



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ  
INSTITUTE OF WATER MANAGEMENT OF MUNICIPALITIES

## ZÍSKÁNÍ A OPĚTOVNÉ VYUŽITÍ CELULÓZY Z ODPADNÍ VODY

HARVESTING AND REUSE OF CELLULOSE FROM WASTEWATER

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Kamila Kobzová

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA

BRNO 2019

# Zadání - VLOŽIT

## **Abstrakt**

Úkolem této diplomové práce je poukázat na vlastnosti celulózových vláken získaných z odpadní vody a na důležitost recyklace surovin. Hlavním cílem je pak více přiblížit možnosti využití vláken celulózy jako cenného produktu na trhu. Praktická část práce je zaměřena na konkrétní výzkum získávání a vlastností celulózy a na návržení zařízení na čišťírnu odpadních vod dle její velikosti.

## **Klíčová slova**

celulóza, odpadní voda, ČOV, recyklace, oběhová ekonomika

## **Abstract**

The goal of this diploma thesis is to highlight the properties of cellulose fibers obtained from waste water and the importance of recycling of raw materials. The main objective is then to further explore the possibilities of using cellulose fibers as a valuable product on the market. The practical part of the thesis is focused on specific research of cellulose properties and design of equipment for sewage treatment plant according to its size.

## **Keywords**

cellulose, wastewater, WWTP, recycling, Circular Economy

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Bc. Kamila Kobzová *Získání a opětovné využití celulózy z odpadní vody*. Brno, 2019. 92 s., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9.1.2019

.....

podpis autora

Bc. Kamila Kobzová

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce panu prof. Ing. Petru Hlavínkovi, CSc., MBA za odbornou pomoc, věnovaný čas a za cenné rady při zpracovávání mé diplomové práce.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>ODPADNÍ VODY .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Druhy odpadních vod.....</b>	<b>15</b>
2.1.1	Splaškové vody .....	15
2.1.2	Průmyslové odpadní vody .....	16
2.1.3	Zemědělské odpadní vody .....	16
2.1.4	Dešťové vody .....	16
<b>2.2</b>	<b>Látky v odpadních vodách .....</b>	<b>17</b>
2.2.1	Fyzikální vlastnosti .....	18
2.2.2	Chemické vlastnosti .....	19
2.2.3	Radiologické vlastnosti .....	19
2.2.4	Mikrobiologické vlastnosti .....	19
2.2.5	Biologické vlastnosti.....	19
<b>3</b>	<b>ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD V ČR.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>Historie čištění v ČR.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2</b>	<b>Vývoj čištění odpadních vod .....</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>VYUŽITÍ ODPADNÍCH VOD .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1</b>	<b>Využití šedých a bílých vod .....</b>	<b>30</b>
<b>4.2</b>	<b>Využití dešťových vod .....</b>	<b>32</b>
4.2.1	Úprava a použití dešťové vody .....	33
<b>5</b>	<b>LÁTKY V ODPADNÍCH VODÁCH .....</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>CELULÓZA .....</b>	<b>43</b>
6.1.1	Výroba celulózy.....	43
6.1.2	Získávání celulózy z odpadních vod.....	44
<b>7</b>	<b>ZKUŠENOSTI HUBER SE ZÍSKÁVÁNÍM CELULÓZY.....</b>	<b>49</b>
<b>7.1</b>	<b>Dosavadní měření s mobilní technologií huber drum screen liquid .....</b>	<b>56</b>
7.1.1	Měření č. 1 Norsko .....	56
7.1.2	Měření č. 2 Německo .....	62
<b>7.2</b>	<b>Enzymatická hydrolýza celulózy, kanada.....</b>	<b>64</b>
7.2.1	Metody.....	67
7.2.2	Sběr a příprava materiálu výchozího materiálu .....	67
7.2.3	Lignocelulózová předběžná úprava .....	67
7.2.4	KOH předběžné zpracování suroviny .....	68
7.2.5	HCl předběžná úprava suroviny.....	68
7.2.6	Enzymatická hydrolýza.....	68
7.2.7	Fourierova transformační infračervená spektroskopie (FTIR).....	69

<b>7.3</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>69</b>
7.3.1	Snížení výtěžku cukru z nepředpracovaných surovin.....	69
7.3.2	Snížování výtěžku cukru z předem upravených surovin KOH.....	69
7.3.3	Závěr.....	70
<b>7.4</b>	<b>Termofilní výroba H<sub>2</sub> z odpadní vody obsahující celulózu.....</b>	<b>71</b>
7.4.1	Materiály a metody.....	71
7.4.2	Phylogenetická analýza.....	73
<b>8</b>	<b>STANOVENÍ TOC CELULÓZY NA CENTRU ADMAS .....</b>	<b>75</b>
<b>8.1</b>	<b>Modul SSM-5000A.....</b>	<b>75</b>
<b>8.2</b>	<b>Postup.....</b>	<b>75</b>
8.2.1	Příprava vzorku.....	75
8.2.2	Výsledek .....	79
<b>9</b>	<b>VYUŽITÍ CELULÓZY NA ČOV .....</b>	<b>80</b>
<b>9.1</b>	<b>Množství.....</b>	<b>80</b>
<b>9.2</b>	<b>Zpracování.....</b>	<b>80</b>
<b>10</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>83</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>88</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>90</b>
	<b>SUMMARY.....</b>	<b>92</b>



# 1 ÚVOD

Na čistírnu odpadních vod se celulóza dostává hlavně se splaškovými vodami ve formě toaletního papíru. Ten se ve vodě rozmočí na vlákna celulózy asi 0,25 mm tenká. Ty obvykle procházejí čistící linkou a odstraňují se z vody až s přebytkem kalem, což způsobuje větší aerační zatížení aktivačních nádrží, větší množství konečného vysušeného kalu a celkově větší spotřebu energie. Aby se tomuto předcházelo, vyvinuly se nové technologie, které celulózová vlákna odseparují už v mechanickém stupni čistírny, a je tak možné je znovu využívat a dále zpracovávat. Technologie zabývající se znovuvyužitím odpadního materiálu jsou hlavním prvkem tzv. oběhové ekonomiky (z angl. The Circular Economy).

V současné době je stále jasnější, že lineární ekonomika již není udržitelným modelem v mezích naší planety. Nevýhody lineární ekonomiky poukazují na naléhavost alternativního modelu, který lze interpretovat jako příležitost pro oběhovou ekonomiku. Hlavní nevýhody lineární ekonomiky nalézáme v nedostatku řešení pro rostoucí nedostatek materiálů, zvýšené znečištění, zvýšený požadavek na materiál a rostoucí poptávku po odpovědných produktech. V dnešní době lineární ekonomiky velmi rychle roste nejistota ohledně dostupnosti materiálu. Tato nejistota je založena na skutečnosti, že planeta má konečné množství materiálů a jejich dostupnost závisí na několika mechanismech. Je to způsobeno i nárůstem cenových výkyvů, růstem průmyslových odvětví, která jsou závislá na kritických materiálech, propojením produktů a procesů a geopolitickým vývojem. [1]

Kolísání cen komodit od roku 2006 vzrostlo a výrazně tak zvýšilo průměrné ceny. To nejenže způsobuje problémy výrobcům a kupujícím surovin, ale také způsobuje rostoucí rizika na trhu, což činí investice do materiálové zásoby méně atraktivní. Existuje řada průmyslových odvětví, která velmi značně využívají kritických materiálů, jedná se o kovový průmysl, počítačový a elektronický průmysl, elektrotechnický průmysl, automobilový průmysl a dopravu. Závislost na kritických materiálech zajišťuje, že společnosti jsou závislé na výkyvech v cenách materiálu, nejsou schopny tyto ceny předpovídat a jsou tak méně konkurenceschopné než konkurenti, kteří jsou na těchto materiálech méně závislí. [1]

Vzhledem k nárůstu obchodních aktivit se vzájemná propojenost výrobků stává stále silnější. Například: země s nedostatkem vody a s přebytkem ropy. Kromě toho výroba mnoha výrobků závisí na vodě a pohonných hmotách. Vzhledem k této vzájemné závislosti by nedostatek jedné suroviny mohl mít značný dopad na ceny a dostupnost většího množství zboží. Bereme-li ohled na růst počtu obyvatel a na zvýšení prosperity, tak se počet spotřebitelů, s vyšším stupněm spotřeby materiálu, v roce 2030 zvýší o tři miliardy. S ohledem do minulosti se spotřeba zdrojů v období 1980-2020 zdvojnásobila, trend ukazuje, že při současných modelech ekonomiky se v období až do roku 2050 ztrojnásobí. Je tedy jasné, že relativní oddělení růstu a materiálového využití pouze sníží tempo zdroje vyčerpání a bude způsoben prudký nárůst nákladů na materiál. Pokračování v modelu lineární

ekonomiky také způsobí negativní vedlejší účinky, jako je poškození ekosystémů, snížení životnosti výrobku a ztráta poptávky po odpovědných produktech. [1]

Během výrobních procesů a likvidace produktů se vytváří velké množství zbytkových produktů, které se nepoužívají, spálí nebo zůstávají na skládce odpadu. To nakonec povede k přebytku nepoužitelných hmot, které přetíží ekosystémy. To způsobí, že ekosystém nebude moci poskytovat základní ekosystémové služby, jako je poskytnutí potravin, stavebních materiálů, přístřeší a zpracování živin. [1]

V posledních letech se životnost výrobků drasticky snížila. To je jeden z hlavních důvodů, které stojí za rostoucí spotřebou materiálu v západním světě. Životnost výrobků stále klesá. Spotřebitelé chtějí rychleji nové výrobky a používají své současné produkty stále kratší dobu. Výsledkem je snížená potřeba kvalitních výrobků, které mohou být dlouhodobě používány, což spotřebitele stimuluje k nákupu nových produktů ještě rychleji. [1]

To vše vede k tomu, že se model ekonomiky pomalu změní z lineární na oběhovou. Oběhová ekonomika neboli oběhové hospodářství je ekonomický systém, kde je se službami a produkty obchodováno v uzavřených smyčkách neboli cyklech a má tendenci zachovat co největší hodnotu výrobků, dílů, materiálů a produktů. To znamená, že cílem by mělo být vytvoření systému, který umožní dlouhou životnost, optimální opětovné použití, renovace, opětovné výroby a recyklaci výrobků a materiálů. [1]

Důležitou zásadou oběhového hospodářství je oddělení hospodářského růstu od spotřeby zdrojů. Výpočty společností McKinsey & Co. naznačují, že vzrůstá HDP, a tudíž i ekonomický růst. Jedná se o očekávaný výsledek kombinace zvýšených příjmů z nových okružních činností a levnější produkce materiálů. Účinek tohoto rozdílu vstupů a výstupů vede k vyššímu ohodnocení práce, čímž se zvyšují příjmy a výdaje na domácnost. Výsledkem je vyšší HDP. Teoreticky má oběhová ekonomika potenciál vést k úsporám materiálu o více než 70% ve srovnání se získáváním surovin v běžných modelech. Vzhledem k růstu světové populace, zejména střední třídy, se celková poptávka po materiálech bude stále zvyšovat, avšak s pomalejším tempem než bez okružní ekonomiky. To vede k nižší celkové potřebě materiálu s nutností snížit spotřebu a zabránit skládkování. Tato úspora materiálu může mít za následek roční úspory ve výši 630 miliard dolarů pro odvětví spotřebního zboží s průměrnou dobou životnosti a úsporu materiálu o 20% v odvětvích s krátkou životností, což odpovídá úsporám nad 700 miliard dolarů. [1]

Studie Nadace Ellen MacArthurové, SUN a McKinsey o dopadech přechodu na oběhovou ekonomiku na zaměstnanost předpokládá, že když se dostaneme do oběhového hospodářství, tak zaměstnanost bude růst. Navíc, oběhová ekonomika požaduje inovativní řešení založené na novém způsobu myšlení. Zaměřuje se spíše na kruhové než na lineární hodnotové řetězce a snaží se optimalizovat celý systém, v němž, vede k novým poznatkům a interdisciplinární spolupráci mezi projektanty, výrobci a recyklačními společnostmi a udržitelnými inovacemi. [1]

Dalším cílem oběhového hospodářství je pozitivní vliv na ekosystém a boj proti přetížení a zneužívání životního prostředí. Oběhová ekonomika může mít za následek snížení emisí a využití primárních surovin, optimalizaci zemědělské produktivity a snížení negativních externalit. Navíc, při dodržení zásad oběhové ekonomiky se sníží emise skleníkových plynů. Modely pro opětovné použití produkují méně znečišťujících materiálů a výrobních procesů, které vyžadují odpovídající služby a funkčnost. Model využívá obnovitelnou energii namísto fosilních paliv a zbytky (včetně vody, plynu a pevných látek) jsou považovány za cenné a jsou absorbovány co nejvíce, aby se mohly znovu použít. Tím vším se v Evropě do roku 2050 může snížit emise oxidu uhličitého dokonce o 83%. [1]

Aplikace principů oběhové ekonomiky na zemědělský systém vede k tomu, že již nebude využívat půdu a ekosystémy, ale zajistí, aby se do půdy vracely důležité živiny. Odpad je vyloučen bez ztráty produktivity půdy. Výsledkem je, že hodnota pozemku roste a systém je vyváženější a odolnější. Tím se může snížit používání umělých hnojiv až o 80%. [1]

Výhody oběhové ekonomiky mohou být přeneseny do různých výhod a příležitostí pro podnikatele. Nadace Ellen MacArthur ji shrnuje ve čtyřech příležitostech: nové příležitosti k zisku, větší zabezpečení dodávek a odolnosti, poptávka po servisních modelech a nové, vylepšené, vztahy se zákazníky. Posunutím do oběhového hospodářství budou společnosti snižovat své materiální náklady a vyvíjet tak zcela nové trhy. Ziskové příležitosti této ekonomiky jsou způsobeny především:

- více příležitostmi pro růst a produktivitu;
- zajištěním kontinuity nabídky;
- vytvořením nových trhů;
- přidáním hodnoty pro spotřebitele;
- optimalizací spotřeby energie a snížení obsahu odpadu. [1]

Kromě toho bude společnost s oběhovou ekonomikou v budoucnosti více důvěryhodná díky nižším nákladům, zvýšenému zabezpečení dodávek, větší spolupráci s řetězcí a robustnímu dodavatelskému řetězci. Kromě toho je posílena organizace, protože poskytuje konkrétní příklady toho, jak integrovat udržitelnost. Oběhová ekonomika zajišťuje, že společnost používá méně surovin a více recyklovaných materiálů a hodnota těchto surovin je maximalizována po celou dobu životnosti produktů. [1]

Pokud jsou celkové výhody oběhové ekonomiky převedeny do konkrétních scénářů pro Evropu, jsou tu k dispozici některé zajímavé údaje. V Evropě se vyprodukuje hodně odpadu a materiály, které se produkují, mají poměrně nízkou hodnotu. Skutečné řešení může být nalezeno v integraci technologické inovace do evropských průmyslových odvětví, a to tak, aby maximalizovala hodnotu, kterou lze vytvářet na jeden zdroj, uplatňováním principů oběhové ekonomiky. Aby se zvýšila cirkulační síla EU, je nezbytné pokračovat v obnovitelné energii, uplatňovat ekologický design a potlačit růst materiálových zásob ve společnosti

(například staré mobilní telefony zůstávají po mnoho let v zásuvce, nikoli převzaty zpět za opětovné použití). [1]

Získáním větší hodnoty z méně materiálu a přesto mít schopnost poskytnout přiměřené služby všem, může od roku 2030 ušetřit více než 1,8 biliónů eur. Jedná se o úsporu 32% na primárních materiálech (0,6 miliardy), nižší náklady na negativní vedlejší účinky (0,5 miliardy) a další úspory nákladů (0,7 miliardy). Model Nadace Ellen MacArthurové dokonce předpovídal, že až do roku 2050 se zisky budou zvyšovat. Tato úspora nákladů a nové obchodní modely zajišťují, že se HDP zvyšuje, ve srovnání s nárůstem vypočítaným za obvyklého stavu, s 11% v roce 2030 a přes 27% v roce 2050. Závěrem tedy je, že oběhová ekonomika má pozitivní vliv na zaměstnanost v Evropě. Důvodem je především očekávaný nárůst spotřeby, protože se očekává pokles cen. Zaměstnanost je navíc často spojována s konkurencí a inovacemi na trhu, což se také očekává. Další výhodou předpokladu, který uplatňuje zásady oběhové ekonomiky ve stavebnictví, potravinářství a mobilitě, budou emise CO<sub>2</sub> v roce 2030 sníženy o 48% a dokonce o 83% do roku 2050, ve srovnání s emisemi CO<sub>2</sub> v těchto letech kdy je zachován současný model. [1]

Tento předpoklad byl založen na ideálních scénářích pro oběhovou ekonomiku, jako jsou:

- minimalizace používání fosilních paliv;
- optimální scénáře pro přepravu;
- postupné úplné odstranění používání hnojiv, to pomalu obnovuje cyklus živin - pokles používání kovu a betonu pro výstavbu a dopravu, používání fosilních paliv, chemických hnojiv a pesticidů. [1]

Hlavním cílem je tedy oddělit hospodářský růst od spotřeby zdrojů tím, že se zaměřuje na udržení hodnoty, abychom zajistili ekosystémy a přírodní kapitál, který má větší hodnotu než finanční kapitál. Sociální a přírodní kapitál hrají také roli v stabilitě našich systémů. V oběhové ekonomice se tyto hodnoty odrážejí v ceně produktů a služeb. Energie potřebná pro pohon tohoto cyklu by proto měla být také obnovitelná. [1]

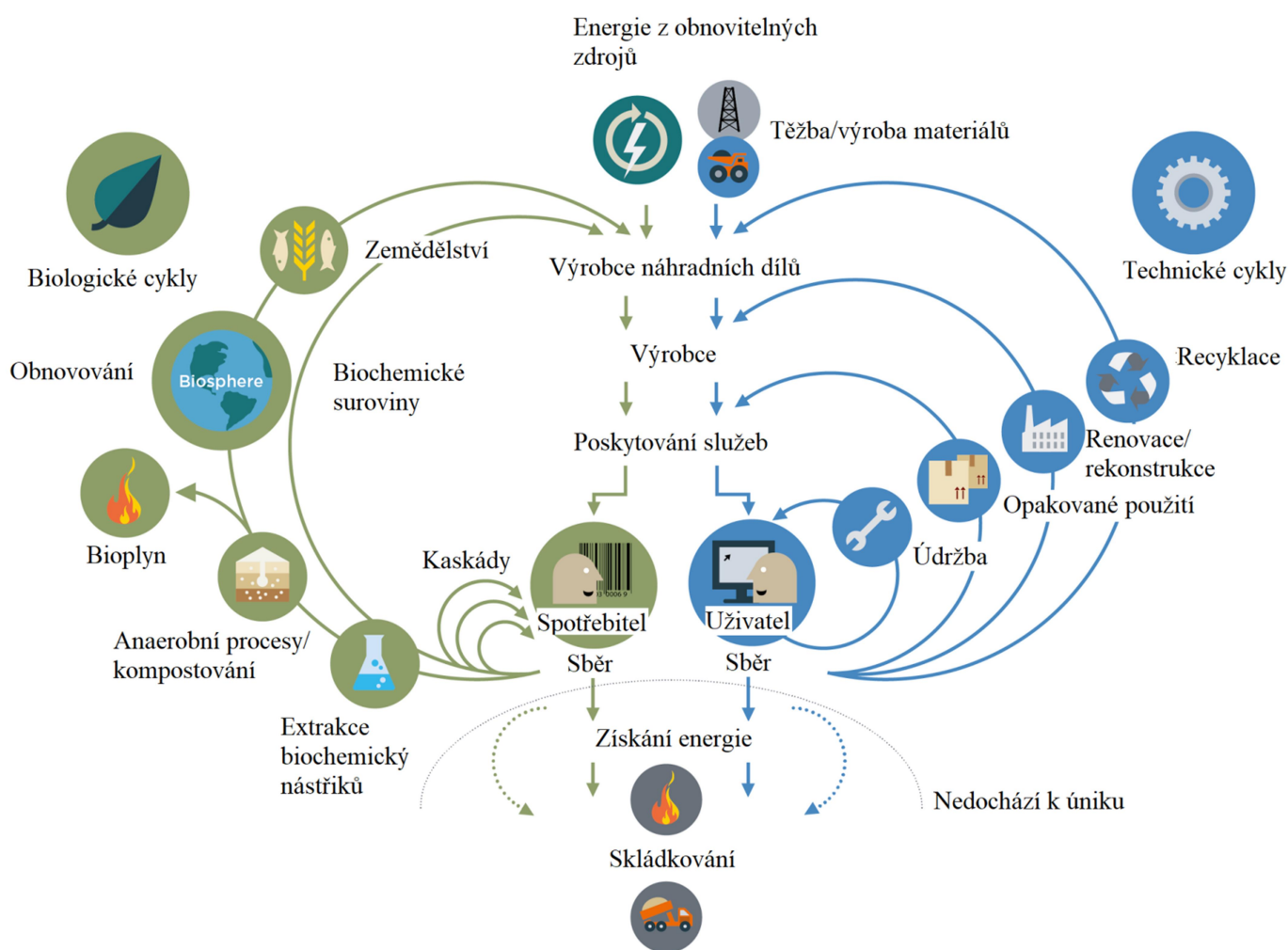
Ačkoli množství publikací o oběhové ekonomice roste, neexistuje dosud žádná reálná definice. Porovnáním definic použitých v literatuře, Kirchherr, Reike & Hekkert se zjistilo, že většina učenců popisuje oběhovou ekonomiku tím, že odkazuje na 3R:

- Reducing materials - snížení potřeb materiálu a odpadu;
- Reusing products - opětovné použití produktů v rámci produktů;
- Recycling materials – recyklace materiálů. [1]

Vzhledem k tomu, že zatím nebyla stanovena přesná definice, neexistuje zatím žádná oficiální norma k měření a určení cirkulace ekonomiky. To souvisí se skutečností, že v různých odvětvích jsou důležité různé ukazatele.[1]

Oběhová ekonomika se uzavírá v cyklech. Ty jsou koncipovány podle příkladu přírodních ekosystémů, proto se vzniklý odpad používá jako cenný zdroj a odstraňují se z něj toxické látky. Je snaha výrobky opětovně použít, a to ne jen jednou. Zbytkové produkty jsou pak odděleny v biologickém a technickém cyklu. Všichni aktéři (podniky, lidé, organismy) jsou součástí sítě, ve které akce jednoho činitele ovlivňují další subjekty. V rámci oběhové ekonomiky je toto zohledněno v rozhodovacích procesech zahrnující jak krátkodobé, tak dlouhodobé důsledky rozhodnutí s ohledem na dopad celého hodnotového řetězce a snahu o vytvoření pružnějšího systému, který je efektivní v každém měřítku. [1]

Oběhová ekonomika tedy probíhá ve více cyklech. Tzv. Bio-cyklus a techno-cyklus, tady organické materiály mají jiný postup opakovaného použití než syntetické nebo technické materiály. Z tohoto důvodu je důležité zajistit oddělení biologických a technických materiálů po použití, aby každý mohl následovat samostatný proces opětovného použití (viz obrázek 1.1). Technické materiály, jako jsou fosilní paliva, plasty a kovy, jsou konečné a nelze je obnovit. V technologickém cyklu je důležité, aby byla konečná zásoba materiálů řádně spravována. "Používání" nahrazuje "spotřebu". [1]



Obrázek 1.1 Schéma konstrukčně obnovitelného systému [1]

Organické materiály, jako je bavlna, potraviny a voda, mohou být v ekosystému převzaty pomocí biologických procesů. V biocyklu je důležité zajistit, aby ekosystémové a biologické procesy byly schopny řádně fungovat. Znovupoužití se může v tomto cyklu (potraviny, voda, hnojivo) uskutečnit, pokud toky materiálů nejsou kontaminovány toxickými látkami a ekosystémy nejsou přetíženy. Když je ekosystém vyvážen, organické materiály je pak možnost obnovit. [1]

V rámci techno-cyklu existují různé úrovně opětovného použití (viz obrázek 1.1). Zde platí pravidlo, že nejmenší nebo nejvíce vnitřní kruh je přednost před větším cyklem, protože menší cykly vyžadují méně kroků zpracování, práce, energie a nového materiálu, což znamená, že je zachována větší hodnota výrobku. [1]

Obnovení produktů během používání prodlužuje životnost výrobků, proto cykly zahrnují tyto kroky :

- Opětovné použití a redistribuce - přímé opětovné použití prostřednictvím použití nebo prodeje produktu;
- Renovace a oprava - důkladná renovace a oprava výrobku výrobcem;
- Recyklace - části nebo materiály jsou získány z výrobku, a jsou znovu použity;
- Kaskády - v rámci biocyklu probíhá recyklace v kaskádách. Tzv. kaskádování znamená použití produktu, nebo jeho části, pro jinou aplikaci. Když produkt již není schopen splnit počáteční funkci, dostane novou funkci, ve které může být znovu použit. Kaskádování se liší od přímého opětovného použití a recyklace změnou funkčnosti a rozsahu zpracování. [1]

Pro Bio-cykly i Techno-cykly platí, že nekontaminované zbytkové produkty jsou shromažďovány a jsou znovu použity. Pokud se zajistí, že materiály budou po použití snadno oddělitelné, a že odpadní produkty budou shromažďovány tak, aby se zabránilo kontaminaci čistých produktů, maximalizuje se využitelnost odpadních produktů. [1]

## 2 ODPADNÍ VODY

Za vodu odpadní je považována veškerá voda, která projde jakýmkoli výrobním procesem a tímto použitím se změní její jakost nebo teplota, případně i jiné vody, odtékající ze sídlišť, obcí, dolů, závodů a dalších objektů, které jsou vypouštěny do vod povrchových (recipientů) a mohou ohrozit jakost těchto vod. [2]

Odpadní vody nezamořují jen povrchové toky, do kterých se převážně vypouští, ale v současné době znečišťují také moře. Proto je nutné, v zájmu zachování životních podmínek a života vůbec, aby se tato problematika řešila v celosvětovém měřítku. [2]

### 2.1 DRUHY ODPADNÍCH VOD

#### 2.1.1 Splaškové vody

Znečištění splašků je závislé na způsobu života obyvatel, životní úrovni a technické vybavenosti domácnosti i obce. V odpadních splaškových vodách jsou látky rozpuštěné i nerozpuštěné. Nerozpuštěné látky jsou jednak sunuté po dně stok, unášené a plovoucí. [2]

Kvalita odpadních vod je poměrně stálá. Nerozpuštěných látek je asi 90 g/osoba/den a tuků 20 mg.l<sup>-1</sup>. Z organických látek se nejčastěji věnuje pozornost skupinám organických látek, které významným způsobem ovlivňují jakost a chování vody. Jsou to zejména ropa a ropné látky, fenoly a tenzidy. [2]

Tabulka 2.1 Orientační složení splaškových odpadních vod [10]

Ukazatel	rozmezí hodnot	jednotky
Hodnota pH	6,5 - 8,5	[-]
Nerozpuštěné látky	200 - 700	mg.l <sup>-1</sup>
- z toho usaditelné	73	%
- z toho neusaditelné	27	%
Rozpuštěné látky	600 - 800	mg.l <sup>-1</sup>
BSK <sub>5</sub> s potlačením nitrifikace	100 - 400	mg.l <sup>-1</sup>
CHSK - Cr	250 - 800	mg.l <sup>-1</sup>
TOC (DOC)	asi 250	mg.l <sup>-1</sup>
N <sub>celk</sub>	30 - 70	mg.l <sup>-1</sup>
N-NH <sub>4</sub>	20 - 45	mg.l <sup>-1</sup>
P <sub>celk</sub>	5 - 15	mg.l <sup>-1</sup>
Poměr BSK <sub>5</sub> :CHSK <sub>Cr</sub>	0,5	[-]

Splaškové vody mají obvykle šedou nebo šedohnědou barvu a jsou silně zakalené. Čerstvé splašky nemají příliš intenzivní zápach, avšak za několik hodin, když se vyčerpá rozpouštěný kyslík a začnou probíhat anaerobní biologické pochody, začíná odpadní voda intenzivně zapáchat, protože reakcí vznikají sulfidické síry se sloučeninami železa. [10]

Teplota závisí na ročním období, v zimě 8-12°C, v létě asi 20°C. K výkyvům může dojít vypouštěním některých průmyslových odpadních vod. Se vzrůstající teplotou klesá množství rozpuštěného kyslíku. [10]

### **2.1.2 Průmyslové odpadní vody**

Z průmyslových závodů a výroben jsou vypouštěny průmyslové odpadní vody. Ty obsahují odpadní vody od zaměstnanců závodu včetně odpadních vod ze závodních kuchyní a jídelen. Jsou svým složením podobné vodám splaškovým. Odpadní vody srážkové, odváděné z areálu závodu, a odpadní vody chladicí tvoří často významný podíl z celkového objemu odpadní vody vypouštěné z průmyslového závodu. Jsou jen málo znečištěné, a proto je tendence pro jejich opětovné využití v závodě (recirkulace). Další součástí jsou odpadní vody technologické, odtékající přímo z technologických procesů. V mnoha případech tvoří látky v nich obsažené svým množstvím i charakterem nejvýznamnější složku z celkového znečištění. [10]

