

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



**Odstraňování organických a nerozpuštěných látek
v kořenových čistírnách odpadních vod**

**Removal of organics and suspended solids in
constructed wetlands**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Diplomant: Bc. Jana Vopičková

2013

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra ekologie krajiny

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Vopičková Jana

Regionální environmentální správa - kombinované Praha

Název práce

Odstraňování organických a nerozpuštěných látek v kořenových čistírnách odpadních vod

Anglický název

Removal of organics and suspended solids in constructed wetlands

Cíle práce

1. Charakterizovat kořenové čistírny odpadních vod
2. Popsat složení odpadních vod
3. Shrnout účinnost kořenových čistíren při odstraňování organických a nerozpuštěných látek
4. Uvést konkrétní případy z České republiky

Metodika

Práce je založena na vyhodnocení provozních výsledků, které byly získány v průběhu dvaceti let z kořenových čistíren v České republice.

Harmonogram zpracování

květen - září 2011: rešerše

květen - prosinec 2011: shromažďování dat a jejich vyhodnocení

leden - březen 2012: sepsání práce

Rozsah textové části

60 stran včetně příloh

Klíčová slova

Odpadní voda, organické látky, nerozpuštěné látky, kořenové čistírny

Doporučené zdroje informací

Mlejnská E., Rozkošný M., Baudišová D., Váňa M., Wanner F., Kučera J., 2009. Extenzivní způsoby čištění odpadních vod. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M., Praha.
Šálek, J. a Tlapák, V. 2005. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. ČKAIT Praha, 283 p.
Vymazal, J. 1995. Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách. ENVI Třeboň a Ekologie a využití mokřadů, Praha.
Vymazal, J. 2004. Kořenové čistírny odpadních vod. ENKI, Třeboň.
Vymazal, J., 2009. Kořenové čistírny odpadních vod: 20 let zkušeností v České republice. Vodní hospodářství 59: 113-119.
Vymazal, J. a Kröpfelová, L., 2008. Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow. Springer, Dordrecht, 576 p.

Vedoucí práce

Vymazal Jan, doc. Ing., CSc.


doc. RNDr. Miroslav Martiš, CSc.

Vedoucí katedry




prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma „Odstraňování organických a nerozpustných látek v kořenových čistírnách odpadních vod“ jsem vypracovala samostatně za použití uvedených literárních zdrojů a pramenů, které uvádím níže a po odborných konzultacích s prof. Ing. Vymazalem, CSc.

V Praze

.....
Podpis diplomanta

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala svému vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Janu Vymazalovi, CSc. za cenné rady, pomoc, trpělivost a odborné vedení při zpracování diplomové práce.

V Praze

.....
Podpis diplomanta

Abstrakt

Kořenové čistírny slouží pro čištění odpadních vod. Tato technologie je hojně využívána v zahraničí. U nás se tento přirozený způsob čištění začal používat v roce až 1989.

Předmětem této diplomové práce je vyhodnocení odstranění organických nerozpuštěných látek v kořenových čistírnách odpadních vod. V práci jsem hodnotila účinnost kořenových čistíren a dále je pak popsán současný stav řešené problematiky a zmapování stávajícího stavu v České republice. Poslední kapitola obsahuje porovnání, zhodnocení a návrhy na zlepšení.

Hlavním částí práce je sběr informací pro objektivní vyhodnocení jak provozních výsledků tak i výsledků při odstraňování organických a nerozpuštěných látek z již zmiňovaných kořenových čistíren.

Klíčová slova: Odpadní voda, organické látky, nerozpuštěné látky, kořenové čistírny

Abstract

Constructed wetlands are used in the cleaning of waste waters. While used abundantly in other countries, this natural method of cleaning was not used in the Czech Republic until 1989.

This thesis deals with the evaluation of the removal of organic suspended solids in constructed wetlands used to treat waste water. In this work, I evaluate the effectiveness of constructed wetlands, and go on to describe the current state of addressing these issues and provide a mapping of their present usage in the Czech Republic. The concluding chapter contains comparisons, evaluations, and proposals for improvement.

The main body of this work is a collection of information which will allow for an objective evaluation, not only of operational results, but also of results from the removal of organic suspended solids in the aforementioned constructed wetlands.

Keywords: Waste water, organic material, suspended solids, constructed wetlands

Obsah

1. ÚVOD	9
2. CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	10
3. LITERÁRNÍ REŠERŠE	11
3.1 TYPY UMĚLÝCH MOKŘADŮ	11
3.1.1 <i>Umělé mokřady s plovoucími rostlinami</i>	11
3.1.2 <i>Umělé mokřady s vegetací s plovoucími listy</i>	12
3.1.3 <i>Umělé mokřady s emerzními (vynořenými) rostlinami</i>	12
3.1.4 <i>Umělé mokřady se submerzními (ponořenými) rostlinami</i>	13
3.2. UMĚLÉ MOKŘADY S PODPOVRCHOVÝM PRŮTOKEM	13
3.3 KOŘENOVÉ ČISTÍRNY	16
3.3.1 <i>Princip čištění znečištěné vody</i>	16
3.3.2 <i>Způsob odstraňování znečištěné vody</i>	17
3.3.3 <i>Využití v České republice</i>	19
3.3.4 <i>Využití pro různé typy odpadních vod</i>	20
3.4 SLOŽENÍ ODPADNÍCH VOD	21
3.4.1 <i>Splaškové vody</i>	21
3.4.2 <i>Ostatní odpadní vody</i>	21
3.5 ODSTRAŇOVÁNÍ ORGANICKÝCH A NEROZPUŠTĚNÝCH LÁTEK	23
3.5.1 <i>Aerobní rozklad organických látek</i>	23
3.5.2 <i>Anaerobní rozklad organických látek</i>	23
3.5.3 <i>Nerozpuštěné látky</i>	24
4. METODIKA	28
4.1. KOŘENOVÁ ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD - ZÁSADA	28
4.1.1. <i>Lokalizace</i>	28
4.1.2. <i>Současná KČOV</i>	28
4.1.3. <i>Popis technologie stavby</i>	28
4.2. KOŘENOVÁ ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD – ONDŘEJOV	31
4.2.1. <i>Lokalizace</i>	31
4.2.2. <i>Současná KČOV</i>	31
4.2.3. <i>Popis technologie stavby</i>	31
4.3. KOŘENOVÁ ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD – MACHOVÁ	33

4.3.1. <i>Lokalizace</i>	33
4.3.2. <i>Současná KČOV</i>	33
4.3.3. <i>Popis technologie stavby</i>	33
5. VÝSLEDKY	35
5.1. VYHODNOCENÍ PROVOZNÍCH VÝSLEDKŮ KČOV ZÁSADA	35
5.1.1. <i>Nerozpuštěné látky</i>	35
5.1.2. <i>Organické látky</i>	36
5.2. VYHODNOCENÍ PROVOZNÍCH VÝSLEDKŮ KČOV ONDŘEJOV	38
5.2.1. <i>Nerozpuštěné látky</i>	39
5.2.2. <i>Organické látky</i>	40
5.3. VYHODNOCENÍ PROVOZNÍCH VÝSLEDKŮ KČOV MACHOVÁ.....	43
5.3.1. <i>Nerozpuštěné látky</i>	43
5.3.2. <i>Organické látky</i>	44
6. DISKUZE	47
7. ZÁVĚR	53
8. LITERATURA	54

1. ÚVOD

Kořenové čistírny jsou v podstatě umělé mokřady s výsadbou běžné mokřadní vegetace. Tento alternativní způsob čištění odpadních vod dosahuje při správném využití velmi dobrých výsledků. Ve srovnání s klasickými čistírnami má o mnoho nižší provozní i pořizovací náklady. Výhodou je i bezesporu to, že lze lépe začlenit do okolní krajiny.

Ve světě je čím dál tím více kladen důraz na ekologii a na obnovování přírodních zdrojů. Ani voda nepatří k nevyčerpatelným zdrojům a tak je potřeba se soustředit i na tuto oblast. Bez vody by nebylo života, tvoří největší část všech organismů. V rámci zachování nenarušeného rázu krajiny je vhodné využívat co nejvíce přírodních způsobů čištění odpadních vod.

Využívání přirozených mokřadů má dlouholetou tradici, i když v dřívějších dobách bylo čištění prováděno jinými technologiemi, než nyní u umělých mokřadů. Také volba vhodné vegetace je jednou z hlavních podmínek pro úspěšné využití. Výběr vegetace je důležitý z hlediska produkce biomasy a schopností přijímání a akumulace množství živin (např. N, P) z odpadních vod.

Přestože mnoho míst v České republice splňuje podmínky pro vybudování kořenových čistíren, není tato technologie zatím, tak hojně využívána. Je to způsobeno do značné míry i neinformovaností. Cílem této práce je vyhodnocení provozních výsledků a zhodnocení výsledků při odstraňování organických a nerozpuštěných látek z kořenových čistíren a tím přispět k rozvoji.

2. CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

- Charakterizovat kořenové čistírny odpadních vod;
- Popsat složení odpadních vod;
- Shrnout účinnost kořenových čistíren při odstraňování organických a nerozpuštěných látek;
- Uvést konkrétní případy z České republiky.

3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 Typy umělých mokřadů

Umělé mokřady se dělí podle několika kritérií a to zejména podle druhu použité vegetace a způsobu průtoku odpadních vod. Stavba umělých mokřadů je navržena, tak aby průběh čištění probíhal obdobným způsobem jako v přirozených mokřadech (Vymazal 2004).

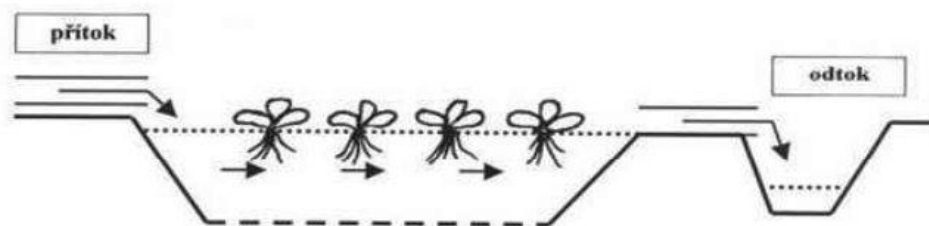
Umělé mokřady jsou definovány jako uměle vytvořený soubor zvodnělého nebo mělce zaplaveného zemního lože, emerzní, submerzní nebo plovoucí vegetací, živočichů a vody, který se přibližuje přirozeným mokřadům pro praktické využití (Hammer, Bastian 1989).

Umělé mokřady lze dělit podle typu použité vegetace na:

- Umělé mokřady s plovoucími rostlinami;
- Umělé mokřady s vegetací s plovoucími listy;
- Umělé mokřady s emerzními (vynořenými) rostlinami;
- Umělé mokřady se submerzními (ponořenými) rostlinami.

3.1.1 Umělé mokřady s plovoucími rostlinami

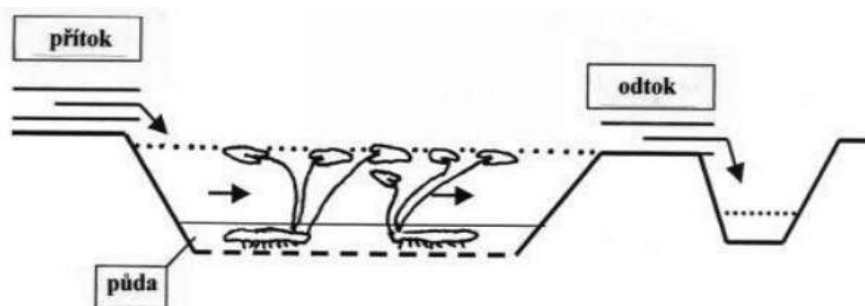
U umělých mokřadů s plovoucí vegetací (obr. č. 1) je využíván především vodní hyacint (*Eichhornia crassipes*) a okřehky (*Lemna spp.*). Vytváří se velké množství biomasy a tím dochází ke schopnosti přijímat a kumulovat velké množství živin, proto bylo koncem 70. a začátkem 80. let 20. století do tohoto typu umělého mokřadu vkládáno velkých nadějí a to zejména pro odstraňování N a P z odpadních vod. Později se, ale ukázalo, že provoz není ekonomický (nutnost pravidelného sklizení biomasy a následné využití biomasy, nutnost intenzivního provzdušňování pro více zatížené systémy) a dále růst rostlin je velmi omezený klimatickými podmínkami. Především vodní hyacint má schopnost celoročního plného růstu pouze v tropických a subtropických oblastech (Vymazal 2004).



Obr. č. 1. Umělý mokřad s volně plovoucí vegetací (Vymazal 2001)

3.1.2 Umělé mokřady s vegetací s plovoucími listy

Využití umělých mokřadů s vegetací s plovoucími listy (obr. č. 2) je využíváno pouze ojediněle a v současné době není mnoho informací o jejich použití, jedná se o lekníny (*Nymphaea spp.*) nebo stulíky (*Nuphar spp.*) (Vymazal 2004).



Obr. č. 2. Umělý mokřad s vegetací s plovoucími listy (Vymazal 2001)

3.1.3 Umělé mokřady s emerzními (vynořenými) rostlinami

Tento typ mokřadů patří mezi největší skupinu umělých mokřadů. Na začátku 50. let 20. století, byly v Německu prováděny první pokusy tohoto čištění odpadních vod, přesto do provozu byla uvedena tato mokřadní čistírna na počátku 70. let v Nizozemí a v Německu (Kickuth, 1977; Vymazal 2004).

3.1.4 Umělé mokřady se submerzními (ponořenými) rostlinami

Umělé mokřady se submerzními rostlinami jsou po celém světě čím dál tím více využívány. Jejich využití je zejména na dočišťování odpadních vod nebo na odpadní vody s nízkým obsahem organických látek (Vymazal, 1994).

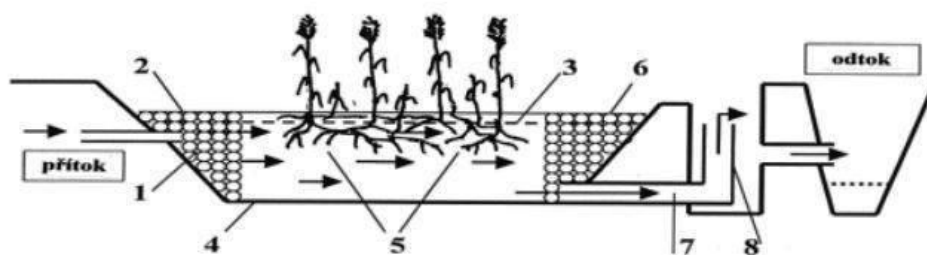
Zcela ponořené rostliny, přijímají živiny zejména systémem kořenů z půdy ve dně a částečně asimilují z vody. Vhodnými rostlinami jsou *Egeria densa*, *Elodea canadensis*, *E. nuttallii*, *Ceratophyllum demersum*, *Hydrilla verticillata* (Vymazal, 1995).

3.2 Umělé mokřady s podpovrchovým průtokem

3.2.1 S podpovrchovým horizontálním průtokem

Principem čištění s podpovrchovým horizontálním průtokem (obr. č. 3) závisí v propustném substrátu a osázením mokřadními rostlinami. Pro zabránění ucpávání a snadnému povrchovému odtoku musí být substrát dostatečně propustný.

Při průniku odpadních vod substrátem dochází k odstranění organických a nerozpustných látek a mikrobiálního znečištění (Kouřil, 2006).



Obr. č. 3. Umělý mokřad s podpovrchovým horizontálním tokem (Vymazal 2001)

3.2.2 S vertikálním podpovrchovým průtokem

Vegetační kořenová čistírna s vertikálním podpovrchovým tokem, je způsob čištění odpadních vod, při kterém dochází k přerušovanému přivádění vody na povrch lože, která je osázena mokřadními rostlinami. Dochází tak k prosakování vody přes vrstvy šterku a písku, kde je sbírána na dně drenážními trubkami a

odváděna ze systému. Způsob tohoto čištění je shodný se zemní filtrací (Vymazal 1995).

