopedie hydrobiologie: výkladový slovník* [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2007 [cit. 2008-10-08]. Dostupné z: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=B021>.
58. ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, J. Zemní filtry. *Encyklopedie hydrobiologie: výkladový slovník* [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2007 [cit. 2009-03-05]. Dostupné z: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=Z022>.
59. SINEKO. *K čemu žumpy slouží* [online]. © 2006-2007, [cit. 2009-02-17]. Dostupné z: <<http://www.sineko.cz/?cil=produkty&kategorie=zumpy&pg=k-cemu-zumpa>>.
60. SKÁLA, P. Vegetační čistírny. *Voda a krajina*, 1993, roč. VII., 3. zvláštní vydání, s. 33-34.

61. SKLENÁROVÁ, T. – HLAVÍNEK, P. Decentralizované nakládání s odpadními vodami pro ochranu životního prostředí. *Vodní hospodářství*, 2007, roč. 57, č. 7, Čistírenské listy 3/2007, s. I.-III. ISSN 1211-0760.
62. SLEYTR, K. et al. Investigation of the bacterial removal during the filtration process in constructed wetlands. In *International Symposium on Wetland Pollutant Dynamics and Control: book of abstracts*. Ghent, Belgium, September 4-8, 2005. pp. 157-158.
63. SOJKA, J. *Malé čistírny odpadních vod*. 2. aktualizované vydání. 2004. ISBN 80-86517-80-2.
64. SVOBODA, J. *Kořenová čistírna odpadních vod (KČOV)* [online]. 2002, poslední revize 2006 [cit. 2009-02-26]. Dostupné z: <http://www.ekozahrady.com/korenova_cistirna.htm>.
65. SVOBODA, J. O šedé a černé vodě. *Dům a zahrada*, 2007, č. 3.
66. SÝKORA, P. Dotace na čističky odpadních vod. *EnviWeb* [online]. 2.1.2009. [cit. 2009-02-25]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/?env=_archiv_hdjha&search=dotace+na+%E8isti%E8ky>. ISSN 1803-6686.
67. ŠÁLEK, J. – TLAPÁK, V. *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*. První vydání. 2006. ISBN 80-86769-74-7.
68. ŠÁLEK, J. – ŽÁKOVÁ, Z. – HRNČÍŘ, P. *Přírodní čištění a využívání vody v rodinných domech a rekreačních objektech*. První vydání. 2008. ISBN 978-80-7366-125-0.

69. ŠEBKOVÁ, K. *Kořenové čistírny odpadních vod* [online]. [cit. 2009-04-10]. Dostupné z: <http://spolek.shenan.cz/create_file.php?id=52>.
70. ŠEBKOVÁ, K. *Přírodní způsoby čištění odpadních vod* [online]. [cit. 2009-02-17]. Dostupné z: <www.spolek-moravskykras.cz/create_file.php?id=369&lang=1>.
71. TOMÍČKOVÁ, V. *Septiky a žumpy* [online]. 26.12.2006, [cit. 2009-02-25]. Dostupné z: <http://www.nm-bydleni.cz/clanek.php?id_clanky=695>.
72. TOPOL, J. Systémy decentralizovaného čištění odpadních vod domovními čistírnami TOPAS a komunálními čistírnami MONOBLOK-T a FLEXIDIBLOK. *TZB-info* [online]. 2.5.2005. [cit. 2009-02-18]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2492>>. ISSN 1801-4399.
73. TOPOLWATER, s.r.o. *Terminologický slovník* [online]. © 2006, [cit. 2009-02-17]. Dostupné z: <<http://www.topolwater.com/cov-slovník.htm>>.
74. TSCHERRIG, P. *Prírodné čistiare: Čistenie odpadových vôd*. 2006.
75. VAŠENDA, J. Biologické zemní filtrace nové generace. *Abeceda bydlení*. ISSN 1213-7731.
76. VELIKOVSKÝ, Z. et al. *Vybraná témata z hygieny životního prostředí*. První vydání. 2007. ISBN 978-80-7040-945-9.
77. *Voda a krajina: Přírodní způsoby čištění odpadních vod, Kořenová čistírna odpadních vod v Hostětíně* [online]. [cit. 2009-02-17]. Dostupné z: <http://www.veronica.cz/dokumenty/voda_a_krajina.pdf>.