### **2.1.3 Zemědělské odpadní vody**

Znečištění od zemědělství způsobuje nesprávné nebo neúměrné používání závadných látek. Mezi tyto látky patří hlavně pesticidy, které se používají k hubení rostlinných a živočišných škůdců, splachy, silážní šťávy a kejdy. [4]

Zemědělské odpadní vody lze čistit buďto samostatně, nebo společně se splaškovými vodami. Do městské stokové sítě však není dovoleno vypouštět odpadní vody o libovolném složení. Pro každou kanalizaci musí její majitel nebo provozovatel zpracovat kanalizační řád, ve kterém stanoví přípustné míry znečištění. [8]

### **2.1.4 Dešťové vody**

Dešťovými vodami se označují srážkové vody, odváděné ze střech, komunikací, parkovišť atd., většinou do společné nebo oddílné dešťové kanalizace. Znečištění dešťových vod tvoří široké spektrum různých látek. Mikrobiální složku znečištění tvoří zejména fekální koliformní bakterie, enterokoky a další. [6]



**Tabulka 2.2 – Zdroje znečištění dešťových vod [6]**

Zdroj znečištění	Znečišťující látky
Výfukové plyny	Pb, Ni, sloučeniny N, fenoly, uhlovodíky, PCDD, PCDF, rez, částice
Otěr brzdových obložení	Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, částice
Otěr pneumatik	Cd, Zn, rez, organické sloučeniny, pryž, S, Pb, Cr, Cu, Ni
Otěr povrchu komunikací	Si, Ca, Mg, asphalt, dehet, Pb, Cr, Cu, Zn, Ni, částice
Otěr značení komunikací	TiO <sub>2</sub> , rozpouštědla
Úkapy z motorů	Pb, Ni, Zn, organické látky, tuky, oleje, uhlovodíky, Cu, V, Cr
Koroze, obrus	Al, Cu, Fe, Co, Mn, Cd, Zn
Stavební hmoty	minerální látky, pojiva (asfalt, vápno, cement), alternat. stavební hmoty

## 2.2 LÁTKY V ODPADNÍCH VODÁCH

Chemicky čistá je pouze voda destilovaná. Vodu vyskytující se v přírodě můžeme považovat za roztok různých plynů, anorganických a organických látek. Z chemického hlediska rozdělujeme látky obsažené ve vodě na organické a anorganické. Z fyzikálního hlediska mohou být tyto látky přítomné jako iontově rozpuštěné (elektrolyty) nebo neelektrolyty. U nerozpuštěných látek nás s ohledem na jejich transport a samočisticí procesy zajímá zejména jejich schopnost sedimentovat. Dělíme je dle ovlivnění fyzikálně-chemických vlastností vody do skupin a tříd.[9]

Látky rozpuštěné:

- I. třída: látky přítomné v množstvích větších než 5 mg/l - sodík, vápník, hořčík, křemík, hydrogenuhličitany, chloridy, sírany a organické látky;
- II. třída: látky přítomné v množstvích větších než 0,1 mg/ - železo, bór, fluoridy, amoniakální dusík a dusičnany;
- III. třída jsou látky přítomné v množstvích větších než 0,01 mg/l – hliník, mangan, měď, zinek, olovo, arsen, baryum, bromidy a fosforečnany;
- IV. třída jsou látky přítomné ve stopových množstvích, což je méně než 0,01 mg/l – kadmium, chrom, kobalt, nikl, rtuť a kyanidy;
- V. třída jsou přechodné složky vznikající ve vodním prostředí při narušení rovnováhy – radionuklidy a biologické cykly (oběh kyslíku, uhlíku a síry);

Látky nerozpuštěné:

- I. třída: látky neusaditelné, usaditelné a splývavé;
- II. třída: mikroorganismy, jako jsou řasy, bakterie, houby a viry. [9]

**Tabulka 2.3 - Orientační složení splaškových odpadních vod [9]**

Ukazatel	rozmezí hodnot	jednotky
Hodnota pH	6,5 - 8,5	[-]
Nerozpuštěné látky	200 - 700	mg.l <sup>-1</sup>
- z toho usaditelné	73	%
- z toho neusaditelné	27	%
Rozpuštěné látky	600 - 800	mg.l <sup>-1</sup>
BSK <sub>5</sub> s potlačením nitrifikace	100 - 400	mg.l <sup>-1</sup>
CHSK - Cr	250 - 800	mg.l <sup>-1</sup>
TOC (DOC)	asi 250	mg.l <sup>-1</sup>
N <sub>celk</sub>	30 - 70	mg.l <sup>-1</sup>
N-NH <sub>4</sub>	20 - 45	mg.l <sup>-1</sup>
P <sub>celk</sub>	5 - 15	mg.l <sup>-1</sup>
Poměr BSK <sub>5</sub> :CHSK <sub>Cr</sub>	0,5	[-]

### 2.2.1 Fyzikální vlastnosti

Mezi tyto ukazatele vody patří

- Skupenství - skupenství má voda tři – kapalné, plynné a tuhé. Mění se v závislosti na teplotě;
- Hustota - zjišťuje se u vzorků s vysokým obsahem rozpuštěných látek a dále v případech, kdy se míchají různé znečištěné vody a kdy rozdíly v hustotě mohou ovlivnit průtokové poměry v čistírnách odpadních vod;
- Viskozita - projevuje se při jejich toku a vysvětluje představu o posunování rovnoběžných vrstev kapaliny, při němž se mezi nimi uplatňuje vnitřní tření;
- Stlačitelnost;
- Povrchové napětí;
- pH - hodnota pH je jedním z nejcitlivějších ukazatelů rovnovážných stavů v přírodních vodách a je definována jako záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových iontů;
- Oxidačně-redukční potenciál - určuje oxidační nebo redukční podmínky ve vodách a jeho stanovení umožňuje výpočet poměrného zastoupení jednotlivých forem výskytu daného prvku ve vodě;
- Konduktivita - vedení elektrického proudu ve vodě, spočívá v přítomnosti kationtů a aniontů, uvolněných v průběhu disociace elektrolytů;
- UV absorpce - schopnost vody absorbovat UV záření v závislosti na koncentraci rozpuštěných látek. [9]

## 2.2.2 Chemické vlastnosti

Chemicky čistá je pouze voda destilovaná. Vodu vyskytující se v přírodě můžeme považovat za roztok různých plynů, anorganických i organických látek. Z chemického hlediska rozdělujeme látky obsažené ve vodě na organické a anorganické. [6]

Látky přítomné ve vodě lze klasifikovat podle jejich kvantitativního zastoupení. Při této klasifikaci se zohledňuje i základní oběh látek a dělí se na pět tříd u rozpuštěných látek a na dvě třídy u nerozpuštěných látek. U nerozpuštěných látek jsou v I. třídě látky neusaditelné, usaditelné a splývavé a v II. třídě mikroorganismy, jako jsou řasy, bakterie, houby a viry. [9]

## 2.2.3 Radiologické vlastnosti

Radionuklidy mohou být přítomny ve vodách v rozpuštěné nebo nerozpuštěné formě jako jednoduché nebo komplexní ionty. Stupeň radioaktivity vod závisí na obsahu rozpuštěných radionuklidů. Přírodní radioaktivita je způsobena přítomností radionuklidů, jako jsou např.  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$  nebo  $^{40}\text{K}$ . Obohacování přírodních vod radioaktivními nuklidy je podmíněno emanačními procesy, vyluhováním a rozpouštěním nerostných látek. Radiotoxicita jednotlivých radionuklidů závisí hlavně na poločasu rozpadu, druhu a energii emitovaného záření, metabolismu prvku a biologické rychlosti vylučování radionuklidu z organismu. [9]

## 2.2.4 Mikrobiologické vlastnosti

Mikrobiologické vlastnosti jsou ukazatelem čistoty vody - voda je tím kvalitnější, čím méně je v ní života. Mezi tyto ukazatele patří:

- Koliformní bakterie;
- Fekální koliformní bakterie – indikátorem fekálního znečištění ve vodě;
- Enterokoky – značí čerstvé znečištění (3-5 dnů);
- Mezofilní bakterie – teplota kultivace  $37^{\circ}\text{C}$ ;
- Psychrofilní bakterie – teplota kultivace  $20^{\circ}\text{C}$ . [27]

## 2.2.5 Biologické vlastnosti

- Saprobni index – zastoupení saprobních organismů;
- Trofická úroveň – umístění v potravinovém řetězci, vyjádřené počtem stupňů přenosu energie potřebných k dosažení dané trofické úrovně. [27]

### 3 ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD V ČR

Intenzita a způsob likvidování odpadů a odpadních vod, vznikajících při lidské činnosti, ukazuje, jaká je kulturní, sociální a technická úroveň dané společnosti. Pravidelné a účinné odvodňování urbanizované oblasti je základní podmínkou pro bezpečný a zdravý život ve městech i recipientu pod městem. Pochopení, jak je důležité odvádění odpadní vody, se vyvíjelo postupně a po velmi dlouhou dobu. [3]

Z hlediska životního prostředí je přečištění znečištěné odpadní vody velice důležité, nejen z důvodu snížení spotřeby vody, ale také kvůli menšímu zatížení vodních toků nebo nádrží, do kterých se v určitém vodohospodářském úseku voda vypouští. Jeden z největších zdrojů znečištění životního prostředí představují města bez řádného čištění odpadních vod. Z důvodu toho, že podzemní vody nemají nevyčerpatelné zásoby, musí se používat voda z potoků, řek, rybníků a jezer, které je potřeba chránit před přítokem špatně čištěných nebo dokonce nevyčištěných odpadních vod, aby je bylo možné bez drahých úprav používat jako náhradu za podzemní pitnou vodu. Špatná jakost vody ve vodních tocích zhoršuje prosakováním jakost vody podzemní. [3]

#### 3.1 HISTORIE ČIŠTĚNÍ V ČR

Čištění odpadních vod by nebylo možné bez kanalizační sítě, která má v Českých zemích své počátky již ve 14. století. Stejně jako stoky má svou historii také samotné přečišťování odpadních vod spojené se vznikem čistíren odpadních vod. Odpadní vody mohou mít různý původ, složení nebo jich vytéká různé množství v závislosti na počtu připojených obyvatel na daný úsek kanalizace, proto je potřeba využívat různé způsoby jejich čištění, přičemž čistírny odpadních vod mají dané jasné parametry, které v souvislosti s odpadními vodami sledují. [3]

Vzhledem ke změnám způsobu života a stálému vyvíjení nových chemických přípravků nebo léčiv, které se dostávají do odpadních vod, by mělo docházet také k posunu a vývoji nových čistících technologií na čistírnách odpadních vod, aby bylo co nejmenší zatížení a znečištění recipientu. [3]

V Českých zemích byla první stoka postavená v roce 1310 a byla určena k odvodnění domu probošta v Nerudově ulici. V roce 1660 byly vybudovány klenuté stoky v příkopech, původně určených k odvádění dešťové vody a výkalů. Tyto příkopy vedly z míst dnešního Můstku podél dnešní Národní třídy do Vltavy a z míst dnešní Prašné brány podél Revoluční třídy do Vltavy. V témže roce postavili jezuité velkou klenutou stoku k odvodnění Klementina, která vyplavovala odpady ze záchodů, umýváren, kuchyně a ze zásobníků s rybami. Stoka byla splachována vodou, tekoucí z kašny na nádvoří Klementina, a byla odváděna do Vltavy. [3]

V období 1818 - 1828 bylo postaveno 44 km stok. V roce 1876 byl založen výbor, který řešil kanalizační otázky. V říjnu 1889 se usnesla městská rada zadat projekt kanalizace Dr. J. Hobrechtovi z Berlína a Ing. Kaftanovi. Projekt nesl označení Generelní projekt. Projekty

byly dány téhož roku k přezkoumání Ing. Lindleyovi, který nedoporučil žádný z obou projektů a nabídl zpracování vlastního projektu. Ten pak odevzdal v roce 1893. Poté, 21. 4. 1894, městská rada jeho projekt schválila a o 5 let později byla na Malé Straně zahájena stavba malostranského sběrače a řady dalších kanalizačních staveb. V roce 1899 byly v městské radě schváleny plány na stavbu čistící stanice v Bubenci. Tato stanice byla v provozu do 60. let. [3]

Mezi přednosti Lindleyova projektu patřilo odvodnění nejen historické části Prahy, ale také předměstské čtvrti, ochrana stokové soustavy proti opakovanému zahlcování dešťových přívalů, zaústění do čistící stanice, která byla umístěna v lokalitě umožňující její pozdější rozvoj a také umístění čistírenských procesů do podzemí, čímž se redukoval negativní dopad na okolní prostředí. V roce 1900 se budovala kmenová stoka A, tunel pod Letnou, staroměstská shybka a o rok později byla zahájena výstavba další čistící stanice. Vodoprávní kolaudace kanalizační čistírny se konala 1. 6. 1907 a 11. 2. 1908. [3]

V roce 1947 je v provozu 729,8 km trvalých stok a 203,1 km stok provizorních a starých. V roce 1951 byla zřízena Pražská vodohospodářská služba hlavního města Prahy - kanalizace, a Pražská vodohospodářská služba, čistírny odpadních vod. V roce 1959 se staly Pražské kanalizace a čistírny odpadních vod investorem stavby Ústřední čistírny odpadních vod na Trojském ostrově. V roce 1985 bylo dosaženo přírůstku 110 km kanalizační sítě, což bylo do té doby největším navýšením. V období 1974 - 1985 byla uskutečněna první intenzifikace ústřední čistírny odpadních vod, která zahrnovala napojení kmenové stoky K, výstavbu druhé čerpací stanice, měření přítoku, výstavbu nové česlovny, dmychárny, kotelny, dalších dvou dosazovacích nádrží, kalových zahušťovacích nádrží a manipulačních nádrží. [3]

K 1. 4. 1998 vznikly akciové společnosti Pražské vodovody a kanalizace, zabezpečující provoz kanalizační a vodárenské infrastruktury hlavního města Prahy a Pražská vodohospodářská společnost, vykonávající správu obou systémů pro nové vlastníky, kterými se staly hlavní město Praha, akciové společnosti Úpravna vody Želivka a Zdroj pitné vody Káraný. Současně zanikly státní podniky Pražské vodárny a Pražská kanalizace a vodní toky. Správa pražských vodních toků byla převedena na Magistrát hlavního města Prahy, přičemž výkonem vybraných povinností správce byl pověřen podnik Lesy hlavního města Prahy. [3]

Průběh procesu čištění odpadních vod je možno sledovat a ovlivňovat s využitím mnoha technologických parametrů. Mezi tři základní patří hydraulická doba zdržení odpadní vody, objemové zatížení a účinnost čištění. Hydraulická doba zdržení odpadní vody udává, jakou dobu je odpadní voda procesu čištění podrobována. Zvýšení účinnosti se dosahuje delším zdržením odpadní vody v čistícím procesu. Doba prodloužení bývá většinou o jednotky výjimečně desítky hodin. Objemové zatížení udává množství znečišťujících látek, se kterým se musí vyrovnat daná jednotková operace čištění odpadních vod, která probíhá ve speciálně vybavené nádrži. Překročením objemového zatížení může mít negativní dopad na kvalitu vody. [3]

Nejzákladnější a nejdůležitější parametry sledující účinnost čištění jsou pro čistírnu odpadních vod organické látky obecně, zjišťované jako hodnoty chemické a biochemické spotřeby kyslíku, dusík, hlavně amoniakální, fosfor a nerozpuštěné látky. Dále třeba tuky, absorbovatelné organické halogenderiváty, těžké kovy, tenzidy a v poslední době i xenobiotika. [3]

V devadesátých letech byly odpadní vody v České republice čištěny nedostatečně. Pouze 40 % těchto vod bylo čištěno s dostatečnou účinností, celkový objem čištěných odpadních vod činil 496 063 tisíc m<sup>3</sup>/rok. Vyhovující účinnost čištění určoval na základě daných podmínek příslušný vodoprávní orgán. Regulujícím prvkem byla a stále je samočisticí schopnost toků, kam jsou odtoky z čistíren odpadních vod vypouštěny. Městské odpadní vody zatěžovaly povrchové toky i po vyčištění, především organickými látkami, ale největším problémem byla likvidace kontaminovaných čistírenských kalů, které se v řadě míst vypouštěly zpět do vodních toků. Z uvedeného vyplývá, že bylo a je třeba se soustředit na zlepšení účinnosti čistíren odpadních vod, zlepšení zneškodňování kalů, vytvoření poradenských firem pro provozování a výstavbu dalších čistíren odpadních vod a kanalizačních řadů, postupné zavedení norem a standardů platných nejen v České republice, ale také v evropských společenstvích, minimalizací vstupů znečišťujících látek z nebudových zdrojů, především ze zemědělství nebo právní úpravu pravomocí příslušných kontrolních orgánů. [3]

V posledních letech se navíc zvýšila přítomnost látek, které mohou mít karcinogenní nebo mutagení účinky, zejména těžké kovy, chlorované uhlovodíky, dusičnany, dusitany, xenobiotika a další. Tyto látky se v České republice nesledovaly zejména z důvodu, že laboratoře nebyly vybaveny potřebnou technikou. [3]

V řadě obcí existují dešťové kanalizace či zatrubněné části malých vodních toků nebo melioračních kanálů, které jsou využívány i pro napojení přepadů ze septiků nebo nepovolených vyústění jímek a žump, což není v souladu se zákonem. I přestože počet čistíren odpadních vod pořád není dostatečný, tak jich stále každým rokem v České republice přibývá. Zatímco v roce 2002 jich bylo 1 234, v roce 2009 už to bylo 2 158 čistíren. Z toho vyplývá snaha o zdokonalení přečištění odpadních vod a tím také o ochranu vodních toků. [3]

### **3.2 VÝVOJ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD**

Odpadní vody lze čistit intenzivními nebo extenzivními způsoby. Intenzivní způsoby jsou závislé na trvalé dodávce energie. Rozlišují se na centralizované, do kterých je odpadní voda odváděna kanalizací z několika zdrojů, nebo decentralizované, ke kterým je připojen nižší počet obyvatel, ale jejich nevýhodou je, že při nepravidelnosti přítoku vody může docházet k přetížení nebo nevytíženosti. Extenzivní způsoby nepotřebují soustavnou dodávku energie, jejich obsluha je jednodušší, ale nevýhodou je například horší ovladatelnost procesů, vývoz kalů a odbahňování. [3]

Existuje několik základních čistících technologických postupů, které se podle složení odpadních vod používají každý samostatně nebo se různě kombinují podle toho, jak je to vhodné. Patří mezi ně mechanické, biologické, chemické a elektrolytické čištění a oddělování tuků flotací. Mechanické čištění je odstraňování nečistot usazením na dno lapačů nebo shrábnutím z hladiny vody nebo z česlí. Biologické čištění se dělí do dvou skupin, první je mineralizace neboli vyhnívání organických látek pomocí anaerobních bakterií a druhým je rozklad kalů čili mineralizace pomocí bakterií aerobních. [3]

Podle takzvané Modré zprávy MŽP a MZe ČR žilo v roce 2015 v domech, které byly připojeny na kanalizaci, 8,882 mil. obyvatel České republiky, což je 84,2 % z celkového počtu obyvatel. Do kanalizací bylo vypuštěno (bez zpoplatněných srážkových vod) celkem 445,5 mil. m<sup>3</sup> odpadních vod. Z tohoto množství bylo čištěno 97 % odpadních vod (bez zahrnutí vod srážkových), což představuje 432 mil. m<sup>3</sup>. Nejvyšší podíl obyvatel připojených na kanalizaci byl v roce 2015 v hlavním městě Praze (98,9 %) a Karlovarském kraji (96,2 %), naopak nejnižší podíl byl ve Středočeském (70,5 %) a Libereckém (68,9 %) kraji. [5]

Údaje uvedené v tabulce 3.1 Českou republiku v rámci EU mezi vodohospodářsky nejvyspělejší země. Čísel, která jsou podobná těm našim, nedosahují ani tradiční členské země EU. To je, mimo jiné, dáno i dobrou výchozí pozicí při vzniku ČR, neboť již na konci období socialismu v r. 1989 bylo dosahováno v české části ČSSR 72,4 % připojení a 71,5 % čištění. Délka kanalizační sítě byla do roku 2015 prodloužena o 627 km a dosáhla tak na 45 884 km. Celkový počet ČOV se dle údajů ČSÚ zvýšil na 2 495 ČOV v celé ČR. [5]

Tabulka 3.1 Odvádění a čištění odpadních vod z kanalizací v letech 1989 - 2015 [5]

Ukazatel	Měrná jednotka	Rok							
		1989	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Obyvatelé (střední stav)	tis. obyv	10364	10491	10517	10495	10509	10511	10525	10543
Obyvatelé bydlící v domech připojených ke kanalizaci	tis. obyv	7 501	8530	8613	8672	8674	8705	8828	8882
	%	72,4	81,3	81,9	82,6	82,5	82,8	83,9	84,2
Vypouštěné odpadní vody do kanalizace (bez zpoplatněných srážkových vod) celkem	mil. m <sup>3</sup> /rok	877,8	496,4	490,3	487,6	473,2	455,3	446,1	445,5
	% k 1989	100	56,6	55,9	55,5	53,9	51,9	50,8	50,8
Čištěné odpadní vody včetně srážkových	mil. m <sup>3</sup> /rok	897,4	842,9	957,9	871	863,7	912,3	812,2	779
Čištěné odpadní vody celkem bez vod srážkových	mil. m <sup>3</sup> /rok	628	427,7	471,5	472,2	495,4	443,4	432,3	432
	% k 1989	100	75,4	75,2	75,3	73,2	70,6	68,9	68,8
Podíl čištěných odpadních vod bez vod srážkových	%	71,5	95,2	96,2	96,08	97,1	97,4	96,9	97

V současné době mají všechny aglomerace nad 10 000 EO zajištěno terciární čištění, i když ne všechny plní požadavky směrnice na limity jakosti vypouštěných odpadních vod. Nejproblematictější zůstává Ústřední ČOV Praha. Ke konci roku 2013 chyběly odpovídající ČOV u 11 aglomerací o velikosti 2 000–10 000 EO. [5]

Podle terminologie MŽP (dáno směrnicí EEC/91/271) se dnes rozlišují tyto typy čištění odpadních vod:

- primární čištění – mechanické ČOV;
- sekundární čištění – mechanicko-biologické ČOV bez odstraňování dusíku a fosforu;
- terciární ČOV – mechanicko-biologické ČOV s dalším odstraňováním dusíku a/nebo fosforu. To se liší od terminologie zavedené v čistírenské praxi, kdy odstraňování dusíku a fosforu se běžně zahrnuje pod pojem „sekundární“ čištění a „terciární“ čištění je vyhrazeno pro dočišťování stávajících odtoků z čistíren odpadních vod. [5]

Tabulka 3.2 Přehled typů ČOV pro čištění komunálních odpadních vod v obcích ČR [5]

Velikostní kategorie ČOV dle projektované kapacity (v EO)	Typ technologie					
	mechanicko-biologická aktivační	mechanicko-biologická biofiltr	mechanicko-biologická biodisk	mechanicko-chemická	kořenová	jiná (stabilizační nádrž, mechanická)
500 - 2 000 n = 304 ČOV	266	19	5	0	4	10
2 001 - 10 000 n = 350 ČOV	325	15	6	1	0	3
10 001 - 100 000 n = 186 ČOV	175	9	1	1	0	0
nad 100 000 n = 26 ČOV	26	0	0	0	0	0

Z tabulky 3.2 je patrné, že v České republice je dominantním způsobem u biologického čištění odpadních vod aktivační proces. Ten byl objeven a popsán poprvé v Manchesteru, UK, chemiky Ardernem a Lockettem. Záhy po skočení 1. světové války vypukly patentové spory okolo priority řešení některých technických detailů procesu. Skutečný rozmach procesu v celosvětovém měřítku nastal tak až po skončení 2. světové války, po vypršení platnosti sporných patentů. Skutečný vývoj i teoretické poznávání různých stránek procesu nastaly v plné míře rovněž až počátkem 50. let. [5]

Rozvoj aktivačního procesu se po druhé světové válce odehrával na empirickém principu. Základem navrhování aktivačních systémů byla data z laboratorních modelů. Tento postup ovšem narážel na problémy při zvětšování měřítka. Proto se ještě často přistupovalo k nákladným poloprovozním testům. V důsledku převažujícího stavebně-inženýrského přístupu byly rozhodujícími parametry hydraulická doba zdržení a hydraulické zatížení, zatímco vliv koncentrace biomasy aktivovaného kalu a její zatížení nebyly zdaleka tak významné. Tento přístup se radikálně změnil po průlomových pracích o reaktorovém inženýrství a kinetice Octave Levenspiela, jehož myšlenky byly shrnuty v celosvětově uznávané učebnici Chemical Reaction Engineering (John Wiley, New York, 1972), která se



stala „biblí“ moderního chemického inženýrství. V poměrech tehdejšího Československa našel tento nový přístup k aktivačnímu procesu velice záhy ohlas i na Katedře technologie vody VŠCHT Praha. Toto pojetí znamenalo mnohem exaktnější přístup zejména k těmto aspektům aktivačního procesu:

- přestup kyslíku a jeho popis se zavedením veličin  $K_L a$ ,  $OC$  a  $\alpha$  s následným vývojem směrem k moderní jemnobublinné aeraci;
- hydraulická charakteristika reaktorů a její vliv na kinetiku dějů;
- teorie kinetické selekce a její aplikace ve vazbě na doporučený hydraulický režim reaktoru. [5]

Výsledkem těchto studií na VŠCHT bylo zavádění koridorových aktivací s přepážkami, případně předřazování kontaktní zóny před hlavní reaktor (tzv. selektorová aktivace). Zavádění těchto principů do praxe výrazně omezilo problémy s bytřením aktivovaného kalu, které byly tehdy běžné v celém světě. [5]

Inženýrské přístupy a kinetická selekční teorie postačovaly k popisu aktivačního procesu, pokud se používal k odstraňování hlavně organického znečištění. Koncem 80. let 20. století, kdy se rozšiřovalo používání systémů s nitrifikací, denitrifikací i biologickým odstraňováním fosforu, začínalo být patrné, že bez bližších znalostí o interakcích jednotlivých fyziologických skupin mikroorganismů nelze řešit provozní problémy, které se začaly objevovat (např. nestabilita nitrifikace, výskyt biologických pěn). Jako reakce na tyto problémy se vytvořilo odvětví studia aktivačního procesu, které se nazývá populační dynamika aktivovaného kalu. Součástí tohoto vývoje byla i formulace prvních použitelných matematických modelů aktivačního procesu. Aplikace principů populační dynamiky vyžadovala ovšem bližší informace o kvalitativním a později i kvantitativním zastoupení důležitých mikroorganismů. [5]

V Československu vedla aplikace znalostí populační dynamiky k vývoji varianty aktivačního procesu, kdy se nitrifikace a denitrifikace v hlavní lince kombinují s regenerací zásobní kapacity buněk v regenerační zóně umístěné v proudu vratného kalu. Tak vznikl u nás velmi rozšířený tzv. R-D-N (nebo R-An-D-N) proces, který kombinuje stabilní odstraňování nutrientů s dobrými sedimentačními vlastnostmi aktivovaného kalu. Dalším studiem dějů v regenerační zóně se dospělo k vývoji metody bioaugmentace nitrifikace in situ v regenerační zóně, která se dnes používá na desítkách městských ČOV od středních až po tu největší, a to jak na stávající vodní lince, tak na nově budované vodní lince. [5]

Vývoj aktivačního procesu od prostého odstraňování uhlíkatého znečištění až po systémy kombinovaného odstraňování organického uhlíku, dusíku a fosforu si vyžádal i značný pokrok v mikrobiologii aktivačního procesu. Klasické mikrobiologické metody již nemohly často poskytovat reálný obraz o mikrobiálním složení aktivovaných kalů, neboť většinu

mikroorganismů aktivovaného kalu nebylo možno získat v čistých kulturách. Ani kultivační metody však neposkytovaly věrný obraz o složení aktivovaného kalu, neboť výsledkem kultivací byly spíše nejnázatelnější kultivovatelné mikroorganismy místo těch nejrozšířenějších. Proto byly od 90. let 20. století vyvíjeny a v mikrobiologické praxi používány metody založené na znalostech složení sekvencí nukleotidů DNA charakterizující jednotlivé mikroorganismy. [5]

Byla vyvinuta syntéza látek, které specificky reagovaly s určitými sekvencemi a které ve své molekule nesly nějakou značkovací látku pro snazší identifikaci (tzv. genové sondy). Výhodou těchto sond při jejich aplikaci metodou FISH (flourescenční in situ hybridizace) je, že nevyžadují přítomnost mikroorganismu v čisté kultuře, ale reagují s daným mikroorganismem specificky i ve směsi. To bylo velice záhy prokázáno při aplikaci této metody na identifikaci mikroorganismů v aktivovaném kalu. Pomocí metody FISH lze dnes spolehlivě identifikovat vláknité mikroorganismy, nitrifikační bakterie, sirmé bakterie i bakterie akumulující fosfor i glykogen. [5]

Rozvoj a využití matematických modelů pro řízení aktivačního procesu byl umožněn postupující technikou v získávání potřebných dat, a to jak na základě kinetických a respirometrických měření, tak kontinuálním on-line měřením. V současné době jsou k dispozici metody kontinuálního měření parametrů, vstupujících do matematického modelu, jako jsou:

- rozpuštěný kyslík;
- amoniakální a dusičnanový dusík;
- koncentrace biomasy a případně i hodnota CHS. [5]

Současná legislativa na úseku čištění odpadních vod v ČR vychází z principů příslušných směrnic Evropské unie (91/271/EEC a 2000/60/EC) a navazuje na tradici předchozí legislativy, která byla ve směru k čištění odpadních vod mimořádně dobře a prozíravě koncipována (zákon o vodách č. 138/1973 Sb. a prováděcí nařízení vlády č. 25/1975 Sb.). Určitým potvrzením kvality této původní právní úpravy je fakt, že vodní zákon byl celý změněn až v roce 2001 po předchozí novele o ochranných pásmech (zákon č. 14/1998 Sb.) a doplněn po změně nařízení vlády o úplatách na zákon č. 58/1998 Sb. (zákon o poplatcích za vypouštění odpadních vod do vod povrchových). Nařízení vlády bylo změněno až v roce 1992 (č. 171/1992 Sb.), přičemž seznam ukazatelů množství látek v povrchových vodách zůstal zachován v tomto i dalším nařízení vlády (č. 82/1999 Sb.). Stávající vodní zákon (zákon č. 254/2001 Sb., v platném znění) se zabývá čištěním odpadních vod v Díle 5 „Ochrana jakosti vod“. [5]

Od roku 1992, kdy bylo přijato první nové nařízení vlády (č. 171/1992 Sb.) od nařízení č. 25/1975 Sb., bylo nařízení vlády změněno celkem 5x (č. 82/1999 Sb., č. 61/2003 Sb., č.