U tohoto systému je velmi důležité, přivedení odpadní vody na povrch mokřadu, v době až když se filtr zcela vyprázdí po předcházejícím čerpání, čímž je umožněno difúzi kyslíku do filtračního lože (Cooper 2005).

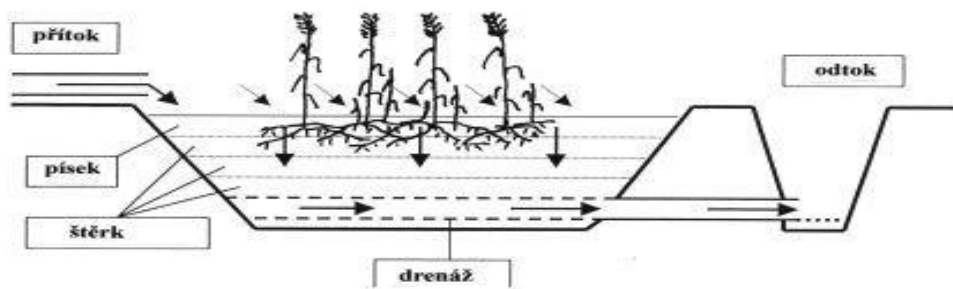
Systému s vertikálním průtokem musí být navržen s několika paralelními loži, která jsou střídavě zaplavována. Při tomto způsobu zaplavování a vysoušení loží dochází ke střídání oxidačních a redukčních podmínek, které jsou vhodné při procesech nitrifikace/denitrifikace a adsorpce fosforu (Hill a Shawney, 1981; Brix, 1993).

Rozlišujeme dva základní typy vegetačních kořenových čistíren s vertikálním prouděním:

- VKČ s prouděním směrem dolů
- VKČ s prouděním vzhůru (Kočková a spol. 1994)

a) Umělý mokřad s podpovrchovým vertikálním tokem směrem dolů:

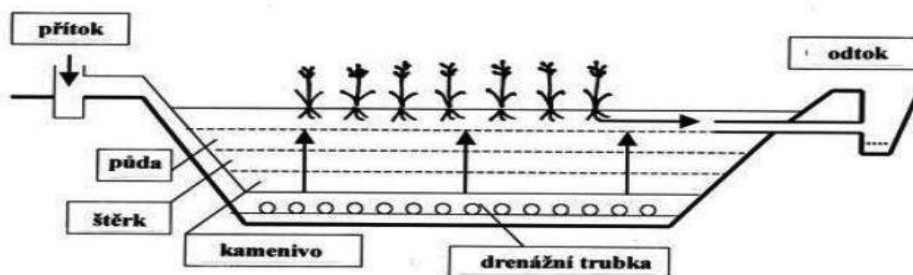
Při tomto systému čištění (obr. č. 4) je odpadní voda čištěna tak, že je přiváděna mělce pod povrch umělého mokřadu. V období zimy, zvláště když dochází k výraznému poklesu teplot pod bod mrazu, je nutno využít rozdělovacího potrubí umístěné v hloubce, kde se zamezí nebezpečí zamrznutí. Odpadní voda se filtruje přes porézní materiál a dále je odváděna sběrným drénem, který je uložený na dně těsněné jímky. Jímky lze utěsnit fólií, jílovým těsněním, případně je možno je umístit do speciálně upravených nádrží. V době extrémních klimatických podmínek v zimním období se vegetační čistírna zaplaví vodou a povrch se nechá zamrznout, poté se odpadní voda přivádí pod led (Šálek a Tlapák 2006).



Obr. č. 4. Umělý mokřad s podpovrchovým vertikálním tokem směrem dolů
(Vymazal 2001)

b) Umělý mokřad s podpovrchovým vertikálním tokem směrem nahoru:

Tento systém čištění (obr. č. 5) funguje na obdobném základu jako čistírna s tokem směrem dolů s tím rozdílem, že odpadní voda je přiváděna téměř na dno vegetační čistírny do rozdělovacího potrubí, nebo pod perforované dno. Filtrace je přes přechodový filtr a dále filtračním prostředím směrem vzhůru a na povrchu přepadá do sběrného žlábků. Při celoročním provozu je odpadní voda odváděna sběrným drénem, který je uložen pod povrchem v dostatečné hloubce, kde nedochází k jejímu zamrznutí. Hloubka se určuje individuálně, je nutné brát na zřetel půdní druh, množství přitékající odpadní vody a její teplota, vegetační kryt. Způsob tohoto uspořádání se zejména využívá u zařízení s letním provozem, u nichž jsou zaznamenány velmi dobré výsledky. Při celoročním využívání jsou důležitá i další opatření na ochranu před zamrznutím např. vhodným tepelně izolačním krytem, zatopením filtru a odváděním čištěné odpadní vody z vrstvy pod ledem. Tyto čistírny se také osvědčily při přerušovaném provozu. V době, kdy čistírna je mimo provoz, je napouštěno do filtračního prostředí dešťová voda, a tímto je zahájení provozu zařízení okamžitě funkční (Šálek a Tlapák, 2006).



Obr. č. 5. Umělý mokřad s podpovrchovým vertikálním tokem směrem nahoru
(Vymazal 2001)

V první polovině šedesátých let byly vyvinuty v Německu horizontální i vertikální systémy a z počátku byly řazeny za sebou. Funkci předčištění zároveň zastávalo vertikální pole (Seidel 1965). Ke zvýšení prokysličení filtračního lože, dochází za pomoci přerušovaného přítoku vody, čímž se vytvoří vhodné podmínky pro nitrifikaci, a zároveň i ke zlepšenému účinku při odstraňování amoniaku. U horizontálního čištění je pole naproti tomu spíše anoxické až anaerobní (tzn. bez kyslíku), což jsou podmínky k denitrifikaci dusičnanů vzniklých při nitrifikaci.

Vertikální pole byla postupně nahrazována klasickým mechanickým předčištěním a v 80. letech se opět začaly využívat vertikální systémy, a to především v důsledku zvýšeného důrazu na odstraňování amoniaku. Nyní se znovu přechází na kombinaci vertikálního a horizontálního systému, případně dalších systémů umělých mokřad. Tyto kombinace systémů jsou v literatuře označovány jako hybridní, nebo kombinované (Vymazal 2004).

3.3 KOŘENOVÉ ČISTÍRNY

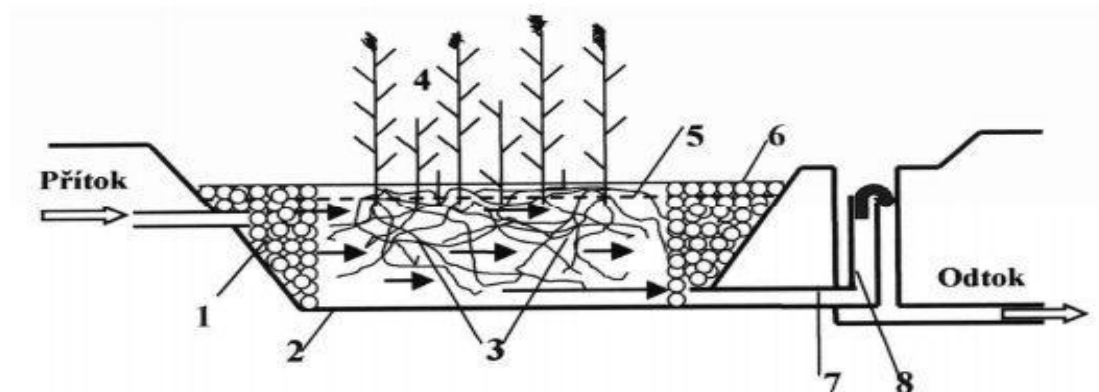
Kořenové čistírny odpadních vod (zkratkou KČOV) jsou zakládány na přirozených schopnostech mokřadních a vodních organismů rozkládat a spotřebovávat látky na stavbu svých těl. Odpadní vody nesmí obsahovat vysoké množství toxických látek, a zároveň jsou přiváděny do uměle vytvořených mokřadů a zbavovány nadměrného množství živin, zákalu a v dalších případech i ropných látek. Pro účinnost čištění je zapotřebí, aby na jednoho obyvatele připadlo několik m² plochy takového mokřadu (Braniš 1997). Specifickou plochu 5 m² pro 1 EO (EO = ekvivalentní obyvatel) uvádějí Hrnčíř a Vácha (1994).

3.3.1 Princip čištění znečištěné vody

Principem způsobu čištění odpadní vody propustným substrátem je horizontální průtok, jenž je osázen mokřadní vegetací. Substrát musí být dostatečně propustný, pro zamezení ucpávání (tzv. kolmataci) a následnému povrchovému odtoku, musí být substrát dostatečně propustný. Voda, která je mechanicky přečištěná se rovnoměrně rozděluje po celé šířce filtračního pole, poté protéká půdním filtrem a je odváděna sběrnou drenáží. Speciálním zařízením se reguluje výška hladiny. K čištění dochází, již při průchodu odpadní vody substrátem, které se

uskutečňuje komplexem fyzikálních, chemických a biologických procesů (Vymazal 2008a; Šálek a Tlapák 2006).

Název „kořenová čistírna“ (obr. č. 6) vznikl z anglického překladu „Root Zone Method“, což byl název, který byl používán v 70. a 80. letech 20. století pro umělé mokřady s podpovrchovým horizontálním průtokem (Končalová a Květ, 1987).



Obr. č. 6. Řez kořenové čistírny (Vymazal 2001)

- 1) distribuční zóna (kamenivo, 50-200 mm),
- 2) nepropustná bariéra (většinou plastová fólie),
- 3) filtrační materiál (kačírek, štěrk, drcené kamenivo, většinou frakce 4-8 mm nebo 8-16 mm),
- 4) mokřadní vegetace,
- 5) výška hladiny vody ve filtračním loži,
- 6) odtoková zóna (kamenivo 150-200 mm),
- 7) sběrná drenáž,
- 8) regulace výšky vodní hladiny

3.3.2 Způsob odstraňování znečištěné vody

Způsob odstraňování znečištěné vody je založen na chemických, fyzikálních a mikrobiálních procesech (tab. č. 1), které probíhají ve filtračním loži. Odstraňování organických látek dochází sedimentací koloidních částic a mikrobiálním rozkladem převážně v anoxických podmínkách. Zbavení se nerozpuštěných látek, dochází filtrací a sedimentací. Odstraňování amoniaku je velmi nízké, jelikož ve filtračním loži není dostatek kyslíku, který je nezbytný pro odstranění amoniaku (aerobní oxidace tzv. nitrifikace). KČOV poskytují, ale velmi dobré podmínky pro redukcí dusičnanů, (tzv. denitrifikaci), která probíhá v anoxických podmínkách v anaerobním procesu. Fosfor se odstraňuje zejména srážením a adsorpcí ve filtračním loži,

poněvadž běžně používané materiály, jakož to štěrky a drcené kamenivo se vyznačují velmi malou sorpční kapacitou, proto je odstraňování fosforu velmi nízké. Vysázení mokřadní vegetace a její význam v kořenových čistírnách spočívá v tom, že jejich kořeny provzdušňují substrát a zároveň umožňují podklad pro růst přisedlých bakterií a zároveň zateplují povrch filtračního lože v zimním období (Vymazal 1995).

Mechanismy	NL	KL	BSK	Dusík	Fosfor	Těžké kovy	Organ. látky	Bakt. a viry
a) Fyzikální procesy								
sedimentace	P	S	V	V	V	V	V	V
filtrace	P	S						
adsorpce		S						
b) Chemické procesy								
srážení					P	P		
adsorpce				V	P	P	S	
rozklad							P	P
c) Biologické procesy								
bakteriální metabolismus			P	P			P	
rostlinný metabolismus		P		P			S	S
příjem a využití min. látek				S	P	P		
rostlinná absorpce					S	S	S	

Tab. č. 1. Procesy čištění vody ve vegetačních kořenových čistírnách

NL - nerozpuštěné látky, KL - koloidní látky;

Mechanismy odbourání: P- primární, S- sekundární, V- vedlejší (Vymazal 1995).

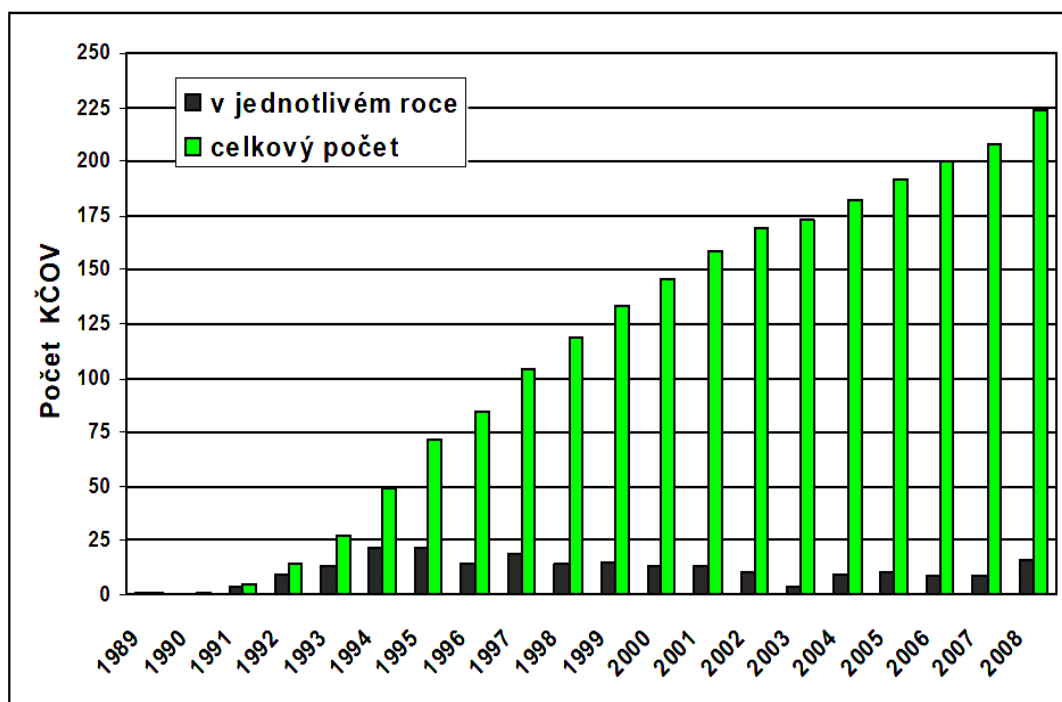
3.3.3 Využití v České republice

Kořenové čistírny a jejich využití v České republice se datuje od roku 1989 (obr. č. 7), kdy byla vybudována první experimentální KČOV (Vymazal 1998; Vymazal, Firman 1990), a během dalších let, byla vodohospodářská veřejnost v určitých rozpacích přijmout tyto KČOV a to proto, že nebyly na seznamu tzv. doporučených způsobů čištění odpadních vod pro malé zdroje znečištění, ale co došlo ke zrušení tohoto seznamu a obce získaly finanční nezávislost. V letech 1992 a 1993 bylo uvedeno do provozu 22 kořenových čistíren odpadních vod. Kořenové čistírny jsou přijímány jako jedna z možných variant čištění odpadních vod z malých sídel. Do roku 2008 bylo zprovozněno 250 KČOV. Většina z těchto čistíren byla navržena jako malé domovní čistírny (do 10 EO) a pro malé obce 100-500 EO. V těchto obou kategoriích je v provozu cca 75 KČOV. V Osově Bítýšce se nachází největší KČOV pro 1000 EO a v Zásadě po výstavbě třetího kořenového pole pro 850 EO. Ve Spáleném Poříčí jsou v provozu dvě KČOV (se společným odtokem) a po rozšíření v roce 2002 celkem pro 1700 EO (www.envic.cz).

KČOV v České republice jsou navrženy zejména pro čištění splaškových domovních, ale i městských vod. U městských splaškových vod se jedná převážně o odpadní vody z jednotné kanalizace, tj. o vody naředené dešťovým splachem (Vymazal 2009; Vymazal, Kröpfelová 2008).

