

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO POROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



**Účinnost čištění kořenové čistírny Žitenice**

Treatment efficiency of treatment wetland Žitenice

**Bakalářská práce**

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

Autor práce: Zuzana Štorkánová

2017

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zuzana Štorkánová

Územní technická a správní služba

Název práce

**Účinnost čištění kořenové čistírny Žitenice**

Název anglicky

**Treatment efficiency of treatment wetland Žitenice**

---

### Cíle práce

1. Charakterizovat odpaní vody a způsoby jejich čištění
2. Charakterizovat princip čištění odpadních vod v kořenových čistírnách.
3. Popsat využití kořenových čistíren v České republice.
4. Zhodnotit účinnost čištění kořenové čistírny Žitenice

### Metodika

V první fázi bude provedena rešerše na téma odpadních vod a jejich čištění včetně kořenových čistíren.

Ve druhé fázi budou vyhodnoceny údaje o provozu kořenových čistíren v České republice a provozní údaje z KČOV Žitenice.

V závěrečné fázi bude sepsána bakalářská práce.

## **Doporučený rozsah práce**

40 stran včetně příloh

## **Klíčová slova**

kořenová čistírna, účinnost, odpadní voda, organické látky, živiny

---

## **Doporučené zdroje informací**

Mlejnská, E., Rozkošný, M., Baudišová, D., Váňa, M., Wanner, F. a Kučera, J., 2009. Extenzivní způsoby čištění odpadních vod. VÚV Praha a MŽP ČR.

Šálek, J., Žáková, Z. a Hrnčíř, P., 2008. Přírodní čištění a využívání vody v rodinných domech a rekreačních objektech. ERA group, Brno.

Vymazal, J. 1995. Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách. ENVI Třeboň a Ekologie a využití mokřadů, Praha.

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

Vymazal, J., 2009. Kořenové čistírny odpadních vod: 20 let zkušeností v České republice. Vodní hospodářství 59: 113-119.

---

## **Předběžný termín obhajoby**

2016/17 LS – FŽP

## **Vedoucí práce**

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

## **Garantující pracoviště**

Katedra aplikované ekologie

---

Elektronicky schváleno dne 19. 10. 2016

**prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 7. 11. 2016

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 16. 04. 2017

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod vedením Prof. Ing. Jana Vymazala, CSc. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala. Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze 22.4.2017

.....

## **Poděkování**

Velmi děkuji vedoucímu práce, Prof. Ing. Janu Vymazalovi, CSc., za vstřícnost, cenné rady, připomínky, materiály, ochotu a čas, který mi věnoval.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce řeší dělení odpadních vod a současně i obecný popis způsobu jejich čištění. Stěžejní částí této práce jsou extenzivní způsoby čištění odpadních vod v kořenových čistírnách a vyhodnocení funkčnosti kořenové čistírny Žitenice.

V práci jsou rozebrány jednotlivé kroky při návrhu kořenových čistíren, ale i mokřadní vegetace, provoz a začlenění do krajiny. Součástí práce je analýza dlouhodobého účinku čištění kořenové čistírny Žitenice v letech 1995 až 2016. Výsledky slouží jako velmi dobrý ukazatel pro porovnání kvality vody na přítoku a na odtoku, a zároveň jako ukazatel dlouhodobé funkčnosti této čistírny.

**Klíčová slova:** odpadní vody, čištění odpadních vod, extenzivní čištění, kořenová čistírna

## **Abstract**

This thesis addressed the division of wastewater and also the general description of the method of cleaning. A crucial part of this thesis are extensive processes of wastewater treatment in wetlands and evaluation functionality wetlands Žitenice.

The statement discussed the various steps in the design of wetland, as well as wetland vegetation, operation and integration into the landscape. The thesis includes analysis the long-term effect of cleaning the wetland Žitenice in the years 1995 – 2016. The results serve as a very good indicator for comparing the quality of water at the inlet and the outlet, and as an indicator of long-term functionality of this sawage.

**Keywords:** wastewater, wastewater treatment, extensive treatment, wetland

## Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíle práce .....	10
3. Metodika .....	10
4. Odpadní vody.....	11
4.1 Druhy odpadních vod .....	12
4.2 Znečišťující látky.....	13
4.3 Ukazatele znečištění .....	14
4.4 Množství odpadních vod .....	15
4.5 Odvádění odpadních vod.....	17
4.5.1 Systavy stokových sítí.....	17
5. Čištění odpadních vod .....	19
5.1 Mechanický způsob čištění.....	20
5.1.1 Česle a síta.....	20
5.1.2 Lapáky.....	21
5.1.3 Usazovací nádrže .....	22
5.1.4 Dosazovací nádrže .....	22
5.1.5 Zahušťovací nádrže.....	23
5.2 Biologický způsob čištění.....	24
5.2.1 Aerobní biologické čištění .....	24
5.2.2 Aktivační proces.....	24
5.2.2.1 Aktivovaný kal .....	25
5.2.3 Odstraňování dusíku a fosforu .....	25
5.2.3.1 Nitrifikace a denitrifikace.....	26
5.2.3.2 Chemické srážení fosforu .....	26
5.2.3.3 Biologické odstraňování fosforu .....	27
5.2.4 Biofilmové reaktory .....	27
5.3 Terciální stupeň čištění.....	27
5.3.1 Chemický a fyzikálně chemický způsob čištění .....	28
5.3.1.1 Koagulant .....	28

5.4	Kalové hospodářství .....	29
5.4.1	Charakteristika kalů .....	29
5.4.2	Nakládání s kaly .....	30
6.	Přírodě blízké způsoby čištění odpadních vod .....	30
6.1	Drenážní podmok .....	30
6.2	Stabilizační nádrže.....	31
6.3	Zemní filtry.....	32
6.4	Kořenové čistírny odpadních vod.....	34
6.4.1	Kořenové čistírny odpadních vod v České republice.....	35
6.4.2	Popis.....	35
6.4.3	Použití .....	36
6.4.4	Návrh KČOV .....	37
6.4.5	Konstrukční řešení .....	38
6.4.6	Stanovení plochy a délky filtračního pole.....	38
6.4.7	Čistící procesy v kořenových čistírnách .....	40
6.4.8	Rostliny kořenových čistíren.....	41
6.4.8.1	Přehled nejčastěji používaných rostlin .....	41
6.4.9	Péče o vegetaci kořenových polí.....	44
6.4.10	Náklady na výstavbu a provoz .....	45
6.4.11	Provoz a údržba.....	46
6.4.12	Začlenění do krajiny.....	46
7.	Kořenová čistírna Žitenice.....	47
7.1	Popis .....	47
7.2	Výsledky.....	47
7.2.1	Organické znečištění .....	48
7.2.2	Nerozpuštěné látky.....	49
7.2.3	Účinnost čištění KČOV Žitenice .....	50
8.	Diskuze.....	52
9.	Závěr .....	53
	Seznam použité literatury .....	55



## 1. Úvod

Voda jako základ života je nezbytnou součástí lidských organismů. Lidský organismus využívá vodu ke všem svým funkcím jako je dýcháním, trávením, i rozpouštění živin. Voda však neslouží jen jako látka potřebná pro život, v moderních civilizacích je denně využívána i jako prostředek k mytí, výrobě, čištění i dalšímu hospodaření. Takto použitá voda se stává vodou odpadní.

Odpadní vody lze po úpravě zlepšující jejich kvalitu vrátit zpět do oběhu vody. Způsoby jakými se dá odpadní voda čistit je mnoho. Jedním ze způsobů čištění odpadních vod je přírodní čištění za pomoci umělých mokřadů. Jsou to uměle vytvořené systémy, využívající chemické, biologické a fyzikální procesy vázané na vegetaci mokřadů (Šíma a kol. 2006).

Umělé mokřady neboli kořenové čistírny odpadních vod zbavují vodu především organického znečištění. Jejich výhodou je jednoduchost a energická nenáročnost a malé provozní náklady (Vymazal 1995). Rostliny kořenových polí působí esteticky a velmi dobře splynou s krajinným rázem.

## **2. Cíle práce**

1. Charakterizovat odpaní vody a způsoby jejich čištění
2. Charakterizovat princip čištění odpadních vod v kořenových čistírnách.
3. Popsat využití kořenových čistíren v České republice.
4. Zhodnotit účinnost čištění kořenové čistírny Žitenice

## **3. Metodika**

V roce 1993 byla v Žitenicích v okrese Litoměřice postavena horizontální kořenová čistírna odpadních vod sloužící pro čištění splaškových vod z kancelář a bytové jednotky. Od roku 1995 do dnes jsou zde pravidelně odebírány vzorky odpadní vody na přítoku, po mechanickém předčištění a na odtoku.

Tato práce hodnotí výsledky z let 1995 až 2016, kdy vzorky vody byly pravidelně odebírány panem Vymazalem a panem Hrnčířem. Data pro vyhodnocení účinnosti KČOV byla zpracována v programu Excel. Vzorky vody byly odebírány několikrát ročně, zjišťovala se především koncentrace BSK<sub>5</sub>, CHSK a NL na různých místech odběru. Z jednotlivých odběrů byly spočítány průměrné roční koncentrace a tyto hodnoty graficky vyjádřeny. Koncentrace těchto znečišťujících látek se vyhodnocovali u tří stupňů čištění. Výsledkem je vyhodnocení účinnosti této KČOV.

#### 4. Odpadní vody

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) § 38 definuje odpadní vody jako vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu), jakož i jiné vody z těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Odpadní vody jsou i průsakové vody z odkališť, s výjimkou vod, které jsou zpětně využívány pro vlastní potřebu organizace, a vod, které odtékají do vod důlních, a dále jsou odpadními vodami průsakové vody ze skládek odpadu.

Zákon současně definuje i vody, které se do odpadních vod neřadí, tedy vody z drenážních systémů odvodňovaných zemědělských pozemků, chladicí vody užitá na plavidlech a pro vodní turbíny, u nichž došlo pouze ke zvýšení teploty, a nepoužité minerální vody z přírodního léčivého zdroje nebo zdroje přírodní minerální vody nejsou odpadními vodami podle tohoto zákona. Za odpadní vody se dále nepovažují srážkové vody z dešťových oddělovačů, pokud oddělovač splňuje podmínky, které stanoví vodoprávní úřad v povolení. Odpadními vodami nejsou ani srážkové vody z pozemních komunikací, pokud je znečištění těchto vod závadnými látkami řešeno technickými opatřeními podle vyhlášky, kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích.

Odpadní vody tedy chápeme jako vody, jejichž kvalita byla nepříznivě ovlivněna antropogenními vlivy. Tyto vody mohou pocházet z různých zdrojů, mezi nejčastější zdroje patří kombinace činností v domácnostech, průmyslu, zemědělství či obchodu.

Ke znečištění těchto vod dochází různými způsoby jako například vnikem rozpuštěných či nerozpuštěných látek. Charakter rozpuštěných a nerozpuštěných látek poté výrazně působí na další nakládání s komunální odpadní vodou. Působení ovlivňuje nejen jejich koncentrace, ale také teplotní či hustotní podmínky. Mezi nejčastější rozpuštěné odpadní látky řadíme amoniak i jednoduché sacharidy, jež jsou základní stavební složkou všech složitějších sacharidů a jsou biologicky rozložitelné, nebo biologicky nerozložitelné barviva - pigmentová červeň řazena do skupiny azobarviv. Tato problematika podrobněji rozebrána v kapitole – Znečišťující látky.

## 4.1 Druhy odpadních vod

**Splaškové odpadní vody** jsou takové vody, jejichž původ je z obytných celků jako jsou byty a obytné domy a ze zařízení občanské a městské vybavenosti jako jsou školy, kulturní zařízení, jídelny, ubytovny atp. Produkce splaškových odpadních vod se dá snadno určit, protože se většinou rovná spotřebě pitné vody za daný den na osobu vychází přibližně 150 litrů (Groda et al., 2007).

Splaškové vody jsou charakteristické svým zabarvením což je hnědavé šedá až šedá barva a také značně silným zakalením. Teplota těchto vod se podle ročního období pohybuje v rozmezí od 5 až 20 °C (Novák et al., 2003).

**Průmyslové odpadní vody** mají různorodou a proměnlivou kvalitu (Slavíčková et Slavíček, 2013). V porovnání s vodami splaškovými se zásadně liší složením. Zatímco spotřeba vod splaškových na osobu za den je přibližně daná, u vod průmyslových se určit přesně množství na den nedá, protože je přímo úměrné charakteru výroby a jeho technologiím (Groda et al., 2007). Vznikají ve výrobních procesech jako takzvané vody technologické a chladicí:

- Technologické vody, s sebou nesou největší část látek znečišťujících, vznikají při výrobních procesech nebo při mytí různých technologických strojů.
- chladicí vody mají využití jako chladicí kapaliny a prostředky k chlazení. Do těchto vod bývají v některých případech přidávány příměsi pomocných látek, které zabraňují rozvoji zelených řas nebo korozi.

**Srážkové odpadní vody** mají původ z přírodních procesů jako tání sněhu, ledu či deště. Přičemž množství je přímo úměrné intenzitě tání a srážkám, do stok se většinou dostávají skrze okapové roury občanských i průmyslových zástaveb a především dešťovou nebo jednotnou kanalizací. Srážkové vody se řadí do vod odpadních, pokud nenastane výjimka z výše uvedeného vodního zákona (Zákon č. 254/2001 Sb) dle §38 kdy za odpadní vody se nepovažují srážkové vody z dešťových oddělovačů, pokud oddělovač splňuje podmínky, které stanoví vodoprávní úřad v povolení.

**Infekční odpadní vody** mají původ v lékařských zařízeních, nemocnicích a laboratořích, kde se nacházejí choroboplodné zárodky. Zárodky se ve velké

koncentraci dostávají do odpadních vod a ty si poté žádají speciální čištění. Dnes je snaha tyto vody předčistit než jsou vpuštěny do veřejných kanalizací, aby se snížilo množství hormonů a choroboplodných zárodků ve vodách odpadních.

**Balastní odpadní vody** nejsou vody znečištěné, avšak častokrát vnikají do kanalizace skrze vodu podzemní či povrchovou a ředí vody odpadní, kterým snižují teplotu, ovlivňují průtok nebo biologické procesy čištění v čistírnách odpadních vod.

**Zemědělské odpadní vody** vznikají při provozu živočišné výroby.

## 4.2 Znečišťující látky

Kontaminace vod zhoršuje životní prostředí přímým či nepřímým vypouštěním škodlivin. Znečištění vod ovlivňuje celou biosféru, ve většině případů poškozuje nejen jednotlivé druhy a populace, ale také přírodní biologická společenstva.

Velké množství vypouštěných škodlivých látek se nachází ve vodách odpadních, které rozdělujeme do jednotlivých skupin podle jejich chemického složení a vlastností (Komínková a kol., 2014):

- Látky rozpuštěné
  - Organické
    - Biologicky rozložitelné (cukry, bílkoviny, mastné kyseliny)
    - Biologicky nerozložitelné (azobarviva)
  - Anorganické (fosforečnany, amonné ionty)
- Látky nerozpuštěné
  - Organické
    - Biologicky rozložitelné (škrob, bakterie)
    - Biologicky nerozložitelné (plasty)
    - Usaditelné (celulósová vlákna)
    - Neusaditelné
      - Koloidní (bakterie)
      - Plovoucí (papír)
  - Anorganické
    - Usaditelné (písek, hlína)
    - Neusaditelné (brusný prach)

Poslední desetiletí se kromě látek uvedených výše, odpadní vody obsahují i velkou koncentrací tzv. mikropolutantů. Ze skupiny mikropolutantů řadíme především farmaka, kosmetické přípravky a hormonálně aktivní látky, jež narušují hormonální soustavu lidí a dalších živočichů (Kuster et al., 2004). Největší množství hormonálních látek se do vody dostane především vylučováním z lidského těla. Další způsob výskytu hormonálních látek v odpadních vodách je z výroby léčiv, kosmetických výrobků či potravin, tak i z finální spotřeby těchto produktů a jdou regulovat například obecným zákazem, omezením používání anebo kontrolou potravin. U některých farmak tuto regulaci bohužel provést nelze a jednou použitý lék míří jednoznačně do odpadních vod.

