

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ



MOŽNOSTI VYUŽITÍ RECYKLACE VODY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Anna Špačková

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Jaroslav Pollert, Ph.D.

květen 2018



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Špačková

Jméno: Anna

Osobní číslo: 439086

Zadávatel katedra: Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Možnosti využití recyklace vody

Název bakalářské práce anglicky: Possibilities of using reuse water

Pokyny pro vypracování:

Na základě rešerše využití recyklace vody a využití dešťových vod ukázat nové možnosti v tomto oboru. Na příkladu nových budov zhodnotit možnosti použití jednotlivých technologií a spolupráce technologií. Zhodnotit ekonomické, společenské, ekologické a jiné hodnoty při recyklaci vody. Využití zkušeností ze zahraničí na naše poměry.

Seznam doporučené literatury:

Budíž voda - Izraelská inspirace pro svět ohrožený nedostatkem vody, Seth M. Siegel

Urban Water Reuse Handbook, Saeid Eslamian

Internetové zdroje

Jméno vedoucího bakalářské práce: prof. Ing. Jaroslav Pollert, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 20.2.2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2018

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 27. 5. 2018

Podpis.....

Poděkování

Chtěla bych poděkovat především prof. Ing. Jaroslavu Pollertovi, Ph.D. za vedení a odbornou pomoc při zpracování této bakalářské práce. Byl mi po celou dobu ochotným a inspirativním mentorem. Stejně tak patří poděkování mým rodičům za veškerou podporu, kterou mi při mém dosavadním studiu poskytli.

Annotation

Water reuse is becoming increasingly common practice applied in field of sustainable development. This bachelor thesis deals with possibilities of water reclamation, motivations leading to water recycling, diverse aspects and values associated with these approaches. Legislation and set regulation in field of water reuse are analysed as well. Several foreign examples are presented as a demonstration of successful realizations and approaches. The trends and activities in this field in Czech Republic are investigated.

Keywords: water reuse, wastewater, rainwater, advanced wastewater treatment, legislation

Anotace

Opětovné využívání vody se stává stále častější praktikou využívanou v oboru udržitelného rozvoje. Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi v oboru opakovaného využívání vod, motivacemi vedoucími k recyklaci vody, rozličnými aspekty a hodnotami spojovanými s těmito přístupy. Rozebírána je též legislativa a nastavená pravidla v oboru opětovného využívání vody. Jako ukázka úspěšných realizací a přístupů je představeno několik zahraničních příkladů. Zkoumány jsou tendence a aktivity v této oblasti v rámci České republiky.

Klíčová slova: recyklace vody, odpadní voda, dešťová voda, pokročilé čištění odpadní vody, legislativa

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Cíle práce.....	9
3	Legislativa	10
4	Motivace k recyklaci odpadní vody	15
4.1	Závlaha	15
4.2	Využití nutrientů	16
4.3	Energetické a průmyslové využití	17
4.4	Finanční motivace	19
4.5	Environmentální motivace	22
5	Charakteristiky vod a jejich recyklace	26
5.1	Černé vody.....	26
5.2	Šedá voda	27
5.3	Recyklace centralizované a místní	28
6	Dešťové vody a trendy v hospodaření	30
7	Rozmanité aspekty při recyklaci vody	34
7.1	Zdravotní rizika.....	34
7.2	Zemědělství.....	36
7.3	Společenské aspekty	39
8	Technologie používané pro recyklaci	40
8.1	Technologie pro získávání tepla.....	40
8.2	Technologie pro recyklaci vody	43
9	Zahraniční příklady	50
9.1	Izraelský přístup	50
9.2	Zahraniční projekty.....	53
10	Opětovné využití vody v České republice	61
10.1	Tendence	61
10.2	Bytový dům s recyklací šedé vody	63
10.3	Dotazníkový průzkum.....	65
11	Závěr.....	66
12	Seznam použitých zdrojů	68
13	Seznam obrázků	76

14	Seznam tabulek	77
15	Seznam použitých zkratk a symbolů	78
16	Seznam příloh	79
16.1	Příloha 1 – Klasifikace membránových filtračních metod dle různých autorů	80

1 Úvod

V současné době v rozvinutých zemích stále sílí společenský tlak na udržitelný rozvoj. Nejinak je tomu v oblasti stavebnictví. Investoři ve výstavbě nemovitostí si častěji kladou za cíl minimalizovat environmentální dopady provozu budov, a tak řada nových kancelářských, bytových, ale i jiných objektů využívá technologie snižující spotřebu. Všeobecné úspory a environmentální zodpovědnost při výstavbě a provozu budov se staly i díky možnosti mezinárodní certifikace v oboru ekologického stavitelství (například LEED - Leadership in Energy and Environmental Design nebo BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method) a exkluzivitě tohoto ocenění prestižní záležitost. V této práci je uvedeno několik povedených příkladů realizací ze zahraničí, kde opětovné využívání vody přispělo i k získání certifikace ekologického stavitelství. Velmi vyspělý přístup k nakládání s vodou a k její recyklaci má stát Izrael. Postoj Židovského státu k tomuto tématu bude proto rozebrán v samostatné kapitole. Stejně tak budou uvedeny zahraniční příklady, které úspěšně vodu recyklují.

V závěru bude zkoumána aktivita a tendence v oboru recyklace vody v České republice. S konkrétními finančními částkami budou spojeny jednotlivé projekty a výzvy. Okomentován bude též dotazníkový průzkum mezi českými společnostmi zabývajícími se opětovným využíváním vody v budovách, který měl za cíl zjistit současné trendy v České republice.

2 Cíle práce

Cílem této práce je vytvoření uceleného přehledu o možnostech opětovného využití odpadní vody. Díky stoupající poptávce se obor zaměřený na recyklaci vody stále rychle rozvíjí. Zájem na opakovaném využívání surovin je obecně velký. Na recyklaci běžných materiálů z domácností, jako například plastů, skla, papíru a dalších odpadů, si společnost poměrně rychle přivykla a třídění je běžnou součástí provozu domácnosti. Ovšem nadále opomíjeným, více než běžným produktem domácnosti, ze kterého by bylo vhodné více „vytěžit“, je odpadní a potažmo dešťová voda.

Mohlo by se zdát, že pro takové tendence nemáme ve střední Evropě dostatečnou motivaci. Stačí si ale uvědomit, že období sucha nás již zasáhla a krátkodobě se nedostatek vody na suchem nejohroženějších místech projevil intenzivněji, než jsme byli z předchozích let zvyklí. Mnohem kritičtější je situace v zemích trvale ohrožených suchem či v zemích závislých na vodním zdroji náležitě znesvářeným státům. Neschopnost státu zajistit dodávky vody může být pro stabilitu země ohrožující. Hrozba válek o vodu se tak v některých regionech světa stává stále aktuálnější. Jedním z opatření, která by mohla částečně pomoci zmírnit dopady sucha je právě zavedení recyklace vody.

3 Legislativa

Závazné stanovení standardů pro čištění vody je zcela zásadní. Kdyby nebyla nastavena pravidla, jejichž dodržování se kontroluje a porušování trestá, tak by lidé vodu nejspíše vůbec nečistili. Odpadní vodu čistíme pouze ze všeobecně akceptovaného zájmu o čistotu životního prostředí. Limity vypouštěného znečištění jsou přirozeně nastaveny, tak aby byly ukojeny nároky nastavené environmentální senzitivitou obyvatelstva a zároveň stejnou měrou byly splněny jejich představy o ceně stočného.

Zákonem určujícím pravidla pro zacházení s vodami, stanovujícím právní vztahy a zajišťujícím udržitelné užívání vod je zákon č. 254/2001 Sb. o vodách, známý též jako vodní zákon. [1] Závazky k čištění odpadní vody jsou ustanoveny v § 38 odstavci 3 zákona o vodách, kde se říká následující: *„Kdo vypouští odpadní vody do vod povrchových nebo podzemních, je povinen zajišťovat jejich zneškodňování v souladu s podmínkami stanovenými v povolení k jejich vypouštění. Při stanovování těchto podmínek je vodoprávní úřad povinen přihlížet k nejlepším dostupným technologiím v oblasti zneškodňování odpadních vod, kterými se rozumí nejúčinnější a nejpokročilejší stupeň vývoje použité technologie zneškodňování nebo čištění odpadních vod, vyvinuté v měřítku umožňujícím její zavedení za ekonomicky a technicky přijatelných podmínek a zároveň nejúčinnější pro ochranu vod...“* [1] Nejúčinnější a nejpokročilejší technologie specifikuje nařízení vlády č. 401/2015 Sb., které mimo jiné stanovuje ukazatele vyjadřující stav povrchové vody a ukazatele přípustného znečištění. [2] Záleží tedy na demokraticky zvolené politické reprezentaci, jak přísné nastaví limity. V době možností, které na poli čištění vody nabízí vyvinuté moderní technologie jako například reverzní osmóza, není omezením vyspělost čistících postupů, ale ochota k nim přistoupit a adekvátně za ně platit.

V odůvodněných případech dává zákon o vodách možnost povolené limity zpřísnit, jak se píše v § 38 odstavci 10: *„Vyžadují-li to cíle stanovené v příslušném plánu povodí nebo cíle ochrany vod či normy environmentální kvality, stanovené přímo použitelným předpisem Evropských společenství, vodoprávní úřad stanoví*

přísnější přípustné hodnoty ukazatelů znečištění odpadních vod než hodnoty stanovené nařízením vlády podle odstavce 8, popřípadě může stanovit další ukazatele a jejich přípustné hodnoty...“ [1] V rukou státní správy zastoupené vodoprávním úřadem je tedy nástroj, kterým mohou některým oblastem zajistit nadstandardní ochranu.

Situace okolo legislativy týkající se opětovného využívání vody a s ním spojených procesů předčištění stále není dostatečně vyjasněna. Zákon o odpadech č. 185/2001 Sb. se v § 2, zabývajícím se působností zákona, v odstavci 1a vyjadřuje následovně: *„Zákon se vztahuje na nakládání se všemi odpady, s výjimkou a) odpadních vod v rozsahu, v jakém se na ně vztahují jiné právní předpisy“* [3] s následným odkazem na zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů. Při této interpretaci se dá usoudit, že nakládáním mimo vypouštění do povrchových a podzemních vod, či užíváním jímek, se zabývá právě zákon o odpadech. Recyklace vody se tak dostává pod vliv zákona o odpadech, který jasně klade důraz na maximální možné využití odpadů (§ 9a).

Využitím vody pro závlahu se obecně zabývá norma ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu, která zahrnuje jak zásady pro závlahové koncepty a provoz, tak i ukazatele jakosti. Ani na úrovni Evropské unie zatím neexistují pravidla, která by sjednotila závlahu recyklovanou vodou, přestože aplikace takové vody v zemědělství mohla přinést značné úspory. Vytváří se tak bariéra pro zahraniční prodej takto zavlažovaných plodin. Na konci roku 2017 byl předložen podklad pro vypracování právních nástrojů na úrovni Evropské unie v dokumentu Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge. Tento dokument ovšem není směrnice, tudíž nenutí země tato doporučení převzít do domácí legislativy. K vytvoření celoevropských opatření pro opětovné využívání vody nabádá dokument Plán na ochranu evropských vodních zdrojů (angl. A Water Blueprint for Europe), vytvořený v roce 2013 pod záštitou tehdejšího slovinského komisaře pro životní prostředí Janeze Potočnika.

Norma ČSN 75 6780 Využití vyčištěných šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích, která by situaci zprehlednila, byla v přípravě od roku 2012. Schvalovací proces byl ovšem přerušen, důvodem bylo „*nedostatečné ošetření hygienických rizik a chybějící opora v současné legislativě*“. [4] Inspirací pro tvorbu této normy je britská norma BS 8525-1. V zahraničí jsou technické normy již zavedeny v mnoha vyspělých zemích jako například v Austrálii, Španělsku, Izraeli nebo v nám blízkém Německu.

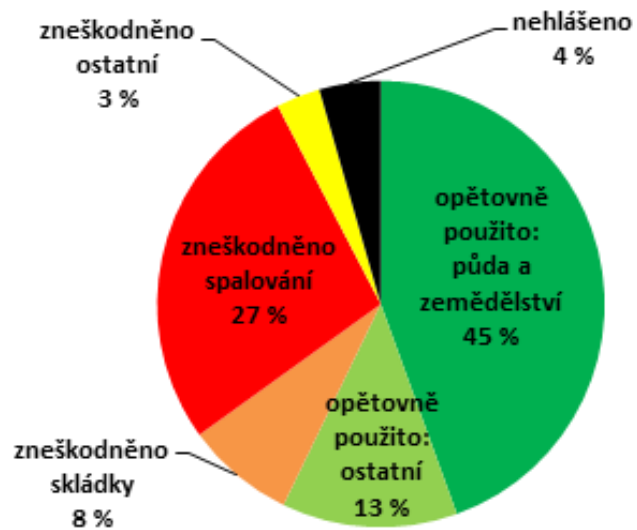
V České republice zatím chybí publikace shrnující doporučené postupy při opětovném využívání vody. K takto zaměřeným zahraničním publikacím se řadí například Guidelines for Water Reuse ze Spojených států amerických nebo, jak již název napovídá, australská Australian Guidelines for Water Recycling. Na Vysoké škole chemicko-technologické takový podobný materiál vzniká jako forma metodického pokynu v rámci doktorské práce.