Při kontrole 62 KČOV, kterou provedla ČIŽP v roce 2000, bylo zjištěno, že nesplňují limity pro vypouštění organických a nerozpuštěných látek pouze 5 KČOV uvádí (Zavadil 2003).

V roce 2009 byly vybudovány KČOV v obci Cep u Třeboně pro 300 EO a v dalších menších obcích do 500 EO, jako jsou Stožice, Číčenice, Břehov, Kořenec, Trutnov, Olší, Lipka, Biskoupky, Petrov, Ondřejov, Krucemburk, Chmelná, Lišný apod. a v dalších obcích jsou ve výstavbě. Domovní KČOV v obcích Bohumileč, Očichovec, Bílce, Býkovice u Benešova, Kváskovice u Strakonic, Bukovinka, Dobeš u Písku a v obci Víška. V obci Jiřetín byla vybudována KČOV u rekreačního areálu a v obci Osinalice na Mělnicku je v provozu KČOV v rámci ekocentra.



Obr. č. 7. Počet kořenových čistíren (KČOV) uvedených do provozu v České republice, od roku 1989. V roce 2008 jsou započítány i KČOV, které jsou ve výstavbě (Vymazal, Rozkošný 2011).

3.3.4 Využití pro různé typy odpadních vod

Do kořenových čistíren byly zpočátku vkládány velké naděje pro dočišťování odpadních vod se zvýšeným důrazem na odstraňování živin (Seidel, 1966). Velmi brzy se ukázalo, že tato myšlenka je nesprávná a zjistilo se, že kořenové čistírny jsou pro takovéto využití nevhodné. Naopak, KČOV se osvědčily výbornou schopností odstraňování organických a nerozpuštěných látek. V 70 a 80. letech 20. století se pro tyto přednosti začaly využívat k čištění městských a domovních splaškových vod z malých zdrojů znečištění (Kadlec a Knight, 2008; Cooper et al., 1996; Vymazal et al., 1998). Kořenové čistírny se od konce 80. let 20. století začaly uplatňovat (někdy v kombinaci s jinými typy umělých mokřadů) téměř na všechny druhy odpadních vod včetně průmyslových a zemědělských (tab. č. 2) (Vymazal, 2004a).

Průmysl	potravinářský: (např. zpracování mléka, výroby sýrů, vinařství, pivovary, lihovary); dále: textilní, papírenský, chemický, kožedělný, těžba a zpracování ropy
Zemědělství	kravíny, drůbežárny, vepřiny, rybí farmy, sádky
Splašky	domovní, jednotná i oddílná kanalizace,
Splachové a drenážní	zahradnictví, dálnice, letiště, městské intravilány, parkoviště, zemědělství, uhelné a rudné doly
Průsaky	kompostárny, skládky pevného odpadu.

Tab. č. 2: Druhy odpadních vod, pro jejichž čištění se využívají kořenové čistírny
(zdroj: Vymazal 2009)

3.4 Složení odpadních vod

Složení odpadních vod je nezbytné znát pro další návrh přírodního způsobu čištění. Množství a složení znečištění povrchových vod je zjistitelné pouze přímým průzkumem v dané lokalitě (Šálek, Tlapák 2006).

3.4.1 Splaškové vody

Splaškové (odpadní) vody jsou vody vypouštěné z domácností a z průmyslových podniků, odkud je voda po použití znečištěná. Městské odpadní vody se liší stupněm znečištění a svým složením a to především v závislosti na typu sídla, druhu průmyslu a rovněž stupně naředění srážkovými vodami, které vstupují do systému. Objem a složení odpadní vody ve stejném místě se liší jednotkou času a tzn. v průběhu dne, týdne, ale i let (Dolejš 1996).

3.4.2 Ostatní odpadní vody

Ostatní odpadní vody lze třídit do skupin rozšířeným způsobem třídění druhů znečišťujících látek, jak uvádí Bartusek (2008) podle, kterého se rozlišení uvádí:

1. Odpadní vody, kde převažují organické látky a hnilobné kaly jsou zejména odpadní vodou z domácností, některých zemědělských a potravinářských závodů. Organické látky mají různou rychlost rozkladu, kdy dochází ve vodním ekosystému

ke změnám v kyslíkovém režimu a zároveň i ve skladbě biocenózy, nehledě na postupné zanášení dna sedimentujícími partikulami.

2. Odpadní vody z těžby a úpraven rud jsou vedeny pod názvem minerální kaly. Přísun těchto látek do vodního prostředí je spojen se zvýšením zákalu, změnou světelného klimatu, změnou charakteru dna sedimentací částic. V důsledku přísunu drobných partikul abiosestonu dochází ke změně skladby biocenózy, kdy jsou z potravního řetězce vyloučeni filtrátoři.

3. Toxické a kumulativní látky. Je prokázáno, že u vyšších rostlin dochází k větší citlivosti na obsah kovů ve vodách než např. u vodních mechů či řas. Podobná je i citlivost u korýšů a měkkýšů v porovnání s máloštětinatci *Oligochaeta* či hmyzem *Diptera, Trichoptera*.

4. Radioaktivní odpadní látky, které vznikají z provozu jaderných elektráren, nebo z jaderných pokusů, dále z provozu těžby a zpracování uranových rud. Radiotoxicita byla studována na transuranech a radionuklidech ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^3H , ^{226}Ra , ^{40}K , ^{234}U , ^{235}U a ^{238}U . Dochází k usazování radionuklidů na povrch rostlinných či živočišných těl (urany se akumulují na povrchu pletiv) a některé mají schopnost proniknout do těl současně s potravou či dýcháním. A zároveň byla zjištěna rezistence bakterií na radionuklidy ve vodním prostředí, u kterých byly při expozici shledány minimální změny. Řasy např. přijímají až 70 % ^{137}Cs z vodního prostředí (\times u sedimentů 10 % kontaminantu). Při nízkých dávkách radionuklidů v živých médiích vede ke stimulaci účinků růstu a rozmnožování řas. Při vysoké koncentraci jsou již toxické a působí jako mitotický jed (inhibice buněčného dělení), a zároveň se mohou projevovat karyologickými či teratogenními změnami.

5. Odpadní vody s olejovými látkami a ropnými produkty. S tímto typem odpadních vod je spojené zejména s havarijními situacemi, která vznikají s netěsností či poruchou potrubního vedení, cisteren nebo zásobních tanků. Při úniku těchto látek se vytvoří na vodní hladině film, při kterém dochází k znemožnění výměny plynů a tím k zeslabení biologické účinnosti světla. U organismů v tomto prostředí dochází k nouzovému dýchání, znehybnění a nakonec ke smrti. Rozklad ropných produktů je pomalý z hlediska anaerobního prostředí. Znovu osidlování takto zasaženého

prostředí, probíhá pomalu a zdlouhavě, a také se může projevit toxické působení asanačních prostředků na bázi toxických emulgátorů.

6. Oteplené odpadní vody. V odborné literatuře se označují pod názvem tepelné znečištění, jedná se o razantní teplotní změnu vodního prostředí, neboli „thermal pollution”. Hlavním zdrojem, který oteplení vod způsobuje, jsou chladicí systémy (tepelné elektrárny, hutnictví). Značný rozdíl působení zvýšení teplot ve vodním prostředí je odlišné ve stojatých vodách a v tekoucích (ochlazení je rychlejší). Má to, ale také pozitivní využití a to převážně v rybářství, kdy zvýšením teploty dochází ke stimulaci tvorby rybí biomasy a prodlužuje se vegetační období.

7. Odpadní vody s patogenními organismy a parazity. Tyto odpadní vody pocházejí ze zdravotnictví, nemocnic, ozdravoven, zemědělské výroby a jatek. Voda obsahuje kromě střevní a hnilobné mikroflóry navíc i patogenní a parazitické organismy. Tím je voda zcela nevhodná pro užitkové účely.

3.5 Odstraňování organických a nerozpuštěných látek

3.5.1 Aerobní rozklad organických látek

Aerobní způsob. V tekoucích nebo stojatých vodách, řada kmenů bakterií spouští biochemické odbourávání organických sloučenin, čímž dochází k přirozenému samočisticímu procesu. Principem tohoto čištění, ve vodách s aerobními podmínkami, je jejich oxidace a následně mineralizace. Konečným produktem rozkladu atj. voda a oxid uhličitý (Švehla, Tlustoš, Balík 2004).

3.5.2 Anaerobní rozklad organických látek

Anaerobní rozklad organických látek vzniká nedostatkem nebo nepřítomností rozpuštěného kyslíku, kdy probíhá tzv. pochod anaerobní. Charakter anaerobních mikroorganismů je případně jiná než v případě u pochodů aerobních. Společenstvo, které je tvořeno nižšími organismy, zejména bakteriemi se jedná o anaerobní pochody hnilobné, kde za anaerobních podmínek se při probíhajících biochemických

rozkladech uplatňují redukční procesy za vzniku metanu a oxidu uhličitého. V přírodě probíhá samovolně anaerobní rozklad organické hmoty a to zejména v močálech, a na dnech rybníků apod. Svými konečnými produkty, metanem a CO₂, se účastní atmosférického uhlíkového cyklu. Celý proces vyžaduje součinnost mnoha bakteriálních skupin. Rozklad probíhá v několika stupních s řadou meziproductů. Pro tyto procesy je vhodná teplota 30 až 60 °C, pH 6,5 až 7,5 a není možná vyšší koncentrace toxických látek. Tento cyklus koloběhu živin, kyslíku a biomasy bývá spojen s produkcí závadných nebo alergenních látek některými řasami. Ty mohou ohrožovat vodní živočichy i člověka (Švehla, Tlustoš, Balík 2004).

3.5.3 Nerozpuštěné látky

Jedním z nejzávažnějších druhů, co se týče znečištění odpadních vod, jsou nerozpuštěné látky. Části těchto látek se při vypouštění do vodních toků usazují ve vcelku významné míře a vytváří tak kalové lavice. Bez přístupu kyslíku pak organické látky v kalech začnou postupně vyhnívat a při jejich rozvření dále dochází k náhlému zvýšení spotřeby kyslíku, což může mít za následek kalamitní situaci jako úhyn ryb, živočichů a nastolení hnilobných poměrů vody (Pošta et al., 2005).

Sledované hodnoty

Za pomoci sledování určitých hodnot (ukazatelů) můžeme vyjádřit stav vody ve vodním toku. Mezi hlavní ukazatele splaškových a městských odpadních vod patří:

BSK₅ (biochemická spotřeba kyslíku): ukazatel určuje množství kyslíku nezbytné k celkové oxidaci biochemicky rozložitelných látek obsažených ve vodě, která je předmětem zkoumání. Stanovením BSK₅ lze nepřímo vyjádřit koncentraci organických látek, které podléhají biochemickému rozkladu při aerobních podmínkách (Rozkošný a Machů, 2010). U splaškových vod se předpokládá denní produkce na jednoho obyvatele okolo 60 g BSK₅ /den.

CHSK_{Cr}: tento ukazatel vyjadřuje chemickou spotřebu kyslíku (chemická oxidace). Určuje se tak celková spotřeba kyslíku k oxidaci všech organických látek včetně

těch, jenž nelze odbourat biologickou cestou. Je to tedy hodnota, která stanovuje nepřímo koncentraci všech organických kontaminantů ve vodě (Rozkošný a Machů, 2010).

NL (nerozpuštěné látky): parametr NL zahrnuje všechny látky, které ve vodě jedou nerozpustit. Nerozpuštěné látky jsou v kořenových čistírnách odstraňovány za pomoci filtrace a sedimentace ve filtračním loži nebo jsou zadrženy již v sekci předčištění (Vymazal, 2005).

Účinnost čištění

Pro odstraňování organických a nerozpuštěných látek (tj. parametrů, které jsou limitovány pro malé zdroje znečištění) jsou koncipovány právě kořenové čistírny.

Kategorie ČOV	CHSK _{cr}		BSK ₅		NL		N - NH ₄		Ncelk.		Pcelk.	
	P	m	P	m	p	M	p*	m	p*	m	p*	m
< 500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500 - 2 000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-	-	-
2 001 – 10 000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	3	8
10 000 – 100 000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	30	2	6
> 100 000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3

Tab. č. 3. Emisní limity (zdroj: Nařízení vlády 61/2003 Sb.).

koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l

p – přípustné hodnoty

m - maximální hodnota koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l. Tato hodnota je nepřekročitelná.

p* - uváděné hodnoty jsou aritmetické průměry koncentrací za kalendářní rok

Kořenové čistírny tak vykazují velmi vysokou účinnost při odstraňování organických a nerozpuštěných látek (tab. č. 4), mikrobiálního znečištění a též i těžkých kovů. Za předpokladu, že KČOV jsou navrhovány pro odstraňování zejména organických a nerozpuštěných látek, je odstranění fosforu a dusíku vcelku nízká. Hodnoty se pohybují v rozmezí 40 – 50% pro splaškové vody (tab. č. 5). Jedním z hlavních důvodů nízkého odstranění fosforu je nedostatečná sorpční kapacita využívaných filtračních materiálů, což jsou štěrky, kačířky, drcené kamenivo. Eliminace dusíku je také limitována tím, že kořenové čistírny mají slabou schopnost oxidovat amoniak, který je hlavní formou dusíku ve splaškových odpadních vodách (Vymazal 2004).

	BSK ₅			CHSK _{cr}			NL		
	přítok	Odtok	Účinnost	přítok	Odtok	účinnost	přítok	odtok	Účinnost
Průměr	167	14,8	84,8	381	52	75,4	185	12,2	82,1
Medián	104	9,9	89,4	232	42	80,5	87,3	8,9	88,8
Min	3,6	1		9,2	2,6		5	0,9	
Max	2540	114		5800	238		4230	262	
N	382	382		358	358		374	374	
KČOV	66			63			66		

Tab. č. 4. Vyhodnocení účinnosti odstraňování organických a nerozpuštěných látek v kořenových čistírnách v ČR za období 1989 – 2007 (Vymazal 2009).

Koncentrace v **mg/l**;

účinnost v **%**;

n = počet ročních průměrů;

KČOV = počet kořenových čistíren.

	Pcelk.			Ncelk.			NH ₄ ⁺ -N		
	přítok	odtok	účinnost	přítok	odtok	účinnost	přítok	odtok	Účinnost
Průměr	6,8	3,9	33,5	49,8	25,4	44,9	31,3	18,8	30,4
Medián	5,3	3	36,1	38,8	23,5	47,1	25,9	16,9	34,4
Min	0,4	0,01		8	0,5		1,9	0,1	
Max	34	21,1		158	76,7		153	80	
N	222			81			260		
KČOV	50			22			53		

Tab. č. 5. Vyhodnocení účinnosti odstraňování živin v kořenových čistírnách v ČR za období 1989 – 2007 (Vymazal 2009).

Koncentrace v **mg/l**;

účinnost v **%**;

n = počet ročních průměrů;

KČOV = počet kořenových čistíren.

4. METODIKA

4.1 Kořenová čistírna odpadních vod - Zásada

4.1.1 Lokalizace

Objekt KČOV (obr. č. 8 a 9) se nachází jižně od obce Zásada v okrese Jablonec nad Nisou podél Zásadského potoka. Zásadský potok je levým přítokem Kopaninského potoka, který je zase levým přítokem Žernovníka, který ústí zprava do Jizery v Železném Brodě. Jde o meliorovanou, volnou a zcela otevřenou nivní louku. Je to menší obec s katastrální výměrou 612 ha a má 893 obyvatel (k 1. 1. 2013), (www.risy.cz).

