

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA

**Účinnost odstraňování enterokoků a termotolerantních koliformních  
bakterií v kořenové čistírně odpadních vod**

Bakalářská práce

Vedoucí práce:  
ing. Tomáš Pícek, PhD.

Autor:  
Alena Fišerová

15.5.2007

## **Abstract**

### **EFFICIENCY OF ENTEROCOCCAL AND THERMOTOLERANT COLIFORMING BACTERIA REMOVAL IN CONSTRUCTED WETLAND USED FOR WASTEWATER TREATMENT**

Constructed wetlands (CWs) have their origin in natural wetlands and they are used for a wastewater treatment as an alternative of the classical technology. In the Czech Republic are used only CW with subsurface horizontal flow with emergent macrophytes (reed) for the wastewater treatment.

The efficiency of the enterococcal and thermotolerant coliforming bacteria removal was followed in the CW in Slavošovice (Czech Republic, 25 km southeast of České Budějovice). This CW was constructed for 150 EO in 2001 and it consists of a mechanical pretreatment and two treatment beds planted with reed (*Phragmites australis*). In the regular intervals (2-6 weeks) from May 2006 to March 2007, wastewater was sampled at the inflow, after the mechanical pretreatment and at the outflow. The number of the enterococcal and thermotolerant coliforming bacteria was calculated in the samples and the efficiency of the bacterial removal was evaluated during winter and summer seasons.

Numbers of both studied groups of bacteria were variable in the inflowing wastewater (the range was  $10^2$  to  $10^4$  colony forming units per ml) and the numbers were very low in the outflowing water during the whole studied period (0 to 29 colony forming units per ml). The efficiency of the bacterial removal was almost 100 % in average for both groups of the bacteria. The efficiency of the bacterial removal was the same in winter time as during summer for the both groups of the bacteria. Very high removal of the efficiency was accounted to (I.) high retention time of CW (about 16 days), (II.) to the ability of the reed to produce antimicrobial substances and (III.) to the ability of the reed to oxygenate the water around its roots.

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Účinnost odstraňování enterokoků a termotolerantních koliformních bakterií v kořenové čistírně odpadních vod vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

Souhlasím s použitím práce k vědeckým účelům.

V Českých Budějovicích 15.5.2007

.....  
Alena Fišerová

## **Poděkování**

Chtěla bych prostřednictvím těchto řádků poděkovat všem lidem, kteří mi byli nápomocni při vzniku této práce. Především ing. Tomášovi Pickovi, PhD. za odbornou pomoc, také za jeho trpělivost, energii a čas, který mi při realizaci této práce věnoval.

Také bych velice ráda poděkovala panu RNDr. Zdeňkovi Kocmoudovi za zasvěcení do odborné tematiky kultivace bakterií, hlavně však za jeho neutuchající ochotu, cenné podněty a připomínky.

V neposlední řadě chci poděkovat svým rodičům za jejich podporu, a také svým spolužákům a kamarádům, kteří mi jakkoliv pomohli.

Tato práce byla podpořena projekty GA ČR 526/06/0276 a 206/06/0058.

## OBSAH

	Úvod.....	7
<b>1.</b>	<b>Současný stav.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1.</b>	<b>Kořenové čistírny odpadních vod.....</b>	<b>9</b>
<i>1.1.1.</i>	<i>Historie.....</i>	<i>10</i>
<i>1.1.2.</i>	<i>KČOV v ČR.....</i>	<i>11</i>
<i>1.1.3.</i>	<i>Čistící procesy v mokřadním prostředí.....</i>	<i>13</i>
<i>1.1.4.</i>	<i>Jak funguje kořenová čistírna.....</i>	<i>14</i>
<i>1.1.5.</i>	<i>Jednotlivé objekty.....</i>	<i>14</i>
<i>1.1.6.</i>	<i>Vegetace.....</i>	<i>17</i>
<i>1.1.7.</i>	<i>Provoz a údržba.....</i>	<i>18</i>
<i>1.1.7.1.</i>	<i>Hygienické aspekty provozu.....</i>	<i>19</i>
<i>1.1.8.</i>	<i>Účinnost.....</i>	<i>19</i>
<b>1.2.</b>	<b>Význam mikroorganismů pro jakost vod.....</b>	<b>20</b>
<i>1.2.1.</i>	<i>Indikátory znečištění vod.....</i>	<i>20</i>
<i>1.2.1.1.</i>	<i>Indikátory obecného znečištění vod.....</i>	<i>21</i>
<i>1.2.1.2.</i>	<i>Indikátory fekálního znečištění vod.....</i>	<i>21</i>
<i>1.2.2.</i>	<i>Termotolerantní koliformní bakterie.....</i>	<i>22</i>
<i>1.2.3.</i>	<i>Enterokoky.....</i>	<i>23</i>
<i>1.2.4.</i>	<i>Onemocnění přenášená vodou.....</i>	<i>23</i>
<i>1.2.5.</i>	<i>Voda natékající na ČOV.....</i>	<i>25</i>
<i>1.2.6.</i>	<i>Bakteriální znečištění vody.....</i>	<i>25</i>
<i>1.2.7.</i>	<i>Normy pro bakterie.....</i>	<i>25</i>
<i>1.2.8.</i>	<i>Odstraňování střevních bakterií v KČOV.....</i>	<i>26</i>
<b>2.</b>	<b>Cíle práce a hypotézy.....</b>	<b>29</b>
<b>2.1.</b>	<b>Cíle práce.....</b>	<b>29</b>

<b>2.2.</b>	<b>Hypotézy.....</b>	<b>29</b>
<b>3.</b>	<b>Metodika.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1.</b>	<b>Popis lokality.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.</b>	<b>Popis čistírny.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3.</b>	<b>Odběr vzorků.....</b>	<b>32</b>
<b>3.4.</b>	<b>Zpracování vzorků.....</b>	<b>33</b>
<b>3.5.</b>	<b>Stanovení termotolerantních koliformních bakterií.....</b>	<b>34</b>
<b>3.6.</b>	<b>Stanovení enterokoků.....</b>	<b>35</b>
<b>3.7.</b>	<b>Zpracování dat.....</b>	<b>36</b>
<b>4.</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>37</b>
<b>5.</b>	<b>Diskuse.....</b>	<b>46</b>
<b>6.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>52</b>
<b>7.</b>	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>54</b>
<b>8.</b>	<b>Klíčová slova.....</b>	<b>61</b>
<b>9.</b>	<b>Přílohy.....</b>	<b>62</b>

## Úvod

Téma mé práce - Účinnost odstraňování enterokoků a termotolerantních koliformních bakterií v kořenové čistírně odpadních vod – jsem si jako jedna z mála studentů zvolila sama. Když zde byla ta možnost, využila jsem ji. Touto prací bych ráda přispěla k větší informovanosti o této problematice mezi studenty, vyučujícími i širší veřejností.

V prvním ročníku mě totiž zaujala přednáška v rámci předmětu Hygiena životního prostředí právě na téma kořenových čistíren. Ačkoli by se někdo mohl domnívat, že toto téma na půdu Zdravotně sociální fakulty nepatří, pokusím se mu dokázat opak. Jak bylo zmíněno výše, měli jsme tuto přednášku v rámci Hygieny životního prostředí, kam tato problematika, i když zatím málo rozšířená, zcela jistě patří. Ve své práci jsem se zaměřila na účinnost odstraňování bakterií, a ty spadají do mikrobiologie. Na kořenovou čistírnu přitéká odpadní voda, která zase patří do hygieny vody. Čili, dle mého názoru je toto téma na místě.

Jedním z důležitých parametrů povrchové vody je přítomnost enterokoků a termotolerantních koliformních bakterií. Je důležité sledovat odstraňování enterokoků a termotolerantních koliformních bakterií z vody v čistírnách odpadních vod, protože se tyto bakterie pokládají za indikátory fekálního znečištění. Jsou to bakterie, které se vyskytují v lidských i zvířecích fekáliích, ale nacházejí se i ve vnějším prostředí a považují se za potenciální patogeny. Mohou totiž vyvolávat nejrůznější infekce.

V předkládané práci byly počty enterokoků a termotolerantních koliformních bakterií sledovány v komunální odpadní vodě čištěné přírodní technologií – kořenovou čistírnou odpadních vod. V kořenové čistírně odpadních vod (KČOV) Slavošovice byly v pravidelných intervalech (2-6 týdnů) odebírány vzorky vody natékající na KČOV a odtékající z ní. V těchto vzorcích byly stanoveny počty enterokoků a termotolerantních koliformních bakterií. Na základě těchto analýz byla vyhodnocena účinnost čistírny z hlediska odstraňování mikrobiálního znečištění vody. Dále byla porovnána účinnost odstraňování enterokoků a termotolerantních koliformních bakterií během letního a zimního období, byla sledována sezónní dynamika počtů bakterií

v natékající a odtékající vodě z KČOV a také počty těchto bakterií v různých vzdálenostech od nátoky vody na kořenové pole KČOV.



## 1. Současný stav

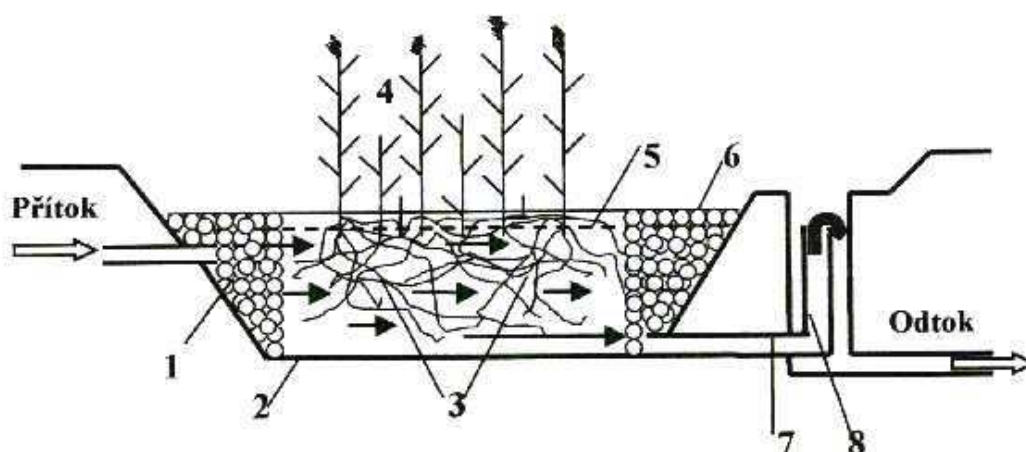
### 1.1. Kořenové čistírny odpadních vod

Kořenové (vegetační) čistírny odpadních vod jsou systémy, které zajišťují čištění odpadních vod (43). Navíc představují zajímavý krajinný prvek a prostředí pro život řady rostlin a živočichů (46). V České republice jsou rozšířeny pouze umělé mokřady s podpovrchovým horizontálním tokem (49). Tyto systémy jsou navrhovány a stavěny tak, aby se při čištění odpadních vod využívaly procesy, které probíhají v přirozených mokřadech a které zahrnují mokřadní vegetaci, půdní procesy a přítomná mikrobiální společenstva (51). Základním principem KČOV je horizontální průtok odpadní vody propustným substrátem, osázeným mokřadními rostlinami (50). Substrát musí být dostatečně propustný, aby nedošlo k ucpání a následnému povrchovému odtoku (22). Při průtoku odpadní vody filtračním materiálem dochází k vysokému stupni odstraňování znečištění kombinací fyzikálních, chemických a biologických procesů (50).

Do kořenových čistíren byly na počátku vkládány velké naděje pro dočišťování odpadních vod se zvýšeným důrazem na odstraňování živin. Brzy poté se ukázalo, že tento předpoklad je nesprávný a že kořenové čistírny jsou naopak pro takové využití nevhodné. Oproti tomu KČOV prokázaly výbornou schopnost odstraňovat organické a nerozpuštěné látky, a proto byly v 70. a 80. letech 20. století využívány téměř výhradně k čištění městských a domovních splaškových vod z malých zdrojů znečištění. Od konce 80. let 20. století se však použití kořenových čistíren rozšířilo na téměř všechny druhy odpadních vod včetně průmyslových a zemědělských (50).

Odpadní voda je čištěna průchodem přes několik různých stupňů. Ani v jednom z nich voda "nestojí", tudíž nevzniká příhodné prostředí, ve kterém by se líhli v nadměrném množství komáři apod., ani zde nevyčištěná odpadní voda nezahnívá. Není ale pravdou, že by toto prostředí bylo bez komárů. Avšak jejich nadměrný výskyt redukuje další živočichové, kterých je tento umělý mokřad plný (21).

Ekvivalentní obyvatel (EO) je jedna osoba, producent znečištění. Je to uměle zavedená jednotka, která představuje produkci odpadní vody 150 l/den (43). Počet připojených obyvatel na jednotlivé KČOV se pohybuje od 2 do 1000, přičemž nejvíce KČOV je navrženo pro zdroje znečištění 100 - 500 EO (54).



Obr.1: Schéma kořenové čistírny

1-rozvodná zóna vyplněná hrubým kamenivem, 2-nepropustná bariéra (nejčastěji PVC nebo PE fólie), 3-filtrační materiál (štěrk nebo drcené kamenivo), 4-mokřadní vegetace, 5-výška vodní hladiny v kořenovém loži nastavitelná v odtokové šachtě, 6-odtoková zóna vyplněná hrubým kamenivem, 7-sběrná drenáž, 8-odtoková šachta s nastavitelnou výškou hladiny (50, 54).

### 1.1.1. Historie

První experimenty s využitím mokřadních systémů pro čištění odpadních vod byly provedeny již v roce 1952 v Německu (49).

Koncept čištění odpadních vod s podpovrchovým horizontálním tokem byl vyvinut v Německu začátkem 70. let a první čistírna tohoto typu byla uvedena do provozu v Othfresenu v roce 1974 (53).

Název „kořenová čistírna“ vznikl z anglického „Root Zone Method“, což bylo pojmenování umělých mokřadů s podpovrchovým horizontálním tokem, které se používalo v 70. a 80. letech 20. století (50).

### **1.1.2. KČOV v ČR**

Historie použití kořenových čistíren v České republice je ve srovnání s mnohými státy Evropy jen velice krátká. První zmínka o kořenových čistírnách se u nás objevuje v r. 1987 na semináři v Brně. Následující rok je uveden do provozu malý poloprovozní model na pražské ÚČOV, na který byla po dobu jednoho roku přiváděna mechanicky předčištěná odpadní voda. Čistící efekt byl velice dobrý, především pro organické a nerozpuštěné látky. V tomtéž modelu bylo v roce 1989 odzkoušeno čištění odpadní vody ze slepičí kejdy. Jednalo se o první pokus tohoto druhu a výsledky prokázaly nejen dobrý čistící efekt, ale také schopnost rákosu vyrovnat se bez problémů s extrémně znečištěnou vodou (49).

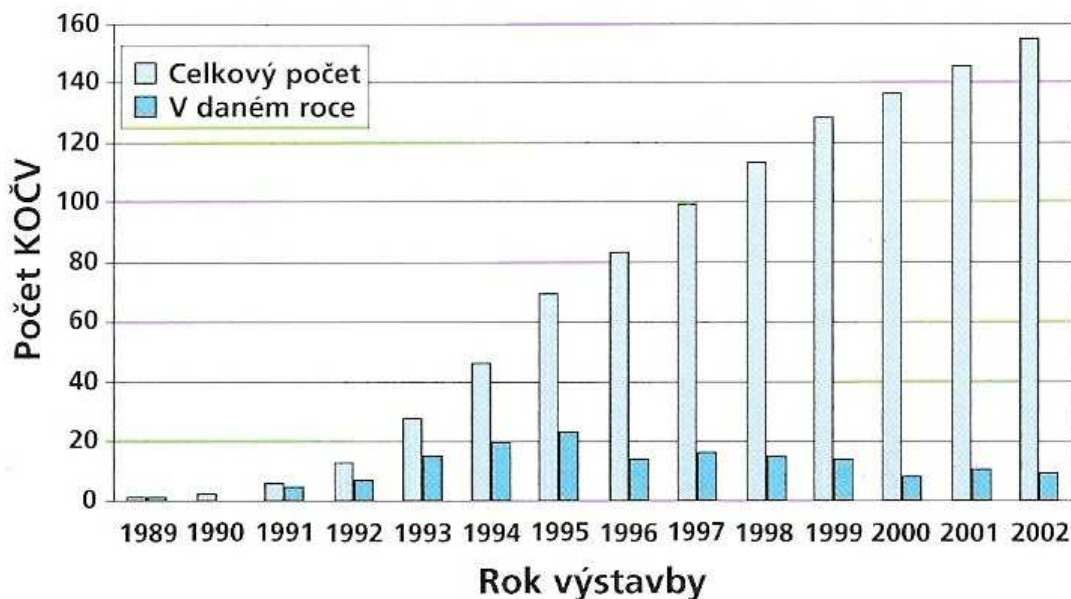
V České republice byla první kořenová čistírna uvedena do provozu v roce 1989. Nejvíce kořenových čistíren v ČR bylo vyvinuto pro čištění komunálních nebo kanalizačních splašků nebo pro kombinaci splašků a dešťové vody (53).