Obecné cíle v dosažení kvality recyklované vody předkládá ve své literatuře mezinárodní organizace World Health Organization (WHO), která se v publikaci WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater zabývá oblastmi využití produktů recyklace odpadní vody v zemědělství. Za cíl si klade ochranu zdraví farmářů, jejich rodin a konzumentů zemědělských produktů. [5]

Na úrovni Rady Evropských zemí vznikla směrnice 91/271/EHS o čištění městských odpadních vod. Směrnice reaguje na negativní projevy, které způsobují nedostatečně vyčištěné odpadní vody v životním prostředí. V článku 12 odstavci 1 této směrnice se píše: „*Kdykoli je to vhodné, měly by být vyčištěné odpadní vody znovu použity. Způsoby zneškodňování musí minimalizovat nepříznivé účinky na životní prostředí.*“ [6] Podobný vztah cílící na recyklaci je ve směrnici vyjádřen i pro kaly vzniklé procesem čištění odpadní vody - článek 14 odstavec 1 říká: „*Kdykoli je to vhodné, měl by být kal vznikající při čištění odpadních vod znovu použit. Způsoby zneškodňování musí minimalizovat nepříznivé účinky na životní prostředí.*“ [6]

Plnění a dosahování vytyčených cílů směrnici 91/271/EHS je pravidelně každé dva roky hodnoceno. Poslední takovou dostupnou vypracovanou analýzou je *Zpráva o stavu provádění a o programech provádění (podle článku 17) směrnice Rady 91/271/EHS o čištění městských odpadních vod* vydaná 14. 12. 2017. Zpráva se opírá o data z 27 členských zemí shromážděná do roku 2014 (výjimkou je Chorvatsko, na které se povinnost dosáhnout souladu se směrnicí vztahuje až od konce roku 2018). Celkově zpráva pozitivně hodnotí trendy souladu se směrnicí v zemích, které do Evropské unie přistoupily po roce 2004. Při porovnání s daty z předchozích zpráv vyplývá, že v těchto zemích bylo dosaženo významného zlepšení souladu se směrnicí. [7]

Zpráva též pracuje s daty o využívání odpadních vod a kalů z čistíren. Z členských států sdělilo jen 8 zemí, že odpadní vodu opětovně používají. Procentuální množství takto využívaných vod se značně liší (od 0,08% ve Spojeném království po 97% na Kypru). V oblasti produkce a využívání kalů z čistíren odpadních vod bylo dosaženo 58 % opětovného využití, spalováním bylo zneškodněno 27% a stále poměrně velký podíl má i skládkování s 8%. (Obrázek 1: Určení hlášených kalů z městských odpadních vod [7]). Zpráva neopomíná ani oblast podpory financování, které probíhá především z Evropského fondu pro regionální rozvoj a Fondu soudržnosti. Na oblast vody je v období 2014 až 2020 vyčleněno 14,8 mld. EUR. Jako výzvy pro další směřování v naplňování směrnice je považováno mimo jiné právě zvýšení míry opětovného využívání vycištěných odpadních vod, zlepšení kvality a použití kalů nebo shromáždění poznatků o způsobu fungování individuálních systémů. [7]



Obrázek 1: Určení hlášených kalů z městských odpadních vod [7]

4 Motivace k recyklaci odpadní vody

Při pohledu z větší perspektivy je nutné mít na paměti to, že na některých místech světa je odpadní voda příliš vzácná surovina, než aby se s ní nerozvážně zacházelo nebo dokonce plýtvalo. Recyklování odpadní vody sice není všespásný proces, který by dokázal vyřešit komplexní problém environmentální nestability postižených míst, která ve svých důsledcích vede mimo jiné k nedostatku vody, ale může to být zajímavý příspěvek k lepšímu a hospodárnějšímu přístupu k nakládání s vodou.

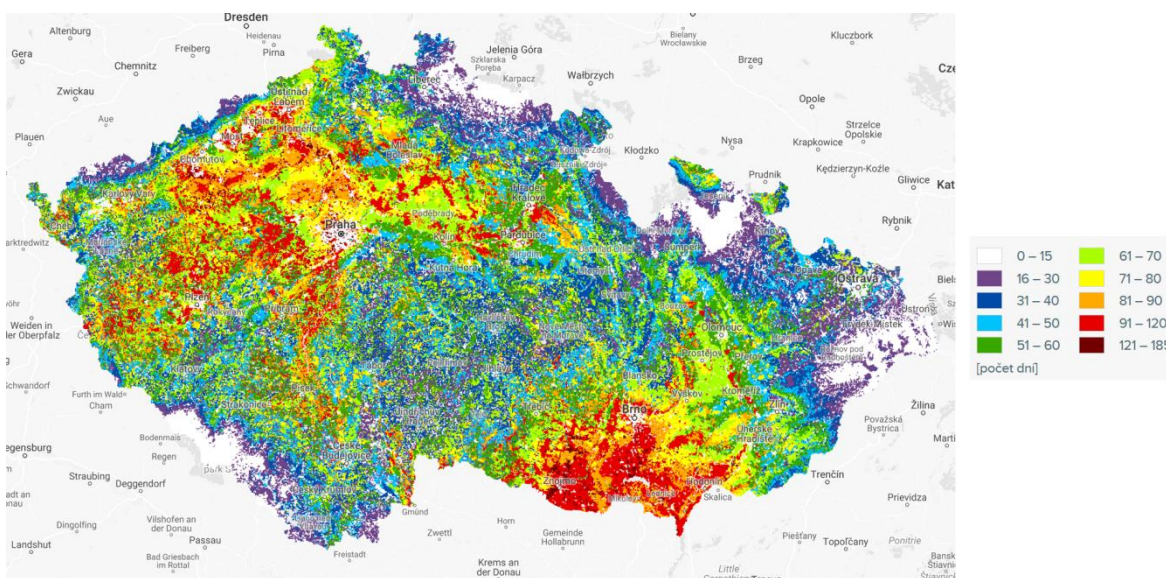
Počet obyvatel naší planety stále roste, dožívá se vyšší průměrné délky života a ekonomicky bohatne. Střední třída se rozrůstá a společně s ní se zvyšují i nároky na množství vody. Životní styl střední třídy je totiž mnohem náročnější na její dodávky. V porovnání s životem v chudobě si mnoho lidí již může dopřát každodenní sprchování, zahradní bazény či jídelníček s větším množstvím bílkovin. Na výrobu masa se totiž spotřebuje významně více vody než na produkci rostlinné stravy. [8]

4.1 Závlaha

Právě v zemědělství spočívá velký potenciál pro opětovné využívání vody a v mnoha zemích se již přistoupilo k její recyklaci. Zásadní je rozhodnutí, jaké plodiny se budou na takto zavlažované ploše pěstovat a jaké bude muset mít vyčištěná voda parametry. Evropská komise si nechala zpracovat od společnosti Deloitte studii, která měla za cíl shromáždit a vyhodnotit názory a návrhy odborné veřejnosti jak optimalizovat opětovné využití vody v Evropské unii. Pro zavlažování technických plodin, závlahu golfových hřišť a městských zelených ploch byla vyslovena poměrně silná podpora. Naopak málo pozitivních reakcí vyvolalo využívání takové vody pro potřeby potravinářství, zavlažování ovoce a zeleniny. [9]

V České republice se setkáváme s tradičním stylem zavlažování nejčastěji povrchovou vodou. Situace v některých oblastech zavlažování přímo vyžaduje,

poněvadž srážky by pro úspěšné a výnosné zemědělství nedostačovaly. Následující mapa zpracovaná Ústavem výzkumu globální změny AV ČR v.v.i. zobrazuje počet dní se sníženou dostupností vody pro rostliny (obsah vody pod 50%) v půdním profilu 0-100 cm (za duben až září). Z mapy můžeme vyčíst, že oblasti s nejhorší situací jsou na jižní Moravě, kde nedostatek vláhy dosahuje dokonce rozmezí 121 až 185 dní, a oblast srážkového stínu Krušných hor. Potenciální zemědělská odbytíště pro recyklovanou vodu v České republice jsou.



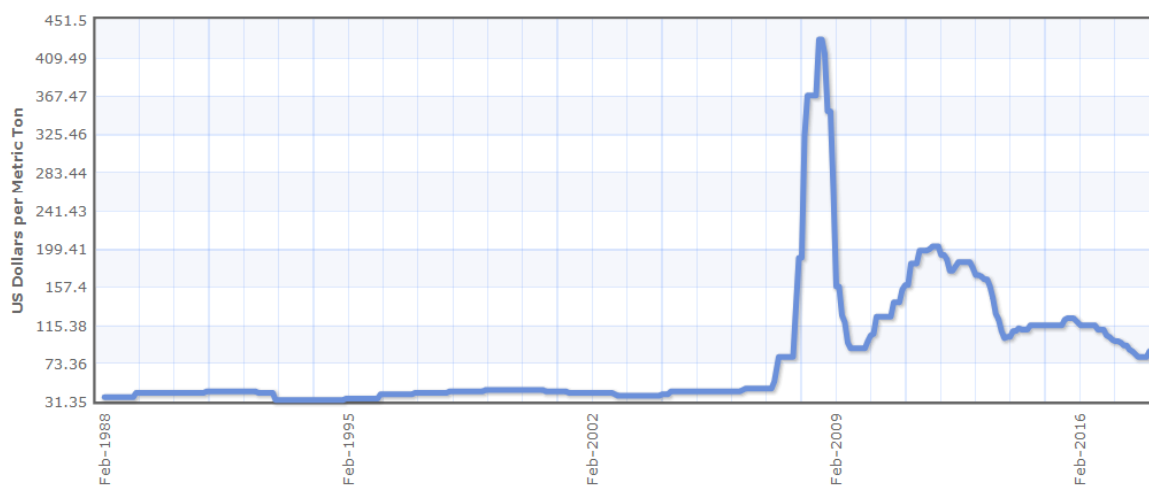
Obrázek 2: Nedostatek vláhy v kořenové vrstvě půdy během vegetační sezóny [10]

4.2 Využití nutrientů

Pozitivní charakteristikou čištěné odpadní vody je nejen poměrně vysoká stabilita její dodávky, ale také její složení, které může při kontaktu s rostlinami fungovat jako hnojivo. Nutriety, které se vyskytují ve významnějším množství, jsou fosfor a dusík. [11] Získáváním těchto nutrientů z odpadní vody se navíc snižuje zatížení povrchových vod, pro které není nadměrné obohacování vody fosforem ani dusíkem žádoucí, protože významně přispívá k eutrofizačním procesům snižujícím množství kyslíku ve vodě.

Fosfor může být získáván třemi základními procesy – z odpadní vody, z čistírenských kalů nebo z popela po termickém využití čistírenského kalu.

Množství fosforu ve formě P_2O_5 se v sušině kalu vyskytuje v rozmezí od 10 hm. % až do 20 hm. %. [12] Zajímavou motivací je vývoj ceny fosforitu, který v posledních jedenácti letech nabyl na dynamice. (Obrázek 3: Vývoj ceny fosforitu [13]) Celosvětové zásoby fosforu se snižují a v souvislosti s vyčerpáváním jeho zásob se vžil termín „fosforový vrchol“ (angl. peak phosphorus). Tato teorie předpokládá, že kolem roku 2035 dojde k vrcholu v těžbě, která se pak již bude jen snižovat. Jedním z přístupů, které mohou zvýšit účinnost při hospodaření s fosforem je jeho recyklace. [13]



Obrázek 3: Vývoj ceny fosforitu [13]

4.3 Energetické a průmyslové využití

V souvislosti s odpadní vodou nemusejí vznikat jen nároky na dodávky energie, která je potřebná pro čištění, ale může naopak docházet k produkci energie. V odpadní vodě se skrývá energetický zdroj a to ve čtyřech podobách: kinetické, potenciální, termální a chemické. Lokální podmínky se u jednotlivých projektů liší, a proto se ne vždy vyplatí získávání každého z druhů energie. [11]

4.3.1 Kinetická a potenciální energie

Kinetická energie je právě jedním z takových. Pro ni je nejdůležitější rychlost průtoků, která je zpravidla spíše nízká. Možnosti uplatnění závisí na topografii

oblasti sběru odpadní vody nebo vstupu a výstupu na čistírně odpadních vod. Pomocí turbín je takto pro čistírnu odpadních vod As-Samra v Jordánsku vyráběno 80-95 % energie, kterou by jinak musela získávat z jiných zdrojů. Ovšem tato čistírna velmi profituje z příhodných výškových rozdílů. [15] [16]

Velikost potenciální energie je přímo úměrná výšce, a proto jsou její možnosti poměrně omezené. Při uvažování průtoku $0,15 \text{ m}^3$ na osobu a den a ideálním spádu 50 m, vychází výnos bez ztrát jen 73,5 J na osobu a den, což je bezvýznamná hodnota. [11]

4.3.2 Termální energie

Mnohem méně zanedbatelné je využití termální energie. Z budov odvádíme vodu s teplotou od $10 \text{ }^\circ\text{C}$ do $25 \text{ }^\circ\text{C}$. [17] Jako vhodnější je zjevně zavedení využívání tepelné energie v místech, kde stabilně protéká více odpadní vody a ideálně i s vyšší teplotou. Odebírání tepla může probíhat z vnějších svodů kanalizačního systému nebo z vnitřní kanalizace objektů.

Získávání tepla z vnější kanalizace má tu výhodu, že odběratelé tepla mohou být relativně blízko a nedojde tak ke zbytečným ztrátám. Umístění výměníku nesmí nijak omezit standardní průchod vody stokou. Výměníky je vhodné umisťovat do potrubí s větším průtokem (15 l/s) a minimálním vnitřním průměrem DN 800. Prefabrikované kusy potrubí s integrovaným výměníkem můžeme dosáhnout i na hodnotu DN 400. Nesmí docházet k usazování nerozpuštěných látek (doporučuje se minimální rychlost $1,0 \text{ m/s}$) a průřez stoky se nesmí zmenšovat. Důležité pro bezproblémový provoz je také zajištění snadného přístupu pro údržbové a kontrolní práce. Otázkou ovšem jsou právní a finanční vztahy související se stokovou sítí. [18] [17]

Lokální odebírání tepla v budovách je omezeno nerovnoměrností odtoku odpadní vody. Vyšší potenciál k aplikaci této technologie mají proto především průmyslové a potravinářské provozy nebo aqvaparky. Vhodně navržené řešení může najít uplatnění i v menších provozech či rodinných domech. [19] [18]

Teplo nemusí být odpadní vodou jen získáváno, ale naopak může sloužit k chlazení vysokoteplotních provozů. Chladicí systémy mají velký potenciál pro opětovné využití vody. Chlazení patří mezi náročné procesy na spotřebu vody v průmyslu. Provozy často mívají interní systémy, ve kterých se voda cyklicky ohřívá a ochlazuje. Do těchto systémů se zpravidla voda musí také dodávat, recyklovaná odpadní voda tak může citelně ušetřit náklady.

Pro využití vody pro chlazení je důležité mít pod kontrolou především obsah těžkých kovů způsobujících korozi potrubí a koncentrace mikroorganismů, které mohou na vnitřním povrchu potrubí vytvořit biofilm. Společnost Apple úspěšně aplikovala recyklaci dešťové vody v datovém centru v Maidenu a ušetřila tak o 50 % potřebu vody oproti předchozímu řešení. Stejná společnost v Prinevillu plánuje vybudovat čistírnu odpadních vod, která by dodávala vodu pro potřeby chlazení. [11] [20]

4.3.3 Chemická energie

Chemickou energii je možné charakterizovat chemickou spotřebou kyslíku CHSK, která je závislá na velikosti organické složky v odpadní vodě. Na kilogram CHSK připadá 3,49 kWh, což z potenciálu chemického využití dělá v pořadí druhý nejvýhodnější z výše uvedených druhů energií. Perspektivnější je jen termální energie. Pro dosažení vyšší účinnosti je lepší, když je organický materiál koncentrovanější. Vhodná je proto separace jednotlivých druhů odpadních vod. [15] [11]

4.4 Finanční motivace

V úvodu byla uvedena analogie opětovného využívání odpadní vody s recyklací běžných odpadů. V tomto směru některé obce dnes poctivě třídící obyvatelé odměňují vrácením části poplatku za svoz odpadu. Obdobně motivující by mohlo být zvýšení poplatků za vypouštění odpadních vod. Již dnes vodní zákon v § 90

odstavci 4 částečně motivuje k redukcí množství vypouštěného znečištění, když uplatňuje snižování poplatku u jednotlivých ukazatelů znečištění, pokud dojde k jejich významnějšímu snížení. Dokonce u snížení o 50 % se poplatek u dané položky vůbec neplatí. [1] Ovšem tento efekt není trvalý, protože zohledňované procentuální snížení může být vztaženo jen k předcházejícímu roku.