4.1.2 Současná KČOV

Obec Zásada je zásobována téměř na 100% vodou z veřejného vodovodu, ve velké části obce však chybělo centrální zařízení na odvedení a likvidaci odpadních vod. Absence kanalizační sítě zásadním způsobem limitovala další rozvoj obce. Tento důvod přiměl obec ke stavbě čistírny. V Zásadě byla 1. etapa stavby KČOV dokončena v prosinci roku 1994 a do provozu uvedena v dubnu 1995. Tato čistírna vykazovala trvale výborné výsledky, jak v průběhu zkušební, tak i v trvalém provozu. Čistírna měla v provozu dvě pole o rozloze cca 1200 m² a 820 m². Obec Zásada v roce 2004 získala povolení k dostavbě 2. etapy KČOV. Jednalo se o splaškovou kanalizaci včetně veřejných částí o celkové délce cca 5200 m a rozšíření KČOV o třetí vegetační pole o ploše 1480 m². V současné době byly předpoklady dalšího rozvoje obce poněkud redukovány v závislosti na skutečném demografickém vývoji.

4.1.3 Popis technologie stavby

KČOV je vhodně začleněna do krajiny, vypadá téměř jako přirozený mokřadní porost.

Čistírna je tvořena ze tří nádrží s předřazenou štěrbinovou nádrží, izolovaná fólií PVC, s náplní z tříděného říčního štěrku a písku 8 – 20 mm. Tři vegetační pole jsou projektována pro stabilizaci kalů.

Nádrže jsou provozovány jako samostatné čistící jednotky, řešení obtoků umožňuje provozovat KČOV jak v kontinuálním tak i diskontinuálním režimu. Při kontinuálním provozu je odpadní voda rozdělována v rozdělovacích šachtách, které jsou doplněny dvěma trojúhelníkovými Thompsonovými přelivy. Ty rozdělují průtok na dvě části. Hloubka šachty je pouze 1,2 m. Tento způsob není náročný na obsluhu, vykazuje však nižší účinnost čištění.



Obr. č. 8. Pohled na osázení vegetací KČOV Zásada (Foto: Jan Vymazal).



Obr. č. 9. Celkový pohled na KČOV Zásada (Foto: Jan Vymazal).

4.2 Kořenová čistírna odpadních vod – Ondřejov

4.2.1 Lokalizace

Ondřejov je obec v okrese Praha – východ, Středočeský kraj. Rozkládá se přibližně 35 km jihovýchodně od Prahy. Tato menší obec s katastrální výměrou 1816 ha a má 1419 obyvateli (k 1. 1. 2013), (www.risy.cz). Průměrná nadmořská výška je v této oblasti 467 m n. m. V blízkosti pramení potok Vejborka, který se vlévá do řeky Sázavy.

Území se nachází v Česko-moravské soustavě. Oblast charakterizují proterozoické a staropaleozoické metamorfované břidlice, křemence, slepence, krystalické vápence, granodiority až diority a granitoidy středočeského plutonu (Culek et al., 1996).

Terén v blízkosti KČOV je mírně svažité. Ondřejov náleží do mírně teplé oblasti s průměrnou roční teplotou vzduchu 7 °C.

4.2.2 Současná KČOV

Jelikož původní ČOV byla již v nevyhovujícím stavu, bylo nutné ji zrekonstruovat a rozšířit. Rozvoj obce byl právě důvodem ke vzniku této nové KČOV. K rozšíření a rekonstrukci došlo v roce 1990, tak vznikla jedna z nejstarších KČOV v České republice.

4.2.3 Popis technologie stavby

Splašková voda se na kořenovou čistírnu v Ondřejově se přivádí jednotnou kanalizací jak z areálu Astronomického ústavu AV ČR, tak i z části obce Ondřejov. Je složena ze čtyř šachet, obtokového potrubí, česlí, štěrbínového lapáku písku, dvou štěrbínových usazovacích nádrží a kořenového pole. Jednotlivé objekty jsou ve směru toku gravitačně propojeny potrubím. Stavební části byly navrženy tak, aby umožnily snadnou údržbu a obsluhu čistírny. Čištění odpadní vody probíhá dvěma stupni čištění. Jedná se o čištění mechanické a biologické. Odpad vyčištěné vody z areálu čistírny je vyústěn do terénní vodní vlasečnice, která je po cca 1500 m zaústěna do potoku Vejborka.



Obr. č. 10. KČOV Ondřejov (Foto: J. Vopičková).



Obr. č. 11. Celkový pohled na KČOV Ondřejov (Foto: J. Vopičková).

4.3 Kořenová čistírna odpadních vod – Machová

4.3.1 Lokalizace

Obec Machová se rozkládá v teplé klimatické oblasti. Průměrná teplota se nejvíce pohybuje okolo 12°C. Čistírna se nachází v bývalém okrese Zlín v katastrálním území Machová. Jedná se o plochu o rozloze 6 400 m² ohraničenou z východní strany tokem Machovka a ze severní strany nezpevněnou polní cestou.

Jedná se o obec s katastrální výměrou 315 ha a má 589 obyvateli (k 1. 1. 2013), (www.risy.cz).

4.3.2 Současná KČOV

KČOV (obr. č 13) v obci Machová se začala realizovat již v roce 1999. Byla to první kořenová čistírna ve Zlínském kraji. Zkušební provoz byl zahájen v říjnu 2001. Projektovaná kapacita této čistírny je 600 EO. Jejím provozovatelem je obec Machová. Kanalizační přivaděč je veden podél toku a nezpevněné polní cesty. V obci je vybudována jednotná kanalizace odvádějící z obce splaškové i dešťové vody.

4.3.3 Popis technologie stavby

Tato čistírna se skládá z částí jako je odlehčovací šachta, štěrbínový lapák písku, štěrbínová a dešťová nádrž, tři kořenové filtrační pole a měrná šachta. Skládá se ze 2 čistících stupňů – mechanického a biologického. Mechanický stupeň čištění zajišťují ručně stírané česle, štěrbínový lapák písku, štěrbínová nádrž a dešťová nádrž. Za lapákem písku je umístěna odlehčovací komora sloužící k oddělení průtoku mezního deště do dešťové nádrže. Vyšší průtok je odlehčován přes boční přeliv do dešťové nádrže. V dalším stupni je odpadní voda přivedena ke kořenové čistírně. Rozdělovací šachty umístěné před filtračními poli umožňují rozdělení průtoku a regulaci zimního a letního provozu polí.



Obr. č. 12. Česle a lapák písku KČOV Machová (Foto: Jan Vymazal).



Obr. č. 13. Vegetace a kořenová pole KČOV Machová (Foto: Jan Vymazal).

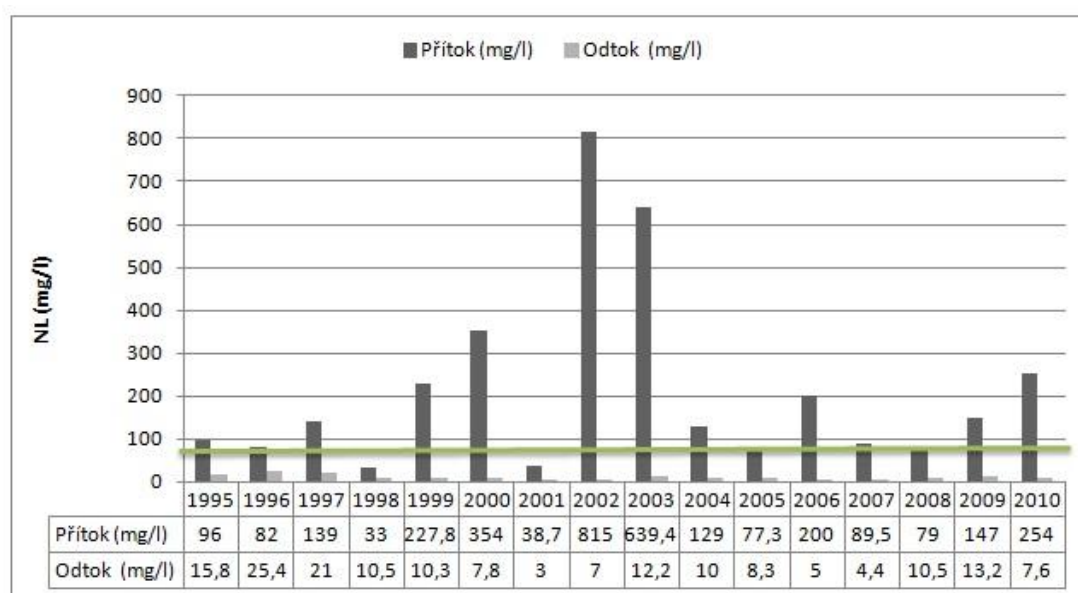
5. VÝSLEDKY

5.1 Vyhodnocení provozních výsledků KČOV Zásada

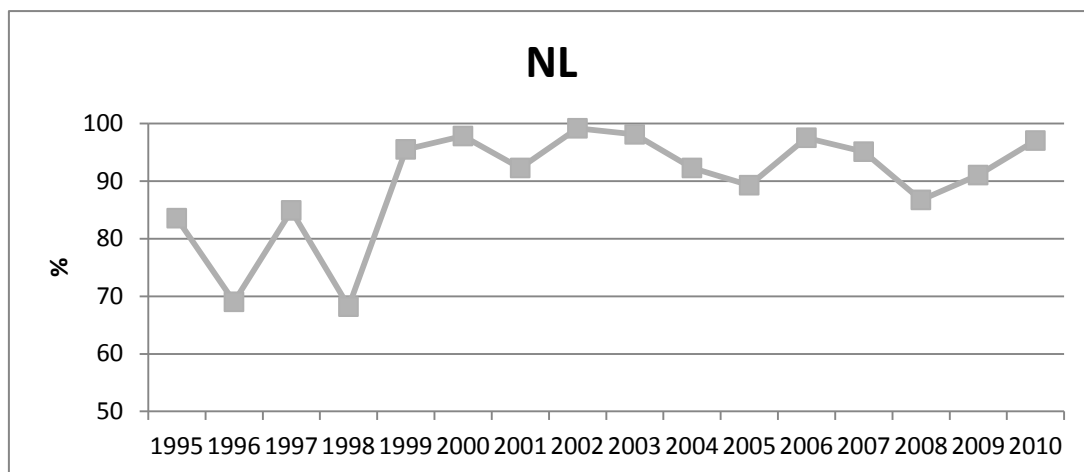
KČOV Zásada u Jablonce nad Nisou dle Nařízení vlády č. 63/2001 Sb. ve znění novely zákona č. 229/2007 Sb. do kategorie čistíren odpadních vod s ekvivalentním počtem obyvatel 500 – 2000, a řídí se tak emisními standarty, tímto zákonem stanovenými. (tab. č. 3).

5.1.1 Nerozpuštěné látky

Nerozpuštěné látky na kořenové čističce odpadních vod Zásada v období mezi roky 1995 - 2010 (Obr. č. 14) byly na přítoku v rozmezí 33 – 815 mg/l. Na odtoku se hodnoty pohybovaly mezi 3 – 25 mg/l. Průměrná hodnota naměřená na přítoku v letech 1995 - 2010 byla 213 mg/l. Průměrná hodnota naměřená na odtoku ve stejném období byla 11 mg/l. Průměrná účinnost (Obr. č. 15) tak činí téměř 90%.



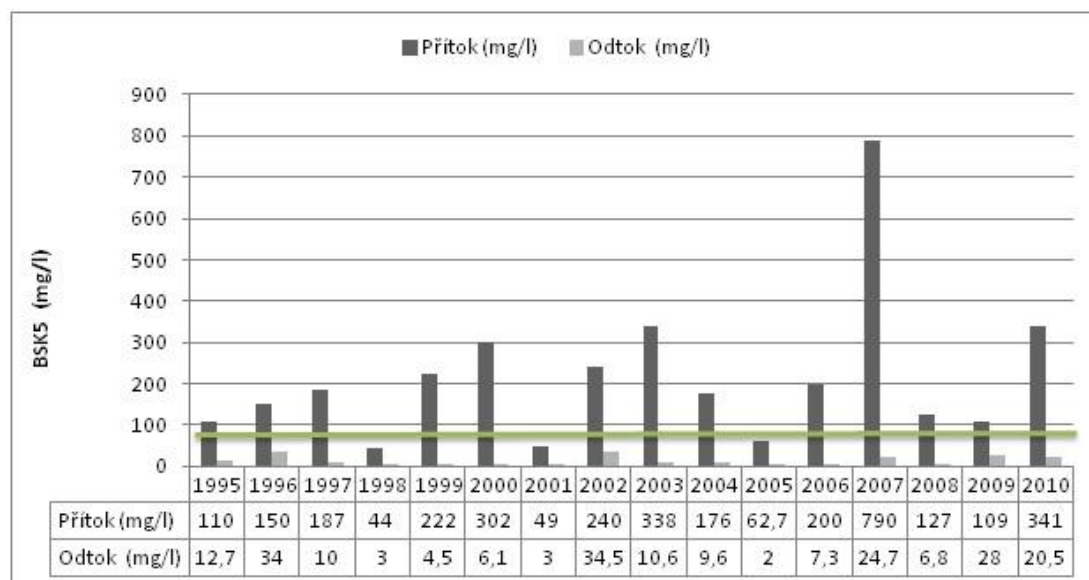
Obr. č. 14. Průměrné koncentrace NL (mg/l) na přítoku a odtoku na KČOV Zásada v období let 1995 – 2009.



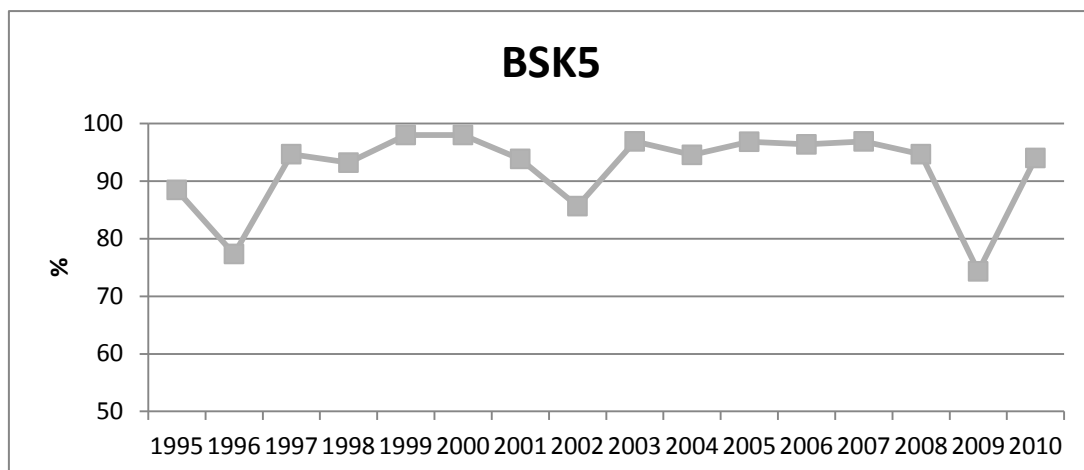
Obr. č. 15. Průměrná účinnost čištění pro NL v (%) na KČOV Zásada v období let 1995 – 2010.

5.1.2 Organické látky

BSK₅ se na přítoku v měřeném období 1995 – 2010 (obr. č. 16) se pohybovalo v rozmezí 44 - 790 mg/l. Na odtoku byly naměřeny hodnoty od 2 - 35 mg/l. Průměrné hodnoty ve sledovaném období byly na přítoku 215 mg/l a na odtoku 14 mg/l. Průměrná účinnost (obr. č. 17) v měřeném období při odbourávání BSK₅ je 92%.