229/2007 Sb. a č. 23/2011 Sb., č. 401/2015 Sb.) V současné době platí již šesté nařízení vlády, které mění limity pro nejlepší dostupné technologie v oblasti zneškodňování odpadních vod a podmínky jejich použití, což vede k tomu, že většina stávajících ČOV musí mohutně investovat do dalšího stupně čištění (terciárního srážení fosforečnanů). [5]

V moderním aktivačním procesu ve světě i u nás se používá v řada modifikací jak konstrukčních, tak technologických. Počet modifikací se ještě zvyšuje v případě aktivačního procesu s biologickým odstraňováním nutrientů. Přesto však lze najít určité varianty, které jsou používány častěji než jiné. V České republice jsou velmi častá použití oběhových a koridorových aktivací, které umožňují za sebou řazení anaerobní, anoxické i oxické zóny. Přitom lze proměnlivým zaúst'ováním interní recirkulace měnit poměry mezi objemem anaerobní a anoxické sekce a spolu s možností vypínání a zapínání části aeračních elementů i měnit poměry mezi anoxickou a oxickou sekcí. V podmínkách ČR je u většiny moderních aktivačních čistíren instalována ještě regenerační zóna, která umožňuje obnovení zásobní kapacity buněk vločkotvorných bakterií a bioaugmentaci nitrifikace in situ. [5]

K modernímu aktivačnímu systému patří i účinnější promíchávání neprovzdušňovaných zón míchadly, jejichž lopatky jsou uzpůsobeny mírnému zacházení s vločkami aktivovaného kalu. Současné aktivační systémy jsou provzdušňovány téměř výhradně jemnobublinnými aeračními systémy s použitím membránových difuzérů, které umožňují potřebnou flexibilitu v objemech nitrifikačních a denitrifikačních zón. Zdrojem tlakového vzduchu jsou rychloběžná dmychadla, jejichž kapacitu lze v určitém rozsahu plynule měnit dle aktuální potřeby vzduchu. [5]

Právě účinná regulace dodávky vzduchu byla prvním úkolem pro instalované systémy on-line měření. Skutečné úspory vzduchu lze dosáhnout jen kombinací měření kyslíku s měřením koncentrací amoniakálního a dusičnanového dusíku. Signály ze sond jsou zpracovány buď předepsaným algoritmem, nebo matematickým modelem aktivačního procesu a systém pak může ovládat například chod a výkon dmychadel, případně dávkování organického substrátu nebo srážedel. [5]

Jedním z největších přetrvávajících problémů je čištění odpadních vod z malých oblastí. Nejedná se jen o malé procento čištěných odpadních vod v oblastech pod 2 000 EO, ale také o problémy s vhodnou technologií pro malé a zejména domovní ČOV. Malé čistírny mají svá mnohá specifika a v žádném případě je nelze projektovat nebo konstruovat jen jako zmenšené ČOV pro větší množství odpadních vod. Specifika malých čistíren spočívají zejména ve velkém kolísání množství a složení odpadních vod, náchylnosti biologické části k toxickým látkám z domácností (např. vypouštění dezinfekčních prostředků při velkém víkendovém úklidu), v nárocích na robustní strojní vybavení, což je ovšem v rozporu s omezenými finančními možnostmi malých investorů či rodin, a v problémech při zajišť'ování kvalifikované obsluhy a údržby. Důsledkem je pak dosahování nižší kvality odtoku ve

srovnání s většími obecními a městskými čistírnami. Legislativa EU i ta naše to zohledňuje tolerantnějšími emisními standardy v kategorii ČOV do 2 000 EO (v ČR i do 500 EO). Ovšem poslední dobou začalo MŽP podporovat v rámci „boje proti suchu“ opětovné využívání vyčištěné odpadní vody z domovních ČOV. To může být poměrně riskantní krok, protože tato zařízení nejsou obvykle vybavena zcela dostačující dezinfekcí a nejsou k dispozici ani aktuální údaje o jakosti vypouštěných vod. Proto odborníci v této oblasti považují za bezpečné a oprávněné opětovné využívání vyčištěných odpadních vod až z větších městských ČOV, kde lze garantovat složení i bezpečnost recyklované vody. [5]

Čistírenství v ČR se by se tedy mělo v budoucnu zaměřit na změny ve vodním zákoně, stanovit poplatky a uvést limity pro zpoplatnění v souladu se současným stavem vývoje v čistírenství a s reálnými možnostmi dostupných technologií. Zároveň by měla konstrukce poplatkové části zákona o vodách motivovat k instalaci dokonalejších technologií čištění. V souladu s tímto novým přístupem musí být i stanovení nových limitů pro technologie BAT v příslušném nařízení vlády, aby tyto dva právní předpisy nebyly ve svém součtu pro provoz ČOV likvidační. Zcela zásadním problémem je nedostatečná legislativa na úseku ochrany povrchových vod před plošným znečištěním, které se s postupující výstavbou ČOV a zvyšováním jejich účinnosti stává dominantním zdrojem takových problémů, jako je neúnosná (a stále postupující) eutrofizace povrchových vod. Do budoucna je nutno napravit i úplnou absenci právních předpisů pro opětovné využívání odpadních vod. V řadě států EU již obecně závazné právní normy pro tuto činnost, která je v praxi stále častější a žádanější, existují. Evropská komise v současné době připravuje vlastní směrnici EU k opětovnému využívání odpadních vod, existují a dále se dopracovávají i příslušné ISO normy, pokrývající tuto činnost. [5]

Čistírenství může stále ještě do určité míry přispět k snižování eutrofizace povrchových vod postupným zvyšováním účinnosti odstraňování fosforu. Při současném vybavení mnohdy teprve nedávno dokončených ČOV se bude muset jednat skutečně o postupný proces, neboť tento úkol bude vyžadovat přestavbu většiny ČOV s kapacitou nad 10 000 EO na provozy s terciárním stupněm. V současné době existuje v ČR snad jediná taková ČOV pro město Pelhřimov a zkušenosti z rekonstrukce a provozu této ČOV potvrzují, jak náročný je to proces, pokud se má garantovat celoročně odtoková koncentrace PCELK pod 1 mg/l. [5]

S rozvojem analytických metod se zjišťuje, že zbytkové organické znečištění v odtocích z městských ČOV není tvořeno jen běžnými látkami či produkty metabolismu bakterií aktivovaného kalu, ale stále častěji a ve větších koncentracích nacházíme látky, které se objevují v odpadních vodách nově, s postupující změnou životního stylu obyvatelstva. V terminologii příslušných dokumentů EU se o nich hovoří jako o „emerging pollutants“, což lze česky popsat spojením „nově se objevující znečištění odpadních vod“. Po chemické stránce se jedná o zbytky léčiv, ilegálních drog, hormonálních preparátů či prostředků osobní péče. Problémem je i vzrůstající rezistence bakterií na antimikrobiální látky (antibiotika,

moderní dezinfekční činidla v kosmetice, které se v odtocích z ČOV dostávají do volného prostředí. Technologie, které dokáží tyto látky degradovat a eliminovat, jsou už v současné době dostupné. Příkladem může být Švýcarsko, které v r. 2015 přijalo nový vodní zákon, který vyžaduje, aby v období 2016–2040 bylo 100 největších, resp. nejdůležitějších ČOV v zemi (důležitých z hlediska ochrany švýcarských jezer) vybaveno technologií s minimálně 80% účinností odstraňování 12 vybraných látek ze seznamu „emerging pollutants“. S postupným legislativním tlakem na odstraňování těchto látek z vypouštěných odpadních vod a s postupným rozšiřováním příslušných technologií se ceny za toto „kvartérní“ čištění budou snižovat a lze předpokládat, že tento problém bude brzy položen na stůl i u nás. [5]

## 4 VYUŽITÍ ODPADNÍCH VOD

Obytné domy, jako každý živý organizmus, produkují odpady, které musejí být nejen z hlediska hygienického, hospodářského, ale i estetického pravidelně odstraňovány a likvidovány. Pro udržitelný rozvoj v této oblasti je třeba hospodařit s vodou i energiemi a minimalizovat jejich potřebu. Vždyť z celkové potřeby vody v domácnosti minimálně tři čtvrtiny se spotřebují v koupelnách a WC. Proto je snahou odpadní vody nejen dešťové, ale i upravené splaškové zpětně využívat před odvedením do veřejné stokové sítě. [7]

K hospodárnému používání vody v objektech patří především úsporné používání vody, a to především nahrazením pitné vody v oblastech, kde je možné použít vody jiného původu. Je to nejen dešťová voda, ale po odpovídající úpravě i splaškové odpadní vody. O využívání akumulovaných srážkových vod jsme již psali a v tomto článku se zaměříme na zpětné využívání splaškových vod ze záchodů a koupelen. [7]

V podstatě lze odpadní vody z hygienických místností rozdělit na tzv. černé, šedé a bílé vody (podle EN 12056). Černé vody jsou splaškové vody, obsahující fekálie a moč. (Jsou nositeli živin a energie.) Nazývají se tak při společném odvádění žluté i hnědé vody z klozetových mís. Dělí se dále na hnědé a žluté odpadní vody. Hnědé odpadní vody – fekálie - jsou tvořeny odpadními vodami z WC, které obsahují cca 16 % dusíku, 36 % fosforu a 17 % draslíku. Žluté odpadní vody – moč - jsou tvořeny dalšími oddělenými odpadními vodami ze záchodů a pisoárů. [7]

Šedé vody jsou vody méně zatížené znečištěním, odtékají zejména z koupelen (z umyvadel, van, sprch) a neobsahují fekálie a moč. Tyto vody lze po úpravě využívat jako vodu provozní (tzv. bílou vodu) pro splachování záchodů, pisoárů, úklid a zalévání zahrad. Metod pro úpravu a čištění těchto odpadních vod je dnes celá řada a lze je zhruba rozdělit podle toho, jakým způsobem zacházejí s exkrementy. Černé vody – fekálie se buď přímo kompostují anebo jen shromažďují, případně vysušují a kompostování probíhá někde jinde. Kromě dusíku, fosforu a draslíku (NPK) obsahují lidské exkrementy celou řadou dalších mikroprvků, které by se měly vrátit zpět do půdy jako velmi cenné hnojivo. [7]

### 4.1 VYUŽITÍ ŠEDÝCH A BÍLÝCH VOD

Ve světě je více než miliarda lidí ohrožena nedostatkem pitné vody a lze předpokládat, že se toto množství bude každým rokem zvyšovat. Nejde přitom jen o problémy v Africe či Asii, ale s ubývajícími zásobami pitné vody se potýkají již i některé části Evropy. Z tohoto důvodu se hledají alternativní řešení, jak ušetřit pitnou vodu v rámci budov. Jedním z nich je využití šedých a dešťových vod, a to především k splachování toalet, zalévání zahrad či na úklid. V některých zemích je zpětné využití těchto vod již přímo nařízeno (např. v Japonsku pro splachování toalet). [11]

Šedou vodou nazýváme podle ČSN EN 12056 splaškové odpadní vody neobsahující fekálie a moč, jedná se tedy o vodu z van, sprch, umyvadel, kuchyňských výlevků, myček nádobí a praček. Po úpravě lze šedé vody použít zejména na splachování toalet, zavlažování zahrad a úklidové práce. Úprava šedých vod však musí být vždy provedena tak, aby nebylo ohroženo zdraví lidí. Vyčištěná šedá voda se pak nazývá bílá voda. [11]

Snížená kvalita a vydatnost vodních zdrojů způsobená suchem a měnícími se klimatickými podmínkami společně se zvyšováním cen vodného a stočného vede v některých zemích ke koncepci opětovného využití odpadních a dešťových vod. Tato koncepce se objevuje v projektech administrativních budov a hotelů po celém světě. Velký potenciál využití mají tyto systémy v oblastech s nedostatkem pitné vody (jižní Evropa, státy v okolí Perského zálivu apod.), kde jsou tyto systémy levnější než samotná úprava mořské vody. [11]

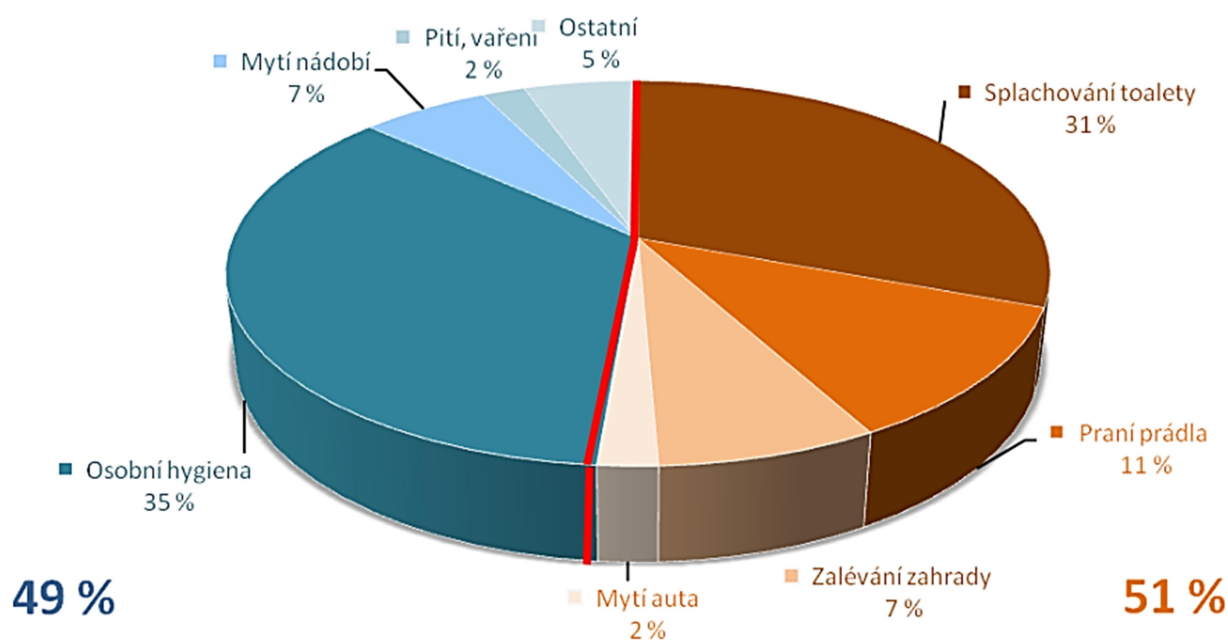
Kroky čištění šedé vody:

1. Na přítoku šedé vody je instalován filtr pro odstraňování hrubých nečistot. Filtr je nutné odkalovat asi jednou týdně.
2. Čištění šedých vod je soustředěno do čtyř tanků. První a druhý tank tvoří základní stupeň čištění, kde na molitanové drti pracují bakterie. Zároveň jsou zde umístěny výměníky tepla, které zajišťují první stupeň předehřevu užitkové vody. Ve třetím tanku probíhá dočištění vod rovněž za pomoci molitanové drtě s bakteriemi (typ ESO-HOME, což je koncentrovaný bioenzymatický přípravek, který je dodáván v 10litrovém balení). Pro správné fungování bakterií je do všech tří tanků vháněn vzduch. Čtvrtý tank je jen zásobárnou vyčištěné vody a je napojen na dopouštění pitnou vodou. Takto je zajištěno trvalé pokrytí 100 % potřeby užitkové vody.
3. Po vyčištění šedé vody je nutné provést dezinfekci bílé vody, kterou zabezpečuje UV záření.
4. Dezinfikovaná bílá voda je čerpadly odváděna a využívána například ke splachování toalet a nebo jako úklidová voda. [11]

Při použití technologie pro čištění šedých vod a jejich využití se může dosáhnout úspor spotřeby pitné vody v průměru o 18%. [11]

## 4.2 VYUŽITÍ DEŠŤOVÝCH VOD

Spotřeba vody v domácnosti je asi 130 l/os./den. Srážkovou vodou lze nahradit spotřebu pitné vody do výše přibližně 50 %. Neustálý nárůst poplatků spojených se zásobováním obyvatelstva pitnou vodou a odvodem vod odpadních pomáhá návratu k tradičnímu způsobu využívání nejspíše dostupné vody – vody srážkové. Nejedna zahrádkář používá srážkovou vodu k závlahám, velkým boomem se však v posledním desetiletí stalo využívání srážkových vod přímo v domácnostech. Srážkovou vodou lze nahradit pitnou vodu například při splachování toalety, úklidu, praní prádla nebo zavlažování zahrady (viz oranžová část grafu). [14]



Obrázek 4.1 Graf průměrné denní spotřeby vody v domácnosti na jednotlivé činnosti [14]

Vodu můžeme shromažďovat a uchovávat v nádržích z různých materiálů. Na trhu najedeme nádrže ocelové, betonové, sklolaminátové či plastové (hlavně polyethylenové). Právě plastové nádrže jsou velice oblíbené vzhledem k příznivé váze a tedy snadné manipulaci. Jejich instalace nevyžaduje tolik stavebních prací a také jejich údržba a kontrola je výrazně jednodušší než u jiných materiálů. Pro využití dešťové vody se využívají jak nadzemní, sezónní nádrže, tak nádrže podzemní. Ty jsou vhodné i pro využití dešťové vody v domě. Instalují se do nezamrzlé hloubky a je tedy možné je využívat po celý rok. Plastové nádrže bezešvé, tedy monolitické, mají vyšší kruhovou pevnost a jsou tak vhodné na uložení do země. Odolávají mnohem větším tlakům zeminy a mohou být pojížďeny osobními automobily. [14]



## 4.2.1 Úprava a použití dešťové vody

Jedná se o několikastupňovou filtraci vody, která zabraňuje vniku mechanických nečistot. Tato filtrace začíná již při zachycování vody do okapových žlabů a od okapů pokračuje dále nad zemí (odlučovač nečistot v okapovém svodu a okapové vpusti) a také pod zemí a nakonec i v samotné nádrži. Mezi jednotlivé stupně filtrace pak patří:

1. lapač listí v okapovém žlabu – plastová mřížka zabraňující spadu listí do okapu;
2. odlučovače nečistot v okapovém svodu – ve chvíli, kdy přes mřížku nějaké nečistoty propadnou, měl by je zachytit právě tento odlučovač;
3. okapová vpust' (geiger) – různé druhy může obsahovat vysypatelný košík na zachycené nečistoty;
4. filtr – pro využití v zahradě se používá filtrační závěsný koš přímo pod nátok do nádrže (nevýhodou je, že když se filtrační košík zaplní nečistotami a není vyprázdněn, voda i s nečistotami přetéká do nádrže. Pro využití vody v domácnosti je potřeba dokonalejší filtrace vody – využívá se podzemní filtrační šachty. Filtrační šachta se napojuje mezi okapový svod a nádrž a zpravidla umožňuje spojení dvou větví okapových svodů. Po přefiltrování vody umožní odtok čisté vody do nádrže a v případě odtok přebytečné vody a nečistot do kanalizace. Je možné ji nastavit dle hloubky uložení potrubí pomocí teleskopického poklopu jak v pochozí, tak v pojízdné variantě. [14]

Pro čerpání vody z nádrže se využívají v zásadě dvě varianty:

1. Ponorné čerpadlo - Lze ho využít pro dům i zahradu. Je vhodné k čerpání vody ze studní, šachet, nádrží a jiných zásobníků s vodou. Čerpadlo určené pouze pro čerpání vody je ponořeno u dna a vytlačuje vodu z akumulacího prostoru. Je vybaveno integrovanou zpětnou klapkou, která zabraňuje samovolnému vypuštění výtlačného potrubí po uvedení čerpadla mimo provoz;
2. Domácí vodárna - Tento typ čerpadla je vhodný pro využití dešťové vody v domě. Čerpadlo je umístěno v technické místnosti, garáži, prádelně atd. Z akumulacího prostoru je voda nasávána do nádržky čerpadla a odtud tlačena do sekundárního rozvodu na užitkovou vodu v domě. Při nedostatku vody v nádrži dojde k přepnutí a nádržka čerpadla je doplněna příívodem z vodovodního řádu vodou pitnou. Čerpadlo plně vyhovuje požadavkům provozovatelů vodovodů a kanalizací na oddělení okruhu pitné a užitkové vody. [14]

Z akumulacíhých nádrží je vhodné vyvézt bezpečnostní přepad, nejlépe do vsakovacího zařízení. Jedná se o důležitou součást sestavy, protože při přívalových deštích dochází k přeplnění akumulacího prostoru a voda může jednoduše přepadat z nádrže dál. Je tak zabráněno zpětnému zaplavení příívodního potrubí a vylití vody v blízkosti základů domu. Tam, kde není možné vodu vsakovat, je možné individuálně navrhnout jiná řešení. [14]

## 5 LÁTKY V ODPADNÍCH VODÁCH

Voda vypouštěná domácími toaletami, restauracemi s myčkami nádobí, ze zemědělských odtoků, z výrobních procesů a z dalších velkých průmyslových zařízení může obsahovat škodlivé látky. Naštěstí je řada účinných metod, které se používají k získání těchto látek zpět. Kterou použít závisí na tom, které látky a v jakých koncentracích jsou přítomny. [12]

Základnější a málo nákladné způsoby spočívají v přidání látek, které umožní, aby se daly lépe odstranit ty škodlivé. Když se přidá plynný chlór nebo chlórové tablety, chlorace zničí bakterie a jednoduché filtry z uhlí mohou odstranit některé suspendované pevné látky. Jiné metody zahrnují odstranění rozpuštěných látek pomocí koagulace s činidlem jako je alum. [12]

Dalšími procesy jsou ultrafiltrace a nanofiltrace, kde se za použití membrán s malými póry odstraňují kontaminující látky. Membrány jsou vyrobeny z organických sloučenin nebo polymerů tak, aby voda prošla, ale pevné látky se zachytily. Jednou z nejpopulárnějších metod je reverzní osmóza, při které polopropustná membrána odděluje kontaminovanou vodu od té čisté. [12]

Pak to jsou destilační procesy, ve kterých se v podstatě vře voda a ta kondenzuje. Teplota se zvyšuje, ohřívá vodu a tím ničí bakterie. Jak se voda odpařuje, zůstávají jen pevné znečišťující látky. Čistá voda se pak znovu zkondenzuje. Destilace však vyžaduje vysokou spotřebu energie. [12]

### ***Dusík***

Obsah dusíkatých látek v životním prostředí, a tudíž i ve vodách, je nežádoucím jevem z více důvodů. Atmosferický dusík je vázán především ve dvou produktech, tj. amoniaku a dusičnanech. Tyto chemické látky slouží hlavně k výrobě umělých hnojiv, i když jejich produkce se v současné době výrazně nezvyšuje. Amoniak je v půdě vázán poměrně pevně a jeho průnik do podzemních vod je malý. Avšak půdní nitrifikační bakterie jej mohou oxidovat na dusitany a dusičnany, které v půdním komplexu nejsou vázány a pronikají do podzemní vody a toků. Ke zvyšování obsahu dusičnanů ve vodách samozřejmě velkým dílem přispívají dusičnany přímo obsažené v hnojivech. Dalšími významnými zdroji dusíku ve vodách jsou odpady živočišné zemědělské výroby, některé průmyslové celky, splachy s obsahem různých forem dusíku apod. [28]

Metod odstraňování dusíkatých látek není mnoho, jsou buďto chemické nebo biologické. Chemické metody musí vedle dostatečné účinnosti splňovat jeden ze základních požadavků kladených na čištění vod, tj. ve vyčištěné vodě nemohou zůstat jiné chemické látky, ať již jako zbytky vnášených reagentů nebo jako produkty reakce hlavní či reakcí vedlejších. [28]

Prvním vhodným postupem je vícestupňová syntéza. V prvním stupni proběhne aktivovaná reakce kyseliny fosforečné se směsí oxidů kovů, především s MgO. Vznikne přitom vodní suspenze meziprojektu na bázi hydrogenfosforečnanu hořečnatého. Ten se v druhém stupni podrobí konverzi za přesně stanovených podmínek s amoniiovými ionty. Tím se získá hlavní produkt. Ten se separuje filtrací nebo odstředěním a ze zbylého roztoku se ve třetím stupni vysráží nadbytečné reakční komponenty přidávkem hydroxidu vápenatého. Získaný fosforečnan hořečnatoamonný spolu s vedlejším produktem lze výhodně využít jako směsné a vícesložkové hnojivo. Tento proces vyžaduje relativně malé investiční náklady, výrobní zařízení je jednoduché, přesto však, vzhledem ke spotřebě kyseliny fosforečné, je vhodný pro menší kapacity. [28]

Druhá chemická metoda byla vyvinuta v souvislosti s ekologickým využitím prasečích exkrementů, konkrétně s čištěním odpadní vody po methanové fermentaci (vzniku bioplynu). Vlastní technologie je tvořena několika navazujícími stupni:

- Alkalizace  
Voda po methanové fermentaci je alkalizována přidávkem hydroxidu vápenatého – vápenného mléka. Přidáním této silné zásady dojde k substituci amoniových iontů vápenatými a  $\text{NH}_3$  se uvolní z chemické vazby.
- Sedimentace  
Odstraní se málorozpustný uhličitán a fosforečnan vápenatý, které vznikly při alkalizaci.
- Rekuperace  
Znovuvyužití tepla obsaženého v odčpavkované odpadní vodě k předehřátí odpadní vody přiváděné do rektifikační kolony.
- Rektifikace  
Probíhá v rektifikační koloně skládající se z vařáku, vypuzovací části, obohacovací části a kondenzátoru. Při rektifikaci se z vody vyvaří zhruba 90 % přítomného amoniaku a získá se ve formě čpavkové vody.
- Absorpce  
Čpavková voda je pro přímé další použití, zejména pro hnojení, nevhodná, a proto se do ní absorbuje oxid uhličitý ze získávaného bioplynu. Z absorpce vystupuje jako kapalná fáze koncentrovaný roztok technického uhličitánu amonného a bioplyn se sníženým obsahem  $\text{CO}_2$ , tudíž se zvýšenou kalorickou hodnotou.[28]

Biologicky se dusík z vod dostává tzv. biologickou nitrifikací. Tak nazýváme děj, při kterém je amoniakální dusík v oxickém prostředí oxidován hlavně litotrofními nitrifikačními bakteriemi v prvním stupni na dusitany a v druhém na dusičnany. Touto oxidací získávají bakterie energii pro své životní pochody a pro syntézu buněčné hmoty využívají  $\text{CO}_2$ , část přítomného amoniakálního dusíku a další anorganické živiny, zejména fosfor. Biologické

nitrifikaci je přístupný pouze amoniakální dusík. Dusík obsažený v organických látkách musí být nejprve amonifikován (deaminován) činností jiných druhů bakterií. [28]

Pro nitrifikační bakterie je charakteristická dlouhá generační doba. Rostou o řád pomaleji než obvyklé heterotrofní organismy aktivovaného kalu. Musí se proto dbát na dostatečnou dobu zdržení aerobního aktivovaného kalu v nitrifikační nádrži. Vhodné stáří kalu závisí na uspořádání procesu, na zatížení nádrží atd. Pro běžné uspořádání a běžné kolísání obsahu dusíku v komunálních vodách je udáváno vhodné stáří kalu minimálně 4 dny. Pro méně příznivé podmínky může být nutné ještě vyšší stáří. [28]

K biologické nitrifikaci je vhodné přiřadit i biologickou denitrifikaci, což je pochod, při kterém jsou činností organotrofních bakterií v anoxických podmínkách redukovány dusitany a dusičnany až na elementární dusík (někdy na NO či N<sub>2</sub>O), který je tímto postupem z vody odstraňován a vrácen do původní formy. Jako zdroj uhlíku může sloužit jakýkoli biodegradabilní organický materiál – již zmíněný methanol, ethanol, aceton, primární odpadní voda atd. Rychlost denitrifikace je pochopitelně silně ovlivněna charakterem tohoto zdroje. Biologická denitrifikace je vedle zdroje uhlíku citlivá i na řadu dalších parametrů. Jedním z nejdůležitějších je teplota, neboť ovlivňuje růst denitrifikačních mikroorganismů i rychlost eliminace dusíku. S růstem teploty roste i rychlost denitrifikace. Pro denitrifikaci je vhodné pH blízké neutrálnímu. Obvykle je žádoucí, aby odpadní vody přicházející k čištění obsahovaly dusík pouze v oxidované formě. Ten ale bývá ve vodách přítomen i v redukované formě, jako amoniakální nebo organický dusík. Denitrifikace je tudíž proveditelná pouze ve spojení s nitrifikací. [28]

## ***Fosfor***

Množství fosforu v odpadní vodě se uvádí přibližně 3 g na osobu a den a většina z tohoto množství pochází z lidských exkrementů. Do vodotečí se fosfor dostává převážně ze zemědělství. Hovoří-li se o celkovém množství fosforu, obvykle se jedná o sumu těchto tří forem:

- ortofosfáty, tj. soli běžné kyseliny ortofosforečné H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>,
- polyfosfáty, tj. soli polyfosforečných kyselin,
- organicky vázaný fosfor. [28]

Redukce obsahu fosforu v konvenčních biologických čistírnách odpadních vod někde nedostačuje k tomu, aby byl zamezen nežádoucí rozvoj a růst organických organismů. Je proto třeba zavést čistící operaci zaměřenou speciálně na fosfor. Ten může být z vody odstraněn biologicky nebo chemicky. [28]

Při chemických metodách se využívá srážení rozpuštěného fosforu jako ortofosfátů ve formě nízkorozpustných kovových solí. Polyfosfáty takto odstranit nelze. Odstraní se přitom i část organicky vázaného fosforu, neboť je při srážení odstraněna i suspendovaná hmota. Ke srážení se užívá solí hliníku a železa a jejich různých kombinací. Účinek operace samozřejmě závisí na pH (se zvyšováním pH se rozpustnost sloučenin fosforu snižuje). [28]

Nejjednodušším způsobem je použití hydroxidu vápenatého, vedle toho je často doporučováno odstranění fosforu ve formě struvitu. Vápenaté ionty sráží fosfor ve formě hydroxylapatitu při  $\text{pH} > 10,5$ . Vápno zajišťuje dosažení potřebného pH po srážení. Sráženy jsou též polyfosfáty. Potřebné množství  $\text{Ca(OH)}_2$  nezávisí ani tak na obsahu P, ale zejména na obsahu uhličitanů a alkalitě vody. [28]

Struvit je bílá krystalická (ortorombická) látka tvořená Mg,  $\text{NH}_4^+$  a P. Je výhodnou formou pro odstraňování nejen fosforu z odpadních vod, ale zejména je jedinou prakticky využitelnou formou srážení amonných solí. Struvit je využitelný jako výborné hnojivo. Přírodním zdrojem může být guáno či kravský hnůj. Srážení struvitu je ovlivňováno pH, přesycením, teplotou a přítomností nečistot. [28]

Biologické odstraňování fosforu spočívá ve schopnosti akumulace (zvýšení obsahu) P (ve formě polyfosfátů) v některých mikroorganismech. Toho se dosáhne zavedením „přepínání“ prostředí mikroorganismů mezi aerobním a anaerobním režimem, tedy zvláštní kultivací.