Dnes nastavené limity již nespĺňují původní představu o dostatečné motivaci k zlepšování kvality vypouštěných vod. Hmotnostní a koncentrační limity a poplatky za jejich překročení se nijak od uvedení zákona v platnost nezměnily. Co se ovšem změnilo, jsou ceny a příjmy. Jejich nárůst se do těchto poplatků nijak nepropal. Nepochybně po 17 letech platnosti sazeb poplatků přijde dříve či později zpřísňující změna.

Již dnes je proto třeba vhodné přihlídnout k možnému budoucímu vývoji a pracovat s větší perspektivou. Vhodným vodítkem může být plánovaná novelizace vodního zákona, jejíž platnost byla původně zamýšlena od ledna roku 2017. Proč přesně nenastalo její uvedení do praxe v termínu, se dá jen spekulovat. Novela by zavedla mnohé zpřísňující a sazby zvyšující změny a to v kombinaci s rokem voleb do poslanecké sněmovny není příliš atraktivní tématika. Nicméně z důvodové zprávy k plánované změně vodního zákona z roku 2015 lze vyčíst, jakým směrem by Ministerstvo životního prostředí chtělo politiku vypouštěných vod směřovat.

Poplatky jsou dvojího druhu, za znečištění vypouštěných odpadních vod a za objem vypouštěných odpadních vod. Zpráva upozorňuje, že v současné době je zpoplatněno jen 4,3 % vypouštěného množství fosforu a 2 % dusíku. Právní úprava nerozlišuje mezi vypouštěním vod čistěných a nečistěných. Většina znečišťovatelů proto není motivována k redukcí jak znečištění, tak ani k redukcí vypouštěného množství. [1] [21]

Úprava navrhovala zpřísnit koncentrační limity a zvýšit poplatky za znečištění vypouštěných odpadních vod. Následující tabulka porovnává současný a navrhovaný stav limitů a sazeb. Limity úřad nastavil tak, aby byly dosažitelné a

technologicky proveditelné, a zároveň dostatečně motivovaly znečišťovatele ke změnám a oživily tak regulační funkci poplatků.

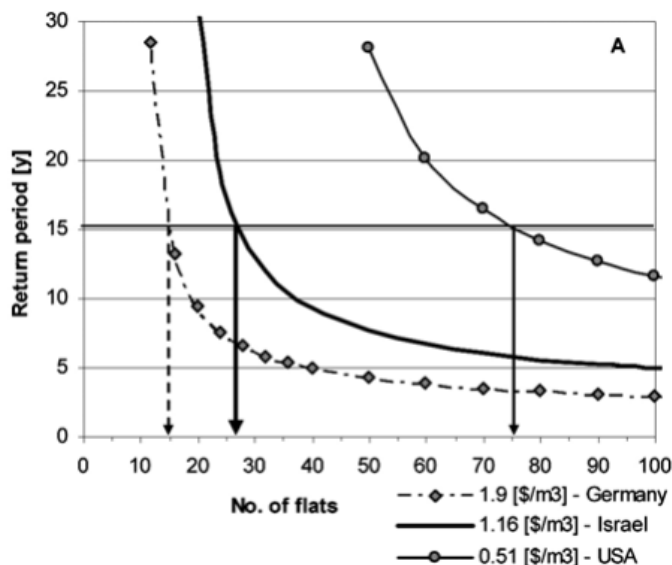
Tabulka 1: Navrhovaná úprava poplatku za znečištění [21]

Ukazatel znečištění	Varianta 0 (současný stav)			Varianta 1 (navrhovaný stav)		
	Sazba Kč/kg	Limit zpoplatnění		Sazba Kč/kg	Limit zpoplatnění	
		Hmotnostní kg/r	Koncentrační mg/l		Hmotnostní kg/r	Koncentrační mg/l
Fosfor celkový	70	3 000	3	300	100	0,2
Dusík anorganický /celkový	30	20 000	20	50	5 000	10
Dusík amoniakální	40	15 000	15	100	250	2
AOX	300	15	0,2	1 000	15	0,05

Zároveň novelizace navrhovala změnu zpoplatnění za vypouštění odpadních vod. Zaváděla dvojí sazebník - pro čištěné a nečištěné vody. Pro čištěné vody bylo plánované desetinásobné postupné zdražování během tří let (z 0,10 Kč/m³ na 1,0 Kč/m³). Vypouštění nečištěných vod by během pěti let podražilo stokrát (z 0,10 Kč/m³ na 10 Kč/m³). Zároveň bylo v plánu snížení limitu ročního vypouštěného zpoplatněného objemu z 100 000 m³/rok na 50 000 m³/rok. [21] Motivování by tak byli i menší znečišťovatelé. Z výše uvedeného lze odtušit, že tato novela měla velký potenciál nastartovat intenzivnější opětovné využívání odpadních vod u nás.

Mimo takovýchto anticipací se dá předvídat i samotná návratnost zařízení pro opětovné využívání vody. Ta se se zvyšující cenou vodného a stočného logicky snižuje. Situaci dobře ilustruje následující graf zobrazující návratnost téhož zařízení na recyklaci vody v bytové budově při třech různých cenách vody (nejdražší v Německu a téměř čtyřikrát nejlevnější ve Spojených státech

amerických). V případě, že by bylo cílem dosáhnout návratnosti zařízení maximálně za 15 let, stačilo by v Německu vybudovat pouze přibližně 15 bytových jednotek, zatímco ve Spojených státech amerických alespoň 76.



Obrázek 4: Návratnost zařízení pro recyklaci v závislosti na ceně vody [22]

Motivační finanční zvýhodnění státu prostřednictvím programu Dešťovka podporuje na lokální bázi tři druhy recyklace vody. Akumulace samotné srážkové vody pro zavlažování zahrad je určena pro domy v místech ohrožených suchem, která jsou předem vytipována. Pro stavby po celé České republice bez ohledu na stáří je určena podpora akumulace srážkové vody pro splachování WC a zálivku zahrady. Ve stejném rozsahu je podporováno využívání předčištěné odpadní vody s možným využitím srážkové vody. U všech variant je maximální spoluúčasť státu stanovena na 50 %. [23]

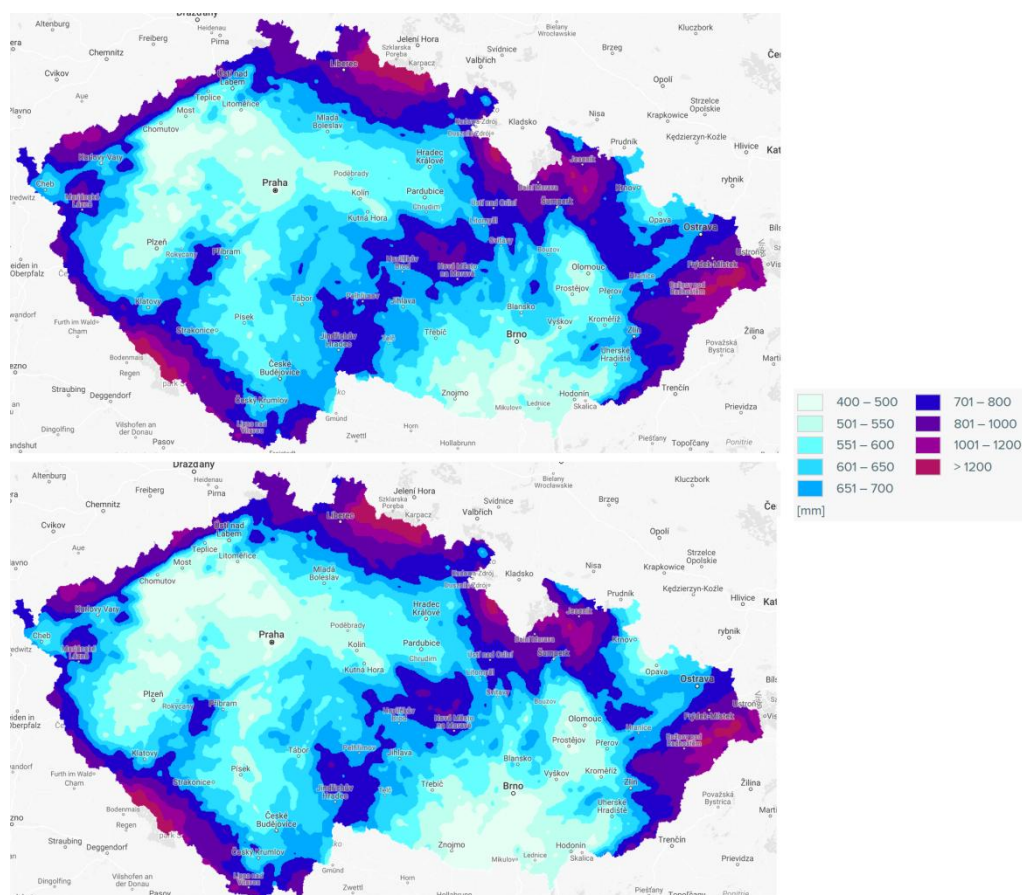
4.5 Environmentální motivace

Recyklovaná voda dokáže adekvátně zabezpečit mnoho potřeb, kde není potřeba voda vysoké jakosti. Navíc úroveň kvality jejího vyčištění můžeme přesně přizpůsobit jejímu budoucímu využití. Jedním z mnoha benefitů ve vztahu k životnímu prostředí je tedy snížení zátěže na vodní zdroje. Více vody tak může být ponecháno v přírodě a snižuje se tak tlak na vodní ekosystémy. Zároveň

kvalitní podzemní zdroje zůstávají zachovány pro choulostivější potřeby, jako například zdroje pitné vody. [24] [25]

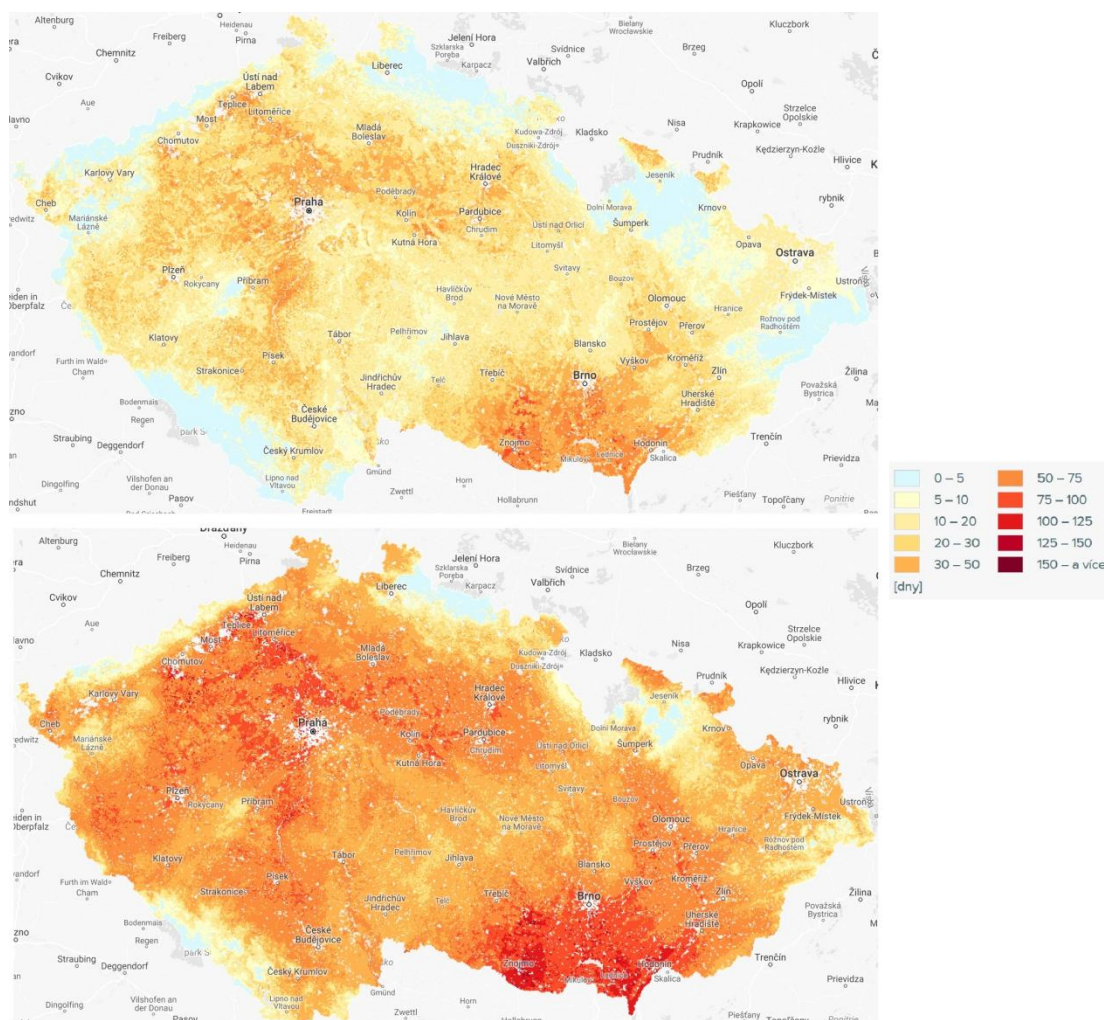
Studováním klimatu se dají vypořádat trendy, s jejichž důsledky se v budoucnu budeme muset vypořádat. Již zmiňovaný Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i. přehledně zpracoval předpovědi vývoje klimatu v České republice. [26] Nabízí celkem pět modelů, z nichž byl pro následující přehled vybrán francouzský model IPSL, dle Ústavu dobře reprezentující medián ostatních jimi testovaných modelů. Vývoj emisí (reprezentativních směrů vývoje koncentrací) byl vždy nastaven na střední hodnotu.

Z map vytvořených modelem pro rok 2090 je zřejmé, že průměrný roční úhrn srážek se nebude nijak významně lišit v porovnání s daty z let 1981 až 2010. Nadále budou nižší průměrné úhrny na jižní Moravě a v oblasti srážkového stínu Krušných hor.