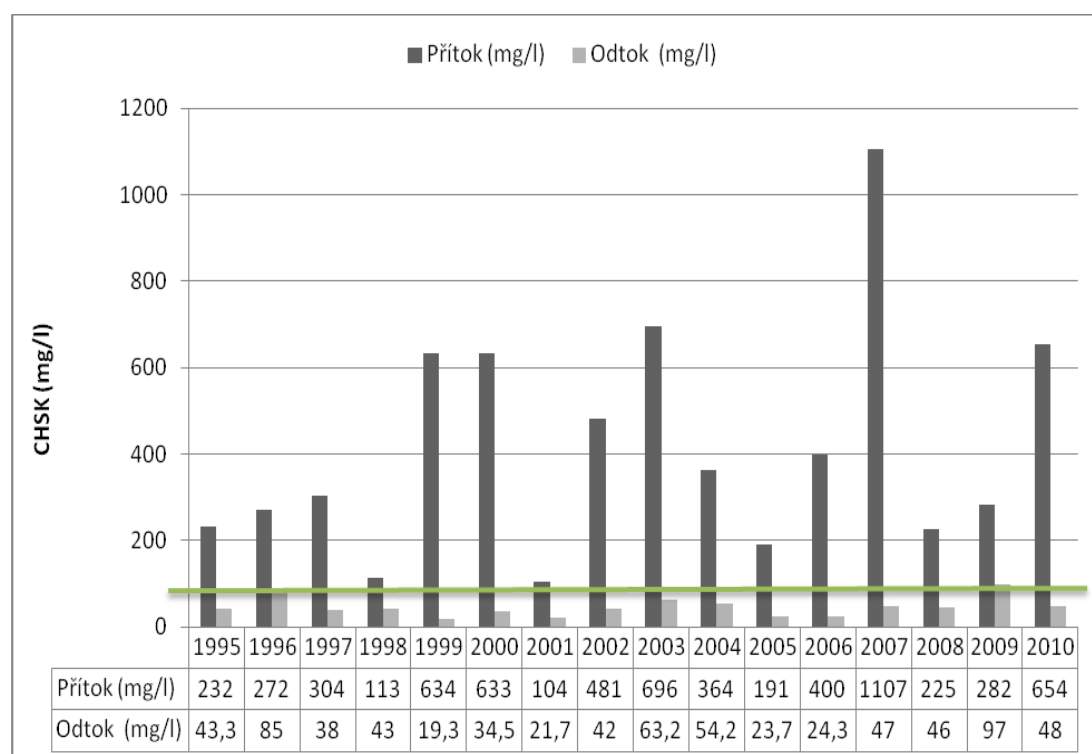


Obr. č.16. Průměrné koncentrace BSK₅ (mg/l) na přítoku a odtoku na KČOV Zásada v období let 1995 - 2010

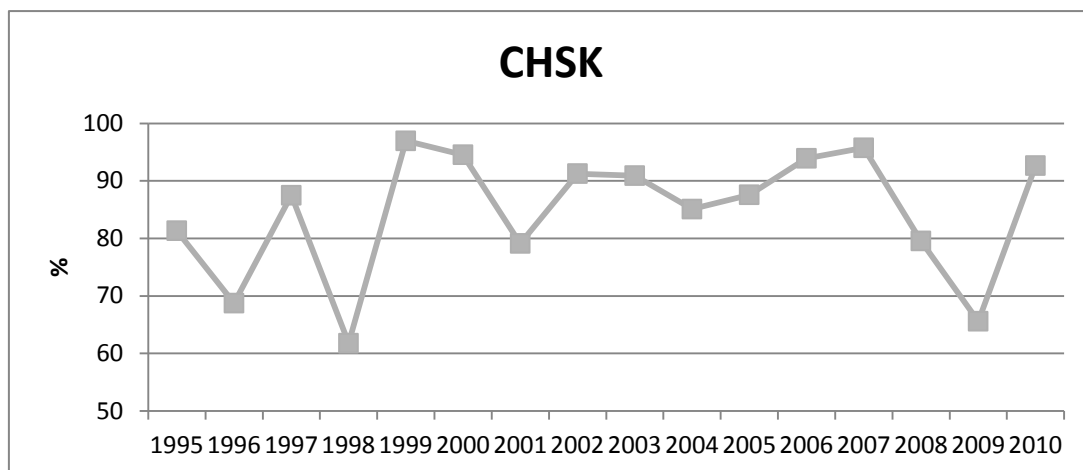


Obr. č. 17. Průměrná účinnost čištění pro BSK₅ v (%) na KČOV Zásada v období let 1995 – 2010.

Hodnoty CHSK na KČOV Zásada byly ve sledovaném období naměřeny (obr. č. 18) na přítoku v rozmezí 104 – 1107 mg/l, na odtoku hodnoty 19 – 97 mg/l. Průměrně tak při přítoku dosahovaly hodnoty 418 mg/l, na odtoku 46 mg/l. Účinnost (obr. č. 19) při odbourávání CHSK činí 84,5%.



Obr. č. 18. Průměrné koncentrace CHSK (mg/l) na přítoku a odtoku na KČOV Zásada v období let 1995 - 2010.

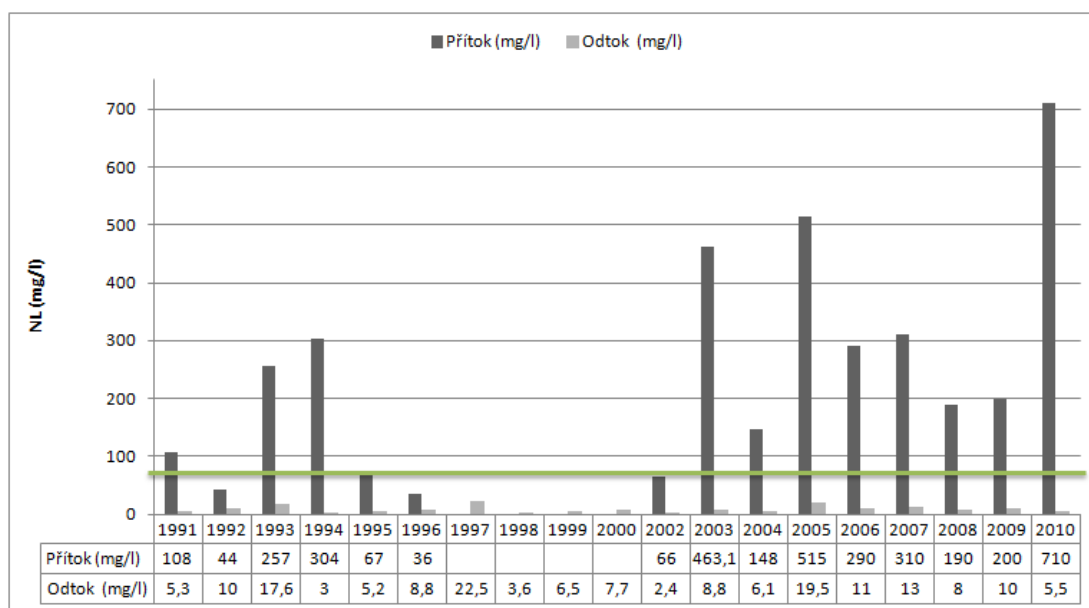


Obr. č. 19. Průměrná účinnost čištění pro CHSK v (%) na KČOV Zásada v období let 1995 – 2010.

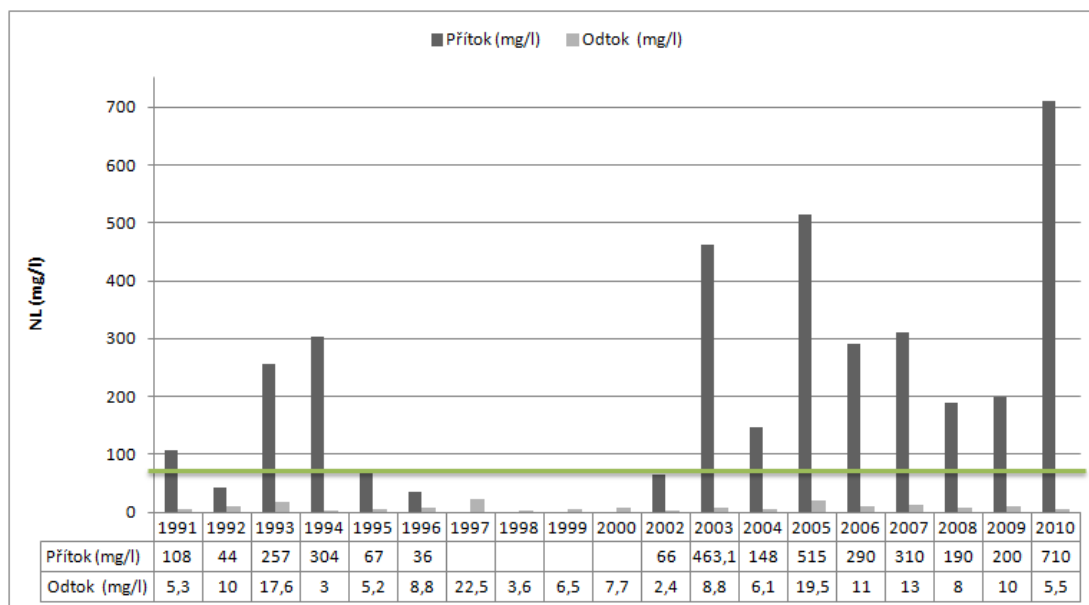
5.2 Vyhodnocení provozních výsledků KČOV Ondřejov

KČOV Ondřejov v okrese Praha - východ, dle Nařízení vlády č. 63/2001 Sb. ve znění novely zákona č. 229/2007 Sb. do kategorie čistíren odpadních vod s ekvivalentním počtem obyvatel 500 – 2000, a řídí se tak emisními standarty, tímto zákonem stanovenými. (tab. č. 3)

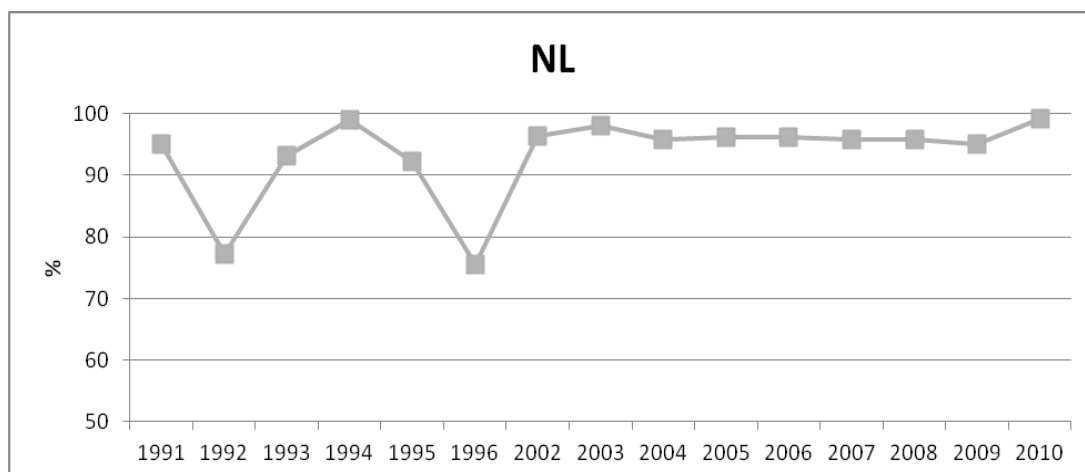
5.2.1 Nerozpuštěné látky



Hodnoty nerozpuštěných látek na kořenové čističce odpadních vod Ondřejov nebyly zaznamenány v období mezi roky 1997 – 2001 (obr. č. 20). V letech 1991 - 1996 byly na přítoku naměřeny hodnoty 36 – 304 mg/l. Mezi roky 1997 - 2010 bylo naměřeno 66 – 710 mg/l. Průměrná hodnota naměřená na přítoku v letech 1991 - 2010 byla 247 mg/l. Průměrná hodnota naměřená na odtoku ve stejném období byla 9 mg/l. Průměrná účinnost (Obr. č. 21) tak činí téměř 93%.



Obr. č. 20. Průměrné koncentrace NL (mg/l) na přítoku a odtoku na KČOV Ondřejov v období let 1991 - 2010.

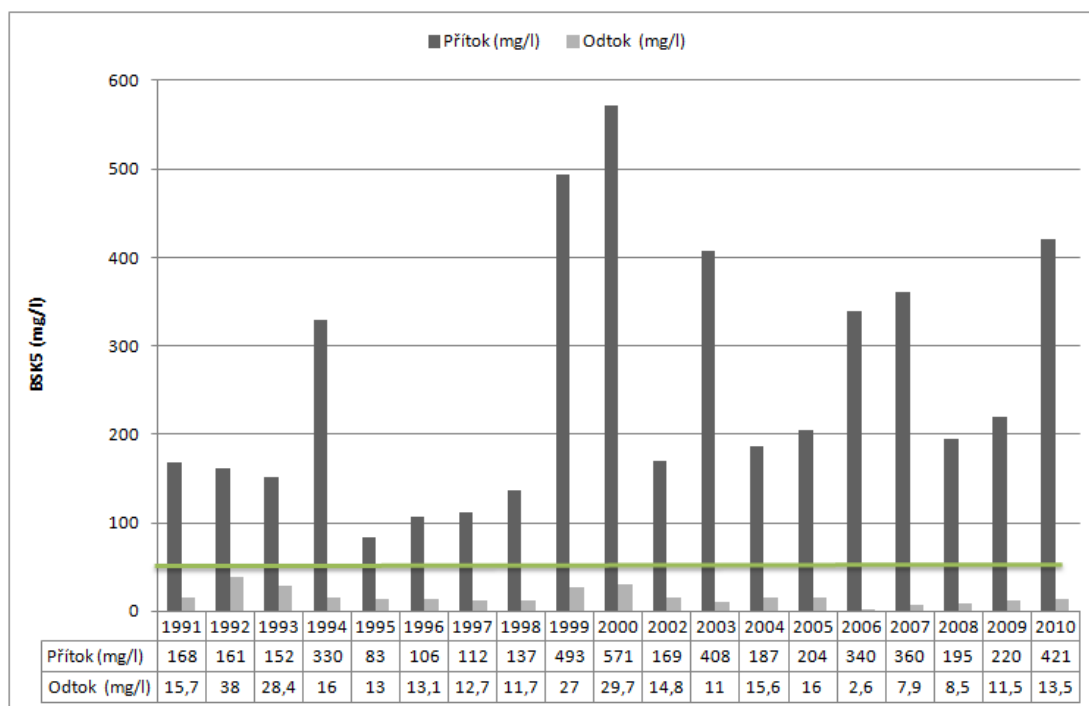


Obr. č. 21. Průměrná účinnost čištění pro NL v (%) na KČOV Ondřejov v období let 1991 – 2010.

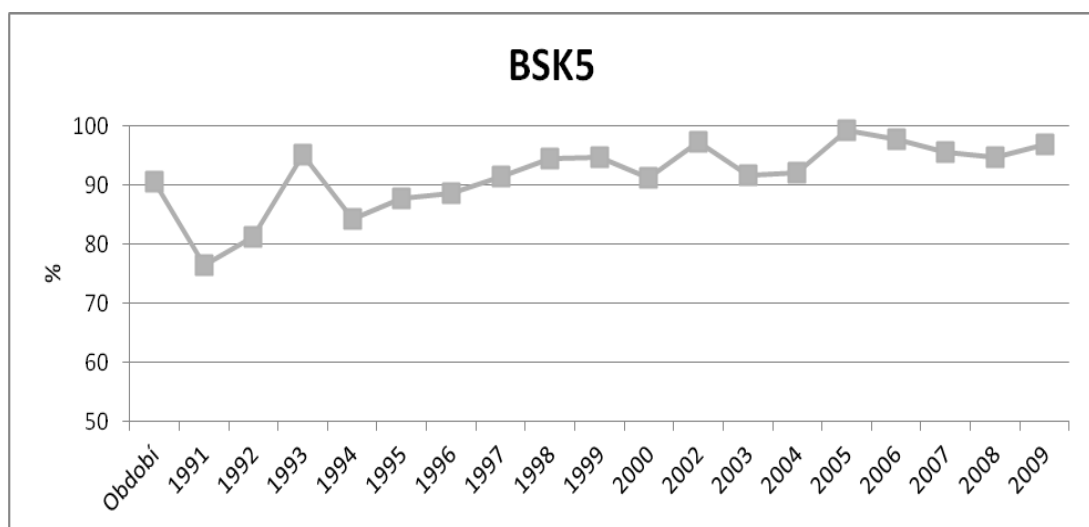
5.2.2. Organické látky

Organické látky měřené pomocí emisních standartů BSK₅ a CHSK na KČOV Ondřejov byly stejně jako nerozpuštěné látky odbourávány s velkou účinností.