Do konce roku 1991 byly uvedeny do provozu jen další čtyři KČOV především díky odporu vodohospodářských orgánů a skutečnosti, že KČOV nebyly v seznamu tzv. „doporučených způsobů čištění odpadních vod pro malé zdroje znečištění“. Poté, co byl tento seznam zrušen a 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 stejnými problémy. Hlavním důvodem, proč v několika 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, že systém, který pracuje bez elektrické energie a bez mechanických součástí, může dosahovat při odstraňování organických a nerozpuštěných látek stejného účinku. Kromě toho byla proti kořenovým čistírnám velice silná tzv.

„betonová lobby“, tvořená především výrobci klasických čistíren odpadních vod. Úřady poukazovaly na nedostatek výsledků vzhledem k nízkému počtu KČOV, ale zároveň bránily jejich výstavbě. V dnešní době jsou KČOV akceptovány jako vhodný 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 velice dobře **(50)**.

Podle průzkumu provedeném v roce 2003 bylo v České republice uvedeno od roku 1989 do provozu minimálně 155 KČOV (Obr. 2). Počet KČOV v roce 2004 již přesahuje 160 (v současnosti už 190). Velikost se pohybuje od malých domovních čistíren po sídla do 1000 EO. Z průzkumu vyplynulo, že nejvíce KČOV je navrženo pro malé domovní čistírny pro < 10 EO (kolem 50) a pro malá sídla 100 – 500 EO (asi 80). Často je také odborníky navrhována celá zahrada a kořenová čistírna se stává už od zahájení projektování součástí zahrady. V Evropě se využívají KČOV téměř ve všech zemích, nejvíce jich je pak v Německu (cca 50 000). Následuje Rakousko (cca 1600), Velká Británie (cca 800), Dánsko (cca 500), Itálie (cca 400), Polsko (cca 120), Portugalsko (cca 100), Francie (cca 100), Norsko (cca 30), Estonsko (cca 30) **(22, 50)**.

Největší KČOV v ČR jsou v Osové Bítýšce (pro 1000 obyvatel), v Čisté u Rakovníka (pro 800 obyvatel), v Obecnici u Příbrami (pro 800 obyvatel) a ve Spáleném Poříčí (dvě samostatné pro 700 a pro 800 obyvatel). V okolí Českých Budějovic najdeme tyto KČOV: Slavošovice, Čejkovice, Libníč, Radošovice, Sedlec, Břehov, Mokřý lom, Ostrolovský újezd, Nedabyle, Stožice, Číčenice **(22)**.



Obr. 2: Celkový počet kořenových čistíren v České republice (54)

### 1.1.3. Čistící procesy v mokřadním prostředí

Čistící procesy v mokřadním prostředí s rostlinami tvoří procesy fyzikální, především sedimentace a filtrace, probíhající v porézním filtračním prostředí. Z fyzikálně chemických procesů se jedná zejména o adsorpci. Chemické procesy spočívají ve srážení sloučenin a rozkladu méně stabilních látek, oxidaci a také redukci. Biologické procesy zabezpečují mikroorganismy, žijící ve filtračním substrátu nebo přisedlé na kořenech rostlin. Mikroorganismy rozkládají přitékající znečišťující látky až na plynné sloučeniny, které jsou emitovány z mokřadu do atmosféry. Konečnými produkty rozkladu organických látek a dusíkatých sloučenin jsou oxid uhličitý, metan, oxid dusný a také plynný dusík. Jen u fosforu nedochází k významné tvorbě plynných látek a proto se fosfor ukládá v mokřadu. Zde je z části navázán na minerální částice, a z části se zabudovává do mikroorganismů a také do mrtvé organické hmoty (22).

#### ***1.1.4. Jak funguje kořenová čistírna***

Před každou kořenovou čistírnou musí být předčisticí zařízení, které se podle místních podmínek skládá nejčastěji z lapače písku, lapače tuků, usazovacích a šterbinových nádrží. V předčisticím zařízení se z odpadních vod oddělí písek, šterk, tuky a dále podle typu použitého zařízení také většina kalu, který zůstává v usazovacích nádržích.

Takto předčištěná voda jde přes rozdělovací šachtu rozdělovacím potrubím přímo do kořenového pole čistírny. Pro rozvod se většinou užívají plastové trubky s velkými otvory, aby se zabránilo ucpávání. Pro čištění vody se používá samočisticího účinku půdního a vodního prostředí za přímé součinnosti rostlin, které plochu prokořeňují. Rostliny přivádějí do půdního prostředí kyslík, který usnadňuje aerobní čištění. Probíhají zde složité oxidační a redukční procesy řízené mikroorganismy.

Po průchodu kořenovým polem se voda sbírá do sběrného potrubí, které je uloženo na dně filtračního lože a je spojeno v odtokové šachtě s výpustným mechanismem, kterým se nastavuje výška vodního sloupce ve filtračním loži. Nejlépe se osvědčují flexibilní hadice zavěšené na řetízcích. Při běžném provozu se hladina vody v kořenovém poli udržuje 5-10 centimetrů pod povrchem, proto nemá kořenová čistírna volnou hladinu a tedy nezapáchá, ani se nemůže stát línou hmyzu. Na konci čistírny je zařazena šachta s vyústěním do toku nebo do rybníka, případně do závlahové nádrže (22, 36).

#### ***1.1.5. Jednotlivé objekty***

Mechanické čištění odpadních vod tvoří první stupeň čištění odpadní vody. Pomocí jednoduchých fyzikálních jevů, jako je cezení nebo usazování, se z odpadní vody přitékající na čistírnu oddělují látky, které by v druhém stupni čištění mohly působit problémy.

Uspořádání mechanického stupně čištění odpadních vod je závislé na původu, množství, složení a časovém rozdělení přítoku odpadních vod.

### ***Odlehčení dešťových vod***

Odlehčení dešťových vod je u jednotné kanalizace důležitým prvkem ovlivňujícím výrazně funkci celé KČOV. Problémem velkých kanalizací jsou nízké hodnoty maximálního možného přítoku na KČOV (obvykle cca 1-3 l/s). Tak malé množství běžné oddělovače řešit neumí, a proto se tento problém řeší vícestupňovým oddělováním. Jako zásadní hydraulická ochrana KČOV slouží zaškrcený odtok z usazovací nádrže.

### ***Česle***

Česle by měly být samozřejmou součástí každé KČOV. Odpadní voda unáší nečistoty, které bývají z velké části nehmotné, např. textilní zbytky, vlákna a jiné součásti z plastů, fólie, pryž apod. Tyto odpady se spolu s hnilobnými odpady (papír, ovoce, zelenina apod.) zachycují a odstraňují z vody na jemných česlích.

Česle plní sice poměrně málo rozhodující funkci co do podílu na čisticím účinku KČOV, ale na druhé straně mohou významně ovlivnit recipient. Pokud dojde k intenzivnímu zanesení nevhodně navržených česlí, může dojít až k ucpání nátoků. To má pak za následek odstavení z provozu. Likvidace shrabků přímo v KČOV je problémová. Kompostování je nevhodné a spalování je závadné s ohledem na požadavky ochrany ovzduší. Pravděpodobně je nejpřirozenější shrabky podle potřeby hygienizovat a poté vyvážet na skládku příslušné kategorie. Vhodná je zásobní nádoba s jednoduchým krytem bránícím šíření zápachu, hmyzu a vniknutí dešťové vody. U menších čistíren je vhodné shrabky pytlovat.

### ***Lapák písku***

Těžké nečistoty, které se vyskytují i ve splaškové kanalizaci, např. písek, mycí prášky, kovové úlomky, kosti apod., jsou v dalším provozu čistírny nežádoucí. Usazený písek vytvoří pevnou usazeninu. Je ji třeba rozrušit a odstranit. Vytěžený písek tvoří znečištěnou směs různých, zejména minerálních zrn. Nejlepší je uložení písku na příslušné zabezpečené skládce.

### ***Lapáky tuků a olejů***

Samostatné lapáky tuků a olejů se navrhují výjimečně, nejčastěji se k tomuto účelu používají normé stěny umístěné do jiných čistírenských jednotek nebo se provádí stírání z hladiny lapáku písku.

### ***Usazovací nádrž***

Usazovací nádrž je u mokřadů s horizontálním podpovrchovým tokem velmi důležitý prvek. Má za úkol připravit odpadní vody tak, aby nezpůsobovaly kolmataci (naplavování, ucpání) rozvodné části kořenového pole. Buď slouží pouze k usazení odpadní vody nebo jsou spojeny v jednom objektu s vyhnívacím kalovým prostorem, do něhož se usazující kal propadá (štěrbinová nádrž). V usazovacích vyplouvají na hladinu látky suspendované, vzplývavé, lehčí než voda (hrubší pevné nečistoty, oleje, tuky). Plovoucí nečistoty se zachycují normou stěnou z usazovacího prostoru a z hladiny se stírají. Usazovací nádrž musí zajišťovat zachycení min. 92% usaditelných látek.

### ***Štěrbinová nádrž***

U malých vegetačních čistíren je mechanický stupeň přímo nepostradatelnou podmínkou jejich dobré funkce. V provozu je třeba důkladně dbát na udržení průchodnosti štěrbin mezi usazovacím a kalovým prostorem.

### ***Septik***

Nádrže, v kterých probíhá usazování a anaerobní vyhnívání odpadní vody společně s kaly, jsou septiky. U menších vegetačních čistíren je možno mechanický stupeň řešit právě jimi. Jejich výhodou je to, že nepotřebují energii, nevyžadují předčištění (česle, lapák písku), obsluha se skládá z vyčerpání části usazeného kalu jednou nebo dvakrát ročně.



### ***Kořenové pole***

Kořenové pole je většinou 60-80 cm hluboké, v závislosti na hloubce prokořenění vybraných druhů mokřadních rostlin. Substrát musí být dostatečně propustný, aby nedocházelo k ucpávání a povrchovému odtoku, a musí také umožňovat růst mokřadní vegetace. V současné době se nejvíce používá praný štěrk, drcené kamenivo nebo kačírek o zrnitosti 4/8 nebo 8/16 mm. Je bezpodmínečně nutné použít materiály zbavené prachu, případně zeminy. Pro dobrý rozvod odpadní vody jsou rozvodné a sběrné zóny vyplněny hrubým kamenivem (5-20 cm). Kořenové pole je od podloží odděleno nepropustnou vrstvou, nejčastěji plastovou fólií, aby nedocházelo k nekontrolovaným průsakům do podloží a následnému znehodnocení podzemních vod. Plastovou fólii je nutno chránit před protržením – např. podložit a překrýt geotextilií. Pokud je podloží tvořeno málo propustným materiálem (nepropustný jíl), není nutná další izolace (jako např. v KČOV Slavošovice) (8, 10, 11, 19, 22, 41).

#### ***1.1.6. Vegetace***

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

Mokřadní rostliny plní v kořenových čistírnách řadu funkcí: poskytují podklad pro přisedlé mikroorganismy, přivádějí kyslík do kořenů a oddenků rostlin, částečně odčerpávají živiny, zateplují povrch kořenových polí v průběhu zimního období, atd.

Kritéria pro výběr vhodných druhů rostlin pro vegetační čistírny:

- vytrvalé rostliny
- rostliny se širokou ekologickou amplitudou (rostliny z přírodního, na živiny bohatého prostředí se značně kolísavým vodním režimem)
- rostliny s dlouhou vegetační dobou
- rostliny, které je možné snadno a rychle množit

- rostliny, se kterými je snadná manipulace

Nejvhodnější a nejčastěji používané mokřadní rostliny jsou:

### ***Rákos obecný (Phragmites australis)***

Rákos je nejčastěji používanou rostlinou díky schopnosti mohutného růstu podzemních částí (až do hloubky 1, 5 m, v KČOV je to 30-40 cm). Je to vytrvalá tráva, která v našich podmínkách dosahuje až 4 metry výšky, čímž se řadí mezi naše nejvyšší trávy. Vegetativní rozmnožování je velmi rychlé a intenzivní a děje se dlouhými výběžkatými oddenky. Rákos je poměrně tolerantní vůči teplotě, pH, organickému i anorganickému znečištění a je schopen dobře přenášet kyslík do substrátu. Nesnáší pravidelné kosení a sklízení, především během vegetační sezóny. Kvete od srpna do září.

### ***Chrastice rákosovitá (Phalaris arundinacea)***

Vytrvalá bylina dorůstající výšky 2-3 metry. Má mohutně vytvořený kořenový systém propletený oddenky. Množí se dobře a rychle semeny, vegetativními poléhavými výhonky a plazivými oddenky. Nesnáší dlouhodobé zatopení, slané půdy, ale je značně tolerantní ke znečištění vody i promrzání. Je možné ji kosit až 3x ročně. Kvete od června do července.

Dále mezi mokřadní rostliny řadíme: orobinec úzkolistý a širokolistý, skřípinec jezerní a zblochan vodní. Mezi rostliny s vyšší estetickou hodnotou patří: kosatec žlutý, šmel okoličnatý a puškvorec obecný (17, 22).

### **1.1.7. Provoz a údržba**

Velkou výhodou kořenové čistírny ve srovnání s klasickými čistírnami je, že KČOV nepotřebují elektrickou energii a neobsahují žádné mechanické součásti, které by se mohly opotřebovávat. Mohlo by se zdát, že KČOV jsou v podstatě bezobslužné,

což však v žádném případě není pravda (50). Je nutné pravidelně vyvážet septik a lapák písku, popřípadě štěrbínovou nádrž (1-4x ročně, podle zatížení KČOV). Také je třeba čistit česle a kontrolovat nastavení vodní hladiny. Kosení je nejlépe provádět v zimě (22). Pokud jsou v okolí vegetačního pole travní porosty, je žádoucí tyto porosty pravidelně kosit, jinak by se mohly stát zdrojem nežádoucích plevelů (49). Na údržbu obecních čistíren postačuje jedna hodina denně (50).

Přes určité menší nedostatky převládají pozitivní zkušenosti majitelů malých přírodních čistíren odpadních vod, mezi které patří např.: dlouhodobá spolehlivost, levná stavba i provoz, snadná údržba, zvlhčení vzduchu, zvýšení přirozené diverzity životního prostředí, apod. (55).

#### *1.1.7.1. Hygienické aspekty provozu*

Při posuzování kanalizačních čistíren se hygienik zabývá zejména otázkami zabezpečení odpadních vod před šířením choroboplodných zárodků a zápachu do obytného prostředí (voda je vektorem několika infekčních onemocnění), ochrany okolí čistírny (odpovídající šíře ochranného pásma – zápach, aerosol mikroorganismů) a podmínkami hygieny práce pro obsluhu ČOV. Posuzuje se i účinnost čistírny v návaznosti na další využití recipientu vypouštěných odpadních vod čistírny (využití povrchových vod pro koupání apod.). Důležité je také posuzování zdravotního zabezpečení infekčních odpadních vod a kalů (18).