### 4.3 Ukazatele znečištění

Mezi ukazatele znečištění patří CHSK (chemická spotřeba kyslíku), BSK<sub>5</sub> (biochemická spotřeba kyslíku), nerozpuštěné látky (NL), dusík (N) a fosfor (P). Tyto látky nacházíme v největším množství v průmyslových odpadních vodách).

Měřítka pro určení kontaminace odpadních vod je člověk. Specifická měrná produkce znečištění se stanoví na tzv. Ekvivalentního Obyvatele (EO). Pro střední Evropu se počítá na 1 EO znečištění 60g BSK<sub>5</sub> za den a 55g NL za den podle normy (ČSN 75 6402). Orientační hodnoty produkce znečišťujících látek jsou, uvedly v *tabulce 1*.

**Tab. 1** Orientační hodnoty produkce znečišťujících látek ( Imhoff, K., Imhoff, K.R., 1979)

LÁTKY		Množství vyprodukované jedním EO [g/den]				
		BSK <sub>5</sub>	N	P	anorganické	organické
nerozpuštěné	usaditelné	20	1	0,2	10	30
	neusaditelné	10	-	-	5	10
rozpuštěné		30	11	2,3	75	50

Biologickou rozložitelnost organických látek ve vodách odpadních dobře zjistíme pomocí poměru BSK<sub>5</sub>/CHSK. Rozmezí 0,5 až 0,7 určuje dobře biologicky

rozložitelné organické látky. Pokud dokonale vyčistíme odpadní vodu, pak tento poměr bude menší než 0,1 (Pitter, 1999).

**Nerozpuštěné látky (NL)** - jsou organického i anorganického typu a dělíme je na sunuté (hlína, písek, škvára) a plavoucí či unášené (papír, hadry a jemný kal z organických zbytků a výkalů) (Wiesmann et al., 2007). Tyto látky se v ČOV zachycují na česlích nebo v lapácích písku a šterku.

**Biochemická spotřeba kyslíku (BSK)** – vyjadřuje obsah biologicky rozložitelných organických látek v odpadních vodách (Groda et al., 2007). Hodnota BKS se rovná množství rozpuštěného molekulárního kyslíku spotřebovaného mikroorganismy za určitý časový interval a při určité teplotě ( 5 dní, 20 °C) (Pitter, 1999).

**Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)** – je koncentrace organických látek, která je ekvivalentní spotřebě oxidačního činidla za daných podmínek. CHSK je metoda používající chemickou oxidaci.

**Dusík (N)** - znečištění dusíkem způsobují organické i anorganické látky, které obsahují atomy dusíku. Za anorganické považujeme dusitanové, dusičnanové a amonné ionty ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ).

**Fosfor (P)** - pro fosfor platí to samé jako pro dusík, tj. znečištění způsobují jeho organické i anorganické sloučeniny.

#### **4.4 Množství odpadních vod**

Vypouštěné množství odpadních vod je velmi proměnlivé a tedy i složitější určit jejich kvalitu a množství. Důvodem jsou roční, měsíční, denní i hodinové nerovnoměrnosti. Přesto lze vysledovat určitá pravidelnost v kvalitě i průtokovém množství v závislosti na životním rytmu obce, města, rodiny nebo výrobním procesu v průmyslovém závodě. Faktory ovlivňující kvalitu a množství protékajících odpadních vod jsou oblasti, ve kterých voda protéká, uživatelé vody a v neposlední řadě i stav stokové sítě.

Zařízení zneškodňující odpadní vody se nazývají čistírny odpadních vod a zpravidla se projektují na výhledový stav. Přičemž nesmíme opomenout zohlednit i místní podmínky a budoucí rozvoj obce či města.

Podrobný výpočet na množství splaškových vod přitékajících do čistírny nalezneme v normách ČSN 75 6401 a ČSN 75 6402. Tento výpočet provádíme podle směrnicevých hodnot s použitím specifické spotřeby OV. Průměrná specifická produkce splaškových vod na osobu za den se počítá 150l.

Průměrný denní průtok  $Q_{24}^0$ :

$$Q_{24}^0 = q \cdot O \quad (\text{l/den})$$

Kde:  $q$  . . . specifická potřeba vody (l/byv.den)

$O$  . . . výhledový počet obyvatel

Maximální denní průtok  $Q_d^0$ :

$$Q_d^0 = q \cdot O \cdot k_d \quad (\text{l/den})$$

Kde:  $k_d$  . . . součinitel denní nerovnoměrnosti a má následující hodnoty

pro ČOV do 1000 EO	1,5
pro ČOV od 1000 EO do 5000 EO	1,4
pro ČOV od 5000 EO do 20 000 EO	1,35
pro ČOV pro více než 20 000 EO	1,25

Maximální hodinový průtok  $Q_{hmax}^0$ :

Množství odpadních vod má při svém kolísání určitou pravidelnost a to zejména maxima v ranních a večerních hodinách a minima v nočních hodinách. Tyto časy mají svůj prostý důvod, v noci lidé spí a tak neprodukují takřka žádné odpadní vody, zatímco ráno a večer probíhá hygiena a příprava pokrmů. Velikost koeficientu závisí na počtu obyvatel, přičemž se s jejich rostoucím počtem snižuje.

$$Q_{hmax}^0 = k_{max} Q_d^0 / 24 \quad (\text{l/den})$$

Kde:  $k_{max}$  . . . součinitel maximální hodinové nerovnosti

Minimální hodinový průtok  $Q_{hmin}^0$ :

$$Q_{hmin}^0 = k_{min} Q_d^0 / 24 \quad (\text{l/den})$$



Kde:  $k_{\min}$  . . . součinitel minimální hodinové nerovnosti.

U odpadních vod je důležité znát jejich množství, které nám slouží například k návrhu čistírny odpadních vod a jejímu správnému naddimenzování. Aby se odpadní vody do čistírny dostaly ze všech zdrojů, kde jsou produkovány například domácnosti, firmy, restaurace nebo zemědělských budov slouží nám k jejich odvodu kanalizační systém. Způsobům jakými se odpadní voda odvádí je věnována další kapitola.

## **4.5 Odvádění odpadních vod**

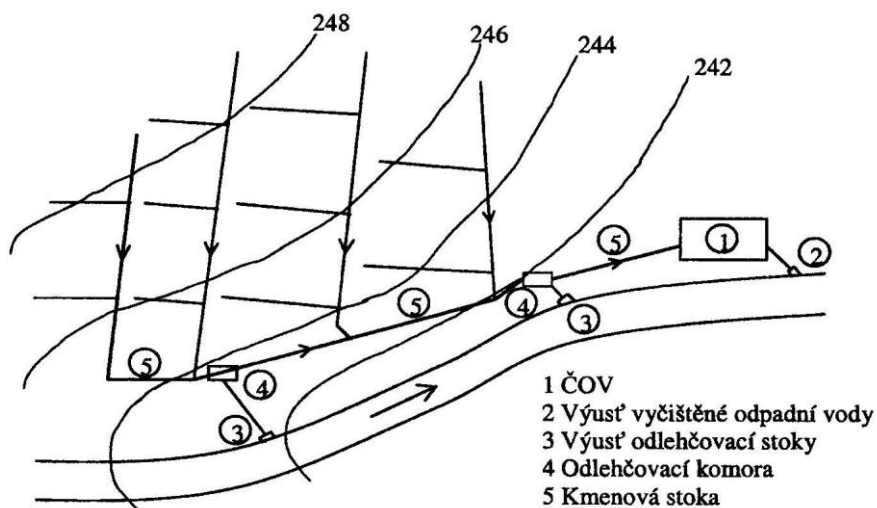
V současné době k odvádění odpadních vod využíváme různé druhy kanalizací. Ne vždy k odvádění odpadních vod sloužila kanalizace. Starověký Řím byl známý svými záchody, kdy v domácnostech byly pouze otvory v zemi a obyvatelé vykonávali svou potřebu do těchto otvorů. Nejjednodušší typ měl pouze stupínky pro nohy, lépe vybavené záchody byly opatřeny dřevěným, kamenným, nebo cihlovým sedátkem. Exkrementy hnily u cest, kde se dostávali skrz půdu do vod podzemních nebo byly pomocí deště odplavovány do řek. Ve středověku se veškeré odpadní vody vylévaly do povrchových stok, což následně vedlo k rozšíření různých epidemii.

V druhé polovině 19.století nastal nový přístup týkající se odstraňování těchto vod. Začaly se budova gravitační stoky z kamene, litin i speciálních cihel. Tyto stoky byly po staletí zdokonalovány až do dnešní podoby.

### **4.5.1 Soustavy stokových sítí**

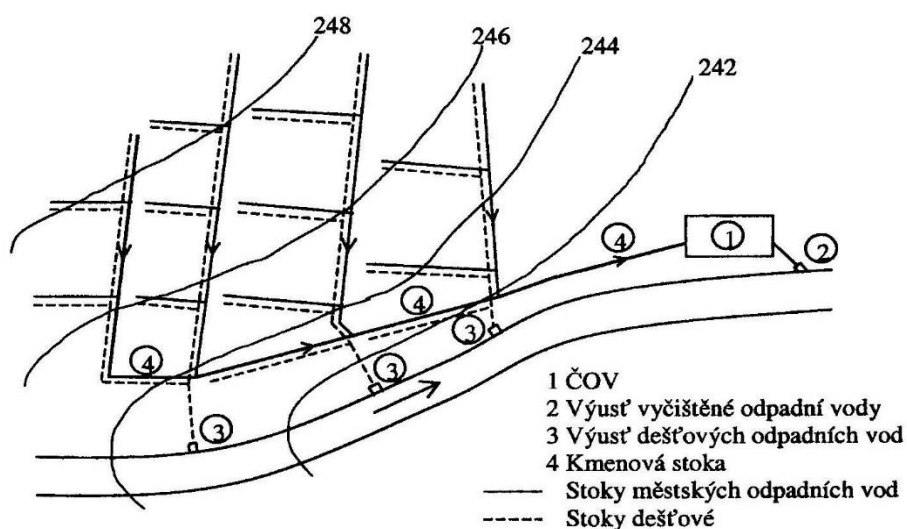
Podle způsobu odvádění srážkových vod se rozlišuje:

- Soustava jednotná – dohromady odvádí vody dešťové, průmyslové i splaškové. Typická Jednotná stoková síť je zachycena na obrázku č.1. Všechny tyto vody protékají jedním potrubím. Množství těchto vod kolísá nejen podle denní produkce vod splaškových, ale i podle deště, což znamená, že tato potrubí musejí mít velké průtočné profily. Tento druh kanalizace nalezneme nejčastěji v historických centrech měst, kde není možnost vybudovat soustavu oddílnou (Synáčková, 2014).



**Obr. 1** Jednotná stoková síť ([www.is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast](http://www.is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast))

- Soustava oddílná – dvě rozdílné soustavy odvádějící vodu splaškovou a dešťovou odděleně. Pro lepší představu obr. 3 jenž je ukázkou oddílné soustavy. Voda splašková je takzvanou splaškovou kanalizací odváděna na čistírnu odpadních vod. Voda dešťová se pomocí dešťové kanalizace odvádí do retenční nádrže a později se vypouští do recipientu. V některých případech je vybudována ještě jedna kanalizace na vodu průmyslovou. Oddílná soustava se nachází ve větších městech vyjma historických center (Synáčková, 2014).



**Obr. 2** Oddílná stoková síť ([www.is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl? cast](http://www.is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast))

- Soustava modifikovaná – obsahuje oddělená potrubí. Jedním potrubím jsou odváděny dešťové vody, u kterých nedošlo k znečištění, rovnou do recipientu. Druhé jsou vody splaškové a průmyslové odváděny na čistírnu.

Podle hnací síly rozlišujeme:

- Kanalizace gravitační – odpadní voda je poháněna gravitační silou. Pro využití této kanalizace je potřeba dostatečný spád stoky. Dobré uplatnění tato kanalizace nalezne ve svažitéch terénech (Hlavínek 2001).
- Kanalizace vakuová a tlaková – pro provoz vakuové kanalizace je potřeba vytvořit v kanalizační síti podtlak, zatímco tlaková vyžaduje naopak přetlak. Obě tyto kanalizace jsou náročné na technické provedení. Ovšem na rozdíl od kanalizace gravitační se dají vybudovat takřka všude, protože nejsou závislé na terénu (Novák 2003).

## 5. Čištění odpadních vod

Čištění odpadních vod je složitý proces napomáhající ke zlepšení kvality odpadních vod. Proces čištění probíhá dvěma způsoby ten první, markantnější a rychlejší probíhá na čistírnách odpadních vod. Druhý způsob, mnohem pomalejší je samočištění, které probíhá samovolně v přírodě.

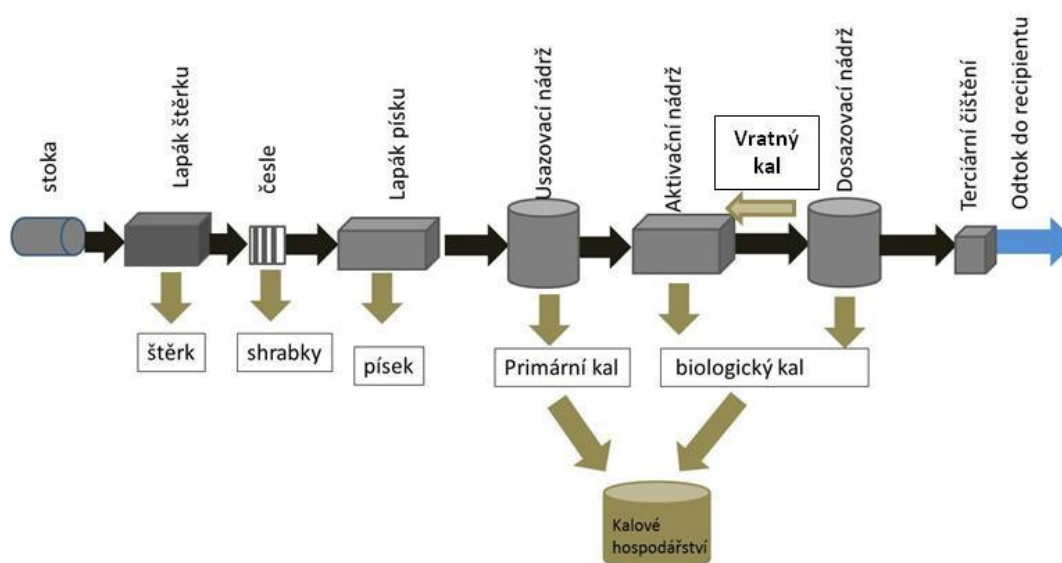
Proces samočištění je přirozený způsob, při kterém se tekoucí vody zbavují nečistot přírodního i antropogenního původu působením přírodních pochodů chemického a biologického charakteru. Patří sem například biochemická transformace sloučenin dusíku (nitrifikace a denitrifikace) či rozklad organického znečištění za pomoci dekompozičních organismů (bakterie, houby, prvoci).

Mechanicko- biologické čistírny odpadních vod využívají dva stupně čištění: 1. stupeň je mechanické čištění, 2. stupeň je biologické čištění. Proces biologického čištění má za úkol napodobit samočištění, které na ČOV probíhá mnohem intenzivněji. Slouží k přirozeným rozkladům, které normálně probíhá v půdním a vodním prostředí. Na ČOV probíhá v biologickém reaktoru. Mechanický stupeň čištění se nachází na začátku celého procesu čištění před stupněm biologickým. Hlavní typ biologického čištění jsou aktivační čistírny, ale aktivovaný kal se v přírodě nikdy nevyskytuje. To je zcela umělý proces (Vymazal, osobní sdělení 2016).

## 5.1 Mechanický způsob čištění

Po vstupu vody do čistírny voda prochází různými stupni čištění. Mechanický způsob čištění má za úkol zlikvidovat hrubé nečistoty a nerozpuštěné látky, které jsou ve velkém množství obsaženy právě ve vodách odpadních. Zde nalezneme především různé druhy česlí, sítě, lapáky písku, šterku, tuků i olejů. Tyto mechanické prvky čištění mají i ochranný charakter pro celou čistírnu odpadních vod.