Obrázek 5: Průměrný roční úhrn srážek: 1981 – 2010 (horní obr.), model 2090 (dolní obr.) [27]

Naprostu rozdílná situace panuje u výsledků šetření rizika výskytu horkých nebo suchých period. V současnosti se pohybuje počet dní s těmito jevy na jižní Moravě okolo 50 až 100. Modelovaný výhled do budoucna předpovídá, že přinejmenším takovýchto hodnot bude dosaženo na většině území České republiky.



Obrázek 6: Riziko výskytu horkých nebo suchých period: 1981 - 2010 (horní obr.), model 2090 (dolní obr.) [28]

Sloučením obou prognóz je možné vyvodit, že můžeme očekávat častější extrémy klimatu. Delší suchá období budou střídát krátké deštivé periody, při kterých v ročních úhrnech spadne podobné množství srážek jako dnes. Proto bude nutná adaptace na tyto extrémní změny. Přihlídnutí k výše uvedeným prognózám by mělo být dobrou motivací pro včasné zahájení přípravných opatření. Reálně se dá ovšem předpokládat, že nejprve musí společnost pocítit změnu klimatu a teprve ta vyvolá dostatečný zájem a potřebu zasáhnout s adaptačními opatřeními.

Jak bylo již výše zmíněno, hlavním iniciátorem eutrofizačních procesů v povrchových vodách je fosfor a dusík. Dle údajů Ministerstva životního prostředí 70 % fosforu a 20 % dusíku podílejících se na eutrofizaci má svůj původ v komunálních odpadních vodách (zbylých 30 % fosforu, respektive 80 % dusíku pochází z hnojení). Ministr životního prostředí Mgr. Richard Brabec v rozhovoru pro časopis Vodní hospodářství vyslovil vůli konat a zapracovat na současném stavu. [29] Recyklace těchto nutrientů z odpadní vody je jednou z cest, jak dosáhnout zlepšení.

Využívání termální energie odpadních vod a s ním spojené snižování teploty odpadní vody je z environmentálního hlediska přírodě prospěšné. Chlazení vody za čistírny odpadních vod má pozitivní dopad na toky, do nichž je finální vyčištěná voda odváděna. V praxi se v České republice zatím ovšem takové technologie běžně neaplikují. [16]

Potenciál má i doplňování zásob podzemních vod v příbřežních oblastech, kde hrozí pronikání slané vody. Dodávání vody může probíhat třemi způsoby (vsakovacími nádržemi, studnami nebo přímým vstřikováním). Vsakovací nádrže vyžadují poměrně rozsáhlé území s propustnou zeminou. Voda se přirozeně vsakuje a filtruje nerozpuštěné látky, organické látky, bakterie, viry a mikroorganismy, navíc snižuje obsah dusíku, fosforu a těžkých kovů. Pro hlouběji položené a izolované vodonosné vrstvy je vhodné přímé vstřikování. Tato metoda vyžaduje méně prostoru než vsakovací nádrže, ovšem její vybudování má větší náklady. [24] [30] [31]

5 Charakteristiky vod a jejich recyklace

Již zmiňovaný zákon č. 254/2001 Sb. o vodách v § 38 odstavci 1 definuje: „Odpadní vody jsou vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu), jakož i jiné vody z těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod...“ [1] Tentýž zákon užívá termín srážkové vody pro vody vzniklé dopadem atmosférických srážek. V zákoně č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu je pak užíván termín dešťové vody pro povrchové vody vzniklé z vod srážkových.

Nicméně pro účely opětovného využívání je vhodné rozdělení podle původu a charakteristického znečištění, pak můžeme definovat vody černé, šedé a dešťové. V následujících podkapitolách budou rozebrány první dvě, které jsou přímo navázané na lidskou činnost.

5.1 Černé vody

Černou vodou se označuje spojení dvou poddruhů vod – žluté a hnědé vody. Voda tak obsahuje moč a fekálie zároveň. Černé vody jsou z důvodu vysoké úrovně znečištění komplikované na dostatečně vyhovující úpravu pro následnou recyklaci.

5.1.1 Žluté vody

Hlavní složkou žluté vody je moč, která se skládá z močoviny, rozpuštěných solí a dalších organických látek, nezanedbatelný je též obsah nutrietů. Separace žluté vody se proto jeví jako vhodný způsob jejich redukce v odpadní vodě. Již v 70. a 80. letech minulého století byly ve Švédsku suché toalety vybavovány oddělovači moči. I dnes oddělení moči vyžaduje úpravy zařízení, které dokáže moč odvádět samostatně. Množství dusíku může být sníženo až o 85 % a fosforu a přibližně

o 50 %. Moč se může po půlročním skladování použít jako hnojivová závlaha. Při větším množství může být zpracována na průmyslové hnojivo. Roční produkce moči je zhruba 500 l na osobu. [32] [33]

5.1.2 Hnědé vody

Hnědé vody jsou znečištěny fekáliemi. Skládají se hlavně z uhlíku, menší obsah mají pak dusíku, fosforu a draslíku, ale naopak více vápníku, železa a hořčíku. Produkce je přibližně 50 l fekálií na osobu a rok. [33]

5.2 Šedá voda

Šedou vodou je definována dle EN 12056 splaškové odpadní vody neobsahující fekálie a moč, které odtékají z umyvadel, van, sprch, dřezů apod. Pro šedou vodu, která prošla procesem čištění a je tak možné ji používat jako vodu provozní, se vžil termín bílá voda. [32]

Důležité pro efektivní provoz zařízení je srovnání dosažitelné produkce šedé vody a možnosti upotřebení bílé vody. V případě nízké produkce je zásobník doplňován pitnou vodou, případně v omezené míře dešťovou vodou ze střech a jiných smáčených povrchů. Naopak při nízké spotřebě bílé vody bude šedá voda čištěna a bez užitku přetékat následně do kanalizace. Oba případy jsou ekonomicky nevýhodné.

Voda z kuchyní (dřezů a myček nádobí), takzvaná tmavě šedá voda, přináší více znečištění jako například tuky a oleje. Proto je třeba zvážit, zda se vyplatí zahrnout do navrhovaného řešení i jí. Pokud produkce šedé vody je větší než spotřeba, vyplatí se recyklovat jen „světlou“ šedou vodu z koupelen, sprch a umyvadel. Sníží se tak náklady na čištění a nastává méně nepříznivých efektů. [22] [11] [34] Mezi vhodné adepty pro využívání světle šedých vod se proto řadí například hotely, penziony nebo kancelářské budovy.

5.3 Recyklace centralizované a místní

Recyklace vody může probíhat v nejbližším okolí místa vzniku, ale i centrálně na klasických čistírnách odpadních vod. K úvaze je proto zvážení pozitiv a negativ jednotlivých řešení.

5.3.1 Centralizované řešení

Klasické čistírny odpadních vod svým způsobem již dnes vodu recyklují, když ji upravují do stavu, kdy kvalitativně odpovídá nastaveným pravidlům, které umožňují její navrácení do přírody. Nepřímo se tak vyčištěná voda dostává do zásob podzemních vod, případně do toků, ze kterých čerpáme vodu pro vodárenské účely. Předčištěná voda se dá využít i efektivněji v okolí čistíren.

Nevýhodou centralizovaných řešení je nutnost transportovat odpadní vodu na velké vzdálenosti do čistíren odpadních vod a potřeba velkých profilů stok pro odvod větších množství vody. [35] Naopak výhodou je předvídatelné množství vod a kontinuální odborný dohled kvalifikovaných pracovníků, kteří pečují o bezproblémový chod zařízení.

Centralizovaná řešení produkují více vyčištěné vody, ta musí následně také najít své spotřebiště. Vhodné je zavlažování parků, golfových hřišť nebo zavlažování technických plodin. Nutností je proto předem zvážit, zda lokalita čistírny odpadních vod, zpravidla na okraji města, taková odbytiště nabízí, případně zda by bylo výhodné vodu distribuovat na delší vzdálenosti.

5.3.2 Místní řešení

Pro místní úpravu a využívání odpadních vod je zavedena zkratka DESAR (z anglického Decentralized Sanitation and Reuse). Nevýhodou je údržba zařízení a jeho technologická náročnost. Technologické procesy lokálních řešení neumožňují tak účinné vyčištění vody jako centrální. [35]

Nutností je vybudování separátního potrubí rozvádějícího vyčištěnou vodu, která nesmí přijít do styku s vodou pitnou. Náklady na vybudování potrubí jsou ale výrazně převýšeny cenou čistícího zařízení. Proto se spíše vyplatí budovat zařízení v domech s více bytovými jednotkami.

Otázkou je, kdo by měl za místní systémy platit. Majitelé domácích čistíren platí za údržbu a provoz zařízení, které šetří jejich náklady na vodu. Ostatní část společnosti profituje po ekologické stránce z nižšího vytěžení zásob vody a zároveň z nižšího množství vody odváděné na čistírny odpadních vod. Nevyváženost nákladů pro lokální čistitele se může snížit státní podporou například v podobě dotačního programu Dešťovka.

Velmi vhodné je řešení v místech s nedostatečnými dodávkami pitné vody. Recyklovaná voda v budovách najde upotřebení typicky pro splachování toalet, ale třeba i pro praní či závlahu travnatých ploch. [32]

6 Dešťové vody a trendy v hospodaření

Dešťová voda je jako součást koloběhu vody v přírodě nezanedbatelný prvek ve vodním hospodářství. Je silně provázána s dalšími přirozenými formami vody na naší planetě, kde její dostatek či naopak nedostatek zásadně proměňuje společenství rostlin a živočichů, včetně člověka. Ať jsou to sucha komplikující zemědělství venkovského obyvatelstva nebo urychlené odtoky vody ze stále většího počtu urbanizovaných oblastí, po celém světě se zintenzivňují negativní projevy spojené s dešťovou vodou. Pod vlivem takových změn je způsob hospodaření s dešťovou vodou pomalu proměňován tak, aby byl přírodě co možná nejbližší.

V České republice je v platnosti vyhláška č. 501/2006 Sb. o obecných požadavcích na využívání území, která při řešení stavebního pozemku upřednostňuje vsakování srážkových vod před jejím odváděním (oddílnou či jednotnou kanalizací). [36] Vodohospodářská technická norma TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami řeší mimo jiné i proveditelnost a přípustnost způsobu odvodnění. [37]

Současné tendence tedy směřují namísto co nejrychlejšího odvedení dešťové vody k pomalému vsakování v místě dopadu srážky, případně k akumulaci vody stékající po nepropustných površích a jejímu následnému využití jako provozní vody. Pro principy a plánování v oboru povrchového odtoku se vžilo více akronymů – u nás HDV (hospodaření s dešťovou vodou); ve Spojeném království se užívá SUDS (z anglického sustainable drainage system); velmi rozšířená je zkratka LID (z anglického low impact development) ze Spojených států amerických; označení WSUD (z anglického water-sensitive urban design) se vžilo na Blízkém východě a Austrálii, ovšem to řeší vodu jako komplexní celek včetně vody pitné a odpadní.

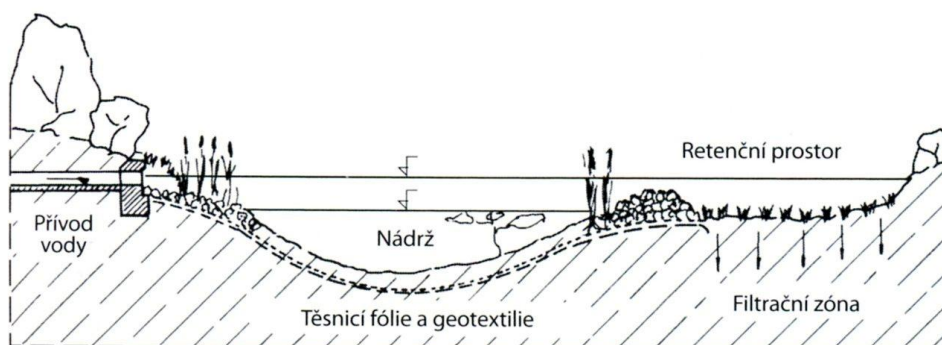
Obecně přístupy zahrnují jednoduché terénní a vegetační úpravy, jako jsou infiltrační příkopy a květináče, průlehy, mokřady, zelené střechy nebo propustné zpevněné plochy, či jiná využití dešťové vody. Často jsou to jednoduchá a také i

drobná a málo nákladná opatření, která jsou ovšem environmentálně vhodnější než klasická řešení při hospodaření s povrchovými odtoky.

Environmentálním přínosem těchto přístupů je především zadržení a vsak dešťových vod, přeneseně redukování povrchového odtoku. Díky nižšímu odtoku je možné navrhovat menší profily stok a dešťových nádrží a společně s tím předpokládat nižší zatížení čistíren odpadních vod. Vliv má také na snižování potřeby pitné vody, v případě že je sbírána pro zavlažování vegetace nebo může spolupracovat s technologiemi pro využití bílé vody. [32]

Infiltrační příkopy jsou vyplněny filtračními vrstvami, které zbavují dešťovou vodu nečistot, s vysokou účinností odstraňují také těžké kovy. Svrchní vrstva bývá tvořena trávou a jinou vegetací. Průlehy jsou zatravněné terénní deprese akumulující a infiltrující dešťovou vodu. Jako lineární prvek se hodí především podél silnic a parkovišť. Zásadní je důkladné vypsádování povrchů odvádějící vodu směrem k infiltračním plochám. [11] [38]

Regulované mokřady mají z části nepropustné dno a jsou tak v některých místech trvale napuštěny vodou. Retenční prostor, potažmo jeho břehy, jsou propustné a umožňují dočasné zadržení a následný vsak dešťové vody. Díky větší vodní ploše se zvyšuje výpar, což má pozitivní vliv na mikroklima okolí. [32]



Obrázek 7: Akumulační dešťová nádrž s připojenou mokřadní infiltrační zónou [32]

Podpovrchový vsak je realizován pomocí podzemních zasakovacích boxů, nebo nádrží. Určující je pro velikost zařízení charakteristika podloží. Při propustnějších bude nádrž menší, protože vsakování bude probíhat rychleji. Hladina podzemní

vody by neměla být blíže než 1 m ode dna a zároveň musí být objekt v nezámrazné hloubce (u nás tedy 0,8 – 1,2 m). Současně je třeba se přesvědčit, že vsak nebude nebezpečný pro zdroje pitné vody.