Anaerobní zóna musí předcházet aerobnímu aerovanému stupni. Za anaerobních podmínek vznikají činností fermentativních bakterií z organických látek přítomných v odpadní vodě mastné kyseliny, zejména kyselina octová. Tyto vzniklé mastné kyseliny jsou využívány jako substrát bakteriemi schopnými akumulovat polyfosfáty. Ortofosfáty vznikající při hydrolyze a jsou vylučovány do okolní kapaliny. Když mikroorganismy vstoupí do aerobní zóny, znovu ukládají fosfor ve formě energeticky bohatých polyfosfátů. Za přítomnosti kyslíku jsou totiž buňky schopny oxidovat kyselinu poly-beta-hydroxymáseľnou vyšší rychlostí než ostatní rezervní látky, a ta proto slouží jako zdroj uhlíku pro syntézu buněčné hmoty bakterií. [28]

### ***Léčiva***

Většina farmaceutických látek jsou svou povahou biologicky aktivní a hydrofilní, aby je lidské tělo vstřebalo a aby bylo zabráněno degradaci. Když vstoupí do odpadní vody, nejsou obvykle úplně mineralizované. Jsou buď částečně zachovány v kalu, nebo metabolizovány na více hydrofilní, ale stále jsou v trvalé formě, tak projdou čistírnou odpadních vod a končí v recipientu. Jejich odstraňování na ČOV je variabilní a závisí na vlastnostech látek a na procesích (např. retenční čas kalu (SRT), hydraulický retenční čas (HRT) nebo teplota). Koncentrace mnoha farmaceutických látek jsou tak nízké, že se většinou na ČOV ani

nedetekují. I v těchto nízkých koncentracích ničí životní prostředí a mají nepříznivý vliv na vodní organismy. [13]

Aby bylo zajištěno dodržování přísných požadavků na vypouštění odpadních vod, provádí se modernizace stávajících čistíren odpadních vod a zavádění nových technologických procesů. V posledních deseti až patnácti letech je o používání membrán v odpadní rekultivaci velký zájem. Membránová technologie se stala technicky i ekonomicky schůdná alternativa pro čištění odpadních vod, a to zejména z důvodu vysoké SRT dosažené v kompaktních objemech reaktorů. Další výhodou je separace plavenin membránami, takže nejsou omezeny usazovací vlastnosti kalu. [13]

Membránový bioreaktor (MBR) je z přibližně 21 l aktivního objemu a je vybaven dvěma plochými membránami (velikost A4, velikost pórů 0,4  $\mu\text{m}$ ). I když je nominální poréznost membrány 0,4  $\mu\text{m}$ , znečišťující vrstva proteinů a mikroorganismů na povrchu membrán snižuje efektivní pórovitost do 0,01  $\mu\text{m}$ , což přenesse typ filtrace do rozsahu ultrafiltrace. [13]

MBR je provozován paralelně s procesem CAS (aktivační a dosazovací nádrž). Biocenózy z MBR se pěstují z naočkovaných kalů z komunálních ČOV a jsou kultivovány po dobu přibližně jednoho měsíce do dosažených ustálených podmínek. Přítok i odtok je kontrolován a regulován pomocí měřiče průtoků a počítačem řízených čerpadel. Kontinuální provzdušňování se provádí pomocí rozptylovací trubky, která se nachází v dolní části reakční nádoby. Koncentrace kyslíku se udržuje mezi 1 až 2 mg/l a teplota uvnitř reaktoru je cca 20°C po celou dobu. [13]



Obrázek 5.1 MBR nádrž [13]

## ***Těžké kovy***

Největší koncentrace těžkých kovů v odpadních vodách najdeme ve vodách průmyslových. Výroba plošných spojů, galvanické a povrchové úpravy kovů produkují značné množství odpadních vod, které obsahují vysoké koncentrace těžkých kovů, a to zejména kadmium, chrom, měď, nikl, arsen, olovo a zinek. Jiným zdrojem těžkých kovů je dřevozpracující průmysl, kde z ošetření dřeva vzniká odpad arsenu z ošetření dřeva, pigment, který obsahuje sloučeniny chromu a kadmium, chrom, niklem znečištěné katalyzátory z rafinace ropy atd. Všechny tyto výrobní procesy produkují velké množství odpadních vod, zbytků a kalů, které se řadí do kategorie nebezpečné a které je potřeba rozsáhle čistit. [16]

Vzhledem k jejich vysoké rozpustnosti ve vodě, mohou být těžké kovy absorbovány živými organismy a jakmile se dostanou do potravinového řetězce, mohou se začít hromadit v lidském těle. Pokud se do těla dostanou ve větší koncentraci než je povoleno, mohou způsobit vážné zdravotní problémy, včetně snížení růstu vývoje, rakoviny, poškození orgánů, nervové poškození systému a v extrémních případech i smrt. Při vysokých koncentracích mohou dokonce způsobit poškození mozku. Z tohoto důvodu, je třeba je odstranit z odpadních vod před tím, než se vypustí do okolního prostředí. K tomu slouží limity koncentrací těžkých kovů v odpadních vodách, které se smějí vypouštět do kanalizační sítě.[16]

**Tabulka 5.1 Limity koncentrací pro těžké kovy [16]**

<b>Kov</b>	<b>Projevy na lidský organismus</b>	<b>limit [mg/l]</b>
Arsen	kožní projevy, viscerální nádory, cévní onemocnění	0,050
Kadmium	poškození ledvin, lidský karcinogen, renální poruchy	0,010
Chrom	bolest hlavy, průjem, nevolnost, karcinogenní	0,050
Měď	poškození jater, Wilsonova choroba, nespavost	0,250
Nikl	nevolnost, chronické astma, karcinogen	0,200
Zinek	deprese, letargie, poškození mozku	0,800
Olovo	onemocnění ledvin, oběhový a nervový systém	0,006
Rtuť	onemocnění ledvin, artritida	0,00003

Jejich odstranění z odpadních vod lze dosáhnout různými procesy, jako je chemické srážení, iontové výměny, flotace, adsorpce, a elektrochemické odstraňování. K nejrozšířenějším úpravám patří chemické srážení. Jako nejčastější srážedla se používají vápno a vápenec a to hlavně díky jejich dostupnosti a nízkým investičním nákladům. Srážení vápnem může být použito i ve vysokých koncentracích, více než 1000 mg/l. Jeho další výhodou je jednoduchost postupu, nízké provozní náklady a bezpečný provoz. Nevýhodou je velké množství chemikálií na vysrážení, nadměrná produkce kalu, pomalé srážení kovu a dlouhodobé dopady na životní prostředí z likvidace kalu. [16]

## ***Rtuť***

Rtuť je nejvíce používána v zařízeních na měření teploty nebo na výrobu zářivek. Jiné využití rtuti je při výrobě řady průmyslových chemikálií. Elementární rtuť je důležitá přísada pro zubní amalgámy. Příkladem je Thiomersal, organická sloučenina používaná ve vakcínách jako konzervační látka nebo Merbromin, topický antiseptický přípravek na menší škrábance. Hlavní použití rtuti je ve formě rtuťové buňky (Castner-Kellnerův proces). Občas se kapalná rtuť používala jako hnací médium pro jadernou energii reaktorů. Nyní se nahrazuje sodíkem kvůli vysoké hustotě rtuti. [29]

Hlavní zdroje rtuti v odpadních vodách pocházejí z průmyslu a jsou hrozbou pro vodní život i pro pitnou vodu. Jedním z přírodních zdrojů rtuti jsou sopky, které produkují téměř polovinu emisí rtuti v atmosféře. Druhá polovina emise je generována lidmi různými prostředky, včetně spalování, výroby zlata, výroby v odvětví kovů, při výrobě cementu, při likvidaci odpadů včetně komunálního odpadu a při výrobě hydroxidu sodného. [29]

Obsah rtuti ve vodách je velmi nebezpečný pro lidský organismus. Rtuť může být toxická ve formě organických i anorganických sloučenin. Může způsobovat chronickou i akutní otravu. Řeky a jezera v blízkém okolí průmyslu mohou obsahovat výpustky rtuti, což může mít fatální důsledky pro lidský život i život ve vodě. Tyto malé koncentrace se mohou hromadit v žaludku a zůstat nestravitelné, což má za následek vznik nádorových onemocnění. Dlouhodobé působení rtuti by mohlo způsobit vážné poškození nervové soustavy, mozku, ledvin, podráždění plic, podráždění očí, kožní vyrážky, zvracení aj. [29]

Odstranit rtuť lze pomocí adsorpce. Při tomto procesu se absorbují kontaminované molekuly plynu přes povrch aktivního uhlí. Aktivace je prováděna řízeným oxidačním procesem při vysoké teplotě. Účinnost adsorpce závisí na charakteristice kontaminující látky a teplotě. [29]

Další odstranění rtuti se provádí pomocí bio filmu. Biofilm se sestává ze složité struktury mikroorganismů, které rostou na pevném substrátu. Nejdůležitější u těchto biofilmů je šetrnost provozu k životnímu prostředí a regenerace za použití nejnovějších technik. Tyto biofilmy poskytují skvělé podmínky pro adsorpci rtuti a v blízké budoucnosti by mohly být hlavní technologií pro získávání rtuti. [29]

Rtuť lze odstranit i chemickým srážením, a to pomocí  $\text{HgSO}_4$ , který je výsledkem chemické reakce rtuti s kyselinou sírovou. Tento proces začíná koncentrovanou kyselinou  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (80%) při teplotě nižší než  $50^\circ\text{C}$ . Druhá fáze se provádí v konvenční věži pracující s 93%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Později se pomocí reakce rtuti s kyselinou vytvoří sulfid měďnatý, který se separuje. Není to moc používaná metoda, vzhledem k náročnosti procesu a nákladům na chemikálie. [29]



## ***Olovo***

Nejčastějším zdrojem olova v odpadních vodách jsou vody z průmyslu, hlavně z továren, kde se pracuje s plošnými spoji, zařízením pro montáž elektroniky, zařízením na recyklaci baterií a z výluhu skládek. U plošných spojů je největším zdrojem olova pájení a leptání. U baterií se olovo nachází v kyselině sírové, která je uvnitř baterie. Ve výluhu skládky lze olovo nalézt jako tetraethyl-olovo, organokov. [30]

Odstranění olova z vody může být použitím koagulace, pískové filtrace a výměny iontů. Navíc lze použít aktivního uhlíku, filtraci médií a reverzní osmózu. Vzhledem k tomu, že hydroxid olova je mírně rozpustný, nelze jej upravovat úpravou pH na regulované koncentrace. Často se zpracovává srážením sulfidu olova nebo fosfátu s použitím dvoustupňového procesu. Může být také ošetřen redukcí nebo iontovou výměnou. Při použití výměny iontů je obtížné odstranit olovo z pryskyřice regenerací, vyžadující odstranění vyhořelé pryskyřice. [30]

Organokovové látky jsou obzvláště obtížně zpracovatelné, protože olovo není vhodné pro tvorbu sraženiny. Organická sloučenina musí být buď oxidována, aby uvolnila olovo, nebo může být adsorbována na uhlík za účelem odstranění olova jako organického komplexu. V každém případě je to obtížné a nemusí být účinné. [30]

Olovo se z odpadních vod odstraňuje použitím emulzní tekuté membránové techniky. Odpadní voda z průmyslových zásobníků má počáteční koncentraci olova 4,2 ppm (průměr) a hodnotu pH 1,4. Emulzní kapalná membrána sestává z kerosinu a minerálního oleje jako organických rozpouštědel, sorbitanmonooleátu (Span 80) jako povrchově aktivního činidla, di-2-ethylhexylfosforečné kyseliny (D2EHPA) jako nosiče nebo extrakčního činidla a kyseliny sírové (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) jako stripujícího činidla. Systém, který nastaví pH na hodnotu 4,0, zaručí maximální odebrání olova během prvních 5 minut a sníží zákal. [30]

Další metodou odstraňování olova z odpadní vody je s použitím polymethakrylátu Cu (II) vytvořeného radiací Gama. Při této práci se polymethakrylát Cu (II) získává gama ozářením odpovídajícího monomeru. Polymer je smíchán s vodnými roztoky Pb (II) pro odstranění této znečišťující látky z kapalně fáze. Odstranění Pb (II) probíhá pomocí adsorpčního mechanismu typu Langmuir, který byl zjištěn jako funkce doby kontaktu mezi polymerem a roztokem. Díky této metodě je dosaženo 60% snížení koncentrace olova v kapalině. [30]

## ***Fosfáty***

Fosfor, který se vyskytuje v průmyslových a komunálních odpadních vodách, je téměř vždy ve formě fosfátu. Fosfáty jsou nezbytné pro rostliny a zvířata, ale příliš velké množství přispívá k eutrofizaci a zanešení našich řek a jezer, což umožňuje řasám růst tak hojně, že umírají kvůli nedostatku světla. K rozkladu řas se využívá rozpuštěný kyslík ve vodě, což vede k jeho úbytku ve vodě a následnému úhynu ryb a jiného vodního života. [24]

Existuje mnoho zdrojů fosfátů v průmyslových a spotřebních výrobcích, protože jsou dobrými čisticími prostředky a mazivy. Fosfor v detergencích na mytí a mytí nádobí byl omezen regulací v mnoha státech, maximálně o 0,5%, oproti předchozím limitům o 8,7%. Větší problém je přítomnosti fosfátů v moči, protože moč má přibližně 60% fosfátů v odpadních vodách v domácnostech - jaké je pak procento v továrnách nebo kancelářských budovách se stovkami pracovníků? V horkém počasí se situace zhoršuje kvůli spotřebě nealkoholických nápojů. Typické nealkoholické nápoje mají přibližně stejný obsah fosforu - 0,5% - jako prací prostředky. Dalším velkým problémem jsou fosfáty z hnojiv a moči zvířat v zemědělství. Bohužel pro životní prostředí jsou průmyslové čističe a některé menší čističky odpadních vod osvobozeny od limitu na fosfáty a nezabývají se jejich odbouráváním z odpadní vody. [24]

Odstranění fosforu z odpadní vody zahrnuje srážení fosfátu a následné odstranění pevných látek. Fosfor může být začleněn do biologických pevných látek (např. Mikroorganismů) nebo do chemických precipitátů. Chemické srážení se používá k odstranění anorganických forem fosfátu přidáním koagulantu a míchání odpadní vody a koagulantu. Nejvíce používanými ionty vícemocných kovů jsou vápník, hliník a železo. [25]

Vápník se obvykle přidává ve formě vápence  $\text{Ca(OH)}_2$ . Reaguje s přirozenou zásadou v odpadní vodě za účelem výroby uhličitanu vápenatého. Vzhledem k tomu, že hodnota pH odpadní vody vzroste nad hodnotu 10, přebytečné ionty vápníku potom reagují s fosforečnanem, aby se vysrážely v hydroxylapatitu. [25]

## 6 CELULÓZA

Celulóza je látka, která tvoří většinu buněčných stěn rostlin. Vzhledem k tomu, že je obsažena téměř ve všech rostlinách, je to patrně nejrozšířenější látka na Zemi. Kromě toho, že je primární stavební materiál pro rostliny, má mnoho dalších využití. Podle toho, jak je upravena, může být celulóza použita k výrobě papíru, filmu, výbušnin, plastů atd. U lidí je celulóza také důležitým zdrojem vlákniny v naší stravě. [17]

Z chemického a biologického hlediska je celulóza popsána jako komplexní sacharid. Sacharidy jsou organické sloučeniny složené z uhlíku, vodíku a kyslíku a slouží jako zdroje energie pro žijící organismy. Rostliny jsou schopny vyrábět vlastní sacharidy, které využívají k energii a ke stavbě buněčných stěn. Celulóza je ideální jako strukturální materiál, protože její vlákna poskytují rostlinám pevnost a houževnatost listům, kořenům a stonkům. [17]

Jako hlavní složka buněčných stěn rostlin má celulóza strukturální nebo skeletální funkci. Stejně jako naše tvrdé kosti kostry poskytují oporu pro naše svaly a podporují naše tělo, tak pevnou oporu u rostliny způsobuje síla jejich buněčných stěn. Buněčná stěna je přirovnávána ke způsobu, jakým se vyrábí železobeton, přičemž celulózová vlákna působí jako výztuže nebo ocelové tyče v betonu (poskytující mimořádnou pevnost). [17]

Navzdory skutečnosti, že lidé (a mnoho dalších zvířat) nemohou trávit celulózu (což znamená, že je jejich trávicí systém ji nedokáže rozložit do svých základních složek), je celulóza velmi důležitou součástí zdravé lidské stravy. To proto, že tvoří hlavní část vlákniny, o které víme, že je důležitá pro správné trávení. Vzhledem k tomu, že celulózu nedokážeme rozbít a prochází v podstatě beze změn, funguje jako hrubý materiál, který napomáhá pohybu našich střev. [17]

Ze savců mohou zpracovávat celulózu pouze ti, kteří jsou přežvýkavci (zvířata, jako jsou krávy a koně) a hlemýžď zahradní. Je to proto, že mají ve svých trávicích traktech zvláštní bakterie a mikroorganismy. Poté jsou schopni absorbovat rozloženou celulózu a využít z ní cukr jako zdroj potravy. Houby jsou také schopny rozložit celulózu na cukr, který mohou absorbovat, a hrají hlavní roli při rozkladu (hnilobě) dřeva a jiného rostlinného materiálu.

### 6.1.1 Výroba celulózy

Celulóza je jednou z nejrozšířenějších přírodních látek a stala se jednou z nejdůležitějších komerčních surovin. Hlavními zdroji celulózy jsou rostlinná vlákna (bavlna, konopí, len a juta jsou téměř celá) a samozřejmě dřevo (asi 42 procent celulózy). Vzhledem k tomu, že celulóza je nerozpustná ve vodě, je snadno oddělitelná od ostatních složek rostliny. [17]

Surová bavlna je 91 procent celulózy a její vláknité buňky se nacházejí na povrchu bavlníkových semen a na každém semenu jsou tisíce vláken. Tyto vláknité buňky jsou krouceny, aby vytvořily nit nebo přízi, která se tká a dále slouží k výrobě textilu. [17]

Protože celulóza snadno reaguje na silné báze a kyseliny, chemický proces se často používá k výrobě jiných produktů. Například tkanina, známá jako umělý hedvábný materiál, a průhledná fólie z filmu, zvaná celofán, jsou vyráběny s použitím vícestupňového procesu,

kteřý zahrnuje kyselá lázně. Ve směsích, kde je kyselina dusičná a kyselina sírová, celulóza může tvořit to, co se nazývá guncotton nebo dusičnany celulózy, které se používají pro výrobu výbušnin. [17]

Když se smíchá s kafrem, celulóza produkuje plast známý jako celuloid, který byl používán pro film v raném filmu. Nicméně, vzhledem k jeho hořlavosti, byl nakonec nahrazen novějšími a stabilnějšími plastovými materiály. Ačkoli celulóza je stále důležitým přírodním zdrojem, mnohé z produktů, pro které byla dříve hlavní surovinou, se nyní vyrábějí snadněji a levněji pomocí jiných materiálů. [17]

### ***Mechanická celulóza***

Vlákna jsou získávána mechanickou cestou (kmeny jsou rozemílány za současného přidávání vody). Výsledný papír se označuje jako dřevitý. Zefektivnění lze dosáhnout působením vyššího tlaku, teploty a chemikálií. Výhody jsou ve vynikající výtěžnosti (více než 90% dřeva) a vynikající tiskové vlastnosti. Dalším možným mechanickým postupem je znovuzískání celulózy z toaletního papíru v odpadní vodě. [26]

Nevýhodou je nízká pevnost a nažloutlost papíru, což je způsobeno vysokým množstvím nežádoucího ligninu. Takovýto papír se používá na noviny, periodika, prodejní katalogy a na všeobecné výrobky, kde není požadována dlouhá životnost. [26]

### ***Chemická celulóza***

Vlákna jsou získávána chemickou cestou (štěpky jsou vařené ve velkých kotlích s příslušnými chemikáliemi, kde se rozpustí lignin a vlákna se tak uvolní. Podle použitých chemikálií můžeme postup rozdělit na sulfitový (kyselá chemikálie - nižší pevnost papíru) a sulfátový (zásadité chemikálie - vyšší pevnost papíru). Dřevěná vlákna se po tomto rozpouštění nepoškozují. Takto vzniklý papír je nazýván jako bezdřevný. [26]

Celulóza sulfátová má velmi dobrou pevnost, dobrou potiskovatelnost a je energeticky více než soběstačná. Nevýhodou je obtížnější bělení, než u sulfitové celulózy a nižší výnos oproti mechanické celulóze. V dnešní době je nejčastěji používaná, protože je šetrnější k životnímu prostředí. [26]

Celulóza sulfitová má sice jednoduchý způsob bělení ale nižší pevnost, nižší výnos oproti mechanické celulóze a znečišťuje vodní toky. [26]

## **6.1.2 Získávání celulózy z odpadních vod**

### ***ČOV Ulrum, Nizozemsko***

V Nizozemsku se za jednu minutu vyplaví do kanalizace 420 000 litrů odpadní vody a během stejné doby tu spotřebují 1 330 rolí toaletního papíru, což je 700 milionů rolí za rok. Na osobu je to přibližně 10 až 14 kilogramů toaletního papíru, na což je spotřebováno 12 900

stromů. Právě tyto informace vedly k vyvinutí technologie CADoS, která je schopná využít 105 milionů kilogramů sušiny celulózy za rok. [19]

Během Aquatechu v roce 2015 vyvinula holandská technologická společnost Brightwork technologii k regeneraci celulózy z odpadních vod. Technologie CADoS (Cellulose Assisted Dewatering of Sludge), neboli systém na odvodnění kalu za získání celulózy, je zaměřen na separaci celulózových vláken z toaletního papíru z odpadních vod technologií finescreening. Tato technologie byla na zkoušku umístěna na ČOV Ulrum v Nizozemsku.[18]



Obrázek 6.1 – ČOV Ulrum, Nizozemsko [20]

CADoS je společný podnik šesti nizozemských stran: Brightwork, Waterboard Noorderzijlvest, Wetterskip Fryslân, Univerzita v Groningenu, Attero a Centrum odborné vodohospodářské techniky a získal ocenění Water Innovation Award 2014. Systém je založen na získávání celulózových vláken ze surové komunální odpadní vody. To je zásadní nový způsob recyklačního myšlení s globálním potenciálem. Celulózová vlákna z toaletního papíru jsou oddělené od odpadní vody v čistírně odpadních vod. Výhody jsou hned zřejmé. Tato metoda je velmi jednoduchá, spotřeba chemikálií je minimalizována, nižší spotřeba elektřiny pro provzdušňování, menší pravděpodobnost uvolnění fosfátu a nižší objemy kalu, což vede ke snížení dopravních pohybů a následných nákladů. [19]

Princip CADoS je aplikován v prototypovém zařízení v plném rozsahu na ČOV Ulrum v Nizozemsku. Kromě provozních výhod je výhodou získávání tzv. celulózového kalu, což je cenný produkt pro další zpracování. Zpočátku pro výroby bioplynu, ale v pozdější fázi jako surovina pro bioplasty. Tento koncept lze použít v malých i velkých čistírnách odpadních vod. [19]

Technologie CADoS byla vyvíjena v úzké spolupráci s příslušnými odvětvími, výzkumnými ústavy a nizozemskými orgány Noorderzijlvest a WetterskipFryslân. Výsledkem je tvrzení, že biologická úpravna CADoS, instalovaná na ČOV Ulrum, funguje. Je unikátní ve světě a její jednoduchost vede k významnému objevu v čištění odpadních vod.