ČOV je sestavena z různých fází, jejich podrobnější přehled naleznete pod obrázkem č. 3, který má za úkol ukázat, jak jsou tyto procesy mechanického čištění seřazeny za sebou.



**Obr. 3** Schéma technologické linky mechanicko-biologické ČOV (Komínková a kol., 2014)

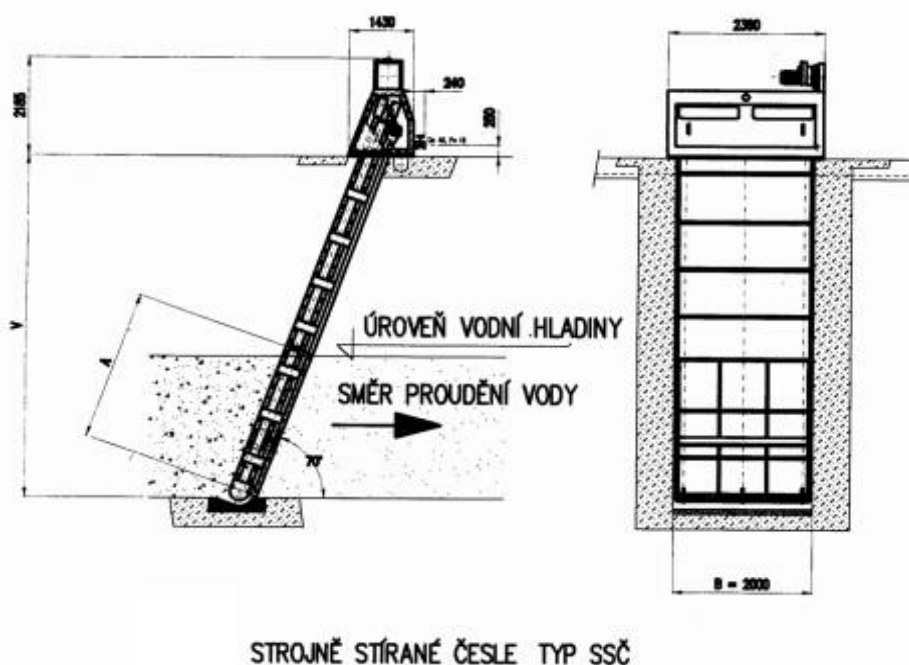
### 5.1.1 Česle a síta

Česle a síta zmiňována již výše slouží k takzvanému cezení, které má za úkol zadržovat hrubé látky unášené vodou.

Česle jsou tvořeny česlicemi a průlinami a vzhledově připomínají mřížové viz *obr 4*. Česlice jsou pruty, jež se instalují do žlabů v různé vzdálenosti od sebe. Podle vzdáleností mezi různými česlicemi česle dělíme na: hrubé, střední a jemné. Jejich obsluha může být buď mechanická nebo manuální. Mechanická obsluha je v případě, kdy se jednotlivé části česlí posunují směrem nahoru a odpad padá na pás, který je

odvádí k dalšímu zpracování. Levnějším způsobem obsluhy je manuální způsob, kdy česle jsou čištěny pomocí lidské síly.

Pro svou správnou funkci se zpravidla zavádějí pod úhlem sklonu od 30 do 60° (Dohányos et al. 1995). Dalším důležitým prvkem je rychlost proudění, ta by se měla udržovat mezi 0,3 - 0,5 m.s<sup>-1</sup>, důvod je prostý, pokud bychom nechali vodu proudit pomaleji docházelo by k usazování písku na dně, pokud by voda naopak proudila rychleji mohly by se různé pevné nečistoty protlačit průlinami.



**Obr. 4** Česle ([www.bmto.cz/old/cistirny-odpadnich-vod/hrube-cesle-spodem-stiran.html](http://www.bmto.cz/old/cistirny-odpadnich-vod/hrube-cesle-spodem-stiran.html))

Síta jsou častokrát využívána jako náhrada jemných česlí nebo tvoří další stupeň čištění po česlích. Jejich funkce je stejná jako u česlí, také zachycují nerozpuštěné látky. Válce s oky jsou z části ponořeny do vody a svou rotací zachycují nečistoty, ty zůstávají v sítu, která se následně propírá. Síta se dělí podle velikosti ok na rotační makro síta a rotační síta.

### 5.1.2 Lapáky

Lapáky mají za úkol sedimentovat a zahušťovat za pomoci gravitačních sil a rozdílu hustot oddělovaných látek. Separace jemných částic je zdlouhavý proces

avšak nezbytný pro odpadní vody, díky němu lze zachytit a oddělit značnou část nečistot.

Nečistoty se z odpadních vod odstraňují různými typy lapáků:

Lapák šterku mají své využití především na větších čistírnách, které odvádí velké území. Lapáky šterku na ČOV nalezneme za česlemi. Jejich funkcí je odstranit hrubé nečistoty, které pronikly česlemi, patří sem například šterk, cihly a dlažební kostky, které přicházejí zejména s větším množstvím vody při přívalových deštích.

Lapák písku odpadní vodu zbavuje částic o velikosti od 0,1 až 0,2 mm (Mlejnská et al., 2009). Na čistírnu se písek dostává jako látka, která je sunuta po dně a je těžké jí zachytit předchozími způsoby. Malé částice nejsou ve vodě žádané nejen kvůli poškození strojů objektu čištění, ale i z důvodu následných čistírenských procesů jako je biologický stupeň čištění nebo kalové hospodářství. Písek, který se oddělí lapáky je potřeba pravidelně odstraňovat. Společně s pískem je častokrát odstraňován i tuk, který v tomto procesu díky zpomalení průtoku, tvoří tukové skvrny na hladině.

### **5.1.3 Usazovací nádrže**

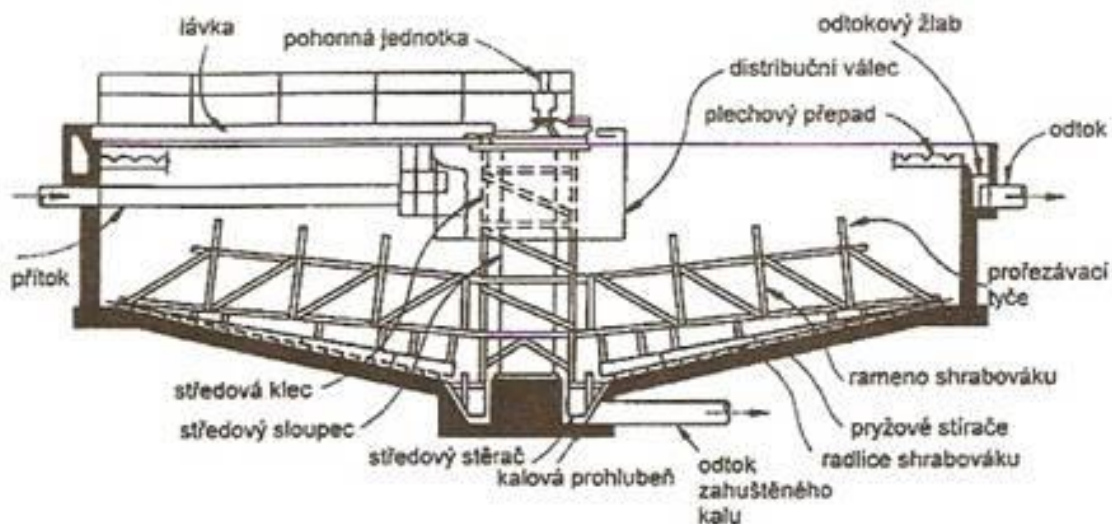
Usazovací nádrže slouží k separaci primárního organického znečištění. Jejich tvary jsou různé, především se využívá kruhový s vertikálním přítokem. V těchto nádržích je velmi mírný proud, což má za následek usazování nerozpuštěných látek na dně nádrže a oddělování plovoucích nečistot. Plovoucí nečistoty jsou z nádrží odstraňovány zařízením pro stírání hladiny. Z usazených nečistot na dně, které jsou odstraněny za pomoci shrabovacího zařízení, vzniká kal využívaný jako hodnotná energetická surovina. V některých případech je využit pro výrobu bioplyn.

### **5.1.4 Dosazovací nádrže**

Tyto nádrže na rozdíl od usazovacích mají větší hloubku z důvodu prodloužení doby zdržení, při které se vločky aktivovaného kalu separují od vyčištěné vody. Jinak jsou principiálně shodné s nádržemi usazovacími. Zde získaný zahuštěný kal se vrací zpět na začátek do aktivační nádrže.

### 5.1.5 Zahušťovací nádrže

Zahušťovací nádrže skladují a zhušťují po určitý čas kal. Jejich úkolem je co nejvíce zmenšit objem kalové suspenze pomocí vytlačení volné vody několika metodami (odstředováním, odvodňováním i lisováním). Zhušťování probíhá gravitačně, flotačně i strojně. Nádrž na gravitační zahušťování popisuje *obr. 5*. Skupenství kalu ovšem zůstává tekuté kvůli snazšímu transportu pomocí čerpadel. Tento zhuštěný kal se odčerpává z kónického dna.



**Obr. 5** Gravitační zahušťovací nádrž (Slavičková et Slaviček, 2013)

Kromě výše uvedených zařízení využívaných při mechanickém čištění odpadních vod, se na čistírnách odpadních vod objevují také lapáky tuků, zařízení na sběr olejů a ropných látek, jejichž úkolem je pomocí vztlakové síly a rozdílu hustot takzvaným vzplýváním oddělovat jednotlivé složky těchto nečistot z vody. Flotační a elektro flotační vany se využívají na flotaci, což je způsob při kterém jsou pevné složky oddělovány pomocí mikro bublin plynu a následně vynášeny na hladinu a odstraňovány. Filtrace je v ČOV zastoupena zařízeními jako pískové lože, jemná síta či kalolisy. Tato zařízení zachycují tuhé látky a podobně jako česle nebo lapáky písku zachytí jen částice, které jsou větší jak otvory, kterými voda protéká. Posledním procesem je proces, kde pomocí odstředivé síly opět oddělujeme tuhé látky, tento proces se nazývá centrifugace a využívají se k němu kontinuální odstředivky.

## **5.2 Biologický způsob čištění**

Procesy biologického čištění napodobují způsoby čištění vod probíhajících v přírodě, díky technologii kterou vlastníme, je ovšem můžeme značně urychlit. Substancí biologického čištění jsou aerobní biochemické procesy probíhající v biologickém reaktoru za pomoci biologické kultury mikroorganismů.

Mikroorganismy oxidují organické látky, což napomáhá k čištění odpadních vod. Mikroby tvoří funkční polykulturu složenou z plísní, bakterií, mikroskopických hub, kvasinek a fotosyntetické organizmy, dále zde nalezneme nálevníky, vířníky, améby a slunivky). Tato funkční polykultura se vyskytuje ve formách aktivovaného kalu nebo biofilmu.

### **5.2.1 Aerobní biologické čištění**

Aerobní fázi čištění je založena na principu biologických procesů probíhajících za pomoci aerobních mikroorganismů. Jak nám již název napovídá, pro správný chod těchto procesů je potřeba stálý přísun kyslíku do biologických reaktorů. Finálním produktem tohoto procesu, který je založen na principu mikroorganismů rozkládajících organické látky ve vodě, je oxid uhličitý, dusičnany, voda a především biomasa aktivovaného kalu. U průmyslových odpadních vod se častokrát nevyskytuje dusík a fosfor, které se musí do substrátu uměle dodávat, aby proces čištění fungovat tak jak má (Slavičková et Slaviček 2013).

### **5.2.2 Aktivační proces**

Aktivace neboli aktivační proces je dnes nejrozšířenější proces biologického čištění (Wanner et al., 2000) a zároveň nejstarším procesem kontinuální kultivace mikroorganismů v nesterilních podmínkách (Dohányos et al., 1998). Aktivace probíhá v aktivační nádrži, kde působí aktivační směs složená z odpadní vody a aktivovaného kalu. Pro správný průběh procesu je zapotřebí aktivační nádrž stále provzdušňovat. Poté co je aktivační kal nasycen, je následně oddělován z vyčištěné vody v dosazovací nádrži. Nasycený kal je opětovně uveden do oběhu jako vratný kal. Nově vzniklá biomasa je z procesu odstraňována jako přebytečný kal (Komínková et al., 2014).



### 5.2.2.1 Aktivovaný kal

Aktivovaný kal je mikrobiální polykultura, která vzniká intenzivním provzdušňováním splaškové vody (Pošta et al., 2005). Kvalita a množství aktivovaného kalu závisí na odpadní vodě, na které aktivovaný kal roste. Aktivovaný kal má vlastnost tvořit vločky, tyto vločky lze oddělovat od odpadní vody pouhým usazováním, což je důvodem, proč se tento kal v ČOV tak hojně využívá. Aktivovaný kal je schopen růst o 1 až 6% a po dobu 1 až 5 dnů.

Mikroorganismy tvořící aktivovaný kal lze dělit podle několika hledisek. První hledisko je jejich postavení v potravním řetězci. Zde rozdělujeme mikroorganismy na destruenty a konzumenty. Destruenti jsou v aktivovaném kalu zastoupeni ve většině, zhruba 95% a jejich funkcí je rozklad látek způsobujících znečištění v OV. Mezi destruenty řadíme bakterie, mikroskopické houby a sinice. Konzumenti v kalu zastupují zbylých 5%, kterým bakteriální a jiné organismy slouží jako substrát. Konzumenti tvoří mikrofauna jako protozoa (Bičíkovci, Nálevníci) a metazoa (Želvušky, Vířníci).

### 5.2.3 Odstraňování dusíku a fosforu

Zvýšení výskyt těchto prvků ve vypouštěných odpadních vodách sebou nese řadu negativních účinků a tím se stává nežádoucí. Mezi hlavní nežádoucí účinky patří:

- Eutrofizace – přebytek dusíku a fosforu umožňuje růst zelených řas a sinic, čímž zhoršuje kvalitu vod.
- Ztráta kyslíku v důsledku oxidace amoniaku, při vyšších hodnotách pH jsou poškozovány vodní organismy, na které amoniak toxicky působí

Při čištění se z odpadních vod se ve formě přebytečného kalu odvádí suspendované a rozpuštěné organické látky společně s dusíkem a fosforem. Dusík se vyskytuje v odpadní vodě ve formě rozpuštěného amoniaku a močoviny, fosfor ve formě rozpuštěných ortofosfátů, případně partikulovaného organického fosforu. Prvky jsou součástí organického podílu nerozpuštěných látek, která se odstraňují sedimentací (Slavíčková et Slavíček 2013).

### 5.2.3.1 Nitrifikace a denitrifikace

Nitrifikace a denitrifikace jsou biologické procesy, při kterých se z vod odstraňuje dusík. Nitrifikace je aerobní mikrobiální proces, kde je za pomoci biologického aerobního čištění dochází k oxidování amoniaku na dusičnany (Vybiralová, 2011). Tento proces probíhá ve dvou fázích. První fáze je oxidování amoniaku na dusitany za pomoci speciálních bakterií rodu *Nitrosomonas* a *Nitrosococcus* a druhá fáze je o oxidování dusitanů vzniklých z první fáze pomocí bakterií rodu *Nitrobacter* a *Nitrocystis* na dusičnany (Vybiralová 2011). Celý proces nitrifikace je ovlivňován faktory jako je koncentrace kyslíku v aktivační nádrži, hodnoty pH, teplota ovlivňující rychlost nitrifikace a stáří kalu (Vítěz et al., 2008).

Denitrifikace je proces, při kterém se redukují dusičnany a dusitany na oxid dusný a především plynný dusík v prostředí bez molekulárního kyslíku (Vybiralová 2011). Celý proces je založen na chemoorganotrofních aerobních bakteriích využívajících molekulární kyslík na rozklad organických látek, v případě, že těmto bakteriím nedodáme molekulární kyslík, začnou využívat jako náhradu dusitany a dusičnany. Stejně jako u nitrifikace se jedná o dvoufázový proces. V první fázi se redukují dusičnany na dusitany a druhá fáze redukuje díle na dusík resp. oxid dusný.

