



KOŘENOVÉ ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD

Využití ve světě, České republice a
Plzeňském kraji

Jan Vymazal
Česká zemědělská univerzita v Praze

KOŘENOVÉ ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD

Využití ve světě, České republice a
Plzeňském kraji

Jan Vymazal

Česká zemědělská univerzita v Praze

Obsah

Seznam použitých zkratk	4
Vysvětlení základních pojmů	5
1. Umělé mokřady pro čištění odpadních vod	7
2. Umělé mokřady s povrchovým průtokem	8
3. Umělé mokřady s podpovrchovým průtokem - kořenové čistírny	10
3.1. Celkové uspořádání kořenové čistírny	11
3.2. Předčištění	13
3.2.1. Česle	14
3.2.2. Lapáky písku	16
3.2.3. Septiky	16
3.2.4. Štěrbínové nádrže	17
3.3. Filtrační lože	17
3.3.1. Kořenové čistírny s horizontálním průtokem	17
3.3.2. Kořenové čistírny s vertikálním průtokem	21
4. Procesy podílející se na odstraňování znečištění v KČOV	23
4.1. Organické látky	23
4.2. Nerozpuštěné látky	23
4.3. Dusík	23
4.4. Fosfor	27
4.5. Bakteriální znečištění	28
4.6. Rizikové prvky	28
5. Využití kořenových čistíren pro různé typy odpadních vod	30
5.1. KČOV s horizontálním průtokem	30
5.2. KČOV s vertikálním průtokem	30
5.3. Hybridní systémy	33
6. Kořenové čistírny v České republice	35
6.1. Současný stav	35
6.1.1. Předčištění	37
6.1.2. Filtrační materiály	38
6.1.3. Vegetace	39
6.1.4. Účinnost čištění	43
6.1.5. Sezónní účinnost	46
6.1.6. Provoz a údržba	47
6.1.7. Investiční a provozní náklady	48
6.1.8. Výhody a nevýhody kořenových čistíren	50
7. Kořenové čistírny v Plzeňském kraji	51

7.1. KČOV Spálené Poříčí	52
7.2. KČOV Ptenín.....	53
7.3. KČOV Chotikov.....	54
7.4. KČOV Němčovice	56
7.5. KČOV Třemešné	57
7.6. KČOV Nezdice na Šumavě	58
7.7. KČOV Sklárna - Žihle.....	59
7.8. KČOV Horušany.....	60
8. Souhrn	62
Použitá literatura	63

Seznam použitých zkratek

A_h – plocha filtrů kořenové čistírny (m²)

BSK₅ – biochemická spotřeba kyslíku pětidenní. Je definována jako množství kyslíku spotřebovaného mikroorganismy pro rozklad organických látek za aerobních podmínek. Toto množství kyslíku je úměrné koncentraci přítomných biologicky rozložitelných látek.

CHSK_{Cr} – chemická spotřeba kyslíku je mírou celkového obsahu organických látek ve vodě. Je definována jako množství kyslíku, které se za přesně vymezených podmínek spotřebuje na oxidaci organických látek oxidačním činidlem, v tomto případě dichromanem draselným.

FWS – umělý mokřad s volnou vodní hladinou (z angl. Free Water Surface)

N-NH₄⁺ – amoniakální dusík

Celk. N – celkový dusík (součet anorganických a organických forem dusíku)

Celk. P – celkový fosfor (součet anorganických a organických forem fosforu)

HF KČOV – kořenová čistírna s horizontálním průtokem

NL – nerozpuštěné látky sušené (stanovené sušením při 105 °C)

EO – ekvivalentní obyvatel (60 g BSK₅ na osobu a den)

KČOV – kořenová čistírna odpadních vod

KTJ – kolonie tvořící jednotku

LP – lapák písku

Q_d – průměrný denní průtok

VF KČOV – kořenová čistírna s vertikálním průtokem

Vysvětlení základních pojmů

Adsorpce - hromadění plynné látky ze směsi plynů nebo rozpuštěné látky v kapalině (adsorbátu) na povrchu pevné látky (adsorbentu)

Aerobní - za přístupu kyslíku

Aerobní respirace – dýchání za přítomnosti kyslíku

Anabolismus - soubor syntetických reakcí (asimilačních), při kterých z látek jednodušších vznikají látky složitější

Anaerobní – bez přístupu kyslíku

Anoxie – úplně bezkyslíkaté prostředí

Asimilace - proces příjmu a přeměny výchozích látek živým organismem pro stavbu jeho těla

Biomasa - souhrn látek tvořících těla všech organismů

Denitrifikace – proces přeměny dusičnanů (NO_3^-) na elementární dusík (N_2)

Detrit - malé částičky organické hmoty v různém stupni rozkladu; tvoří přechod mezi živými a neživými složkami

Difúze - samovolný proces pronikání částic jedné látky do druhé se snahou o rovnoměrné prostoupení po celém objemu

Ekosystém - funkční soustava živých a neživých složek životního prostředí, jež jsou navzájem spojeny výměnou látek, tokem energie a předáváním informací a které se vzájemně ovlivňují a vyvíjejí v určitém prostoru a čase

Eutrofizace – proces obohacování vod o živiny, zejména dusík a fosfor

Eutrofní vody – tekoucí nebo stojaté vody s vysokým obsahem živin (zejména dusík a fosfor)

Evapotranspirace - výdej vody rostlinami biologickým pochodem (transpirací) spojený s fyzikálním výparem (evaporací)

Exudát - metabolit vylučovaný kořeny některých rostlin do půdy; může měnit některé vlastnosti půdy (pH apod.)

Kolmatace – zanášení a ucpávání propustných vrstev nečistotami

Kořenová čistírna odpadních vod – zařízení sloužící primárně k čištění odpadních vod, které se skládá převážně z mechanického předčištění, hlavního stupně čištění (kořenová pole) a dočištění

Litorální pásmo - oblast břehových mělčin stojatých vod

Mezotrofní vody – tekoucí nebo stojaté vody středně bohaté na živiny živin

Nerozpuštěné látky – znečištění viditelné ve vodě pouhým okem a odstranitelné filtrací

Nitrifikace – proces oxidace amoniaku (NH_4^+) na dusičnany (NO_3^-)

Oligotrofní vody – tekoucí nebo stojaté vody s nízkým obsahem živin

Rhizosféra - povrch a bezprostřední okolí kořenů poskytující specifické prostředí mikroorganismům

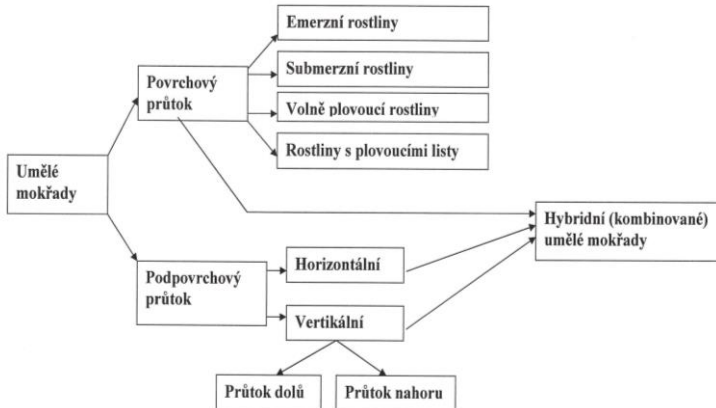
Salinita – slanost, tj. koncentrace rozpuštěných minerálních látek (solí) v roztoku

Septik – průtočná nádrž skládající se z několika na sebe navazujících prostorů (tzv. komor)

1. Umělé mokřady pro čištění odpadních vod

Přirozené mokřady jsou využívány pro čištění odpadních vod již více než sto let. V mnoha případech však šlo spíše o pouhé nekontrolované vypouštění než čištění odpadních vod. Hlavním důvodem k tomu byl fakt, že mokřady byly až do 60. let minulého století považovány za zcela bezcenné biotopy a byly stranou zájmu veřejnosti i vědeckého výzkumu. Nekontrolované vypouštění odpadních vod způsobilo v mnoha případech nevratné zničení celé řady mokřadů po celém světě. V posledních desetiletích však díky intenzivnímu studiu mokřadních systémů nastal výrazný obrat v chápání významu role mokřadů v krajině a nekontrolované vypouštění odpadních vod do přirozených mokřadů se v civilizovaných zemích snížilo na minimum.

Umělé mokřady jsou systémy, které jsou navrhovány a stavěny tak, aby při čištění odpadních vod byly využívány procesy, které probíhají v přirozených mokřadech. Z tohoto důvodu lze znalosti získané studiem přirozených mokřadů výhodně uplatnit i v mokřadech umělých. Umělé mokřady pro čištění odpadních vod se rozdělují podle několika kritérií, především podle způsobu průtoku odpadní vody a druhu použité vegetace (**Obr. 1**). Zatímco umělé mokřady s povrchového průtokem využívají všechny typy vegetace, umělé mokřady s podpovrchovým průtokem se omezují pouze na emerní (vynořenou) vegetaci.



Obr. 1. Rozdělení umělých mokřadů pro čištění odpadních vod.

2. Umělé mokřady s povrchovým průtokem

Umělé mokřady s povrchovým průtokem, často nazývané umělé mokřady s volnou vodní hladinou, využívají všechny druhy mokřadní makrofytní vegetace (**Obr. 2**).

Jednoznačně největší skupinu umělých mokřadů s volnou vodní hladinou tvoří systémy s vynořenou (emerzní) vegetací (**Obr. 2 A**). První pokusy s využitím emerzních mokřadních rostlin pro čištění odpadních vod byly prováděny v Německu již v 50. letech 20. století, ale první plnoprovozní mokřadní čistírny tohoto typu byly uvedeny do provozu až koncem 60. a začátkem 70. let v Nizozemí a v Maďarsku.

Přestože umělé mokřady s volnou vodní hladinou byly v Evropě prvním typem, který byl využíván pro čištění odpadních vod, nejsou zde rozšířeny v takové míře jako v Severní Americe. V Evropě je nejvíce mokřadů tohoto typu pravděpodobně ve Švédsku, kde bylo v průběhu 80. a 90. let 20. století vybudováno přes tři tisíce systémů, které byly uvedeny do provozu v rámci snižování koncentrace dusíku v řekách, které odvádějí vodu do Baltického moře.

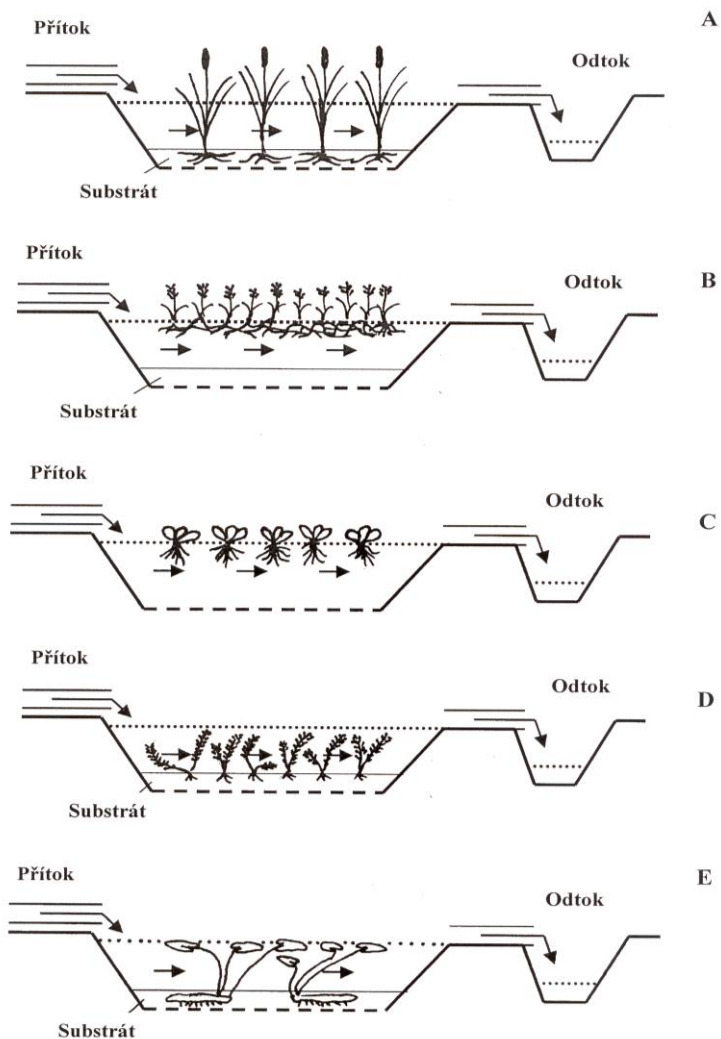
Při tomto způsobu čištění je znečištění odstraňováno především ve vodním sloupci mělkých nádrží, které jsou prorostlé mokřadní vegetací, a ve vrstvě detritu na dně nádrží. V poslední době se začínají uplatňovat i systémy s emerzní vegetací, která se vznáší na hladině (**Obr. 2 B**). Vegetace je zakotvena pomocí různých sítí nebo plastových „matrací“.

Umělé mokřady s volnou vodní hladinou a emerzními rostlinami se využívají nejčastěji při čištění splaškových odpadních vod, ale v poslední době se jejich využití rozšířilo prakticky na všechny typy odpadních vod.

Ostatní typy umělých mokřadů s volnou vodní hladinou jsou využívány podstatně méně často. Systémy s volně plovoucí vegetací (**Obr. 2 C**) využívají především vodní hyacint (*Eichhornia crassipes*) a okřehky (*Lemna* spp.). Zkušenosti však ukázaly, že provoz těchto systémů je velmi neekonomický (nutnost pravidelného sklízení biomasy a následné využití biomasy, nutnost intenzivního provzdušňování pro více zatížené systémy) a navíc růst rostlin je velmi limitován klimatickými podmínkami. Především pak vodní hyacint je schopen celoročně plného růstu pouze v tropických a subtropických oblastech.

Umělé mokřady s ponořenou (submerzní) vegetací (**Obr. 2 D**) se mohou uplatnit v případech, kdy voda obsahuje nižší koncentrace nerozpuštěných látek a fotosyntéza rostlin není limitována nedostatkem světla. Z těchto důvodů se tyto systémy používají především na dočišťování odpadních vod. Rostlin, které se používají, je celá řada, např. vodní mor kanadský (*Elodea canadensis*), stolístek klasnatý (*Myriophyllum spicatum* nebo různěkatec ponořený (*Ceratophyllum demersum*).

Umělé mokřady s rostlinami s plovoucími listy (**Obr. 2 E**), např. lekníny – *Nymphaea* spp. nebo stulíky – *Nuphar* spp., jsou využívány pouze ojediněle a v současnosti prakticky nejsou k dispozici podrobnější informace o jejich použití. V poslední době se začínají výrazněji uplatňovat především v jihovýchodní Asii v umělých mokřadech určených pro čištění dešťových splachů.



Obr. 2. Umělé mokřady s volnou vodní hladinou a různými typy mokřadní vegetace. A-emerzní, B- emerzní (plovoucí), C- volně plovoucí, D- submerzní, E- s plovoucími listy.

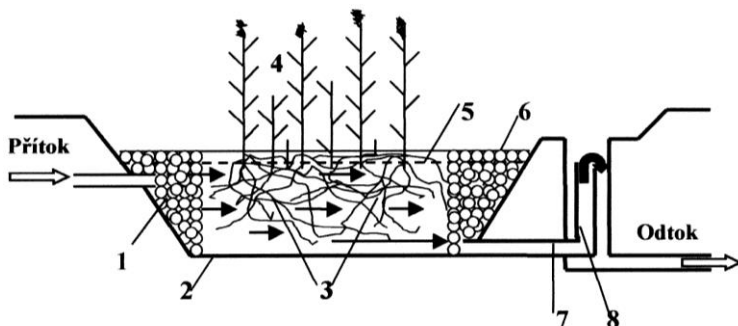
3. Umělé mokřady s podpovrchovým průtokem - kořenové čistírny

Systémy bez volné vodní hladiny, jinak také nazývané systémy s podpovrchovým průtokem, jsou v současné době nejvíce používanými umělými mokřady pro čištění odpadních vod. Podle průtoku se tyto systémy dále dělí na umělé mokřady s horizontálním průtokem (Obr. 3) a s vertikálním průtokem (Obr. 4).

Základním principem čištění je horizontální nebo vertikální průtok odpadní vody propustným substrátem, který je osázen mokřadními rostlinami. Při průtoku odpadní vody filtračním materiálem dochází k odstraňování znečištění kombinací fyzikálních, chemických a biologických procesů. Název „kořenová čistírna odpadních vod“ (KČOV) vznikl z anglického „Root Zone Method“, což bylo pojmenování umělých mokřadů s podpovrchovým horizontálním průtokem, které se používalo v 70. a 80. letech 20. století.

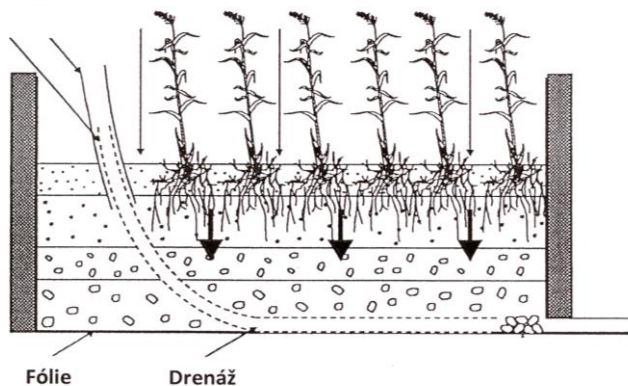
Kromě směru průtoku odpadní vody je hlavní rozdíl v tom, že do horizontálního systému přitéká odpadní voda kontinuálně, zatímco do vertikálního systému je dávkována přerušovaně na povrch filtračního lože. Na rozdíl od horizontálního systému, který pracuje na gravitačním principu, pro vertikální systémy jsou většinou nutná čerpadla a rozvodné zařízení, aby bylo dosaženo dobré distribuce odpadní vody po celém povrchu filtračního lože.