78. VYMAZAL, J. *Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách*. 1995.
79. VYMAZAL, J. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment: A Review. *Ecological Engineering*, 2005, vol. 25, pp. 478-490.
80. VYMAZAL, J. Informace na diplomovou práci [online]. 14.2.2009 9:30; [cit. 2009-05-04]. Osobní komunikace.
81. VYMAZAL, J. *Kořenové čistírny odpadních vod*. 2004.
82. VYMAZAL, J. Kořenové čistírny odpadních vod: současný stav v České republice. In *Kořenové čistírny - výstavba a financování. Sborník příspěvků celorepublikového semináře*. České Budějovice, 2003. s. 7-10.
83. VYMAZAL, J. Kořenové čistírny v zahraničí – současný stav. In *Kořenové čistírny a další vegetační systémy zlepšující kvalitu vod. Sborník přednášek ze semináře*. ČÍŽKOVÁ, H. – FLEK, S. – HUSÁK, Š. Třeboň: Botanický ústav AV ČR-úsek ekologie rostlin a ENVI, s.r.o., 1994. s. 72-80.
84. VYMAZAL, J. Nové trendy v použití umělých mokřadů při čištění odpadních vod. In *Přírodní způsoby čištění a využití odpadních vod II. Sborník přednášek ze semináře*. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství krajiny. Kabinet životního prostředí, 2001. s. 77-82.
85. VYMAZAL, J. Osobní sdělení. Přírodovědecká fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, 12.3.2009.

86. VYMAZAL, J. Podklady pro diplomovou práci [online]. 10.4.2009 13:07; [cit. 2009-04-10]. Osobní komunikace.
87. VYMAZAL, J. Removal of Enteric Bacteria in Constructed Treatment Wetlands with Emergent Macrophytes: A Review. *Journal of Environmental Science and Health*, 2005, vol. 40, pp. 1355-1367. ISSN 1093-4529.
88. VYMAZAL, J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, 2007, vol. 380, pp. 48-65.
89. VYMAZAL, J. Současný stav ve využívání vegetačních kořenových čistíren ve světě a směry dalšího vývoje. In *Nové poznatky při řešení vegetačních kořenových čistíren. Sborník přednášek ze semináře*. Brno: Kabinet životního prostředí při Ústavu vodního hospodářství krajiny. FAST VUT Brno. Česká stavební společnost FAST VUT Brno. Odborná skupina ICIDu Malé vodní nádrže a mokřady, 1998. s. 115-118.
90. VYMAZAL, J. – KRÖPFELOVÁ, L. Kořenové čistírny odpadních vod v České republice, jejich využití pro různé typy splaškových vod. In *Monitoring těžkých kovů a vybraných rizikových prvků při čištění odpadních vod v umělých mokřadech (GAČR 206/06/0058). Sborník přednášek z mezinárodního semináře*. První vydání. Třeboň, 2008. s. 28-35.
91. *Využití umělých mokřadů - kořenové čistírny odpadních vod* [online]. [cit. 2007-03-07]. Dostupné z: <http://www.enki.cz/ENKI_cesky/mokrady/mokr.htm>.
92. ZEMANOVÁ M. Konzultace k diplomové práci [online]. 19.4.2009 20:05; [cit. 2009-05-10]. Osobní komunikace.

93. ŽÁČKOVÁ, V. Povolování staveb kořenových čistíren odpadních vod a s tím související povolení vypouštění odpadních vod. In *Kořenové čistírny - výstavba a financování. Sborník příspěvků celorepublikového semináře*. České Budějovice, 2003. s.39.
94. ŽÁKOVÁ, Z. Konzultace k diplomové práci [online]. 14.4.2009 13:42; [cit. 2009-05-04]. Osobní komunikace.
95. ŽÁKOVÁ, Z. *Přednosti a nevýhody přírodních čistíren odpadních vod (dle dosavadních zkušeností v ČR i ve světě)* [online]. [cit. 2009-02-18]. Dostupné z: <<http://www.aga-studio.com/biotes/prednosti-nevyhody.php>>.
96. ŽÁKOVÁ, Z. Vegetační způsoby čištění odpadních vod malých producentů. In *Nové poznatky při řešení vegetačních kořenových čistíren. Sborník přednášek ze semináře*. Brno: Kabinet životního prostředí při Ústavu vodního hospodářství krajiny. FAST VUT Brno. Česká stavební společnost FAST VUT Brno. Odborná skupina ICIDu Malé vodní nádrže a mokřady, 1998. s. 119-123.
97. ŽÁKOVÁ, Z. – ŽÁK, P. Některé zkušenosti z provozu malých přírodních čistíren odpadních vod. In *Přírodní způsoby čištění vod IV. Sborník přednášek ze semináře*. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství krajiny. Kabinet životního prostředí, 2005. s. 103-105.
98. ŽÁKOVÁ, Z. – ŽÁK, P. Přírodní čištění odpadních vod II.: Postavme si čistírnu. *Chatař & chalupář*, 2003, č. 7, s. 16-17. ISSN 1211-5754.
99. ŽÁKOVÁ, Z. – ŽÁK, P. Přírodní čištění odpadních vod III.: Čistírny skutečně fungují. *Chatař & chalupář*, 2003, č. 8, s. 18-19. ISSN 1211-5754.