#### *1.1.8. Účinnost*

Kořenové čistírny jsou navrhovány a dimenzovány zejména pro odstraňování organických a nerozpuštěných látek, tj. parametrů, které jsou limitovány pro malé zdroje znečištění. Díky tomu je eliminace fosforu a dusíku poměrně nízká a pohybuje se v rozmezí 20-80% pro splaškové vody. Je nutno zmínit, že KČOV prokazují také vysokou účinnost při odstraňování mikrobiálního znečištění a těžkých kovů. Je důležité

poznámenat, že účinnost čištění dosahovaná v České republice je naprosto srovnatelná s účinností KČOV po celém světě (50).

## **1.2. Význam mikroorganismů pro jakost vod**

Voda v přírodě obsahuje určitý počet mikroorganismů, které jsou jejím stálým a podstatným živým společenstvím. Jejich množství a druhové složení je velice proměnlivé a závisí na mnoha faktorech.

Ve vodě můžeme nalézt převážnou většinu systematických a fyziologických skupin bakterií, kvasinek, virů a dalších mikroorganismů. Ve vodním prostředí rozlišujeme dvě velké skupiny mikroorganismů. První skupinu, která si našla ve vodě vhodné podmínky pro svou existenci a stala se tak přirozenými vodními organismy, nazýváme autochtonní mikroflórou. Druhou skupinu mikroorganismů, která se do vody dostává z vnějšího prostředí a ve vodě nenachází vhodné podmínky pro svůj rozvoj, nazýváme alochtonní mikroflórou. Obě tyto skupiny mají specifický význam pro hodnocení jakosti vod.

Základem mikrobiologického vyšetřování vod je sledování bakterií, které indikují fekální znečištění vody. Je to skupina mezofilních a psychofilních bakterií a skupina bakterií koliformních, enterokoků a anaerobních klostridií.

Vzhledem k tomu, že se do vody z vnějšího prostředí mohou dostat i nejrůznější patogenní a podmíněně patogenní bakterie, je potřeba věnovat pozornost i jejich izolaci. Přítomnost těchto bakterií ve vodě představuje z hygienického hlediska nebezpečí pro vznik onemocnění.

Pro kvalitu vody mají význam také různé skupiny bakterií, které se účastní přirozených procesů ve vodách (20).

### ***1.2.1. Indikátory znečištění vod***

K tomu, aby nám mikroorganismy sloužily jako indikátory hygienické charakteristiky vody, je potřeba zvládnout řadu poznatků – od základních znalostí

o samotných bakteriích, přes jejich účast a význam ve vodách, po studium přirozených procesů, které ve vodách probíhají.

Na vodu je potřeba pomyslet jako na cestu přenosu infekčního agens. Výzkumy přinesly zjištění, že rozvrstvení bakterií ve vodě je nerovnoměrné, že počet bakterií závisí na intenzitě vneseného znečištění a na ročním období. Potvrzena byla i závislost mezi počtem bakterií a přítomnými organickými látkami.

Problematikou alochtonní mikroflóry, tj. mikroorganismů, které se do vody dostávají z ovzduší, půdy, zvířat, odpadními vodami nebo jinou činností člověka, se zabývají mikrobiologové. Tato problematika úzce souvisí se základními úkoly hygieny vody. Mikrobiologický výzkum pomáhá zdravotně zabezpečovat všechny vodní zdroje a bojuje proti nákazám, které se mohou šířit znečištěnou vodou.

Základem mikrobiologického vyšetřování v hygieně vody je sledování bakterií indikujících obecné a fekální znečištění vody **(20)**.

#### *1.2.1.1. Indikátory obecného znečištění vod*

Za bakterie obecného znečištění vody pokládáme dvě skupiny bakterií: mezofilní a psychofilní. Při hygienickém hodnocení kvality vody jim přisuzujeme podstatně menší význam než těm bakteriím, které indikují fekální znečištění. Zdravotní riziko, které vyplývá z přítomnosti mezofilních a psychofilních bakterií ve vodě, je podstatně menší, než jaké představuje přítomnost koliformních bakterií nebo enterokoků. Průkaz těchto bakterií nám slouží jako informace o stavu vodního zdroje vzhledem k jeho okolí a o celkovém mikrobiálním oživení vody. Mezi časté zástupce patří pseudomonády, gramnegativní nefermentující tyčky, sporulující bakterie, saprofytické bakterie, některé kvasinky atd. **(20)**.

#### *1.2.1.2. Indikátory fekálního znečištění vod*

Koliformní bakterie, enterokoky a anaerobní klostridia označujeme v hygieně vody za indikátory fekálního znečištění. Jsou to bakterie, které se vyskytují přímo

v lidských a zvířecích fekáliích, ale které nacházíme i ve vnějším prostředí. Jejich počet ve vodě je rozdílný podle toho, jak vhodné podmínky ve vodním prostředí pro svůj rozvoj naleznou, jak dlouhá doba uplynula od okamžiku, kdy se tyto mikroby z původního prostředí, tj. ze střeva člověka nebo zvířete, do vyšetřované vody dostaly.

V hygieně vody přisuzujeme bakteriím indikujícím fekální znečištění velký význam (20).

### ***1.2.2. Termotolerantní koliformní bakterie***

Tyto bakterie se řadí do čeledi *Enterobacteriaceae*. Jsou to gramnegativní nesporulující tyčinky, oxidáza negativní, které tvoří za aerobních podmínek kolonie během 24 hodin kultivace při teplotě 44°C na selektivně diagnostické půdě s laktózou.

Koliformní bakterie se určují v laboratořích hygienické služby, a to v potravinářských výrobcích a surovinách, v pitné, povrchové i odpadní vodě. Při hodnocení počtu těchto bakterií se vychází z hygienických předpisů nebo norem pro pitnou či povrchovou vodu.

Dříve byly označovány za fekální koliformní bakterie a považovaly se za absolutní indikátory „čerstvého“ znečištění živočišnými exkrementy. Ovšem později bylo dokázáno, že se mohou nacházet i ve vodách znečištěných organickými látkami bez přímé souvislosti s fekální kontaminací. Proto byl název fekální koliformní bakterie nahrazen přesnějším označením termotolerantní koliformní bakterie, protože tolerují teplotu 44°C a mohou při ní růst a rozmnožovat se (13, 39, 44).

V odpadních vodách jsou nálezy termotolerantních koliformních bakterií obvykle velice vysoké. V jednotlivých druzích odpadních vod se setkáváme s velice rozdílnými nálezy koliformních bakterií. Při hodnocení mikrobiologických rozborů je proto nezbytné brát v úvahu všechny okolnosti od samého vzniku odpadní vody. Odpadní vody různého původu mají nejrůznější mikrobiální oživení. Také vzrůstající organické znečištění neznamená vždy současný nárůst mikrobů. Přítomnost toxických látek v odpadní vodě způsobí naopak velké až úplné potlačení růstu mikroorganismů. Proto nelze tvrdit, že čím více bakterií, tím je odpadní voda závadnější a naopak. Podle

počtu termotolerantních koliformních bakterií hodnotíme s určitou jistotou např. efekt čištění v čistírnách odpadních vod (20).

### **1.2.3. Enterokoky**

Enterokoky jsou grampozitivní, fakultativně anaerobní a kataláza negativní koky tvořící páry nebo krátké řetízky. Rostou při teplotách do 45°C a v přítomnosti 40% žlučových solí a 6,5% NaCl. Rostou na selektivní půdě s azidem sodným. Patří mezi streptokoky skupiny D.

V hygienické mikrobiologii a vodohospodářské praxi se pokládají za indikátory fekálního znečištění potravinářských výrobků, pitné i povrchové vody (13, 38, 48).

Existují rozdílné názory na citlivost těchto mikrobů k vnějšímu prostředí. Je dokázáno, že ačkoliv jsou enterokoky proti některým vnějším vlivům odolnější, přežívají většinou ve vodním prostředí mnohem kratší dobu než bakterie čeledi *Enterobacteriaceae*. Tato okolnost způsobila, že enterokoky jsou ve vodě považovány za indikátory „čerstvého“ fekálního znečištění. Na druhé straně to ale znamená, že nepřítomnost enterokoků ve vyšetřovaném vzorku nemůže být zárukou, že ve vodě nejsou přítomny jiné střevní bakterie. Proto se doporučuje provádět stanovení enterokoků souběžně se stanovením koliformních bakterií (20).

### **1.2.4. Onemocnění přenášená vodou**

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

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

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

Odpadní voda je důležitým faktorem přenosu (ne však infekčním zdrojem) pro mnohá infekční onemocnění (20). Mezi infekční agens a onemocnění přenášená vodou patří:

### **Viry**

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

### **Bakterie**

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



## ***Parazité***

- *Měňavky* (*Naegleria fowleri* – amoebové meningoencefalitidy; *Acanthamoeba* – ulcerace rohovky, keratitis)
- *Bičíkovci* (*Giardia lamblia*)
- *Výtrusovci* (*Cryptosporidium parvum*)
- *Červi* (*Schistosoma mansoni*; *japonicum*)
- *Hlísti* (*Ascaris lumbricoides* – poškození jater, plic, trávicího traktu; *Enterobius vermicularis*) (**15, 27, 45**).

### ***1.2.5. Voda natékající na ČOV***

Na ČOV přitéká tzv. šedá voda, což je odpadní voda z domácnosti, konkrétně z umyvadel, dřezů, van, sprch, myček a praček. Druhým typem vody je tzv. voda černá, to je voda z toalety (**40**).

### ***1.2.6. Bakteriální znečištění vody***

Mikrobiální znečištění je v kořenových čistírnách zadržováno velice efektivně kombinací fyzikálních, biologických a chemických procesů. Není jednoduché určit podíl jednotlivých procesů, ale předpokládá se, že nejvíce se uplatňuje přirozený úhyn (vzhledem k době zdržení několika dní), oxidace (enterické bakterie jsou většinou striktně anaerobní), působení antibakteriálních látek vylučovaných z kořenů mokřadních rostlin, predace a sedimentace. Většina KČOV vykazuje vynikající stupeň mikrobiologického čištění (přibližně 99%) (**36, 50**).

### ***1.2.7. Normy pro bakterie***

Dle nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, je nutno

dodržovat limity ukazatelů a hodnot přípustného znečištění povrchových vod. U bakteriálního znečištění jsou imisní standardy termotolerantních koliformních bakterií 40 KTJ/ml a enterokoků 20 KTJ/ml. Imisní standardy udávají přípustnou koncentraci sledovaného ukazatele po smíšení vypouštěné odpadní vody s vodou v recipientu (30).

### **1.2.8. Odstraňování střevních bakterií v KČOV**

Kanalizační a komunální splašky obsahují různé patogenní nebo potenciálně patogenní mikroorganismy, které v závislosti na koncentraci jednotlivých druhů, představují možné riziko ohrožení zdraví lidí, a proto je žádoucí snížit jejich výskyt v průběhu procesu čištění odpadní vody. I když odstraňování mikrobiálního znečištění není hlavním cílem procesu čištění vody v KČOV, jsou tyto mokřadní systémy ceněny pro svou vynikající schopnost snížení počtu bakterií pomocí fyzikálních (mechanická filtrace a sedimentace), chemických (oxidace, UV záření, exudace antimikrobiálních látek, adsorpce organického materiálu) a biologických procesů (predace hlístic, prvoků a zooplanktonu, přirozený úhyn virů a bakterií) (12, 37, 52).

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

zatímco u fekálních streptokoků se pohybuje počet bakterií v rozmezí  $10^3 - 10^4$  KTJ/100 ml. Hodnoty pro *C. perfringens* jsou <100 KTJ/100ml (33, 52).

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

Dalším indikátorem fekálního znečištění je *Clostridium perfringens*. Je to anaerobní sporulující bakterie, která je vždy přítomna v lidských fekáliích. Spóry *C. perfringens* jsou velmi odolné a přežívají ve vodě déle než koliformní bakterie (52).

Je prokázáno, že účinnost odstraňování střevních mikrobů v KČOV s vynořenou vegetací je ovlivněna zejména rychlostí proudění vody, dobou zdržení a přítomností vegetace. Výzkumem na kořenové čistírně s volnou hladinou vody v Ugandě se došlo k závěru, že čím je delší doba zdržení, tím déle jsou bakterie vystaveny nepříznivým podmínkám. Podobné výsledky potvrdil i výzkum na kořenové čistírně s podpovrchovým horizontálním tokem na Novém Zélandu. Při době zdržení 2.0, 3.0, 5.5 a 7 dnů byla účinnost odstraňování bakterií 76,2%, 79,4%, 92,1% a 95,3%. Tato vynikající schopnost odstraňování bakterií je dána hlavně díky 1) přítomnosti kyslíku ve vodním sloupci kořenové čistírny s volnou hladinou vody nebo v rhizosféře KČOV s podpovrchovým tokem a 2) přítomnosti rostlin s antimikrobiálními schopnostmi. Střevní bakterie jsou buď fakultativně nebo striktně anaerobní, a tudíž jim přítomnost kyslíku vytváří nepříznivé podmínky k životu. V kořenové čistírně s volnou hladinou vody by mohly být koncentrace kyslíku docela vysoké díky fotosyntetické aktivitě vodních řas, v KČOV s podpovrchovým tokem kyslík vniká do vody z kořenů a oddenků rostlin (34, 52).

Dále bylo zjištěno, že rákos obecný (*Phragmites australis*) pomocí exudace antimikrobiálních látek usmrcuje patogenní bakterie.

Mezi další poznatek patří to, že KČOV s horizontálním tokem mají malou sezónnost a tudíž odstraňování bakterií je stejnoměrné díky teplotě ve vegetačním poli, která kolísá během roku jen mírně (díky dobré izolaci rostlin) v porovnání s teplotou vzduchu. Oproti tomu v kořenové čistírně s volnou hladinou vody teplota kolísá během roku velmi výrazně. Vyšší teploty podporují růst vodních řas a drobných živočichů, avšak prodlužují i přežívání bakterií. V KČOV s podpovrchovým horizontálním tokem je odstraňování bakterií pomocí UV záření zanedbatelné.

Nejvyšší účinnost odstraňování střevních bakterií je zaznamenáno u kombinovaných čistíren odpadních vod. Kombinovanými čistírnami se rozumí KČOV s volným povrchem vody, s horizontálním podpovrchovým tokem a s vertikálním podpovrchovým tokem (52).

## **2. Cíle práce a hypotézy**

### **2.1. Cíle práce**

Cílem práce bylo stanovit účinnost odstraňování enterokoků a termotolerantních koliformních bakterií z odpadní vody v kořenové čistírně odpadních vod (KČOV). Dále ukázat dynamiku počtů těchto bakterií v natékající a odtékající vodě v průběhu roku a porovnat účinnosti jejich odstraňování z odpadní vody v KČOV v zimním a v letním období.

### **2.2. Hypotézy**

Předpokládám, že v zimním období bude účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií a enterokoků nižší než v období letním. Počty bakterií ve vodě přitékající na čistírnu budou v zimním období nižší oproti období letnímu v důsledku naředění odpadní vody srážkovou vodou, proto by měla být i nižší účinnost jejich odstraňování. Avšak i snížená účinnost odstraňování těchto bakterií bude dostačující pro splnění norem vypouštěné odpadní vody do povrchových vod.

### 3. Metodika

#### 3.1. Popis lokality

Malá obec Slavošovice se nachází 25 km jihovýchodně od Českých Budějovic a je jednou ze tří částí obce Libín. Obecní část Slavošovice leží v nadmořské výšce 480 m.n.m.

#### 3.2. Popis čistírny

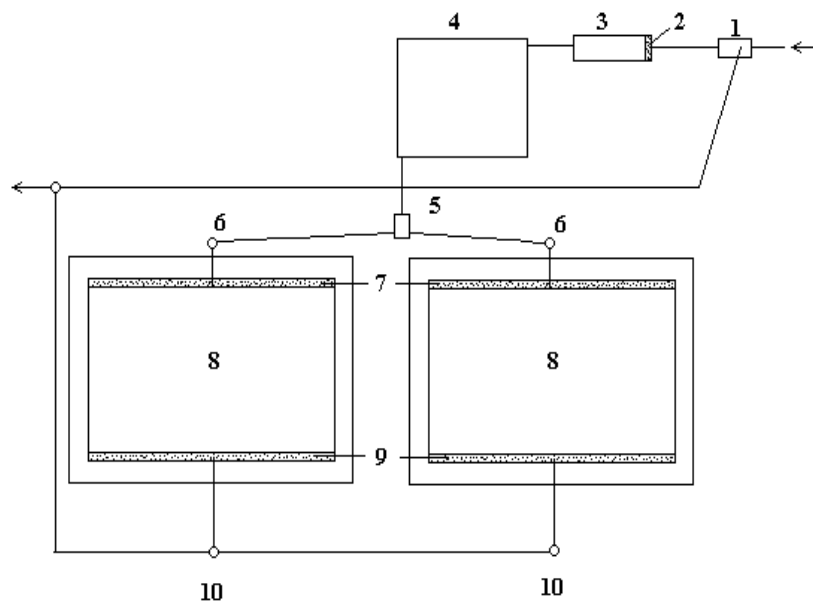
KČOV Slavošovice byla uvedena do provozu v srpnu 2001 a byla vybudována pro 150 EO. V současnosti je na KČOV napojeno asi 80 EO. Do čistírny je svedena odpadní voda jak z jednotlivých objektů obce, tak i dešťová voda z obecních komunikací.