Oba typy byly vyvinuty již v první polovině 60. let 20. století v Německu, a zpočátku byly řazeny za sebou (tzv. „Seidel systém“ podle Dr. Käthe Seidelové z Institutu Maxe Placka v Plönu), přičemž vertikální pole rovněž zastávalo funkci předčištění. Přerušovaný přívod odpadní vody zvyšuje možnost prokysličení filtračního lože, čímž se vytvářejí vhodné podmínky pro nitrifikaci, a tím i ke zlepšenému účinku při odstraňování amoniaku. Horizontální pole je naproti tomu většinou anoxické až anaerobní (tj. bez kyslíku), což dává předpoklady k denitrifikaci dusičnanů vzniklých při nitrifikaci. Postupem času však byla vertikální pole nahrazována klasickým mechanickým předčištěním a vertikální systémy se znovu začaly využívat až v 80. letech minulého století, především v důsledku zvýšeného důrazu na odstraňování amoniaku. V současné době se znovu používají kombinace vertikálního a horizontálního systému, případně dalších typů umělých mokřadů, a v literatuře jsou tyto systémy označovány jako „hybridní“ nebo „kombinované“.



Obr. 3. Typické uspořádání kořenové čistírny s horizontálním průtokem. 1-distribuční zóna (kamenivo, 50-200 mm), 2-nepropustná bariéra (PE nebo PVC), 3-filtrační materiál (kačírek, štěrky, drcené kamenivo), 4-vegetace, 5-výška vodní hladiny v kořenovém loži nastavitelná v odtokové šachtě, 6-odtoková zóna (shodná s distribuční zónou), 7-sběrná drenáž (kamenivo, 50-200 mm), 8-regulace výšky hladiny.

Pasivní aerace

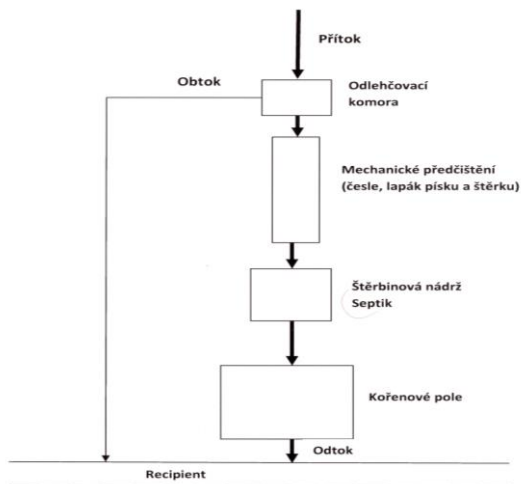


Obr. 4. Typické uspořádání kořenové čistírny s vertikálním průtokem.

3.1. Celkové uspořádání kořenové čistírny

Kořenová čistírna jako technologie čištění odpadních vod vždy zahrnuje i mechanické předčištění, které je vždy závislé na typu odpadní vody, pro městské splaškové vody také na typu kanalizace. Na **obrázku 8** je schematicky znázorněna

technologie kořenové čistírny, která je vybudována na jednotné kanalizaci. Typické předčištění na kořenové čistírně, která je vybudována na jednotné kanalizaci, je znázorněno na **obrázku 9**.



Obr. 8. Schematické znázornění objektů na kořenové čistírně na jednotné kanalizační síti.



Obr. 9. Typická sestava předčištění pro kořenovou čistírnu na jednotné kanalizaci – česle, lapák písku a v pozadí štěrbinová nádrž. KČOV Libnič. V popředí je kontejner na ukládání shrabků. Foto Jan Vymazal.

3.2. Předčištění

Před vlastní kořenovou čistírnu je vždy nutné zařadit mechanické předčištění, které je pro tento typ čištění velmi důležité. Cílem hrubého předčištění, které je též nazýváno ochrannou částí čistírny, je odstranění velkých plovoucích nebo vodou sunutých částic a předmětů. V případě nedokonalého předčištění se dostatečně neodstraní nerozpuštěné látky, které mohou následně ucpat vlastní filtrační lože. Pro domovní čistírnu postačuje biologický septik, je možné však využít i různé intenzifikované septiky. Pro malé obce je nutné zvolit mechanické předčištění v závislosti na typu kanalizační sítě.

Obecní KČOV mohou být budovány buď na oddílné, nebo jednotné kanalizační soustavě. Oddílná soustava odvádí samostatnou stokovou síť dešťové vody a samostatnou síť splaškové odpadní vody. Splašková kanalizace ústí v čistírně odpadních vod, zatímco dešťová kanalizace ústí většinou samostatně do vodního toku. Tato situace není v žádném případě ideální, neboť dešťové splachy obsahují vysoké koncentrace nerozpuštěných látek a i koncentrace $CHSK_{Cr}$ mohou být zvýšené. Proto může docházet k neúnosnému zatížení vodních toků. Pro čistírny odpadních vod, na které jsou přiváděny splaškové vody z oddílné kanalizace, se nejčastěji využívá kombinace česlí a štěrbínové nádrže.

Jednotná kanalizace, která odvádí na čistírnu společně jak splaškové, tak dešťové vody, je u nás stále nejrozšířenější. Jednorázové zvýšení průtoku, způsobené průnikem srážkové vody a vody z tání sněhu, které mnohonásobně překračuje běžné průtoky odpadních vod, způsobuje vypláchnutí kanalizace a přináší do čistíren odpadních vod další znečištění z obce (smyvy z komunikací, parkovišť a jiných zpevněných i nezpevněných povrchů). Toto znečištění látkově i hydraulicky zatěžuje čistírny odpadních vod a může v případě špatně fungujícího dešťového oddělovače a mechanického předčištění ovlivnit negativně průběh čištění odpadní vody v kořenové čistírně. S rostoucí plochou zpevněných ploch je odtok srážkových vod rychlejší a tím i prudce vzrůstá průtok srážkových vod odtékající do jednotné kanalizace. V obcích je proto vhodné provést taková opatření, která by minimalizovala množství a znečištění srážkových vod odtékajících do jednotné kanalizace (např. porézní zpevněné plochy, vsakovací pásy a rýhy podél chodníků a zpevněných cest). Při průtoku velkých vod z přivalových srážek je nutné přebytečnou vodu oddělit odlehčovacími objekty již před vlastní čistírnu, aby se zabránilo hydraulickému přetížení KČOV a přísunu zvýšeného množství nerozpuštěných látek, které mohou způsobit problémy v předčištění, případně v kořenovém poli. K základním uspořádáním patří odlehčovací komory přepadové (**Obr. 5**) s přímým, šikmým nebo bočním přelivem (jednostranným a oboustranným). Oddělená srážková voda (smíšená se splaškovou vodou) se částečně čistí buď v dešťových zdržích, nebo je zaústěna přímo do vodoteče. V malých obcích v České republice je oddělená voda téměř vždy zaústěna přímo do vodoteče, v některých případech je voda nejdříve svedena do usazovacích nádrží v areálu kořenové čistírny a poté je vypouštěna do recipientu. V některých evropských zemích, například ve Velké Británii, se pro čištění vod z dešťových oddělovačů využívají velmi úspěšně samostatné KČOV. Pro čistírny odpadních vod, která je budována na jednotné stokové síti, je nejčastěji využívána kombinace česlí, lapáku písku a štěrbínové nádrže nebo septiku (do 50 EO).



Obr. 5. Odlehčovací dešťová komora na jednotné kanalizaci. Vlevo jednostranný boční přeliv (KČOV Libnič), vpravo oboustranný boční přeliv na KČOV Slavošovice. Foto Jan Vymazal.

3.2.1. Česle

Významnou částí hrubého předčištění městských odpadních vod jsou česle (**Obr. 6**). Česle jsou určeny k zachycování jak větších předmětů (větvě, shluky trávy, hadry, obaly, plastové předměty), tak hrubých nerozpuštěných částic (větší zbytky ovoce, zelenina, papíry, korkové zátky, cigaretové filtry apod.). Česle jsou tvořeny řadou ocelových prutů (česlic) kruhového, obdélníkového nebo lichoběžníkového profilu. Jsou zasazeny do pevného rámu, který je umístěn většinou pod úhlem 30–60° v přítokovém žlabu za lapákem písku. Ručně stírané česle se většinou instalují pod úhlem 45°. V některých případech mohou být česle řazeny před lapák písku. Podle vzdálenosti mezi česlicemi rozeznáváme česle hrubé s šířkou mezi česlicemi (průlinami) větší než 60 mm a jemné s průlinami menšími než 40 mm. Na velkých čistírnách odpadních vod se zařazují hrubé a jemné česle za sebou, na menších čistírnách, a to včetně kořenových čistíren, se instalují většinou pouze česle hrubé. Je vhodné použít česle s velmi kvalitní povrchovou úpravou (např. žárové zinkování), neboť jsou vystaveny přímým účinkům zvýšené koroze v místě měnící se hladiny. Česle bývají vyjímatelné a jejich osazení musí být jednoduché a spolehlivé, neboť se zpravidla provádí pod hladinu vody.



Obr. 6. Ručně stírané česle. Vlevo KČOV Horušany u Přeštic, vpravo KČOV Slavošovice u Třeboně (nad česlemi je odvodňovací plošina, na kterou se shrabky deponují před odstraněním do kontejneru). Foto Jan Vymazal.

Průtočná rychlost ve žlabu, ve kterém jsou umístěny česle, by neměla klesnout pod $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, aby nedocházelo k usazování písku, a zároveň by neměla být větší než $0,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, aby proudem vody nebyly strhávány již zachycené částice. Nečistoty zachycené na česlích (shrabky) musí být pravidelně odklizeny, aby nedocházelo ke vzdouvání hladiny, což může mít za následek i nadbytečný přepad do obtoku, pokud hladina vody vystoupí až nad úroveň přelivu v oddělovací šachtě. Česle, které se používají na kořenových čistírnách, jsou mechanicky stírané, protože na kořenových čistírnách není zaveden elektrický proud nutný pro automaticky stírané česle. Pro čištění česlí se většinou používají hrábě nebo jim podobné stírací mechanismy. Nejbezpečnějším způsobem likvidace shrabků je spalování při teplotách 680 až 750 °C. Kromě tohoto způsobu likvidace shrabků se uplatňuje především kompostování, skládkování po hygienickém zabezpečení vápnem nebo chlorovým vápnem a ukládání v kontejnerech, ve kterých jsou transportovány ke konečnému zpracování. Se shrabky je vždy nakládáno podle provozního řádu dané čistírny. Shrabky jsou tvořeny přibližně z 50 % hadry, 20–30 % papírem, 5–10 % plasty, 2 % gumou a gumovými výrobky, 2–3 % zbytky ovoce a zeleniny a 2–3 % nerozpadlými fekáliemi. Průměrná vlhkost shrabků po jejich odkapání je cca 75 %. Průměrná produkce shrabků se udává u hrubých česlí hodnotou 2–3 litry na 1 EO za rok a 5–10 litrů na 1 EO za rok u jemných česlí.

3.2.2. Lapáky písku

V lapácích písku se odstraňují suspendované, těžké anorganické látky jako písek, drobný štěrk, úlomky skla, jemná škvára a další látky podobného charakteru. V lapácích písku (LP) by se neměly usazovat nerozpuštěné organické látky, protože by mohly po usazení zahnívat. Lapák písku pracuje na principu snížení průtočné rychlosti vody. V ideálním lapáku písku by se měl zachytit pouze minerální podíl suspenze bez organických příměsí. Množství písku v městských odpadních vodách je velmi různé a závisí na konfiguraci terénu, povrchové úpravě odvodňovaných ploch a pohybuje se v rozmezí 5-12 litrů na obyvatele za rok. V deštivém období mohou být uvedené hodnoty až dvacetinásobně překračovány.

Nejjednodušší lapák písku s horizontálním průtokem je lapák žlabový (**Obr. 7**). Usazený písek a další usazené látky je nutné pravidelně manuálně vyklízet z usazovacího žlabu do zásobního prostoru na straně lapáku. Dalším typem, který se běžně používá na kořenových čistírnách, je štěrbinový lapák písku (**Obr. 7**). Voda protéká horizontálním žlabem a usazené látky se štěrbinou sesouvají do akumulárního prostoru, který je nutné pravidelně vyklízet. U tohoto typu lapáku však může docházet i k usazení nerozpuštěných organických látek, které mohou v akumulárním prostoru zahnívat. Včasná a pravidelná vyklízení je nutnou podmínkou pro dobrou funkci lapáku. Komerový lapák, který se skládá ze dvou nebo více úzkých žlabů, do kterých je podle potřeby voda rozdělena pomocí stávek, se pro kořenové čistírny používá jen výjimečně. Dna žlabů jsou vystavena erozním účinkům písku a také při jejich vyklízení, a proto je nutno je realizovat z kvalitních materiálů.

K lapákům písku je nutno zabezpečit pohodlný a bezpečný přístup i v době deště tak, aby je bylo možno udržovat i v těchto nepříznivých podmínkách, neboť právě v době dešťového přívalu jsou vystaveny největšímu zatížení.

3.2.3. Septiky

Septik představuje usazovací nádrž na odpadní vodu s přepadem. V septiku dochází k částečnému anaerobnímu odstraňování organických látek a k anaerobní stabilizaci kalu. Vzhledem k tomu, že v běžném septiku není oddělen usazovací a vyhnívací prostor, může docházet ke zhoršování odtoku vyhnívacím kalem. Tuto skutečnost lze eliminovat nebo výrazně potlačit použitím vícekomorových septiků a použitím norných stěn mezi komorami, které zabraňují plovoucímu kalu protékat z jedné komory do druhé. Tyto norné stěny by měly sahat minimálně 15 cm nad hladinu a 30 cm pod hladinu. U intenzifikovaných septiků se zařazují přepážky do jednotlivých komor tak, aby voda byla nucená protékat vrstvou vyhnívacího kalu na dně septiku. Tím se dosáhne výrazně vyšší účinnosti odstranění organických látek. Celkový objem septiku se navrhuje podle doby zdržení v účinném prostoru septiku a podle potřebného kalového prostoru. Doporučuje se střední doba zdržení tři dny. K objemu účinného prostoru se připočítává objem kalového prostoru o velikosti 50–60 % z objemu účinného prostoru septiku. Septiky je nutné

vyklízet minimálně jednou ročně a dále vždy, když výška kalu dosáhne 1/3 užitečné výšky, přičemž se v septiku vždy ponechá asi 15 cm vrstva vyhnílého kalu pro zaočkování. Septiky jsou využívány pro malé zdroje znečištění (cca do 50 EO), pro větší zdroje znečištění se doporučuje štěrbínová nádrž.



Obr. 7. Horizontální lapák písku. Vlevo žlabový lapák písku na KČOV Kámen u Havlíčkova Brodu, vpravo štěrbínový lapák písku na KČOV Ostrolovský Újezd u Českých Budějovic. Foto Jan Vymazal.

3.2.4. Štěrbínové nádrže

Štěrbínová nádrž je usazovací nádrž sloužící k zachycení jemných kalových částic. Jde o hlubokou nádrž, která je rozdělena dnem se štěrbínou. V horní části probíhá usazování, usazený kal se sesouvá po šikmých stěnách žlabů a propadá štěrbínou do níže položeného usazovacího prostoru, ve kterém dochází k jeho anaerobní stabilizaci. Před odtokem z usazovacího žlabu musí být osazena normá stěna, která zabraňuje odtoku plovoucích částic. Sklon šikmých stěn usazovacího prostoru má být minimálně 1,4:1, šířka štěrbiny musí být minimálně 0,12 m. Štěrbínové nádrže se vyklízejí většinou dvakrát ročně.

3.3. Filtrační lože

3.3.1. Kořenové čistírny s horizontálním průtokem

Filtrační lože je většinou 60 až 80 cm hluboké a substrát musí být dostatečně

propustný, aby nedocházelo k ucpávání. Hloubka kořenového pole je odvozena od skutečnosti, že kořeny a oddenky rákosu obecného, který se dříve téměř výhradně používal k osázení kořenových čistíren, prorůstá bezpečně do této hloubky. Původní teorie předpokládala, že kyslík, transportovaný rostlinami do kořenové zóny, vytvoří aerobní prostředí v celém kořenovém filtru. Tato teorie však neplatí, protože většina kyslíku je spotřebována na aerobní dýchání kořenů. I přes tyto poznatky však hloubka filtračního lože zůstává stále stejná. Kořenové čistírny, které byly budovány v 70. a 80. letech 20. století, většinou využívaly těžké, jílovité zeminy, které měly vysoký filtrační a čistící účinek, ale docházelo velmi rychle k ucpávání a k povrchovému odtoku. Zkušenosti z České republiky i ze zahraničí však ukazují, že povrchový odtok prakticky nemá vliv na účinnost čištění. V současné době se nejvíce používá praný štěr, drčené kamenivo nebo kačírek o zrnitosti 5-20 mm. Je vhodné používat pouze jednu frakci, neboť při použití více frakcí může dojít k nedokonalému promísení jednotlivých frakcí a poté se mohou vytvářet zkratové proudy ve filtračním loži. Navíc je bezpodmínečně nutné použít prané materiály zbavené prachu či zeminy. Plnění filtračního lože filtračním materiálem by mělo být provedeno z prostoru mimo kořenové lože, aby se filtrační materiál nezhužňoval působením těžkých mechanismů ve vlastním loži. Rozvodné a sběrné zóny jsou vyplněny hrubým kamenivem (50-200 mm), aby se odpadní voda dobře rozvedla po celém profilu nátokové hrany. Filtrační lože je odděleno od podloží nepropustnou vrstvou, nejčastěji plastovou fólií (PVC, PE), aby nedocházelo k nekontrolovaným průsakům do podloží a následnému znehodnocování podzemních vod. U menších polí se často používá PVC 803 tloušťky 1 mm, u větších filtračních polí jsou podstatně výhodnější těsnící fólie z PE-H tloušťky 1,5 až 2 mm. Plastovou fólii je vhodné ochránit před poškozením, např. ji podložit a překrýt geotextilií, aby nedošlo k protržení fólie při navážení filtračního materiálu. Pokud je podloží tvořeno málo propustným materiálem (jíly s hydraulickou vodivostí $< 10^{-8}$ m/s), není nutné používat další izolace.