100.ŽÁKOVÁ, Z. – ŽÁK, P. *Přírodní způsoby čištění odpadních vod* [online]. [cit. 2009-02-17]. Dostupné z: <http://hostetin.veronica.cz/dokumenty/voda/prezentace_Zakovi.pdf>.

8. Klíčová slova

Kořenové čistírny odpadních vod

Domovní čistírny odpadních vod

Čištění odpadní vody

Postup při výstavbě domovní čistírny odpadních vod

9. Přílohy

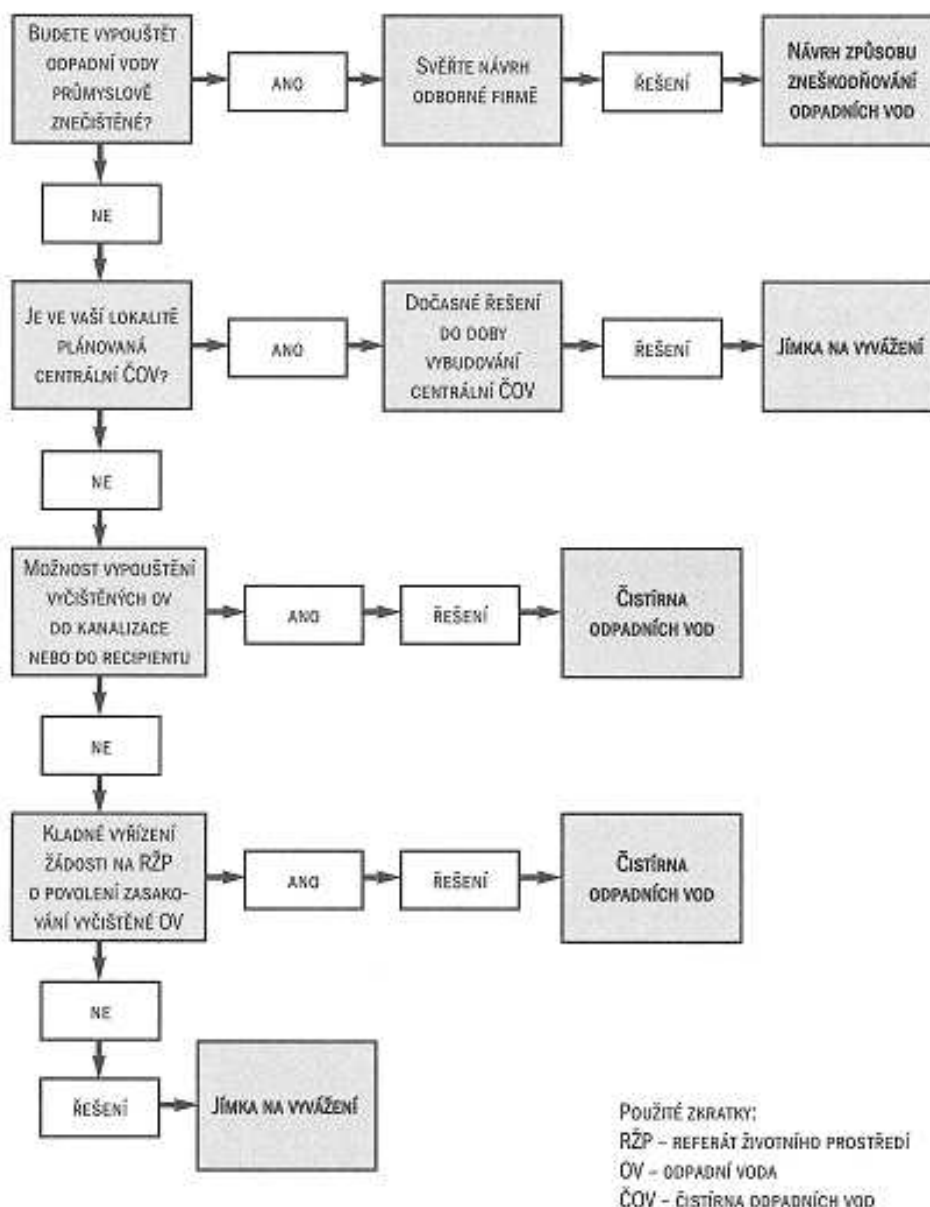
Příloha 1: Algoritmus prověření místních podmínek