Čistírna je tvořena předčištěním (dešťový odlehčovač, česle, horizontální lapák písku a šterbinová nádrž) a 2 vegetačními poli s podpovrchovým horizontálním tokem. Každé pole se skládá z nátokové a odtokové zóny a z lože. Nátoková a odtoková zóna je vyplněna hrubším štěrkem (5-10 cm) a lože pískem (3-20 mm). Podloží je tvořeno nepropustným jílem, který slouží jako dostatečná izolace.

Regulace výšky hladiny v kořenovém loži je vyřešena pomocí flexibilní hadice zavěšené na řetězu, která umožňuje plynule měnit výšku vodní hladiny. Hladina vody ve vegetačním poli je v průběhu vegetačního období udržována 2-3 cm pod povrchem. V zimě se hladina vody nastavuje na 7-10 cm nad povrch lože.

Ve vegetačním poli jsou umístěny vertikálně do štěrkového lože 40 a 80 cm dlouhé novodurové trubky, které tvoří 3 řady. Tyto trubky slouží pro odběry vzorků vody. Trubky mají průměr 11 cm a jsou perforované (průměr otvorů je 0,5 cm). Jsou umístěny ve vzdálenosti 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10 a 13 m od rozvodné zóny a sahají do hloubky 20 a 60 cm.

Pole jsou osázena rákosem obecným (*Phragmites australis*).



Obr. 3: Schéma KČOV Slavošovice

1-dešťový odlehčovač, 2-česle, 3-horizontální lapák písku, 4-štěrbinová nádrž, 5-rozdělovací nádrž, 6-nátok, 7-nátoková zóna, 8-vegetační pole, 9-odtoková zóna, 10-odtok.

Tab. 1: Technické parametry KČOV Slavošovice

<b>Vegetační pole</b>	<b>Parametry</b>
Kapacita	150 EO
Plocha na 1 EO	5 m <sup>2</sup>
Počet polí	2
Délka vegetačního pole	17 m
Šířka vegetačního pole	22 m
Hloubka vegetačního pole	0,9 m
Substrát pole	štěrk (1-2 cm)
Plocha jednoho pole	374 m <sup>2</sup>
Plocha polí celkem	748 m <sup>2</sup>
Průměrný nátok	5 l/min.
Doba zdržení při průměrném nátoku	15,5 dne

### 3.3. Odběr vzorků

Odběr vzorků probíhal v 2-6 týdenních intervalech v období květen 2006 až březen 2007. Data jednotlivých odběrů jsou uvedena v následující tabulce:

Tab. 2: Data jednotlivých odběrů

č. odběru	datum odběru
1.	29.5.2006
2.	26.6.2006
3.	11.7.2006
4.	25.7.2006
5.	5.9.2006
6.	25.9.2006
7.	18.10.2006
8.	14.11.2006
9.	13.12.2006
10.	16.1.2007
11.	6.2.2007
12.	7.3.2007

Za zimní období jsou považovány měsíce prosinec až březen (9. – 12. odběr) a za letní období jsou považovány měsíce červen až září (2. – 6. odběr).

K vyhodnocení účinnosti čištění z mikrobiologického hlediska sloužily vzorky vody odebírané z nátoky (přesněji z lapáku písku), rozdělovací nádrže a odtoku (přesněji z odtokové šachty sledovaného vegetačního pole). Odběr vzorků vždy probíhal v dopoledních hodinách (10-11 hod.). Vzorky byly odebírány pomocí ochranných gumových rukavic a odběrové tyče do polyethylenových lahvíček o objemu 250 ml tak, aby nedošlo ke kontaminaci podle doporučení (7). Vzorky byly transportovány do laboratoře a nejdéle do 2 hodin zpracovány.

Dne 14.11.2006 byl proveden odběr vzorků vody z novodurových trubek (pravé, prostřední a levé) ze vzdálenosti 1, 5 a 10 m od nátoky vody na kořenové pole.



### 3.4. Zpracování vzorků

Při zpracovávání vzorků bylo nezbytné nosit ochranné gumové rukavice a plášť. Práce probíhala v laminárním boxu, který se před započítím práce sterilizoval ultrafialovým zářením (asi 15 minut). Poté byla zapnuta cirkulace vzduchu a osvětlení, což je popsáno i v (25).

Na pracovní plochu byly připraveny všechny potřebné laboratorní pomůcky (tj. pipety, odměrný válec, pipetovač, zkumavky ve stojanu na zkumavky a válec na odkládání použitých pipet). Pomůcky byly umístěny na zadní část pracovní plochy tak, aby byly lehce dosažitelné. Na přední část pracovní plochy bylo položeno potřebné množství Petriho misek s nalitým médiem (Petriho misky s agary byly připraveny firmou Dulab).

Petriho misky stejně tak jako zkumavky bylo potřeba pečlivě označit názvem stanovení a stupněm zředění. Tyto údaje byly zároveň uvedeny i v odpovídajícím protokolu. Tytéž pokyny najdeme opět v (7).

Do každé řádně popsané zkumavky (při třech ředěních na nátoku i rozdělovací nádrži a jednom ředění na odtoku bylo potřeba sedm zkumavek) bylo napipetováno 9 ml fyziologického roztoku.

Bezprostředně před vlastním mikrobiologickým rozbořem byl vzorek promíchán intenzivním protřepáním. Účelem bylo rovnoměrné rozptýlení mikroorganismů v celém objemu zkoumaného vzorku.

Z neředěného vzorku odpadní vody z nátoku bylo na Petriho misky napipetováno 0,2 ml (byla provedena čtyři opakování, tudíž bylo toto množství napipetováno na čtyři misky).

Dále bylo provedeno ředění v poměru 1:10, které se používá pro všechna stanovení mikrobiologického rozboru vod. Princip zředování spočívá v tom, že se pipetou přenese z dobře promíchaného vzorku jeden objemový díl vzorku vody do devíti objemových dílů fyziologického roztoku (čili se přenese 1 ml vzorku vody do 9 ml fyziologického roztoku), čímž se po opětovném promíchání připraví zředění v poměru 1:10, tj.  $1 \times 10^{-1}$ . Pipetou z takto připraveného zředění byl znovu přenesen

1 objemový díl do další zkumavky s devíti objemovými díly fyziologického roztoku, čímž byl připraven druhý stupeň zředění, tj.  $1 \times 10^{-2}$ . Při zachování postupné řady ředění v poměru 1:10 se takovýmto způsobem pokračuje dál až k dosažení žádaného stupně zředění.

Příslušně naředěný vzorek byl promíchán pomocí pipetovače a pipety a poté byl ihned naočkován na misky. (Při přímé inokulaci vzorku se pipetuje 0,2 ml vzorku na povrch půdy, bez dosušení.)

Poté byly misky uloženy dnem vzhůru do termostatu ke kultivaci při předepsané teplotě.

Očkování termotolerantních koliformních bakterií a enterokoků probíhalo paralelně.

Po ukončení práce byla vypnuta cirkulace vzduchu a osvětlení a zapnuto UV záření, tím se prostor sterilizoval.

Obsah polyetylenových lahvíček byl vylit do výlevky a lahvičky byly umyty v myčce. Použité nástroje byly nejdříve ošetřeny Savem a poté sterilizovány při  $160 - 170^{\circ}\text{C}$  1 hodinu. Ruce byly ošetřeny antibakteriálním mýdlem a poté ještě desinfekcí na ruce Cutasept. Po kultivaci a následném spočítání kolonií byly misky s bakteriemi autoklávovány při  $120^{\circ}\text{C}$  15 minut. Autoklávování probíhalo v laboratoři Biologické fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.

### **3.5. Stanovení termotolerantních koliformních bakterií**

#### **Kultivační média a činidla**

mFC agar (z angl.: membrane fecal coliform) je selektivně diagnostická půda určená k průkazu a stanovení počtu termotolerantních koliformních bakterií ve vodě. Selektivním činidlem potlačujícím růst nežádoucích mikrobusů je směs žlučových solí, anilinová modř a kultivace při teplotě  $44^{\circ}\text{C}$ . Tím se mají oddělit „fekální“ termotolerantní koliformní mikroby od koliformních organismů nefekálního původu. Jako substrát slouží v půdě laktóza, indikátorem jejího štěpení je anilinová modř, která barví kolonie laktóza pozitivních bakterií tmavomodře, a kyselina rosolová, která

způsobuje, že kolonie mikrobů neštěpících laktózu jsou narůžovělé, šedavé nebo krémové.

Složení (g/litr): Tryptosa (10,0g), Proteosový pepton č.3 (5,0g), Kvasničný extrakt (3,0 g), Laktosa (12,5 g), Žlučové soli č.3 (1,5g), NaCl (5,0g), Agar (15,0g), Anilinová modř (0,1g). Tyto složky se postupně rozpustí v 1 litru destilované vody a rozvaří. Přidá se 10 ml 1% alkalického roztoku kyseliny rosolové a minutu se vaří. Ochladí se na 45°C až 50°C a rozlévá se do misek. Nakonec se pH upraví na hodnotu  $7,4 \pm 0,2$  (**39, 44, 47**).

### **Kultivace a hodnocení**

Při přímé inokulaci vzorku se pipetuje 0,2 ml vzorku na povrch půdy, bez dosušení. Misky se kultivují na selektivně diagnostické půdě mFC při  $44^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  po dobu 18-24 hodin. Po skončení kultivace se počítají jen laktóza pozitivní, tj. modře zbarvené kolonie. Počet kolonií je nutno uvádět na zpracovaný objem vzorku, u ředěných vzorků se přepočítává na 1 ml vzorku (**39**).

V případě hojného výskytu bakterií (zpravidla na miskách s neředěným vzorkem, s prvním ředěním a někdy i s druhým ředěním) se pro snadnější spočítání KTJ na misky kreslí čtyři kvadranty. Je potřeba spočítat KTJ v jednotlivých kvadrantech a následně je sečíst.

### **3.6. Stanovení enterokoků**

#### **Kultivační média a činidla**

Slanetz Bartley agar je jednou z nejpoužívanějších selektivně diagnostických půd pro enterokoky. Obsahuje azid sodný v takové koncentraci, která potlačuje růst kontaminujících mikrobů, především gram negativních. Živný základ je obohacený o glukózu. V půdě dále přítomný trifenyltetrazoliumchlorid je enterokoky redukován na nerozpustný formazan, který zbarvuje kolonie enterokoků růžově, červeně až červenohnědě.

Složení (g/litr): Tryptosa (20,0g), Kvasničný extrakt (5,0g), Glukosa (2,0g), Hydrogenfosforečnan draselný (4,0g), Azid sodný (0,4g), Trifenyltetrazoliumchlorid (0,1g), Agar (15,0g). Tyto složky se postupně rozpustí v 1 litru destilované vody, rozvaří se a plní do misek. Nakonec se pH upraví na hodnotu  $7,2 \pm 0,2$ .

Všechna selektivní média, která se používají pro kultivaci enterokoků obsahují azid sodný. Tato látka je vysoce toxická a mutagenní, a proto je nutné zabránit inhalaci jemného prachu při navažování kompletních dehydrovaných médií. Je tedy nutné dodržovat předpisy pro bezpečnost práce v mikrobiologii (**5, 38, 47**).

### **Kultivace a hodnocení**

Při přímé inokulaci vzorku se pipetuje 0,2 ml vzorku na povrch půdy, bez dosušení. Misky se kultivují na selektivně diagnostické půdě Slanetz Bartley při  $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  po dobu  $44 \pm 4$  hod. Po skončení kultivace se za typické považují všechny vyrostlé kolonie červeně, kaštanově nebo růžově zbarvené, a to celé, nebo i takové, které jsou zbarvené pouze ve středu. Výsledek se vyjadřuje jako počet KTJ na objem přímo inokulovaného vzorku. (**38**).

V případě hojného výskytu bakterií (zpravidla na miskách s neřaděným vzorkem, s prvním ředěním a někdy i s druhým ředěním) se pro snadnější spočítání KTJ na misky kreslí čtyři kvadranty. Je potřeba spočítat KTJ v jednotlivých kvadrantech a následně je sečíst.

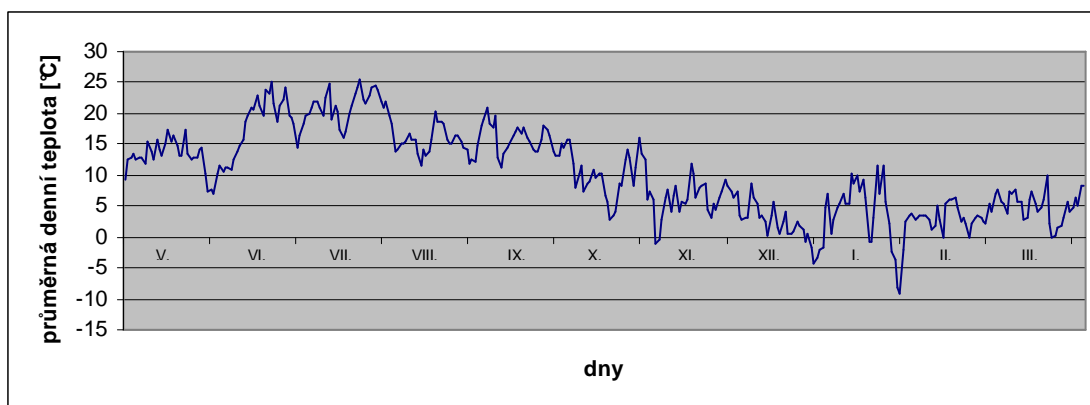
### **3.7. Zpracování dat**

Všechny tabulky, grafy a statistické hodnocení, jako směrodatná odchylka a průměr, byly provedeny v tabulkovém procesoru Microsoft EXCEL 2002.

Data byla statisticky vyhodnocena pomocí programu Statistica 7.1 (Statsoft, USA). Rozdíly mezi daty byly testovány pomocí neparametrického testu (Kruskal-Wallis) z důvodu narušení normality rozdělení.

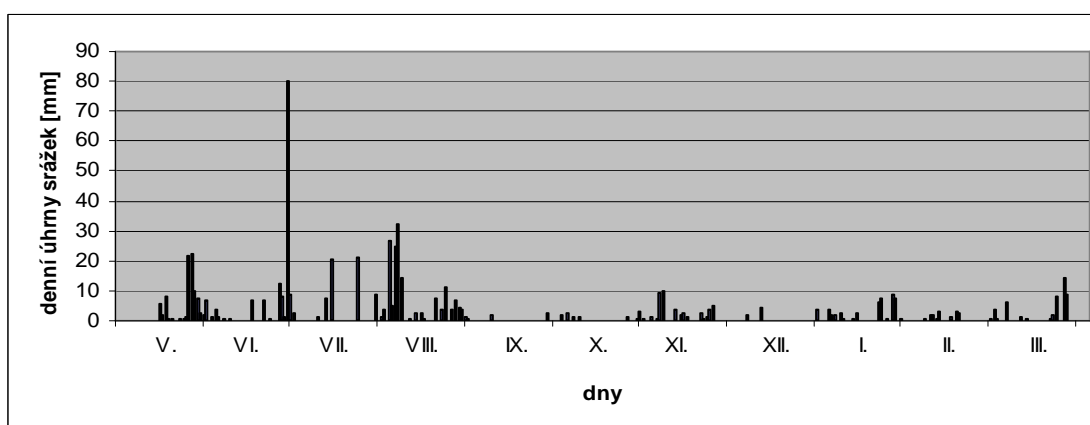
#### 4. Výsledky

Graf 1 znázorňuje průměrné denní teploty vzduchu za období květen 2006 až březen 2007. Zimní období bylo teplotně nadprůměrné. Průměrná teplota v zimním období byla 3,5°C a průměrná teplota v letním období byla 17,5°C.