Dimenzování filtračních polí

Kořenové čistírny jsou téměř vždy dimenzovány tak, aby bylo zajištěno dostatečné odstranění organických a nerozpuštěných látek. Plocha kořenových polí je navrhována podle rovnice (1), která vychází z reakce prvního řádu pro pístový tok při odstraňování BSK₅:

$$(1) \quad A_h = Q_d (\ln C_o - \ln C_t) / K_{BSK_5}$$

kde

A_h	= plocha filtračních polí (m^2)
Q_d	= průměrný průtok odpadní vody ($m^3 \cdot d^{-1}$)
C_o	= koncentrace BSK ₅ na přítoku na filtrační pole ($mg \cdot l^{-1}$)
C_t	= požadovaná koncentrace BSK ₅ na odtoku ($mg \cdot l^{-1}$)
K_{BSK_5}	= rychlostní konstanta ($m \cdot d^{-1}$)

Tato rovnice byla navržena Kickuthem v polovině 70. let 20. století a je s úspěchem používána dodnes. Změnila se pouze hodnota konstanty K_{BSK} . Hodnota $0,19 \text{ m.d}^{-1}$, kterou původně navrhl Kickuth v Německu a jejímž výsledkem byla příliš malá plocha, byla na základě výsledků z více než jednoho sta provozovaných kořenových čistíren ve Velké Británii a Dánsku změněna koncem 80. let na $0,1 \text{ m.d}^{-1}$. I když výsledky z KČOV po celém světě později ukázaly, že hodnota $0,1 \text{ m.d}^{-1}$ je pravděpodobně dostatečná pro dimenzování filtračních polí čistíren, které jsou určeny pro odstraňování organických a nerozpuštěných látek, v současné době se používá spíše hodnota $0,075\text{-}0,085 \text{ m.d}^{-1}$ pro zajištění kvalitní účinnosti čištění.

V 90. letech minulého století byla rovnice (1) modifikována s využitím koncentrace C^* (2), což je koncentrace pozadí a reprezentuje koncentraci BSK_5 , která se vytvoří ve vlastním mokřadu, např. rozkladem rostlinné biomasy nebo exudáty, které jsou rostlinami vylučovány:

$$(2) \quad A_h = Q_d \ln [(C_i - C^*) / C_o - C^*] / K_{BSK}$$

Pro městské a domovní splašky vychází s použitím této rovnice plocha filtračních polí cca 5 m^2 na jednoho připojeného obyvatele. Vzhledem k faktu, že v současné době je produkce znečištění na malých vesnicích menší než v minulosti, vychází plocha vegetačních polí přibližně $8 - 10 \text{ m}^2$ na jednoho ekvivalentního obyvatele ($EO = 60 \text{ g BSK}_5$ na osobu a den). Podle rozsáhlého průzkumu, který prováděla Agentura ochrany přírody v České republice, lze v současné době pro zdroje znečištění do 2000 obyvatel použít vztah: počet $EO = 0.2764 PO^{1,148}$, kde PO je počet skutečně připojených obyvatel.

Zpočátku bylo vždy využíváno jen jedno filtrační pole bez omezení velikosti, což vedlo často ke špatné hydraulice systému a zkratovým proudům. Tento nedostatek byl eliminován rozdělením celkové plochy na několik menších polí, což však na druhou stranu vede ke zvětšení celkové plochy čistírny. Jako pomocná návrhová kritéria se používají dva faktory: délka nátokové hrany $0,20 - 0,40 \text{ m}$ na jednoho připojeného obyvatele a maximální délka kořenového pole cca 30 metrů . Výsledkem je, že filtrační pole mají často poměr délka : šířka menší než 1. Široká nátoková hrana zabráňuje lokálnímu přetížení a případnému ucpávání lože, krátké pole minimalizuje výskyt zkratových proudů.

Distribuce a sběr vody

Původně byla mechanicky předčištěná odpadní voda většinou přiváděna do rozvodné zóny přes otevřený žlab. Tento způsob se však ukázal jako nepřilíš vhodný vzhledem k nutnosti stálé kontroly přelivné hrany. Od poloviny 80. let je předčištěná odpadní voda běžně přiváděna přímo do rozvodné zóny, která je vyplněna hrubým kamením. Pro rozvod odpadní vody se většinou používají plastové trubky s velkými otvory, aby se zabránilo ucpávání. Rozvodné potrubí může být uloženo buď pod úroveň povrchu šterkového pole a povrch rozvodné zóny je ve stejné úrovni jako povrch filtračního pole, nebo jsou rozvodné trubky uloženy na povrchu filtračního pole a jsou převrstveny hrubým kamenivem.

Sběrné potrubí je uloženo na dně filtračního pole a je spojeno v odtokové šachtě s výpustním mechanismem, kterým se nastavuje výška vodního sloupce ve filtračním loži na principu spojených nádob (**Obr. 3**). První KČOV využívaly železných otočných kolen, která však rychle podléhala korozi a manipulace s nimi se stala již po krátké době provozu velmi obtížnou. Železná kolena byla postupně nahrazena plastovými, ale v poslední době se nejlépe osvědčují flexibilní hadice nebo plastové trubky zavěšené na řetízcích (**Obr. 10**). Manipulace s hadicemi je velmi snadná a lze docílit velmi přesného nastavení výšky vodní hladiny. Při běžném provozu se hladina vody udržuje 5 - 10 cm pod povrchem filtračního lože. V zimních měsících lze vodní hladinu snížit, ale provozní zkušenosti ukazují, že vegetace poskytuje dostatečnou izolaci před zamrznáním, a hladinu vody není nutné v zimním období snižovat.



Obr. 10. Odtoková plastová trubka zavěšená na řetízku, kterou se udržuje výška vody ve filtračním loži na KČOV Sklené. Foto Jan Vymazal.

Vegetace

Mokřadní rostliny jsou nedílnou součástí mokřadů a v kořenových čistírnách plní řadu důležitých funkcí, ale je nutné si uvědomit, že tyto funkce jsou především nepřímého charakteru. V našich klimatických podmínkách se jeví jako nejdůležitější funkce zateplování povrchu filtračních polí v průběhu zimního období. Z tohoto důvodu se vegetace většinou sklízí až na konci zimního období, když již nehrozí nebezpečí velkých mrazů. Další možností je posekat vegetaci před nástupem mrazů, ponechat ji na povrchu kořenového lože a odstranit ji až na jaře. Velmi významnou funkcí rostlin je poskytování podkladu (kořeny a oddenky) pro přisedlé mikroorganismy, které se jinak nevyskytují ve volné půdě. Z půdní mikrobiologie je známo, že počet bakterií v prokořeněném půdním substrátu je běžně o 2 až 3 řády vyšší než v půdě bez kořenů. Mokřadní rostliny jsou uzpůsobeny anatomicky, morfologicky i fyziologicky na prostředí bez přítomnosti kyslíku v zaplavených půdách.

Pravděpodobně nejdůležitější adaptací je schopnost transportovat kyslík do kořenů a oddenků, takže zde může probíhat aerobní respirace. Transport kyslíku v rostlině umožňuje tzv. aerenchym, což je velmi porézní tkáň s velkým množstvím vzduchových prostorů. Zatímco „porozita“ tkáně suchozemských rostlin je většinou <7%, u mokřadních rostlin je to většinou > 20%, u některých rostlin může „porozita“ dosáhnout i více než 50%. Část kyslíku, který není spotřebován na dýchání, proniká do okolí kořenů a vytváří malé aerobní zóny, kde může probíhat například nitrifikace, tj. oxidace amoniaku, dochází k oxidaci toxických sloučenin, které vznikají v anaerobním prostředí (např. sulfan).

Mokřadní rostliny také odčerpávají živiny z odpadní vody a v případě sklizení vegetace lze odstranit spolu s biomasou i živiny, především pak fosfor a dusík. Množství, které lze tímto způsobem odstranit, je však s porovnáním s přítékajícím množstvím jen velmi malé a nepřesahuje 5% ročního zatížení pro fosfor a 10% pro dusík pro běžné splaškové vody. Frekvence a vhodné období pro sklizení nadzemní biomasy se však liší mezi jednotlivými druhy. Zatímco chřastice lze bez problémů sklízet i třikrát ročně v průběhu vegetačního období, rákos naproti tomu není vhodné během vegetační sezóny sklízet.

Rostliny, které se používají v kořenových čistírnách, musí splňovat řadu kritérií a především by měly:

1. tolerovat znečištění a vysoký stupeň anaerobie (tj. prostředí bez kyslíku) vzhledem k velkému organickému zatížení,
2. produkovat velkou nadzemní biomasu (pro dobré zateplení povrchu, případě odčerpání živin) a
3. mít velkou podzemní biomasu a dobré prokořenění filtračního substrátu (podklad pro růst baktérií a difúze kyslíku do rhizosféry).

Nejpoužívanější rostlinou v kořenových čistírnách s horizontálním průtokem je rákos obecný (*Phragmites australis*), který se používá po celém světě, s výjimkou Nového Zélandu a některých států USA, neboť je zde považován za nepůvodní druh a jsou obavy z jeho šíření. V řadě zemí se používají lokální mokřadní rostliny. V České republice se často využívá chřastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*) a zblochan vodní (*Glyceria maxima*). Podrobnosti v kapitole 6.1.3.

3.3.2. Kořenové čistírny s vertikálním průtokem

Umělé mokřady s vertikálním průtokem byly původně navrženy jako předčištění před kořenovými čistírnami s horizontálním průtokem a nebyly navrženy jako samostatný stupeň čištění. Na rozdíl od kořenových čistíren s horizontálním průtokem, kde odpadní voda je na filtrační pole přiváděna kontinuálně, je u vertikálních systémů voda čerpána přerušovaně na povrch filtru. Každé další čerpání následuje až poté, co odpadní voda proteče filtrem a filtrační lože se vyprázdní. To umožňuje podstatně lepší přestup kyslíku do filtračního lože, což je nezbytná podmínka pro nitrifikaci (oxidaci amoniaku). Vertikální umělé mokřady jsou většinou 1,0 až 1,2 m hluboké a na rozdíl od horizontálních systémů se jako filtrační médium používá většinou písek, přičemž velmi často je použito několik vrstev různých frakcí.

První vertikální umělé mokřady byly většinou navrženy jako součást hybridních systémů tak, že v prvním stupni byla 2-4 vertikální filtrační pole, která byla zatěžována střídavě. V současné době se vertikální umělé mokřady používají i jako samostatné jednotky a v literatuře jsou často označovány jako vertikální systémy „2. generace“ nebo „kompaktní vertikální systémy“. Většina těchto systémů je navržena jako malé domovní čistírny, ale v některých zemích, např. ve Francii, se vertikální mokřady používají i pro zdroje znečištění přes 1000 EO.

Umělé mokřady s vertikálním průtokem používají téměř výhradně rákos obecný (*Phragmites australis*). Kromě funkcí, které jsou shodné jako v KČOV, je velmi důležitou funkcí rostlin ve vertikálních filtrech zlepšování propustnosti povrchové vrstvy filtru. To je dáno především rozrušováním povrchové vrstvy tvořené nerozpuštěnými látkami, které jsou odstraňovány z odpadní vody.

Dimenzování kořenových čistíren se velmi liší v jednotlivých zemích. Podle rakouské (ÖNORM B 205) a německé normy (DWA-A-262) se používá plocha filtrů 4 m^2 na jednoho ekvivalentního obyvatele (EO). Dánská norma doporučuje plochu $3 \text{ m}^2/\text{EO}$ a francouzská norma využívá plochu $2 \text{ m}^2/\text{EO}$, která je rozdělena na $1,2 \text{ m}^2$ v prvním stupni a $0,8 \text{ m}^2$ ve druhém stupni.

4. Procesy podílející se na odstraňování znečištění v KČOV

4.1. Organické látky

Organické látky, které jsou stanoveny jako BSK_5 nebo $CHSK_{Cr}$, jsou odstraňovány v kořenových čistírnách odpadních vod velmi efektivně. K rozkladu organických látek dochází především mikrobiálním rozkladem ve filtračním loži aerobním nebo anaerobním způsobem. Aerobní respirace (rovnice 1) probíhá v kořenových čistírnách s horizontálním průtokem v aerobní vrstvě těsně pod povrchem filtračního lože a v těsné blízkosti kořenů mokřadních rostlin, kam difunduje kyslík nespotřebovaný respirací.

Vzhledem k tomu, že spotřeba rozpuštěného kyslíku pro mikrobiální procesy výrazně převyšuje jeho difúzi z atmosféry a z kořenů mokřadní vegetace, je převážná část organických látek rozložena v anaerobních nebo anoxických podmínkách. K odstranění organického znečištění dochází především v prvních částech kořenového pole na přítoku, přičemž k výraznému úbytku koncentrace organických látek dochází již v rozvodné zóně. Z tohoto důvodu je nutné započítat rozvodnou zónu do celkové plochy filtračního pole. Výsledky z celého světa a především z oblastí, kde jsou dlouhé a tuhé zimy (např. Estonsko, Norsko, Kanada nebo severní Čína), jednoznačně prokázaly, že účinnost odstraňování organických látek probíhá celoročně a není závislá na ročním období.

4.2. Nerozpuštěné látky

Nerozpuštěné látky jsou v kořenových čistírnách s horizontálním průtokem odstraňovány velmi efektivně filtrací a sedimentací ve filtračním loži. K největšímu zachytu nerozpuštěných látek dochází bezprostředně po vtoku odpadní vody do filtračního lože. Tento fakt může vést při nedokonalém mechanickém předčištění k ucpávání filtračního lože. K ucpání filtračního lože docházelo především u systémů, kde byly využívány lokální zeminy, případně zeminy s vyšším obsahem jílovitých částic. Tyto filtrační materiály byly používány v Německu a v Dánsku koncem 70. a začátkem 80. let minulého století. I přes ucpání vtokových zón byl čistící účinek vysoký a mnohé takové čistírny jsou v provozu i dnes. Od konce 80. let minulého století se však používají filtrační materiály s vysokou hydraulickou propustností (především praný štěrk a kačírky, které ve spojení s kvalitním předčištěním výrazně snížily možnost ucpávání filtračního lože).

4.3. Dusík

Dusík má velmi komplexní biogeochemický cyklus s řadou biotických i abiotických transformací, ve kterých se mocenství dusíku pohybuje v rozmezí od -3 do $+5$. Sloučeniny dusíku zahrnují celou škálu anorganických a organických forem, které jsou nezbytné pro

veškerý biologický život. Nejdůležitější anorganické formy dusíku jsou amoniak (NH_3), dusitany (NO_2^-) a dusičnany (NO_3^-). Dusík se může vyskytovat v plynné formě jako N_2 , N_2O , NO_2 , N_2O_2 . Z mnoha organických forem jsou v mokřadech nejčastější močovina, aminokyseliny, aminy, puriny a pyrimidiny. V mokřadních systémech se kontinuálně mění anorganické sloučeniny na organické a naopak. Některé z těchto procesů vyžadují energii (jako zdroj slouží většinou organický uhlík) a některé procesy uvolňují energii, která je využívána organismy pro jejich růst a přežívání v daném ekosystému. Všechny transformace jsou nezbytné k dobrému fungování mokřadního ekosystému a většina chemických změn je kontrolována produkcí enzymů a katalyzátorů organismy, které z těchto změn mají užitek. V **Tabulce 1** jsou uvedeny procesy, které ovlivňují odstraňování dusíku z odpadní vody.

Těkání amoniaku

Těkání amoniaku je fyzikálně-chemický proces, ke kterému dochází při vyšších hodnotách pH. Všeobecně platí, že při $\text{pH} < 7,5$ jsou ztráty těkáním NH_3 do ovzduší minimální, při $\text{pH} > 9,0$ již dochází k výrazným únikům amoniaku do ovzduší. Vzhledem k tomu, že kořenové čistírny nemají volnou hladinu a pH splaškových odpadních vod většinou nepřesahuje hodnotu $\text{pH} 8,0$, je podíl těkání amoniaku na celkovém množství odstraněného dusíku prakticky nulový. U mokřadů s volnou vodní hladinou ale podíl těkání může být významný.

Amonifikace

Amonifikace (mineralizace) je proces, při kterém je organický N biologicky transformován na amoniak. Tento proces je několikastupňový a je uskutečňován řadou biochemických pochodů, při kterých je uvolňována energie. V některých případech je energie využívána mikroorganismy pro jejich růst a vzniklý amoniak je přímo začleňován do mikrobiální biomasy. Amonifikace může probíhat za aerobních, anoxických i anaerobních podmínek. Mineralizace v aerobním prostředí probíhá velmi rychle a její rychlost se výrazně snižuje v prostředí anoxickém a anaerobním. Kineticky je amonifikace výrazně rychlejší než nitrifikace, a proto v přítomnosti kyslíku, amoniaku a organických látek obsahujících dusík je přednostně oxidován organický dusík (na amoniak).