Klasické pokrývky plochých a mírně skloněných střech mohou být nahrazeny zelenými střechami s vyšší schopností zadržet vodu. Takové střechy se vyznačují také lepšími akusticko-izolačními a tepelnými vlastnostmi. Nevýhodou je vyšší cena a náročnost na nosnou konstrukci stavby, která musí odolat zvýšenému trvalému zatížení. [11] [39]

Alternativním řešením pro zpevněné povrchy je využití propustných asfaltů a betonů. Nevýhodou takových povrchů je ovšem ucpávání pórů a případné nehody s rozlitím pohonných hmot. Vhodnější jsou proto pro chodníky a pěší zóny. Obecně musí být pro vsak především vhodné geologické podmínky, jílovité podloží je proto pro využití těchto technik velice nevhodné. [11]

V urbanizovaných lokalitách bývá často skloňovaným problémem vyšší teplota v porovnání s mimoměstským územím, a to až o několik stupňů. Dešťová voda se na nepropustných površích nevsakuje, podzemní voda není dotována a městská vegetace nemá dostatek vláhy. Ve výsledku sluneční energie dopadající na vegetaci nemůže být spotřebována pro transpiraci tak efektivně, jako u zeleně zásobované vodou dostatečně (až 4 l/m² za den). [32]

Výhodou dešťové vody je její kvalita, ta totiž bývá poměrně dobrá. Po stránce tvrdosti se řadí do kategorie měkkých vod, proto je doporučeno užívání pro praní, zalévání zahrad, úklid a splachování toalet. [40] Znečišťujícími částicemi je především prach, dle regionu v rozsahu mezi 2 a 20 mg/l. Zároveň se kvalita mění během samotného deště, kdy prvotní oplach povrchů přináší nejvíce znečištění. Existují zařízení na bázi plováku, která oddělují vodu z prvotního oplachu a pro další využití převádějí jen vodu z pozdějších fází deště. Obecně jsou méně znečištěné střechy než chodníky a silnice. Rizikem jsou ovšem zvířecí a ptačí výkaly, pyl a listí smývané z povrchů do akumulčních nádrží, znečištění z materiálů střešních pokrývek (olovo) a parazité. [41] [42]

Další nevýhodou je nespolehlivost a nerovnoměrnost srážek. Je třeba zvážit lokální podmínky, ať již pro vsakování - úroveň propustnosti zeminy nebo úroveň rizika (stabilita svahů, nebezpečné látky), nebo pro zachycování srážek - stěžejní je kvantita dešťové vody, která se na daném území dá zachytit. Množství je závislé na součiniteli odtoku povrchu, ploše a intenzitě deště. Z hlediska zachycených objemů vody mají silný potenciál obchodní centra a haly s velkou plošnou rozlohou střech, které jsou zpravidla bez jiného využití.

7 Rozmanité aspekty při recyklaci vody

V ideálním případě se při návrhu opětovného využívání vody sejde více pozitivních aspektů, od návratnosti vynaložených financí po environmentální prospěšnost. Je proto vhodné zmínit některé prvky, které se s recyklací vody pojí. Nejvíce diskutovaná a zároveň omezující jsou zdravotní rizika, společenské aspekty a využívání takové vody v zemědělství.

7.1 Zdravotní rizika

K úspěšné minimalizaci zdravotních rizik vede především redukce množství nebezpečných látek, důsledná a pravidelná kontrola vody a omezení kontaktu s člověkem, pokud se nevyklučuje s cíli recyklace vody (recyklace až na úroveň pitné vody). Rizikům spojeným kvalitou předčištěné odpadní vody pro její následné využití se lze účinně bránit aplikací takových postupů, které budou tato rizika minimalizovat. Splnění limitních hodnot by mělo být samozřejmostí. Stejně tak důsledný monitoring kvality vody a dohled orgánů dozorujících hygienu vody přicházející do kontaktu s člověkem.

Obezřetnost při zacházení s odpadní vodou je ze zdravotního pohledu zcela na místě. Z historického hlediska bylo mnoho chorob a epidemií spojeno právě s vodou, ať již kontaminovanou pitnou, tak i nedůsledným zacházením s vodou odpadní. Stále aktuálnější je dnes v některých zemích hrozící nebezpečí cholery přenášené často vodou znečištěnou fekáliemi. Mezi další závažné choroby se řadí tyfus, či úplavice.

I dnes se při běžném čištění vody vyskytují problémy s vypouštěnými látkami, jako jsou hormony, léčiva, mikropolutanty ale i drogy. Totéž zatížení se může objevit i při využívání recyklované vody. Tyto látky ovlivňují život vodních společenství a dosud není dostatečně vyloučený vliv na další organismy včetně člověka.

Nebezpečí představují aerosoly upravené vody, jejichž rozptýlení a následný kontakt by mohl být pro člověka nebezpečný. Pro minimalizaci rizika je vhodné

zavlažovat v noci, kdy nehrozí případný kontakt člověka s aerosoly. Výhodná je v tomto směru též podzemní závlaha, která neprodukuje aerosoly jako klasická závlaha postřikem.

Opětovné využívání vody na lokální bázi s sebou přináší i rizika spojená s monitoringem a kontrolou kvality a bezpečnosti vody vystupující z procesu přípravy vody. Dálkový monitoring je finančně nákladnější a není schopen odhalit všechna nebezpečí. Kvalifikovaný odběr vzorků, laboratorní prostředí a kultivační metody jsou stále spolehlivější a jejich provedení se dá těžko automatizovat. [43]

Je poměrně nejisté, do jaké míry se může dařit zajištění odtoku čistě šedé vody z domácností. Záleží jen na vůli a uvědomělosti obyvatel, jaké látky do odpadů sprch a umyvadel vypouštějí. V životě přicházejí situace, kdy se takové kontaminaci šedé vody nedá příliš vyhnout (oplach fekáliemi znečištěných předmětů a textilií nebo mytí malých dětí). Bílou vodu není vhodné dlouhodobě skladovat. Podobně jako u běžných rozvodů pitné vody hrozí, že při nedostatečném proudění vody se vyskytne problém s přemnožení bakterie *Legionella pneumophila*. Té se obecně daří při vyšších teplotách, ovšem dokáže přežít i nepříznivé podmínky.

Následující tabulka ilustruje limitní hodnoty pro využívání vyčištěné vody pro splachování toalet ve třech zemích – Spojených státech amerických (US EPA), Singapuru a Velké Británii (BS 8525-1).

Tabulka 2: Limity pro vodu ke splachování toalet

parametr	US EPA [31]	Singapur [44]	BS 8525-1 [45]
Escherichia coli [cfu/100 ml]	nedetekovatelné	nedetekovatelné	250
BSK [mg/l]	≤ 10	< 5	
zápach		neodpudivý	
zákal [NTU]	≤ 2	< 2	< 10

parametr	US EPA [31]	Singapur [44]	BS 8525-1 [45]
barva [Hazen Units]		< 15	
Legionella [cfu/l]			N/A
celkem koliformní bakterie [ks/100 ml]		< 10	1000
pH	6 – 9	6 – 9	5 – 9,5
chlor [mg/l]	min 1	0,5 – 2	< 2,0
brom [mg/l]			< 5,0

7.2 Zemědělství

Především v jižních státech Evropské unie je zemědělství nejvýznamnějším uživatelem recyklované vody. Připravením závlahové vody recyklací se může dosáhnout vlastností, které mohou být pro rostliny prospěšné. [24] Vše má ovšem své limity. Nutrienty ve vodě mohou být v přílišném množství pro rostliny nevhodné. Dusík v odpadní vodě se pohybuje v rozpětí 10 až 50 mg/l. Citlivější rostliny ovšem reagují již na hodnoty přes 5 mg/l. Většina plodin snese množství 30 mg/l. Bylo prokázáno, že soustavné užívání vody obsahující více než 50 mg/l vedlo dokonce k neúrodě hroznů. Přílišné množství má mimo neúrody vliv na kvalitu ovoce, přerůstání rostlin a oddaluje zralost jejich plodin. [46] Dusík a fosfor zároveň mohou podporovat růst řas způsobujících ucpávání zavlažovacích systémů.

Omezením pro závlahu konzumních plodin vyčištěnou odpadní vodou může být též míra tolerance takto ošetřených plodin jejich konzumenty. Potenciálně nebezpečný je především postřik rostlin, které se konzumují syrové, na rozdíl nižší riziko hrozí u závlahy ovocných stromů. Jak bylo již zmíněno v kapitole o legislativě, Evropská unie pracuje na pravidlech, která zvýší kredibilitu zavlažování vyčištěnou odpadní vodou.

Následující tabulka zaznamenává parametry, které má voda splňovat, pokud bude využita pro závlahu rostlin ke konzumaci. První sloupec reprezentuje představu Evropské unie o parametrech z minulého roku, další pak modely z Austrálie a Spojených států amerických.

Tabulka 3: Limity pro závlahu rostlin ke konzumaci

parametr	EU [47]	Austrálie [48]	US EPA [31]
Escherichia coli [cfu/100 ml]	≤ 10 nebo pod limitem detekce	nedetekováno	nedetekováno
BSK [mg/l]	≤ 10	< 10	≤ 10
TSS [mg/l]	≤ 10	< 10	
zákal [NTU]	≤ 5	< 5	≤ 2
Legionella [cfu/l]	≤ 1,000		
vajíčka hlístů [ks/l]	≤ 1		
pH		6,5 – 8,5	6 – 9
chlor [mg/l]		0,2 – 2,0	min 1

Aby se zabránilo kontaminaci zásob podzemní vody, mělo by být rostlinám dodáváno pouze takové množství vody, které dokáží spotřebovat. Takovýmto postupem by mělo být zabráněno průsaku nadbytku do podzemních zásob vody. Složení závlaky nesmí být ohrožující pro půdu ani pro organismy žijící v dané lokalitě.

Závlaha vyčištěnou odpadní vodou může způsobit zasolování půdy. V zemi se akumuluje sodík a půda se stává méně propustnou, to způsobuje zvýšený povrchový odtok a erozi půdy. Zároveň se snižuje schopnost rostlin vstřebávat vodu a nutriety. Vhodným měřítkem pro salinitu vody a míru nebezpečí vyskytujícího se sodíku je elektrická konduktivita, množství rozpuštěných látek a

index SAR (angl. Sodium Adsorption Ratio). Index SAR se počítá jako poměr sodíku a kationtů vápníku a hořčíku dle následujícího vztahu [49]:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Následující tabulka pak v závislosti na elektrické konduktivitě a množství rozpuštěných látek vyjadřuje klasifikaci závlahové vody:

Tabulka 4: Klasifikace vody dle elektrické konduktivity a množství rozpuštěných látek [49]

třída nebezpečí zasolení	elektrická konduktivita [μS/cm]	rozpuštěné látky [mg/l]	klasifikace závlahové vody
C1	0 – 250	< 200	výborná
C2	251 – 750	200 – 500	dobrý
C3	751 – 2250	501 – 1500	přípustný
C4	> 2250	1501 - 3000	nevhodný

V další tabulce je voda charakterizována na základě indexu SAR:

Tabulka 5: Klasifikace vody dle indexu SAR [49]

třída nebezpečí z množství sodíku	SAR [meq/l]	nevhodnost vody pro závlahu
S1	0 – 10	nízká
S2	10 – 18	střední
S3	18 – 26	vysoká
S4	> 26	velmi vysoká

7.3 Společenské aspekty

I dobře technicky připravené projekty recyklace vody s nejdokonalejšími plány pro ochranu zdraví mohou být ukončeny kvůli negativnímu veřejnému vnímání či vžitým společenským předsudkům. V některých státech se je daří částečně odbourávat, ovšem je těžko představitelné, že úspěch a pozitivní vztah k recyklaci se snadno rozšíří do dalších oblastí. Místní kulturní a sociální kontext musí být vždy brán v potaz. Estetické vlastnosti vody mohou být též důležité pro veřejné vnímání opětovně využívané vody. Mezi takové vlastnosti se řadí barva, či zápach. Přestože intenzita těchto vlastností není pro následné využití zpravidla příliš stěžejní, může hrát důležitou roli pro realizaci takových opatření.

Myšlenka na opětovné využívání odpadní vody je zajímavá z historického hlediska. Je evidentní, že probíhá zásadní proměna vztahu k odpadní vodě. Dříve byly tendence spíše se vody urychleně zbavit, případně z ní odstranit pro přírodu nebezpečné kontaminanty a obecně zamezit přímému i nepřímému kontaktu s ní. Hrozba chorob představovala riziko, které nikdo nechtěl podstupovat. Dnešní technologie umožňují bezpečnou úpravu, záleží ovšem na tom, jaká pravidla si pro její využívání nastavíme. Nesmíme opomenout ani možnost selhání lidského faktoru. Technika používaná při zpracovávání odpadní vody přirozeně vyžaduje, aby byla pod odborným dohledem.

Recyklovaná odpadní voda může nahradit běžně užívanou pitnou vodu v mnoha oblastech – od závlahy, přes postřik ulic až k domácímu využití ke splachování toalet. Dá se předpokládat, že s narůstajícím trhem zařízení na opětovné využívání vody se bude cena těchto zařízení snižovat a ty se tak budou stávat více dostupné. Souběžně s vývojem a aplikací zařízení na opětovné využívání vody by měly probíhat osvětové kampaně, které rozptýlí obavy veřejnosti a vyzdvihnou pozitivní příklady společně s jejich dopady.