Konkrétně BSK₅ se na přítoku v měřeném období 1991 - 2010 pohyboval v rozmezí 83 -571 mg/l. Na odtoku byly naměřeny hodnoty od 3 - 38 mg/l. Jako nejúčinnější se v odbourávání BSK₅ na KČOV Ondřejov stal rok 2006 (Obr. č. 22), kdy účinnost dosáhla 99% (přítok 340 mg/l; odtok 3 mg/l). Průměrná účinnost (Obr. č. 23) v měřeném období 1991 - 2010 při odbourávání BSK₅ je 92%, čímž přesáhla celostátní průměr účinnosti o 7%.



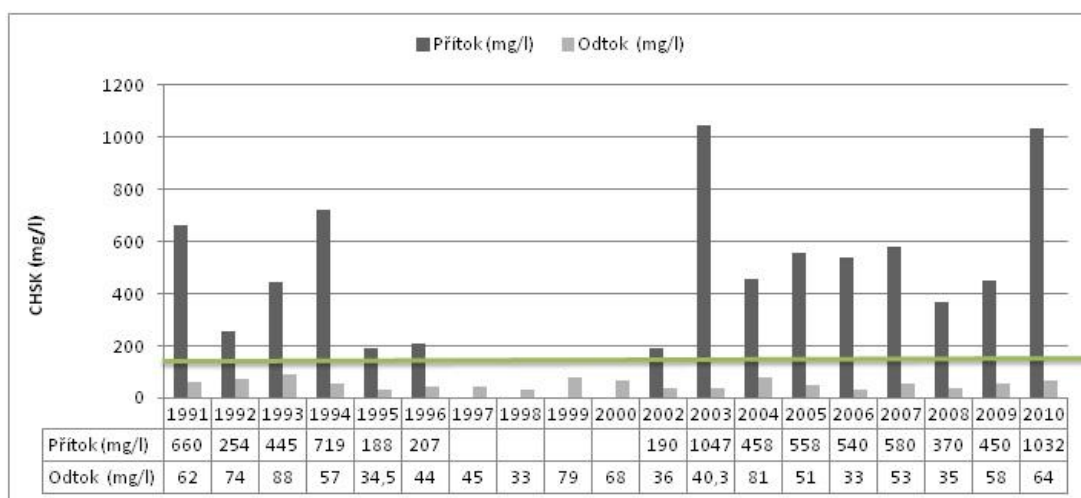
Obr. č. 22. Průměrné koncentrace BSK₅ (mg/l) na přítoku a odtoku na KČOV Ondřejov v období let 1991 - 2010.



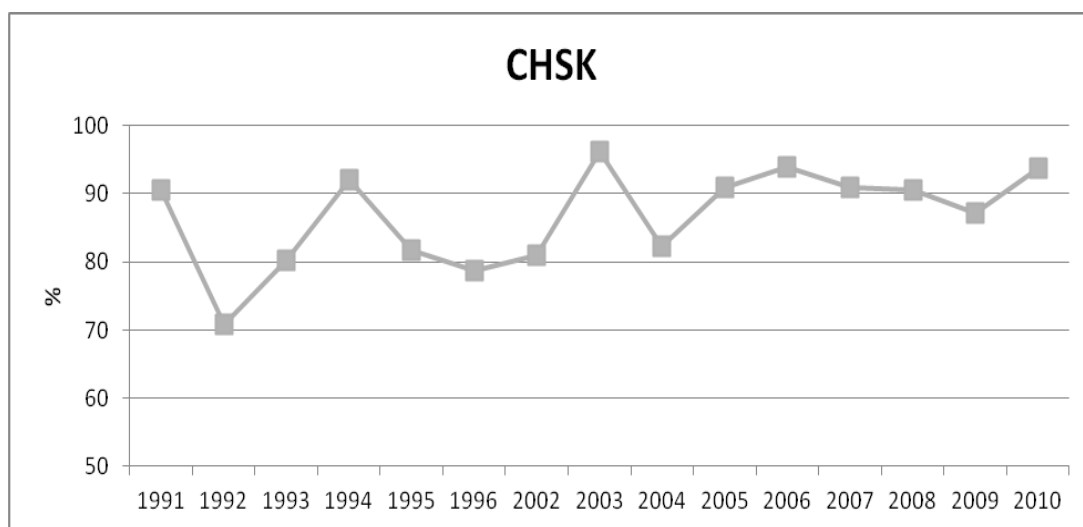
Obr. č. 23. Průměrná účinnost čištění pro BSK₅ v (%) na KČOV Ondřejov v období let 1991 – 2010.

V období mezi lety 1997 - 2001 chybí výsledky měření o přítoku parametru CHSK (obr. č. 24). V letech 1991 - 1996 byli naměřeny hodnoty v rozmezí 188 – 719 mg/l. V letech 2002 - 2010 se hodnoty pohybovaly mezi 190 – 1047 mg/l. Při odtoku byly

v období mezi lety 1991 - 2010 naměřeny hodnoty 33 – 88 mg/l. V celém období je průměrná účinnost 87% (obr. č. 25).



Obr. č. 24. Průměrné koncentrace CHSK (mg/l) na přítoku a odtoku na KČOV Ondřejov v období let 1991 - 2010.



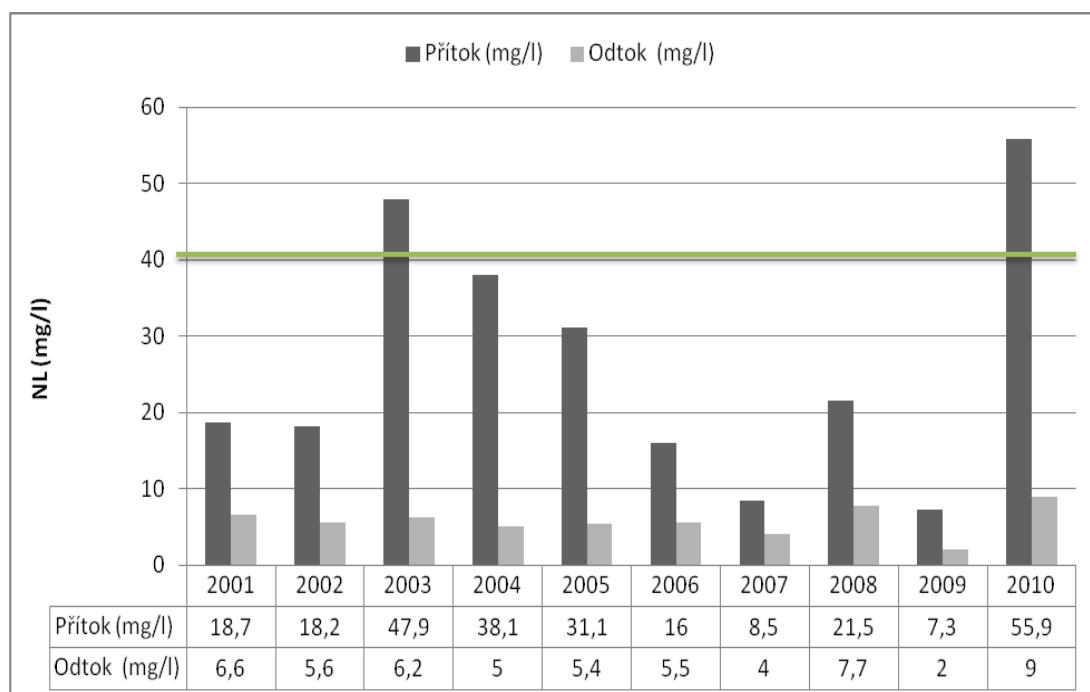
Obr. č. 25. Průměrná účinnost čištění pro CHSK v (%) na KČOV Ondřejov v období let 1991 – 2010.

5.3 Vyhodnocení provozních výsledků KČOV Machová

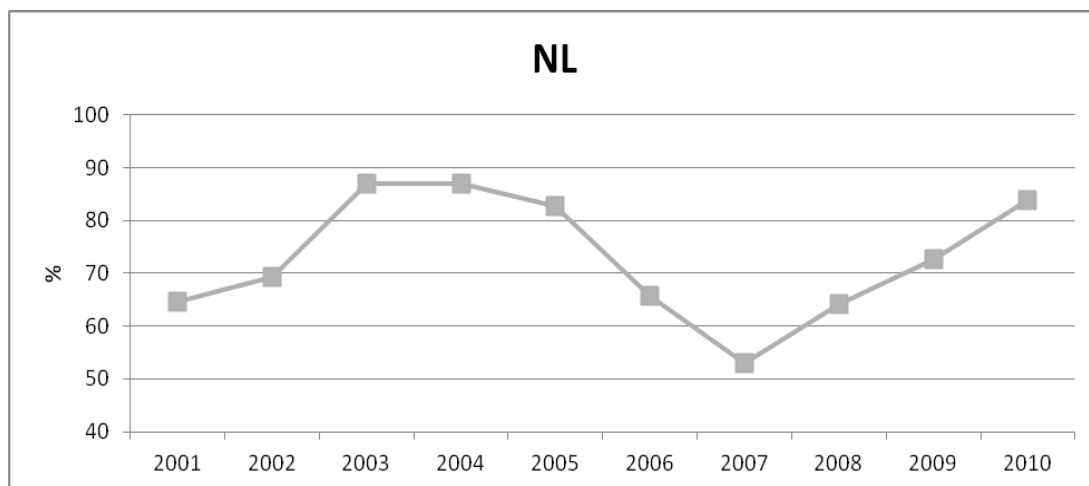
KČOV Machová dle Nařízení vlády č. 63/2001 Sb. ve znění novely zákona č. 229/2007 Sb. do kategorie čistíren odpadních vod s ekvivalentním počtem obyvatel 500 – 2000, a řídí se tak emisními standarty, tímto zákonem stanovenými (tab. č. 3).

5.3.1 Nerozpuštěné látky

Nerozpuštěné látky na kořenové čistírně odpadních vod Machová v období mezi roky 2001 - 2010 (obr. č. 26) byly na přítoku v rozmezí 7 – 56 mg/l. Na odtoku se hodnoty pohybovaly mezi 2 – 9 mg/l. Průměrná hodnota naměřená na přítoku v letech 2001 - 2010 byla 26 mg/l. Průměrná hodnota naměřená na odtoku ve stejném období byla 6 mg/l. Průměrná účinnost (obr. č. 27) tak činná téměř 73%.



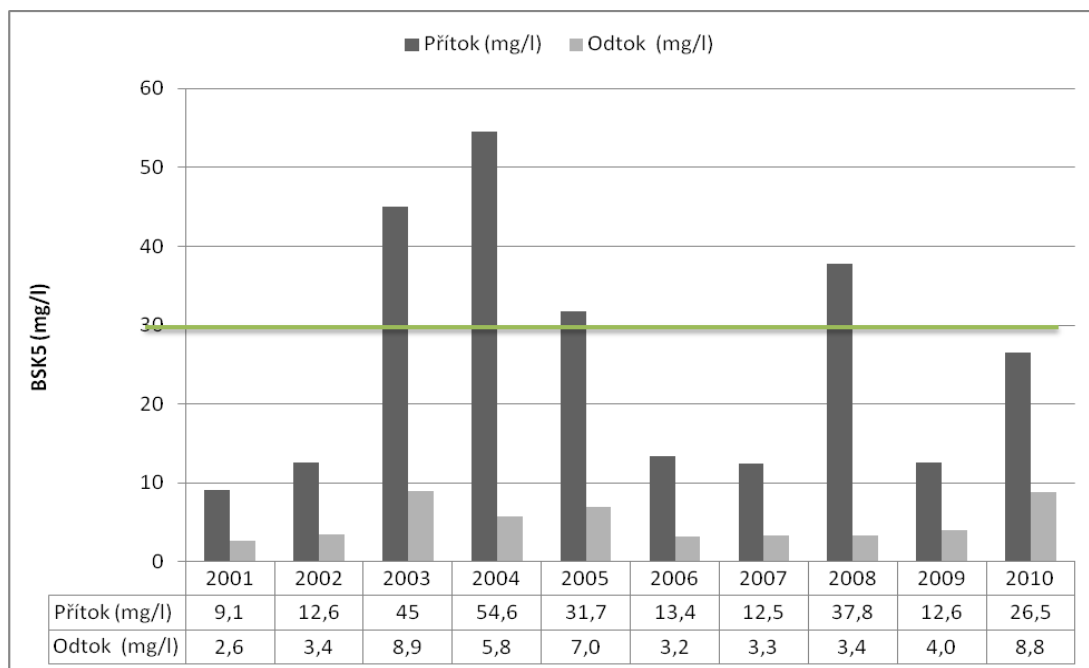
Obr. č. 26. Průměrné koncentrace NL (mg/l) na přítoku a odtoku na KČOV Machová v období let 2001 - 2010.



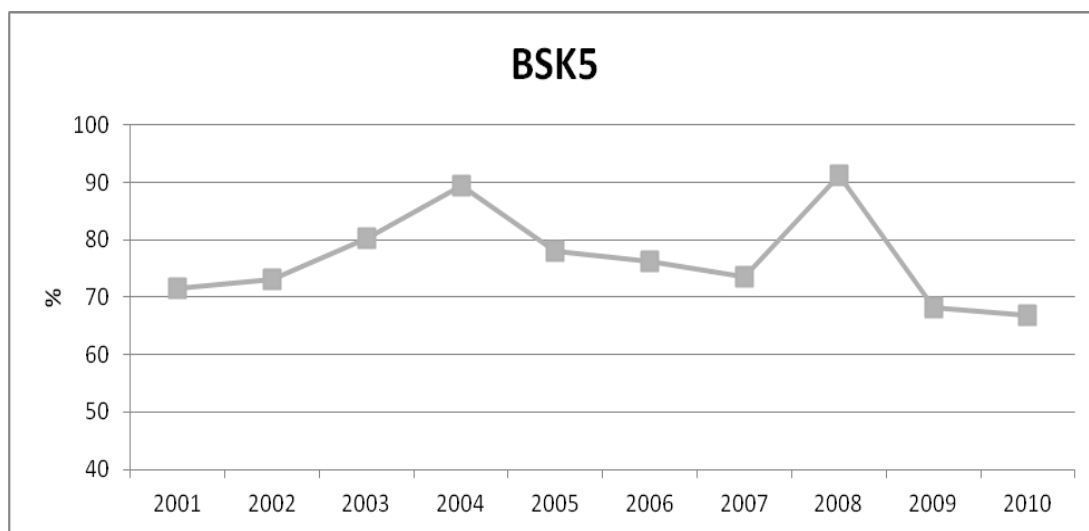
Obr. č. 27. Průměrná účinnost čištění pro NL v (%) na KČOV Machová v období let 2001 – 2010.

5.3.2 Organické látky

Průměrné koncentrace BSK₅ (obr. č. 28) se na přítoku v měřeném období 2001 - 2010 pohybovaly v rozmezí 3 - 55 mg/l. V 5 z 10 sledovaných let se hodnoty BSK₅ při přítoku pohybovaly již pod emisním standardem 30 mg/l. Na odtoku byly naměřeny hodnoty od 3 - 9 mg/l. Průměrné hodnoty ve sledovaném období byly na přítoku 26 mg/l a na odtoku 5 mg/l. Průměrná účinnost (obr. č. 29) v měřeném období při odbourávání BSK₅ je 77%.