Tabulka 1. Transformace a odstraňování dusíku v kořenových čistírnách. Tučně jsou vyznačeny procesy, které odstraňují dusík ze systému. AE = aerobní podmínky, AN = anaerobní podmínky.

Proces	Reakce	Podmínky
Těkání	$(\text{NH}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{NH}_3(\text{g}))$	
Amonifikace	$(\text{org. N} \rightarrow \text{N-NH}_3)$	AE,AN
Nitrifikace	$(\text{NH}_3 \rightarrow \text{N-NO}_3^-)$	AE
Nitrát-amonifikace	$(\text{N-NO}_3^- \rightarrow \text{N-NH}_3)$	AN
Denitrifikace	$(\text{N-NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2, \text{N}_2\text{O})$	AN
Fixace N_2	$(\text{N}_2 \rightarrow \text{org. N})$	AN*
Asimilace**	$(\text{N-NH}_3, \text{N-NO}_2^-, \text{N-NO}_3^- \rightarrow \text{org. N})$	AE, AN
Anammox	$(\text{N-NH}_3 \rightarrow \text{N}_2)$	AN
Adsorpce amonných iontů		
Ukládání organického dusíku		

*Vlastní fixace probíhá za anaerobních podmínek, fixovat však mohou i aerobní organizmy (viz další text).

**v případě, že se biomasa sklízí

Nitrifikace

Nitrifikace je většinou definována jako biologická oxidace amoniaku na dusičnanů, která probíhá ve dvou stupních v aerobním prostředí, tj. v přítomnosti kyslíku.

Nitrát-amonifikace

První anaerobní proces, který se objevuje po odčerpání kyslíku, je redukce dusičnanů na molekulární dusík a amoniak. Redukce dusičnanů je uskutečňována dvěma skupinami nitrát-redukujících bakterií: denitrifikační bakterie, které vytvářejí N_2O a N_2 jako hlavní redukční produkty, a nitrát-amonifikační bakterie, které vytvářejí NH_4^+ jako hlavní konečný produkt redukce dusičnanů.

Denitrifikace

Denitrifikace je většinou definována jako biochemická redukce NO_2^- a NO_3^- na N_2 nebo plynné oxidy dusíku. Proces je znám od roku 1868. Tato reakce je nevratná a probíhá v přítomnosti dostupného organického substrátu v anaerobních nebo anoxických podmínkách, tj. bez přístupu kyslíku.

Fixace

Fixací dusíku se rozumí konverze plynného dusíku (N_2) na amoniak. V mokřadních půdách může fixovat plynný dusík velké množství symbiotických i volně žijících organismů. Mezi tyto organismy patří organotrofní bakterie, fototropické sírné bakterie a sinice. Schopnost sinic fixovat plynný dusík byla prokázána již v roce 1928.

Rostlinný příjem a asimilace

Asimilací dusíku se rozumí různé biologické procesy, které převádějí anorganické formy dusíku na organické sloučeniny, které slouží jako stavební materiál pro buňky a tkáň. Nejčastější formy využívané pro asimilaci jsou amoniak a dusičnan. Vzhledem k tomu, že amoniak je energeticky více redukována forma než dusičnan, bývá přednostně využíván jako zdroj dusíku. Amoniak je lehce zabudován do aminokyselin, zatímco dusičnany musí být nejprve redukovány na využitelnou formu. Většina rostlin je schopna využívat i dusičnany, ale příjem a jejich následná asimilace jsou méně výhodné. V oblastech mírného pásma je dusík (a další živiny) přijímán především ve vegetačním období jaro-léto, tedy v období, kdy jak nadzemní, tak podzemní části rostlin rostou. Na konci vegetačního období jsou u trvalých rostlin živiny přemísťovány do podzemních orgánů. Rychlost přesunu zásobních látek se liší podle druhu rostlin a je ovlivňována celou řadou faktorů.

Sklízením nadzemní biomasy lze odstranit určité množství dusíku, toto množství je však velmi malé ve srovnání s ročním zatížením čistírny a většinou nepřesahuje 10%. Množství dusíku v nadzemní biomase je závislé jednak na biomase a jednak na koncentraci dusíku v této biomase. Maximální biomasa a maximální koncentrace dusíku v biomase se však nevyskytují ve stejném období. Maximální koncentrace dusíku (a jiných živin) lze pozorovat na začátku vegetačního období (v našich podmínkách většinou duben-květen), zatímco maximální biomasa se objevuje většinou v období před nástupem květu. Pro chřastici rákosovitou je to druhá polovina července, pro rákosu obecný konec srpna a začátek září, podle místních podmínek. V tomto období je také v rostlinách uloženo nejvíce dusíku a biomasa je hlavním faktorem, který určuje celkové množství kumulovaného dusíku. V našich podmínkách lze očekávat kumulaci dusíku pro rákosu a chřastici v rozmezí 30-50 g N /m². Některé rostliny, především rákos, však nesnášejí sklízení během vegetační sezóny, a proto se sklízení rákosy v letním období nedoporučuje. Navíc rákos po letní sklizni nevytvoří dostatečnou biomasu pro zateplení povrchu filtračních polí v zimním období. Naproti tomu chřastice snáší i vícenásobné kosení v průběhu vegetačního období bez problémů a po kosení v září vytvoří dostatečnou biomasu pro zateplení.

Adsorpce amoniaku

Amonné ionty (NH_4^+) mohou být adsorbovány z roztoku iontově výměnnými reakcemi na detritus, anorganické půdy a sedimenty. Adsorbované amonné ionty jsou vázány jen lehce a mohou být snadno uvolněny zpět do vodního prostředí, jestliže se změní chemické vlastnosti prostředí. Amonné ionty jsou většinou adsorbovány jako vyměnitelné ionty na částice jílu, chemicky sorbovány huminovými látkami nebo fixovány v jílových maticích.

Dusík v odpadních vodách

V městských odpadních vodách se dusík vyskytuje především ve formě amoniaku a organického dusíku. Kořenové čistírny s horizontálním průtokem dimenzované tak, aby zajistily odstranění organických a nerozpuštěných látek, tj. cca $5 \text{ m}^2 \cdot \text{EO}^{-1}$, nemohou zajistit dostatečnou eliminaci amoniakálního dusíku. Hlavní příčinou je velmi omezený přestup kyslíku do filtračního lože z atmosféry a tím limitovaná nitrifikace (oxidace amoniaku na dusičnany), která probíhá pouze za přítomnosti kyslíku. Je známo, že přestup kyslíku z atmosféry do zaplaveného nebo vodou nasyceného substrátu je 10 000 x pomalejší než přestup kyslíku do odvodněného substrátu. Z tohoto důvodu je rozpuštěný kyslík ve filtračním poli rychle vyčerpán bakteriální respirací a nastupují anoxické a anaerobní procesy, které využívají jiné zdroje kyslíku (dusičnany, oxidované formy železa a manganu, sírany). Na rozdíl od amoniaku probíhá rozklad organických dusíkatých látek i bez přítomnosti rozpuštěného kyslíku. Jelikož produktem rozkladu organických dusíkatých látek je amoniak, rozklad organických dusíkatých látek navyšuje koncentraci amoniaku v odpadní vodě. Na druhé straně KČOV s horizontálním průtokem poskytují velmi dobré podmínky pro denitrifikaci, tj. redukci dusičnanů na plynné formy dusíku (N_2O , N_2), které unikají do atmosféry. KČOV s vertikálním přerušovaným průtokem poskytují velmi vhodné podmínky pro oxidaci amoniaku, protože filtrační pole je provzdušněné, ale nedochází zde k odstranění dusičnanů vzniklých oxidací amoniaku.

4.4. Fosfor

Fosfor se vyskytuje v mokřadech jako fosforečnan v anorganických a organických sloučeninách. Všeobecně se předpokládá, že volné orthofosfáty jsou jedinou formou fosforu, kterou jsou řasy a vyšší rostliny schopny využívat přímo, a proto reprezentují hlavní spojení mezi koloběhem anorganického a organického fosforu v mokřadech. Koloběh fosforu v půdě je zcela odlišný od koloběhu dusíku. V průběhu biotické asimilace anorganického P a dekompozice organického P nedochází ke změně valence.

Fosfor je v mokřadech, a proto i v kořenových čistírnách, zadržován především fyzikálně-chemickými procesy, a to adsorpcí a srážením s přítomnými ionty vápníku, železa a hliníku. Míra uplatnění jednotlivých prvků závisí především na pH systému a množství přítomného iontu. Příjem fosforu mikrobiálními společenstvy je velmi rychlý, ale celkové

množství takto využitého P je velmi malé. Fosfor takto odstraněný z odpadní vody se velmi rychle vrací zpět do prostředí po odumření mikroorganismů. Běžně používané filtrační materiály (praný štěrk, drcené kamenivo) však mají velmi omezenou sorpční kapacitu. Pro lepší odstraňování fosforu v kořenových čistírnách odpadních vod je nutné použít materiál s dobrými sorpčními vlastnostmi. Tyto vlastnosti mají jednak přírodní materiály, jako jsou kalcit, apatit, zeolity, a jednak i různé odpadní materiály, jako jsou strusky z vysokých pecí. V zemích, kde existují velmi přísné limity na vypouštění fosforu, jako je například Norsko, Estonsko nebo Portugalsko, se k odstraňování fosforu používá termicky expandovaný jííl. Při použití tohoto materiálu lze dosáhnout účinnosti odstraňování fosforu i přes 95%. Sorpční kapacita všech filtračních materiálů je však limitovaná, a proto po určitém čase je nutné náplň filtračního lože vyměnit. Určité množství fosforu lze odstranit sklizením nadzemní biomasy. Množství takto odstraněného fosforu však většinou nepřesahuje 5% celkového ročního zatížení čistírny fosforem.

4.5. Bakteriální znečištění

Mikrobiální znečištění je v KČOV odstraňováno kombinací fyzikálních, biologických a chemických procesů. Téměř vždy se jedná o kombinaci různých procesů a je obtížné určit, jaký je podíl jednotlivých procesů na celkové účinnosti odstraňování mikrobiálního znečištění. V kořenových čistírnách s horizontálním průtokem lze předpokládat přirozený úhyn, oxidaci a působení antibakteriálních látek vylučovaných z kořenů mokřadních rostlin, predaci a sedimentaci. V České republice nejsou stanoveny žádné limity pro vypouštění mikrobiálního znečištění z čistíren odpadních vod, pokud je vyčištěná voda odvedena do recipientu. Limit na mikrobiální znečištění platí pouze pro vypouštění vyčištěné odpadní vody do vod podzemních, a to 50 000 KTJ/100 ml pro *Escherichia coli* a 40 000 KTJ/100 ml pro enterokoky (Nařízení vlády č. 416/2010 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních). Účinnost odstraňování mikrobiálního znečištění v kořenových čistírnách s horizontálním průtokem je srovnatelná s účinností klasických aktivačních čistíren.

4.6. Rizikové prvky

Eliminace rizikových prvků včetně těžkých kovů v kořenových čistírnách je většinou vysoká, avšak míra eliminace kolísá pro jednotlivé prvky. Výsledky výzkumů ukazují, že nejvíce těžkých kovů je zadrženo v sedimentu a v podzemní části rostlin a pouze asi 10% zadržených těžkých kovů se nachází v nadzemní biomase. Rizikové prvky včetně těžkých kovů jsou zadržovány v kořenových čistírnách s podpovrchovým prouděním především dvěma způsoby. V anaerobních zónách dochází k vysrážení nerozpustných siřníků, které vznikly reakcí kovů se sulfanem (sirovodíkem) vzniklým redukcí síranů. Tyto siřníky mají většinou černou barvu. V aerobních podmínkách, tj. v těsné blízkosti kořenů rostlin, jsou těžké kovy vysráženy společně s hydroxidy a oxihydroxidy železa a manganu.

Takto vzniklé sraženiny mají většinou červenou nebo červenohnědou barvu. V anaerobním prostředí jsou oxidované formy železa a manganu redukovány, čímž dochází k jejich rozpouštění a současnému vyplavování těžkých kovů.

Koncentrace těžkých kovů v nadzemní biomase jsou srovnatelné s koncentracemi, které lze stanovit v mokřadní vegetaci přirozených stanovišť, a proto není nutné s touto biomasou nakládat jako s nebezpečným odpadem. Ve většině případů jsou koncentrace tak nízké, že biomasa vyhovuje nárokům na kompostování. Jak již bylo ale uvedeno v předchozím textu, sklizená biomasa se většinou likviduje spálením.

5. Využití kořenových čistíren pro různé typy odpadních vod

5.1. KČOV s horizontálním průtokem

Kořenové čistírny s horizontálním průtokem byly a pravděpodobně stále jsou nejčastěji využívány pro čištění městských splaškových vod. Tato technologie je úspěšně využívána pro čištění splaškových vod s velkou variabilitou vstupních koncentrací a zvláště důležitá je skutečnost, že kořenové čistírny lze výhodně použít i v případě velmi nízkých vstupních koncentrací organických látek, tedy v situaci, kdy klasické čistírny jsou jen velmi obtížně použitelné. Kromě běžně sledovaných parametrů jsou ve splaškových vodách také sledovány další parametry, jako např. lineární alkylbenzensulfonáty (LAS), které jsou významnou součástí pracích a mycích přípravků, a různé farmaceutické produkty a produkty osobní potřeby (tzv. PPCP, pharmaceuticals and personal care products). V současné době se kořenové čistírny s horizontálním průtokem využívají pro všechny druhy odpadních vod včetně průmyslových a zemědělských, splachů a průsaků ze skládek pevného odpadu (**Tab. 2**).

5.2. KČOV s vertikálním průtokem

KČOV s vertikálním průtokem byly původně navrženy jako předčištění před kořenovými čistírnami s horizontálním průtokem a nebyly navrženy jako samostatný stupeň čištění. Na rozdíl od kořenových čistíren s horizontálním průtokem, kde odpadní voda je na filtrační pole přiváděna kontinuálně, je u vertikálních systémů voda čerpána přerušovaně na povrch filtrů. Většina těchto systémů je navržena jako malé domovní čistírny, ale v některých zemích, např. ve Francii, se vertikální KČOV používají i pro zdroje znečištění >1000 EO. V poslední době se začaly i vertikální KČOV využívat pro různé typy odpadních vod (**Tab. 3**), a to především tam, kde je nutná eliminace amoniaku.

V České republice zatím samostatné kořenové čistírny s vertikálním průtokem nejsou v provozu. Pouze několik vertikálních polí je součástí hybridních systémů (Vanov u Telče, Krátká, experimentální KČOV v Třeboni). Účinnost odstraňování znečištění v KČOV s vertikálním průtokem je uvedena v **Tabulce 4**. Z výsledků uvedených v této tabulce je vidět, že tento typ KČOV velmi dobře odstraňuje organické a nerozpuštěné látky a amoniak, ale ten je pouze oxidován na dusičnany bez možnosti redukce na plynné formy vzhledem k přítomnosti kyslíku ve filtračním loži.

Tabulka 2. Příklady využití kořenových čistíren s horizontálním průtokem pro čištění různých druhů odpadních vod.

Typ odpadní vody	Specifikace	Uplatnění
Průmyslové	Petrochemický	USA, Čína, Velká Británie, Jižní Afrika, Súdán, Taiwan
	Chemický	Portugalsko, Austrálie, Čína
	Papírenský	USA, Keňa,
	Textilní	Slovinsko, Austrálie, Německo
	Kožedělný	Portugalsko, Turecko, USA
	Masný	Mexiko, Ekvádor, Nový Zéland, Austrálie, Uruguay
	Potravinářský	Francie, Slovinsko, USA, Itálie, Litva, Nizozemí, Řecko
	Vinařský	JAR, Itálie
	Prádelny	Austrálie
	Důlní vody	Německo, USA
Zemědělské	Vepřiny	Austrálie, Čína, Velká Británie, Thajsko, Litva, Taiwan
	Kraviny	Itálie, Německo, USA, Nový Zéland, Dánsko
	Mléčnice	Itálie, Litva, Německo, USA, V. Británie, Nový Zéland
	Rybí farmy	USA, Kanada, Německo, Taiwan,
Splachové	Dálnice	Velká Británie, Itálie
	Letiště	USA, Velká Británie, Německo, Švýcarsko, Kanada
	Intravilán	Austrálie, USA
	Skleníky a školky	Kanada, Austrálie, Francie
Skládky	Průsaky	Portugalsko, Slovinsko, Norsko, Velká Británie, Polsko, USA,

Tabulka 3. Příklady použití kořenových čistíren s vertikálním průtokem pro různé druhy odpadních vod.

Typ odpadní vody	Lokalita
Speciální organika	Německo Francie Portugalsko
Průsaky sklárky pevného odpadu kompost	Austrálie Německo
Herbicidy	Velká Británie
Letištní splachy	Kanada
Mlékárna	Nizozemí
Výroba sýrů	Německo
Jatka	Kanada
Rafinérie	Pákistán

Tabulka 4. Účinnost kořenových čistíren s vertikálním průtokem. PŘ = přítok (na filtrační pole), OD = odtok, n = počet KČOV, FC* = fekální (termotolerantní) koliformní bakterie (\log_{10} KTJ/100 ml), Úč. = účinnost.