Příloha 2: Fotografie fungujících KČOV v ČR

Příloha 3: Fotografie fungujících KČOV v zahraničí

Příloha 1: Algoritmus prověření místních podmínek (63)

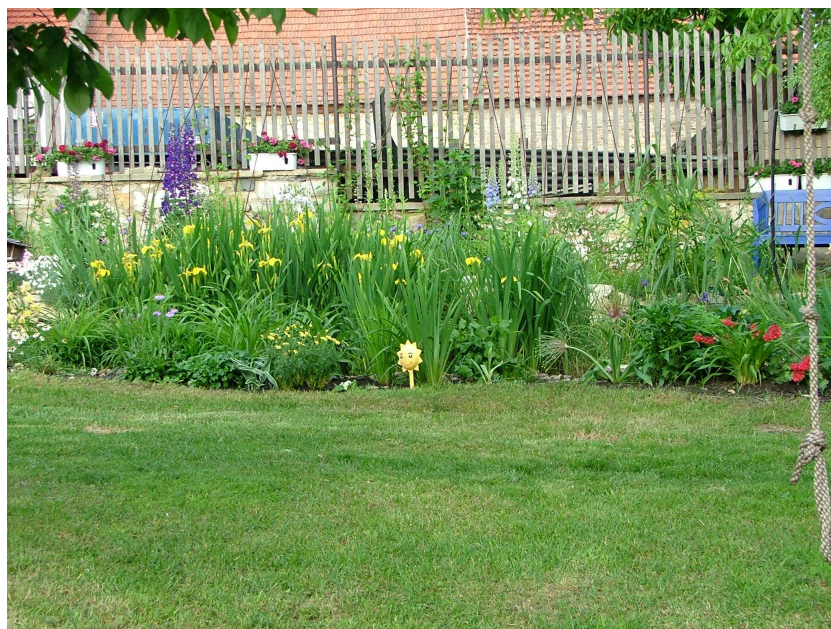
ZPŮSOBY ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD ZE ZDROJŮ 1-50 EO



Příloha 2: Fotografie fungujících KČOV v ČR



Fotografie 1: Přírodní čistírna odpadních vod u rodinného domu v Kostelci nad Černými lesy (4 EO, 350 m n. m., v provozu od roku 1996, osázená rákosem, stav po pětiletém provozu) (68, 80)



Fotografie 2: Přírodní čistírna odpadních vod pro firmu a rodinný dům v Žitenicích (4-8 EO, v provozu od roku 1993, osázená různými rostlinami, stav po jedenáctiletém provozu) (68, 80)



Fotografie 3: Nově osázená domovní kořenová čistírna odpadních vod v Kyjově u Havlíčkova Brodu pro 4 osoby (25m²) (100)



Fotografie 4: Přírodní čistírna odpadních vod v Bohuslavi u Hrubé Skály pro 4 obyvatele (25m², v provozu od roku 1996, stav po devítiletém provozu) (100)

Příloha 3: Fotografie fungujících KČOV v zahraničí



Fotografie 5: Přírodní čistírna odpadních vod pro rodinný dům v Lustinu v Belgii (6 EO, v provozu od roku 2002, plocha vegetačních záhonů včetně dřevin je 40m²) (100)



Fotografie 6: Přírodní čistírna odpadních vod u školního kampusu v Björkö ve Švédsku (septik, kořenové pole s podpovrchovým horizontálním průtokem, dočišťovací rybníček) (100)



Fotografie 7: Přírodní čistička pro zemědělskou farmu v Rakousku v nadmořské výšce 1633 m (pro 8 EO, osázeno rákosem, 40m²) **(100)**



Fotografie 8: Přírodní čistírna pro zámek Modave v Belgii s ekologickým centrem a muzeem (100 EO) **(100)**