8 Technologie používané pro recyklaci

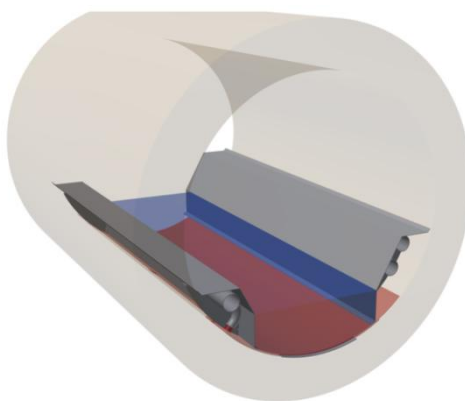
8.1 Technologie pro získávání tepla

8.1.1 Vnější kanalizační svody

Technologie pro získávání tepla z vnějších kanalizací se liší v závislosti na tom, zda bude teplo získáváno z původního potrubí nebo bude na místě osazeno potrubí s již integrovaným rekuperačním systémem. Dle způsobu osazení a konstrukčního řešení dělíme výměníky na:

- výměníky vložené do kanalizačního potrubí
- výměníky tepla integrované do betonové stěny kanalizačního potrubí
- předizolované kanalizační potrubí s integrovaným ocelovým výměníkem tepla
- externí ocelové dvoutrubkové výměníky tepla [17]

Výměníky tepla vložené do kanalizačního potrubí mají výhodu, že jako jediné mohou být instalovány v již existujícím potrubí a zároveň tvarování kontaktní plochy vloženého zařízení může zajistit dobrou funkčnost i za nižších průtoků. Firma KASAG vytvořila výpočetní software a patentovala takový výměník tepla. [17] [50]



Obrázek 8: Potrubí s vloženým výměníkem tepla [50]

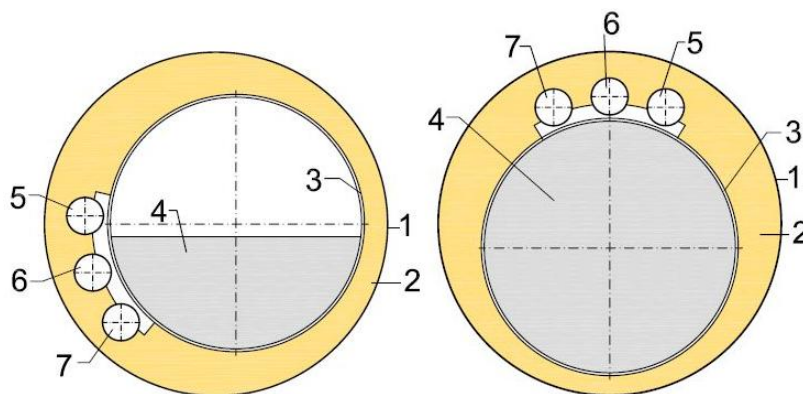
Výměníky integrované do betonové stěny kanalizačního potrubí umožňují využívat teplo i při menších průměrech potrubí (min DN 400). Konstrukce je poměrně jednoduchá, prefabrikované kusy o délce 1 až 3 m mají tlustší dno, které v sobě ukrývá rozvodné a sběrné potrubí. Výměník tepla může být dlouhý od 9 do 200 m.

Švýcarský výrobce této technologie Rabtherm uvádí návratnost investice mezi 2 a 6 lety, přičemž z 1 m³ odpadní vody dokáže získat přibližně 2-3 kW/h. [51]



Obrázek 9: Betonové potrubí s integrovaným výměníkem tepla [51]

Předizolované kanalizační potrubí je charakteristické vysokou izolační schopností svrchního pláště. Může být uloženo pod povrchem nebo dokonce díky vysoké schopnosti odolávat mrazům ležet na zemi. Jako vnitřní materiál je použita nerezavějící ocel. Potrubí se vyrábí nejen pro gravitační ale i pro tlakové systémy. Na rozdíl od gravitačních systémů mají tlaková vedení rozvodná a sběrná potrubí rozmístěna na horní části průřezu. (Obrázek 10: Příčný řez gravitačním a tlakovým předizolovaným potrubím). Firma KASAG udává, že při průměru potrubí 800 mm je produkce tepla 2,1 kW/m u gravitačního systému a 6,3 kW/m u tlakového. [52] [53] [17]



Obrázek 10: Příčný řez gravitačním a tlakovým předizolovaným potrubím [17]

Externí dvoutrubkový výměník se od klasických dvoutrubkových výměníků liší jen médiem použitým jako zdroj tepla. Vnitřním potrubím proudí odpadní voda a

v meziprostoru vytvořeným vnějším potrubím proudí čistá voda. Teplo je přenášeno mezistěnou oddělující odpadní a čistou vodu. [17]

Problematická je tendence k zarůstání výměňkové plochy biofilmem. Což přináší zvýšené náklady na čištění, které se provádí tlakovou vodou nebo manuálně kartáči. Případně lze navrhnout stavítko, které opláchne povrch a zvýšeným tečným napětím biofilm alespoň částečně odstraní. Z hlediska údržby je údržby je pak v tomto směru nejjednodušší předimenzování výměníku tak, aby naplňoval výkonnostní představy i při pokrytí biofilmem. [54]

8.1.2 Vnitřní kanalizační svody

Při získávání tepla z vnitřních svodů probíhá předehřev pro přímou spotřebu, nebo do zásobníku teplé užitkové vody. Oba systémy využívají odtékající vodu ze zařizovacích předmětů k předehřívání studené vody, která je v nich spotřebovávaná. Pružně reagující předehřátí tak snižuje spotřebu teplé vody. [19]

Přímé předehřívání může být využito u sprch a umyvadel, tedy tam kde spotřeba teplé vody signifikantně přesahuje spotřebu studené vody. Tento systém není vhodné používat u kuchyňských dřezů, kde je značná spotřeba i studené vody, a zároveň odpadní voda obsahuje oleje, které by mohly snižovat účinnost výměníku tepla. Voda se může v dobře fungujícím výměníku předehřát na teploty až kolem 20 °C. Výhodou je absence tepelného čerpadla, tudíž žádná spotřeba elektrické energie. Nevýhodou může být zdržení, než teplá voda doputuje k vodovodní baterii, jehož délka se odvíjí podle délky potrubí a poloze výměníku. [19] [55]

Princip systému se zásobníkem teplé vody je následující. Akumulační nádrž s odpadní vodou má zabudovaný výměník, který předchází zásobníku s teplou vodou. Studená voda s běžnou teplotou 10 °C se tedy nejdříve předehřeje ve výměníku akumulární nádrže odpadní vody na teplotu 20 – 24 °C a teprve pak putuje do zásobníku teplé vody. Akumulační nádrž odpadní vody se cyklicky plní a vyprazdňuje. Výhodou je, že zásobník dokáže obsloužit více zařizovacích

předmětů. Tento způsob je ovšem méně výhodný z hlediska tepelných ztrát, protože zásobník je zpravidla umístěn dále než výměník. [55] [19]

8.2 Technologie pro recyklaci vody

Technologické řešení pro čištění vody se zásadně liší podle úrovně znečištění vody a účelu jejího následného použití. Jiné požadavky budou kladeny na vodu, která se bude užívat jako pitná, nebo která bude určena pro závlahu technických plodin.

Americká Environmental Protection Agency sestavila návrh pro využití čištěné vody. Dle zvyšující se úrovně vyčištění se zvyšuje i potenciální riziko kontaktu s člověkem. Vodu ošetřenou pouze primárním stupněm čištění nedoporučuje k jakémukoliv užívání. Po sekundárním procesu čištění biologickou oxidací a následnou dezinfekcí je voda vhodná pro závlahu sadů a vinic, technických plodin, průmyslové chlazení, doplňování zásob podzemních vod pro nepitné účely a podporu mokřadů a vodních toků. Úprava dalšími procesy čištění, zahrnující chemickou koagulaci, filtraci a následnou dezinfekci, připraví vodu pro závlahu golfových hřišť a zemědělských plodin, splachování toalet, mytí automobilů a při vhodných podmínkách i pro doplňování zásob podzemní vody pro pití. [25]

Úroveň kvality vyčištěné vody je klíčovým faktorem pro její následné využití. Nezbytná je tudíž také spolehlivost zařízení. Rozsáhlejší problémy zařízení by mohly způsobit pokles důvěry v kvalitu vyčištěné vody a snížit tak ochotu využívat recyklovanou vodu. Takové technologie proto vyžadují pečlivý dohled a pravidelnou údržbu.

8.2.1 Stupně čištění

8.2.1.1 Primární čištění

Při primárním čištění jsou z odpadní vody odstraněny hrubé nečistoty, štěrk, písek, oleje a tuky. Tento proces probíhá na česlích, sítích, lapácích a v sedimentačních

nádržích. Výsledkem těchto mechanických procesů je odpadní voda, která není nebezpečná pro zařízení v následujících stupních čištění. Jak bylo již výše zmíněno, kvalita vody po primárním čištění není ještě zdaleka vhodná pro jakékoliv následní využití.

8.2.1.2 Sekundární čištění

V dalším stupni čištění je odstraňováno organické znečištění. Proces se děje pomocí mikroorganismů a bakterií, které z organických složek odpadní vody získávají energii. Nejběžněji se využívá aktivovaný kal s podporou provzdušňování v aktivačních nádržích. Alternativně mohou být využity biofilmové reaktory pracující na stejném principu mikroorganismů vyživovaných organickou hmotou v odpadní vodě za přítomnosti kyslíku.

V Evropské unii bylo k roku 2014 čištěno sekundárním stupněm 88,7 % odpadních vod. [7] Což značí, že tato technologie je více než běžná. Další zdokonalování procesů na čistírnách odpadních vod by se proto mělo zaměřit na intenzivnější procesy čištění.

8.2.1.3 Pokročilé možnosti čištění vody

Až u terciárního čištění můžeme předpokládat, že voda dosáhne kvality, která bude přijatelná pro následné využívání. Zároveň zpřísňující se limity budou v budoucnu vyžadovat, ať již přímo či nepřímo, zařazení procesů terciárního čištění. Pak nebude nic stát v cestě většímu rozvoji opětovnému využívání vody.

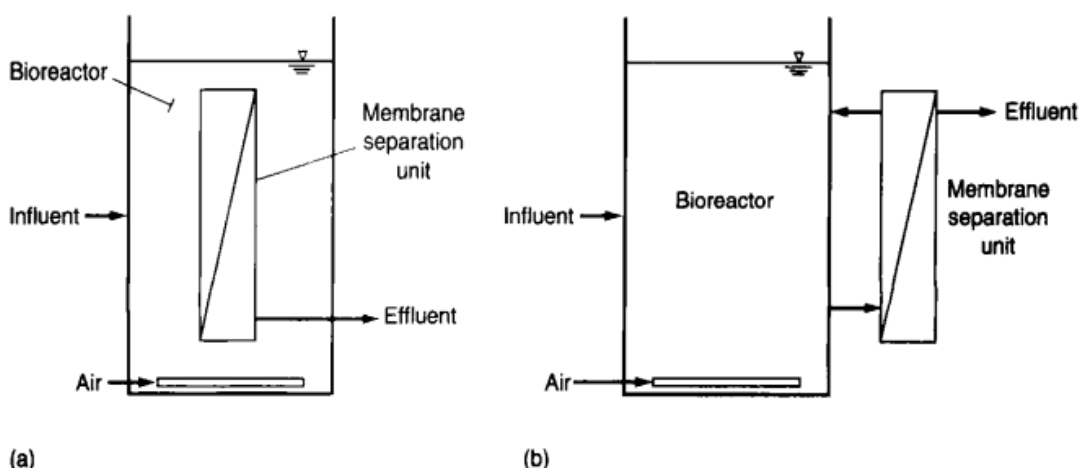
Mezi takto pokročilé způsoby čištění se řadí membránové bioreaktory, membránové filtrace a pokročilé oxidační procesy.

Membránové bioreaktory

Membránové bioreaktory kombinují biologické a fyzikální procesy pro čištění. Zařízení po zpracování biologicky rozložitelných látek v aerační části bioreaktoru přes membránu separuje vyčištěnou vodu od zbylých látek.

Problémy při provozu se vyskytují především u membrán, které mají tendence se zanášet jak pevnými částicemi, tak kumulací koloidních látek. V důsledku nutnosti čištění způsobuje přerušování čistícího procesu. Membránová část zařízení může být ponořena v aerační nádrži nebo může být umístěna mimo ní. U ponořených membránových jednotek je nutný pravidelný zpětný proplach případně i užití chemikálií. Při variantě s jednotkou mimo nádrž recirkuluje kapalina bez vyčištěné vody zpět do nádrže při vyšších rychlostí podél povrchu membrány. Nevýhodou obou těchto variant je vyšší spotřeba energie a větší investiční náklady. [11] [56]

Protože zařízení vyžaduje delší dobu zdržení vody, hodí se spíše pro lokality s menšími objemy odpadní vody (do 2000 m³/den). Produkce kalu je poměrně nízká a díky kompaktnosti zařízení vyžaduje málo prostoru. Membránové bioreaktory jsou vhodným zařízením pro přípravu vody pro další ještě intenzivnější čištění, jako je například nanofiltrace nebo reverzní osmóza. [11] [56]



Obrázek 11: Schematický diagram membránového bioreaktoru: (a) s ponořenou membránou a (b) s membránou mimo nádrž [56]

Membránové filtrace

Technologie membránové filtrace se rozlišují dle velikosti pórů a rozdílu tlaků na membránách na mikrofiltraci, ultrafiltraci, nanofiltraci a reverzní osmózu.

Mikrofiltrační membrány pracují na principu cezení. Membrány jsou tvořeny polymerním filmem nebo keramickou strukturou. Mikrofiltrace může připravit vodu

pro čištění reverzní osmózou. Tato technologie sama o sobě není schopna zachytit viry, přesto je v jejich redukci částečně úspěšná. Viry mají sklon vázat se na pevné látky a shlukovat se, což vede k redukci jejich počtu oproti stavu před mikrofiltrací. Částečný úspěch ovšem není garance jistoty, tudíž je potřebné případné další čištění či desinfekce. [57] [11] [58]

Ultrafiltrace funguje na podobném principu jako mikrofiltrace, tedy cezení. Proces využívá stejné typy membrán, ovšem jednotlivé póry jsou menší. Stejně jako mikrofiltrace může připravit vodu pro čištění reverzní osmózou. Také se hodí spíše na odstraňování suspendovaných nečistot. Výsledná voda má stále poměrně vysoký podíl nutrietů, dusík a fosfor je filtrací téměř nezasažen. [11] [57] [58] Nabízí se proto využít vodu následně v zemědělství, kde obsah dusíku a fosforu není závadou.

Následující dva typy membránové filtrace jsou vhodné pro odstraňování rozpuštěných látek. První z nich, proces nanofiltrace je označován za slabší formu reverzní osmózy. Membrány bývají z podobných materiálů, ovšem využívá výrazně nižší tlaky. Oproti reverzní osmóze propustí více jednomocných iontů. Pomocí nanofiltrace se může snižovat tvrdost vody nebo odstraňovat barva vody. [11] [59] Takto kvalitně upravená voda nabízí již větší možnosti uplatnění než předchozí uvedené způsoby membránové filtrace.

Nejradikálnější technologií je reverzní osmóza, ta je ovšem zároveň nejdražší variantou. Semipermeabilní membrána má schopnost vyloučit z vody malé částice dokonce o velikosti jednomocných iontů. Vzhledem k tak vysoké účinnosti proces vyžaduje výrazně vyšší tlaky. Princip procesu tkví v dodání tak velkého tlaku vodě přicházející do procesu, že je překročen osmotický tlak mezi ní a výsledným produktem - permeátem. Reverzní osmóza našla své uplatnění především při odsolování mořské vody. Aby se zabránilo ucpávání membrány, může se voda přicházející do zařízení i desinfikovat. [11] [56] Přesto není neobvyklé, že průtok přes membránu se za rok sníží o 25 až 30 %. [57]

Příloha 1 – Klasifikace membránových filtračních metod dle různých autorů shrnuje poznatky autorů, kteří se filtračními metodami zabývali – Asano [59], Esalamian [11], Tchobanoglous a kol. [56] a také dělení dle Evropské komise [60]. V klasifikaci membránových filtračních metod se liší co do velikosti pórů a zadržených částic, pracovních tlaků a odstraněných látek. Někteří autoři sledovali i spotřebu energie.