	Koncentrace (mg/l)				Zatížení (kg /ha d)			
	PŘ	OD	Úč. (%)	n	PŘ	OD	PŘ-OD	n
BSK ₅	309	21	88	97	166	19	147	83
CHSK	547	70	79	115	311	56	255	99
NL	188	18	77	74	139	17	122	62
TP	10,6	4,6	48	94	5,7	3,5	2,2	81
TN	70	37,6	44	64	42,1	23,6	18,5	57
NH ₄ -N	56,4	10,6	79	94	27,8	7,1	20,7	85
NO ₃ -N	0,62	25,3		70	0,9	13,1		56
FC*	5,95	3,0	98	20				

5.3. Hybridní systémy

Různé typy umělých mokřadů (popsané v předcházejícím textu) lze mezi sebou kombinovat za účelem vyššího celkového účinku při eliminaci znečištění, především pak pro zvýšení eliminace dusíku. Takové kombinované systémy se nazývají „hybridní“. Filtrační pole kořenových čistíren s horizontálním průtokem jsou většinou anoxická, případně anaerobní, a proto jsou výhodné především kombinace s aerobními typy umělých mokřadů, jako jsou vertikální umělé mokřady nebo mokřady s volnou vodní hladinou. I když byly zpočátku kombinovány pouze horizontální (HF) a vertikální (VF) umělé mokřady, v současné době se kombinují prakticky všechny typy umělých mokřadů. Mnohé z těchto systémů jsou odvozené od původního návrhu Seidlové.

Koncem 70. let 20. století bylo několik hybridních systémů uvedeno do provozu ve Francii. Jednalo se o tzv. „Seidel systém“, tj. kombinaci vertikálního a horizontálního umělého mokřadu. V hybridních mokřadech typu VF-HF dochází k odstraňování organických a nerozpuštěných látek a amoniaku v první části, zatímco ve druhé části dochází k redukci dusičnanů (denitrifikace) na plynné formy dusíku, které unikají do ovzduší. Zároveň dochází k dalšímu odstraňování organických a nerozpuštěných látek. V 90. letech 20. století a na začátku tohoto století byly VF-HF umělé mokřady uvedeny do provozu v mnoha evropských zemích, např. v Slovinsku, Norsku, Francii, Estonsku, Turecku, Irsku, Rakousku nebo Japonsku.

V polovině 90. let 20. století byly odzkoušeny také HF-VF hybridní systémy. Ve velkém horizontálním filtru dochází k odstranění organických a nerozpuštěných látek a denitrifikaci. V následujícím malém vertikálním filtru dochází k nitrifikaci. Aby byla zajištěna denitrifikace v prvním HF filtru, je nutné vodu z odtoku z VF filtru recirkulovat buď do předčisticího stupně (např. do septiku nebo štěrbínové nádrže) nebo na přítok do HF filtru. Tento systém byl vyvinut v Dánsku ve spolupráci s odborníky z Polska a obdobné systémy byly uvedeny do provozu i v jiných zemích.

V současné době se začínají uplatňovat i kombinace umělých mokřadů s povrchovým a podpovrchovým tokem (**Tab. 5**). Příklady uvedené v **Tabulce 5** ukazují, že hybridní umělé mokřady se využívají pro různé druhy odpadních vod.

Tabulka 5. Příklady kořenových čistíren jako součást hybridních umělých mokřadů. HF-horizontální průtok, VF- vertikální průtok, FWS- umělý mokřad s volnou vodní hladinou.

Typ odpadní vody	Stát	Typ
Splašky	Velká Británie	VF-HF
	USA Estonsko	VF-HF VF-HF
	Francie Irsko	VF-HF VF-HF
	Tunis Turecko	VF-HF VF-HF
	Řecko Dánsko	VF-HF VF-
		HF
	Polsko	HF-VF
	Mexiko	HF-VF
	Řecko	FWS-HF
	Kanada	HF-FWS
	Keňa	HF-FWS
	Polsko	HF-VF-HF
	Thajsko	VF-HF-FWS-P
Itálie	HF-VF-HF-FWS	
Průsaky ze skládek	Slovinsko	VF-HF
	Norsko	HF-FWS
	Kanada	HF-FWS
	USA	FWS-HF
	Portugalsko	VF-HF
Nemocnice	Nepál	HF-VF
Mléčnice	Japonsko	VF-HF
Výroba sýra	Francie	VF-HF
Vepřín	Thajsko	VF-HF
Vinařství	Itálie	HF-FWS
	Itálie	VF-HF-FWS
Akvakultura-ryby	Taiwan	FWS-HF
Akvakultura-krevety	Taiwan	FWS-HF
Znečištěná řeka	Taiwan	FWS-HF
Průmysl	Čína	FWS-HF
Důlní vody	Uganda	FWS-HF
Průsak z kompostárny	Francie	VF-HF
Jatka	Polsko	VF-HF

6. Kořenové čistírny v České republice

První zmínka o KČOV se v České republice objevuje v roce 1987 na semináři „Vegetační způsoby čištění vody a možnosti jejich aplikace“, který se konal v Brně. Po několika poloprovozních experimentech na Ústřední pražské ČOV v roce 1988 a 1989 byla první kořenová čistírna v České republice uvedena do provozu v roce 1989 v Jílovém u Prahy. Kořenová čistírna byla navržena pro čištění průsaků z hnojného pláta, které nebylo izolováno od podloží. Vzhledem k minimálním srážkám, a tudíž minimálnímu průsaku, bylo na čistírnu naváženo fekálními vozy denně 50 m³ odpadních vod ze septiků a žump z okolních vsí.

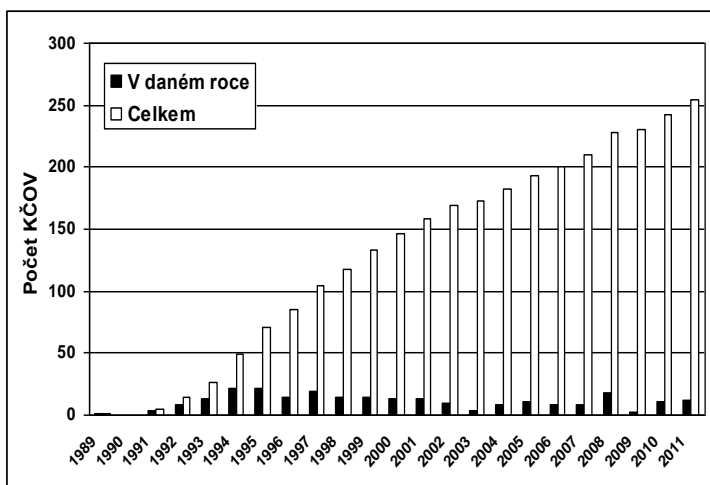
Do konce roku 1991 byly uvedeny do provozu pouze další čtyři KČOV (**Obr. 11, 12**), a to především kvůli odporu vodohospodářských orgánů a kvůli skutečnosti, že KČOV nebyly na seznamu tzv. „doporučených způsobů čištění odpadních vod pro malé zdroje znečištění“. Poté, co byl tento seznam zrušen a navíc obce získaly větší finanční nezávislost, bylo uvedeno do provozu v letech 1992 a 1993 celkem 22 KČOV. Ve většině evropských zemí byl začátek jejich využívání provázen shodnými problémy. Hlavním důvodem, proč v některých zemích trvalo 10 i více let, než byly KČOV akceptovány vodohospodářskými institucemi, byla nedůvěra k jednoduchosti systému čištění. V době, kdy „klasické“ čistírny odpadních vod jsou řízeny elektronicky pomocí počítačů, nebylo pro některé odpovědné pracovníky přijatelné a především „stravitelné“, že systém, který pracuje bez elektrické energie a bez mechanických součástí, může dosahovat při odstraňování organických a nerozpuštěných látek stejného účinku. Byl to vlastně „začarovaný kruh“ – úřady poukazovaly na nedostatek výsledků z České republiky vzhledem k malému počtu KČOV a zároveň nepovolovaly jejich výstavbu. V současné době jsou KČOV akceptovány jako způsob čištění odpadních vod pro malé zdroje znečištění ve většině evropských zemí. KČOV jsou určeny především k odstraňování organických a nerozpuštěných látek – tuto funkci plní KČOV velmi dobře, a to bez ohledu na roční období.

6.1. Současný stav

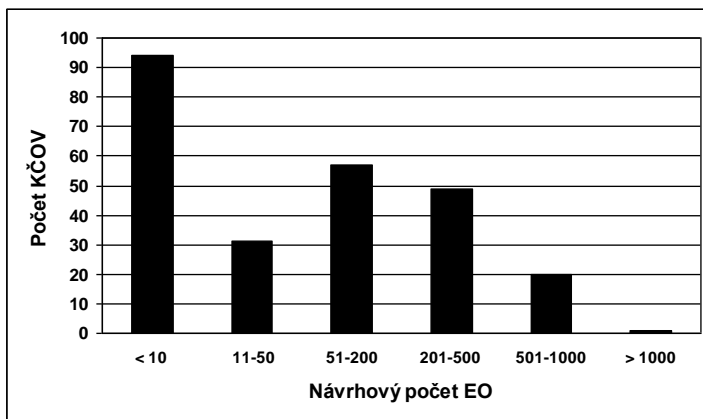
V současné době je v České republice v provozu cca 280 KČOV (**Obr. 12**) a prakticky všechny jsou navrženy s horizontálním podpovrchovým průtokem. Tento počet však nemusí být konečný především proto, že přesný počet malých domovních KČOV lze zjistit jen velmi obtížně. V průběhu let se výrazně změnil trend ve výstavbě KČOV z hlediska velikosti. Zatímco v 90. letech minulého století se stavěly především obecní čistírny ve velikostní kategorii 50 až 500 EO, v tomto století výrazně převažují domovní čistírny, kterých je v současné době u nás nejvíce (**Obr. 13**).



Obr. 11. KČOV Ondřejov byla uvedena do provozu v roce 1991 a je stále funkční. Foto Jan Vymazal.



Obr. 12. Počet KČOV uvedených do provozu v období 1989-2011 v České republice. V grafu nejsou zaneseny některé KČOV (cca 25), protože nebylo možno určit přesně dobu uvedení do provozu



Obr. 13. Kořenové čistírny v České republice podle návrhového počtu ekvivalentních obyvatel (EO).

Až na několik výjimek (pekárna, jatka) byly všechny kořenové čistírny v České republice navrženy pro čištění splaškových odpadních vod. Průměrná specifická plocha kořenových čistíren v České republice je $5,08 \text{ m}^2 \cdot \text{EO}^{-1}$ (návrh), což odpovídá specifické ploše doporučené evropskými směrnici.

6.1.1. Předčištění

V České republice se pro mechanické předčištění odpadních vod používají biologické septiky v případě domovních čistíren a štěrbínové nádrže v případě obecních čistíren odpadních vod. Pokud je v obci jednotná kanalizace, jsou zařazovány také lapáky písku v kombinaci s česlemi (**Obr. 6, 7, 9**). Mechanické předčištění je velmi důležité pro funkci kořenové čistírny, a proto je nutné udržovat zařízení v požadovaném stavu. Především je nutné pravidelně odčerpávat kal ze septiku nebo štěrbínové nádrže, odstraňovat shrabky z česlí a vyklízet lapáky písku a štěrku. Pokud je údržba septiku a štěrbínové nádrže zanedbána, může docházet k úniku kalu do filtračních polí. Pokud nejsou lapáky pravidelně vyklíženy, hladina vody v lapáku se vzdouvá (**Obr. 14**), usazování nerozpuštěných látek se výrazně zhoršuje a při velkém vzduť může docházet k odtoku prakticky nečištěných vod přímo do vodoteče. V případě, že lapák má i kalový prostor (**Obr. 7**), je nutné pravidelné odčerpávání kalu z kalového prostoru.



Obr. 14. Česle a horizontální lapák písku a štěrku na KČOV Petrovice u Havlíčkova Brodu (vlevo) a ve Skleném u Žďáru nad Sázavou (vpravo). Na levé straně je ukázka dobře provozovaného lapáku, vpravo ukázka lapáku bez řádné údržby. Foto Jan Vymazal.

6.1.2. Filtrační materiály

V České republice se již od prvních realizovaných staveb využívaly hrubozrnné materiály s vysokou hydraulickou propustností, které snižovaly možnost rychlé kolmatace (ucpávání). Na začátku 90. let minulého století se využívala především frakce o zrnitosti 4-8 mm, a to jak praný štěrk, tak drcené lomové kamenivo. V současné době se stále více využívají hrubší frakce 8-16 mm a 16-32 mm, které mají vysokou hydraulickou vodivost a zároveň jsou velmi efektivní při odstraňování znečištění. Pro rozvodné zóny se většinou používá makadam o velikosti > 100 mm.

I když hrubozrnné materiály snižují rychlost kolmatace, po určité době provozu dochází nutně k ucpávání filtračního lože především na vtokové části (**Obr. 15**). Pokud se objeví voda na povrchu filtračního lože, nejedná se v žádném případě o „kolaps“ čistírny a v mnoha případech nedochází ani ke zhoršené účinnosti čistírny. Jedná se o zcela přirozený proces, neboť ani sebelepší předčištění neodstraní veškeré nerozpuštěné látky z odpadní vody. Některé zachycené částice nejsou ani dlouhodobě rozložitelné, a proto ucpávají filtrační lože. Při špatném provozování předčištění však k tomuto jevu dojde podstatně dříve.



Obr. 15. Částečný povrchový odtok na KČOV Spálené Poříčí po šestnácti letech provozu v roce 2008. Foto Jan Vymazal

Od podloží je filtrační pole izolováno nepropustnou bariérou, aby nedocházelo k nekontrolovaným únikům do podzemních vod. Pro menší filtrační pole se většinou využívá plastová fólie PVC 803 tloušťky 1 mm, pro větší filtrační pole se většinou používá těsnící fólie PE-H tloušťky 1,5 – 2 mm. Pokud není plastová fólie vybavena sendvičovou ochrannou vrstvou, je vhodné použít z obou stran fólie geotextilii jako ochranu před poškozením, a to především v případě použití ostrohranných filtračních materiálů. V případě přirozeného výskytu málo propustných jíílů (hydraulická vodivost $< 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$) lze využít jííl jako těsnící bariéru.

6.1.3. Vegetace

Pro osázení KČOV se v České republice nejvíce používá rákos obecný (*Phragmites australis*, **Obr. 16 A, 17**), především pro svou schopnost tolerovat zaplavení, značnou míru znečištění a schopnost dobře prokořenit filtrační substrát do značných hloubek (běžně 0,6 až 1 metr). Rákos je trvalá rostlina, která dosahuje běžně výšky 2-4 metry podle místních podmínek. V některých lokalitách však může dorůstat výšky až 8 metrů. Rozmnožuje se většinou vegetativně pomocí oddenků nebo plazivých stolonů, které se však v kořenových čistírnách objevují jen výjimečně. I když produkce semen u rákosu je značná, klíčivost je mizivá.

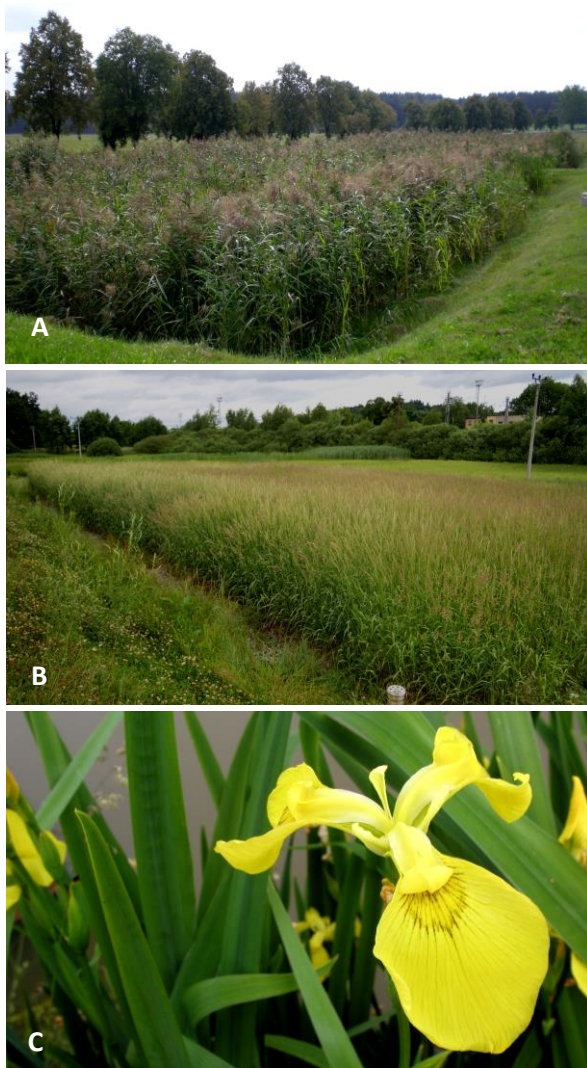
Maximální biomasa rákosu je závislá na mnoha parametrech, jako je dostupnost živin, salinita, hloubka zaplavení nebo nadmořská výška. Z těchto důvodů je biomasa velmi rozkolísaná a v literatuře lze nalézt rozpětí od cca 500 g.m⁻² až do cca 10 000 g.m⁻². Běžně se ale sušina rákosu na přirozených stanovištích pohybuje v rozmezí 1 000 až 2 500 g.m⁻².

Podzemní biomasa rákosu je většinou výrazně vyšší než nadzemní biomasa, a to cca 2 - 5x, ale byla popsána stanoviště, kde podzemní biomasa byla 20 x vyšší než nadzemní. V kořenových čistírnách v České republice se maximální biomasa rákosu pohybuje v rozmezí 2 000 – 4 000 g.m⁻² po třech až pěti letech provozu. Na rozdíl od přirozených stanovišť je podzemní biomasa rákosu srovnatelná s nadzemní biomasou a v mnohých případech může být i nižší, což je dáno snadnou dostupností živin a stresem způsobeným silnou anaerobií.