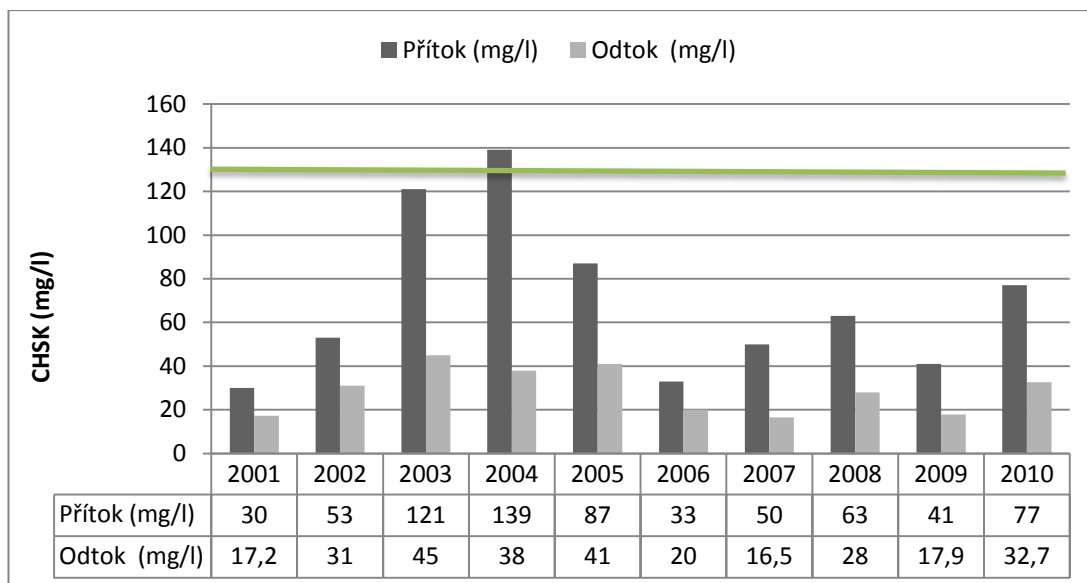


Obr. č. 28. Průměrné koncentrace BSK₅ (mg/l) na přítoku a odtoku na KČOV Machová v období let 2001 - 2010.

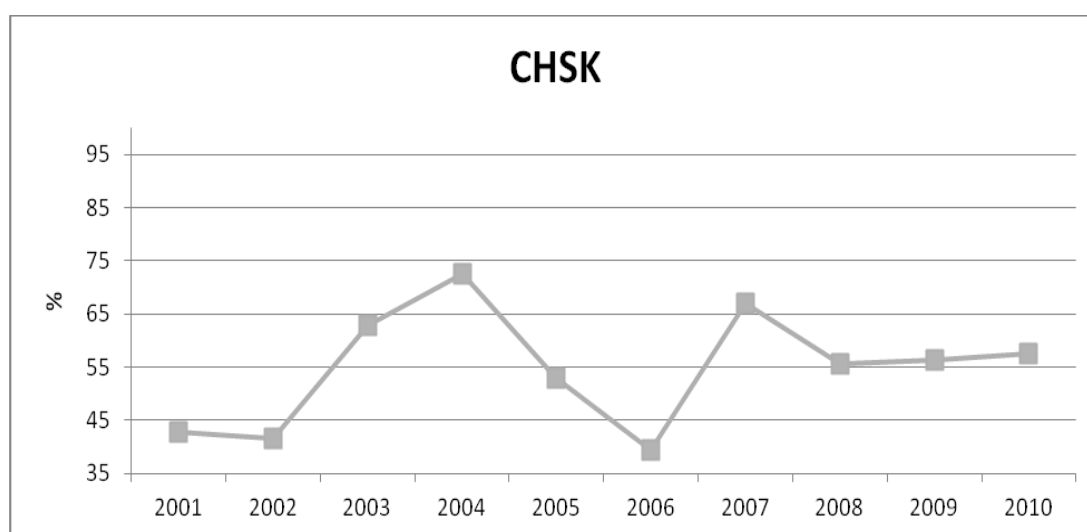


Obr. č. 29. Průměrná účinnost čištění pro BSK₅ v (%) na KČOV Machová v období let 2001 – 2010.

Hodnoty CHSK na KČOV Machová (obr. č. 30) byly ve sledovaném období také nízké. V letech 2001 - 2010 byly naměřeny na přítoku hodnoty v rozmezí 30 – 139 mg/l, na odtoku hodnoty 17 – 38 mg/l. Průměrně tak při přítoku dosahovaly hodnoty 90 mg/l, na odtoku 36 mg/l. Účinnost při odbourávání CHSK (obr. č. 31) činí 57%.



Obr. č. 30. Průměrné koncentrace CHSK (mg/l) na přítoku a odtoku na KČOV Machová v období let 2001 - 2010.



Obr. č. 31. Průměrná účinnost čištění pro CHSK v (%) na KČOV Machová v období let 2001 – 2010.

6. DISKUZE

Kořenové čistírny odpadních vod, i přes řadu výhod, které přinášejí, nejsou na našem území hojně využívány. Jakožto metoda čištění schopná odbourávat nečistoty z téměř všech druhů odpadních vod, by mohly najít daleko častější využití, než-li je tomu doposud.

Jako jednu z hlavních deviz tohoto druhu biologického čištění odpadních vod vidím v možnosti jeho využití, jako ideálního řešení pro odpadní vody domácností vyznávající eco-friendly způsob života. I přes svoje mírně vyšší pořizovací náklady v porovnání například s kontinuální čistírnou odpadních vod, se KČOV vzhledem ke své bezúdržbovosti začnou během krátké doby vyplácet. Čistírny nepotřebují přísun elektrické energie a fungují celoročně, bez nutnosti do procesu výrazně vstupovat. V průběhu roku nedělá čistírně problém vyrovnávat se s rozdíly v množství a kvalitě odpadní vody, která do ní přitéká, proto se zdá vhodnou například pro chaty, chalupy či letní domy. Vzhledem k rozmanitosti rostlin, které lze při stavbě KČOV využít se okolí budov či zahrady zaplní zelení. Ve výsledku pak čistírna nemusí zastávat nejen svou čistící funkci, ale můžou se stát i okrasným prvkem terénu. Na rozdíl od klasických čistíren, KČOV dokáže fungovat i s přestávkami. Problém by jim při vhodném začlenění do krajiny neměli způsobovat ani povodně.

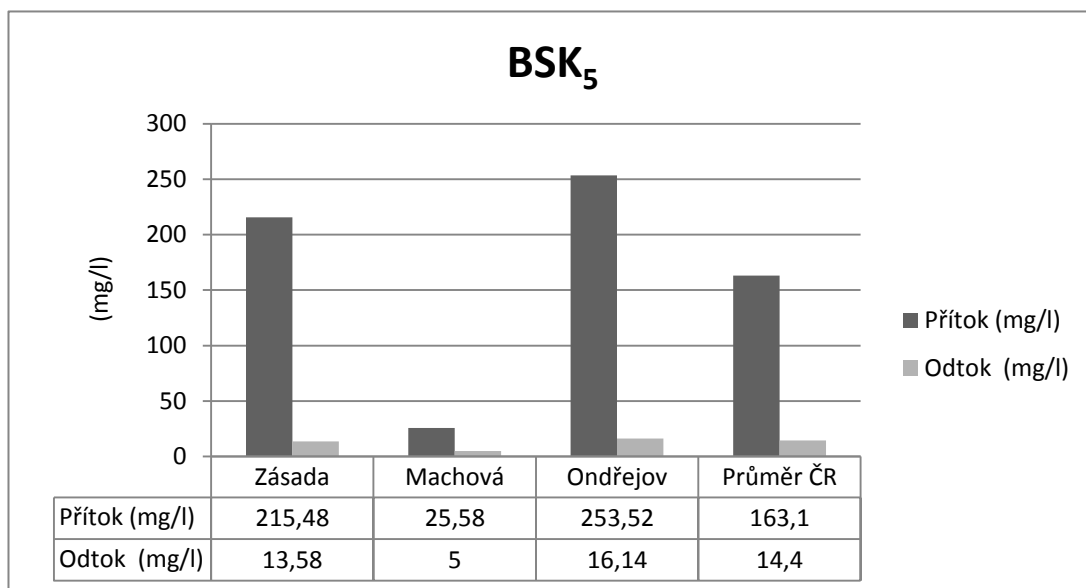
Z těchto důvodů považuji kořenové čistírny odpadních vod za velmi podceňovanou metodu čištění odpadních vod. Ačkoliv se svou koncepcí nejvíce hodí právě pro malé zdroje znečištění, hojnost jejich využití u nás značně zaostává za dalšími státy Evropské unie.

V poslední době probíhají studie a návrhy kořenových čistíren druhé generace a také kombinace dalších systémů (vertikálních a horizontálních polí, dočišťovací nádrže, biologické rybníky), aby docházelo k co nejlepšímu vyčištění odpadních vod a následnému navrácení zpět do přírody v té nejlepší kvalitě.

Porovnání účinnosti kořenových čistíren odpadních vod (KČOV) v ČR

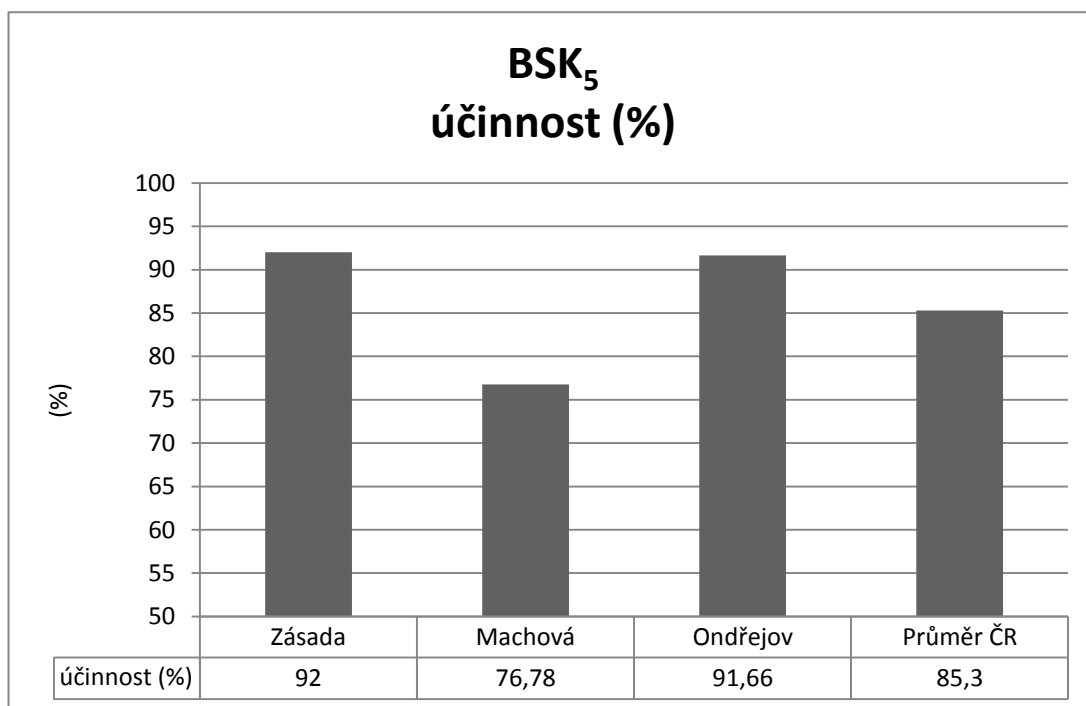
Čistírny Zásada, Machová a Ondřejov jsou porovnány s celostátním průměrem na základě ročních průměrných koncentrací na přítoku a odtoku v období od roku 1991 do 2010.

Průměrné koncentrace BSK₅ (obr. č. 32) v období let 1991 - 2010, kdy KČOV Zásada dosahuje hodnot na přítoku 215 mg/l a na odtoku 14 mg/l. KČOV Machová dosahuje hodnot na přítoku 26 mg/l a na odtoku 5 mg/l a v neposlední řadě koncentrace BSK₅ na KČOV Ondřejov se na přítoku pohybuje 254 mg/l a na odtoku dosahuje hodnot 16 mg/l. Celostátní průměr, činí na přítoku 163 mg/l a na odtoku 14 mg/l.



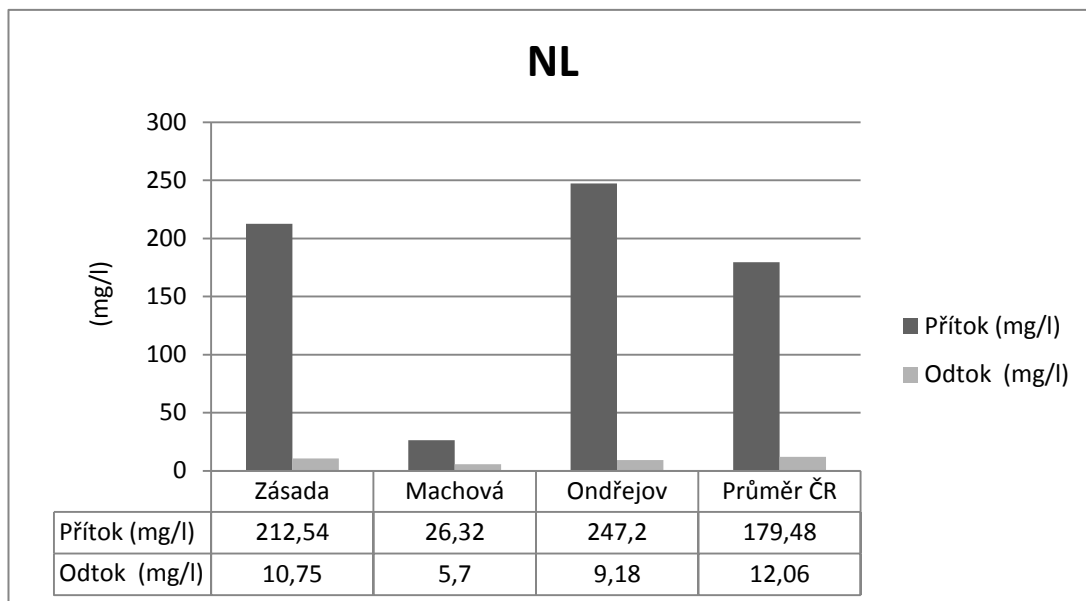
Obr. č. 32. Průměrné koncentrace BSK₅ (mg/l) na přítoku a odtoku na KČOV Zásada, Machová, Ondřejov v období let 1991 – 2010.

Průměrná účinnost u BSK₅ (obr. č. 33) v období let 1991 - 2010, kdy KČOV Zásada vykazuje účinnost 90%, Machová 77% a Ondřejov 92%. Celostátní průměrná účinnost čištění u BSK₅ je 85%.



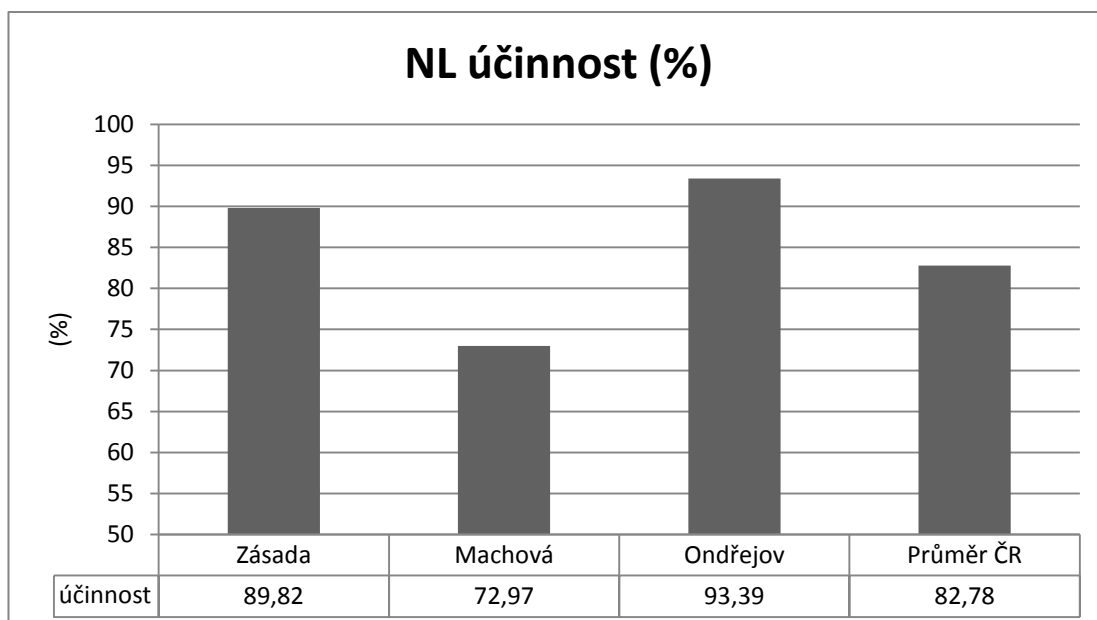
Obr. č. 33. Průměrná účinnost čištění kořenového pole pro BSK₅ v na KČOV Zásada, Machová, Ondřejov v období let 1991 – 2010.