### 5.2.3.2 Chemické srážení fosforu

Fosfor se z vod odstraňuje kvůli velkému vlivu na eutrofizaci. Metody odstraňování fosforu z odpadních vod jsou chemické nebo biologické.

Chemické srážení fosforu je proces, při kterém za pomoci železitých, železnatých nebo hlinitých solí, popřípadě vápna vysrážíme rozpuštěný fosfor. Vápno se využívá jen ojediněle a to z důvodu, že zvyšuje pH aktivační směsi a po jeho použití se musí nastat neutralizace. Chemické srážení lze aplikovat v primárním sekundárním či terciálním stupni čištění. Srážecí proces obsahuje čtyři části a to (Slavičková et Slaviček, 2013):

- 1) dávkování srážecího činidla, při kterém je potřeba vodu, do které se činidlo aplikuje intenzivně rozmíchávat,
- 2) srážení fosfátu a vznik malých vloček,
- 3) koagulace a flokulace vloček
- 4) separace vloček

### **5.2.3.3 Biologické odstraňování fosforu**

Biologické odstraňování fosforu je proces zvyšující akumulaci fosforu do buněk za pomoci bakterií z rodu *Acinetobacter* (Slavičková et Slaviček 2013). Aktivovaný kal z obvyklých čistíren obsahuje v sušině přibližně 2% fosforu. Kal však obsahuje ve svém společenstvu i bakterie schopné zvýšit akumulaci fosforu do buněk a to až na 9-10% v sušině (Slavičková et Slaviček 2013). Tyto bakterie označujeme jako poly-P. Buňky poly-P bakterií nevážou na sebe fosfor některak pevně a tudíž se s nich může snadno uvolnit. Tomuto procesu uvolňování lze zabránit zkrácením doby, po kterou je aktivační kal v dosazovací nádrži (Slavičková et Slaviček 2013).

### **5.2.4 Biofilmové reaktory**

Čištění odpadních vod v biologickém reaktoru je principiálně shodný s čištěním aktivací. Biofilmové reaktory pro proces čištění stejně jako aktivace používají tři základní faktory, kterými jsou aerobní mikroorganismy, které využívají kyslík na rozklad organické hmoty. Zásadní rozdíl mezi těmito procesy je, že u biologických reaktorů se na pevných nosičích vytváří biologická blána (biofilm), zatímco v aktivaci se kultura udržuje ve vznosu.

## **5.3 Terciální stupeň čištění**

Vodoprávní orgán v některých lokalitách dle zákona požaduje spolehlivější kvalitu odtoku do recipientu, v těchto případech se musí již biologicky vyčištěná voda dočišťovat. Ve většině případů se důkladněji odstraňují zbytkové látky jako je fosfor, dusík nebo rozpuštěné organické látky. Na terciální stupeň čištění se dá používat celá řada technologií, avšak nejrozšířenější technologií se stala filtrace přes aktivní uhlí.

Trendem dnešní doby je dezinfekce odpadních vod. Důvodem je ochrana kvality vody v koupacích zónách, využívání vod a v neposlední řadě ochrana zdrojů s pitnou vodou. Nejčastěji používané metody pro dezinfekci vod jsou chlorace, ozonizace a dezinfekce UV zářením (Slavičková et Slaviček 2013).

### 5.3.1 Chemický a fyzikálně chemický způsob čištění

Průmyslové odpadní vody obsahují velkou škálu znečišťujících látek, na rozdíl od městských odpadních vod se liší kvalitou i kvantitou. Vlastnosti těchto průmyslových vod nám udávají způsoby jejich čištění, které je vedle klasických postupů jako například sedimentace a biologické procesy doplňují i další specifické způsoby.

Mezi hlavní metody čištění těchto vod řadíme sedimentaci, filtraci, číření, neutralizaci, oxidaci a redukci (Pošta et al., 2015).

Číření, do kterého řadíme metodu srážecí a koagulační, odbourává fosfor i fyzikálně organické látky a tím zkvalitňuje separační vlastnosti aktivovaného a přebytečného kalu. Jako koagulát se používají železité a hlinité soli, ve výjimečných případech vápno (Pošta et al., 2015).

Koagulace patří k nejvyžívanějším způsobům čištění odpadních vod, má za cíl separovat jemné suspenze a koloidní částice z vod. (Polasek et al., 1995). Celý proces je založen na dávkování roztoku hydrolyzujících solí – koagulátů.

#### 5.3.1.1 Koagulant

Koagulanty nejčastěji tvoří trojmocné soli železa a hliníku viz *Tabulka 3*. Cílem celé koagulace je vytvoření vloček, které lze získat tím, že na částicích hydroxidu se pohlcují ionty a ty následně částice koagulují a začínají se vytvářet vločky, které lze oddělovat sedimentací ve vločkovém mraku nebo filtrací.

**Tab. 3** Koagulanty (Komínková et al., 2014 )

KOAGULANTY			
NA BÁZI HLINÍKU		NA BÁZI ŽELEZA	
Síran hlinitý	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	Síran železitý	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
Chlorid hlinitý	$\text{AlCl}_3$	Chlorid železitý bezvodý	$\text{FeCl}_3$
Hlinitan sodný	$\text{NaAlO}_2$	Chlorid železitý hexydehydrát	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Hlinité polymery	Komplexy $Al_6(OH)_{12}^{6+}$ až $Al_{54}(OH)_{144}^{8+}$	Chlorovaný síran železnatý	$FeClSO_4 \cdot 6H_2O$
		Síran železnatý	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$

Dávkování koagulátu probíhá pomocí dávkovacích čerpadel. Tato čerpadla umožňují měnit nastavené dávky podle potřeby. Koagulační čerpadla mohou být plně zautomatizována nebo být používána s pomocí člověka.

## 5.4 Kalové hospodářství

Kal je nevyhnutelným odpadním produktem vznikající při čištění odpadních vod. Kalové hospodářství má za úkol zpracovat kal takovým způsobem, aby zabránil jeho dopadům na životní prostředí i lidské zdraví. To je i důvodem proč náklady na zpracování kalu převyšují až 50% provozních nákladů čistíren odpadních vod.

Práce s kalem by měla být přijatelná pro životní prostředí, udržitelná a ekonomicky únosná, což nebylo vždy pravdou. Do konce roku 1998 se v zemích s přístupem k moři ukládaly tyto kaly do moře, v ostatních zemích se kaly ukládaly na uložistiše jim určená, což bylo posléze zakázáno a dnes kalové hospodářství plně reguluje odpadová politika EU, která se snaží o minimalizaci jejich vzniku a následnou recyklaci.

### 5.4.1 Charakteristika kalů

Podstatnou část kalu tvoří voda, který určuje jeho objemové množství. Vodu z kalu separujeme vyhníváním, čímž nám vzniká sušina. Složení sušiny je dále ovlivněno i tím, jak je odpadní voda znečištěna a na tom, jak kvalitními čistírenskými procesy prošla (Groda et Vítěz, 2008).

Kaly lze rozlišovat podle jejich složení a způsobu vzniku na kaly primární, biologické a chemické:

- Primární kal pochází z usazovacích nádrží primární sedimentace. Množství tohoto kalu je přímo úměrné nerozpuštěným látkám přitékajícím na čistírnu. V tomto kalu nalezneme 2 až 5% sušiny (Groda et Vítěz 2008).
- Sekundární kal, jinak nazýván přebytečný biologický kal, je kalem z aktivačního procesu. Přebytečný aktivovaný kal je skupina organických látek v odpadních

vodách přitékajících do aktivace a vyprodukované biomasy. V tomto kalu nalezneme 0,5 až 1,5% sušiny (Groda et Vítěz 2008).

- Terciální neboli chemický kal vzniká při chemickém srážení nebo při dočišťování odtoku.

#### **5.4.2 Nakládání s kaly**

Způsoby, jakými bude s kaly nakládáno a jak budou dále zpracovávány, závisí na fyzikálních, chemických i biologických vlastnostech kalů. Je zde několik možností, kterými lze kaly zpracovávat (Vyhláška č. 382/2001 Sb.). První metodou je využití v zemědělství na rekultivaci. Druhým způsobem je termické zpracování, což jsou různé způsoby spalování a pyrolýza. Posledním způsobem je uložení kalu na skládku.

### **6. Přírodě blízké způsoby čištění odpadních vod**

Přírodní způsoby čištění se v posledních padesáti letech velmi rozrůstají, proto je potřeba se jim věnovat blíže. Jak už jste se dočetli v předchozích kapitolách, způsobů čištění odpadních vod je nespočet. Tyto metody čištění lze dále rozdělit na dvě velké skupiny. První skupinou jsou intenzivní způsoby čištění odpadních vod, jinak nazývané mechanicko-biologické procesy, druhou skupinou jsou extenzivní způsoby čištění, kam řadíme přírodní a přírodě blízké způsoby čištění odpadních vod. Na rozdíl od intenzivních způsobů čištění, extenzivní způsoby nepotřebují neustálý přísun energie a nejsou náročné na údržbu ani obsluhu (Pošta et al., 2015).

#### **6.1 Drenážní podmok**

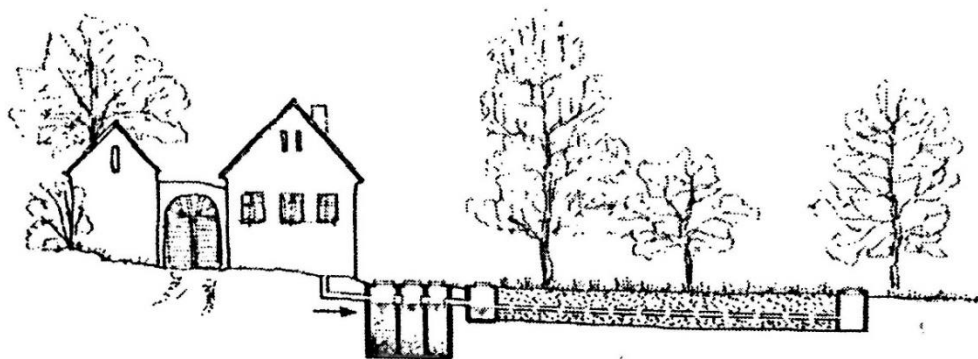
Drenážní systém je způsob zneškodňování odpadních vod a odvádění vod dešťových za pomoci podpovrchové závlahy mechanicky předčištěnými splaškovými vodami (Pošta et al., 2015).

Technologie drenážního podmoku řeší problematiku připojování na veřejnou splaškovou či dešťovou kanalizaci. V některých obcích není možné se na tento veřejný systém napojit a občanům nezůstává jiná možnost, než zneškodňovat odpadní vody po svém. Schéma drenážního podmoku na *obrázku 6*.

Výstavba drenážních podmoků má svá striktní kritéria a nelze využít v každém terénu.

Podmínky pro výstavbu jsou následující (Pošta et al., 2015):

- hladina podzemní vody musí být v hloubce větší než 1,2 m pod úrovní terénu, důvodem je prosakování a znečištění této vody.
- V okolí podmoku se nenachází žádný zdroj pitné vody, jehož kvalita by byla ohrožena.



**Obr. 6** Domovní sestava septik + drenážní podmok (Pošta et al., 2015)

Zařízení je složeno z předčišťovacího septiku, rovnoramenných šachet a vsakovací drenáže. Drenáž se skládá z ramen, která by neměla přesáhnout délku 30 metrů. Drenáž se vsazuje do hloubky několika decimetrů (tzv. kořenové hloubky) která má za úkol chránit před promrzáním.

Drenážní podmoky díky své hloubce uložení pod zemí neubírají na povrchu k možnosti obdělávání, a mají výborné výsledky v odbourávání nerozpuštěných látek a znečištění vyjádřeného jako BSK<sub>5</sub>. Nerozpuštěné látky a BSK<sub>5</sub> separují z 95 až 99%.

## 6.2 Stabilizační nádrže

Stabilizační nádrže nebo také biologické nádrže jsou složeny ze speciálních malých účelových nádrží, jejichž funkcí je čištění i dočišťování. Biologické nádrže jsou složeny z hrubého předčištění, mechanického stupně čištění a ze soustavy stabilizačních nádrží (Pošta et al., 2015).

Nevhodná aplikace těchto čistíren je pro vysoce organicky znečištěné odpadní vody, vody s vysokým pH a toxické odpadní vody. Tento způsob čištění nalezne své využití v obcích do 500 obyvatel (Pošta et al., 2005).

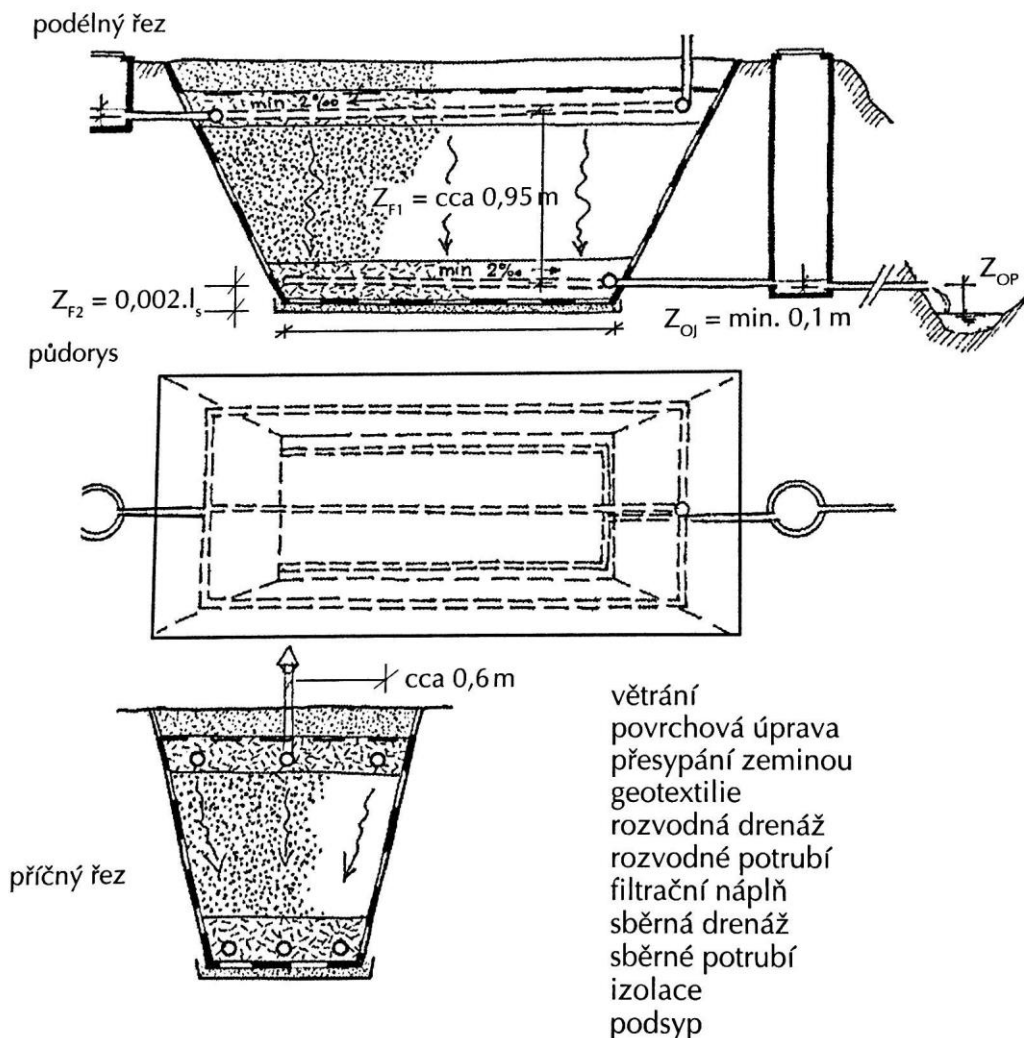
Stabilizační nádrž v terénu nalezneme v různých tvarech od pravidelných po nepravidelné, zpravidla se ovšem všechny mělké a dočišťují odpadní vody převážně přírodními způsoby. V obcích je často vyskytují ve starých rybnících nebo terénních sníženinách (Pošta et al., 2015).