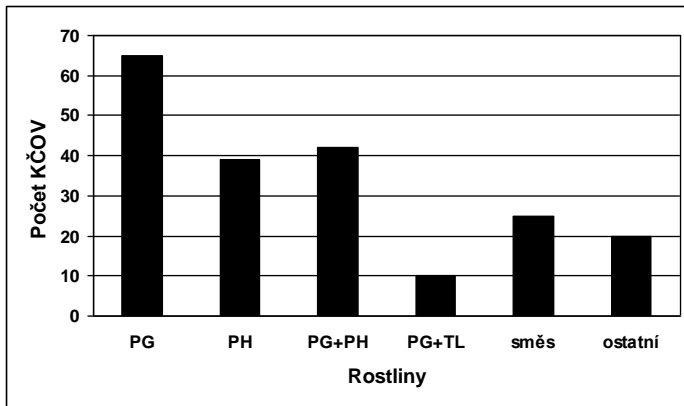
Rákos obecný je často vysazován v kombinaci s chrasticí rákosovitou (*Phalaris arundinacea*), která roste rychleji než rákos a vytváří kompaktní porost již během prvního vegetačního období (**Obr. 16 B, 17**). Chrastice je trvalá tráva, která dorůstá výšky až dvou metrů a vyznačuje se velmi hustým kořenovým systémem, který prorůstá do hloubky 30-40 cm. Rozmnožuje se převážně pomocí oddenků, ale klíčivost semen je na rozdíl od rákosu velmi dobrá. V průběhu let je většinou chrastice vytlačena rákosem, což je důsledek větší agresivity rákosu a také důsledek skutečnosti, že růst chrastice je omezen přítomností organického substrátu ve filtračním loži. Chrastice rákosovitá je v poslední době často vysazována i jako monokultura. V přirozených stanovištích se biomasa chrastice pohybuje v rozmezí 500 až 1 500 g.m⁻², v kořenových čistírnách dosahuje biomasy až 2 500 g.m⁻². I pro chrastici platí, že podzemní biomasa je v kořenových čistírnách nižší než v přirozených nezatížených stanovištích.

V poslední době byl několikrát pro osázení kořenové čistírny použit i zblochan vodní (*Glyceria maxima*), což je rostlina typická pro eutrofní litorály stojatých vod. Různé druhy orobince (*Typha latifolia* a *T. angustifolia*) nejsou v České republice příliš často využívány pro obecní kořenové čistírny a v případě použití jsou většinou kombinovány s rákosem (**Obr. 17**).

Pro malé domovní čistírny lze využít i jiné mokřadní rostliny, které mají navíc i dekorativní charakter, např. orobince (*Typha* spp.), různé druhy kosatců (*Iris* spp., **Obr. 16 C**), šmel okoličnatý (*Butomus umbellatus*), tužebník jilmový (*Filipendula ulmaria*) nebo kyprej vrbice (*Lythrum salicaria*).



Obr. 16. Porost rákosu obecného (*Phragmites australis*) na KČOV Slavošovice (A), porost chrastice rákosovité (*Phalaris arundinacea*) na KČOV Číčenice (B) a kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*) na KČOV Žitenice (C). Foto Jan Vymazal.



Obr. 17. Využití různých druhů mokřadní vegetace pro osázení kořenových čistíren v České republice. PG = *Phragmites australis*, PH = *Phalaris arundinacea*, TL = *Typha latifolia*, směs = rostliny využívané převážně u domovních čistíren, kde převažují dekorativní rostliny, ostatní = bližší neurčená vegetace

Zpočátku byly používány kosazování kořenových čistíren oddenky s rašícími výhony, které byly získávány z přirozených lokalit. Tento způsob byl poměrně náročný z technického hlediska, a proto se tento způsob výsadby již neuplatňuje a byl nahrazen výsadbou předpěstovaných sazenic nebo výsadbou rostlin získaných dělením trsů z přirozených lokalit. Rostliny jsou vysazovány bez kořenového balu, který může přispívat k ucpávání lože. Někteří autoři doporučují rostliny po vysázení přihnojovat NPK, ale toto doporučení je bezpředmětné, protože v odpadní vodě je dostatek živin a není potřeba do systému vnášet další živiny.

Rostliny se vysazují v hustotě 4 - 8 sazenic na 1 m² přímo do šterkového lože, pokud možno bez zeminy. Po vysázení rostlin je vhodné udržovat hladinu vody při povrchu lože, případně těsně nad povrchem, až do té doby, než rostliny řádně zakoření. Zaplavení povrchu také omezí růst plevelných rostlin, za které jsou považovány všechny rostliny, které nebyly vysázeny. Zkušenosti ukazují, že není potřeba tyto rostliny mechanicky vytrhávat, protože jejich růst jednak nemá vliv na průběh čištění a jednak je většinou porosty rákosu nebo chrastice zcela vytlačí. Na většině čistíren lze nalézt „plevelné“ rostliny jen na krajích filtračních polí. Výjimku tvoří kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*) a vrbovka chlupatá (*Epilobium hirsutum*). Kopřiva velmi často prorůstá porost chrastice v přítokové zóně především tam, kde chrastice není pravidelně sklízena, zatímco vrbovka se často vyskytuje v odtokové zóně, kde je hladina vody většinou hlouběji pod povrchem.

Vegetace se převážně sklízí na konci zimního období, kdy již nehrozí nebezpečí větších mrazů. V současné době neexistuje žádný předpis, jak nakládat s pokosenou biomasou, ale ve většině případů je pokosená biomasa spalována v areálu čistírny.

6.1.4. Účinnost čištění

Kvalita vody vypouštěná z čistíren odpadních vod do vodotečí je limitována nařízením vlády č. 401/2015 Sb. (**Tabulky 6-9**). Toto nařízení udává nejvyšší přípustné koncentrace na odtoku jednotlivých parametrů. Tyto hodnoty jsou pro konkrétní čistírny odpadních vod stanoveny rozhodnutím příslušného vodoprávního úřadu podle místních podmínek.

Kořenové čistírny jsou v České republice dimenzovány většinou tak, aby zajistily dostatečné odstranění organických (BSK_5 , $CHSK_{Cr}$) a nerozpuštěných látek, což jsou parametry, které jsou limitovány ve velikostní kategorii čistíren do 500 EO. V **Tabulce 10** jsou shrnuty výsledky čištění odpadních vod v kořenových čistírnách v České republice za období 1989-2010. V této tabulce jsou vyhodnocovány roční průměry, neboť se ukazuje, že v během provozu čistíren může docházet k výrazným změnám kvality přitékající odpadní vody (např. napojení další části obce, odpojení septiků, odpojení dešťových vod atd.)

Tabulka 6. Emisní standardy: přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) a hodnoty průměru ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v $mg.l^{-1}$ (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.). Hodnoty „p“ mohou být překročeny v míře dané tímto Nařízením, hodnoty „m“ jsou nepřekročitelné. Tabulka je platná pro městské odpadní vody pro vypouštění do vod povrchových.

Kategorie ČOV	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄ ⁺	
	p	m	p	m	p	m	průměr	m
< 500 EO	150	220	40	80	50	80		
500 – 2000 EO	125	180	30	60	40	70	20	40

Tabulka 7. Emisní standardy: přípustná minimální účinnost čištění vypouštěných odpadních vod (minimální procento úbytku) v procentech (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.).

Kategorie ČOV	CHSK _{Cr}	BSK ₅	N-NH ₄ ⁺
< 500 EO	70	80	
500 – 2000 EO	70	80	50

Tabulka 8. Přepočtené emisní standardy „p“ pro ukazatele BSK_5 , $CHSK_{Cr}$ a NL na roční průměry v $mg.l^{-1}$ (Metodický pokyn Ministerstva životního prostředí ze dne 15. 2. 2012).

Kategorie ČOV	CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL
< 500 EO	105	23	28
500 – 2000 EO	88	17	23

Tabulka 9. Dosažitelné hodnoty koncentrací (mg.l^{-1}) pro jednotlivé ukazatele znečištění při použití nejlepší dostupné technologie (BAT) v oblasti zneškodňování městských odpadních vod. Podrobnosti v **Tab. 10**.

Kategorie ČOV	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄ ⁺	
	p	m	p	m	p	m	průměr	m
< 500 EO	110	170	30	50	40	60		
500 – 2000 EO	75	140	22	30	25	30	12	20

Při porovnání výsledků uvedených v **Tabulce 10** s limitními hodnotami, které jsou uvedeny v **Tabulkách 6-9**, je vidět, že průměrné koncentrace na odtoku z kořenových čistíren jsou nižší než limity dané nařízením vlády s výjimkou odstranění amoniakálního dusíku vyjádřeného v procentech (**Tab. 7**).

Tabulka 10. Účinnost čištění odpadních vod v kořenových čistírnách v České republice za období 1989-2010.

Parametr	Počet KČOV*	Koncentrace (mg.l^{-1})		Účinnost (%)**
		Přítok	Odtok	
BSK ₅	505 (78)	163	13,7	85,3
CHSK _{Cr}	478 (46)	355	51	75,3
NL	489 (75)	180	11,6	82,8
Celk. P	288 (58)	6,5	3,56	36,7
Celk. N	66 (23)	52,1	25,6	44,5
N-NH ₄ ⁺	339 (56)	30,1	17,4	34,2

*První číslo je počet ročních průměrů, číslo v závorce je počet kořenových čistíren. **Průměr účinností jednotlivých čistíren.

Organické a nerozpuštěné látky

Organické látky, stanovené jako BSK₅ a CHSK_{Cr}, jsou v kořenových čistírnách velmi dobře odstraňovány (**Tab. 10**). Výhodou kořenových čistíren je skutečnost, že mohou čistit i silně naředěné odpadní vody s nízkou koncentrací BSK₅. Zatímco klasické aktivační čistírny vyžadují určitou minimální koncentraci organických látek (cca > 50-80 mg.l^{-1}), kořenové čistírny se vypořádají i s koncentracemi podstatně nižšími (**Tab. 11**). Jelikož mnoho obcí v České republice má vybudovanou jednotnou kanalizaci, koncentrace organických látek jsou často velmi nízké. Pro čištění takových odpadních vod jsou kořenové čistírny velmi vhodnou alternativou. Výsledky uvedené v **Tabulce 11** také ukazují stálost účinnosti čištění v průběhu let. Původní teorie předpokládala, že účinnost odstraňování organických látek se bude postupně zvyšovat především v závislosti na stupni prokořenění filtračního substrátu a dodávce kyslíku z kořenů rostlin. V současnosti je známo, že množství kyslíku,

které difunduje do kořenové zóny, je prakticky zanedbatelné, a proto se odstraňování organických látek příliš nemění v průběhu let s nárůstem biomasy.

Nerozpuštěné látky jsou v kořenových čistírnách eliminovány především filtrací a sedimentací, což za určitých okolností může způsobit ucpávání filtračního substrátu. Bylo prokázáno, že podstatná část nerozpuštěných látek je eliminována již v rozvodné zóně a v úzkém pásu filtračního lože na přítoku.

Tabulka 11. Odstraňování BSK₅ na KČOV Čistá u Rakovníka (800 EO) a Olší nad Oslavou (265 EO) v letech 1995-2010. Jedná se o KČOV, které čistí silně nařaděné odpadní vody. Údaje v mg.l⁻¹.

	ČOV Čistá		KČOV Olší	
	Přítok	Odtok	Přítok	Odtok
1995	34	5,7		
1996	35	7,3	13,0	3,5
1997	43	9,2	23,0	4,8
1998	85	4,9	18,8	3,2
1999	24	5,0	17,8	2,8
2000	40	5,0	18,0	2,8
2001	34	3,9	14,8	3,2
2002	53	5,1	12,2	3,0
2003	21	7,7	18,8	5,0
2004	87	6,8	29,7	3,9
2005	12,7	3,5	18,1	3,4
2006		8,7	19,1	4,9
2007	44,4	11,4	14,6	2,7
2008	44,5	9,2	22,2	3,0
2009	48,9	6,9	20,2	2,6
2010	33,2	6,8	21,9	3,6

Dusík a fosfor

Dusík je v kořenových čistírnách odstraňován pouze částečně především proto, že amoniak, který je hlavní složkou dusíku ve splaškové vodě, nemůže být v anoxických až anaerobních podmínkách filtračního lože oxidován na dusičnany (viz kap. 4.3.). Eliminace celkového dusíku ze splaškových vod nepřesahuje většinou 50 % a eliminace amoniaku se nejčastěji pohybuje v rozmezí 20 - 40 % (**Tab. 10**).

Odstraňování fosforu je v kořenových čistírnách velmi limitováno především proto, že používané filtrační materiály (praný štěrk, kačírek, drcený lomový kámen) mají velmi malou sorpční kapacitu. Odstranění fosforu z městských splaškových vod se pohybuje v kořenových čistírnách v rozmezí 20 – 50 %. Vzhledem k tomu, že koncentrace fosforu

na odtoku není pro čistírny do 2 000 EO limitována, prozatím nejsou využívány materiály, které by eliminaci fosforu zajistily. Jako perspektivní se jeví především přírodní materiály (kalcit, zeolity, bauxit), různé odpadní materiály (např. struska z vysokých pecí), případně uměle připravené materiály.

Rizikové prvky a mikrobiální znečištění

Eliminace rizikových prvků včetně těžkých kovů v kořenových čistírnách je poměrně vysoká, ale značně kolísá pro jednotlivé prvky. Nejvyšší eliminace byla zaznamenána pro hliník, zinek, měď, chrom a olovo. Dále bylo prokázáno, že rizikové prvky jsou zadržovány v sedimentu a podzemní biomase a jen v minimální míře jsou přesouvány do nadzemní biomasy rákosu a chrastice. Koncentrace rizikových prvků v nadzemní biomase je srovnatelná s koncentracemi, které se vyskytují v obou rostlinách na přirozených stanovištích. Z tohoto důvodu nepředstavuje nadzemní biomasa vegetace kořenových čistíren nebezpečný odpad. I když jsou rizikové prvky především vázány v sedimentu, jejich koncentrace jsou tak nízké, že nepředstavují vážnější nebezpečí při případnou likvidaci filtrační náplně.

Mikrobiální znečištění je eliminováno v kořenových čistírnách kombinací biologických, chemických a fyzikálních procesů a účinnost kořenových čistíren je srovnatelná s účinností klasických aktivačních čistíren. Eliminace koliformních i termotolerantních koliformních bakterií většinou přesahuje 90 %.

6.1.5. Sezónní účinnost

Výsledky z kořenových čistíren v České republice a v zahraničí poměrně jednoznačně ukazují, že účinnost čištění je velmi stálá v průběhu roku, a to především pro BSK_5 , $CHSK_{Cr}$, nerozpuštěné látky a fosfor. Tento fakt není překvapivý pro nerozpuštěné látky, kde mechanismy eliminace jsou především fyzikálního charakteru, a fosfor, kde jde především o fyzikálně-chemické procesy. Odstraňování organických látek je především záležitostí mikrobiálního rozkladu a je zde předpoklad závislosti na teplotě. Vzhledem k tomu, že filtrační lože jsou umístěna pod úroveň okolního terénu, a tím do jisté míry „izolována“ od okolí, je kolísání teploty vody v průběhu roku podstatně nižší než kolísání teploty vzduchu. V podmínkách České republiky se průměrná teplota vody ve filtračních ložích pohybuje v rozmezí 13–15 °C ve vegetačním období (květen–říjen) a 6–8 °C v nevegetačním období (listopad–duben). Kořenová pole jsou také dobře izolována stařinou rostlin. Navíc bylo prokázáno, že bakteriální aktivita je spíše závislá na přísunu organického uhlíku, a nikoliv na teplotě. Částečné omezení nitrifikace, a tudíž odstraňování amoniaku, bylo prokázáno v mnoha případech, ale z **Tabulky 12** je vidět, že ke snížení eliminace amoniaku v zimním období nemusí docházet ve všech případech. Koncentrace na odtoku však mohou být ve vegetačním období částečně ovlivněny evapotranspirací rostlin, kdy při odpaření vody dochází ke zvyšování koncentrace látek.

Tabulka 12. Koncentrace BSK₅ a N-NH₄⁺ (v mg.l⁻¹) na odtoku z kořenových čistíren ve vegetačním (VEG, květen - říjen) a nevegetačním (NEVEG, listopad - duben) období.

Lokalita	Období	BSK ₅		N-NH ₄ ⁺	
		VEG	NEVEG	VEG	NEVEG
Jimlíkov	1998-2010	3,5	3,0	3,7	2,8
Čistá	1995-2010	2,8	2,8	4,8	4,8
Machová	2001-2009	4,0	4,9	6,7	5,0
Zásada	1995-2010	9,6	17,6	14,4	19,6
Ondřejov	1991-2004	24	15,2	19,6	21,1
Spálené Poříčí	1992-2010	5,1	4,0	10,5	8,1
Němčovice	2005-2011	13	9		
Ptenín	1998-2011	15,4	9,3	20,5	20,2

6.1.6. Provoz a údržba

Velkou výhodou KČOV s horizontálním průtokem ve srovnání s klasickými čistírnami je, že nevyžadují elektrickou energii a neobsahují žádné mechanické součásti, které by se mohly opotřebovávat. To ovšem svádí k přístupu, že jsou v podstatě bezobslužné, což však v žádném případě není pravda. I velmi jednoduchá sestava - mechanické předčištění a kořenové pole - vyžaduje pravidelnou kontrolu. Především je nutné pravidelně kontrolovat a případně vyvážet septik nebo šterbinovou nádrž a čistit česle a lapák písku a šterku, pokud je zařazen do sestavy předčištění. Dále je nutné pravidelně kontrolovat nastavení výšky vodní hladiny, rozdělení nátoky odpadní vody na vlastní kořenové lože, případně na konci zimního období posekat vegetaci. Pokud je údržba systematická a pravidelná, jsou náklady na ni minimální a údržba je časově nenáročná. Vzhledem k tomu, že obsluha na KČOV s horizontálním průtokem není stálá, není potřeba provozní objekt s elektrickým osvětlením a zdrojem pitné vody. Pro hygienickou potřebu obsluhy čistírny postačuje balená pitná voda.