Graf 1: Denní teploty vzduchu za období květen 2006 až březen 2007 (znázorněny průměrné hodnoty) (23, 24)

Graf 2 znázorňuje průměrné měsíční úhrny srážek za období květen 2006 až březen 2007. Nejvlhčím měsícem byl srpen 2006 (156,6 mm), nejméně srážek spadlo v září 2006 (4,4 mm).



Graf 2: Měsíční úhrny srážek za období květen 2006 až březen 2007 (znázorněny průměrné hodnoty) (23, 24)

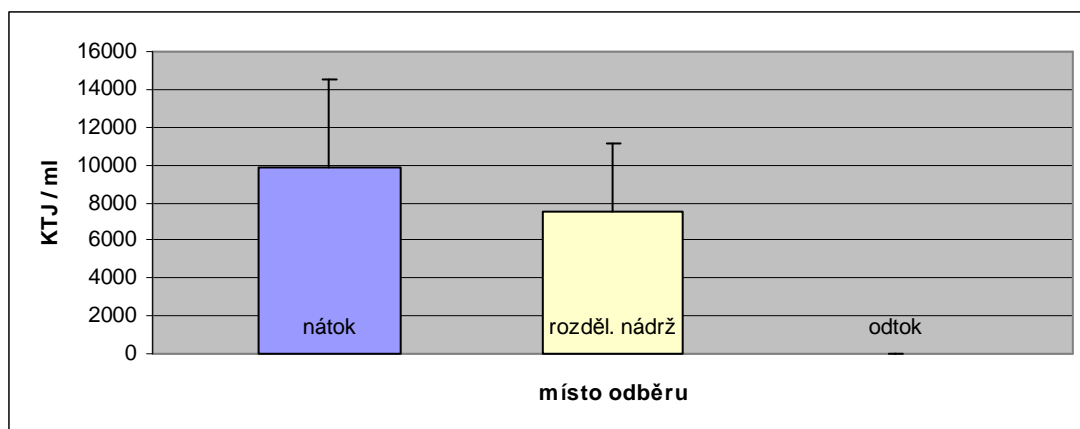
Jako doplňující data přikládám Tab. 3 se základními chemickými parametry odpadní vody v KČOV Slavošovice.

Tab. 3: Základní chemické parametry odpadní vody natékající na KČOV Slavošovice, vody po mechanickém předčištění a vody odtékající z KČOV (průměry z 20 odběrů ± směrodatná odchylka)

(35)

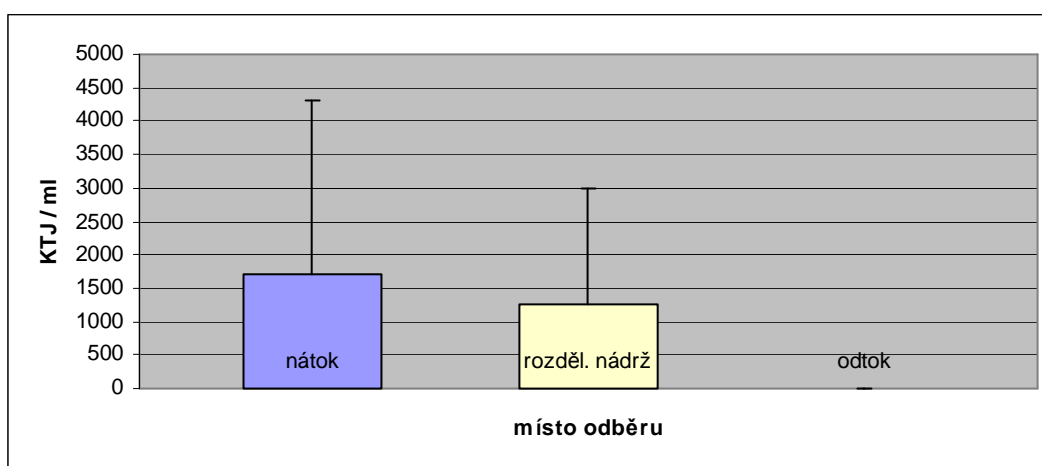
Odběrové místo	pH	CHSK	N <sub>TOT</sub>	P <sub>TOT</sub>
		(mg.l <sup>-1</sup> )	(mg.l <sup>-1</sup> )	(mg.l <sup>-1</sup> )
nátok na KČOV	7.48 ± 0.24	136.9 ± 91.0	32.7 ± 25.6	5.18 ± 5.27
nátok na vegetační pole	7.27 ± 0.20	123 ± 62.0	28.9 ± 23.0	4.89 ± 4.32
odtok z KČOV	6.95 ± 0.21	32 ± 14.5	14.2 ± 11.2	1.71 ± 1.29

Graf 3 znázorňuje průměrné počty termotolerantních koliformních bakterií v odpadní vodě na nátoku, v rozdělovací nádrži a na odtoku z KČOV. Počet zjištěných KTJ na nátoku kolísal mezi 1067 a 15500 KTJ/ml, v rozdělovací nádrži mezi 1113 a 13800 KTJ/ml a na odtoku mezi 0 a 29 KTJ/ml. Po mechanickém předčištění došlo k poklesu zjištěných KTJ o 24,1%. Byl zjištěn statisticky průkazný rozdíl v odstranění bakterií mezi nátokem a odtokem ( $H_{2,36} = 24,48$ ;  $p \ll 0,01$ ) a dále mezi rozdělovací nádrží a odtokem ( $H_{2,36} = 24,48$ ;  $p \ll 0,01$ ).



Graf 3: Počty termotolerantních koliformních bakterií v odpadní vodě v KČOV Slavošovice (znázorněny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky)

Graf 4 znázorňuje průměrné počty enterokoků v odpadní vodě na nátok, v rozdělovací nádrži a na odtoku z KČOV. Počet zjištěných KTJ na nátok kolísá mezi 489 a 9625 KTJ/ml, v rozdělovací nádrži mezi 246 a 6738 KTJ/ml a na odtoku mezi 0 a 19 KTJ/ml. Po mechanickém předčištění došlo k poklesu zjištěných KTJ o 27,1%. Byl zjištěn statisticky průkazný rozdíl v odstranění bakterií mezi nátokem a odtokem ( $H_{2,36} = 24,25$ ;  $p \ll 0,01$ ) a dále mezi rozdělovací nádrží a odtokem ( $H_{2,36} = 24,25$ ;  $p \ll 0,01$ ).



Graf 4: Počty enterokoků v odpadní vodě v KČOV Slavošovice (znázorněny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky)

Při zjišťování účinnosti odstraňování termotolerantních koliformních bakterií a enterokoků byl prokázán výrazný rozdíl mezi účinností šterbinové nádrže a účinností kořenového pole a celkové účinnosti čistírny.

Průměrná účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií a enterokoků ve šterbinové nádrži se téměř nelišila. Průměrná účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií byla 24,1% a enterokoků 27,1%. V Tab. 4 lze podrobně vidět jednotlivé účinnosti šterbinové nádrže za období květen 2006 až březen 2007 z hlediska odstraňování dvou výše zmíněných skupin bakterií.

Tab. 4: Účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií a enterokoků ve šterbinové nádrži

KČOV Slavošovice

č. odběru	datum odběru	účinnost v %	
		Termotolerantní kolif. b.	Enterokoky
1.	29.5.2006	-4,3	54,4
2.	26.6.2006	67,7	57,7
3.	11.7.2006	33,9	41,5
4.	25.7.2006	-15,3	18,6
5.	5.9.2006	7,9	-8,2
6.	25.9.2006	-18,2	55,7
7.	18.10.2006	27,3	37,6
8.	14.11.2006	-14,5	-17,8
9.	13.12.2006	28,2	-15,8
10.	16.1.2007	34,5	30
11.	6.2.2007	49,7	-7,7
12.	7.3.2007	19,4	-101,9

Průměrná účinnost odstraňování dvou sledovaných skupin bakterií v kořenovém poli se nelišila a byla 99,9%. V Tab. 5 lze podrobně vidět jednotlivé účinnosti kořenového pole za období květen 2006 až březen 2007 z hlediska odstraňování dvou výše zmíněných skupin bakterií.

Tab. 5: Účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií a enterokoků v kořenovém poli

KČOV Slavošovice

č. odběru	datum odběru	účinnost v %	
		Termotolerantní kolif. b.	Enterokoky
1.	29.5.2006	100	92,3
2.	26.6.2006	100	100
3.	11.7.2006	100	100
4.	25.7.2006	100	100
5.	5.9.2006	100	100
6.	25.9.2006	100	100
7.	18.10.2006	100	100
8.	14.11.2006	99,8	100
9.	13.12.2006	99,7	100
10.	16.1.2007	100	100
11.	6.2.2007	99,8	100
12.	7.3.2007	99,9	100

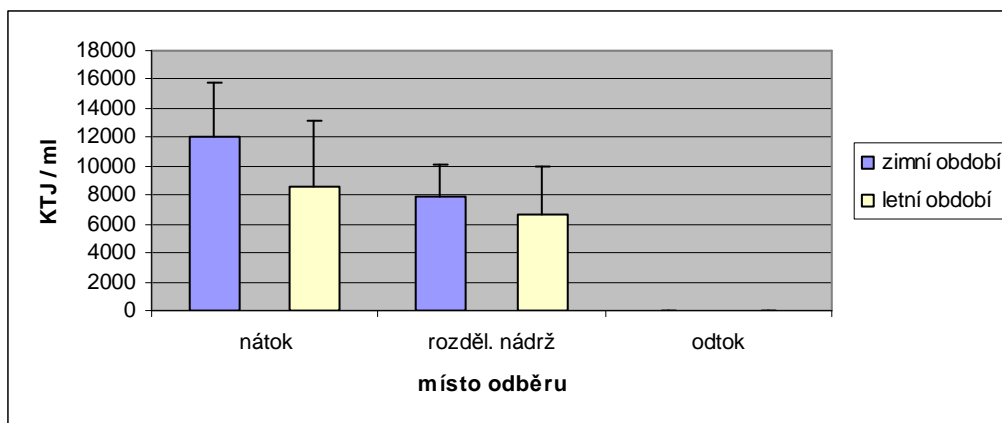


Průměrná účinnost odstraňování dvou sledovaných skupin bakterií v celé KČOV se nelišila. Průměrná účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií i enterokoků byla 99,9%. V Tab. 6 lze podrobně vidět celkové účinnosti čistírny za období květen 2006 až březen 2007 z hlediska odstraňování dvou výše zmíněných skupin bakterií.

Tab. 6: Celková účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií a enterokoků v KČOV Slavošovice

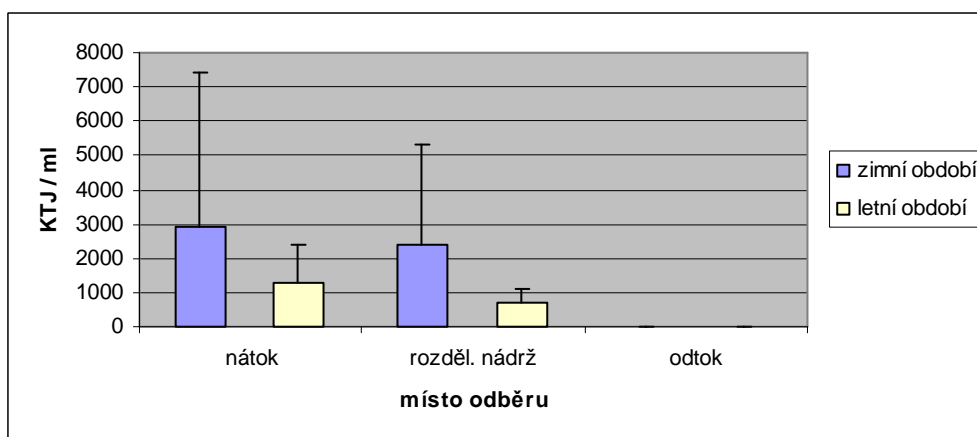
č. odběru	datum odběru	účinnost v %	
		Termotolerantní kolif. b.	Enterokoky
1.	29.5.2006	100	96,5
2.	26.6.2006	100	100
3.	11.7.2006	100	100
4.	25.7.2006	100	100
5.	5.9.2006	100	100
6.	25.9.2006	100	100
7.	18.10.2006	100	100
8.	14.11.2006	99,8	100
9.	13.12.2006	99,8	100
10.	16.1.2007	100	100
11.	6.2.2007	99,9	100
12.	7.3.2007	99,9	100

Graf 5 znázorňuje průměrné počty termotolerantních koliformních bakterií na nátoce, v rozdělovací nádrži a na odtoku z KČOV v zimním a letním období. V zimním období počet zjištěných KTJ na nátoce kolísal mezi 6650 a 14413 KTJ/ml, v rozdělovací nádrži mezi 5363 a 10075 KTJ/ml a na odtoku mezi 0 a 29 KTJ/ml. V letním období počet zjištěných KTJ na nátoce kolísal mezi 3838 a 15500 KTJ/ml, v rozdělovací nádrži mezi 2500 a 10250 KTJ/ml a na odtoku nebyla zjištěna žádná KTJ.



Graf 5: Počty termotolerantních koliformních bakterií v odpadní vodě v KČOV Slavošovice v zimním a letním období (znázorněny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky)

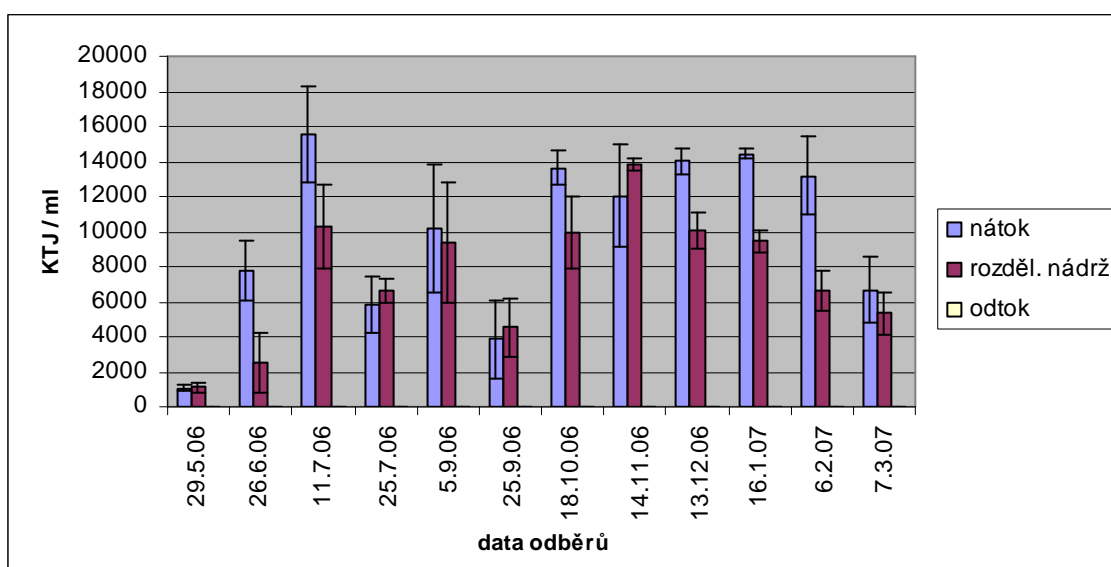
Graf 6 znázorňuje průměrné počty enterokoků na nátoce, v rozdělovací nádrži a na odtoku z KČOV v zimním a letním období. V zimním období počet zjištěných KTJ na nátoce kolísá mezi 589 a 9625 KTJ/ml, v rozdělovací nádrži mezi 828 a 6738 KTJ/ml a na odtoku nebyla zjištěna žádná KTJ. V letním období počet zjištěných KTJ na nátoce kolísá mezi 489 a 3250 KTJ/ml, v rozdělovací nádrži mezi 450 a 1375 KTJ/ml a na odtoku nebyla zjištěna žádná KTJ.