Průměrné koncentrace NL (mg/l) na přítoku a odtoku (obr. č. 34) v období let 1991 - 2010, kdy KČOV Zásada dosahuje hodnot na přítoku 213 mg/l a na odtoku 11 mg/l. KČOV Machová dosahuje hodnot na přítoku 26 mg/l a na odtoku 6 mg/l a v neposlední řadě koncentrace NL na KČOV Ondřejov se na přítoku pohybuje 247 mg/l a na odtoku dosahuje hodnot 9 mg/l. Celostátní průměr, činí na přítoku 179 mg/l a na odtoku 12 mg/l.



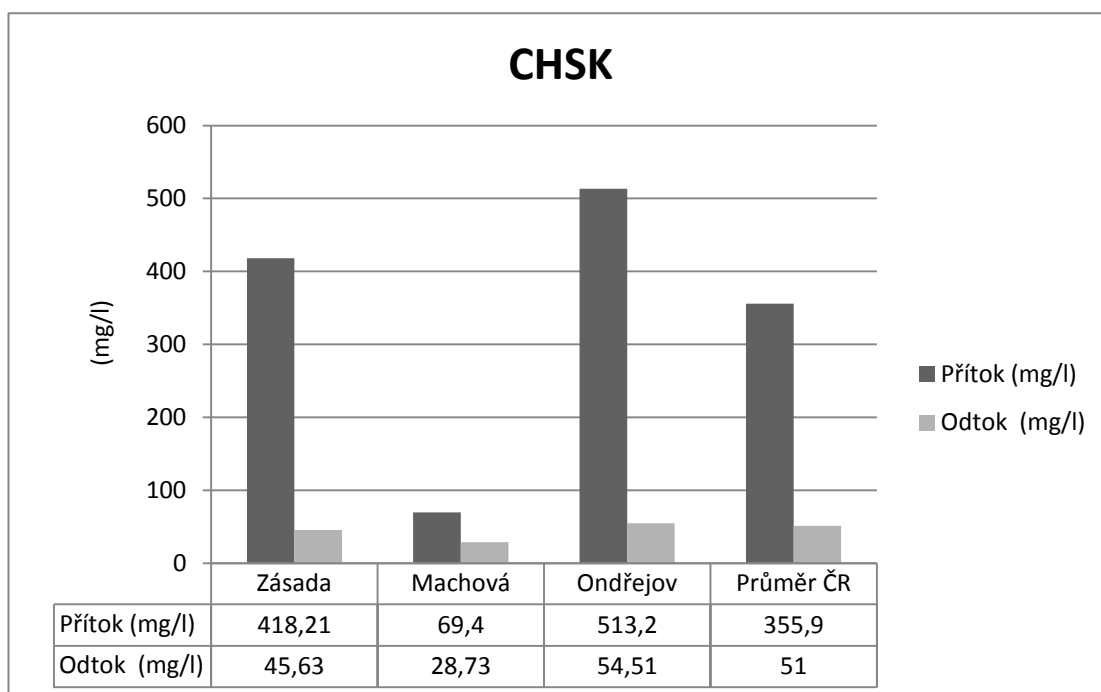
Obr. č. 34. Průměrné koncentrace NL (mg/l) na přítoku a odtoku pro KČOV Zásada, Machová, Ondřejov v období let 1991 – 2010.

Průměrná účinnost čištění KČOV u NL (obr. č. 35) v období let 1991 - 2010, kdy KČOV Zásada vykazuje účinnost 90%, Machová 73% a Ondřejov 93%. Celostátní průměrná účinnost čištění u NL je 83%.



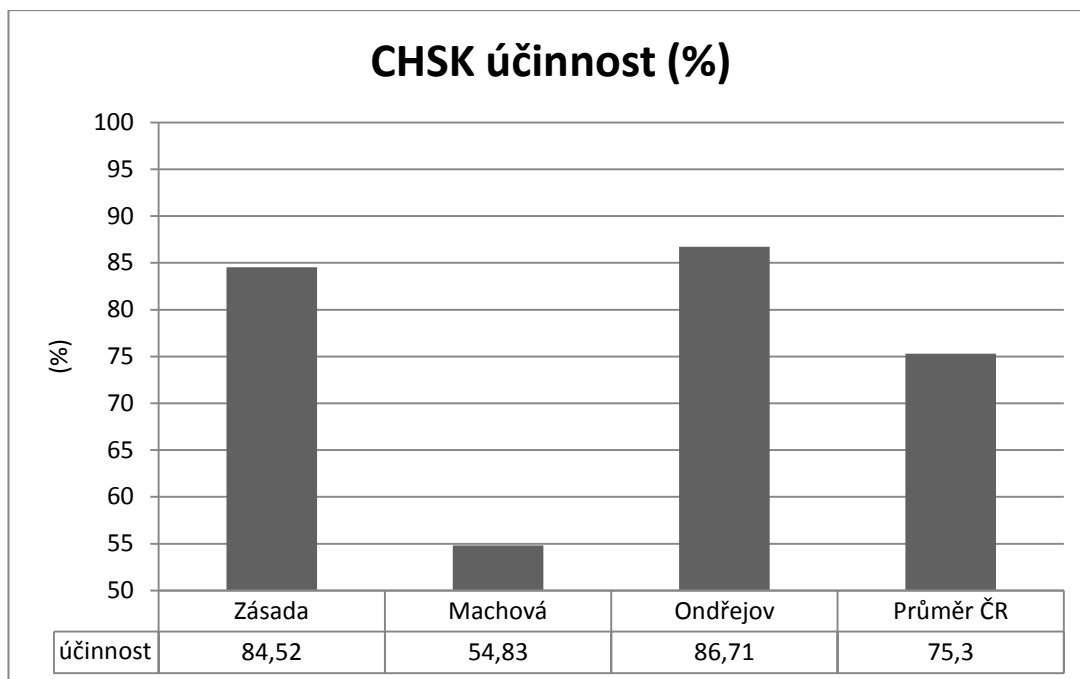
Obr. č. 35. Průměrná účinnost čištění kořenového pole pro NL v (%) na KČOV Zásada, Machová, Ondřejov v období let 1991 – 2010.

Průměrná koncentrace CHSK (obr. č. 36) v období let 1991 - 2010, kdy KČOV Zásada dosahuje hodnot na přítoku 418 mg/l a na odtoku 46 mg/l. KČOV Machová dosahuje hodnot na přítoku 69 mg/l a na odtoku 29 mg/l a v neposlední řadě koncentrace CHSK na KČOV Ondřejov se na přítoku pohybuje 513 mg/l a na odtoku dosahuje hodnot 55 mg/l. Celostátní průměr, činí na přítoku 356 mg/l a na odtoku 51 mg/l.



Obr. č. 36. Průměrné koncentrace CHSK (mg/l) na přítoku a odtoku na KČOV Zásada, Machová, Ondřejov v období let 1991 – 2010.

Průměrnou účinnost čištění KČOV u CHSK (obr. č. 37) v období let 1991 - 2010, kdy KČOV Zásada vykazuje účinnost 85%, Machová 56% a Ondřejov 87%. Celostátní průměrná účinnost čištění u CHSK je 75%.



Obr. č. 37. Průměrná účinnost čištění kořenové čistírny pro CHSK v (%) na KČOV Zásada, Machová, Ondřejov v období let 1991 – 2010.

7. ZÁVĚR

Cílem diplomová práce bylo charakterizovat kořenové čistírny odpadních vod a způsob jejich využití v České republice. Popisuje druhy odpadních vod a principy odbourávání nečistot a předpokládanou účinnost při využití KČOV. Stručně popisuje historii KČOV na území České republiky, vysvětluje a za pomoci jakých ukazatelů se sleduje kvalita odpadních vod (CHSK, BSK₅, NL).

Účinnost čištění odpadních vod byla poté podrobněji rozebrána na třech konkrétních příkladech fungujících kořenových čistíren: Zásada, Machová, Ondřejov, jejichž výsledky byly srovnány s celostátními průměry a s limity stanovenými Nařízením vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod. U každé ze zmíněných kořenových čistíren jsem se zaměřila nejen na výsledky měření ukazatelů čistoty vody, ale i na stručný popis současného stavu čistírny, pro kolik jednotek EO a pro jakou technologii čištění byly koncipovány.

Průměrná účinnost čištění odpadních vod za sledované období u KČOV Zásada dosahovala u BSK₅ 90%, u NL 90%, u CHSK 85%.

KČOV Machová dosahovala průměrné účinnosti čištění za sledované období: BSK₅ 77%, NL 73%, CHSK 56%.

Poslední sledovaná KČOV Ondřejov měla průměrnou účinnost čištění za sledované období: BSK₅ 92%, NL 93%, CHSK 87%.

Celostátní průměrná účinnost čištění za sledované období byla: BSK₅ 85%, NL 83%, CHSK 75%.

Jak je patrné z výše uvedených výsledků a grafů, sledované KČOV dosahují velmi dobrých výsledků čištění. Ve většině sledovaných let, se hodnoty pohybují pod emisním limitem stanoveným zákonem, třebaže u některých došlo k mírnému kolísání. Sledované KČOV svou účinností pozitivně překračují celostátní průměr. Kořenové čistírny jsou velmi dobrou alternativou pro čištění odpadních vod od menších znečišťovatelů, jako jsou vesnice, města do 1000 EO. Všeobecně je důležité zvážit možnosti výběru čištění, které čistírny nabízejí, a také charakteristiku krajiny, kde hodláme tento způsob čištění použít. Pokud jsou však všechny tyto aspekty řádně promyšleny, stávají se KČOV již z principu elegantní a nenásilnou přírodní alternativou standardním čistírnám, které jsou doposud používány.

8. LITERATURA

Bartusek, S. 2008. Ochrana životního prostředí. Studijní opora. VŠB – TU Ostrava, Kód: 616413

Braniš, M., 1997. Základy ekologie a ochrany životního prostředí. Praha, ISBN 80-86073-03-3

Brix, H., 1993. Wastewater treatment in constructed wetlands, system design, removal processes and treatment performance. In: Sborník konf. Constructed Wetlands for water Quality Improvement, Moshiri, A.G. (ed.). CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, str. 9-22.

Cooper, P. F., Job, G. D., Green, M. B., a Shutes, R. B. E. 1996. Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, WRc Publications, Medmenham, Marlow, UK.

Cooper, P.F., 2005. The performance of vertical flow constructed wetland systems with special reference to the significance of oxygen transfer and hydraulic loading rates, Wat. Sci. Tech. 51(9): str. 81-90.

Dolejš, P., 1996. Příručka pro čištění a úpravu vody. Přerov, Kemifloc.

Hammer, A.D., Bastian, R.K., 1989. Wetland ecosystems: natural water purifiers? In: Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, D.A. Hammer (ed.). Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, str. 5-19.

Hill, D.E., Shawney, B.L., 1981. Removal of phosphorus from wastewater by soil under aerobic and anaerobic conditions. J. Environ. Qual. 10: 401- 405.

Hrnčíř, P., Vácha, V., 1994. Zkušenosti s provozem kořenových čistíren odpadních vod. In: sborník konf. Kořenové čistírny a další vegetační systémy zlepšující kvalitu vod, Čížková, H., Flek, S., Husák, Š., (eds.), BÚ AV ČR a ENVI, Třeboň, str. 51-67.

Kadlec, R.H., a Knight, R.L., 1996. Treatment Wetlands. Lewis Publisher USA, str. 893.

Kočková, E., Kříž, P., Legát, V., Šálek, J., Žáková, Z., 1994. Rozvoj venkova, vegetační kořenové čistírny odpadních vod. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha

Končalová, H. a Květ, J., 1987. Možnosti a omezení metody čištění vody v rhizosféře halofyt. In: Žáková, Z., Květ, J., Lhotský, O. a Marvan, P. (Eds.), Sborník semináře Vegetační způsoby čištění vody a možnosti jejich aplikace, ČSVTS VÚV Praha, pobočka Brno, str. 187-192.

Kouřil M., 2006. Kořenové čistírny: Alternativní způsob nakládání s odpadními vodami (informační brožura pro obce, soukromníky a zemědělce. Attavena, České Budějovice, 24 str., ISBN 80-86778-22-3

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

Pošta, J.; Hejtmánková, A., Just T., Růžičková, I.; Koller J.; Dohányos M., 2005. Čistírny odpadních vod. Česká zemědělská univerzita v Praze, 208 p.

Rozkošný, M. et al., 2010. Domovní čistírny odpadních vod. ZO ČSOP Veronica, Brno, ISBN 978-80-87308-07-3, str. 44.

Seidel, K., 1965. Neue Wege zur Grundwasseranreicherung in Krefeld, Vol. II. Hydrobotanische Reinigungsmethode, GWF Wasser/Abwasser 30: 831-833.

Šálek, J., Tlapák, V., 2006. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. ČKAIT, Praha, 1. vydání, Expodata-Didot, s podporou MZE ČR, ISBN 80-86769-74-7

Švehla, P., Tlustoš, P., Balík, J., 2004. Odpadní vody. ČZU v Praze, Praha, ISBN 80-213-11.

Vymazal, J., 1995. Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách. Třeboň, str. 146.

Vymazal, J., 1998. Czech Republic. In: *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*, Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Green, M.B. a Haberl, R. (eds.), Backhuys Publishers, Leiden, str. 95-121.

Vymazal, J., 2001. Types of constructed wetlands for wastewater treatment: their potential for nutrient removal. In: Vymazal, J. (ed.), *Transformations of Nutrients in Natural and Constructed Wetlands*. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, str. 1-93.

Vymazal, J., 2004. Kořenové čistírny odpadních vod. ENKI, Třeboň, str. 14.

Vymazal, J., 2009. Kořenové čistírny odpadních vod. 20 let zkušeností v České republice. *Vodní hospodářství* 59.

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

Vymazal, J. a Kröpfelová, L., 2008. *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*. Springer, Dordrecht.

Vymazal, J. a Kröpfelová, L., 2008. Kořenové čistírny odpadních vod v České republice, jejich využití pro různé druhy odpadních vod. In: *Sborník semináře Monitoring těžkých kovů a vybraných rizikových prvků při čištění odpadních vod v umělých mokřadech (GAČR 206/06/0058)*, Kröpfelová, L. a Vymazal, J. (Eds.), ENKI, Třeboň, str. 28-35.

Vymazal, J., Rozkošný, M., 2011. Metodická příručka pro navrhování, budování, povolování, provoz a kontrolu kořenových čistíren odpadních vod. (eds.). MŽP ČR, v tisku.

Zavadil, E., 2003. Kořenové čistírny z pohledu inspekční činnosti ČIŤP. In: Sb. semináře Kořenové čistírny: výstavba a financování, Dušek, J. (Ed), BF JCÚ České Budějovice a ICOS Český Krumlov, str. 21-25.

Právní předpisy:

- Zákon č. 20/2004 Sb., kterým se mění zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.
- Nařízení č. 61/2003 Sb. (ve znění novely č. 23/2011 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, ve znění nařízení vlády č. 229/2007 Sb.

Internetové zdroje:

<http://www.envic.cz/136-357-korenove-cistirny-odpadnich-vod.htm>

<http://www.risy.cz>