Velmi často diskutovanou otázkou je nakládání s filtračním materiálem v případě výměny filtračního lože. Ucpávání (kolmatace) filtračního lože bylo aktuální u kořenových čistíren s horizontálním průtokem v 70. a 80. letech minulého století, kdy byly využívány především půdní substráty s nízkou hydraulickou propustností. V současné době se používají velmi porézní materiály, které riziko kolmatace výrazně snižují. Přesto však dochází k postupnému zanášení přítokové zóny, často vlivem nekvalitního předčištění nebo zanedbané údržby o předčištění. U dobře navržené a správně provozované kořenové čistírny s horizontálním průtokem by však k výraznější kolmataci mělo dojít až po deseti a více letech provozu. V současné době existuje v České republice pouze několik kořenových čistíren, kde proběhla výměna části filtračního lože (např. Břehov u Českých Budějovic, Olší nad Oslavou, Chotíkov). Ve většině případů byla vyměněna pouze úzká zóna (několik metrů) filtračního materiálu v přítokové zóně kořenového pole.

Dosavadní výsledky ukazují, že s filtračním materiálem není nutné nakládat jako s nebezpečným odpadem a lze jej klasifikovat např. pod katalogovým číslem 190899 „Odpady jinak blíže neurčené -filtrační materiál z kořenové čistírny“. Rozbory filtračního materiálu ze sedmi kořenových čistíren s délkou provozu od dvou do šestnácti let prokázaly, že koncentrace limitních prvků (As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb a V) jsou minimálně o jeden řád nižší, než požaduje Vyhláška č. 294/2005 Sb. pro obsah škodlivin v odpadech využívaných na povrchu terénu. Vzhledem k tomu, že pro odpadní vody z malých sídel nelze předpokládat zvýšené obsahy BTEX (benzen, toluen, etylenbenzen, xyleny), PAU (polycyklické aromatické uhlovodíky), EOX (extrahovatelné organické halogeny), uhlovodíků C₁₀-C₄₀ a PCB (polychlorované bifenyly), což jsou další limitní škodliviny, lze předpokládat, že koncentrace těchto látek také nepřesáhne požadované limity.

Poněkud nejednotný je názor na sklizení vegetace, a to nejen v České republice. Jak již bylo uvedeno, v našich klimatických podmínkách je velmi důležitá funkce vegetace při zateplení povrchu kořenových loží v zimním období. Z tohoto důvodu je vhodné vegetaci na konci vegetačního období nesklízet a vegetaci odstranit až brzy na jaře, kdy nehrozí velké mrazy. Jinou možností je posekání vegetace na podzim, její ponechání na kořenovém poli, a odstranění posekané vegetace na jaře příštího roku. Vegetace odstraněná z kořenových polí je většinou spálena. Bohužel si někteří provozovatelé ulehčují práci a posekanou biomasu spálí přímo na kořenovém poli, což je varianta velmi nevhodná, protože vzniklý popel může být při dešti vnášen do filtračního lože. V současné době je ověřována možnost využití sklizené biomasy při výrobě bioplynu.

6.1.7. Investiční a provozní náklady

Investiční náklady na výstavbu kořenových čistíren s horizontálním průtokem značně kolísají, jelikož se nejedná o typový výrobek a cena je vždy výrazně ovlivněna místními podmínkami. Na základě informací z více než čtyřiceti KČOV bylo zjištěno, že investiční náklady kolísají v rozmezí 4 až 46 tisíc Kč na jednoho ekvivalentního obyvatele. Průměrná hodnota zjištěná v tomto průzkumu činila 17 272 Kč (medián 12 628 Kč). Z dostupných dat byl získán následující vztah:

$$(3) \quad \text{Investiční náklady} = 0,023 \times \text{EO}^{0,90} \text{ (mil. Kč)}$$

Pro velikostní kategorie 10, 100 a 500 EO poté s použitím rovnice (3) můžeme odhadnout pořizovací cenu kořenové čistírny.

10 EO: 0,183 mil. Kč.....18,3 tis. Kč/EO

100 EO: 1,451 mil. Kč.....14,5 tis. Kč/EO

500 EO: 6,177 mil. Kč.....12,4 tis. Kč/EO

Z hlediska Operačního programu Životní prostředí se řadí KČOV mezi investičně středně nákladné čistírny do 2 000 EO:

1. kategorie: < 11 000 Kč/EO
2. kategorie: > 11 000 < 19 000 Kč/EO
3. kategorie: > 19 000 Kč/EO

Celkové investiční náklady můžeme na základě dosavadních poznatků rozdělit zhruba na tři položky: předčištění (25 %), filtrační pole (60 %) a ostatní náklady (15 %, šachty, rozvody, oplocení aj.). Největší položku tedy tvoří cena spojená s výstavbou kořenových polí. Tuto položku pak tvoří náklady spojené s filtračním materiálem (40 %, vlastní cena a doprava), zatímco podstatně nižší položky tvoří zemní práce (5 %), výsadba rostlin (5 %) a ochranná fólie (10 %). Uvedené rozdělení je pouze orientační a může se měnit podle místních podmínek. V porovnání s investičními náklady na výstavbu kořenových čistíren v zahraničí jsou ceny v České republice výrazně vyšší (**Tab. 13**), což je odraz situace v českém stavebnictví.

Při průzkumu v roce 2008 bylo zjištěno, že náklady na provoz a údržbu KČOV s horizontálním průtokem kolísají v České republice v poměrně širokém rozmezí od 57 až 947 Kč na 1 EO za rok. Průměrná hodnota činila 385 Kč/EO za rok. Vzhledem k tomu, že KČOV nevyužívají elektrickou energii, jsou jejich provozní náklady podstatně nižší než pro klasické čistírny. Mezi položky, které lze zařadit do provozních nákladů, patří mzda pro obsluhu čistírny, odpisy DHM, cena rozborů odpadní vody, cena za vyčerpání objektů předčištění (lapáky písku, septiky, štěrbínové nádrže) a odvoz tohoto materiálu, náklady na sekání vegetace a likvidaci biomasy. Velké kolísání provozních nákladů je způsobeno především částkou na mzdy, neboť tato částka se výrazně liší mezi lokalitami. V **Tabulce 14** je uvedeno porovnání provozních nákladů na kořenové čistírně Jimlíkov s provozními náklady na přibližně stejně velkých aktivačních čistírnách Staré Sedlo a Milíře v Karlovarském kraji. Z výsledků je vidět, že velký rozdíl je především v nákladech na vyčištění jednotkového objemu odpadní vody.

Tabulka 13. Porovnání investičních nákladů (v Kč) na výstavbu KČOV s horizontálním průtokem v České republice a v některých vybraných zemích. Ceny jsou přepočteny podle současných kurzů.

	cena za 1 m ²	cena na 1 EO
Česká republika	3 387	17 272
Itálie	2 840	10 584
USA	1 258	
Španělsko		12 192
Střední Amerika	1 139	1 975
Polsko	744	2 904

Tabulka 14. Porovnání provozních nákladů na kořenové čistírně Jimlíkov a aktivačních čistíren Staré Sedlo (pneumatická aerace) a Milíře (mechanická aerace).

Lokalita (rok)	EO	Roční náklady (Kč)	Náklady na 1 kg odstraněného BSK ₅	Náklady na 1 m ³ vyčištěné vody
Jimlíkov (2009)	100	73182	278	12,10
Jimlíkov (2008)	100	123201	320	18,90
Staré Sedlo (2009)	125	216706	372	61,01
Staré Sedlo (2008)	125	255898	452	58,80
Milíře (2009)	90	307134	276	31,60

6.1.8. Výhody a nevýhody kořenových čistíren

Kořenové čistírny odpadních vod mají ve srovnání s klasickými způsoby čištění odpadních vod a především aktivačními čistírnami řadu výhod i nevýhod.

Mezi výhody lze zařadit:

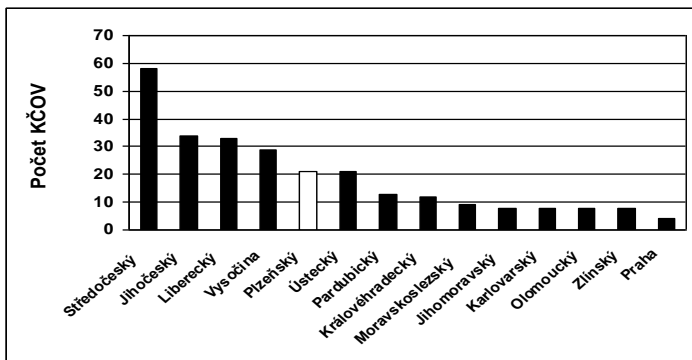
- schopnost čistit odpadní vody s nízkou koncentrací organických látek, což je u klasických čistíren problém
- schopnost dobře se vyrovnat s kolísáním množství a kvality odpadních vod
- možnost pracovat přerušovaně, což klasické čistírny nemohou (z tohoto důvodu lze KČOV použít například pro rekreační objekty s nestálým využitím
- minimální (ale pravidelnou) údržbu
- skutečnost, že nevyžadují elektrickou energii
- menší náchylnost k havárii ve srovnání se strojními čistírnami, vzhledem k robustnosti přírodního systému
- estetickou funkci - dobře zapadnou do krajiny a jsou její součástí, případně mohou plnit i okrasnou funkci

Mezi nevýhody kořenových čistíren patří:

- větší náročnost na plochu
- nízké odstraňování amoniaku u horizontálních KČOV a fosforu (pokud nejsou využity speciální filtrační náplně)
- občasná tvorba bílého povlaku elementární síry na odtoku tvořící se oxidací sirovodíku, který může (ale nemusí) vznikat při anaerobních poměrech ve filtračních ložích
- horší předpoklady pro řízení čistícího procesu a pro analýzu případných problémů ve srovnání se strojními čistírnami

7. Kořenové čistírny v Plzeňském kraji

V současné době je v Plzeňském kraji v provozu devatenáct kořenových čistíren. Na **obrázku 18** je vidět, že počet KČOV uvedených do provozu byl vyšší, ale dvě čistírny byly z kapacitních důvodů již zrušeny. Ze stávajících devatenácti KČOV je deset čistíren v kategorii do 50 EO (**Obr. 19**), osm čistíren v kategorii 50-500 EO a jedna čistírna pro více než 500 EO. Z **obrázku 18** je vidět, že Plzeňský kraj je v pořadí počtu kořenových čistíren na pátém místě v ČR společně s krajem Ústeckým. Největší počet KČOV byl uveden do provozu ve Středočeském kraji.



Obr. 18. Počet kořenových čistíren uvedených do provozu v jednotlivých krajích České republiky za období 1989-2011.



Obr. 19. Domovní kořenová čistírna v obci Struhaře u Spáleného Poříčí. Foto Jan Vymazal.

7.1. KČOV Spálené Poříčí

Kořenová čistírna ve Spáleném Poříčí (**Obr. 20**) patří mezi nejstarší v České republice. KČOV pro 700 EO byla uvedena do zkušebního provozu v listopadu 1992. Plocha kořenové čistírny 2 500 m² je rozdělena do čtyř polí (každé pole 25 x 25 m). Předčištění tvoří lapák písku, ručně stírané česle a šterbinová nádrž. Filtrační materiál je prosev kaolinových písků frakce 1-16 mm. Pro přítokové a odtokové zóny je použito kamenivo frakce 80 mm. Izolace proti průsaku do podloží je řešena hydroizolační fólií PVC 803, která je chráněná z obou stran geotextilií NETEX. Na čistírnu byly vysázeny v pruzích rákos obecný a chrastice rákosovitá, ale již v roce 1999 rákos chrastici zcela vytlačil. Pro zachycení přívalových vod je vybudována suchá nádrž (poldr) o objemu 420 m³, kam je odlehčována voda z česlí. Na této části kanalizace byly ponechány stávající septiky, a proto koncentrace na přítoku byly velmi nízké.

Druhá část KČOV byla vybudována v roce 2001 pro dalších 700 obyvatel. Celková plocha nové části je také 2 500 m² (dva paralelní kořenové filtry, každý s plochou 1 250 m²). Filtrační materiál je šterk 8-16 mm. Filtrační pole byla osázena stejně jako ve staré části chrasticí rákosovitou a rákosem obecným v pruzích kolmo na směr protékající vody. Nová část je připojena za hrubým předčištěním a má vlastní šterbinovou nádrž. Odtok odpadní vody je spojen s odtokem ze staré části a je zaústěn do recipientu Bradavy. Po napojení druhé části výrazně stouply vstupní koncentrace, neboť v této části kanalizace není odpadní voda předčištěna v septicích.



Obr. 20. Kořenová čistírna Spálené Poříčí (stará část). Foto Jan Vymazal.

KČOV Spálené Poříčí vykazuje po celých dvacet let provozu výbornou účinnost a kvalita vyčištěné vody splňuje požadované limity (**Tab. 15**). Roční průměr nebyl po celou dobu překročen ani v jednom případě, maximální koncentrace byly překročeny pouze pro

nerozpuštěné látky, a to v roce 2000. Na filtračních polích se již několik let objevuje povrchový odtok (Obr. 15), ale na účinnost čistírny to prakticky nemá žádný vliv. Průměrný přítok na čistírnu v letech 1993 - 2010 činil 212 m³/den, což představuje hydraulické zatížení 7,1 cm/den. V současné době je však největším problémem zanedbaná pravidelná údržba česlí, což má za následek vzdouvání hladiny na přítoku a přepad vody do obtoku i v době, kdy nejsou srážky. Z tohoto důvodu neprotéká čistírnou veškerá voda, která by měla být čištěna. Oddělená voda odtéká do „suchého poldru“, který však v současné době plní funkci jakési fakultativně anaerobní nádrže s těžko definovatelným účinkem. V roce 2012 byla zpracována studie proveditelnosti se třemi variantami úprav a dostaveb pro zlepšení funkce kořenové čistírny.

Tabulka 15. Vyhodnocení účinnosti čištění odpadních vod na KČOV Spálené Poříčí. N = počet odebraných vzorků, limity (mg.l⁻¹): průměr = roční průměr, „m“ – nepřekročitelná koncentrace.

	Období	Přítok	Odtok	N	Limity/překročení	
		Průměr (mg.l ⁻¹)			Průměr	„m“
BSK ₅	1992-2010	48,7	6,6	192	25/0	30/0
CHSK _{Cr}	1993-2010	127	37	136	70/0	120/0
NL	1993-2010	73	7,1	164	20/0	30/2*
N-NH ₄ ⁺	1992-2010	15,2	11,9	155	20/0	30/1**
Celk. P	1993-2010	2,02	1,72	42	--	--

*poslední překročení v roce v lednu 2000 **"m" hodnota platí pouze pro období, kdy je teplota vody >12 °C. Jediné překročení bylo zaznamenáno v říjnu 2007, tj. v období, kdy teplota odpadní vody na odtoku již klesá pod 12 °C.

7.2. KČOV Ptenín

Kořenová čistírna odpadních vod v obci Ptenín (Obr. 21) byla uvedena do provozu v roce 1998 a je navržena pro 290 EO. Odpadní voda přitéká z jednotné kanalizační sítě a mechanické předčištění tvoří ručně stírané česle, horizontální lapák písku a štěrbinová nádrž. Celková plocha kořenové čistírny 1 500 m² je rozdělena do dvou paralelních polí (25 x 30 m). Jako filtrační náplň je použit hrubý betonářský písek (2-12 mm), pro přítokovou a odtokovou zónu je použit makadam (80-100 mm). Kořenové filtry jsou osázeny rákosem obecným a chřastící rákosovitou v pružích kolmých na směr protékající odpadní vody. Filtrační pole jsou oddělena od podloží plastovou hydroizolační fólií PVC 803, která je chráněná geotextilií. Průměrný přítok na čistírnu činil v letech 1998 - 2010 29,4 m³/den, což představuje hydraulické zatížení 2 cm/den. Vyčištěná odpadní voda je zaústěna do Merklínského potoka.



Obr. 21. Kořenová čistírna Ptenín. Foto Jan Vymazal.

V **Tabulce 16** jsou shrnuty výsledky čištění odpadních vod v průběhu let 1998 - 2011. Z tabulky je vidět, že od roku 2000 splňuje kvalita odtékající vody požadavky kladené legislativou ve všech parametrech.

Tabulka 16. Vyhodnocení účinnosti čištění odpadních vod na KČOV Ptenín. N = počet odebraných vzorků, limity (mg/l): „p“ = přípustná koncentrace, „m“ = nepřekročitelná koncentrace.

	Období	Přítok	Odtok	N	Limity/překročení	
					Průměr (mg/l)	„p“
BSK ₅	1998-2011	288	13	50	30/3*	70/1*
CHSK _{Cr}	1998-2011	774	45	50	120/2*	170/1*
NL	1998-2011	561	17	50	30/6***	70/1*
N-NH ₄ ⁺	2000-2011	43	20,4	38	20/2**	40/0**
Celk. P	2000-2010	6,8	2,7	13	--	--

*v roce 2000, **limity jen do roku 2007, ***poslední překročení v prosinci 2000.