Graf 6: Počty enterokoků v odpadní vodě v KČOV Slavošovice v zimním a letním období (znázorněny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky)

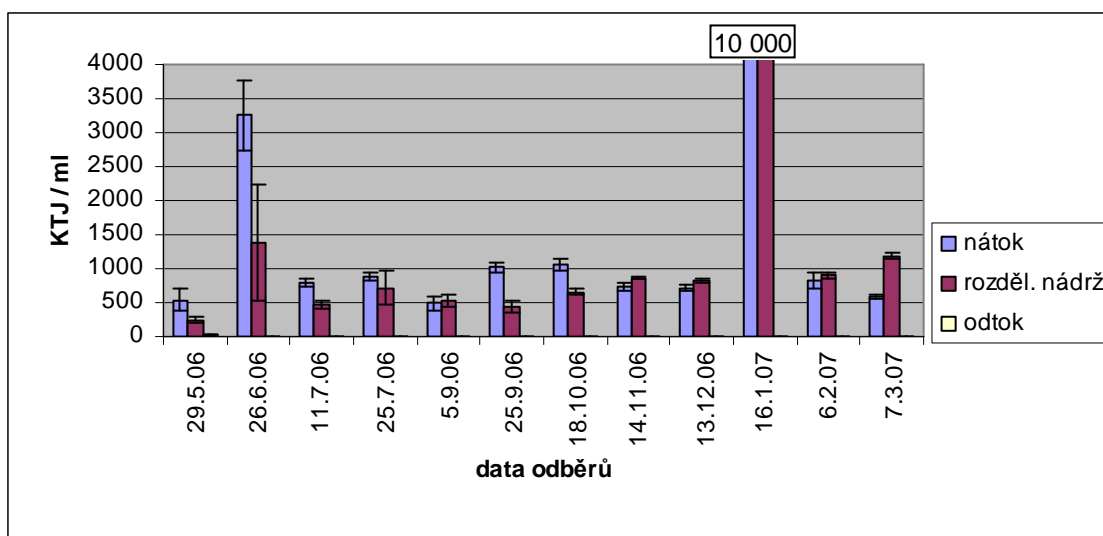
Účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií a enterokoků v zimním i letním období byla téměř 100%.

Graf 7 znázorňuje počty termotolerantních koliformních bakterií na nátoku, v rozdělovací nádrži a na odtoku z KČOV za období květen 2006 až březen 2007. Počet zjištěných KTJ na nátoku kolísal mezi 1067 a 15500 KTJ/ml, v rozdělovací nádrži mezi 1113 a 13800 KTJ/ml a na odtoku mezi 0 a 29 KTJ/ml.



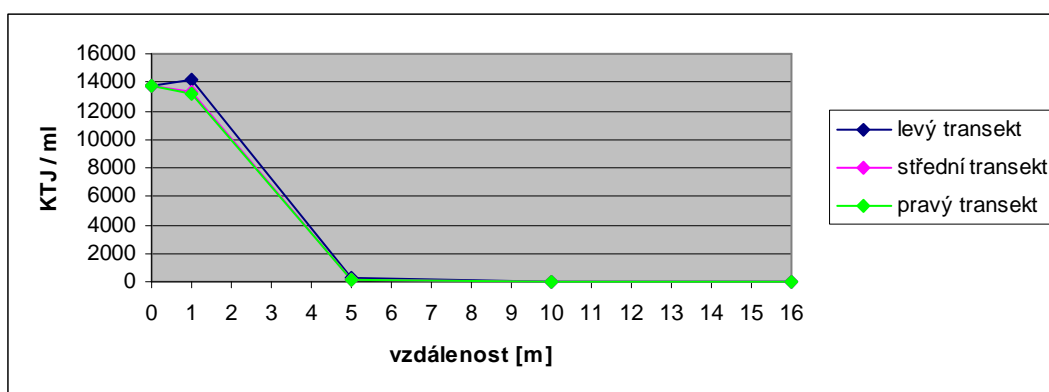
Graf 7: Počty termotolerantních koliformních bakterií v odpadní vodě v KČOV Slavošovice za období květen 2006 až březen 2007 (znázorněny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky)

Graf 8 znázorňuje počty enterokoků na nátoku, v rozdělovací nádrži a na odtoku z KČOV za období květen 2006 až březen 2007. Počet zjištěných KTJ na nátoku kolísal mezi 489 a 9625 KTJ/ml, v rozdělovací nádrži mezi 246 a 6738 KTJ/ml a na odtoku mezi 0 a 19 KTJ/ml.



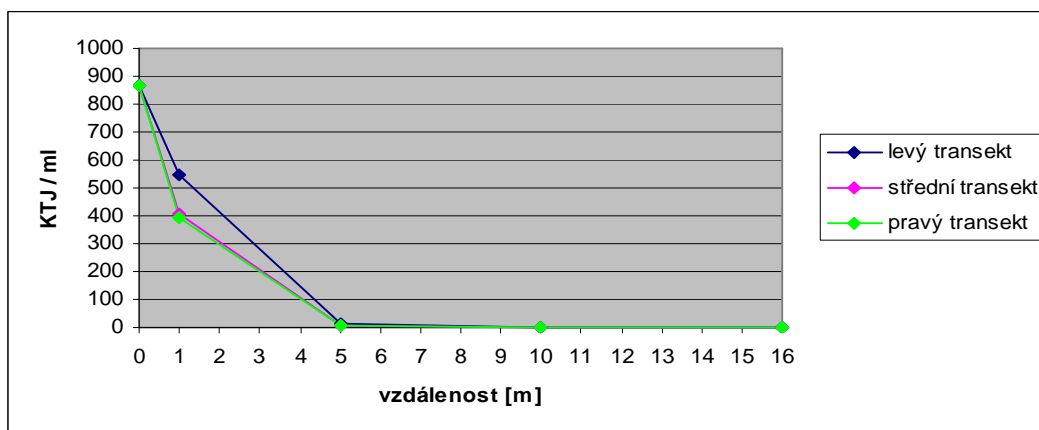
Graf 8: Počty enterokoků v odpadní vodě v KČOV Slavošovice za období květen 2006 až březen 2007 (znázorněny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky)

Graf 9 znázorňuje počty termotolerantních koliformních bakterií ve vzdálenosti 0, 1, 5, 10 a 16 m od nátoky odpadní vody na kořenové pole. Ve vzdálenosti 1 m od nátoky na kořenové pole obsahovala voda řádově stejný počet KTJ jako voda natékající na kořenové pole. Potom došlo k výraznému snížení KTJ až na 313 KTJ/ml v levém transektu, na 198 KTJ/ml ve středním transektu a na 178 KTJ/ml v pravém transektu ve vzdálenosti 5 m od nátoky odpadní vody na kořenové pole. Ve vzdálenosti 10 a 16 m od nátoky odpadní vody na kořenové pole nebyla již zjištěna žádná KTJ.



Graf 9: Počty termotolerantních koliformních bakterií ve vodě uvnitř kořenového pole ve vzdálenosti 0, 1, 5, 10 a 16 m od nátoky odpadní vody na kořenové pole

Graf 10 znázorňuje počty enterokoků ve vzdálenosti 0, 1, 5, 10 a 16 m od nátoky odpadní vody na kořenové pole. K výraznému snížení KTJ došlo až ve vzdálenosti 5 m od nátoky odpadní vody na kořenové pole a to na 15 KTJ/ml v levém transektu, na 5 KTJ/ml ve středním transektu a na 5 KTJ/ml v pravém transektu. Ve vzdálenosti 10 a 16 m od nátoky odpadní vody na kořenové pole nebyla již zjištěna žádná KTJ.



Graf 10: Počty enterokoků ve vodě uvnitř kořenového pole ve vzdálenosti 0, 1, 5, 10 a 16 m od nátoky odpadní vody na kořenové pole

## 5. Diskuse

Celková účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií v KČOV Slavošovice byla 99,93% a enterokoků 99,91%, což jsou téměř totožné hodnoty jako uvádí VYMAZAL (49). Ten tvrdí, že účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií v KČOV je 99,97% a enterokoků 99,96%. Nižší hodnoty potom VYMAZAL uvádí v (52), kde podle výzkumu na KČOV celého světa (KČOV s podpovrchovým tokem) byla účinnost odstraňování fekálních koliformních bakterií 91,5% a totálních koliformních bakterií 88,1%. Fekální koliformní bakterie jsou obvykle přítomny ve zvířecích fekáliích, kdežto totální koliformní bakterie se v přírodě vyskytují převážně v půdě a ve vodě (31).

V (6) byl hodnocen zimní provoz biologických nádrží (v osmi lokalitách) z hlediska mikrobiologického znečištění. Biologické nádrže (biologické rybníky) jsou nejčastěji používány ke konečnému zlepšení čistoty vody. Využívají se jako druhý, biologický stupeň čištění, následující po různých prvních stupních s přírodním nebo umělým čištěním (46).

Tyto nádrže mají velkou dobu zdržení (kolem 10 dnů), a tudíž odtok vyčištěné vody může být ovlivněn událostmi v období před odběrem, např. „vypláchnutím“ kanalizace při výraznější dešti. Zimní provoz nádrží byl sledován v období od ledna do poloviny března roku 2006. Během zimního období uvádí tento zdroj eliminaci termotolerantních koliformních bakterií o 70-99,8% (průměrné množství v odtoku 410 KTJ/ml) a enterokoků o 32-100% (99KTJ/ml). Abych mohla porovnávat tyto údaje se svým výzkumem, vybrala jsem jen ty odběry, které byly provedeny od ledna do března, kde mi účinnost termotolerantních koliformních bakterií vyšla 99,93% (průměrné množství v odtoku 7 KTJ/ml) a enterokoků 100% (0 KTJ/ml), což jsou hraniční hodnoty výše uvedeného zdroje. K porovnání s odběry provedenými od ledna do března jsem použila data z období, kdy nemrzne - od dubna do června. Opět tato data srovnávám s hodnotami, jež uvádí FELBEROVÁ (6). Účinnost v příslušných měsících mi u termotolerantních koliformních bakterií vyšla 100% (průměrné množství v odtoku 0 KTJ/ml) a enterokoků 98,24% (10 KTJ/ml). I když FELBEROVÁ (6) uvádí,

že v letním období je u obou skupin bakterií účinnost odstraňování vyšší, tak to nemohu potvrdit, neboť účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií a enterokoků se dle mého výzkumu v letním období téměř nelišila oproti období zimnímu. Ale je to zajisté i tím, že zima 2006/2007 byla velmi teplá a také suchá oproti dlouhodobému průměru. Průměrná teplota vzduchu v zimním období byla 3,5 °C (**23**), a to ovlivnilo i teplotu vody. Proto se zřejmě nepotvrdila i hypotéza, že počty bakterií ve vodě přitékající na čistírnu budou v zimním období nižší oproti období letnímu.

Podle výskytu termotolerantních koliformních bakterií na odtoku v zimním období (v průměru 13 KTJ/ml) lze usuzovat na to, že účinnost v zimním období je o trochu snížena oproti období letnímu, kdy se na odtoku nevyskytovala žádná KTJ. Myslím si, že výraznější rozdíl by byl prokázán u čistírny s vyšším počtem EO, kde by bylo celkově vyšší zatížení a vyšší výskyt potenciálních patogenů. Nevýrazný pokles účinnosti kořenové čistírny odpadních vod v zimním období potvrzuje i (**4, 29**).

Výsledky mé práce ukazují, že mechanické předčištění sice má vliv na redukcii počtu patogenních mikroorganismů, ale k výraznému odstraňování dochází až ve vlastním vegetačním poli. Podobně je tomu i u organického znečištění, celkového dusíku a celkového fosforu (viz. Tab. 3), jejichž odstraňování probíhá neúčinněji také v kořenovém poli. FELBEROVÁ (**6**) uvádí, že účinnost odstraňování celkového dusíku nevykazovala významnější sezónní rozdíly a pohybovala se kolem 23%. Stejně tomu bylo u účinnosti odstraňování obou sledovaných skupin bakterií. Odstraňování fosforu v biologické nádrži bylo účinnější v teplejším období roku (24%) než v zimním období (14%). VYMAZAL (**49**) uvádí eliminační efekt celkového dusíku v rozmezí 30-60% a fosforu mezi 30 a 50%. KOUŘIL (**22**) uvádí eliminaci fosforu a dusíku v rozmezí 40-50%.

V Tab. 4 i 5 je vidět snížená účinnost (i když nevýrazná) odstraňování termotolerantních koliformních bakterií v období 14.11.2006 – 7.3.2007 (s výjimkou 16.1.2007). Myslím si, že na to měly vliv srážky. V konkrétní dny odběrů a alespoň čtyři dny před nimi byly naměřeny poměrně vysoké srážky (s výjimkou 16.1.2007). Naopak v den odběru 16.1.2007, i před ním, byl úhrn srážek téměř nulový. Vlivem

srážek dochází ke zvýšení průtoku vody natékající na KČOV, čímž se zkrátí doba zdržení odpadní vody v kořenovém poli, a to má za následek snížení účinnosti.

Druhým důvodem snížené účinnosti odstraňování bakterií v kořenovém poli je zřejmě období vegetačního klidu rostlin, kdy se životní funkce rostlin zpomalí, až zastaví, tudíž se sníží i transport kyslíku do kořenového systému a exudace antimikrobiálních látek.

V Tab. 3 je zaznamenána výrazně snížená účinnost odstraňování enterokoků ve šterbinové nádrži 7.3.2007 (-101,9%). Po shlednutí hodnot o úhrnu srážek v den odběru a několik dnů před ním jsem zjistila, že zaznamenané hodnoty nevykazovaly nadprůměrně zvýšený úhrn srážek, proto to zřejmě nebude ta pravá příčina špatné účinnosti. Vyšší úhrn srážek byl jen čtvrtý den před odběrem (3.3.2007) a to 6,2 mm (23). Jedině pokud srážky naředí vodu, která natéká na KČOV a ze šterbinové nádrže odtéká ještě nenaředěná voda, tak může být negativní účinnost. Ale nezdá se mi, že by úhrn srážek z 3.3.2007 ovlivnil účinnost odstraňování enterokoků ve šterbinové nádrži 7.3.2007.

Z Tab. 4 by se mohla jevit účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií ve šterbinové nádrži v zimním období vyšší než v období letním, zatímco u enterokoků naopak. Je ale třeba podotknout, že rozdíly v počtu obou sledovaných skupin bakterií mezi nátokem a rozdělovací nádrží (v zimním i letním období) nebyly statisticky průkazné.

Mezi hodnotami naměřenými na nátok a odtoku z KČOV je po celou dobu výzkumu vidět výrazný rozdíl v počtu KTJ. VYMAZAL (52) uvádí, že se počet totálních koliformních bakterií a fekálních koliformních bakterií na nátok pohybuje v rozmezí  $10^6 - 10^9$  KTJ/100 ml a na odtoku v rozmezí  $10^4 - 10^6$  KTJ/100 ml. Počet termotolerantních koliformních bakterií ve vodě natékající na KČOV Slavošovice se pohybuje v dolní hranici rozmezí ( $10^5 - 10^6$  KTJ/100 ml), které uvádí VYMAZAL (52). Hodnoty na odtoku z KČOV Slavošovice mi v porovnání s (52) vycházejí o hodně nižší ( $0 - 2,9 \cdot 10^3$  KTJ/100 ml), což může být ovlivněno počtem obyvatel připojených na mnou sledovanou čistírnu. Tuto čistírnu používá pouze asi 80 až 100 EO. Dále to



může být způsobeno dlouhou dobou zdržení, kterou má KČOV Slavošovice (asi 16 dnů), kdežto běžné KČOV mají výrazně kratší dobu zdržení.

V Grafech 7 a 8 je znát zřetelný pokles počtu termotolerantních koliformních bakterií i enterokoků na nátoku i v rozdělovací nádrži dne 29.5.2006. Po shlédnutí hodnot o úhrnu srážek v den odběru a několik dnů před ním jsem zjistila, že zaznamenané hodnoty vykazovaly zvýšený úhrn srážek (až 22,2 mm) **(24)**. Jelikož na KČOV Slavošovice přitéká i dešťová voda z místních komunikací, v důsledku srážek se voda naředí a zjištěné počty bakterií jsou proto v takových situacích nižší.