Výhodou technologie je, že biologický kal se okamžitě zbaví vody, což zamezí uvolňování fosfátů z kalu. Kromě toho, odvodnění biologického kalu je lepší, než zahuštěného přebytečného kalu. Další výhodou je, že oddělená vlákna se separují a neputují dále do biologického stupně, čímž se ušetří energie na provzdušňování. [19]

Technologie spočívá ve vytvoření filtračního koláče na rotujícím pásu jemných česlí, což podporuje separaci menších částic, než je typická velikost ok síta. Na horní části filtračního pásu dochází k zahušťování a poté filtrační koláč klesá do odvodňovacího lisu. V závislosti na složení přítoku shrabky obsahují 60 až 80% vláken celulózy. [19]

Biologický stupeň produkuje přebytečný aktivovaný kal, který je extrahován z proudu zpětného kalu a poté zahuštěn konvenčním způsobem. Princip CADoS je založen na stažení kalu přímo z aktivační nádrže a přidává se k přítoku do filtračního koláče. Kal se současně zahušťuje a přivádí na odvodňovací lis, na kterém je odvodněn alespoň na 30% sušiny. Rozhodující pro vhodný odvodňovací proces je poměr sušiny celulózy a sušiny v odvodněném kalu. To ovlivní odvodnění a také procento konečné sušiny ve směsi. Laboratorní testy ukázaly, že potřebný poměr sušiny celulózy a sušiny odvodněného kalu 0,3:1, je proveditelný. Odvodněná směs kalu a buničiny je přepravena do kontejneru a pravidelně přepravován nákladním automobilem do posledního bodu procesu, kde je z ní vyráběn bioplyn. [19]



Obrázek 6.2 Odvodněná směs kalu a buničiny, ČOV Ulrum, Nizozemsko [20]

### Výhody CADoS:

- Odvodněný kal obsahuje vyšší obsah organické hmoty, ze které se vyrobí více bioplynu
- Odstranění organického materiálu před biologickým stupněm
- Snížení energie potřebné na provzdušnění až o 15%
- Snížení objemu přebytečného kalu a tedy snížení počtu přeprav pro likvidaci kalu (u ČOV, kde byl tento systém nainstalován, snížení počtu ujetých kilometrů o 75%)
- Výroba zelené energie a biomateriálů (celulóza, bioplasty, fosfáty)
- Proces zpracování kalů výrazně zjednodušen – může být odstraněno několik kroků[19]

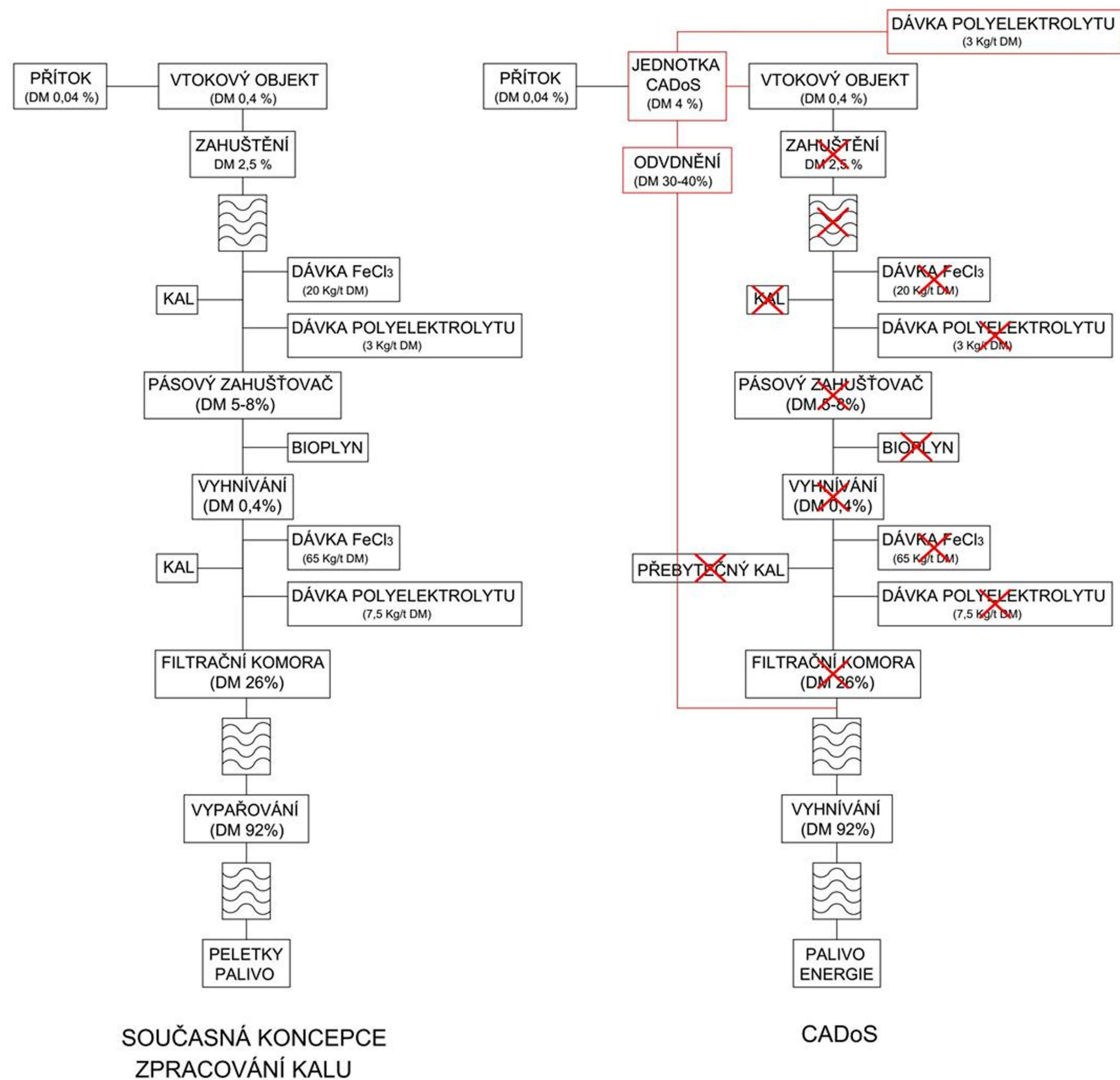


Obrázek 6.3 Pilotní jednotka CADoS, ČOV Ulrum, Nizozemsko [18]

Získané vlákno celulózy se dá dále využívat například na výrobu bioplastů. Jakmile je celulóza odstraněna z odpadních vod, mohou být vlákna přepravována do zařízení, kde se dále zpracovávají jako celulózový kal. Příkladem tohoto procesu je instalace finescreen na ČOV Ulrum, Nizozemsko.[19]

Koncept CADoS je určený především pro čistírny do 80 000 EO. Tyto menší ČOV jsou většinou umístěny ve vnější oblasti, což vyžaduje delší dopravní trasy. Tato koncepce vede ke snížení najetých kilometrů, což ušetří náklady na převoz, dopravní komunikace a sníží emise.

Znovuzískáváním celulózy z odpadních vod touto metodou se značně snižuje objem produkovaného odpadu. Rovněž se tím zjednodušuje zpracování čistírenských kalů. Díky této technologii a následné výrobě bioplynu může být vytopeno 41 500 domácností, ročně dodána elektřina do 54 700 domů nebo ohříváno odpadním teplem 27 200 domů. [19]



Obrázek 6.4 Schéma porovnání kalového hospodářství, ČOV Ulrum, Nizozemsko[19]

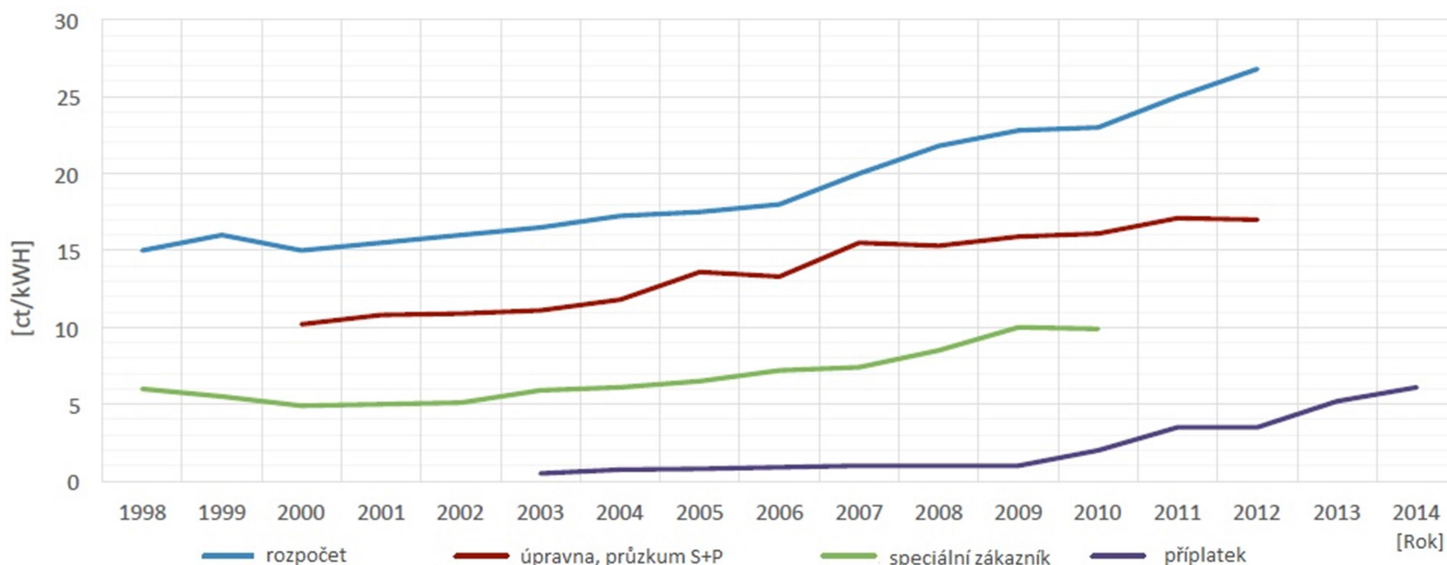


## 7 ZKUŠENOSTI HUBER SE ZÍSKÁVÁNÍM CELULÓZY

Vzhledem ke stále častějším debatám ohledně omezených zdrojů a ke stále rostoucí poptávce po energetických úsporách je zaměření se na získávání surovin z odpadní vody inovativní tah, který si žádá pozornost. V Německu existuje asi 1 200 čistíren odpadních vod s kapacitou od 10 000 do 50 000 EO a třetina z nich nyní má kalové hospodářství, kde je potenciál pro přechod z aerobní stabilizace kalu na anaerobní. Anaerobně stabilizovaný kalový proces byl z hlediska účinnosti mnohem výnosnější a to i na čistírnách pro méně než 20 000 EO. Rostoucí cena elektřiny a tepla a stále rostoucí náklady na likvidaci kalů má za následek, že čistírny odpadních vod navrhované na 10 000 EO uvažují o inovaci stávajícího zařízení. [21]

S přechodem z aerobního na anaerobní proces stabilizace kalu souvisí ultra-jemné procesy. Umístěním jemných sít k primární nádrži se najednou výrazně sníží investiční náklady a potřebný prostor. Snížením CHSK v biologickém stupni čistírny se zamezí větrání energie, což šetří další náklady. Podle způsobu stabilizace kalu, může potřeba energie na anaerobní čistírnu pro 15 000 EO, která poskytuje provoz 24 hodin, klesnout o 470 000 kWh ročně, což udělá zhruba 0,14 centů bez DPH za kWh. To v nákladech ušetří cca 85 000 €. Celkově přechod z aerobní na anaerobní stabilizace kalu snižuje náklady přibližně o 20-25%. [21]

Vývoj cen v Německu od roku 1998 do roku 2014



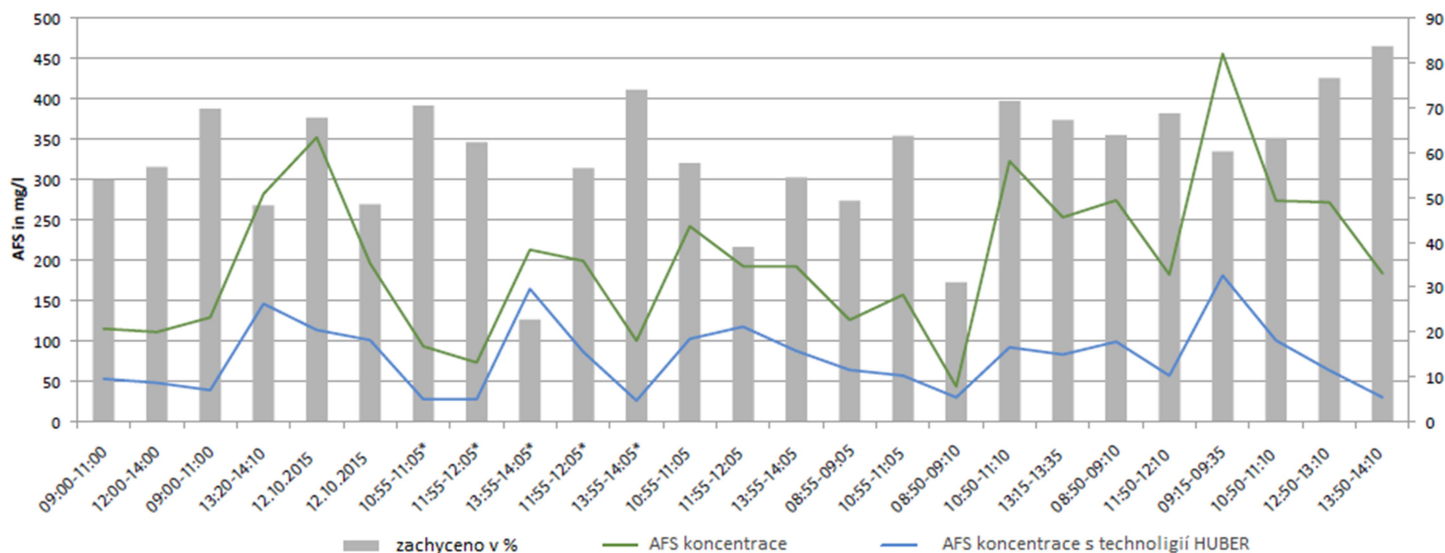
Obrázek 7.1 Graf vývoje cen v Německu od roku 1998 do roku 2014 [21]

Graf ukazuje vývoj ceny elektřiny za posledních 17 let. Je vidět jasná tendence růstu ceny energie a očekává se, že i nadále poroste. A proto v rámci výzkumného projektu odpadních vod je důraz kladen na výnos z bioplynu ve spolupráci s výzkumným zařízením ISA (RWTH Aachen) a Wasserverband. Nové principy jsou testovány a upravovány, což není možné, bez nezbytné technologie a strojů HUBER. [21]

Projekt je realizován na čistírnách odpadních vod v parku Ruhrverband, s celkovým počtem 68 komunálních čistíren s širokou škálou velikostí a procesů. Zde se v kogeneračních jednotkách na zpracování bioplynu z anaerobní stabilizace kalu vyrábí elektrická a tepelná energie, která je převážně použita pro vlastní potřebu čistíren. [21]

Tento projekt byl zahájen na počátku roku 2015 a zahrnuje období tří let. Výsledkem je, že použití jemného síta namísto tradiční primární dosazovací nádrže je daleko účinnější. Jak je vidět na grafech, průměrná koncentrace CHSK klesla o 34 až 41%. [21]

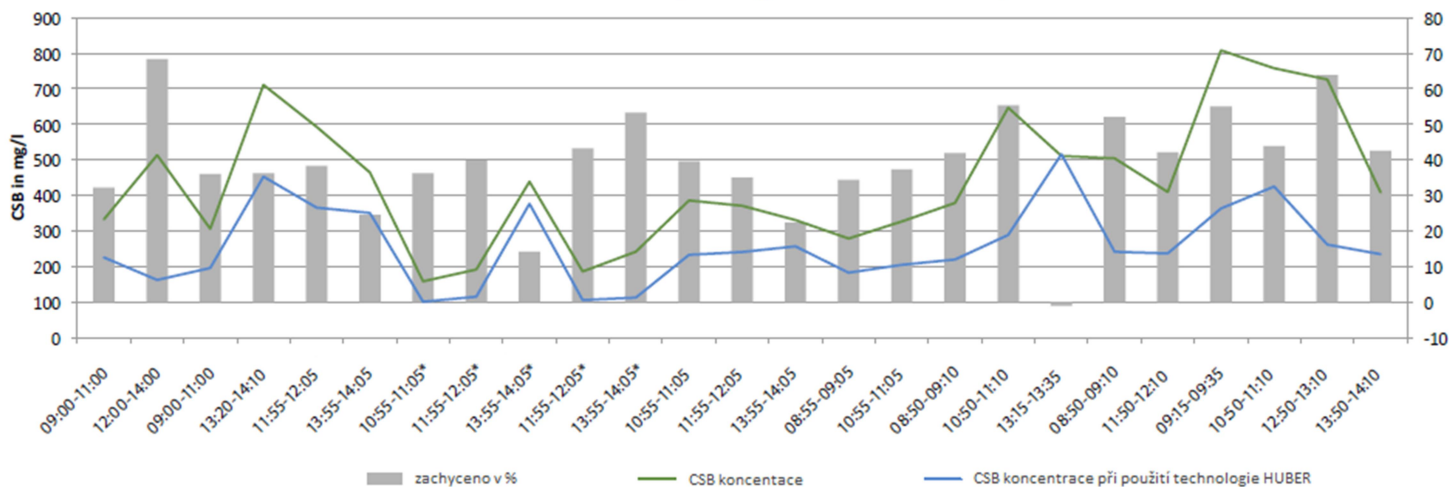
Snížení koncentrace AFS pomocí technologie HUBER v období září až říjen



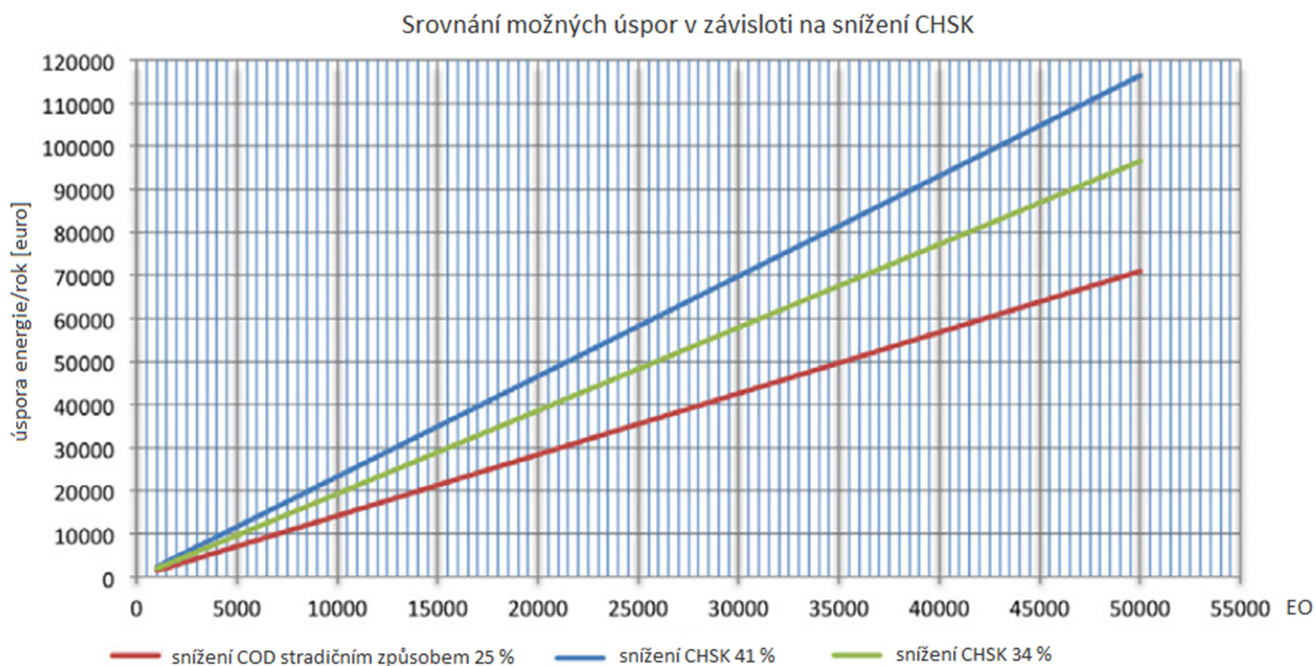
Obrázek 7.2 Graf snížení koncentrace AFS [21]

Graf shrnuje účinnost sběru ve srovnání se standardními hodnotami. Použitím této technologie zachycování, může být dosaženo zvýšení AFS o 3-10% oproti předchozímu zpracování. Dle grafu je vidět, že se mohou úspory měnit v závislosti na počtu ekvivalentních obyvatel. V odpadní vodě se očekává CSB cca 120 g/d/EO. V primární dosazovací nádrži, kde je doba zdržení 0,5-1 hodiny, se počítá se snížením AFS o 25%, 34% a 41%. [21]

Snížení CSB na čistírně odpadních vod od září do listopadu 2015



Obrázek 7.3 Graf snížení CSB [21]



**Obrázek 7.4 Graf srovnání možných úspor v závislosti na snížení CSB [21]**

Celkové snížení při použití předčištění je specifické. Náklady na elektřinu pro stabilizační provzdušňovací aerobní systémy jsou 473,040 kWh/rok nebo 31,5 kWh/(EO\*A) a u anaerobního stabilizačního systému 354 780 kWh a 23,65 kWh/(EO\*A). Pomocí jemného síta mohou být specifické náklady na napájení sníženy o 20,81 kWh. [21]

Graf ukazuje úspory odebrané ze systému s použitím Huber Wash Press WAP®, kde kal byl předem odvodněný na cca 3-4% a při odvodnění nebyl použit žádný polymer. Produkce je denně cca 335 kg kalu. Zvyšováním obsahu TS až na 10% se zvyšuje stupeň zahušťování a snižuje objem kalu až na 100 kg/den. Díky tomu je úspora až 36,5 tun kalu ročně, což za rok ušetří mnoho energie na manipulaci a převoz. [21]

Množství CSB za rok se vypočítá následujícím způsobem:

Redukce 25% odstranění CSB (0,5-1h doba zdržení)..... 10,95 kg CSB/(EO\*Rok)

10,95 kg CSB/(EO\*rok) \* 10 kWh/Nm<sup>3</sup> metanu \* 0,35 Nm<sup>3</sup> metan/kg

CSB = 38,33 kWh/(EO \* rok) (energetický potenciál) [21]

Při účinnosti z CHP přibližně 41% se pro energetický potenciál aplikuje:

0,41 \* 38,33 kWh/(EO\*rok) = 15,72 kWh/(EO\*rok). [21]

Na 36,5 tun výsledného kalu vyrobeno takto je návratnost na recyklaci u čistíren pro a 15 000 EO cca 235,8 kWh/a, což je úspora 14 centů/kWh bez DPH. To pro čistírny znamená úsporu pro vlastní použití cca 33 531 €/rok bez DPH. Vezmeme-li v úvahu analýzu poplatku DPH, můžeme dodatečně přidat kompenzaci 10 488 € bez DPH. Celkově tak může zmodernizovaná čistírna pro 15 000 EO ušetřit 16 817 €/rok bez DPH z provzdušňovací energie. [21]

Technologie finest screening umožňuje redukcí CSB až o 34%, což vede k většímu množství vyrobené elektřiny a tím se ve výsledku ušetření cca 59 839 €/rok bez DPH. V tabulce je srovnání úspor při použití technologie finest screening pro alespoň 34% snížení CSB. Jemné síto může v závislosti na aplikaci ušetřit přibližně 7% úspor elektrárny. [21]

Tabulka 7.1 Tabulka srovnání úspor [21]

	energetický potenciál	energetický potenciál	úspory přes vlastní využití bez DPH	Úspora Bez DPH	celková Úspora Bez DPH	úspora bez DPH	úspora s DPH
	[kWh/(EO*a)]	[kWh/a]	14 ct/kWh [€/a]	[€/a]	[€/a]	[€/EO*a]	[€/EO*a]
CSB 25 %	15,72	235 800	33 531	10 488	44 019	2,24 €	3,71 €
CHSK 34%	21,37	320 550	45 582	14 257	59 839	3,04 €	5,05 €

Jak je vidět, může se pomocí této technologie šetřit celkem až 60 832 €/rok bez DPH. To znamená konkrétní úsporu 4,05 €/(EO\*rok) bez DPH. Za pomoci jemného síta, s přihlédnutím k úsporám od zabránění větrání energie a k vyrobené elektřině, je celková úspora cca 5,53 €/(EO\*rok). [21]

U technologie finest screening se předpokládá složení bioplynu ve fermentoru, který má být testován, cca 63% obsahu metanu a 37% obsahu oxidu uhličitého. Tabulka 7.2 ukazuje výsledky testu fermentace, kdy při vyšších teplotách byla prováděna fermentace po dobu 21 dnů. [21]

Tabulka 7.2 Výsledky fermentace

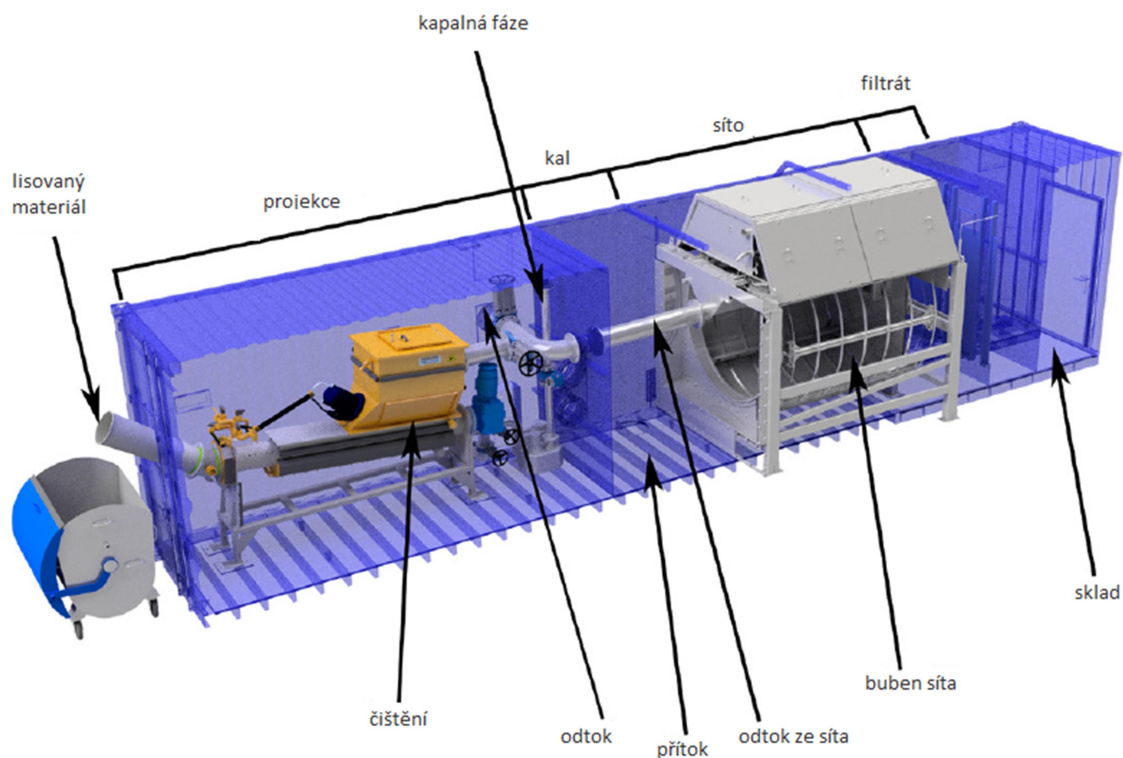
sušina TR	5,4 %
ztráta	89,44 %
organická sušina	4,83 %
kal	350 ml
navážka vzorek	25,62 g

Náklady spojené s přebudováním primárních čističek na finest screening byly počítány v souladu s pokyny KVR (Pokyny pro provádění dynamického porovnání nákladů / LAWA) z DWA. Výpočet příslušných nákladů na projekt po dobu 30 let ukazují, že přebudování primární čistírny na technologii finest screening je výhodné. Očekává se větší výtěžnost bioplynu a ušetření nákladů. [21]

Podle LAWA se hodnoty úspor vypočítávají s různými úrokovými sazbami a označí se, jaká je současná hodnota nákladů na projekt pro provozovatele na celých 30 let projektu. Lhůta amortizace pro stavebnictví a pro čistírny odpadních vod je stanovena také na 30 let. Přesné podrobnosti o výpočtu uvádějí pokyny DWA pro provádění dynamického srovnání nákladů. Výpočet počítá i s náklady na reinvestice strojních součástí (každých 10 let) a po 15 letech s výměnou některých strojů (čerpadla, hnací motory, atd). Ve srovnání s klasickými čistírnami tyto opatření ušetří až 19% z nákladů. [21]

Tabulka 7.3 Tabulka porovnání technologie čistírny[21]

	primární nádrž	finest screening HUBER
výtěžnost bioplynu na výrobu energie	55 720	75 746
počet ekvivalentních obyvatel	15 000	15 000
<b>specifický výtěžek bioplynu</b>	<b>3,71</b>	<b>5,05</b>
náklady na projekt	18 100	14 700
počet ekvivalentních obyvatel	15 000	15 000
<b>specifické IK</b>	<b>1,20</b>	<b>0,98</b>
náklady na větrání energie	63 860	56 197
počet ekvivalentních obyvatel	15 000	15 000
<b>specifické BK</b>	<b>4,26</b>	<b>3,75</b>
<b>primární léčba</b>		<b>5,46</b>
<b>náklady</b>		<b>4,73</b>
<b>snížené náklady díky finest screening</b>		<b>0,73</b>



Kontejnerový systém HUBER

Obrázek 7.5 Mobilní kontejnerový systém HUBER [21]

Aby bylo dosaženo cíle, kterým je technologie finest screening, je třeba přebudovat primární zpracování kalu z aerobního na anaerobní a na místo dosazovací nádrže umístit HUBER drum screen LIQUID. Jedná se o novou technologii firmy HUBER, která vychází z tradičního principu HUBER ROTAMAT®. Prosévací zařízení je založeno na inovativním vývoji a umožňuje univerzální použití pro odvodňování. Technologie dosahuje vysokého výkonu s velmi dobrou separační účinností. Je schopna snížit AFS materiálu o 53-60% a CSB/BSB<sub>5</sub> o 34- 41% . Toto snížení odpovídá použití primární dosazovací nádrže při době zdržení cca 1 h. [21]



**Obrázek 7.6 Maximální hladina před HUBER Drum Screen LIQUID [21]**



**Obrázek 7.7 Oddělený materiál ze síta [21]**

Zejména pro tyto potřeby vyvinula firma HUBER Wash Press WAP, kde výsledná kapalina je, bez použití polymerů, odvodněna až o 10%. Stupeň dehydratace se může ovlivňovat, protože HUBER Wash Press umožňuje snadno namontovat jinak perforované desky. Další výhodou je, že tato technologie může zahuštěnou kapalinu dopravit přímo do fermentoru. Oddělená hmota se proseje a přepraví do pracího lisu. Vzniklá voda může být dle potřeby vracena zpět na vstup. [21]

Mezi výhody finest screening patří hlavně mnohem nižší nároky na prostor, který je asi 1/10 primární dosazovací nádrže, a výrazně nižší investiční náklady. Navíc anaerobní stabilizace kalu je mnohem energeticky úspornější, není potřeba energie na provzdušňování a snižuje se objem přebytečného kalu. Hlavně pro malé čistírny odpadních vod by byla mobilní technologie finest screening vhodnou hospodářskou efektivní investicí. Vysoký výkon v odstraňování CSB / AFS odlehčuje biologickému stupni, čímž se zlepšuje účinnost celé čistírny odpadních vod. [21]