Mezi jejich přednosti patří energetická nezávislost, minimální potřeba lidské obsluhy a práce a krajinná i vodohospodářská využitelnost v mnoha směrech. Nevýhody stabilizačních nádrží jsou velké nároky na plochu a povětrnostní podmínky, což způsobuje nestálé výsledky, nespolehlivost a nemožnost technologického ovládní.

### **6.3 Zemní filtry**

Zemní filtr je těleso, funkce spočívá v procesech odstraňujících znečištění za pomoci porézního prostředí zeminy či podobného materiálu. Schéma zemního filtru na *obr. 7*. Základní filtrační náplň je písek, horní a dolní část zemního filtru je tvořena kamením a hrubým štěrkem pro rozvod a sběr vody. Nejdůležitějším činidlem jsou zde společenstva mikroorganismů, nalezneme je na povrchu náplně filtru, jejichž funkcí je rozklad organického znečištění vody.





**Obr. 7** Schéma zemního filtru (Mlejnská et al., 2009)

Těleso filtru nalezneme v zemi v jámě, která je od okolního prostředí oddělena nepropustnou izolací. Nedílnou součástí tohoto zařízení je i revizní šachta umístěná při odtoku, jejíž funkce je odvětrávací a zároveň umožňuje odběr vzorků potřebných pro zjištění kvality čištění. Přístup kyslíku do filtru je žádoucí kvůli mikroorganismům a jejich životním podmínkám.

Díky schopnosti splynutí s okolním prostředím nalezne vhodné využití v domovních zařízeních, v menších počtech potom i jako centralizované čistící zařízení (Mlejnská et al., 2009). Stejně jako u čistíren se stabilizačními nádržemi nejsou zemní filtry závislé na dodávce energie a jsou nenáročné na obsluhu. Voda vycházející z těchto zařízení má srovnatelnou kvalitu s vypouštěnou vodou z mechanicko-biologické čistírny. Vodu tedy můžeme vypouštět rovnou do vodních toků nebo

využívat na zalévání. Podle zvoleného druhu filtračního lože můžeme dosáhnout až 90% odstranění BSK<sub>5</sub> a 85% odstranění NL (Tab. 4).

**Tab. 4** Účinnost čištění podle druhu filtračního lože (Mlejnská et al., 2009)

Druh filtračního lože	funkce zemního filtru	účinnost čištění (%)	
		BKS <sub>5</sub>	NL
jemnozrné	čištění	90	85
hrubozrné	čištění	85	80
jemnozrné	dočišťování	80	75
hrubozrné	dočišťování	75	70

Nevýhody nesoucí zemní filtry, stejně jako u všech přírodních způsobů čištění, jsou náročnost na plochu. Tyto filtry ovšem potřebují ještě specifický spád a to přibližně kolem jednoho metru, aby zde mohla odpadní voda protékat sestupně. (Šálek et al., 2008).

#### 6.4 Kořenové čistírny odpadních vod

Kořenové čistírny odpadních vod (KČOV), nazývané též vegetační kořenové čistírny řadíme mezi extenzivní způsoby čištění odpadních vod. Jsou to uměle budované mokřady osazené mokřadní vegetací využívající přírodní princip půdní filtrace (Rozkošný et al., 2010).

Velmi důležitý prvek při čištění odpadních vod v kořenových čistírnách je mechanické předčištění odpadních vod, k čemuž nám napomáhají různé nádrže. Tyto prostředky předčištění se liší podle zdroje znečištění na septiky, sedimentační nádrže a šterbinové nádrže s česlemi. Septik nebo sedimentační nádrž nám slouží k mechanickému předčištění nejmenšího zdroje znečištění (cca 50 EO), zatímco kombinace česlí a šterbinové nádrže se využívány při větších zdrojích znečištění (Vymazal 1995).

#### 6.4.1 Kořenové čistírny odpadních vod v České republice

KČOV jsou velmi oblíbené a nejvíce rozšířené způsoby přírodního čištění OV v České republice. Mezi lety 1987 až 2008 jich bylo postaveno cca 250 a své využití naleznou při čištění odpadních vod v malých obcích v rozmezí od 100 – 150 EO (Vymazal 2008). A dle dat od Vymazala (2009) plyne, že počet KČOV v ČR stále roste. V České republice byla první kompletní kořenová čistírna postavena až v roce 1991 (Vymazal 1993).

Obec Osová Bítýška se pyšní největší KČOV v České republice a nejstarší KČOV na Moravě. Tato čistírna byla vybudována v roce 1993 a je navržena pro 1 000 EO. KČOV v Osové Bítýšce ,stejně jako většina KČOV v ČR, čistí především splaškové vody a dešťové splachy, které se na čistírnu dostanou jednotnou kanalizací.

Kořenové čistírny ovšem nemusí čistit výhradně jen splaškovou vodu, dobré využití mají i při čištění různých druhů průmyslových odpadních vod i odpadních vod z kravínů, vepřínů a drůbežáren (Šálek et al., 2008).

Většina KČOV u nás je navrhována jako domovní čistírny pro méně než 20 EO a čistírny pro malé obce v rozmezí 101 až 500 EO (Vymazal 2009).

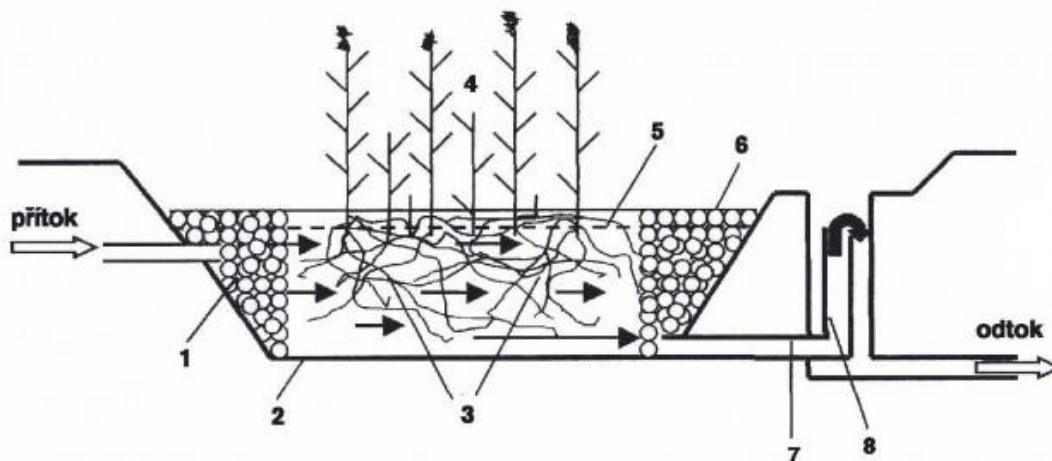
#### 6.4.2 Popis

Jedná se o čistírny fungující na principu mokřadů. Mokřady jsou zde uměle vybudovány a velmi důležitou roli zde hraje mokřadní vegetace. Přírodní způsoby čištění OV v KČOV jsou založeny na mechanických, fyzikálně-chemických a biologických procesech, probíhajících ve filtrační vrstvě za spolupůsobení již výše zmíněných rostlin ( Hyánek et Bodík 2002). Procesy které zde probíhají odpovídají charakterem a rychlostí procesům pozorovatelným na přirozených mokřadních a vodních biotopech (Mlejnská et al., 2009). Základní princip čištění odpadních vod je filtrací přes kořenové pole. Nejčastěji se setkáme s mělkou nádrží s filtrační náplní v podobě štěrku různých frakcí a osazenou vegetací (Mlejnská et al., 2009).

Vegetační čistírny lze dělit do dvou základních skupin (Sojka 2013):

- s horizontálním prouděním
- s vertikálním prouděním

Nejrozšířenějším způsobem kořenových čistíren v ČR je návrh s horizontálním povrchového průtokem (Cheng 2003) (*obr.8*) a vhodným mechanickým předčištěním v podobě česlí, lapáků písku, usazovacích nádrží nebo septiku.



**Obr. 8** Kořenová čistírna s horizontálním prouděním (Vymazal, 2004)

1 – distribuční zóna (kamenivo, 50 – 200 mm), 2 – nepropustná bariéra (PE nebo PVC), 3 – filtrační materiál (kačírek, šterk, rozdrčené kamenivo), 4 – vegetace, 5 – výška vodní hladiny kořenovém loži, nastavitelná v odtokové šachtě, 6 – odtoková zóna (shodná s distribuční zónou), 7 – sběrná drenáž, 8 – regulace výšky hladiny

### 6.4.3 Použití

Velmi vhodné uplatnění naleznou kořenové čistírny zejména při přerušovaném provozu zdroje odpadních vod (rekreační objekty, chalupy, letní tábory), při velkém kolísání koncentrace a množství odpadních vod a při přítoku zředěných odpadních vod, např. z jednotné kanalizace (Rozkošný et al., 2010).

Výhodou KČOV na rozdíl od strojních čistíren je, že její provoz není závislý na elektrické energii a při případném přerušení nátoky se nemusí přírodní čistírna zapracovávat do provozu. Proces čištění zde probíhá celoročně, takže mikroorganismy čistící vodu zde žijí stále, zatímco u strojních čistíren při delší odstavce je potřeba do čistícího přidat naočkovaný kal z jiné čistírny. Další rozdíly mezi strojními a kořenovými čistírnami v *Tabulce 5*.

**Tab. 5.** Porovnání strojních a kořenových ČOV z hlediska environmentální příznivosti ( Rozkošný et al., 2010)

<b>Kořenová čistírna</b>	<b>Strojní čistírna</b>
chod nezávislý na elektrické energii	spotřeba elektrické energie
větší nároky na plochu	menší nároky na plochu
bez problémů funguje v případě přerušovaného užívání, při velkém naředění vod i při kolísání zatížení	při delším neužívání je nutné čistírnu opět zpracovat - nové naočkování kalu
může se stát esteticky zajímavým objektem	
útočiště řady živočichů	

#### 6.4.4 Návrh KČOV

Vzhledem k tomu, že se jedná o vodohospodářské dílo musíme dodržovat stanovená pravidla. Návrhové parametry KČOV jsou velmi stručně zahrnuta v normě ČNS 75 6402 (kategorie ČOV do 500 EO), to však pro samotnou výstavbu nestačí.

Základem návrhu KČOV je kvalitně vypracovaná projekt počítající s potřebnou plochou. Plocha však není jediným důležitým parametrem, mezi další řadíme počet obyvatel, specifickou produkci odpadních vod, objem odpadních a balastních vod, zatížení teoretické a složení odpadní vody, doba zdržení na jednotlivých čistírenských stupních, hydraulická vodivost filtračního materiálu a určení koeficientu rychlosti odstranění znečištění (Mlejnská et al., 2009). V neposlední řadě je velmi důležitá i provozní spolehlivost a snadné ovládání.

#### 6.4.5 Konstrukční řešení

V současné době jsou v České republice takřka všechny KČOV navrhovány s horizontálním průtokem (Cheng 2003), zaměříme se tedy pouze na tento typ (podrobně rozebraný na *obr 7*).

Základem pro stavbu je vytvoření zemní jímky. Stěny i dno jímky je potřeba řádně zhutnit aby nedocházelo k dodatečným deformacím. Pokud již máme takto vybudovanou a zhutněnou jímku, dalším krokem je umístění ochranného podsypu nebo geotextilie, která nám zabráni poškození další vrstvy. Následuje hydroizolační fólie u menších polí volíme PVC 803 o tloušťce 1 mm, u větších filtračních polí PE-H tloušťky 1,5 až 2 mm (Rozkošný et al., 2010). Hydroizolační fólii je třeba umístit tak, aby její okraje převyšovali provozní hladinu. Takto nataženou fólii opět překryjeme geotextilií pro lepší ochranu a vysypáváme náplň.

Náplň vsypaná na dno jímky tvoří filtrační lóže. Substrát, která je zde použit musí splňovat dvě hlavní podmínky – dostatečnou propustnost, aby nedocházelo k ucpávání a následnému povrchovému odtoku, a musí umožnit růst mokřadní vegetace (Vymazal 1995).

Jako nejlepší filtrační substrát se doporučují plavené říční štěrkopísky s oválnými zrny, převážně křemičitého původu, drcené lomové kamenivo. Pro rozvodné a sběrné zóny se nejčastěji používá makadam (Rozkošný et al., 2010).

Vsypaný filtrační substrát se zaplaví a podle hladiny vody vodorovně zarovná. Tento krok je nezbytný, aby nevznikala místa kde je substrát nad hladinou vody, což přispívá růstu nežádoucích plevelů.

Filtrační substrát se osazuje makrofyty. Sazenice makrofyt se rozmisťují v počtu 4 – 6 jedinců na 1 m<sup>2</sup> (Mlejnská et al., 2009).

#### 6.4.6 Stanovení plochy a délky filtračního pole

Orientačně používaná průměrná navrhovaná plocha kořenových ČOV je v České republice 5,7 m<sup>2</sup>/EO (Zavadil 2000). Plocha se mění podle požadované kvality čištění. V literatuře se však názory na plochu filtračních polí velmi rozcházejí a některé zdroje udávají plochu téměř dvojnásobnou (Just 1999). Z poznatků VÚV

TGM Praha vychází pro 70 % účinek čištění ve vegetační části (v BSK<sub>5</sub>) je potřebná plocha 7 m<sup>2</sup> na obyvatele, pro 80% účinek 9,6 m<sup>2</sup> (Pošta et al., 2005).

Potřebnou plochu kořenové pole lze vypočítat podle následující rovnice (Watson a Hobson 1989):

$$A = Q_d ( \ln C_o - \ln C ) / K_{BSK}$$

Kde: A ... plocha kořenového pole (m<sup>2</sup>)

Q<sub>d</sub>... průměrný denní průtok (m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>)

C<sub>o</sub>... koncentrace BSK<sub>5</sub> na přítoku (mg l<sup>-1</sup>)

C ... koncentrace BSK<sub>5</sub> na odtoku (mg l<sup>-1</sup>)

K<sub>BSK</sub> .. reakční konstanta (m d<sup>-1</sup>)

Nutné vzít v potaz, že plocha vypočtena touto rovnicí je dostačující pouze pro žádané snížení koncentrace BSK<sub>5</sub> i pro dostatečné snížení koncentrace nerozpuštěných látek. V případě potřeby odstraňování dalších látek, např. živin, je potřeba zvolit větší plochu (Vymazal 1995).

Nejenom plocha, ale i délka/šířka jsou důležitým parametrem při návrhu KČOV.

Udává se, že poměr stran kořenových polí - délka/šířka – by měl být v rozmezí 0,4 až 3 (Reed 1993). V dnešní době se více setkáváme s poměrem stran kořenových polí 0,4 až 1, důvodem je rozvod odpadní vody do co nejširšího profilu, aby nedocházelo k lokálnímu přetížení. (Mlejnská et al., 2009). K zabránění lokálního přetížení i problémům s ním spojeným, napomáhá i nátoková hrana. Délka nátokové hrany se uvádí v rozmezí 0,17-0,40 m/EO (Reed 1993).

Dalším důležitým prvkem je šířka samotného kořenového pole doporučována kolem 25 m (Vymazal 1995). Pokud danou délku přesáhneme, mohou nastat problémy v podobě špatné hydraulice systému, ztrátových proudů i snížení kvality čištění (Hudcová 2012). Při potřebě větší plochy kořenových polí je vhodné navrhnout více kořenových polí na sebe napojené, než přesáhnout doporučenou šířku 25 m.

## 6.4.7 Čistící procesy v kořenových čistírnách

Přirozené procesy tvoří základ všech čistících procesů probíhajících v kořenových čistírnách. Přírodní procesy odstraňují organické znečištění, živiny i škodlivé látky z vody, jsou založeny na řízeném průtoku předčištěné odpadní vody umělým mokřadem osazeným bažinatými rostlinami. Cílem čistících procesů je dosáhnout co nejdokonalejšího vyčištění OV. Aby byl tento cíl dosažen podílejí se na čištění odpadních vod fyzikální, chemické i biologické procesy podrobněji rozebrané v *Tabulce 6*.