Enterokoky, též "fekální streptokoky" jsou považovány za ukazatele „čerstvého“ fekálního znečištění a zároveň za indikátor závažných hygienických závad. Jsou citlivější vůči některým vnějším vlivům, ve vodě se zřídka množí a proto dlouho nepřežívají. Jsou ale odolnější vůči chlóru než koliformní bakterie a přežívají i takové dávky chlóru, které koliformní bakterie bezpečně usmrcují. Někteří autoři proto zastávají názor, že enterokoky mohou nepřímo indikovat případné nebezpečí virových infekcí, neboť i viry jsou vůči chloru odolnější. Enterokoky proto mohou indikovat nedostatečnou desinfekci pitné vody. Při 10. odběru (16.1.2007) byl při hodnocení enterokoků zjištěn jejich nezvykle vysoký počet na nátoku a v rozdělovací nádrži. Je tedy možné, že se do odpadní vody dostalo SAVO, jehož účinkům podlehly termotolerantní koliformní bakterie, zatímco enterokoky, právě díky své větší odolnosti vůči chlóru, přežily. Ale dle slov RNDr. Zdeňka Kocmouda ze Zdravotního ústavu v Českých Budějovicích je to jen jedna z mnoha možných příčin zvýšeného počtu enterokoků při tomto odběru **(14, 26)**.

Počty termotolerantních koliformních bakterií byly stejné 1 m od nátoku na kořenové pole jako v odpadní vodě natékající na čistírnu, což je zřejmě způsobeno nedostatkem kyslíku ve vodě v nátokové zóně. V nátokové zóně totiž nejsou rostliny a proto aktivně nevedou kyslík do vody. Kyslík, který tam proniká difúzí přes vodní hladinu, je rychle spotřebováván mikroorganismy **(32)**.

Lapák písku, štěrbínová nádrž i rozdělovací nádrž jsou části KČOV, kde se kyslík nevyskytuje. Rákos obecný aktivně vede vzduch do oddenků a do kořenů. Tam potom kyslík uniká do okolního prostředí a tím prokysličuje vodu. Některé stěvní

bakterie jsou ale striktně anaerobní a kyslík nesnesou. Přes 99% bakterií tlustého střeva jsou striktně anaerobní druhy rodů *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Eubacterium*, *Fusobacterium* a *Peptostreptococcus* (9, 28). Obecně má na odstraňování bakterií z odpadní vody vliv exudace antimikrobiálních látek z kořenového systému rostlin. Tyto látky vylučované rostlinami, především rákosem obecným, bakterie indikující fekální znečištění rovněž zabíjí, což potvrzuje i (4).

Dále jsem se zamýšlela nad tím, proč jsou počty enterokoků v KČOV Slavošovice celkově nižší než počty termotolerantních koliformních bakterií a proč se termotolerantní koliformní bakterie odstraňují z odpadní vody hůře než enterokoky. Koliformní bakterie jsou skupinou bakterií, zahrnující rody *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* a *Klebsiella*. Ty se vyskytují ve fekáliích člověka a dalších teplotokrevných živočichů. Skupina koliformních bakterií však zahrnuje i druhy vyskytující se ve vodách bohatých na živiny, v půdě, rostlinném materiálu apod. Mají tendenci k přežívání v pitné vodě a k následné rekontaminaci při snížení obsahu chlóru. Enterokoky se ve vodě zřídka množí, proto dlouho nepřežívají. Rozdílnost v počtu sledovaných skupin bakterií a důvod horšího odstraňování termotolerantních koliformních bakterií bude zřejmě záviset na množení se bakterií ve vodě (enterokoky se množí jen ojedinele), na rychlosti odumírání bakterií díky přirozenému úhynu (enterokoky dlouho nepřežívají) a na usmrcování bakterií pomocí antimikrobiálních látek produkovaných rákosem. Nepřítomnost enterokoků ve vodě je dosti pravděpodobnou známkou i nepřítomnosti patogenních mikrobů (26).

Ještě jsem konzultovala s RNDr. Zdeňkem Kocmoudem (16) vliv teploty na přežívání bakterií. Obecně lze říci, že bakterie při nízkých teplotách přežívají déle díky zpomalenému metabolismu. Vždy ale záleží na spolupůsobení celé řady faktorů: množství organických látek, konkurence ostatních bakterií, hromadění produktů vlastní činnosti atd.

Myslím si, že na základě mých výsledků není nutné dělat časté odběry odpadní vody z KČOV Slavošovice a stanovovat počty termotolerantních koliformních bakterií a enterokoků, neboť se odstraňují dostatečně účinně a jejich počty nikdy nepřekročily normy. Ale vzhledem k potenciální rizikovosti bakterií v odpadní vodě doporučuji

pouze nahodilé odběry, následnou kultivaci a jejich hodnocení zejména během zimního období, kdy je účinnost jejich odstraňování snížena. Otázkou totiž zůstává, zda účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií a enterokoků bude tak vysoká i během zimy typické pro naše území jako tomu bylo během teplotně nadprůměrné zimy 2006/2007.

## 6. Závěr

1) Průměrná účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií ve šterbinové nádrži byla 24,1%, pro enterokoky 27,1%. Průměrná účinnost odstraňování bakterií v kořenovém poli byla 99,9% pro obě sledované skupiny bakterií. Průměrná účinnost odstraňování dvou sledovaných skupin bakterií pro celou KČOV byla rovněž 99,9%.

Celková účinnost odstraňování obou skupin bakterií se v průběhu sledovaného období téměř nelišila.

2) Počet termotolerantních koliformních bakterií v odpadní vodě přitékající na KČOV kolísal mezi 1067 a 15500 KTJ/ml a na odtoku mezi 0 a 29 KTJ/ml. Průměrný počet termotolerantních koliformních bakterií na nátoky byl 9842 KTJ/ml, na odtoku bylo zjištěno 6 KTJ/ml.

Počet enterokoků v odpadní vodě přitékající na KČOV kolísal mezi 489 a 9625 KTJ/ml a na odtoku mezi 0 a 19 KTJ/ml. Průměrný počet enterokoků na nátoky byl 1711 KTJ/ml, na odtoku byly zjištěny 2 KTJ/ml.

3) Průměrná účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií ve šterbinové nádrži v zimním období byla 33,0%, pro enterokoky 23,8%. Průměrná účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií ve šterbinové nádrži v letním období byla 15,2%, pro enterokoky 33,0%.

Průměrná účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií v kořenovém poli v zimním období byla 99,8%, pro enterokoky 100%, v letním období to bylo 100% pro obě sledované skupiny bakterií. Z toho vyplývá, že účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií a enterokoků v kořenovém poli se v zimním a letním období téměř nelišila.

Průměrná účinnost odstraňování termotolerantních koliformních bakterií pro celou KČOV v zimním období byla 99,9%, pro enterokoky 100%, v letním období to bylo 100% pro obě sledované skupiny bakterií. Z toho vyplývá, že celková účinnost

odstraňování termotolerantních koliformních bakterií a enterokoků se v zimním a letním období téměř nelišila.

4) Počty termotolerantních koliformních bakterií a enterokoků klesaly s rostoucí vzdáleností od nátoky odpadní vody na kořenové pole. Ve vzdálenosti 10 m od nátoky odpadní vody na kořenové pole nebyl zjištěn žádný výskyt sledovaných skupin bakterií. Počet enterokoků ve vzdálenosti 5 m od nátoky odpadní vody na kořenové pole již splňoval limity pro vypouštěné odpadní vody dle nařízení vlády č. 61/2003 Sb.

## 7. Seznam použité literatury

1. *Bezpečnost práce v mikrobiologické laboratoři*. Interní předpisy hygienických laboratoří Zdravotního ústavu v Českých Budějovicích.
2. BOLDIŠ, P. *Bibliografické citace dokumentů podle ČSN ISO 690 a ČSN ISO 690-2 (01 0197): Část 1 – Citace: metodika a obecná pravidla* [online]. Verze 3.3. Poslední aktualizace 11.11.2004 [cit. 2007-03-07]. Dostupné z <<http://www.boldis.cz/citace/citace1.pdf>>.
3. BOLDIŠ, P. *Bibliografické citace dokumentů podle ČSN ISO 690 a ČSN ISO 690-2: Část 2 – Modely a příklady citací u jednotlivých typů dokumentů* [online]. Verze 3.1. Poslední aktualizace 11.11.2004 [cit. 2007-03-07]. Dostupné z <<http://www.boldis.cz/citace/citace2.pdf>>.
4. *Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách* [online]. [cit. 2007-04-26]. Dostupné z <<http://www.rodovaosada.cz/index.php?ram=ramecek&referenc=refro&chapter=cisticka&slip=none>>.
5. ČSN EN ISO 7899-2 Jakost vod – Stanovení intestinálních enterokoků - Část 2: Metoda membránových filtrů. 2001.
6. FELBEROVÁ, L. Zimní provoz biologických nádrží. *Vodní hospodářství*, 2006, ročník 56, číslo 10, s.13-14.
7. HÄUSLER, J. *Mikrobiologické kultivační metody kontroly jakosti vod: Díl II. Mikrobiologický rozbor vod*. 1994. ISBN 80-7084-107-9.

8. HERLE, J. – BAREŠ, P. *Čištění odpadních vod z malých zdrojů znečištění*. První vydání. 1990. ISBN 80-03-00587-6.
9. HOLM, F. *Zdravé střevo* [online]. [cit. 2007-05-09]. Dostupné z <<http://flairflow4.vscht.cz/syntSME1.doc>>.
10. HRNČÍŘ, P. Jaký dojem zanechaly kořenové ČOV (KČOV) po 10 letech. In *Přírodní způsoby čištění a využití odpadních vod II*. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství krajiny. Kabinet životního prostředí, 2001. s. 16-21.
11. HRNČÍŘ, P. Zkušenosti se stavbou a provozem kořenových čistíren odpadních vod. In *Nové poznatky při řešení vegetačních kořenových čistíren*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství krajiny. Kabinet životního prostředí, 1998. s. 40-44.
12. KARIM, M.R. et al. *The persistence and removal of enteric pathogens in constructed wetlands* [online]. 2004, [cit. 2007-04-16]. Dostupné z <<http://portal.isiknowledge.com/portal.cgi?DestApp=WOS&Func=Frame>>.
13. KLABAN, V. *Ilustrovaný mikrobiologický slovník*. První české vydání. 2005. ISBN 80-7262-341-9.
14. KOČMOUD, Z. Osobní sdělení. Hygienické laboratoře Zdravotního ústavu v Českých Budějovicích, 16.4.2007.
15. KOČMOUD, Z. *Patogeny přenášené vodou*. Přednáška oboru Ochrana veřejného zdraví na Zdravotně sociální fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.

16. KOCMOUD, Z. *Vliv teploty na bakterie* [online]. 10.5.2007 [cit. 2007-05-10]. Osobní komunikace.
17. KOČKOVÁ, E. et al. *Obnova venkova: Vegetační kořenové čistírny odpadních vod*. 1994. ISBN 80-7084-104-4.
18. KOLÁŘ, J. Hygienické aspekty návrhu a provozu přírodních způsobů čištění odpadních vod. In *Přírodní způsoby čištění a využití odpadních vod II*. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství krajiny. Kabinet životního prostředí, 2001. s. 32-35.
19. KOLÁŘ, J. Výhody a nevýhody přírodních způsobů čištění odpadních vod. In *Přírodní způsoby čištění odpadních vod III*. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství krajiny. Kabinet životního prostředí, 2003. s. 11-14.
20. KOLEKTIV AUTORŮ. *Hygienický význam životních dějů ve vodách*. První vydání. 1979.
21. *Kořenová čistírna odpadních vod: Nejčastější otázky a odpovědi* [online]. Poslední aktualizace 11.6.2005 [cit. 2007-03-07]. Dostupné z <<http://hostetin.org/programy.php?id=voda&at=106>>.
22. KOUŘIL, M. *Kořenové čistírny: Alternativní způsob nakládání s odpadními vodami (informační brožura pro obce, soukromníky a zemědělce)*. 2006. ISBN: 80-86778-22-3.
23. KŘIVANCOVÁ, S. *Denní data* [online]. 26.4.2007 [cit. 2007-04-28]. Osobní komunikace.



24. KŘIVANCOVÁ, S. *Denní data-doplňk* [online]. 27.4.2007 [cit. 2007-04-28].  
Osobní komunikace.
25. *Laboratorní cvičení z mikrobiologie* [online]. [cit. 2007-03-17]. Dostupné z <<http://www.molbio.upol.cz/stranky/vyuka/MB/Cviceni-navody.pdf>>.
26. MICHEK, V. *Bakterie v pitných vodách* [online]. [cit. 2007-05-09]. Dostupné z <<http://www.vegetarian.cz/ostatni/voda/voda6.html>>.
27. MICHEK, V. *Mikrobiologické znečištění* [online]. 2000, [cit. 2007-04-05].  
Dostupné z <<http://www.fontanus.cz/?obsah=2e>>.
28. *Mikroflóra lidského organismu* [online]. [cit. 2007-05-09]. Dostupné z <[http://www.med.muni.cz/dokumenty/pdf/mikrobiologie\\_lidskeho\\_organismu.pdf](http://www.med.muni.cz/dokumenty/pdf/mikrobiologie_lidskeho_organismu.pdf)>.
29. *Ministerstvo vnitra – časopis Veřejná správa* [online]. [cit. 2007-04-26].  
Dostupné z <[http://www.mvcr.cz/casopisy/s/1998/98\\_47/just.htm](http://www.mvcr.cz/casopisy/s/1998/98_47/just.htm)>.
30. Nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.
31. NATIONAL GROUND WATER ASSOCIATION. *Bacteria/What Do You Want to Know?* [online]. 2007, [cit. 2007-05-06]. Dostupné z <<http://www.wellowner.org/awaterquality/coliform.shtml>>.
32. *Ochrana vod* [online]. [cit. 2007-05-09]. Dostupné z <<http://www.hgf.vsb.cz/hgf/stud/sylaby/546/ochrvod.doc>>.

33. OSEM, Y. et al. *The effects of plant roots on microbial community structure in aerated wastewater-treatment reactors* [online]. Feb. 1 2007, [cit. 2007-05-07]. Dostupné z <<http://portal.isiknowledge.com/portal.cgi?DestApp=WOS&Func=Frame>>.
34. PERKINS, J. – HUNTER, C. *Removal of enteric bacteria in a surface flow constructed wetland in Yorkshire, England* [online]. 2000, [cit. 2007-03-01]. Dostupné z <<http://portal.isiknowledge.com/portal.cgi?DestApp=WOS&Func=Frame>>.
35. PICEK, T. *Chemické parametry* [online]. 7.5.2007 [cit. 2007-05-07]. Osobní komunikace.
36. SKÁLA, P. Vegetační čistírny. *Voda a krajina*, 1993, VII. ročník, 3. zvláštní vydání, s. 33-34.
37. SLEYTR, K. et al. Investigation of the bacterial removal during the filtration process in constructed wetlands. In *International Symposium on Wetland Pollutant Dynamics and Control: book of abstracts*. Ghent, Belgium, September 4-8, 2005. s. 157-158.
38. *Stanovení enterokoků ve vodách*. Interní předpisy hygienických laboratoří Zdravotního ústavu v Českých Budějovicích.
39. *Stanovení termotolerantních koliformních bakterií ve vodách*. Interní předpisy hygienických laboratoří Zdravotního ústavu v Českých Budějovicích.
40. SVOBODA, J. *Kořenová čistírna* [online]. 31.7.2005, [cit. 2007-04-26]. Dostupné z <<http://www.garten.cz/a/cz/540-korenova-cistirna/>>.