## 7.1 DOSAVADNÍ MĚŘENÍ S MOBILNÍ TECHNOLOGIÍ HUBER DRUM SCREEN LIQUID

### 7.1.1 Měření č. 1 Norsko

Tabulka 7.4 Vstupní hodnoty [22]

Průměr bubnu síta [mm]	2200
Délka síta [mm]	2000
Velikost ok síta [mm]	0,3
Průtok [l/s]	15-50
Koncentrace SS [mg/l]	300
Koncentrace COD [mg/l]	550
Odpadní voda	surová, neupravená



Obrázek 7.8 HUBER Drum Screen LIQUID pohled shora, měření č. 1, Německo [22]

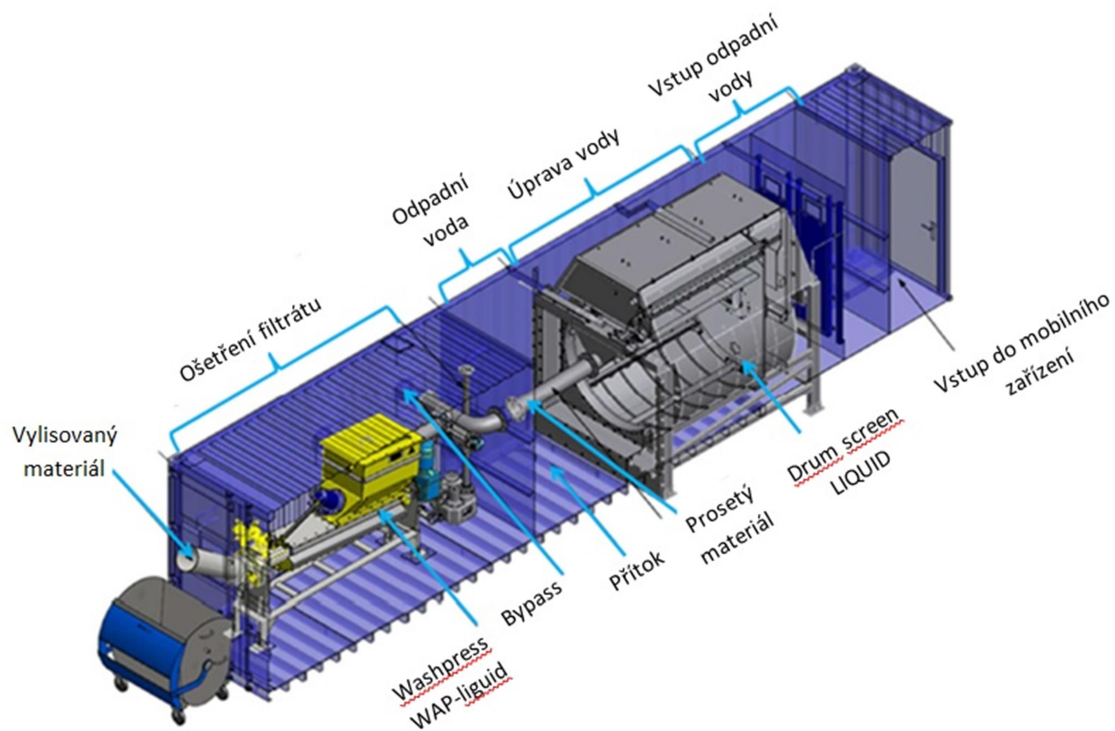




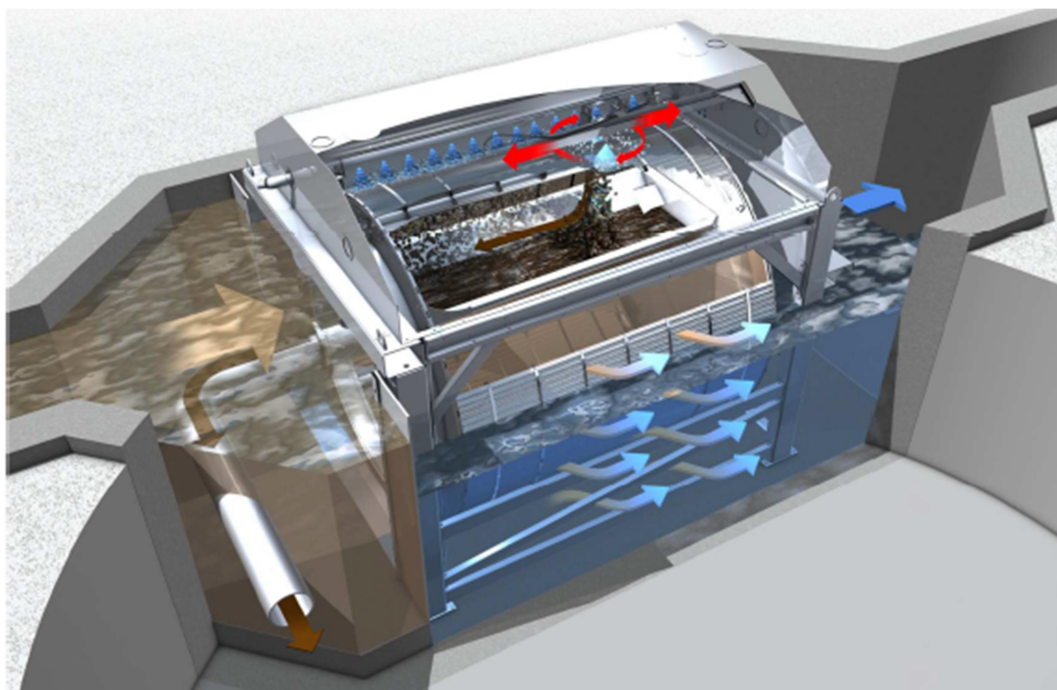
**Obrázek 7.9 HUBER Drum Screen LIQUID celkový pohled shora, měření č. 1, Německo [22]**



**Obrázek 7.10 Huber Drum Screen LIQUID pohled z boku, měření č. 1, Německo [22]**



Obrázek 7.11 Popis mobilní jednotky HUBER Drum Screen LIQUID [22]

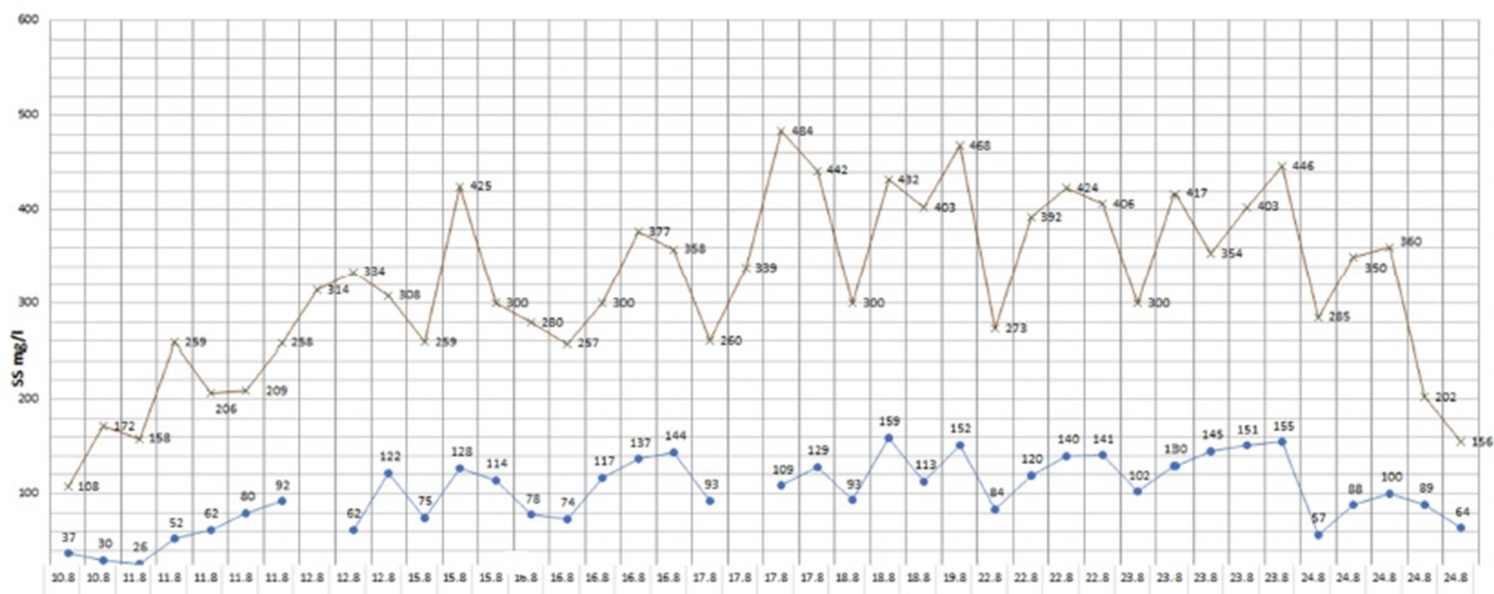


Obrázek 7.12 Ilustrace principu separace HUBER Drum Screen LIQUID [22]

Tabulka 7.5 Data z měření č. 1, Německo [22]

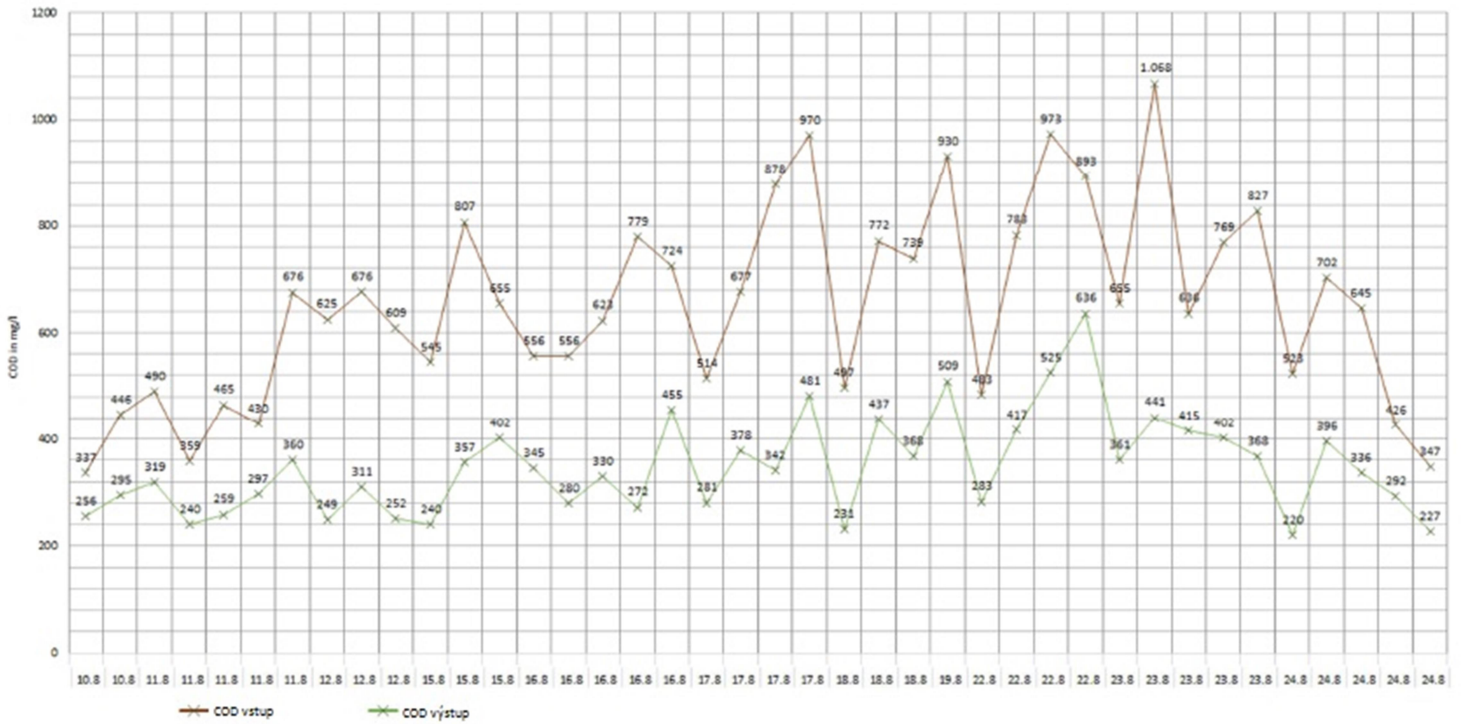
	Datum	Čas	SS [mg.l <sup>-1</sup> ]		Redukce SS	COD [mg.l <sup>-1</sup> ]		Redukce COD
			vstup	výstup	[%]	vstup	výstup	[%]
1	10.8	11:20 - 11:40	108	37	66	337	256	24
2	10.8	14:27 - 14:47	172	30	83	446	295	34
3	11.8	16:09 - 16:36	158	26	84	490	319	35
4	11.8	09:02 - 09:10	259	52	80	359	240	33
5	11.8	10:50 - 11:16	206	62	70	465	259	44
6	11.8	11:30 - 11:31	209	80	62	430	297	31
7	11.8	12:30 - 13:30	258	92	64	676	360	47
8	12.8	09:15 - 09:15	314	75	76	625	249	60
9	12.8	11:06 - 11:22	334	62	81	676	311	54
10	12.8	12:04 - 12:20	308	122	60	609	252	59
11	15.8	09:37 - 09:45	259	75	71	545	240	56
12	15.8	12:08 - 12:27	425	128	70	807	357	56
13	15.8	13:56 - 14:16	300	114	62	655	402	39
14	16.8	08:40 - 09:10	280	78	72	556	345	38
15	16.8	10:47 - 10:57	257	74	71	556	280	50
16	16.8	11:55 - 15:15	300	117	61	623	330	47
17	16.8	12:40 - 13:00	377	137	64	779	272	65
18	16.8	14:05 - 14:17	258	144	44	724	455	37
19	17.8	09:00 - 09:08	260	93	64	514	281	45
20	17.8	11:06 - 11:16	339			677	378	44
21	17.8	12:06 - 12:16	484	109	77	878	342	61
22	17.8	16:29 - 16:30	442	129	71	970	481	50
23	18.8	09:12 - 09:20	300	93	69	497	231	54
24	18.8	11:43 - 11:46	432	159	63	772	437	43
25	18.8	13:02 - 13:20	403	113	72	739	368	50
26	19.8	12:48 - 13:10	468	152	68	930	509	45
27	22.8	08:56 - 09:10	273	84	69	483	283	41
28	22.8	10:52 - 11:00	392	120	69	783	417	47
29	22.8	11:27 - 11:37	424	140	67	973	525	46
30	22.8	13:50 - 14:05	406	141	65	893	636	29

31	23.8	08:35 - 09:07	300	102	66	655	361	45
32	23.8	10:10 - 10:14	417	130	69	1068	441	59
33	23.8	10:14 - 10:16	354	145	59	636	415	35
34	23.8	10:16 - 10:21	403	151	63	769	402	48
35	23.8	10:21 - 10:31	446	155	65	827	368	56
36	24.8	09:12 - 09:19	258	57	78	523	220	58
37	24.8	10:40 - 10:45	350	88	75	702	396	44
38	24.8	10:50 - 10:50	360	100	72	645	336	48
39	24.8	14:05 - 14:25	202	89	56	426	292	31
40	24.8	14:40 - 15:00	156	64	59	347	227	35
	<b>průměr</b>		<b>316</b>	<b>100</b>	<b>68</b>	<b>652</b>	<b>347</b>	<b>46</b>



Obrázek 7.13 Graf redukce nerozpuštěných látek, měření č. 1, Německo [22]

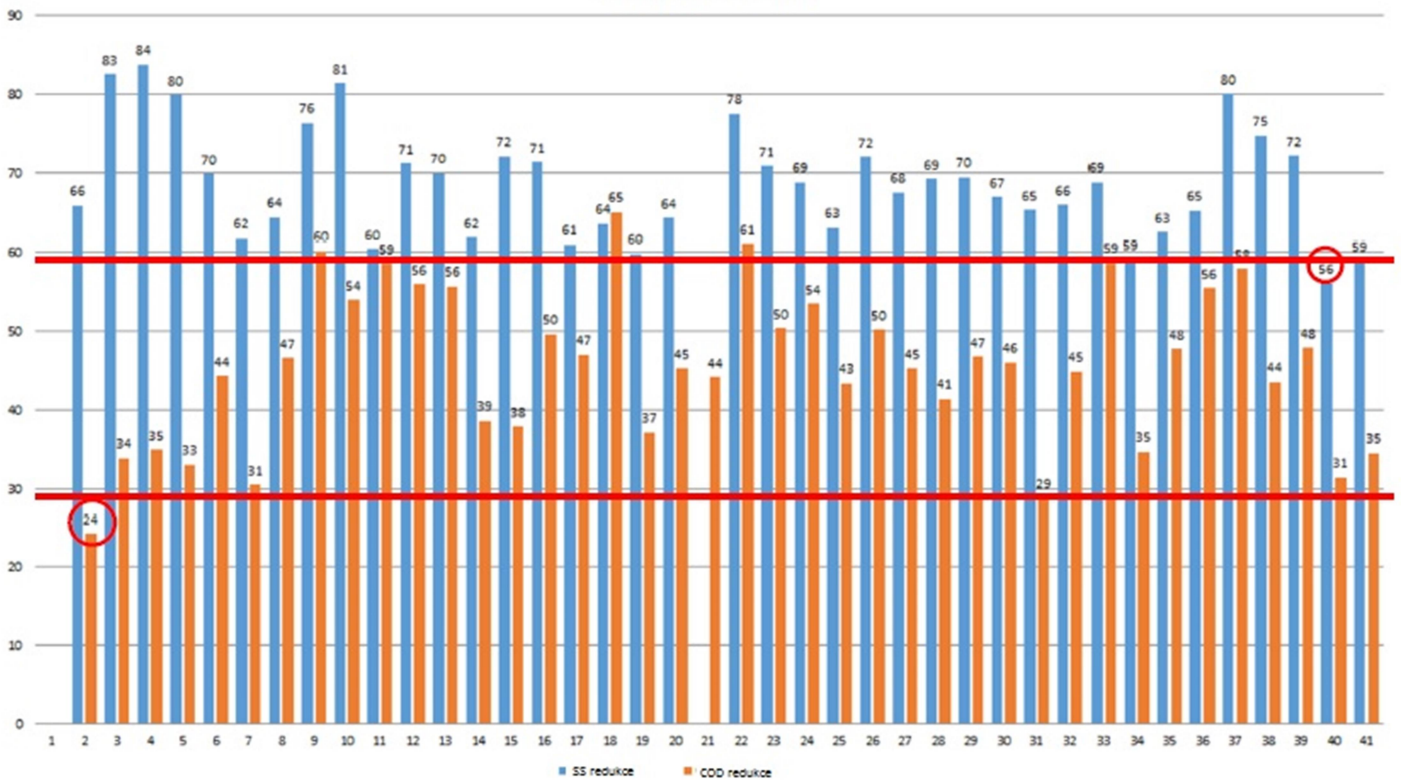
Nerozpuštěné látky vstup:  $319 \text{ mg.l}^{-1}$   
 Nerozpuštěné látky výstup:  $101 \text{ mg.l}^{-1}$   
 Redukce: 69 %



Obrázek 7.14 Graf redukce CHSK pomocí HUBER, měření č. 1, Německo [22]

CHSK vstup: 652 mg.l<sup>-1</sup>  
 CSK výstup: 347 mg.l<sup>-1</sup>  
 Redukce: 46%

SS/COD Redukce



Obrázek 7.15 Graf srovnání redukce Nerozpuštěných látek a CHSK, měření č. 1, Německo [22]

### ***Porovnání výsledků sondy Huber a Eurofins***

Tabulka 7.6 Porovnání výsledků sondy Huber a Eurofins [22]

	vstup [mg/l]	výstup [mg/l]	redukce [%]
HUBER	268	108	63,8
Eurofins	302	118	61

Tabulka 7.7 Porovnání redukce CHSK a BSK [22]

	vstup [mg/l]	výstup [mg/l]	redukce [%]
CHSK HUBER	645	431	33
BSK <sub>5</sub> Eurofins	220	150	31,8

### **7.1.2 Měření č. 2 Německo**

Tabulka 7.8 Vstupní parametry [22]

Max. přítok [m <sup>3</sup> /h]	216
SS [mg/l]	500
Min. redukce SS [%]	60
Min. redukce CSB [%]	30
Průměr bubnu [mm]	2200
Délka bubnu [mm]	2000
Velikost ok síta [mm]	0,3



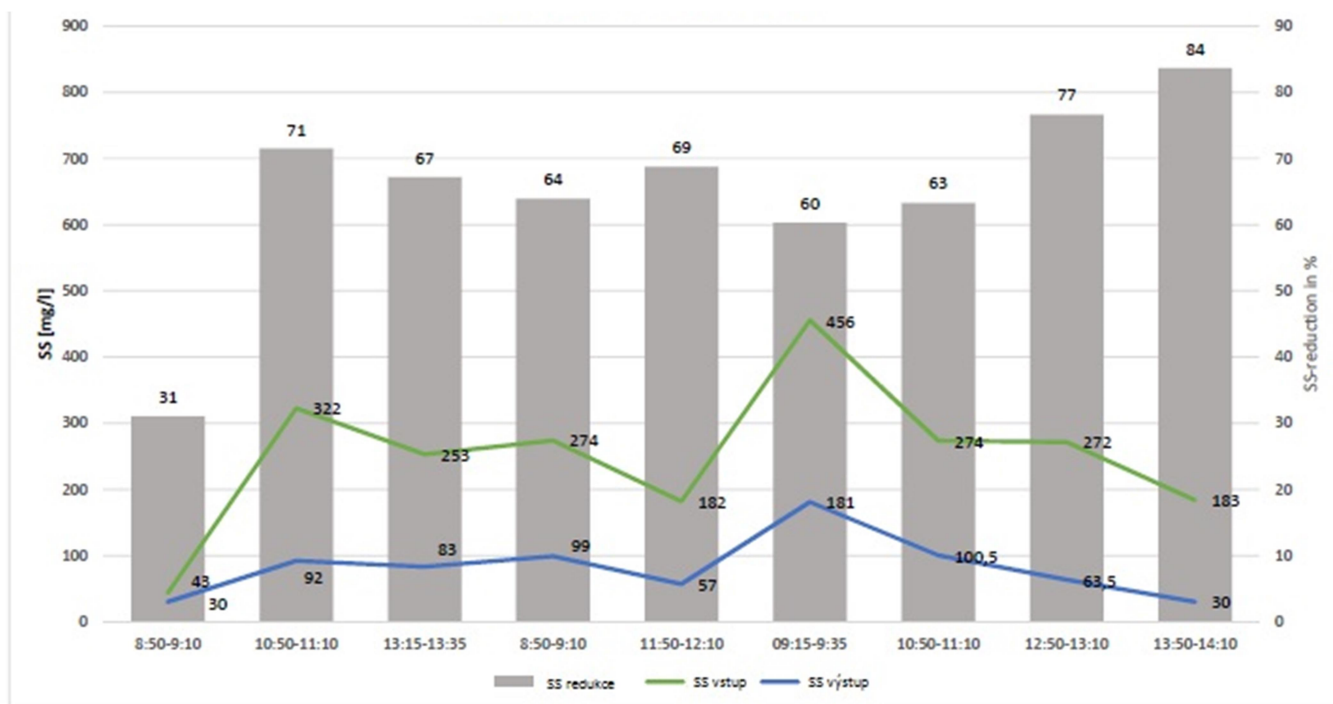
Obrázek 7.16 Vstupní část Drum Screen LIQUID Mesh, měření č. 2, Německo [22]



Obrázek 7.17 Výstupní část Drum Screen LIQUID Mesh, měření č. 2, Německo [22]



Obrázek 7.18 Měřicí systém přítoku a odtoku, měření č. 2, Německo [22]



SS vstup: 251 mg/l  
 SS výstup: 82 mg/l  
 Redukce: 67%

Obrázek 7.19 Graf redukce Nerozpuštěných látek, měření č. 2, Německo [22]

## 7.2 ENZYMATICKÁ HYDROLÝZA CELULÓZY, KANADA

V posledních letech je celosvětový trh s energií vysoce nestabilní, včetně kolísání cen ropy a zemního plynu. Tento fakt přiměl Kanadu k většímu zájmu o budoucí vývoj paliva a k prozkoumání alternativy fosilních paliv a produktů na bázi ropy. Komunální odpadní vody a biosolidy obsahují velké množství celulózy, lignocelulózy, polysacharidů, proteinů a dalších organických materiálů. Obecně jsou biosolidy a kaly z čistíren odpadní biomasa vzniklá z vody a čištění odpadních vod. [23]

V roce 2001 Kanadská produkce biosolidů, 0,063 kg suché biomasy/osoba/den, odhaduje, že generuje jejich množství ve výši 387 166 tun za rok. Na základě provedené studie bioproduktu za použití komunálních kalů/biosolid a hnojiv vyrobených v Kanadě, by mohlo být z této odpadní masy vyrobeno 6,22 milionu tun cukru za rok. Přeměna této odpadní biomasy na výrobky s vyšší hodnotou byla uznána jako atraktivní alternativní odpadové hospodářské řešení (Industry Canada, 2004). [23]

Nicméně fyzikální a chemické složení komunálních biosolidů a kalů ztěžují jejich použití jako suroviny ve srovnání s jinými organické zbytky. Z tohoto důvodu je dosud velmi málo známých způsobů, jak převést tuto odpadní biomasu na chemikálie s vyšší hodnotou. [23]

Výsledkem je, že odpadová biomasa je bohatý, ale málo využívaný zdroj pro výrobu chemických látek a biopaliv. Hlavní cíle studií zkoumali proveditelnost použití kalů a



biosolidy jako nízkonákladové suroviny pro výrobu jednoduchých redukcujících cukrů, jako ekologickou alternativu k likvidaci odpadních pevných látek. Studie se zaměřila na enzymatickou hydrolýzu primárního kalu, aktivovaného kalu a tráveného kalu a vyhodnocení účinnosti předběžného ošetření při výrobě jednoduchých redukcujících cukrů pro další použití jako chemikálie stavebních bloků. [23]

Teoreticky jsou všechny materiály z biomasy možnými surovinami na výrobu chemických výrobků s vyšší hodnotou. Liší se ve vzhledu a vlastnostech, všechny však mají relativně podobné složení, které se skládá převážně z celulózy, hemicelulózy a ligninu. Oba uhlovodíkové polymery, celulóza a hemicelulóza, tvoří hlavní strukturu biomasy, zatímco lignin působí jako spojovací materiál a spojuje vlákna dohromady. [23]

Přestože jsou cizorodé sloučeniny přítomny v malých množstvích, hrají důležitou roli ve strukturální stabilizaci, čímž se materiály stávají odolné proti rozkladu, rozpadu a napadení hmyzem. Celulózy z různých zdrojů biomasy jsou na molekulární úrovni obecně stejné, nicméně se liší v krystalických strukturách a ve vazbách na jiné součásti. Celulóza je lineární polymer s vysokou molekulovou hmotností. Každá molekula celulózy je nerozvětvený řetězec obsahující 1 000-1 000 000 D-glukózových jednotek, spojených společně s b-1,4 glykosidickými vazbami. Využití celulózy jako suroviny pro výrobu energie a vyšších chemických látek, je možné, ale je nezbytné ji rozložit na glukózu. [23]

Celulóza přítomná v lignocelulózových materiálech je složena z krystalické a amorfni složky. Amorfni složka je obvykle aktivnější než ta krystalická, čímž se zvětší amorfni obsah a to zvyšuje rychlost hydrolýzy. Přítomnost ligninu tvoří fyzickou bariéru enzymů. Podle Sun a Cheng (2002) procesy předúpravy obecně usilují o dosažení následujících výsledků:

- (1) zlepšení výnosu cukru z kyselé nebo enzymatické hydrolýzy;
- (2) minimalizace degradace nebo ztráty sacharidů;
- (3) minimalizace tvorby inhibičních vedlejších produktů pro procesy hydrolýzy a fermentace;
- (4) efektivita nákladů. [23]

Existují tři hlavní kategorie procesů předběžné úpravy: fyzikální, chemické a biologické předběžné úpravy. V závislosti na materiálu biomasy, jedné nebo v kombinaci těchto metod, může být použito ke zlepšení dostupnosti enzymu k molekule celulózy. Účinkem fyzikální předběžné léčby je rozdělení lignocelulózové látky na jemné částice, které jsou citlivější na kyselinu nebo enzymatická hydrolýza, která slouží ke snížení stupně krystalicity celulózy. Chemická předběžná úprava používá rozpouštědlo k degradaci ligninu, krystalické struktury hemicelulózy nebo celulózy, jedná se především o saponifikaci intermolekulárních látek. [23]

Účinek předúpravy na hydrolýzu celulózy byl široce studován a byly prokázány příznivé výsledky při použití zředěné kyseliny, která způsobuje zvyšování objemu pórů celulózy a enzymu. Schell a kol. (2003) studovali hydrolýzu kukuřičných výparů se zředěnou kyselinou sírovou v předběžné úpravě. Substrát byl předem ošetřen kyselinou sírovou při 165-195 ° C

po dobu 3-12 minut a výsledkem bylo získání celulózy (80-87%). Nevýhodou předběžné úpravy kyselinou jsou náklady spojené se stavbou zařízení, stejně jako s manipulací a likvidací neutralizačních chemikálií. [23]

U dalších procesů předběžné úpravy, jako je amoniak a léčba alkalickým peroxidem, bylo prokázáno, že jsou také velmi účinné, ale za určitých podmínek. Pro určitou biomasu, by měla předběžná úprava splňovat následující podmínky:

- dosáhnout vysokého výtěžku mono-cukru z enzymatické hydrolýzy;
- minimalizovat degradaci sacharidů a tvorbu inhibičních vedlejších produktů a být nákladově efektivní. [23]

Enzymatická hydrolýza celulózy se provádí enzymy celulózy. Existuje celá řada těchto enzymů, které jsou schopné degradovat celulózu, z níž je nejintenzivněji studován enzymový komplex z filamentózní houby *Trichoderma Reesei*. Enzymové komplexy se obecně skládají ze tří složek:

- endo-b-glukanázy (EG), které se připojují k oblastem s nízkou krystalizací v celulóзовém vlákne na konců řetězců;
- exo-b-glukanáza nebo celobio-hydroláza (CBH), které degradují molekuly celulózy odstraněním celobiotických jednotek z volného řetězce;
- bglukosidázu, které hydrolyzují celobiózu za vzniku glukózy.