**Tabulka 6.** Mechanismy uplatňující se při čištění odpadních vod v umělých mokřadech (Stowell et al., 1981). \*P-Primární, S-Sekundární, V- vedlejší; \*\*UNL-usaditelné nerozp. látky, KL-koloidní látky, TK-těžké kovy, TROL- těžce rozložitelné org. látky, B+V-bakterie a viry, N-dusík, P-fosfor

Mechanismy	Účinek*	Odstraňované látky **	Způsob odstraňování
<b>Fyzikální</b>			
sedimentace	P S V	UNL KL BSK, N, P, TK, TROL, B+V	gravitační usazování
filtrace	S	UNL, KL	mechanická filtrace při průchodu odp. vody zeminou a kořeny
adsorbce	S	KL	van der Waalsovy síly
těkání	S	N	těkání NH <sub>3</sub> z odpadní vody
<b>Chemické</b>			
srážení	P	P,TK	srážení nerozp. Sloučenin
adsorpce	P S	P,TK TROL	adsorpce na povrchu zemního materiálu a rostlin
rozklad	P	TROL, B+V	rozklad a změny méně stabilních látek působením UV záření, oxidace a redukce
<b>Biologické</b>			
bakteriální metabolismus <sup>x</sup>	P	KL, BSK, N, TROL	odstraňování uvedených látek suspendovanými, bentickými a epifytickými bakteriemi; bakteriální nitrifikace/denitrifikace
rostlinný metabolismus <sup>x</sup>	S	TROL, B+V	příjem a využití org. látek rostlinami; exkrety kořenů mohou být toxické pro organismy enterického původu
rostlinná adsorpce	S	N, P, TK, TROL	za určitých podmínek jsou významná množství těchto látek přijímána rostlinami
přirozený úhyn	P	B+V	přirozený úhyn organismů v nevýhodných podmínkách

<sup>x</sup> Výraz metabolismus zahrnuje jak biosyntézu, tak katabolický rozklad



## 6.4.8 Rostliny kořenových čistíren

Mokřadní vegetace je nedílnou součástí filtračních polí kořenových čistíren. Rostliny zde plní důležité funkce, například transport kyslíku do filtračního lóže, tvorba substrátu pro růst různých druhů bakterií vázaných na podzemní části rostlin, zateplují povrch kořenové čistírny, kořeny vylučují látky s baktericidními účinky a v neposlední řadě plní funkci estetickou (Vymazal 1995).

Nejvíce vysazovanou mokřadní rostlinou v Evropě je rákos obecný (*Phragmites australis*) (Hammer 1989). Mezi další vhodné a hojně využívané druhy patří chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*), orobinec úzkolistý a širokolistý (*Typha angustifolia*, *Typha latifolia*), zblochan vodní (*Glyceria maxima*) a kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*) (Žáková 2009).

### 6.4.8.1 Přehled nejčastěji používaných rostlin

**Rákos obecný (*Phragmites australis*)** (obr. 9) se stal nejvíce využívanou rostlinou díky své schopnosti mohutného růstu podzemních částí (kořenu a oddenků) do hloubky až 60-70 cm. (Šálek et al., 2008). Rákos je vytrvalá tráva v našich podmínkách dosahující délky až 4 metry, což ji řadí mezi naše nejvyšší trávy. V optimálnějších teplejších oblastech dorůstá až 6 metrů (Stephenson et al, 1980).

Patří k nejproduktivnějším mokřadním bylinám, za rok vyprodukuje 2-4 kg suché nadzemní biomasy na 1 m<sup>2</sup> (Čížková et al., 2004). Je dobrým transportérem kyslíku do substrátu a poutá velké množství živin. Rákos snáší široké rozmezí teplot od 12 do 23°C i široké rozmezí pH (3 až 8) (Májovský a Krejča, 1982).

**Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*)** (obr. 10) je vytrvalou bylinou dorůstající do výšky až 3 metry (Mlejnská et al., 2009) a hloubky 0,2 až 0,3 m (Šálek et al., 2008). Tvoří mohutný kořenový systém propletený oddenky.

Je tolerantní k promrznání i ke znečištění, rozmezí optimálního pH je však velmi úzké (6,1-7,5) (Mlejnská et al., 2009). Na jaře vytváří biomasu, která je vhodná jako píce pro dobytek. Lze ji kosit dva- až třikrát ročně. Kvete od června do srpna (Žáková 2009).

**Orobinec úzkolistý a širokolistý (*Typha angustifolia*, *Typha latifolia*)** (obr. 11) dosahuje výšky až 4 m (Vymazal 1995). Zakořenění je mělké, avšak oddenky se rozrůstají horizontálně v povrchových vrstvách substrátu, kde vytvářejí hustou spleť výhonků, dlouhých 0,6 až 1 m. Jsou velmi agresivní rostliny, silné v konkurenčním boji (Šálek et al., 2008).

Své uplatnění najde při čištění odpadních vod s vysokým obsahem organických látek. Není náročný na pH (4-10) a daří se mu i v širokém rozmezí teplot od 10 do 30°C. Díky širokému koncentračnímu rozpětí znečištění i pH je využíván pro umělé mokřady, které čistí kyselé drenážní vody s pH 2,0 (Hammer 1989).

**Zblochan vodní (*Glyceria maxima*)** je mohutná vytrvalá rostlina, dosahující výšky až 3 m (obr. 12). Zakořeňuje plazivými oddenky, které prorůstají do velké hloubky. Dobře snáší zaplavení do 50 cm (Májovský et Krejča 1982). Nejvíce se mu daří v mělkých vodách s hloubkou 0,2 až 0,3 m, může proniknout i do hloubky 0,5 m. Má dlouhé vegetační období a při mírných zimách svou vegetaci téměř nepřerušuje (Šálek et al. 2008).

**Kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*)** je vytrvalá dekorativní rostlina, charakteristická žlutými květy, dorůstající výšky 0,5 – 1,5 m (obr. 13) (Žáková 2009). Zakořeňuje do hloubky 0,1 – 0,2 m, výjimečně 0,3 m. Nejčastěji ji nalezneme na okrajích rybníků, bažinách, březích stojatých i tekoucích vod, tůních i vlhkých příkopech (Šálek et al. 2008).



**Obr. 9** Rákos obecný (*Phragmites australis*)  
Foto O. Zicha



**Obr. 10** Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*) (Mlejnská et al., 2009)



**Obr. 11** Orobinec širokolistý (*Typha latifolia*)  
([www.kvetena.com/orobincovite.html](http://www.kvetena.com/orobincovite.html))



**Obr. 12** Zblochan vodní (*Glyceria maxima*)  
Foto O. Zicha



**Obr. 13** Kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*) ([www.ekozahrady.com/korenova\\_cistirna.htm](http://www.ekozahrady.com/korenova_cistirna.htm))

#### **6.4.9 Péče o vegetaci kořenových polí**

Údržba a péče mokřadní vegetace je doposud nejasnou otázkou, zejména pak sklizení nadzemní biomasy. V praxi se nejčastěji setkáváme s KČOV, které jsou uloženy mírně pod úroveň okolního terénu, důvodem je nesklizení vegetace z kořenových polí. Uložení pod úroveň terénu nám do budoucna umožňuje „zazemnění“ výškového rozdílu rozkládající se biomasou rostlin. (Mlejnská et al., 2009).

Některé KČOV se na podzim kosí, biomasa je ponechána na povrchu filtračních polí a odstraněna na jaře příštího roku. Pokusy zaměřující se na odstraňování množství živin, sekáním nadzemní biomasy, ukázali, že s množstvím přiváděných živin je toto množství prakticky zanedbatelné a většinou se pohybuje mezi 2 až 6 % (Mlejnská et al., 2009).

V České republice je nejběžnějším způsobem údržby kosení rostlin na konci zimního období vzhledem k tomu, že v našich klimatických podmínkách je velmi důležité zateplování povrchu filtračních polí. (Mlejnská et al. 2009).

Pokud si čistírnu osadíme okrasnou vegetací je potřeba se údržbě věnovat zahradnickým způsobem (Mlejnská et al., 2009).

Další téma k diskuzi jsou plevele na filtračních polích, zde se literatura také rozchází. Prvním pohledem je ohrožení vegetace kořenových polí okolní vegetací a tudíž zamezení průniku plevelů (rostlin z okolí, které nebyli účelně vysázeny) do filtračního pole (Mlejnská et al. 2009). Druhým pohledem je pozitivní vliv plevelů na zateplování povrchu či tvorby prostředí pro růst bakterií (Vymazal 1995).

Otázkou tedy zůstává, zda plevele huby nebo ponechat. Na čem se ale oba autoři shodují je technika eliminace plevelů. Růst plevelných rostlin potlačíme dočasným zaplavením povrchu na 2-3 týdny v jarním období (Vymazal 1995, Mlejnská et al. 2009). Provozní zkušenosti ukazují, že plevele, které se na povrchu KČOV usadí jsou v průběhu roku úspěšně vytlačeny dobře zakořeněným rákosem, chrasticí, zblochanem i orobincem. Výskyt plevelů je tedy omezen pouze na okrajové části filtračního lóže (Brix et Schierup 1986).

#### **6.4.10 Náklady na výstavbu a provoz**

Jak je zmiňováno již v kapitole Návrh KČOV, jedná se o vodohospodářské dílo a tudíž při výstavbě musíme postupovat podle předem daných pravidel a vycházet ze stavebního projektu.

Vzhledem k tomu, že KČOV nelze vydávat za typový výrobek, ceny se výrazně liší a jsou ovlivněny místními podmínkami. Informace o investičních nákladech z více než čtyřiceti KČOV ukázali, že náklady se pohybují v rozmezí od 4 do 46 tisíc Kč na EO (Vymazal 2016). V průměru tedy 17 272 Kč/EO a 3 454 Kč/m<sup>2</sup>, počítám-li s orientační navrhovanou plochou 5 m<sup>2</sup>/EO. Vzhledem ke stále rostoucím cenám zemních prací, filtračních materiálů a jejich dopravy se ceny na výstavbu od minulého století značně zvýšily. V roce 1995 se zřizovací náklady pohybovali v rozmezí 1 000 – 1 500 Kč/m<sup>2</sup> (Vymazal 1995).

Investiční náklady lze rozdělit do tří složek podle procentuální investované částky: 25% na předčištění, 60% na filtrační pole a 15 % na ostatní náklady (šachty, rozvody, oplocení aj.) (Vymazal 2016).

Provozní náklady na kořenové čistírny s horizontálním průtokem vycházejí na 57 až 947 Kč/EO za rok (Vymazal 2016). Zatímco roční náklady na provoz klasické ČOV činí cca 1 500 Kč/EO (Kršňák 2010). Velkou úsporou je zde nezávislost na elektrické energii, největším výdajem mzda pro obsluhu čistírny (Vymazal 2016).

#### **6.4.11 Provoz a údržba**

Pro řádnou funkci kořenové čistírny je prioritní kvalitní a udržovaná stoková síť, která nám vodu na čistírnu přivádí. Zde se často chybí v návrzích konstrukčně nevhodného i nefunkčního dešťového oddělovače. (Šálek 1999).

V souvislosti s absencí mechanických a elektrických zařízení je provoz a údržba objektu velmi nenáročná. Pravidelná údržba KČOV spočívá především v údržbě mechanického stupně čistírny: čištění česlí, vybírání lapáků písku, údržba přelivných hran šterbinových a usazovacích nádrží, čištění septiku (Vymazal 1995). Septik je nejlepší vyvážet jednou ročně na podzim (Šálek 2008).

Provozní zkušenosti ukazují, že na údržbu postačí jedna hodina denně, prováděna nejlépe stále stejnou osobou. Tato osoba by měla kontrolovat: stav rozvodného systému, rozvod čištění, pravidelné kosení nežádoucí porostů v okolí aby nepronikli do vegetačního pole. Dále je potřebné pravidelně odebírat vzorky na kontrolu funkce čistírny (Vymazal 1995). Kvalita odebírané vody musí odpovídat vydaným vodohospodářským rozhodnutím (Šálek 2008).

#### **6.4.12 Začlenění do krajiny**

Významnou předností vegetačních čistíren je přirozený charakter a využívání přirozených procesů, které nenarušují přirozený charakter a dobře zapadají do okolí (Šálek et al. 2008).

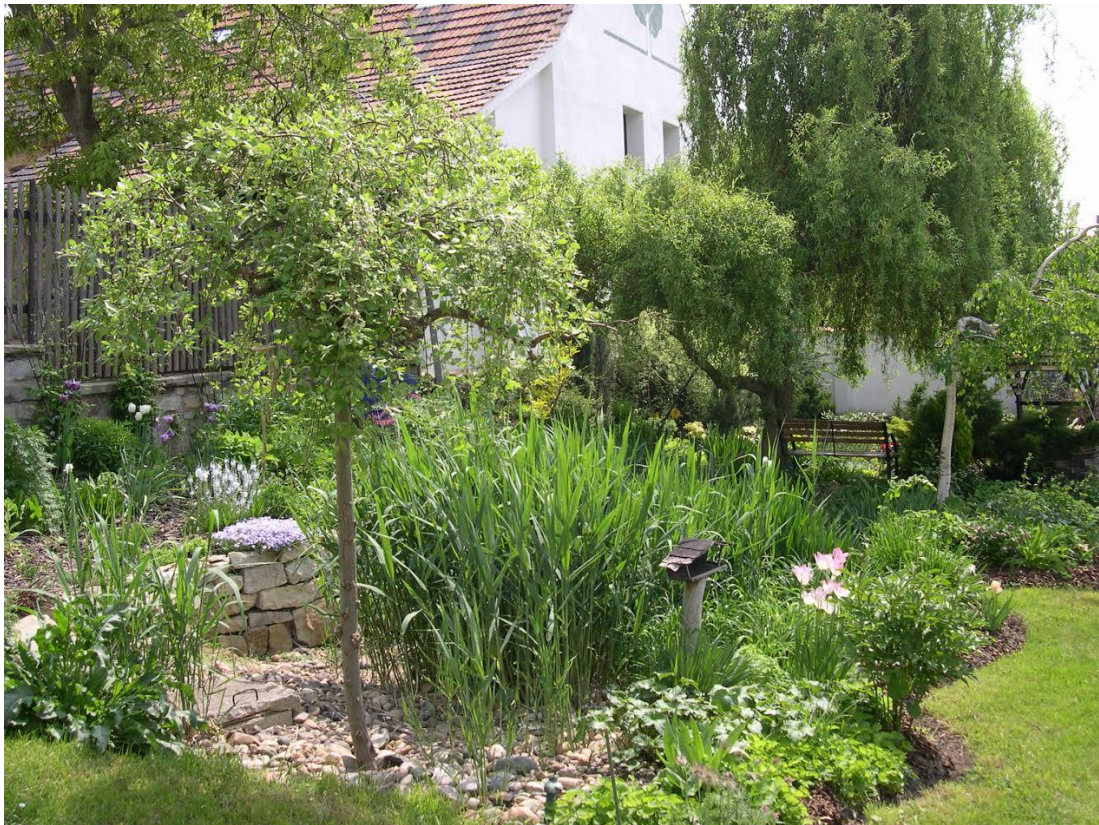
Vhodné pozemky pro stavbu kořenových čistíren jsou levné pozemky nižší bonity, neplodné půdy či louky a pastviny. Při výstavbě KČOV je potřebné stanovit minimální vzdálenost od sídel (Mlejnská et al., 2009). Proti směru proudění převládajících větrů je stanovena vzdálenost 25 m pro mechanickou část ČOV se zakrytými objekty a 50 m pro biologickou část čistírny odpadních vod (ČSN 73 6707). Ve směru převládajících větrů se minimální vzdálenost stanovuje zhruba na dvojnásobek (Mlejnská et al., 2009).

S výstavbou KČOV v krajině vznikají nové biotopy podobné přirozeným mokřadním biotopům, které na sebe navazují vodní a mokřadní rostliny i živočichy. (Mlejnská et al, 2009) Což je obrovskou výhodou oproti strojním ČOV, které naopak rostliny ani živočichy nehostí.