41. ŠÁLEK, J. Poznatky z průzkumu vegetačních kořenových čistíren. In *Přírodní způsoby čištění a využití odpadních vod II*. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství krajiny. Kabinet životního prostředí, 2001. s. 67-72.
42. ŠEJDA, J. – ŠMERHOVSKÝ, Z. – GÖPFERTOVÁ, D. *Výkladový slovník epidemiologické terminologie*. První vydání. 2005. ISBN 80-247-1068-4.
43. *Terminologický slovník* [online]. 2006, [cit. 2007-03-07]. Dostupné z <<http://www.topolwater.com/cov-slovník.htm>>.
44. TNV 75 7835 Jakost vod – stanovení termotolerantních koliformních bakterií a *Escherichia coli*. 1999.
45. VELIKOVSKÝ, Z. et al. *Vybraná témata z hygieny životního prostředí*. První vydání. 2007. ISBN 978-80-7040-945-9.
46. *Voda a krajina: Přírodní způsoby čištění odpadních vod, Kořenová čistírna odpadních vod v Hostětíně* [online]. [cit. 2007-03-07]. Dostupné z <[http://www.veronica.cz/dokumenty/voda\\_a\\_krajina.pdf](http://www.veronica.cz/dokumenty/voda_a_krajina.pdf)>.
47. VOTAVA, M. *Kultivační půdy v lékařské mikrobiologii*. 1999. ISBN 80-238-5058-X.
48. VOTAVA, M. et al. *Lékařská mikrobiologie speciální*. 2003. ISBN 80-902896-6-5.
49. VYMAZAL, J. *Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách*. 1995.
50. VYMAZAL, J. *Kořenové čistírny odpadních vod*. 2004.

51. VYMAZAL, J. Kořenové čistírny odpadních vod: současný stav v České republice. In *Kořenové čistírny - výstavba a financování : sborník příspěvků celorepublikového semináře*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 2003. s. 7-10.
52. VYMAZAL, J. Removal of Enteric Bacteria in Constructed Treatment Wetlands with Emergent Macrophytes: A Review. *Journal of Environmental Science and Health*, 2005, 40: 1355-1367.
53. VYMAZAL, J. Types of constructed wetlands. In *1<sup>st</sup> International seminar on the use of aquatic macrophytes for wastewater treatment in constructed wetlands*. Lisboa, Portugal: ICN - Instituto da Conservação da Natureza, 2003. Technical Articles. s. 35-79.
54. *Využití umělých mokřadů - kořenové čistírny odpadních vod* [online]. [cit. 2007-03-07]. Dostupné z <[http://www.enki.cz/ENKI\\_cesky/mokrady/mokr.htm](http://www.enki.cz/ENKI_cesky/mokrady/mokr.htm)>.
55. ŽÁKOVÁ, Z. – ŽÁK, P. Některé zkušenosti z provozu malých přírodních čistíren odpadních vod. In *Přírodní způsoby čištění vod IV*. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství krajiny. Kabinet životního prostředí, 2005. s. 103-105.

## **8. Klíčová slova**

Kořenová čistírna odpadních vod

Termotolerantní koliformní bakterie

Enterokoky

Kultivace bakterií fekálního znečištění

Odpadní voda

## **9. Přílohy**

Příloha 1: Protokol

Příloha 2: Zásady bezpečnosti práce v laboratoři

Příloha 3: Poster KČOV Slavošovice

Příloha 4: Fotografie KČOV Slavošovice

Příloha 5: Práce v laboratoři

Příloha 6: Fotografie termotolerantních koliformních bakterií a enterokoků

## Příloha 1: Protokol

<b>odběr č.</b>								
datum:								
poznámky:								
<b>TERMOTOLERANTNÍ KOLIFORMNÍ BAKTERIE (m-FC):</b>								
<b>nátok</b>	<i>neřaděné</i>						Ø	
	<i>řadění: 1.</i>						Ø	
	2.						Ø	
	3.						Ø	
<b>rozdělovák</b>	<i>neřaděné</i>						Ø	
	<i>řadění: 1.</i>						Ø	
	2.						Ø	
	3.						Ø	
<b>odtok</b>	<i>neřaděné</i>						Ø	
	<i>řadění: 1.</i>						Ø	
poznámky:								
autokládováno:								
<b>ENTEROKOKY (Slanetz-Bartley):</b>								
<b>nátok</b>	<i>neřaděné</i>						Ø	
	<i>řadění: 1.</i>						Ø	
	2.						Ø	
	3.						Ø	
<b>rozdělovák</b>	<i>neřaděné</i>						Ø	
	<i>řadění: 1.</i>						Ø	
	2.						Ø	
	3.						Ø	
<b>odtok</b>	<i>neřaděné</i>						Ø	
	<i>řadění: 1.</i>						Ø	
poznámky:								
autokládováno:								

## Příloha 2: Zásady bezpečnosti práce v laboratoři

### **Zásady bezpečnosti práce**

Aby se zabránilo kontaminaci vzorků, kultivačních médií a nákaze pracovníků jsou nutná následující opatření:

- Dodržovat osobní hygienická opatření.
- Před prací i po ukončení práce provést dekontaminaci (Dekontaminace je proces ničení a odstraňování mikroorganismů z prostředí nebo z předmětů. Zahrnuje postupy jako je mechanická očista, desinfekce a sterilizace), desinfekci rukou a plochy (Incidur).
- V laboratoři vždy nosit ochranný plášť.
- V laboratoři je zakázáno jíst a pít.
- Nedotýkat se zbytečně rukama obličeje, nenanášet v laboratoři kosmetiku a nemanipulovat s kontaktními čočkami.
- Označit všechny zkumavky a Petriho misky názvem média a kultury a svým jménem. Misky je nutno popisovat na dno a k označení používat popisovací fixy.
- Všechny pracovní postupy, zvláště použité bakteriální kultury, množství pipetovaných roztoků a postupy při ředění je třeba si pečlivě zaznamenávat.
- Jakoukoliv pomnoženou kulturu je nutno považovat za infekční.
- Jakoukoliv pomnoženou kulturu s předpokládaným obecně vysokým stupněm kontaminace (odpadní vody, kaly, zkažené potraviny) je zakázáno pipetovat ústy. Proto je bezpodmínečně povinné použití pipetovačů.
- Manipulaci s patogenními kulturami a vysoce podezřelými vzorky je nutné provádět v laminárním boxu.
- Zpracování vzorků a práce s kulturami mikroorganismů, u nichž hrozí reálné nebezpečí infekce inhalací aerosolu – pokud není technicky možné je provádět v laminárním boxu – je nutné provádět s ochrannou rouškou.



- Veškeré manipulace s kulturami vysoce infekčních mikroorganismů je nutné provádět s ochrannými gumovými rukavicemi na jedno použití.
- Použité sklo a zbytky bakteriálních kultur odkládejte na určená místa a v žádném případě nevylévejte kultury do odpadu. Veškerý kontaminovaný materiál je před likvidací a mytím nutno desinfikovat nebo sterilizovat, případně vyhodit do koše určeného na nebezpečný odpad.
- Provádět běžný úklid a desinfekci ploch.
- Při potřísnění ploch infekčním materiálem je nutné provést sanaci nejlépe tak, že se potřísněná plocha překryje buničitou vatou a přelije desinfekčním roztokem (např. Savo). Po nutné době působení se plocha běžným způsobem očistí.
- Při potřísnění pokožky infekčním materiálem desinfikovat doporučeným přípravkem ve spreji (Cutasept). Nekombinovat s mýdlem, jinak by se mohla snížit účinnost desinfekčních prostředků. Při častém používání desinfekčních prostředků na ruce je nutné jejich pokožku pravidelně ošetřovat vhodným regeneračním krémem (k zabránění přesušení kůže a vzniku drobných trhlinek, které mohou být bránou infekce).
- Případné poranění hlásit kompetentní osobě.
- Při vniknutí infekčního materiálu do oka je nutno oko ihned vypláchnout proudem vody a potom desinfekčními očními kapkami (Ophtalmo-Septonex) (**1, 25, 42**).



Příloha 4: Fotografie KČOV Slavošovice



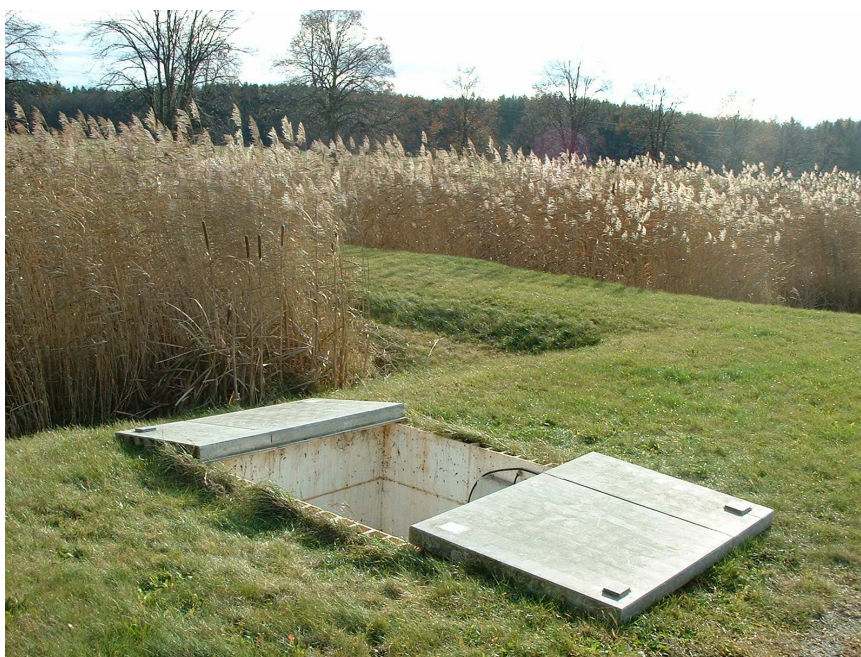
Fotografie 1: Kořenová čistírna odpadních vod Slavošovice (14.11.2006)



Fotografie 2: Česle a lapák písku (14.11.2006)



Fotografie 3: Místo odběru (nátok) (14.11.2006)



Fotografie 4: Rozdělovací nádrž (14.11.2006)



Fotografie 5: Místo odběru (rozdělovací nádrž) (14.11.2006)



Fotografie 6: Kořenové pole s novodurovými trubkami (14.11.2006)

Příloha 5: Práce v laboratoři

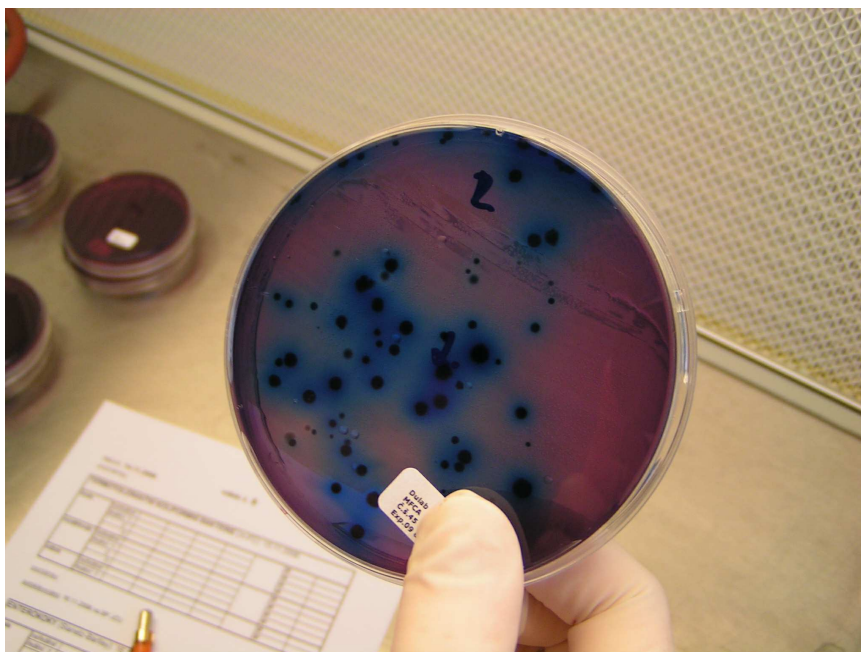


Fotografie 7: Očkování pipetou na mFC agar (14.11.2006)

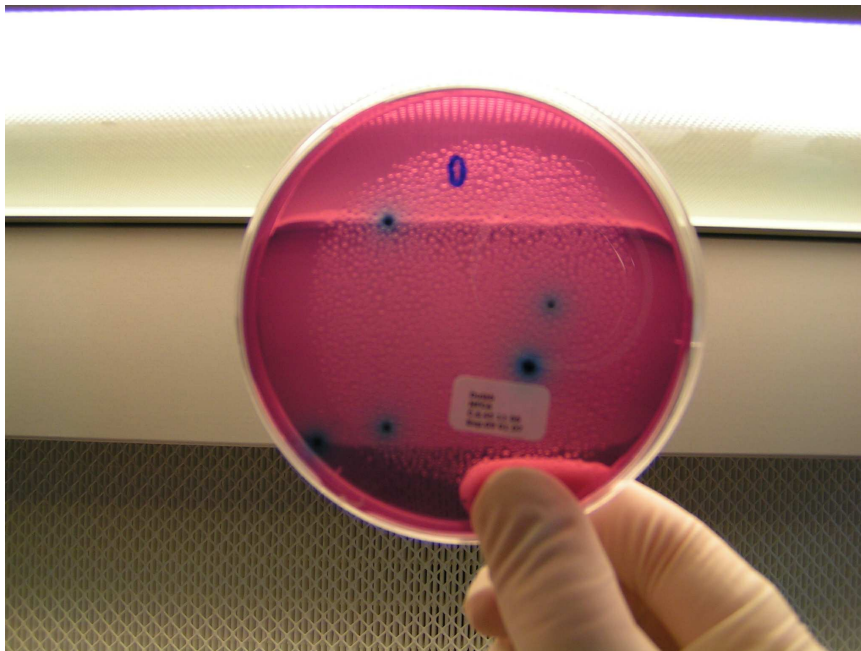
Příloha 6: Fotografie termotolerantních koliformních bakterií a enterokoků



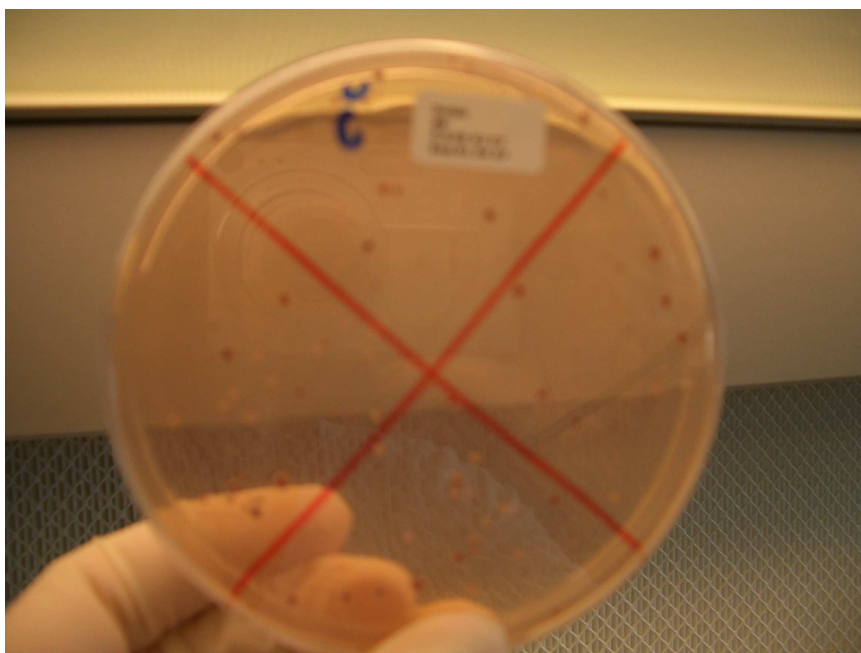
Fotografie 8: Termotolerantní koliformní bakterie v rozdělovací nádrži (neředěný vzorek) (15.11.2006)



Fotografie 9: Termotolerantní koliformní bakterie v rozdělovací nádrži (2.ředění) (15.11.2006)



Fotografie 10: Termotolerantní koliformní bakterie na odtoku (neředěný vzorek) (15.11.2006)



Fotografie 11: Enterokoky na nátoku (neředěný vzorek) (7.3.2007)