Enzymatická hydrolýza celulózy probíhá ve třech etapách:

- (1) adsorpce komplexu enzymu celulózy na povrchu celulóзовé struktury;
- (2) degradace celulózy do mono-cukrů;
- (3) desorpce celulózy. [23]

Postup ovlivňují provozní podmínky, rozsah hydrolýzy celulózy celulóзовými enzymy a mnoha faktory substrátu a enzymu. Vzhledem k heterogenní povaze procesu může být celková reakční rychlost ovlivněna odporem hmoty, včetně odolnosti povrchu fólie kolem celulózy, odolnosti proti hromadné fázi a odporem kapilárních pórů celulóзовých částic. Při různých počátečních reakčních podmínkách, jako je velikost částic celulózy, koncentrace substrátu, koncentrace enzymu, pH pufru a intenzita agitace ovlivní rychlost hydrolýzy. [23]

Hang a Woodams (1998) prokázali, že při pH 5,0, je výtěžnost cukru z kukuřičných šupinek vyšší než při hodnotě pH 4,0 a 7,0. Také zjistili, že při 40 ° C, 50 ° C a 60 ° C je celkový obsah cukru mírně odlišný. Nicméně, výrazně více glukózy a xylosy byly získáno při vyšší teplotě. Navíc, velmi vysoké koncentrace substrátu mohou zpomalit hydrolýzu na inhibici z konečného produktu a vysoká viskozita suspenze může také omezit přenos hmoty v reakční směsi. Nadměrné rychlosti míšení (> 200 ot / min) snižuje rozsah hydrolýzy, protože aktivita enzymu je snížena. [23]

## 7.2.1 Metody

Městské odpadní vody, kaly a biosolidy zahrnují fekálie, toaletní papír a zbytky potravin, a od těchto organických zbytků se očekává přiměřený obsah celulózy. V tomto experimentu byla použita různá předběžná úprava na primární kal, zahuštěný aktivovaný kal a anaerobně štěpené biosolidy, používané jako lignocelulózní suroviny. Všechny experimenty byly prováděny třikrát odpovídajícími experimentálními prostředky a standardně byly zaznamenány odchylky. [23]

## 7.2.2 Sběr a příprava materiálu výchozího materiálu

Primární kal, aktivovaný kal a biosolidy z anaerobního digesce byly shromážděny od Roberta O. Sekundární odpadní voda byla z Pickardského environmentálního centra (ROPEC), které zpracovává zředěné komunální odpadní vody a ovládá jejich vypouštění na řeku Ottawa v Ottawě (Kanada). V průměru, 545 000 m<sup>3</sup>/d odpadních vod je zpracováno s průměrnou primární hodnotou charakteristiky výtoku 110 mg BSK<sub>5</sub>/l. ROPEC má předběžné a primární ošetření, po kterém následuje běžná aerobní aktivovaná kalová jednotka, s průměrnou dobou stáří kalu 5 dnů. [23]

Aktivovaný odpadní kal byl charakterizován jako mladý kal, založený na pětidenních pevných látkách a je podporován poměr poměrně vysoký obsah těkavých látek (VS)/celkový obsah pevných látek (TS) přibližně 0,70. K aktivovanému odpadu se před zahuštěním přidá chlorid železitý, pro odstranění fosforu. Zhuštěný odpadní aktivovaný kal a primární kal se smísí v poměru 58:42 a podrobí se mezofilnímu anaerobnímu štěpení, za účelem výroby stabilizovaného produktu pro likvidaci. Anaerobně ošetřené kaly, používané této studii, byly konečným produktem mezofilních digestorů kalu, odvodněné na 30% TS (m/m) v ROPEC. [23]

Primární kal a zahuštěné odpadní aktivované kalové vzorky byly přepravovány v 15l uzavřených plastových nádobách a použity přímo v experimentech, zatímco biosolidy byly shromážděny a uchovávány v chladničce při teplotě 4°C v uzavřeném plastovém sáčku. Kvůli vysokému obsahu vody v každé surovině, byly vzorky nejdříve centrifugovány za účelem odstranění kapaliny. Pro každou výchozí surovinu byly rozděleny 2 litry do čtyř lahví Nalgene o objemu 750 ml a centrifugovány 10 minut při teplotě místnosti 4700 ot / min. Supernatant byl odstraněn a pevná frakce byla promyta destilovanou vodou a její pH bylo upraveno na 7,0. Směs se pak znovu odstředila, aby se odstranila přebytečná kapalina a pevné frakce byly skladovány při teplotě 4°C pro použití v následné předběžné a enzymatické hydrolýze. [23]

## 7.2.3 Lignocelulózová předběžná úprava

V některých studiích byla předběžná úprava alkalických látek k delignifikaci lignocelulózového materiálu. Předpokládalo se, že kov obsažený v surovinách by mohl mít

vliv na enzymovou aktivitu, proto byla v některých studiích použita předběžná úprava HCl ke snížení obsahu kovu. Postupy pro organické zbytkové předběžné úpravy byly zpracovány v předchozích studiích (Champagne et al., 2005, Li a Champagne, 2005; Levy a kol., 2003a, b; Henderson a kol., 2003), kde se prováděly alkalické předúpravy organického zbytku z výchozí suroviny s 0,5 N KOH při 70°C. Enzymatická hydrolýza byla provedena na čtyřech vzorcích získaných z předběžných úprav:

- neošetřené suroviny, předem upravená HCl, KOH;
  - předem upravené výchozí suroviny a HCl, následované předem zpracovanými KOH.
- [23]

Enzymatická hydrolýza byla aplikována na mokřím i sušeném (sušen v sušárně při 70°C po dobu 48 hodin) vzorku kalu z každé předúpravy. Suché produkty byly před enzymatickou hydrolýzou rozemlety a každý experiment byl proveden třikrát. [23]

#### **7.2.4 KOH předběžné zpracování suroviny**

Pro každou centrifugovanou surovinu se přidá 10g sušiny suroviny s 250 ml 0,5 N roztoku hydroxidu draselného a míchá se v kádince o objemu 500 ml po dobu 1 hodiny při 70 ° C. Poté je roztok centrifugován po dobu 10 minut při 4700 ot/min, pak se pevná frakce promyje destilovanou vodou a neutralizuje 1,0 N HCl na pH 7,0. Neutralizovaná směs je opět centrifugována a pevná frakce se uchová v chladničce při teplotě 4 ° C v plastových lahvích. [23]

#### **7.2.5 HCl předběžná úprava suroviny**

Pro každou centrifugovanou surovinu se přidá 10g sušiny a smíchá se s 250 ml roztoku 1,0 N kyseliny chlorovodíkové v kádince, o objemu 500 ml, za použití horké magnetické míchací tyče, při teplotě 20°C po dobu 24 hodin. Směs je poté centrifugována 10 min při 4700 ot/min a pevná frakce se promyje destilovanou vodou a neutralizuje se 0,5 N KOH. Neutralizovaný vzorek je opět centrifugován a pevná frakce se udržuje ochlazené na 4°C v uzavřených plastových lahvích. [23]

#### **7.2.6 Enzymatická hydrolýza**

Celulotické enzymy mohou být produkovány řadou bakterií a hub, které používají celulózu jako primární zdroj uhlíku. Tento výzkum byl proveden za použití komerčně dostupné celulózy z *T. reesei* (Sigma-Aldrich), aktivita 8,3 U/mg (1 U enzym uvolňující 1 mol glukózy během 1 hodiny při 40°C na 1 mg celulózy). Ekvivalent hmotnosti 50 mg (suchá hmotnost) neošetřené nebo předem ošetřené lignocelulózové látky (primární nebo aktivované kalové suroviny) nebo 150 mg kalové suroviny a 4,8 mg enzymu, což odpovídá zatížení 800 jednotek aktivity na 1g substrátu, a 2,5 ml pufru citranu sodného (pH 4,8) v 10 ml zkumavce. [23]

Reaktanty se pak umístí do vodní lázně o teplotě 40°C a protřepávají se při 160 ot./min. po dobu 24 hodin. Potom se zkumavky vyjmou z vodní lázně a filtrují pomocí skleněných filtrů. Filtrát je převeden do plastové lahve o objemu 50 ml za účelem snížení cukru. [23]

### **7.2.7 Fourierova transformační infračervená spektroskopie (FTIR)**

Fourierova transformační infračervená spektroskopie využívá rozdílů v obecných funkčních vlastnostech primárního kalu, aktivovaného kal a biosolidních surovinách. [23]

Tři sta mililitrů suchého KBr bylo smícháno s maltou, směs byla umístěna do formy a stlačována silou 10 tun po dobu 1 min. Poté byla peleta umístěna do držáku a skenována pomocí analyzátoru Bomem Michelson 120 FTIR a spektra pozadí byly generovány pomocí softwaru Bomem Grams 386 na Carleton University v laboratoři pro pokročilou fyzikální chemii. [23]

Vzorky byly nejprve vysušeny a rozemlety, pak pro každou surovinu naváženo 5 mg vzorku, které se smíchaly s 300 mg KBr. Směs byla umístěna do formy a stlačena do pelety silou 10 tun po dobu 1 min. Každý vzorek byl skenován pětkrát v rozmezí vlnových délek 450 a 650 cm. Vytvořená spektra byla porovnána k publikovaným FTIR spektrem pro celulózu (Cao a Tan, 2002) k identifikaci hlavních funkčních skupin. [23]

## **7.3 VÝSLEDKY**

### **7.3.1 Snížení výtěžku cukru z nepředpracovaných surovin**

Většina obsahu celulózy v primárním kalu pochází hlavně z nezpracovaného odpadového papíru, který má vysoký obsah celulózy a poměrně nízký obsah ligninu. U primárního kalu je to  $31,1 \pm 2,7\%$  u mokrého a  $25,0 \pm 0,8\%$  u suchého substrátu, kde byly vzorky převedeny na redukující cukry bez předúpravy. Aktivovaný kal také ukázal významné rozdíly mezi mokrým ( $12,9 \pm 2,7\%$ ) a suchým ( $5,6 \pm 1,2\%$ ) substrátem, což naznačuje, že celulózová vlákna v aktivovaném kalu by se díky sušení a mletí mohly také stát snadněji přístupné enzymům. [23]

V dalších studiích lze výsledky připsat skutečnosti, že v kalech je velká část celulózových nebo lignocelulózových materiálů založena na papíře a je zpracována většinou mechanicky, například sušením. U enzymatické hydrolýzy bylo zjištěno, že u biosolidů bylo 1% nebo méně z původní výchozí suroviny převedeno na redukující cukry v neošetřených vzorcích. Výsledkem toho je, že celulózová vlákna v kalu byla pravděpodobně spotřebována nebo ovlivněna nejprve během aktivace kalu nebo při anaerobním procesu trávení. [23]

### **7.3.2 Snižování výtěžku cukru z předem upravených surovin KOH**

Kromě odpadního papíru, mohou celulózu v odpadních vodách obsahovat i zbytky rostlin, například tráva, zelenina nebo dřevo. U těchto materiálů může být předúprava zásadně užitečná k extrakci ligninu, což zajistí lepší enzymatickou hydrolýzu. Proto byla aplikována

předběžná úprava KOH na aktivovaný primární kal a kalné suroviny. Enzymatická hydrolýza byla prováděna za stejných podmínek, jako při zkouškách s neupravenou surovinou. [23]

Bylo zjištěno, že při předběžném zpracování KOH na primární kal zvyšuje konverzi redukovatelného cukru na vlhký substrát od  $31,1 \pm 2,7\%$  do  $35,4 \pm 1,2\%$  a od  $25,0 \pm 0,8\%$  do  $29,4 \pm 1,7\%$  pro suchý substrát. Výsledky ukázaly jen nepatrné zvýšení výtěžku cukru, což by naznačovalo, že většina z obsahu celulózy v primárním kalu je hlavně papír a že alkalická delignifikace v předběžné úpravě není nezbytná a neočekává se, že by nějak významně zvýšila hydrolýzu. Také bylo poznamenáno, že suchý substrát poskytl méně redukovatelných cukrů než ten vlhký. [23]

Enzymatická hydrolýza byla také provedena na biosolidové předem upravené KOH surovině. Opět stejné zatížení substrátu 150 mg namísto 50 mg a všechny ostatní předběžné a experimentální podmínky byly stejné, jako u primárního kalu a zahuštěného odpadu aktivovaného kalu. Méně než 1% biosolidní suroviny bylo přetvořeno na redukovatelné cukry v studiích léčby KOH, což naznačuje, že použitelná celulóza ve vylučovaném kalu byla pravděpodobně spotřebována nejprve během aktivace kalu a poté v anaerobním procesu. Z výsledků bylo zjištěno, že ve všech zkouškách byl výtěžek cukru vyšší z předem ošetřené suroviny. Bylo také obecně zjištěno, že sušení a mletí nezvyšují výtěžek redukovatelného cukru z enzymatické hydrolýzy. [23]

### 7.3.3 Závěr

Biosolidy a kaly obsahují velké množství lignocelulózy, polysacharidů, bílkovin a dalších biologických materiálů a schopnost přeměnit tyto materiály na produkty s přidanou hodnotou byla uznána jako atraktivní technologie (Industry Canada, 2004). Vlhký a suchý primární kal, aktivovaný odpadní kal a anaerobně štěpený kal (biosolid) byly enzymaticky hydrolyzovány 24 hodin při 40°C enzymem při zatížení 800 U/g substrátu po různých předběžných úpravách. [23]

Bylo zjištěno, že v primární kalové surovině vznikají výrazně více redukovatelné cukry než v zahuštěném odpadním aktivovaném kalu nebo v biosolidu. To naznačuje, že celulózový materiál se spotřebuje v procesu aktivace kalu a je dále degradován v anaerobním procesu. U každého pokusu se z vysušeného substrátu dostalo méně redukovatelných cukrů než z odpovídajícího vlhkého substrátu, což znamená, že proces sušení může ovlivnit následné působení enzymů na celulózové vlákno během enzymatické hydrolýzy. [23]

Alkalické ošetření při předúpravě (KOH) mělo malý vliv konverzi cukru z enzymatické hydrolýzy, zatímco kyselá (HCl) předběžná úprava byla účinnější k odstranění kovů z celulózy. Nejvyšší konverze redukovatelného cukru bylo dosaženo pro primární kal, když se na vzorky použila kombinace předúprav HCl a KOH. [23]

Na základě studií proveditelnosti bioproduktů se odhaduje, že by se mohlo v Kanadě vyrobit z této odpadové biomasy 6,22 milionu tun cukru (Champagne, 2007; Wood and

Layzell, 2003; Cheung a Anderson, 1997). I přes velký potenciál, který zbytková biomasa může nabídnout, aby splnila budoucí energetickou kapacitu Kanady, existují významné překážky, které musí být před rozsáhlým využíváním zbytkové biomasy jako energetický zdroj vyřešeny. Další výzkum je zásadní a je třeba aplikace mimo laboratoř. [23]

## 7.4 TERMOFILNÍ VÝROBA $H_2$ Z ODPADNÍ VODY OBSAHUJÍCÍ CELULÓZU

$H_2$  je nejen důležitou průmyslovou surovinou, ale je také ekologicky ideálním palivem. Mnozí věří tomu, že bude nahrazovat fosilní palivo jako zdroj energie další generace. Přestože je konvenčně vyráběn chemickými nebo elektrolytickými prostředky, může být také produkován biologicky. Je technicky možné vyrábět  $H_2$  ze sacharidů v odpadních vodách pomocí fermentačních postupů (Roychowdhury a kol., 1988). Většina z této studie byla provedena za mezofilních podmínek. Mnoho odpadních vod, jako jsou třeba ty z průmyslu papíru nebo z potravinářského průmyslu, jsou vypouštěny do kanalizačního řadu s vyšší teplotou. [15]

Tato studie byla provedena tak, aby studovala účinky pH vody a koncentrace celulózy na produkci  $H_2$  v teplotním rozmezí až do  $55^\circ\text{C}$  a vyšetřila mikrobiální komunitu s použitím molekulární techniky DNA. [15]

### 7.4.1 Materiály a metody

Byly provedeny tři série experimentů s dávkami 280 ml suroviny bez předchozí úpravy do skleněných reaktorů, kde byl obsah míchán 8 hodin při pH 5,5 a  $37^\circ\text{C}$ . Tento kal měl výtěžek  $H_2$   $230 \text{ ml g}^{-1}$  sacharózy a každý gram těkavých nerozpustných pevných látek (VSS) vyrobilo  $3800 \text{ ml } H_2$  denně. Odpadní voda byla připravena (Farco Chemical, Čína) jako jediný substrát, plus následující živiny (v  $\text{mg l}^{-1}$ ):

- $\text{NaHCO}_3$  1000;
- $\text{NH}_4\text{Cl}$  500;
- $\text{KH}_2\text{PO}_4$  250;
- $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  50;
- $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  5;
- $\text{CaCl}_2$  5;
- $\text{MnCl}_2$  5;
- $\text{FeSO}_4$  1,5. [15]

Série 1 byla provedena při  $37^\circ\text{C}$  a  $55^\circ\text{C}$  s odpadní vodou obsahující  $5 \text{ g.l}^{-1}$  celulózy při pH 7. Série 2 zkoumala vliv pH (od 5,5 do 8,5 s krokem 0,5) na zpracování odpadní vody obsahující  $5 \text{ g.l}^{-1}$  celulózy při teplotě  $55^\circ\text{C}$ . Série 3 zkoumala vliv koncentrace celulózy v odpadních vodách od 10 do  $40 \text{ g.l}^{-1}$  celulózy s přírůstkem  $10 \text{ g.l}^{-1}$  při optimální hodnotě pH 6,5 a teplotě  $55^\circ\text{C}$ . [15]

Ve všech sériích bylo 200 ml odpadní vody zpracováno s 125 mg kalu a měřeno pomocí VSS. Směs v reaktoru byla nejprve proplachována N<sub>2</sub> po dobu 20 minut, aby se zajistily anaerobní podmínky před každým pokusem. [15]

Množství bioplynu vyrobené v každém reaktoru bylo měřeno pomocí skleněné stříkačky. Aby bylo možné identifikovat mikrobiální komunitu z kalu, byla extrahována DNA. Produkty amplifikované PCR byly klonovány a hlavní klony byly separovány pro fylogenetickou analýzu. Pro kinetické modelování kumulativní produkce H<sub>2</sub> v experimentech byla použita Gompertzova rovnice:

$$H = P \cdot \exp \left\{ - \exp \left[ \frac{R_m \cdot e}{P} (\lambda - t) + 1 \right] \right\}$$

Obrázek 7.20 Rovnice č.1 Gompertzova rovnice [15]

kde H [ml] představuje kumulativní objem produkovaného H<sub>2</sub>, P [ml] produkční potenciál H<sub>2</sub>, R<sub>m</sub> [ml.h<sup>-1</sup>] maximální rychlost výroby a λ [h] čas zpoždění. Hodnoty P, R<sub>m</sub> a λ byly pro každou dávku určeny nejlepším přizpůsobením údajů o produkci H<sub>2</sub> pomocí programu Matlab 6.0 s optimalizací panelu nástrojů 2.1. Maximální specifická rychlost produkce H<sub>2</sub> [ml (gVSS.d)<sup>-1</sup>] byla vypočtena dělením R<sub>m</sub> pomocí VSS. Výtěžek H<sub>2</sub> (ml g<sup>-1</sup>) byl vypočten dělením P v počátečním množství celulózy v odpadní vodě. [15]

Ve všech experimentech obsahoval bioplyn H<sub>2</sub> (52-68%) a CO<sub>2</sub> (32-48%), plus zbytkový N<sub>2</sub> od počátečního čištění. Obsah byl bez metanu kvůli nedostatku metanogenních aktivit v kalu. Výsledky ukazují, že nejideálnější podmínky na výrobu z celulózy z odpadní vody jsou při pH 7 a při dvou teplotách: 37°C a 55°C. Nejvhodnějšími parametry pro teplotu 37°C byly: λ 3 h, P 43 ml a R<sub>m</sub> 2,1 ml h<sup>-1</sup>. Pro teplotu 55°C byly nejvhodnější parametry: λ 19 h, P 69 ml a R<sub>m</sub> 1,3 ml h<sup>-1</sup>. [15]

Na základě P a R<sub>m</sub> byl vypočten výtěžek H<sub>2</sub> při 37°C jako 43 ml g<sup>-1</sup> celulózy a maximální specifická rychlost produkce H<sub>2</sub> byla 403 ml(gVSS.d)<sup>-1</sup>. Hodnoty při teplotě 55 °C byly 69 ml g<sup>-1</sup> celulózy a 248 ml (gVSS d)<sup>-1</sup>. Tyto výsledky ukazují, že mezofilní kal byl účinný při 55°C bez předchozí léčby. Ve srovnání s kalem při 37°C, kal při 55°C vyžadoval delší čas pro produkci H<sub>2</sub> a přeměnil více celulózy, i když pomaleji. Účinnost pH odpadní vody na produkci H<sub>2</sub> při 55°C. [15]



Tabulka 7.9 Tabulka kinetických parametrů [15]

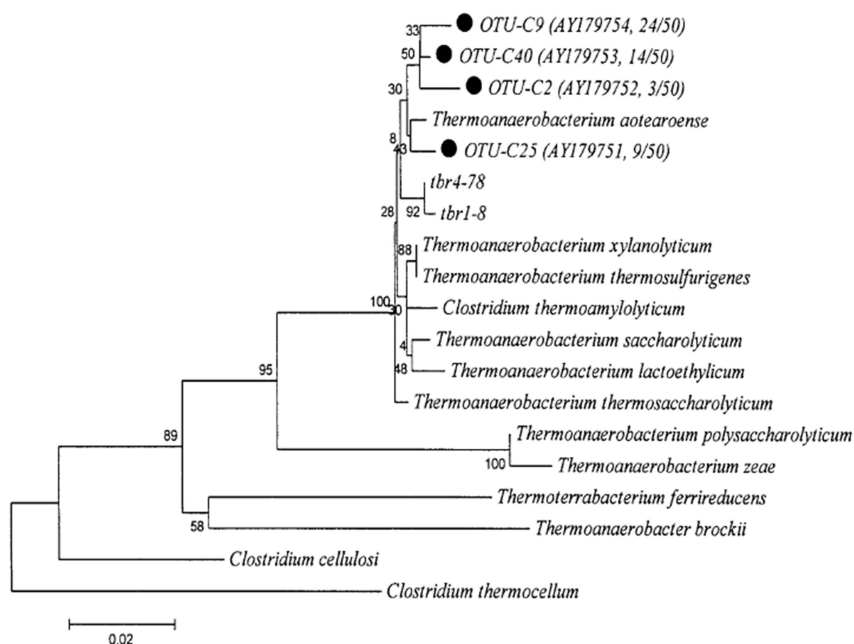
pH	$\lambda^a$	$R^a$	$p^a$	Max. spec. rychlost produkce $H_2$	Výtěžnost $H_2$
	[h]	[ml.h <sup>-1</sup> ]	[ml]	[ml.(gVSSd) <sup>-1</sup> ]	[ml.g <sup>-1</sup> celulózy]
5,5	37	1	23	191	23
6	23	0,9	64	172	64
6,5	9	1,5	102	287	102
7	23	1,3	69	248	69
7,5	115	1,4	74	268	74
8	126	1,4	74	268	74
8,5	197	1,2	59	229	59

Tabulka 7.9 shrnuje tři kinetické parametry plus výtěžek  $H_2$  a maximální specifické rychlosti výroby  $H_2$ . Výsledky ukazují, že optimální hodnota pH při výrobě  $H_2$  byla 6,5. Při této hodnotě pH je nejkratší doba zpoždění,  $\lambda$ , 9 h, výtěžek  $H_2$  102 ml g<sup>-1</sup> celulózy a maximální produkce  $H_2$  287 ml (gVSS.d)<sup>-1</sup>. [15]

Z výsledků experimentů v řadě 3 na úpravu odpadních vod při optimálním pH 6,5 a teplotě 55°C bylo zjištěno, že doba zpoždění,  $\lambda$ , která se pohybovala od 7 hodin do 18 hodin, byla krátká vzhledem k necitlivosti na koncentrace celulózy (od 10 do 40 g l<sup>-1</sup>). Pro srovnání, za použití digesterového kalu jako inokulantu, bylo pro stejnou produkci  $H_2$  zapotřebí zpoždění delší než tři dny. Maximální specifická rychlost produkce  $H_2$  vzrůstá s koncentrací z 229 ml (gVSS.d)<sup>-1</sup> při 10-1 g.l<sup>-1</sup> až k 267 ml (gVSS.d)<sup>-1</sup> při 30 až 40 g.l<sup>-1</sup>. [15]

#### 7.4.2 Phylogenetická analýza

Jako vzorek pro analýzu mikrobiální komunity byl odebrán termofilní kal odpadní vody obsahující 5 g.l<sup>-1</sup> celulózy při optimálním počátečním pH 6,5. Byly klasifikovány čtyři provozní jednotky taxonomie (OTU) z 50 klonů vyvinutých z tohoto kalu. Fylogenetický strom na obrázku 7.21 ukazuje, že všechny OTU byly přidruženy k termofilnímu rodu *Thermoanaerobacterium* v rodině *Thermoanaerobacteriaceae*, který patří k rodu *Thermoanaerobacteriales* třídy *Clostridia*. [15]

**Obrázek 7.21** Fylogenetický strom [15]

Hodnota u všech osmi známých druhů *Thermoanaerobacterium*, plus *Clostridium thermoamylolyticum* a dva nekultivované termofily *tbr1-8* (přístupové číslo: AF280823) a *tbr1-78* (přístup číslo: AF280836). OTU-C2, -C9 a -C40 mají 98% podobnost s *C. thermoamylolyticum*, *T. saccharolyticum*, *T. thermosulfurigenes*, *T. aotearoense* a *T. xylanolyticum*. Ty také mají 97% podobnost s *T. lactoethylicum* (také známá jako *Thermoanaerobacter lactoethylicum* a *Thermoanaerobium laktótiethylum*), *T. thermosaccharolyticum* (také známý jako *C. thermosaccharolyticum*), a dva bez kultivaru *tbr1-8* a *tbr4-78*, ale mají pouze 93% podobnost s dalšími dvěma *Thermoanaerobacterium*. Všechny druhy *Thermoanaerobacterium* rostou optimálně při 55-70°C a při hodnotách pH 5,2 až 7,8. Několik tepelně stabilních enzymů bylo čištěno nebo klonováno z *Thermoanaerobacterium*, včetně endoxylánáz (Lee et al., 1993), který může hydrolyzovat polysacharidy. Několik druhů z *Thermoanaerobacterium*, včetně *T. thermosaccharolyticum*, *T. polysaccharolyticum*, *T. zeae*, *T. lactoethylicum* a *T. aotearoense*, známy jsou tím, že mají schopnost produkce H<sub>2</sub> (Lee et al., 1993, Liu et al. 1996). [15]

Nicméně, *Thermoanaerobacterium* může degradovat celulózu. *Clostridium thermoamylolyticum* bylo získáno z bahnitých horkých pramenů v islandském Hveragerdi (Katkocin 1985) a nepěstováno v termofilních bioreaktorech ošetřujících farmaceutické odpadní vody. [15]

Zbývající OTU-C25 byla nejbliže s *T. aotearoense* s 98% podobností. *T. aotearoense* je pryskyřičný, mírně acidofilní a teplomilný, schopný produkovat H<sub>2</sub> z glukózy. OTU-C25 je také úzce příbuzný s *T. thermosaccharolyticum* a s několika dalšími druhy s 96-97% podobností. [15]

## **8 STANOVENÍ TOC CELULÓZY NA CENTRU ADMAS**

Celkový organický uhlík (TOC – Total Organic Carbon) je parametr, který ukazuje množství organických látek přítomných v daném vzorku. Dá se měřit mnoha způsoby, já jsem si pro svou diplomovou práci zvolila metodu s pomocí suchého vzorku a modulu SSM-5000A, který mi byl k dispozici na výzkumném centru AdMaS.