## 7. Kořenová čistírna Žitenice

### 7.1 Popis

Od roku 1993 je v provozu kořenová čistírna s označením Žitenice 17. Tato čistírna čistí splaškové vody z kanceláří a bytové jednotky s množstvím přitékajících OV kolem 0,6-1 m<sup>3</sup>/den. Předčištění zde zajišťuje septik SL, z kterého voda natéká na filtrační pole o rozloze 20 m<sup>2</sup> s horizontálním průtokem. KČOV má vodorovné dno a 80 cm vysokou filtrační vrstvu. Osazení filtračních polí tvořil rákos obecný (*Phragmites australis*), který byl později nahrazen kosatcem žlutým (*Iris pseudacorus*). Dnes je filtrační pole opět osazeno rákosem obecným (*Phragmites australis*). Kořenová čistírna je zasazena v zahradě rodinného domu, kde tvoří i velmi příjemný estetický prvek viz obr. 14.



Obr. 14 KČOV Žitenice 17

5/2006 Foto J. Vymazal

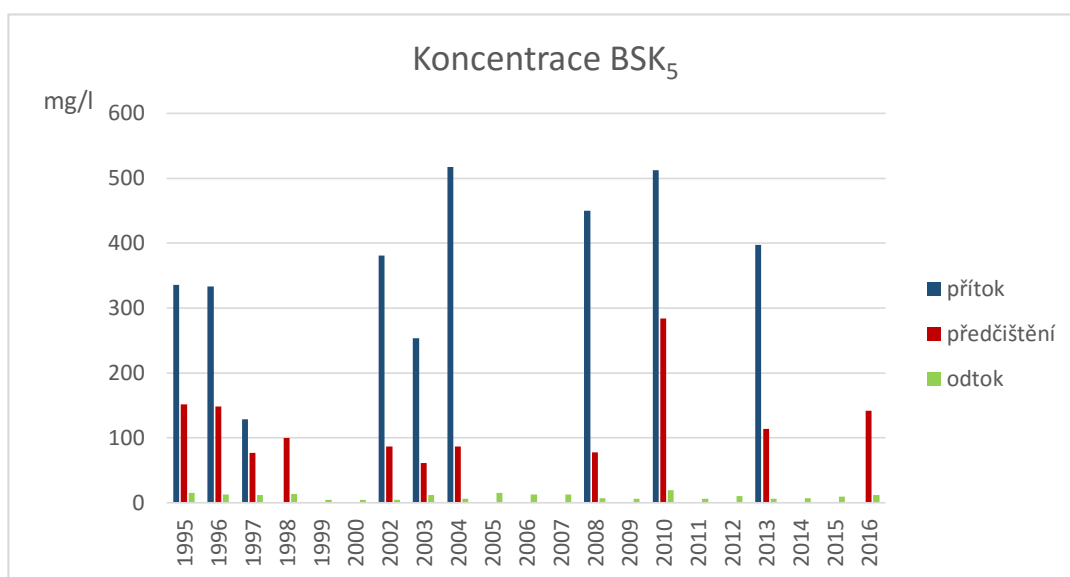
### 7.2 Výsledky

Vzorky vody jsou z KČOV odebírány od roku 1995 do roku 2016. Rozbory odpadních vod jsou prováděny na surové (přítok), mechanicky předčištěné (předčištění) a biologicky vyčištěné vodě (odtok). Při všech výsledcích je potřeba zohlednit, že v některých letech nebyly naměřeny hodnoty u všech stupňů úpravy

odpadních vod (přítok, předčištění, odtok) a tedy konečné výsledky mohou být zkrusleny.

### 7.2.1 Organické znečištění

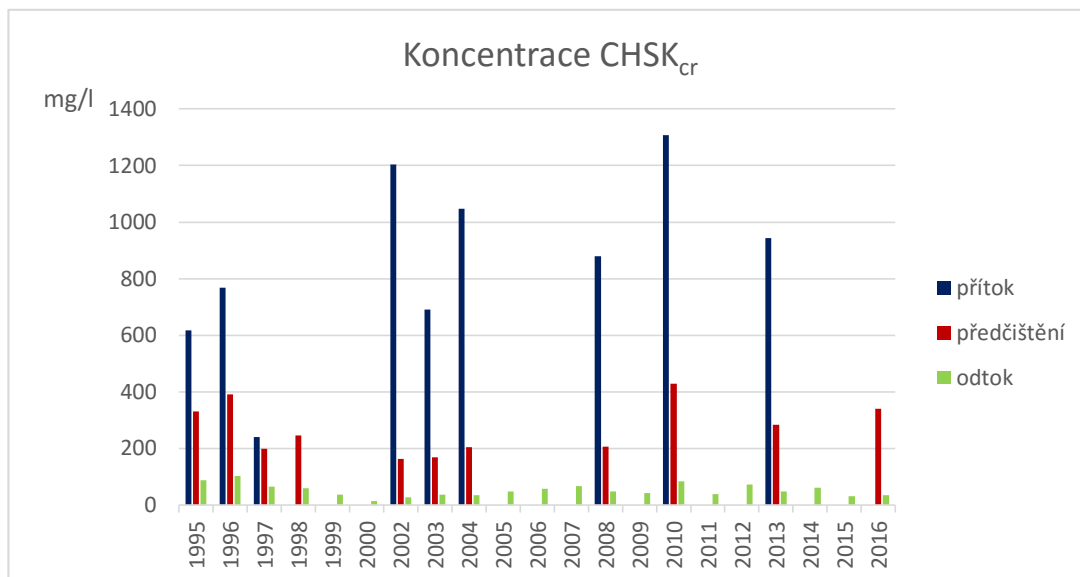
Na obrázku 15 je graf znázorňující hodnoty koncentrace BSK<sub>5</sub> od roku 1995 do roku 2016. Hodnoty BSK<sub>5</sub> na přítoku se pohybují v rozmezí od 129 mg/l do 517 mg/l. Koncentrace BSK<sub>5</sub> na odtoku měla nejnižší hodnotu 4,5 mg/l a nejvyšší hodnotu 19,1 mg/l. Průměrná účinnost při čištění BSK<sub>5</sub> na celé KČOV je 96,5 % a účinnost kořenového pole je 89,8 %. Na grafu je také znatelný pokles koncentrace BSK<sub>5</sub> po předčištění v průměru o 65 %.



**Obr. 15** Koncentrace BSK<sub>5</sub> na přítoku, po předčištění a na odtoku z KČOV Žitenice 17

Koncentrace CHSK<sub>cr</sub> je znázorněna na grafu *obr. 16* jež nám ukazuje značné kolísání hodnot v různých letech. Hodnoty na přítoku se pohybují od 240 mg/l až do 1370 mg/l, zatímco hodnoty na odtoku jsou v rozmezí 13-102 mg/l. Velmi dobrým příkladem účinnosti čištění KČOV je rok 2004, kdy vstupní hodnoty CHSK<sub>cr</sub> na přítoku byly 1048mg/l, po předčištění klesla na 205 mg/l a při odtoku byla koncentrace pouhých 35 mg/l. Účinnost čištění celé ČOV v roce 2004 byla 96,7 %, zatímco průměrná účinnost čištění celé ČOV je 90,9 %. Mechanické předčištění má účinnost 63,2 % a kořenové pole 77,6 %.

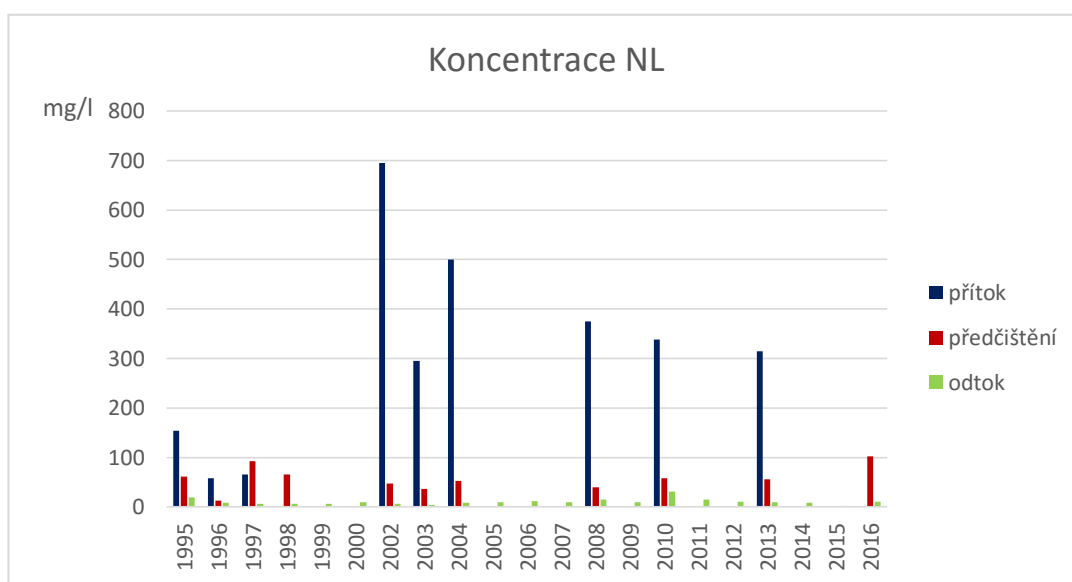




**Obr. 16** Koncentrace CHSK<sub>cr</sub> na přítoku, po předčištění a na odtoku z KČOV Žitenice 17

### 7.2.2 Nerozpuštěné látky

Stejně jako u organického znečištění jsou hodnoty nerozpuštěných látek zachyceny v grafu *obr. 17*. Koncentrace nerozpuštěných látek na přítoku se pohybovala mezi 58-695 mg/l, zatímco po předčištění klesla na hodnoty od 13mg/l do 92 mg/l. Celková průměrná účinnost čištění je tedy 93,9 %, průměrná účinnost mechanického předčištění tvoří 69,2% a účinnost kořenového pole je 74,6 %. Velmi dobrým příkladem je rok 2002 kde hodnoty na přítoku činily 695 mg/l a na odtoku pouhých 6 mg/l. V roce 2002 byla účinnost čištění celé ČOV až 99,1 %.



**Obr. 17** Koncentrace NL na přítoku, po předčištění a na odtoku z KČOV Žitenice 17

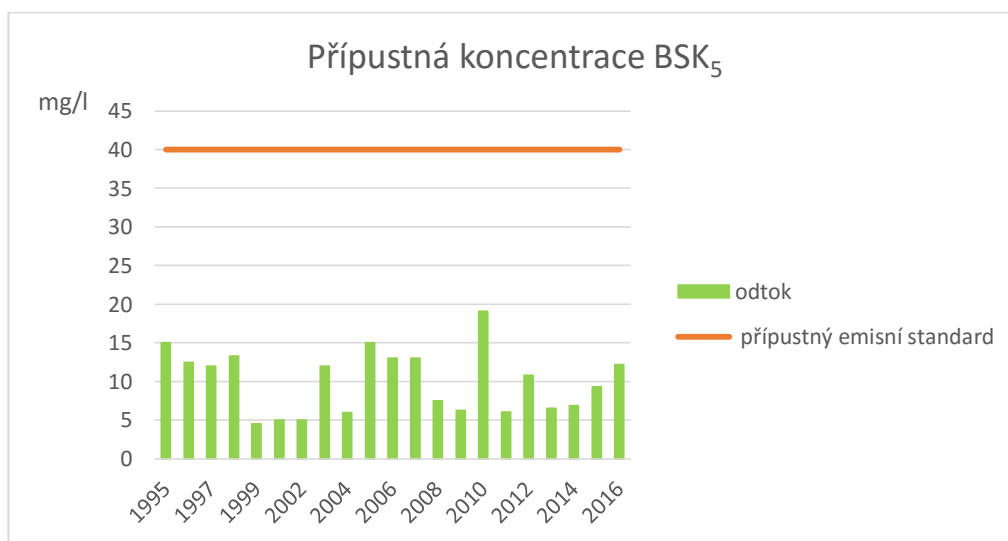
### 7.2.3 Účinnost čištění KČOV Žitenice

Nařízení vlády č. 401/2015 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 udává přípustné a maximální emisní standardy (tab. 7), podle kterých lze vyhodnotit účinnost čištění KČOV Žitenice.

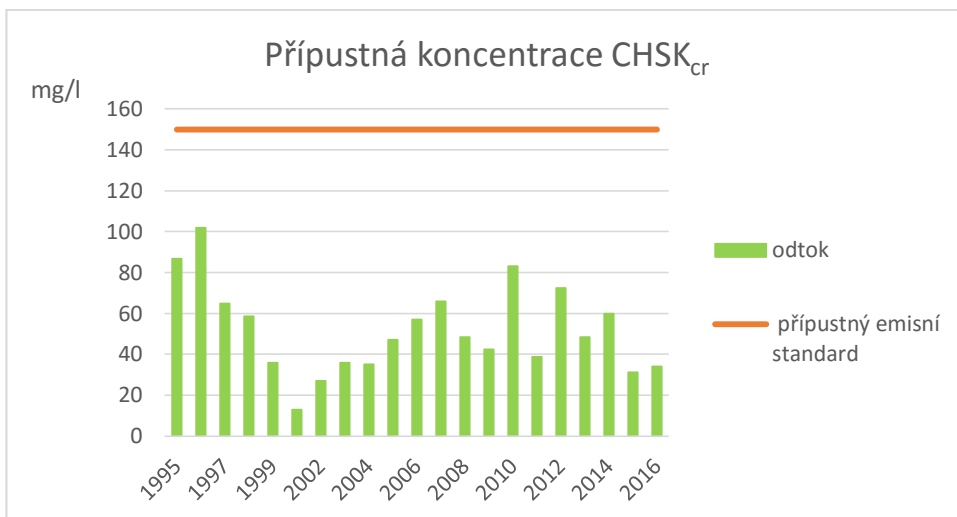
**Tabulka 7.** Emisní standardy odpadní vody vypouštěné z komunálních čistíren odpadních vod ( Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.)

Kategorie ČOV (EO)	CHSK <sub>Cr</sub> (mg/l)		BSK <sub>5</sub> (mg/l)		NL (mg/l)	
	přípustné	Maximální	přípustné	maximální	přípustné	maximální
< 500	150	220	40	80	50	80

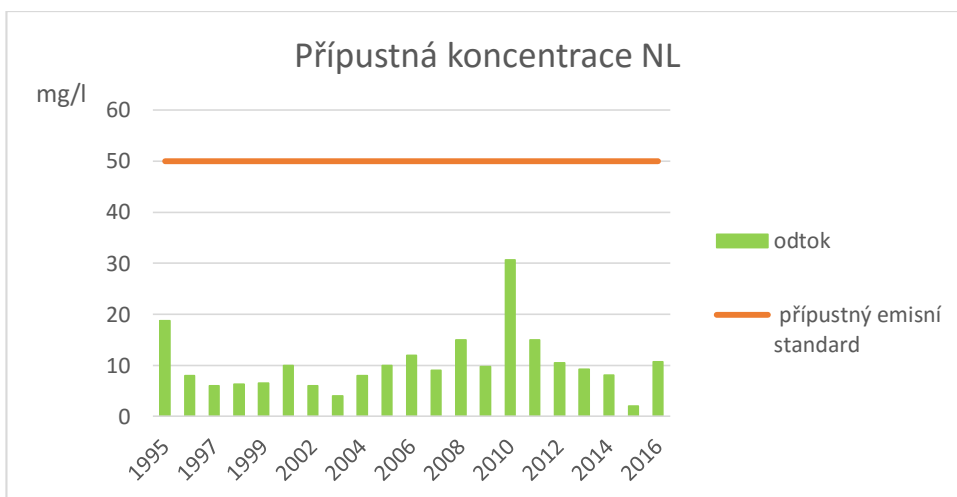
Grafy na obr. 18,19,20 zobrazují přípustné emisní standardy dle Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. a hodnoty organického znečištění a nerozpuštěných látek na odtoku z KČOV Žitenice. Z výsledků viditelných v těchto grafech je jasné, že KČOV Žitenice od roku 1995 až do roku 2016 nikdy tyto přípustné standardy nepřekročila, ani se k nim výrazně nepřiblížila a tedy její účinnost čištění je velmi dobrá.