Pokročilé oxidační procesy

Pokročilé oxidační procesy známé také pod zkratkou AOP (z anglického Advanced oxidation processes) odbourávají znečištění, které předchozí stupně čištění nedokázaly odstranit. Procesy využívají hydroxylové radikály, které fungují jako silné oxidační činidlo. Při AOP se tak látky rozkládají na nejjednodušší prvky.[61] [58]

Ozonizace je dnes již běžnou dezinfekční technologií. Dokazuje to oblast vodárenství, kde je již dobře zavedenou technologií pro odstraňování *Escherichia coli*. Molekula ozonu má velmi dobrou oxidační schopnost, díky níž jsou ve vodě likvidovány bakterie a viry. Mezi hlavní nevýhody využívání ozonu se řadí jeho nestabilita, tedy krátká doba, za kterou se molekula ve vodě rozpadne, a zároveň to, že je vyráběn na místě ze vzduchu nebo z čistého kyslíku, což oboje vede k vyšším nákladům, které se nejvýrazněji projeví u velkých čištěných množství. [11] [58]

Ozonizace se může eventuálně posílit peroxidem vodíku. Účinně se tak odstraňují pachy, chutě, pesticidy a oxidují se mikropolutanty. Optimální podíl ozonu ku peroxidu vodíku je mezi 0,3 a 0,6. [11]

Při nasycení vody ozonem může být voda ozařována UV zářením s vlnovou délkou 200 až 280 nm. Tato metoda je považována za složitější a dražší než kombinace ozonu a peroxidu vodíku, ovšem vykazuje vyšší účinnost. [11]

Další alternativou je samotné UV záření s vlnovou délkou 100 až 200 nm. Oxidace probíhá buď přes hydroxylové radikály, nebo přímou absorpcí UV záření. Proces se může též podpořit přidáním peroxidu vodíku. [61]

8.2.2 Inteligentní systémy řízení

Současným trendem je technologický rozvoj na poli takzvaného internetu věcí, tedy zařízení vybavených senzory, softwary a elektronikou umožňující jejich vzájemnou komunikaci a zároveň se schopností samostatně rozhodovat. Z příkladů již poměrně zavedených využití internetu věcí mohou být uvedeny chytré domácnosti, řízení svozu odpadů, ale i podpora zdravotně postižených a mnoho dalších. Rychlý rozvoj online technologií se bude dále propisovat jistě i do procesů čištění vody. Technologie jsou schopny pomocí získaných dat identifikovat, vyhodnocovat, kontrolovat procesy a v případě potřeby i samy účinně zasáhnout.

Pro inteligentní systémy jsou zásadní získaná data, ze kterých jsou následně vyvozována řešení nastalých situací. Na základě dostatečného množství dat se dají sestavit modely obvyklého chování systému. V případě poruchy a s ní spojeného náhlého vybočení ze standardního režimu dokáže systém na změnu upozornit. Izraelské město Raanana zavedlo s podporou firmy Miltel a IBM tento princip na vodoměry. Technologií DMR (Distance Meter Reading) je celkem 27 000 vodoměrů spojeno s vodárnou, které každé 4 hodiny předávají data o spotřebě vody. Pokud dojde k podezřelému chování spotřeby, je na něj odběratel upozorněn. [8]

V rámcovém programu pro výzkum a inovace Evropské unie Horizon 2020 vznikl projekt iMETland, který se zaměřil na využití internetu věcí pro čištění odpadních vod pro malé či izolované lokality. Přítok, čistící jednotka a odtok je monitorován pomocí solárně poháněného modulu Waspnote. Mezi zjišťované a měřené parametry patří teplota vody, pH, zákal, vodivost, obsah rozpuštěného kyslíku, ale také atmosférické podmínky – vlhkost, sluneční záření a tlak. Modul bezdrátově

přenáší data do centrálního zařízení napojeného na 3G síť, odtud je zajištěn přístup k datům pro uživatele. [62] [63]

Aby šla zařízení plně využít je potřeba vybudovaná bezdrátová přenosová síť. V České republice se bezdrátová síť pro internet věcí stále rozvíjí. Mezi tři hlavní sítě patří SigFox, LoRa a NB-IoT. První dvě pracují v rámci volného kmitočtového pásma s vlastními vysílači. Společnost T-Mobile již téměř tři roky spolupracuje se společnostmi SigFox a nyní přidávají i technologii NB-IoT. Společnosti Vodafone a O₂ již využívají právě technologii NB-IoT. České radiokomunikace vsadily na otevřenou technologii LoRa. Největším nebezpečím je pro inteligentní systémy řízení jakékoliv větší selhání, či zneužití, které by mohlo podkopat důvěru v taková řešení. NB-IoT funguje v pásmech licencovaných telekomunikačním úřadem.

9 Zahraniční příklady

Některé státy světa si již začínají uvědomovat, jaké neblahé důsledky by mělo pokračování současného plýtvavého přístupu ve vodním hospodářství. Někdy je dokonce již i naplno prožívají a snaží se jim bránit. V České republice nejsou tendence k opětovnému využívání vody tak intenzivní. Pozitivní změna byla zaznamenána především ve spotřebě vody, která se po výrazném zdražení v 90. letech minulého století začala snižovat. V oblasti recyklace použité vody zatím stále za ostatními státy zaostáváme. V zahraničí mají velmi vyspělý a uvědomělý přístup k využívání vody státy jako je Austrálie, Kanada, Velká Británie nebo Spojené státy americké. Zdaleka nejpropracovanější systém má nastaven stát Izrael.

9.1 Izraelský přístup

Pro Izrael je charakteristické silné celospolečenské chápání důležitosti otázky vody. Voda není vnímána jako samozřejmost a již od útlého dětství se výchova věnuje i hospodárnému zacházení s vodou. Vliv mají jistě i židovské modlitby, ve kterých jsou často zařazeny prosby o příchod cenného deště. Původ těchto tendencí tkví v charakteru území Izraele. Většinu plochy státu tvoří poušť a polopoušť, tedy místa extrémně chudá na vodu.

Izraelský přístup je velmi komplexní a dbá o celou cestu vody od zdroje, přes uživatele, k čištění a následné recyklaci. V začátcích důmyslného hospodaření s vodou bylo stěžejní ustanovení legislativního rámce. V polovině padesátých let byly schváleny základní tři zákony - zákon zakazující provádění vrtů za účelem získávání vody bez předchozího povolení, zákon povolující odběr vody pouze přes vodoměr a zákon, který pod státní dohled dostal veškerou vodu od dešťové po splaškovou. Vrcholem legislativního úsilí byl v roce 1959 zákon o vodě přinášející absolutní centralizaci vlastnických práv k vodě. Dal státu silné pravomoci pro kontrolu a restrikce a zároveň přímo předpokládá od strany uživatelů vody jejich střídmy přístup a efektivní nakládání. Zároveň zákon ustanovil funkci komisaře pro vodní záležitosti, jehož úkolem bylo vytváření národní politiky hospodaření

s vodou a její aplikace. Tento sám o sobě apolitický úřad byl pod patronátem izraelské Rady pro vodu, která byla pod dohledem ministra zemědělství. Postupem doby se stále více ministerstev podílelo na dohledu nad ním. V roce 2006 vzešla z izraelského parlamentu iniciativa doporučující zásadní organizační změny. Komise pro vodu se transformovala na Vodohospodářský úřad, jehož práce se stala ještě více nezávislá. Pozoruhodný je v tomto směru nízký počet korupčních afér, které za desítky let práce úředníků postihly úřad dohlížející na tak choulostivé záležitosti jako je rozdělování vody. [8]

Důležité bylo pro financování vodohospodářské sítě rozhodnutí z roku 2008, že každý bude platit reálnou cenu za vodu, kterou spotřebuje. Před změnou bylo časté poskytování výjimek v platbách, například bezplatné zavlažování městských parků. Bylo rozhodnuto, že takto získané peníze budou beze zbytku využity pro inovace a budování vodohospodářské infrastruktury. Cena vody pro domácnosti se zvýšila o 40 % a spotřeba se v důsledku snížila o 16 %. Bývalý ředitel Komise pro vodu Shimon Tal zpětně vnímá jako nejsilnější motivaci k úsporám právě zvyšující se cenu vody. Úřad také vzal obcím správu nad hospodařením a čištěním vod a převedl ji na 55 nových vodárenských a kanalizačních společností a to za účelem snížení plýtvání a počtu závad. Obce se totiž do té doby mohly nezávisle rozhodovat, do které své agendy budou směřovat peníze vybrané z poplatků za vodu, zatímco nové společnosti musí investovat pouze v oblasti vodohospodářství. Společně se státními dotačními programy vzniklo velmi příhodné prostředí pro inovátorství a vývoj nových technologií. [8]

Zcela průlomový byl projekt čistírny odpadních vod Shafdan v lokalitě vzdálené přibližně 13 kilometrů od Tel Avivu. Shafdan momentálně čistí vodu z Dan Regionu, což představuje službu pro 2,5 milionu obyvatel. Ve snaze opětovně využít odpadní vodu bylo navrženo dočišťování pomocí písečné půdy. Nosnou myšlenkou bylo, že po předcházejícím primárním a sekundárním čištění bude voda přes písek přirozeně filtrována do zvodně v hloubce přibližně 90 m. Největší riziko bylo spojené s potenciální kontaminací vody a následnou ztrátou hodnotného zdroje vody. Finální kvalita vody protékané půl roku až rok do zvodně se ovšem ukázala být v pořádku. Osmdesát kilometrů dlouhé potrubí pak

přivádělo vodu do Negevské pouště, kde se využívala pro zemědělství. Dnes je umožněna produkce více než 130 milionů m³/rok a zemědělství v Negevské poušti zásobuje vodou ze 70 %. Nejprve platila omezení pro její využívání, ovšem dnes je povoleno s ní zacházet jakýmkoliv způsobem vyjma jako zdroje pitné vody. [8] [64] [65] Ministerstvo zemědělství má vyvinuté směrnice, informuje zemědělce a profesionálně je organizuje. Farmáři platí za recyklovanou vodu nižší cenu, než kdyby kupovali vodu pitnou. V oblastech, kde je možnost využívat vyčištěnou odpadní vodu musí farmáři využít primárně jí.

Překvapivé jsou výsledky průzkumu postojů k recyklované vodě. Velkou podporu pro její opětovné využití získalo splachování toalet nebo mytí aut, ovšem praní prádla nebo doplňování zásob pitné vody nikoliv. K již roky zavedenému zemědělskému zavlažování vodou z doplňovaných podzemních zásob bylo nakloněno pouhých 62 % dotázaných. [66] Taková míra skepticismu by nebyla udivující na začátku takto riskantního projektu, ale je vidět, že i po desítkách let má obyvatelstvo Izraele jisté pochybnosti.

Alternativou ke klasickým povrchovým a podpovrchovým zdrojům je voda mořská a recyklovaná, jejichž podíl se na dodávkách vody stále zvyšuje. Pro odsolování je dnes využíváno celkem pět velkých stanic a jejich počet se má nadále zvyšovat. Tato technologie je ovšem velmi drahá a lokality stanic na mořském pobřeží implikují vyšší náklady na dopravu vody ke spotřebištím.

Při porovnání nákladů na výrobu pitné vody z vody odpadní a z vody mořské vyplývá, že čištění odpadní vody může být výrazně levnější. Vždy záleží na lokálních podmínkách. Obecně při započtení nákladů za provoz, údržbu a energie vychází technologie čištění využívající i reverzní osmózu na \$0.45/m³ až \$0.75/m³ (bez ní \$0.32/m³ až \$0.55/m³). Odsolování má náklady mezi \$0.50/m³ a \$1.80/m³. Opětovné využívání odpadní vody ovšem vzbuzuje více negativních emocí u obyvatelstva. Odsolování je proto pro vlády a samosprávy výrazně snazší varianta při jejím prosazování. [67]

V posledních letech se začíná projevovat silný zájem ze strany Číny o izraelské technologie v oblasti vodního hospodářství. Izrael, který má komplikované vztahy s okolními zeměmi a je od nich prakticky izolován, hledá pro svá technologická zařízení odbytiště a stejně tak i výrobní kapacity. Rychle se rozvíjející čínský trh nabízí obojí. [68] Vzhledem k dlouhodobě velmi dobrým vztahům, které Česká republika udržuje s Izraelem, by bylo prospěšné využít kontaktů a navázat podobně intenzivní spolupráci mezi našimi státy i v oblasti recyklace vody.

Izraelský stát finančně podporuje rozvoj nových technologií a jejich vývoj přináší úspěchy. Například společnost Applied Clean Tech vyvinula způsob jak z odpadní vody vytvořit produkt, jehož základním kamenem jsou celulózová vlákna získávaná z odpadní vody. Recyllose, jak se produkt jmenuje, je využitelný jako přídavek při výrobě papíru, pro bioplasty nebo izolační materiály. Vlákna ve vodě mají svůj původ v toaletním papíru, vláknech z šatů nebo ovoce a zeleniny. V důsledku má zařízení vytvářející Recyllosu pozitivní vliv na provozní náklady čistírny odpadních vod, protože redukuje množství vytvářeného kalu. Cena prodávané Recyllosy se pohybuje kolem 100 EUR za tunu. Zařízení je vhodné pro čistírny odpadních vod obsluhující alespoň 5000 obyvatel. [69] [70]

9.2 Zahraniční projekty

V zahraničí je mnoho inspirativních projektů, které pečlivě nakládají s odpadní vodou. Byl navázán kontakt s odborníky z Kanady a Austrálie s cílem získat poznatky a případně i informace o problémech, se kterými se setkávají v praxi. Projekty se liší nejenom svou lokací, ale mají i různé funkce. Kanadský Vancouver Convention Centre je kongresovým centrem, namibijský projekt WINGOC recykluje odpadní vodu v pitnou a australský 60L Green Building je komerční kancelářskou budovou.