7.3. KČOV Chotíkov

Kořenová čistírna Chotíkov (**Obr. 22**) byla uvedena do provozu v roce 1999, i když k zahájení výstavby došlo již v roce 1995. Čistírna byla navržena na výhledový počet 859 EO. Na čistírnu jsou přiváděny splaškové vody ze dvou oddělených větví. Starší část je vybudována jako jednotná kanalizace, novější (severní část obce) je vybudována jako kanalizace oddílná. Předčištění je složeno z česlí, horizontálního lapače písku typ ŠLP 480 a šterbinové nádrže. Vlastní kořenovou čistírnu tvoří čtyři filtrační pole o celkové ploše

2 940 m² zapojená jako paralelní série. Každé pole má 735 m² (35 x 21 m). Náplň prvních dvou filtrů tvořil štěrk 2,5 mm (10 %), 15 mm (15 %) a 10-15 mm (75 %). Ve druhé dvojici filtrů bylo složení obdobné s výjimkou nejhrubší frakce, u které bylo 40 % nahrazeno tříděným popelem. Použití popela se ukázalo jako problematické a filtrační materiál zadních polí musel být v roce 2004 nahrazen hrubozrnným materiálem. Současně byl vyměněn i filtrační materiál v první dvojici filtrů. Filtrační pole byla původně osázena rákosou obecnou, po výměně filtračního materiálu je čistírna osázena směsí rákosy a chrastice. Vyčištěná odpadní voda je zaústěna do Chotíkovského potoka. Průměrný průtok čistírnou za období 2000 - 2010 činil 144 m³/den, což představuje hydraulické zatížení 4,9 cm/den.



Obr. 22. Kořenová čistírna Chotíkov. Foto Jan Vymazal

Vzhledem k intenzivní výstavbě v obci je KČOV v současné době výrazně přetížena a podle informací obecního úřadu může být na kanalizační síť napojeno až 1 500 obyvatel. Kromě toho není KČOV optimálně provozována a velmi často protéká odpadní voda jen přes dvě ze čtyř kořenových polí. Z tohoto důvodu bylo navrženo zrušení KČOV a nahrazení klasickou čistírnou pro 1 600 EO. Vzhledem k chybějícím finančním prostředkům se však uvažuje i o revitalizaci KČOV.

V **Tabulce 17** jsou uvedeny výsledky čištění odpadních vod na KČOV Chotíkov v průběhu let 2004-2010 a porovnání úrovně čištění se stanovenými limity pro vypouštění. Z tabulky je vidět velmi dobrá účinnost při odstraňování organických a nerozpuštěných látek, kdy došlo pouze k jednomu překročení, a to v roce 2010 v období, kdy čistírna byla již silně přetížena. Koncentrace amoniaku na odtoku byly pod úrovní limitních koncentrací pouze v letech 2004 a 2005, poté již koncentrace amoniaku přesáhly povolené limity. Jak již bylo v předcházejícím textu několikrát uvedeno, kořenové čistírny s horizontálním

průtokem nejsou schopny oxidovat amoniak v dostatečné míře a navíc je KČOV v poslední době výrazně přetížena.

Tabulka 17. Vyhodnocení účinnosti čištění odpadních vod na KČOV Chotíkov. N = počet odebraných vzorků, limity (mg.l⁻¹): průměr = roční průměr, „m“ – nepřekročitelná koncentrace.

	Období	Přítok	Odtok	N	Limity/překročení	
		Průměr (mg.l ⁻¹)			Průměr	„m“
BSK ₅	2004-2010	241	13,4	28	30/0	40/1
CHSK _{Cr}	2004-2010	392	69	28	135/0	170/0
NL	2004-2010	166	7,9	28	30/0	35/0
N-NH ₄ ⁺	2004-2010	43,2	21,9	28	20/5	30/7

7.4. KČOV Němčovice

Kořenová čistírna v obci Němčovice (**Obr. 23**) byla uvedena do provozu koncem roku 2005. KČOV je navržena pro 120 EO a na čistírnu je přiváděna odpadní voda z jednotné kanalizace. Předčištění tvoří česle, lapák písku a šterku a šterbinová nádrž. Vlastní kořenová čistírna je rozdělena do čtyř filtračních polí zapojených v sérii. Velikost jednotlivých polí je 140 m², 123 m², 117 m² a 120 m², což dává výslednou plochu 500 m². Náplň kořenových polí tvoří prany šterk 4-16 mm. Filtrační pole jsou oddělena od podloží hydroizolační fólií chráněnou geotextilií. Pole byla původně osázena chrasticí rákosovitou a zblochanem vodním v pružích kolmo na směr protékající vody. V současné době převládá chrastice spolu s mnoha dalšími druhy rostlin, které se na filtračních polích objevily formou náletu. V roce 2011 byl do filtračních polí dosázen puškvorec obecný (*Acorus calamus*). Vyčištěná voda je zaústěna do bezejmenného levostranného přítoku Radnického potoka. Průměrný průtok za období 2006 - 2010 činil 18,2 m³/den, což představuje hydraulické zatížení 3,6 cm/den. V **Tabulce 18** jsou uvedeny dlouhodobé výsledky z KČOV Němčovice, které dokládají velmi dobrou účinnost této čistírny.

Tabulka 18. Vyhodnocení účinnosti čištění odpadních vod na KČOV Němčovice. N = počet odebraných vzorků, limity (mg/l): „p“ = přípustná koncentrace, „m“ = nepřekročitelná koncentrace.

	Období	Přítok	Odtok	N	Limity/překročení	
		Průměr (mg/l)			„p“	„m“
BSK ₅	2006-2011	184	11	21	30/0	60/0
CHSK _{Cr}	2006-2011	298	57	21	70/4*	120/0
NL	2006-2011	86	8	21	30/0	60/0

* vždy jedno překročení ročně v letech 2007-2010. Vzhledem k četnosti vzorkování (4x ročně) je jedno překročení „p“ limitu během roku povoleno.



Obr. 23. Kořenová čistírna Němčovice. Foto Jan Vymazal.

7.5. KČOV Třemešné

Kořenová čistírna v obci Třemešné (**Obr. 24**) byla uvedena do provozu v roce 2000. KČOV je dimenzována pro 300 EO a celková plocha 1 540 m² je rozdělena do tří polí (505 m², 530 m² a 505 m²) zapojených v sérii. Na čistírnu jsou sváděny odpadní vody jednotnou kanalizací. Mechanické předčištění se skládá z lapáku písku a štěrku a štěrbinové nádrže. Jako filtrační materiál byl použit štěrk frakce 6-16 mm a kořenová pole jsou osázena chraстicí rákosovitou. Vyčištěná voda je zaústěna do Bezděkovského potoka. Průměrný přítok na čistírnu v letech 2001 - 2010 činil 114 m³/den, což představuje hydraulické zatížení 7,4 cm/den.

V **Tabulce 19** jsou uvedeny výsledky účinnosti čištění KČOV Třemešné za období 2001 - 2010. Z tabulky je vidět, že koncentrace sledovaných parametrů jsou výrazně pod limitními hodnotami, a to překvapivě i pro N-NH₄⁺.

Tabulka 19. Vyhodnocení účinnosti čištění odpadních vod na KČOV Třemešné. N = počet ročních průměrů, limity (mg.l⁻¹): „p“ = přípustná koncentrace, „m“ = nepřekročitelná koncentrace.

	Období	Odtok (mg.l ⁻¹)	N	Limity/překročení	
				průměr	„m“*
BSK ₅	2001-2010	8,9	11	25/0	50
CHSK _{Cr}	2001-2010	19,4	11	50/0	80
NL	2003-2010	14,1	9	20/0	40
N-NH ₄ ⁺	2002-2010	3,1	10	8/0	15

*Výsledky jednotlivých rozborů nebyly k dispozici.



Obr. 24. Kořenová čistírna Třemešné. Foto Jan Vymazal.

7.6. KČOV Nezdice na Šumavě

Kořenová čistírna Nezdice (**Obr. 25**) byla uvedena do provozu v roce 1998 a je dimenzována na 450 EO. Na čistírnu jsou sváděny odpadní vody jednotnou kanalizací a mechanické předčištění se skládá z lapáku písku a štěrku a šterbinové nádrže. Celková plocha kořenových polí 2 100 m² je rozdělena do dvou polí. Filtrační materiál je šterkopísek 2-16 mm a na kořenových polích jsou vysázeny rákos a chrastice. Průměrný dlouhodobý průtok je 61 m³/den, což představuje hydraulické zatížení 2,9 cm/den. Vyčištěná odpadní voda je zaústěna do Nezdeckého potoka. V **Tabulce 20** je uvedeno vyhodnocení účinnosti čištění na této čistírně.

Tabulka 20. Vyhodnocení účinnosti čištění odpadních vod na KČOV Nezdice na Šumavě. N = počet ročních průměrů, limit (mg.l⁻¹): průměrná roční hodnota určená podle Tabulky 8.

	Období	Přítok	Odtok	N	Limit/překročení
		Průměr (mg.l ⁻¹)			
BSK ₅	2000-2010	102	12	11	23/1*
CHSK _{Cr}	2000-2010	285	36	11	105/0
NL	2000-2010	158	3,9	11	28/0

*v roce 2004



Obr. 25. Kořenová čistírna v obci Nezdice na Šumavě v roce 2004 (nahore) a v roce 2011 (dole). Na obrázcích je dobře vidět, jak porost rákosu (v pozadí) přerůstá porost chrostice.

7.7. KČOV Sklárna - Žihle

Kořenová čistírna Sklárna-Žihle (**Obr. 26**) byla uvedena do provozu koncem roku 1995. KČOV je navržena pro čištění odpadních vod z komplexu budov, které slouží jako škola v přírodě. Projektované zatížení je 345 EO. Na čistírnu přitéká odpadní voda z oddílné kanalizace. Předčištění se skládá z česlí a šterbinové nádrže a kořenová pole jsou čtyři o celkové ploše 1 724 m² (4 x 431 m²). Filtrační materiál tvoří štěrk o zrnitosti 16-32 mm a kořenová pole jsou osázena směsí chrostice a rákosu. Průměrný průtok za období 2002 - 2010 byl 21,8 m³/den, z čehož lze vypočítat poměrně velmi nízké hydraulické zatížení 1,3 cm/den. Odtok z čistírny je zaústěn do bezejmenného levostranného přítoku Střely. V **Tabulce 21** je zhodnocena účinnost čištění KČOV Sklárna-Žihle.



Obr. 26. Kořenová čistírna Sklárna-Žihle. Foto Jan Vymazal.

Tabulka 21. Vyhodnocení účinnosti čištění odpadních vod na KČOV Třemešné. N = počet ročních průměrů, limity (mg.l^{-1}): průměr - roční průměr, „m“ = nepřekročitelná koncentrace.

	Období	Odtok (mg.l^{-1})	N	Limity/překročení	
				průměr	„m“*
BSK ₅	2000-2010	10,4	11	20/0	30/0
CHSK _{Cr}	2000-2010	31	11	50/0	100/0
NL	2000-2010	5,9	11	10/1**	20/0
N-NH ₄ ⁺	2000-2010	7,6	11	20/0	30/0

*Výsledky jednotlivých rozborů nebyly k dispozici. **Průměrná roční hodnota v roce 2002 činila 10,3 mg/l.

7.8. KČOV Horušany

KČOV Horušany (**Obr. 27**) byla uvedena do provozu v roce 2012 a je navržena pro 200 EO. Na čistírnu je přiváděna odpadní voda jednotnou kanalizací a čistírna se skládá z mechanického předčištění (lapák písku, česle a štěrbínová nádrž) a dvou kořenových polí řazených za sebou o celkové ploše 1 000 m². Kořenové filtry jsou odděleny od podloží fólií Firestone, která je chráněná geotextilií NETEX K 6300. Filtrační pole jsou vyplněna práným kačírkem 8-12 mm, rozvodné a sběrné zóny jsou vyplněny hrubým šterkem 32-64 mm a filtrační pole jsou osázena chraстicí rákosovitou. Investiční náklady na výstavbu činily 3,3 mil. Kč (bez DPH).



Obr. 27. Kořenová čistírna Horušany u Přeštic v květnu 2012. Foto Jan Vymazal.

8. Souhrn

Kořenové čistírny se používají od 60. let minulého století, v České republice byla první kořenová čistírna vybudována v roce 1989. V současné době je v České republice asi 280 KČOV a prakticky všechny tyto čistírny jsou navrženy s horizontálním průtokem a pro čištění městských odpadních vod. Zatímco na konci minulého století převažovala stavba obecních KČOV, v současné době jsou KČOV hojně využívány jako domovní čistírny. V Plzeňském kraji je v provozu asi 20 KČOV. Nejstarší KČOV v Plzeňském kraji je čistírna ve Spáleném Poříčí, která byla uvedena do provozu na konci roku 1991, nejnovější KČOV byla uvedena do provozu v roce 2012 v obci Horušany u Přeštic.

Dlouhodobá sledování prokázala, že KČOV jsou srovnatelné s aktivačními čistírnami svou účinností při odstraňování organických a nerozpuštěných látek. Odstraňování organických látek je velmi stálé v průběhu let a není ovlivněno sezónou. Zadržování nerozpuštěných látek ve filtračních ložích má za následek postupné zanášení (kolmataci) polí, což se může projevit povrchovým odtokem, který však prakticky nemá vliv na účinnost čištění. Účinnost při odstraňování amoniaku a fosforu je nízká, ale KČOV v České republice nebyly nikdy navrhovány za účelem odstranění tohoto typu znečištění. V současné době je již využívána řada modifikací, tzv. hybridní kořenové čistírny, které umožňují výrazně zlepšit účinnost KČOV při odstraňování amoniaku i fosforu. Kořenové čistírny v Plzeňském kraji vesměs plní limity dané vodoprávními úřady, ale v mnohých případech je však zanedbaná pravidelná údržba.

Investiční náklady na výstavbu KČOV jsou srovnatelné s klasickými čistírnami, ale provozní náklady KČOV jsou výrazně nižší především díky nepřítomnosti elektrických zařízení. Kořenové čistírny mají větší nárok na zábor půdy ve srovnání s klasickými čistírnami. Kořenové čistírny nelze v žádném případě považovat za bezobslužná zařízení, především mechanické předčištění vyžaduje pravidelnou kontrolu. Dvacetileté zkušenosti s provozem kořenových čistíren v České republice prokázaly, že tato technologie je vhodnou alternativou pro čištění městských odpadních vod z malých sídel.

Použitá literatura

- Brix, H., 1994a. Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Water Science and Technology* 29: 71-78.
- Brix, H., a Johansen, N.H., 1999. Treatment of domestic sewage in a two-stage constructed wetland - design principles. in: *Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands*, Vymazal, J. (Ed.), Backhuys Publishers, Leiden, Nizozemí, pp. 155-163.
- Cooper, P.F., ed., 1990. *European Design and Operation Buidelines for Reed Bed Treatment Systems*. Prepared for the European Community/European Water pollution Control Association Emergent Hydrophyte Treatment System Expert Contact Group. WRC Report UI 17.
- Josefíková, P., 2010. Vyhodnocení dlouhodobého provozu kořenové čistírny Jimlíkov. Bakalářská práce, FŽP Česká zemědělská univerzita v Praze.
- Kadlec, R.H. a Knight, R.L., 1996. *Treatment Wetlands*, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Kadlec, R.H. a Wallace, S.D., 2009. *Treatment Wetlands*. 2. Vydání. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Kröpfelová, L., Vymazal, J., Švehla, J. a Štíchová, J., 2009. Removal of trace elements in three horizontal sub-surface flow constructed wetlands in the Czech Republic. *Environmental Pollution* 157:1186-1194.
- Kröpfelová, L., Vymazal, J., Švehla, J. a Němcová, J., 2008. Odstraňování stopových prvků v kořenových čistírnách. 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, pp. 43-54.
- Mander, Ü., a Jossen, P., eds., 2003. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Cold Climates*. WIT Press, Southampton, Velká Británie.
- Mlejnská, E., Rozkošný, M., Baudišová, D., Váňa, M., Wanner, F. a Kučera, J., 2009. *Extenzivní způsoby čištění odpadních vod*. VÚV Praha a MŽP ČR.
- Moshiri, G.A., ed., 1993. *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*, CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Ottová, V., Balcarová, J. a Vymazal, J., 1997. Microbial characteristics of constructed wetlands. *Water Science and Technology* 35 (5): 117-123.
- Pelikán P., 1998. Kořenové čistírny odpadních vod, vhodný typ čištění pro malé zdroje znečištění. *Nika* 1-2: 46.
- Pelikán P., 2003. Kořenová čistírna odpadních vod Spálené Poříčí. In: *Sborník konference Kořenové čistírny výstavba a financování*, Dušek J. (ed.), České Budějovice, pp. 27-31.
- Reddy, K.R. a DeLaune, R.D., 2008. *Biogeochemistry of Wetlands. Science and Applications*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Reed, S. C., Middlebrooks, E. J. a Crites, R. W. 1995. *Natural Systems for Waste Management and Treatment*, 2. vydání. McGraw-Hill Book Company, New York.

- Šálek, J. a Tlapák, V. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. ČKAIT Praha, 283 p.
- 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., 2008. Constructed wetlands, subsurface flow. In: Encyclopedia of Ecology, Vol. 1., Jørgensen, S.E. (Ed.), Elsevier B.V., Amsterdam, Nizozemí, 749-764.
- Vymazal, J., 2009. Kořenové čistírny odpadních vod: 20 let zkušeností v České republice. Vodní hospodářství 59: 113-119.
- Vymazal, J., 2010. Constructed wetlands for wastewater treatment. Water 2: 530-549.
- Vymazal, J., 2011. Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review. Hydrobiologia 674:133-156.
- Vymazal, J., 2011. Constructed wetlands for wastewater treatment: Five decades of Experience. Environmental Science and Technology 45 (1): 61-69
- Vymazal, J. a Kröpfelová, L., 2008. Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow. Springer, Dordrecht, 576 p.
- Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P. F., Green, M. B. a Haberl, R., eds., 1998. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe, Backhuys Publishers, Leiden, Nizozemí.

Kořenové čistírny odpadních vod

Využití ve světě, České republice a Plzeňském kraji

Text: Jan Vymazal

Úprava textu: kolektiv pracovníků Krajského úřadu Plzeňského kraje, odboru životního prostředí

Vydal: Krajský úřad Plzeňského kraje, odbor životního prostředí, Plzeň, 2016