**Obr. 18** Přípustná koncentrace BSK<sub>5</sub> ve vypouštěných odpadních vodách dle nařízení vlády č. 401/2015 Sb.



**Obr. 19** Připustná koncentrace CHSK<sub>Cr</sub> ve vypouštěných odpadních vodách dle nařízení vlády č. 401/2015 Sb.



**Obr. 20** Připustná koncentrace NL ve vypouštěných odpadních vodách dle nařízení vlády č. 401/2015 Sb.

Z výsledků je také patrné že kořenová čistírna odpadních vod dobře zvládá výkyvy v množství organických a nerozpuštěných látek, což je častým problémem o strojních čistíren.

## 8. Diskuze

Dle Rozkošného a Prokešové (2003) je čistící účinek zejména ovlivněn provozem a stavem čistírny. Důležitou roli v účinnosti čištění hraje i doba zdržení, čím je doba zdržení delší, tím lepšího účinku čištění lze dosáhnout.

Vzhledem k tomu, že se KČOV Žitenice 17 se využívá především pro čištění splaškových vod z kanceláří a bytové jednotky o objemu 1m<sup>3</sup>/den je zřejmé, že zátěž na čistírnu není velká v porovnání s průmyslovými vodami a množstvím vod přitékající na obecní KČOV. Podle výsledků účinnosti čištění za posledních 21 let, lze konstatovat, že i stav čistírny je ve velmi dobrý a čistírna je udržována.

Účinnost odstraňování BSK<sub>5</sub> v letech 1989 – 2007 v České republice byla 84,8% (Vymazal 2009). KČOV Žitenice má průměrnou účinnost čištění BSK<sub>5</sub> na 96,5%, což je výborný výsledkem. Načež průměrná účinnost kořenového pole je 89,8% a účinnost mechanického předčištění je 65%.

CHSK<sub>Cr</sub> se na sledované KČOV odstraňuje s 90,9% účinností celé čistírny. Kořenové pole má zde účinnost na 77,6% a mechanické předčištění na 63,2 %. Porovnáme-li tyto výsledky s průměrnou účinností čištění CHSK v České republice, které činí 75,4% (Vymazal 2009), je účinnost žitenické KČOV opět velmi vysoko nad průměrem.

Poslední porovnatelnou hodnotou jsou nerozpuštěné látky (NL), kde KČOV v České republice vykazují průměrnou účinnost 82,1% (Vymazal 2009), zatímco sledovaná KČOV Žitenice má účinnost 93,9%. Nejlepší účinnost byla v roce 2002, kde čistírna přesahovala 99 % účinnosti.

Všechny tyto výsledky v porovnání s účinností KČOV v České republice nám vykazují, že účinnost čištění sledované KČOV je výrazně nad standardy a vyplatí se tedy tento způsob čištění využívat i nadále. Jak je výše zmíněno, velkou roli na účinnost má i doba zdržení, které je zde podstatně delší, než na obecních KČOV, což také přispívá k pozitivním výsledkům.

Společnost SABTIKAS s.r.o. (2017) na svém webu uvádí domovní čistírny TOPAS A pro 1-300 EO s účinností čištění BSK<sub>5</sub> na 97%, CHSK<sub>Cr</sub> na 94% a NL na 94%. V porovnání s výsledky žitenické KČOV je bezesporné, že BSK<sub>5</sub> a NL odstraňuje téměř stejně efektivně jako mechanická ČOV TAPAS A a CHSK<sub>Cr</sub> zaostává o pouhých 4% oproti mechanické ČOV TAPAS A. I z tohoto úhlu pohledu si

žitenická KČOV vede nadstandardně, vezmeme-li v potaz ještě nezávislost na elektrické energii, dotváření krajinného rázu a bezproblémové fungování v případě přerušovaného užívání, při velkém naředění vod i při kolísání zatížení.

Od vybudování první kompletní KČOV v roce 1991 (Vymazal 1993) uběhlo již 26 let a kořenové čistírny se staly předmětem různých diskuzí a výzkumů. Jejich počet však stále roste. V roce 1995 jich na našem území bylo cca 50 a v roce 2000 kolem 150 (Vymazal 2008). Tyto čísla značí, že kořenové čistírny u nás se rozrůstají a stávají se oblíbeným způsobem čištění OV i zajímavým prvkem do zahrad rodinných domů.

I přes rostoucí počty kořenových čistíren je nadále potřebné širokou veřejnost seznamovat s možností čištění odpadních vody v kořenových čistírnách. Vhodné jsou jak pro obce, tak pro menší rodinné domy, díky své nenáročnosti na přítok odpadních vod.

## **9. Závěr**

Formou literární rešerše jsem zpracovala informace o odpadních vodách, dále jsem se zaměřila na jejich množství, druhy a způsoby, jakými se dají odpadní vody čistit. Stěžejní částí jsou přírodě blízké způsoby čištění a především pak kořenové čistírny. V závěru literární rešerše jsou popsány alternativní způsoby čištění vedle způsobů běžně využívaných.

Porovnála jsem různé technologie čištění odpadních vod, které jsou u nás využívány. Zaměřila se na jejich principy a hlavně tedy poté podrobněji zkoumala KČOV Žitenice, což je KČOV s horizontálním prouděním o rozloze 20 m<sup>2</sup> s mechanickým předčištěním v podobě SL septiku.

Další nedílnou částí této práce je hodnocení funkčnosti kořenové čistírny Žitenice. Zde je hlavním poznatkem nadstandardní účinnost čištění KČOV Žitenice u všech sledovaných látek vyplývající z porovnání účinnosti čištění KČOV v České republice s hodnotami BSK<sub>5</sub> na 84,8%, CHSK<sub>Cr</sub> na 75,4% a NL na 82,1% a účinností čištění žitenické KČOV s hodnotami BSK<sub>5</sub> na 96,5% CHSK<sub>Cr</sub> na 90,9% a NL na 93,9%. Z čehož vyplývá, že čištění v žitenické KČOV je tedy velmi efektivní a čistírna zde dobře plní svůj úkol.

Maximální povolená koncentrace BSK<sub>5</sub>, CHSK<sub>Cr</sub> a NL v odpadní vodě podle nařízení vlády č. 401/2015 Sb. nebyla nikdy ve sledovaném období překročena.

Výsledky z kořenové čistírny v Žitenicích jasně prokázaly, že tento způsob čištění je při vhodném provozování schopný dosahovat výborné úrovně čištění odpadních vod více než dvě desetiletí bez zásadních zásahů do technologie.

## Seznam použité literatury

- BRIX, H., SCHIERUP, H.-H., 1989: Danish experience with sewage treatment in constructed wetlands. In Sborník konf. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Hammer, D.A., Ed., Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, s. 565-569.
- ČÍŽEK, P., KONÍČEK, Z., & HEREL, F., 1970: Stokování a čištění odpadních vod: Celost. učebnice pro vys. školy. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství technické literatury, 400 s.
- ČÍŽKOVÁ H., POKORNÝ J., KVĚT J., BAUER V., 2004: Cyklus a bilance uhlíku v mokřadech. Collection of Scientific Papers, Faculty of Agriculture in České Budějovice. Series for Crop Sciences. 21 (2-3), s. 265-268.
- DOHÁNYOS, M., STRNADOVÁ N., a KOLLER, J., 1998: Čištění odpadních vod. Vyd. 2. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, s. 177.
- FÁROVÁ, J., 2013: Vyhodnocení provozu kořenové čistírny v Břehově, bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, 69 s.
- GELLER, G., 1992: Bewachsene Bodenfilter zur Reinigung von Wassern. 39. Korreps. Abwasser. č.6, s. 886-899.
- GRODA B., VÍTĚZ T., 2008: Čištění a čistírny odpadních vod, Brno: MZLU, 126 s.
- HAMMER, A.D., Ed., 1989: Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Sborník konf., Lewis Publishers, Chelsea, Michigan. s. 496 – 513.
- HLAVÍNEK, P.; MIČÍN, J.; PRAX, P., 2001: Příručka stokování a čištění, Vyd. 1. Brno: NOEL 2000, s. 251
- HUDCOVÁ T., 2012: Kořenové čistírny druhé generace. Odpady. Roč 22, č. 1-12, s. 13.
- HYÁNEK, E., BODÍK, I. 2002: Špecifiká domových čistiern odpadných vôd, Sborník ze semináře Domové čistiaren odpadných vôd, Trenčín, 12.6.2002, s. 8-21.
- CHENG. S., 2003: The Use of constructed wetlands for wastewater treatment. Petaling Jaya: Wetlands International - Malaysia Office. s. 191-195.
- JECHOVÁ, M., 2010: Vývoj technologii čištění odpadních vod, bakalářská práce, Univerzita Karlova v Praze, 61 s.
- JUST, T., 1999: K vegetačním čistírnám a stabilizačním nádržím, Veronica, 4, s. 27.

- KUJALOVÁ, H., SÝKORA, V., PITTER, P., 2007: Látky s estrogením účinkem ve vodách. *Chemické Listy*. č. 101, s. 706-712.
- KUSTER, M., LÓPEZ DE ALDA, M. J., BARCELÓ, D., 2004: Analysis and distribution of estrogens and progestogens in sewage sludge, soils and sediments. *Trends in Analytical Chemistry*. vol. 23, no. 10-11, s. 790-798
- MÁJOVSKÝ, J., ČINČURA, F., FERÁKOVÁ, V., ŠOMŠÁK, L. & KREJČA, J., 1982: *Rastliny vôd, močiarov a lúk*. 4. Ed. 2. Obzor, Bratislava. 352 s.
- MLEJNSKÁ, E. et al., 2009: *Extenzivní způsoby čištění odpadních vod*. 1. Praha : Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, veřejná výzkumná instituce, 119 s. ISBN 978-80-85900-92-7.
- NIETO, A., et al., 2008: Determination of natural and synthetic estrogens and their conjugates in sewage sludge by pressurized liquid extraction and liquid chromatography–tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*. no. 1213, s. 224-230.
- NOVÁK, J. a kol., 2003: *Příručka provozovatele stokové sítě*, SOVAK, Praha, 153 s.
- NYPL, V., SYNÁČKOVÁ, M., 1998: *Zdravotně inženýrské stavby 30 (Stokování)*, ČVUT ,Praha, 149 s. ISBN 9788001017296
- POLASEK, P., & MUTL, S., 1995: *Guidelines to coagulation and flocculation for surface waters, Volume 1: Design Principles for coagulation and flocculation systems*. PPA, Johannesburg
- POŠTA J. a kol., 2005: *Čistírny odpadních vod*, Česká zemědělská univerzita, 207 s. ISBN 8021313668
- REED, S.C., 1993: *Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment. A technology assessment*. U.S. EPA Office of Water, EPA 832-R-93-008.
- ROZKOŠNÝ, M., KŘÍŠKA, M., MLEJSKÁ, E., PETRÁNOVÁ, A., ŠÁLEK, J., ŠŤASTNÝ, V., 2010: *Domovní čistírny odpadních vod*. 39 s. ISBN: 978-80-87308-07-03
- SLAVÍČKOVÁ, K., & SLAVÍČEK, M., 2013: *Vodní hospodářství obcí 1. Úprava a čištění vody* nakladatelství ČVUT, Praha, 6. 199 s.
- STOWELL, P., LUDWIG, R., COTL, J. ET TCHOBANOGLIOUS, G., 1981: *Concepts in aquatic treatment system design*. *J. Environ. Eng. Div. ASCE*, Vol. 107, No. EE5, Prop. Paper 16555, 919 s.
- SYNÁČKOVÁ M., 2014: *Vodárenství a stokování*, CZU Praha, 99 s.
- ŠÁLEK, J., 1999: *Poznámky z referátu J. Žáka ve Veronice 1/1999*. *Veronica*, 2, s. 27



- ŠÁLEK, J., ŽÁKOVÁ, Z., HRNČÍŘ, P., 2008: Přírodní čištění a využívání vody v rodinných domech a rekreačních objektech. Brno 2008, 155 s. ISBN: 978-80-7366-125-0
- U. WIESMANN, In SU CHOI, A.M. DOMBROWSKI; 2007: Fundamentals of biological wastewater treatment., Wiley - VCH, 362 s.
- VÍTĚZ, t., GRODA, B., 2008: Čištění a čistírny odpadních vod., Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 96s. ISBN: 978-80-7375-180-7
- VYBÍRALOVÁ, P., 2011: Bilance dusíkatých sloučenin v procesu biologické nitrifikace a denitrifikace. In Vodní hospodářství a vodní stavby 3. s. 1-5.
- VYMAZAL J., KRÖPFELOVÁ L., 2008: Kořenové čistírny odpadních vod v české republice, jejich využití pro různé typy odpadních vod. In: Monitoring těžkých kovů a vybraných rizikových prvků při čištění odpadních vod v umělých mokřadech (GAČR 206/06/0058). ENKI, o.p.s., Třeboň; s. 28 – 35.
- VYMAZAL, J., KRÖPFELOVÁ L., 2008a: Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow. Springer, 565 s. ISBN 978-1-4020-8579-6
- VYMAZAL J., 1995: Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách, Třeboň ENVI 1995, 147s
- VYMAZAL, J., 2010: Constructed wetlands for wastewater treatment. Water, 2(3), s. 530 – 549.
- VYMAZAL J. 1995a: Kořenové čistírny v české republice, Veronica. 9 (1)
- VYMAZAL, J., 2016: Kořenové čistírny odpadních vod, Využití ve světě, České republice a Plzeňském kraji, Vydal: Krajský úřad Plzeňského kraje, odbor životního prostředí, Plzeň, 2016
- VYMAZAL J., 2003a: Kořenových čistíren v Evropě přibývá. Moderní obec. 9 (6)
- VYMAZAL 2003b: Kořenové čistírny odpadních vod: současný stav v České republice. Veronika, s. 10 - 11
- VYMAZAL J., 2009: Kořenové čistírny odpadních vod: 20 let zkušeností v České republice. Vodní hospodářství, 59, s. 113 – 119.
- VYMAZAL J., 2011: Long-term performance of constructed wetlands with horizontal sub-surface flow. Ten case studies from the Czech Republic Ecological Engineering 37, Elsevier B.V, s. 54 – 63.
- WANNER, J., I. RŮŽIČKOVÁ, O. KRHŮTKOVÁ a O. BENEŠ, 2000: Biologická kontrola čištění odpadních vod, Technické doporučení. Praha: Asociace čistírenských expertů ČR

WATSON, J.T. et HOBSON, J.A., 1989: Hydraulic design considerations and control structures for constructed wetlands for wastewater treatment. In Sborník konf. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Hammer, D.A., Ed., Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, s. 379- 391.

ZAVADIL, E., 2000: Shrnutí zkušeností ČIŽP s kořenovými čistírnami odpadních vod v ČR. Zpráva ČIŽP (depon. In MŽP ČR)

ŽÁKOVÁ Z., 2009: Výběr mokřadních rostlin pro malé přírodní čistírny odpadních vod, str: 120-131, Brno, str.134 Název: Přírodní způsoby čištění vod VI, ISBN 978-80-7204-655-3

### **Legislativa**

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) § 38

### **Internetové zdroje**

WANNER, J., Z historie odvádění a čištění odpadních vod (online) [cit. 2016. 12.19.] dostupné z <<http://web.vscht.cz/~pecenkam/Stokov%C3%A1n%C3%AD/Historie%20stokov%C3%A1n%C3%AD%20a%20C4%8COV.pdf>>.

GEMBALOVÁ, A., 2013: Kam s dešťovou vodou: vsaky neboli podmínky (online) [cit. 2016. 12.19.] dostupné z <<http://www.dumazahrada.cz/stavba-rekonstrukce/stavba/20047-vsaky-podmoky/>>.

ROZKOŠNÝ M., PROKEŠOVÁ 2003: Čistící účinek sledovaných vegetačních kořenových čistíren v průběhu roku (online) [cit. 2017.01.08.] dostupné z <<http://www.fce.vutbr.cz/veda>>.

SABTIKAS s.r.o., 2017: Čistírna odpadních vod TOPAS (online) [cit. 2017. 04.21.] dostupné z <<http://www.sabtikas.cz/vyrobky-a-sluzby/cistirna-odpadnich-vod-topas/>>.