### **8.1 MODUL SSM-5000A**

Tento modul může být použit v kombinaci s TOC-L nebo TOC-V, což znamená se suchým nebo s mokřím vzorkem. To zahrnuje vzorkování kalů, sedimentů, půdy a jiných pevných látek. Samostatně modul nabízí možnost určení TC (celkový uhlík) a IC (anorganický uhlík). [31]

Pro určení TC se použije vzorek sušené pevné látky, zváží se v keramické lodi a spaluje se při teplotě 900° C. Pro zajištění úplné přeměny na oxid uhličitý jsou generované plyny předávány do směsného katalyzátoru (kobalt/platina) pro katalytické post-spalování. Produkovaný CO<sub>2</sub> je následně přenesen do detektoru v hlavní jednotce. Modul SSM-5000A nemá vlastní detektor a proto je propojen s detektorem NDIR v hlavním přístroji. Ten obsahuje tandemovou buňku sestávající z dlouhých buněk, pro analýzu kapalných vzorků, a krátkých buněk, které analyzují vzorky suché. Tato konfigurace zajišťuje, že systém je flexibilní pro použití různých typů vzorků. [31]

Kalibrace modulu u pevných vzorků se provádí pomocí pevné váhy keramické lodi na vzorek, která se pak naplní keramickou vatou. V případě kalibrace s různými hmotnostmi se používají sloučeniny na základě obsahu uhlíku, například glukóza (obsah uhlíku 40%). Absolutní obsah uhlíku je pak modulem vypočten a použit pro kalibraci. [31]

### **8.2 POSTUP**

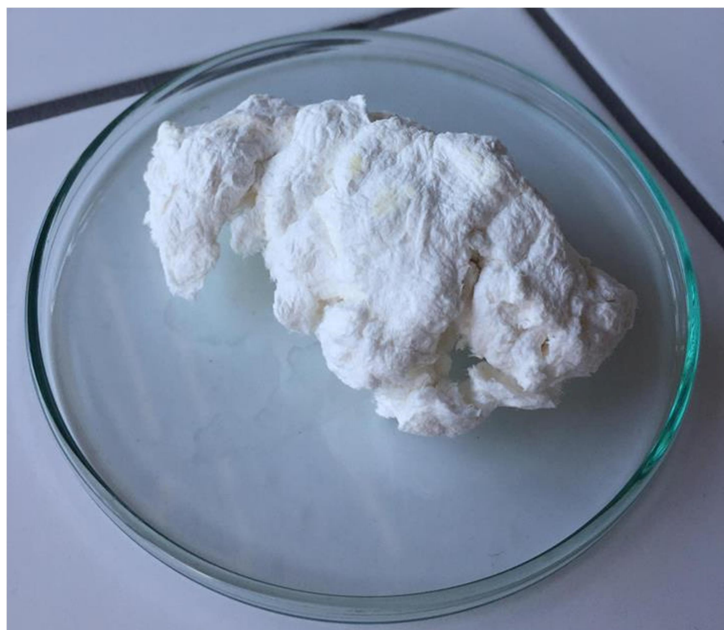
#### **8.2.1 Příprava vzorku**

Vzorek celulózy jsem si připravila doma z namočeného toaletního papíru do pitné vody. Nechala jsem ho namočený 4 dny, rozmělnila a nechala další 3 dny ve vodě.



**Obrázek 8.1** Vzorek právě namočený (vlevo) a vzorek po týdnu a po rozmělnění (vpravo)

Po týdnu jsem vzorek přes síto odvodnila, vymačkala z něj přebytečnou vodu a ještě 3 dny sušila při pokojové teplotě.



**Obrázek 8.2** Vysušený vzorek



**Obrázek 8.3 Úprava vzorku na pokus**

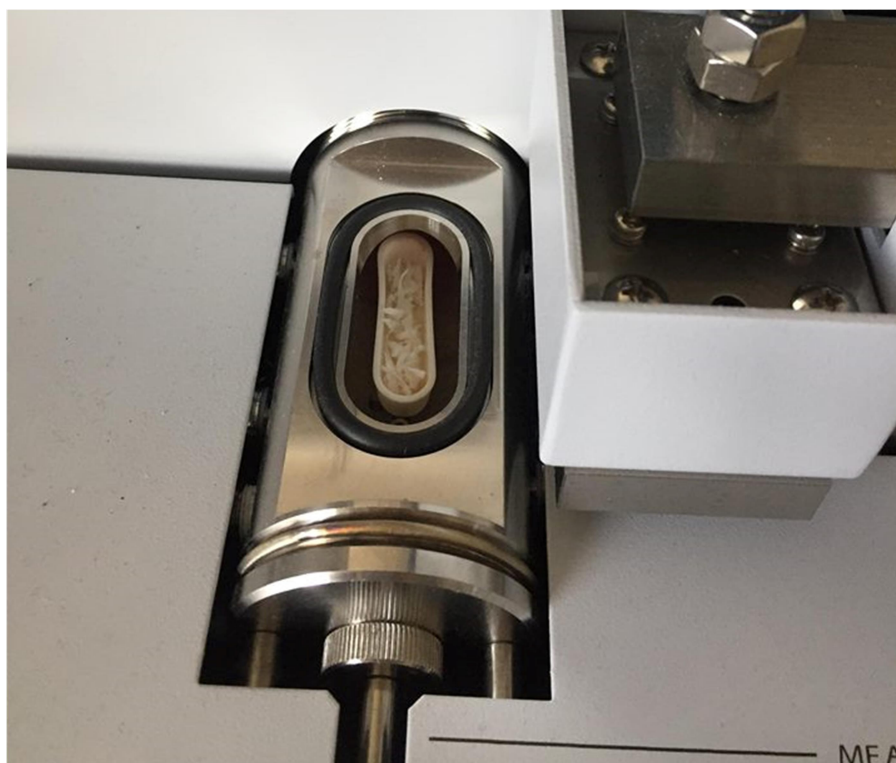
Takto vysušený vzorek bylo potřeba v laboratoři připravit na umístění do lodi, která se vkládá do modulu. Vzhledem jeho konzistenci nemohl být rozdrcen, proto jsem ho nastříhala.



**Obrázek 8.4 Vzorek umístěný ve vzorkovací lodi**

Takto připravených vzorků jsem měla celkem sedm. U každého vzorku bylo třeba zvlášť zvážit prázdnou loď, ve které byl vzorek připravován, a poté naplněnou vzorkovacím materiálem. Po zvážení se hmotnost zadala do modulu, loď se vzorkem se vložila do pece a postupovalo se dle návodu.

T



**Obrázek 8.5** Lod' před zajiťím do pece

Na obrázku je vidět, jak má být lod' se vzorkem umístěna do modulu. Víko se poté uzavře závitem a pomocí ovládací tyče se přesune do pece. Program vyhodnotí obsah uhlíku v látce, při pokusu se zároveň vykresluje graf, který znázorňuje tuto koncentraci. Po skončení pokusu se lod' přesouvá do chladicí zóny, opět pomocí ovládací tyče, a pak je možné vzorkovací lod' pomocí pinzety vyjmout a použít k dalšímu vzorkování. Počítač připojený k modulu zaznamenává výsledky. Zásadním výsledkem je procentuální vyjádření obsahu organického uhlíku v látce.

## 8.2.2 Výsledek

Výstupem měření je tabulka, kde je znázorněna jak hmotnost vzorků, tak hlavně koncentrace organického uhlíku v celulóze, což je zásadní výstupní parametr. Ta se pohybuje okolo 47 %.

Tabulka 8.1 Tabulka výsledků

č. vzorku	hmotnost	koncentrace	průměrná koncentrace
	[mg]	[%]	%
1	47,33	47,94	47,32
2	39,05	47,06	
3	55,71	47,84	
4	39,98	46,27	
5	87,31	47,56	
6	76,91	48,44	
7	39,65	46,14	

Výsledek měření ukázal, že v celulóze je téměř 50% obsahu tvořeno organickými látkami. Pokud by tedy čistírny přistoupily na umístění technologie získávání celulózy z odpadní vody, nejen že by se odstranil organický materiál před vstupem do biologického stupně, ale použitím celulóзовého kalu na výrobu bioplynu se ze stejného množství vyrobí o 35 % více.

## 9 VYUŽITÍ CELULÓZY NA ČOV

Jak bylo zmiňováno dříve, získání celulózy z odpadní vody je další z mnoha činností, které přispívají k obnovování a recirkulaci surovin. Recyklované materiály šetří zdroje a vytváří tím oběhovou ekonomiku. Recyklaci celulózy se nejen získá nový produkt, ale také se ušetří náklady a pohonné hmoty u čistíren, což vede k úsporám financí a zlepšení životního prostředí.

### 9.1 MNOŽSTVÍ

Průměrná spotřeba toaletního papíru se pohybuje okolo 13 kilogramů na osobu za rok. To může u větších čistíren znamenat až 4 tuny za den, nemluvě o velkých čistírnách nad 500 000 EO. Toto množství zbytečně zatěžuje čistící linku, spotřebovává více energie a zvyšuje celkové náklady čistírny. Kvůli těmto a dalším důvodům se stále více čistíren snaží tento kal získávat z odpadní vody a dále jej využít.

Tabulka 9.1 Srovnání denní produkce celulóзовého kalu na ČOV.

	Menší ČOV	Větší ČOV
Počet EO	20 000	100 000
Přítok celulóзовého kalu kg/rok	260000	1300000
Přítok celulóзовého kalu t/rok	260	1300
Přítok celulóзовého kalu t/den	0,712	3,562
Množství získané celulózy - ztráty 10%		
<b>Celulóзовý kal t/den</b>	<b>0,641</b>	<b>3,205</b>
Celulóзовý kal t/týden	4,488	22,438
Celulóзовý kal t/měsíc	19,233	96,164

### 9.2 ZPRACOVÁNÍ

Velikost a typ zařízení na separaci celulózy z odpadní vody záleží na velikosti čistírny. Princip však zůstává stejný – odseparovat celulóзовý kal z odpadní vody, který je okamžitě zbaven vody a přesunut dál na pozdější zpracování. Tímto se ušetří energie na provzdušňování aktivačních nádrží, sníží se spotřeba chemikálií, je menší pravděpodobnost uvolnění fosfátů a snížením objemu kalu se sníží i dopravní pohyb. Navíc čistírna může přejít na anaerobní stabilizaci kalu, která je mnohem výhodnější, než ta aerobní.

U menších čistíren se jako ekonomičtější nabízí mobilní menší zařízení, jako je například systém CaDoS, který je určen pro čistírny do 80 000 EO. Ten separuje vlákna celulózy z odpadní vody pomocí vytvoření filtračního koláče na pásu jemných česlí, to podporuje separaci menších částic, než jsou oka síta. Dále odvodní kal na poměr sušiny celulózy:sušina



kalu na 0,3:1. Poté se separuje do kontejneru a je odvážena na další zpracování. Nejekonomičtější je takovýto materiál využít k výrobě bioplynu. Díky tomu, že kal obsahuje více organické hmoty, se z něj vyrobí i více bioplynu. Bioplyn se pak používá na vlastní provoz čistírny, jako je například zahřívání anaerobních nádrží, osvětlení nebo provoz čerpadel. Pokud čistírna nemá plynové hospodářství, kal se odváží na nejbližší spádovou čistírnu, spolu s přebytečným kalem, která má tyto možnosti, popřípadě se může prodat na celulóзовém trhu. Více o systému CaDoS viz kapitola 6.1.2 Získávání celulózy z odpadních vod.

Dalším možným systémem na cezení celulózy z odpadní vody je systém CellCap nebo Cellu2Pla, které jsou testovány v Německu na místních čistírnách různých velikostí a množství vycezené celulózy je až 400 kg za den. Tyto zařízení je možné přizpůsobit individuálním požadavkům čistírny dle jejich velikosti a vybavenosti.

Pro čistírny o velikosti 300 000 EO a více, tedy větší ČOV, je navrhnout a zkoumán systém na cezení celulóзовých vláken SRS firmy ACT. Ten by měl zaručit snížení množství kalu až o 50 % a množství vytěžené celulózy až 5 tun denně, dle složení přítoku odpadní vody. Princip spočívá v odseparování veškerých tuhých látek z odpadní vody pomocí hrubých a jemných česlí, lapáků šterku a písku, čističe zrnitosti a trapézy, která odstraní mastnotu. Zbylá směs se přímo uvnitř SRS vysuší na 20 % obsahu vody a výsledná celulóзовá směs se slisuje. Prozatímní výsledky zkušební doby na ČOV v Nizozemsku ukázaly, že nejenže se snížily náklady čistírny o 30%, ale vznikl nový cenný produkt, který je možný dále využít.

Další možnou variantou je umístění soustavy sít, která budou celulóзовá vlákna z odpadní vody cedit. Jako vhodná se nabízejí síta firmy HUBER, která jsou svými vlastnosti ideální pro separaci vláken celulózy. Mezi nejvhodnější patří na příklad rotační síto RoMesh, které je určeno k separaci vláken a vlasů, nebo membránové síto ROTAMAT, které je rovněž určeno k odseparování vláken a vlasů. U obou těchto produktů je třeba vyřešit následné odvodnění, odseparování celulóзовých vláken, jejich vysušení a separace.

A právě na principech těchto sít firma HUBER navrhla další možnou technologii, která by byla možná umístit na čistírnu odpadních vod. Dle jejich závěrů ze zkušební doby lze předpokládat, že pokud se technologie finest screening umístí na čistírnu, očekává se vrácení zafinancované hodnoty, úspora nákladů a větší výtěžnost bioplynu. Z hlediska technologie čistírny je nutné přebudování primárního zpracování kalu z aerobního na anaerobní a na místo dosazovací nádrže umístit HUBER drum screen LIQUID. Mezi výhody technologie mimo jiné spadá i malá prostorová náročnost, možnost záměny perforovaných desek nebo doprava zahuštěné kapaliny přímo do fermentoru. Více k této technologii v kapitole 7 Zkušenosti HUBER se získáváním celulózy.

Z hlediska ekonomie je vždy nutno zvážit možnosti čistírny. Jak bylo již zmíněno, menší čistírny odpadních vod spadají pod ty větší, kam se odváží přebytečný kal. Jako nejvýhodnější řešení se tedy nabízí umístění menšího zařízení, které odseparuje vlákna z odpadní vody,

odvodní je, vysuší a v takovémto stavu odseparuje do mobilního kontejneru. Tím ušetří čistírna náklady a získá cenný produkt. Vysušená vlákna se pak odvezou spolu s přebytečným kalem na spádovou čistírnu, kde jsou dále využívána. U větších a velkých čistíren se pak musí počítat s mnohásobně větší produkcí celulózového kalu, který musí být dále zpracováván a to primárně pro výrobu bioplynu. Vzhledem k finančním i prostorovým možnostem čistírny je možno přistoupit k variantě využití vláken pro výrobu pelet, bioplastů nebo k jejich následné distribuci.

## 10 ZÁVĚR

Diplomová práce se v úvodu zabývá přiblížením problematiky oběhové ekonomiky, poukazuje na důležitost tendencí tohoto modelu ekonomiky a na jeho výhody, a to hlavně v oblasti čištění odpadních vod a znovuvyužití produktů získaných z odpadních vod. Teoretická část práce popisuje historii čištění odpadních vod a látky, které se z odpadních vod získávají, pak i jak získat z odpadní vody celulózu a hlavně jak ji opětovně použít. Poukazuje na výhody a úspory, které cezení celulózových vláken čistírnám odpadních vod přináší, jako je ušetření nákladů a získání cenného produktu - celulózového kalu.

Praktická část je pak věnovaná výsledkům měření na různých čistírnách odpadních vod, kde byly na zkoušku umístěny různé technologie pro získávání celulózových vláken z odpadní vody. Konkrétní výsledky popisují, kolik celulózy je možno různými způsoby z odpadní vody získat. Popisuje také, kolik je možno v konkrétních číslech ušetřit na elektřině a jaké výhody plynou z přebudování primárního zpracování kalu u čistíren z aerobní na anaerobní. Ke konci praktické části je popsán návrh zařízení pro menší a větší čistírnu odpadních vod a jeho ekonomické zhodnocení.

Přínos této diplomové práce vidím hlavně v přiblížení problematiky oběhové ekonomiky, která přináší úplně jiné principy, než aktuální lineový model. Poukazuje hlavně na důležitost recyklace a znovupoužití produktů a snahu o tendenci snižování množství odpadů. S tím souvisí přiblížení problematiky získávání a hlavně využití celulózy získané z odpadní vody. Je možno vidět konkrétní výsledky z konkrétních čistíren, které jasně potvrzují, že díky vycezení vláken z odpadní vody může čistírna ušetřit část nákladů spojené s provozem čistírny. Použitím této technologie se šetří nejen energie, ale také neobnovitelné suroviny alepší se životní prostředí. Přesně tohle jsou principy oběhové ekonomiky, o které bychom měli v budoucnu usilovat.

## 1 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Circular Economy* [online]. In: . [cit. 2018-11-30]. Dostupné z: <https://kenniskaarten.hetgroenebrein.nl/en/knowledge-map-circular-economy/how-materials-circulate/>
- [2] , Ing. Michal Vrána. *Odpadní vody* [online]. In: . [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: [http://www.vakvs.cz/userfiles/admin/files/pro\\_skoly/odpadni\\_vody.pdf](http://www.vakvs.cz/userfiles/admin/files/pro_skoly/odpadni_vody.pdf)
- [3] , Markéta Jechová. *Vývoj technologií čištění odpadních vod*. Praha, 2010. Bakalářská práce. UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE PEDAGOGICKÁ FAKULTA KATEDRA BIOLOGIE A ENVIRONMENTÁLNÍCH STUDIÍ. Vedoucí práce PhDr. Kateřina Jančaříková, Ph.D.
- [4] *Odpadní vody* [online]. In: . [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~smejkalp/OCV/Odpadni%20vody/Odpadni%20vody-S6.pdf>
- [5] , prof. Ing. Jiří Wanner, DrSc. Čištění odpadních vod v ČR: vývoj a současná situace. In: *Vodní hospodářství, spol. s r.o.*, [online]. [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <http://vodnihospodarstvi.cz/cisteni-odpadnich-vod-cr/>
- [6] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Stokování a čištění odpadních vod*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2535-0.
- [7] , doc. Ing. Zdeňka Lhotáková, CSc. *Zpětné využívání odpadních vod v domech pro bydlení* [online]. In: . 12.5.2014 [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/11202-zpetne-vyuzivani-odpadnich-vod-v-domech-pro-bydleni>
- [8] PYTL, Vladimír. *Příručka pro provozovatele čistírny odpadních vod*. Líbeznice u Prahy: Medim, 2004. ISBN 80-239-2528-8.
- [9] HLAVÍNEK, Petr a Jaromír ŘÍHA. *Jakost vody v povodí*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 8021428155.
- [10] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Stokování a čištění odpadních vod*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 8021425350.
- [11] , Ing. Renata Biela, Ph.D. *Možnosti úspory pitné vody v budovách* [online]. In: . 29.4.2013 [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/uspory-voda-kanalizace/9833-moznosti-uspory-pitne-vody-v-budovach>
- [12] *HOW CAN HARMFUL SUBSTANCES BE REMOVED FROM WASTE WATER?* [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://engineering.mit.edu/ask/how-can-harmful-substances-be-removed-waste-water>

- [13] *Analysis of pharmaceuticals in wastewater and removal using a membrane bioreactor* [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1805043/>
- [14] GLYNWED s.r.o. *Jak využívat dešťovou vodu na zahradě i v domácnosti? Začněte již toto léto!* [online]. In: . 22.5.2012 [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/8622-jak-vyuzivat-destovou-vodu-na-zahrade-i-v-domacnosti-zacnete-jiz-toto-leto>
- [15] Hong Liu, Tong Zhang a Herbert H.P. Fang. Thermophilic H<sub>2</sub> production from a cellulose-containing wastewater. *Biotechnology Letters*. (25).
- [16] *HEAVY METALS IN WASTEWATER REMOVAL AND ANALYSES* [online]. In: . [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: [http://www.ecoprofi.info/docs/event\\_2013-03-22\\_presentation\\_Ramboll\\_Varpula\\_en.pdf](http://www.ecoprofi.info/docs/event_2013-03-22_presentation_Ramboll_Varpula_en.pdf)
- [17] *Cellulose* [online]. In: . [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.scienceclarified.com/Ca-Ch/Cellulose.html>
- [18] *Cellulose recovery from municipal waste water* [online]. In: . [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.aquatechtrade.com/aquatech-news/cellulose-recovery-from-municipal-waste-water/>
- [19] *CADOS Cellulose Assisted Dewatering of Sludge* [online]. In: . [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.cados.nl/wp-content/uploads/2016/06/160531-CADOS-brochure.pdf>
- [20] *UITNODIGING* [online]. In: . [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.cados.nl/wp-content/uploads/2014/09/uitnodigingCADoS-definitief-1-e1409732239289.jpg>
- [21] KINK, Michael a Florian WITTMANN. Feinstsiegung – die intelligenter Vorklärung. Fokus gwf wasser Abwasser. 2016, 3/2016(3).
- [22] HUBER technology. Huber Drum Screen LIQUID measurement analysis.
- [23] LI, Caijian. Enzymatic hydrolysis of cellulosic municipal wastewater treatment process residuals as feedstocks for the recovery of simple sugars. *ELSEVIER: Bioresource Technology*. 2009.
- [24] *Phosphates in Wastewater* [online]. In: . [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.pfonline.com/articles/phosphates-in-wastewater>
- [25] *Phosphorous removal from wastewater* [online]. In: . [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.lenntech.com/phosphorous-removal.htm>
- [26] *Výroba celulózy* [online]. In: . [cit. 2017-01-31]. Dostupné z: [http://geo3.fsv.cvut.cz/vyuka/kapr/SP/2008\\_2009/busta\\_fiedlerova/vyroba.html](http://geo3.fsv.cvut.cz/vyuka/kapr/SP/2008_2009/busta_fiedlerova/vyroba.html)
- [27] *ODPADNÍ VODY* [online]. In: . [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~smejkalp/OCV/Odpadni%20vody/Odpadni%20vody-S6.pdf>

[28] *ÚPRAVA A ČIŠTĚNÍ VODY* [online]. In: . [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka\\_2010/nap.html](http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/nap.html)

[29] *Mercury Removal Techniques for Industrial Waste Water* [online]. In: . [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://waset.org/publications/14912/mercury-removal-techniques-for-industrial-waste-water>

[30] *New Technologies in Lead Removal from Wastewater* [online]. In: . [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.oilgae.com/algae/cult/sew/new/lead/lead.html>

[31] *TOC Determination with Solid Module SSM-5000A* [online]. In: . [cit. 2019-01-08]. Dostupné z: <https://www.email.cz/download/k/vEygYgtP-KGHc4tgd803gWZSi4ARHuwSwFwG-2V23ku1HkROq6fK1YOWBdgPopHkqq4d8BY/toc-determination-solid-module-ssm-5000a.pdf>

## SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Orientační složení splaškových odpadních vod .....	15
Tab. 2.2 Zdroje znečištění dešťových vod .....	17
Tab. 2.3 Orientační složení splaškových odpadních vod .....	18
Tab. 3.1 Odvádění a čištění odpadních vod z kanalizací v letech 1989 - 2015 .....	23
Tab. 3.2 Přehled typů ČOV pro čištění komunálních odpadních vod v obcích ČR.....	24
Tab. 5.1 Limity koncentrací pro těžké kovy .....	39
Tab. 7.1 Tabulka srovnání úspor .....	53
Tab. 7.2 Výsledky fermentace.....	53
Tab. 7.3 Tabulka porovnání technologie čistírny.....	53
Tab. 7.4 Vstupní hodnoty .....	56
Tab. 7.5 Data z měření č. 1, Německo .....	59
Tab. 7.6 Porovnání výsledků sondy Huber a Eurofins.....	62
Tab. 7.7 Porovnání redukce SCHSK a BSK <sub>5</sub> .....	62
Tab. 7.8 Vstupní parametry .....	62
Tab. 7.9 Tabulka kinetických parametrů.....	71
Tab. 8.1 Tabulka výsledků .....	78
Tab. 9.1 Srovnání denní produkce celulóзовého kalu na ČOV .....	79

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Schéma konstrukčně obnovitelného systému .....	13
Obr. 4.1 Graf průměrné denní spotřeby vody v domácnosti na jednotlivé činnosti .....	32
Obr. 5.1 MBR nádrž.....	38
Obr. 6.1 ČOV Ulrum, Nizozemsko.....	45
Obr. 6.2 Odvodněná směs kalu a buničiny, ČOV Ulrum, Nizozemsko.....	47
Obr. 6.3 Pilotní jednotka CADoS, ČOV Ulrum, Nizozemsko.....	48
Obr. 6.4 Schéma porovnání kalového hospodářství, ČOV Ulrum, Nizozemsko.....	49
Obr. 7.1 Graf vývoje cen v Německu od roku 1998 do roku 2014.....	50
Obr. 7.2 Graf snížení koncentrace AFS .....	51
Obr. 7.3 Graf snížení CSB .....	51
Obr. 7.4 Graf srovnání možných úspor v závislosti na snížení CSB .....	52
Obr. 7.5 Mobilní kontejnerový systém HUBER.....	54
Obr. 7.6 Maximální hladina před HUBER Drum Screen LIQUID.....	55
Obr. 7.7 Oddělený materiál ze síta.....	55
Obr. 7.8 HUBER Drum Screen LIQUID pohled shora, měření č. 1, Německo .....	56
Obr. 7.9 HUBER Drum Screen LIQUID celkový pohled shora, měření č. 1, Německo.....	57
Obr. 7.10 Huber Drum Screen LIQUID pohled z boku, měření č. 1, Německo.....	57
Obr. 7.11 Popis mobilní jednotky HUBER Drum Screen LIQUID.....	58
Obr. 7.12 Ilustrace principu separace HUBER Drum Screen LIQUID .....	58
Obr. 7.13 Graf redukce nerozpuštěných látek, měření č. 1, Německo.....	60
Obr. 7.14 Graf redukce CHSK pomocí HUBER, měření č. 1, Německo .....	61
Obr. 7.15 Graf srovnání redukce Nerozpuštěných látek a CHSK, měření č. 1, Německo .....	61
Obr. 7.16 Vstupní část Drum Screen LIQUID Mesh, měření č. 2, Německo.....	62
Obr. 7.17 Výstupní část Drum Screen LIQUID Mesh, měření č. 2, Německo.....	63
Obr. 7.18 Měřicí systém přítoku a odtoku, měření č. 2, Německo .....	63
Obr. 7.19 Graf redukce Nerozpuštěných látek, měření č. 2, Německo.....	64
Obr. 7.20 Rovnice č.1 Gompertzova rovnice.....	71
Obr. 8.1 Vzorek právě namočený (vlevo) a vzorek po týdnu a po rozmělnění (vpravo).....	74



Obr. 8.2 Vysušený vzorek .....	75
Obr. 8.3 Úprava vzorku na pokus .....	76
Obr. 8.4 Vzorek umístěný ve vzorkovací lodi .....	76
Obr. 8.5 Lod' před zajeťím do pece .....	77

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

BSK<sub>5</sub> – biochemická spotřeba kyslíku

ČOV – čistírna odpadních vod

CO<sub>2</sub> – oxid uhličitý

N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - amoniakální dusík

Ca – vápník

Mg – hořčík

Na – sodík

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> amonný ion

NaOH – hydroxid sodný

Na<sub>2</sub>S – sulfid sodný

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – uhličitan sodný

<sup>226</sup>Ra – radium

<sup>222</sup>Rn – radon

<sup>238</sup>U – uran

<sup>230</sup>Th – thorium

N – dusík

P – fosfor

H<sub>2</sub>O - voda

NH<sub>3</sub> – amoniak

MgO – oxid hořečnatý

NO – oxid dusnatý

N<sub>2</sub>O – oxid dusný

pH – vodíkový exponent

H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> – kyselina fosforečná

Ca(OH)<sub>2</sub> – hydroxid vápenatý

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – kyselina sírová

Cu – měď

Pb – olovo

EO – ekvivalentní obyvatel

FeCl<sub>3</sub> – chlorid železitý

AFS – CHSK

CSB – obsah sušiny celulózy

TS – obsah sušiny kalu

## SUMMARY

The diploma thesis deals with the approach of the circulatory economy, highlights the importance of the tendency of this model of economy and its advantages, especially in the field of wastewater treatment and reuse of wastewater products. The theoretical part of the thesis describes the history of wastewater treatment and the substances that are extracted from sewage, then how to obtain cellulose from wastewater and mainly how to reuse it. It points to the benefits and savings that cellulose fiber sewage brings to sewage treatment plants, such as saving costs and obtaining a valuable product - cellulosic sludge.

The practical part is devoted to the results of measurements at various sewage treatment plants where various technologies for obtaining cellulosic fibers from waste water were placed on the test. The specific results describe how many celluloses can be obtained from different wastewater processes. It also describes how much energy savings can be made in specific figures, and what benefits can be gained from rebuilding sewage treatment plants with aerobic sludge stabilization for anaerobic stabilization. At the end of the practical part is described the design of equipment for smaller and bigger sewage treatment plant and its economic evaluation.

The contribution of this diploma thesis I see mainly in the approach of the issue of circular economy, which brings completely different principles than the current line model. It highlights the importance of recycling and recycling of products and the drive to reduce the amount of waste. This is related to the approach of the issue of the extraction and especially of the utilization of cellulose obtained from waste water. It is possible to see concrete results from specific treatment plants that clearly confirm that the wastewater treatment plant can be transferred from aerobic stabilization of the sludge to the anaerobic wastewater and thus save on the running costs of the treatment plant. By using this technology, not only energy but also non-renewable raw materials are saved and the environment will be improved. These are precisely the principles of a circular economy that we should strive for in the future.