9.2.1 Vancouver Convention Centre

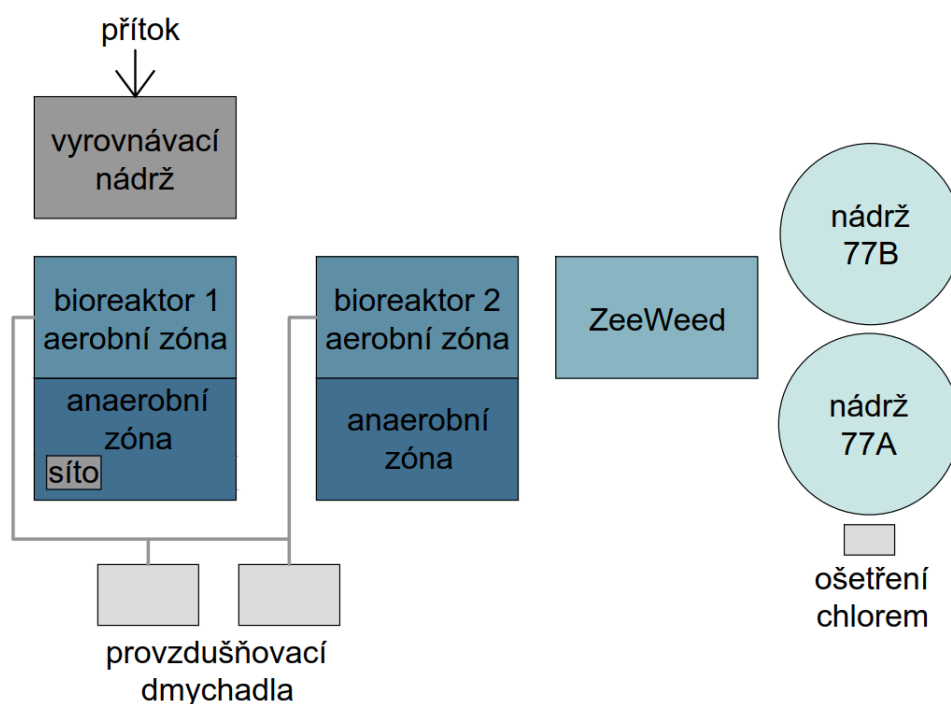
Kanadské Vancouver Convention Centre se nachází přímo na břehu moře v městě Vancouver v Britské Kolumbii. Budova z roku 2009 byla během zimních olympijských her v roce 2010 hlavním mediálním střediskem. Vancouver Convention Centre je na světě první dvojité certifikovaným kongresovým centrem v úrovni LEED Platinum. Mimo mnoha jiných environmentálně pozitivních opatření (např. chlazení a topení pomocí mořské vody, či recyklací poloviny odpadu vyrobeného v budově) si toto ocenění zasloužilo také díky opětovnému využívání odpadní vody.

Informace o čistících procesech byly získány od pana Bruce Caistera, operátora recyklačního zařízení.

Čistírna zpracovává černou odpadní vodu ze všech toalet, kuchyní a restaurací. Produkuje se voda, kterou jsou zásobovány toalety a pisoáry v budově. V letních měsících je vodou též zavlažována střešní vegetace, jejíž plocha dosahuje 6 ha. Zavlažovací systém je podzemní a střecha je přístupná jen pro údržbu, s výjimkou speciálních žádostí klientů je pro veřejnost uzavřena. [71]

Čistící zařízení bylo vyprojektováno firmou GE Power & Water. Původní kapacita zařízení byla stanovena na 150 m³ vyčištěné vody za den, skutečný výkon se ovšem pohyboval okolo 100 m³/den. Proto proběhly některé změny při zpracovávání průtoků, zlepšení filtrační membrány a úpravy filtrační membrány. Současná kapacita se tedy zvýšila na 166 m³/den. Bioreaktory byly původně zapojeny paralelně, ovšem kvůli důkladnějšímu odstraňování živin byly přepojeny do sériového průtokového schématu. Nyní voda nejdříve přitéká do vyrovnávací nádrže. Přes síto voda následně putuje do prvního bioreaktoru, kde je v anaerobní zóně odstraňován amoniak a následně do aerobní zóny na denitrifikaci. Z prvního bioreaktoru je voda přepouštěna do druhého, též s anaerobní a aerobní zónou. V membránovém bioreaktoru ZeeWeed projde voda přes ultrafiltrační membránu. Všechny zbylé odfiltrované látky jsou vráceny zpět do prvního bioreaktoru. Vyfiltrovaná voda je následně chlorována a zadržena v nádržích.

Každý ze dvou bioreaktorů má kapacitu 37 850 l. Zbytkový chlor je detekován v obvykle v rozsahu od 0,3 do 0,7 ppm a to i v nejvzdálenějších místech rozvodu vody. Upravená voda má jemně nažloutlou barvu, která se může mírně měnit. Zařízení v dnešní době produkuje spolehlivé a konzistentní dodávky vody. Kvalita je kontrolována každý týden a je ověřována nezávislou laboratoří. Sledují se koncentrace koliformní bakterie a BSK. Byly poskytnuty dva protokoly testů, které dokazují, že oba sledované parametry byly ve stanovených limitech (koliformní bakterie v množství menším než 1 cfu/100 ml a BSK menší než 2,0 mg/l). [71]



Obrázek 12: Dispoziční uspořádání [71]

Vzhledem k užívání mořské vody na vytápění a chlazení nebylo zatím uvažováno o získávání tepla z odpadní vody. Pan Caister tvrdí, že potenciál by měla voda v konečných zásobnících, kde má voda obvykle ještě dostatečně vysokou teplotu, aby se teplo dalo získávat během zimních měsíců k vytápění. [71]

Na konkrétní dotaz ohledně přístupu tamní veřejnosti k recyklované vodě odpověděl pan Caister, že všeobecně se setkává s pozitivními reakcemi a příjemným překvapením ze strany návštěvníků centra. Zároveň dodává, že se

doposud nesetkal s žádnými zdravotními problémy v souvislosti s částečným rizikem kontaktu vody s člověkem. [71]

Následující fotografie zachycuje membránovou filtrační nádrž a v pozadí bioreaktory 1 a 2.



Obrázek 13: Čistící sestava ve Vancouver Convention Centre [71]

9.2.2 60L Geen Building

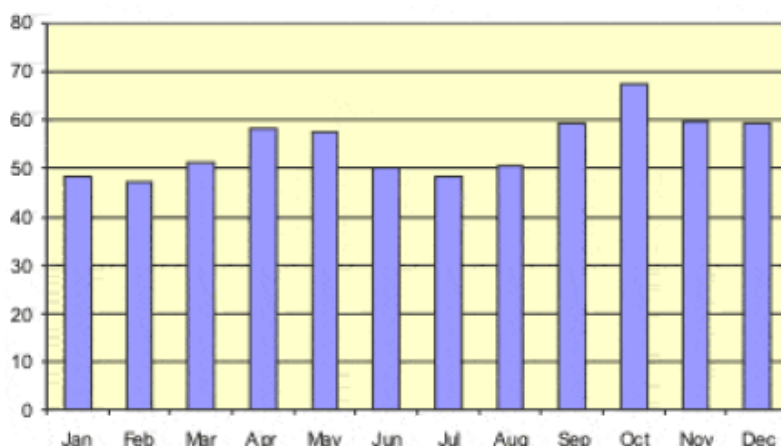
60L Green Building je komerční kancelářská budova v centru australského Melbourne. Otevřena byla v roce 2002. Hlavní linkou projektu bylo rekonstruovat a částečně dobudovat stavbu, která bude mít minimální environmentální stopu a to jak během výstavby i během užívání. Není proto překvapením, že budova využívá solární panely, má propracovaný systém přirozeného větrání a osvětlení a též že uvědoměle nakládá s vodou. Správce budovy pan Andrew Gemmell ochotně poskytl informace týkající se opětovného využívání vody.

Budova spoléhá především na dešťovou vodu. V přízemí budovy jsou dvě nádrže, každá o objemu 10 000 l. Plněny jsou vodou ze střechy o rozloze 1000 m² a také ze zaskleného atria. V průměru ročně nashromáždí 500 000 l vody. Objekt dosahuje během standardně deštivého roku úspory vody až 90 % oproti běžným komerčním budovám podobné velikosti. [72]

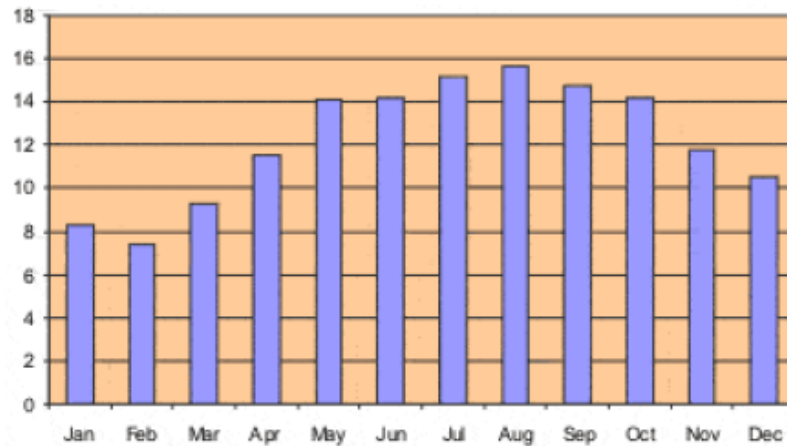
Dešťová voda prochází procesem třífázové filtrace a ošetřením UV zářením, které ničí potenciálně nebezpečné organismy a bakterie. UV záření ničí buněčnou strukturu patogenů a znemožňuje tak jejich množení. Celý proces je kontrolován a ovládán online. Automaticky se sleduje konduktivita a testuje se mikrobiální aktivita. Ošetřená dešťová voda se využívá na podzemní závlahu střešní zahrady, splachování toalet a pisoárů a jako pitná voda. Případná přebytečná voda odtéká přes vodní prvky v atriu budovy, kde jsou kaskádovitě uspořádané nádrže s vodními rostlinami a organismy. [72]

V roce 2008 se započalo s recyklací černé vody, ovšem provoz byl v roce 2011 ukončen. Čištění probíhalo v biologickém čistícím zařízení. Ukázalo se, že proces je příliš nákladný a náročný na obsluhu. Energetickou náročnost představovala především čerpadla. Zbytkové látky z procesu čištění byly odváděny do kanalizační sítě, což představovalo pouhé 3 % objemu vstupujícího do procesu. Naopak z plánů do budoucna pan Gemmell zmínil nainstalování solární technologie získávající pitnou vodu ze vzduchu. [72]

Melbourne má výhodu poměrně dobrého režimu dešťů. S měsíčním minimem v únoru, kdy naprší kolem 47 mm a s maximem v říjnu s 68 mm. Zároveň má oblast pravidelný dostatek deštivých dní v měsíci. S výjimkou období od ledna do března neklesá počet deštivých dní pod 10 v měsíci.

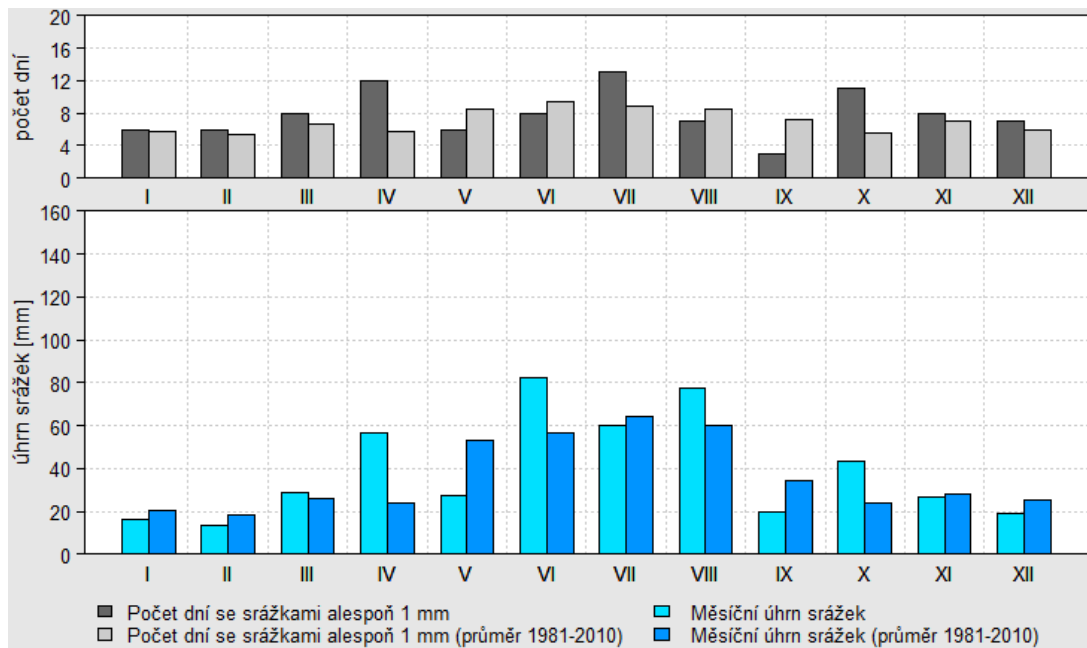


Obrázek 14: Průměrné měsíční srážkové úhrny v Melbourne (mm) [72]



Obrázek 15: Průměrný počet deštivých dní v měsíci v Melbourne [72]

K podobným hodnotám se v České republice běžně neblížíme. Jak prezentují následující grafy, v Praze například po většinu roku není překročeno ani osm dní se srážkami v měsíci. Stejně tak měsíční úhrny srážek jsou značně nižší. Je zřejmé, že na opětovné využívání pouze dešťové vody se v našich klimatických podmínkách spoléhat nemůžeme. Taková řešení nejsou pro spolehlivá a tak i vhodná pro místa s intenzivnější spotřebou.



Obrázek 16: Měsíční úhrny srážek a měsíční počet dní se srážkami v roce 2017 a v dlouhodobém průměru, Praha - Karlov [73]

9.2.3 WINGOC

Projekt recyklace odpadní vody až na úroveň vody pitné byl zrealizován v Namibii v jihozápadní Africe, tedy v zemi, jejíž velkou část rozlohy tvoří nehostinné pouště chudé na vodu. Díky recyklační stanici zpracovávající odpadní vodu se stalo v roce 1968 hlavní město Windhoek prvním městem na světě, které produkuje pitnou vodu přímo z vody odpadní.

Město má 325 000 obyvatel a dlouhodobě trpí nedostatkem vody. V lokalitě je mnohonásobně vyšší výpar než úhrn srážek. Největším benefitem projektu je proto zabezpečení dodávek vody. Voda je důležitá mimo jiné i pro rozvoj průmyslu, který by bez vody často nemohl fungovat, a přerušování provozu továren by mělo široké ekonomické dopady na společnost. [74]

V současné době je WINGOC vlastněn konsorciem firem. Největší vlastnický podíl má společnost Veolia (67 %), zbylých 33 % patří mezinárodní společnosti Wabag. V roce 2002 byl technologický proces inovován. Produkční kapacita se pohybuje okolo 21 000 m³/den. [75]

Voda z čistírny odpadních vod vstupující do recyklačního procesu může být doplňována povrchovou vodou. Voda nejdříve prochází preozonizační stanicí. Tento proces má za cíl rozbít organické sloučeniny. Práškové aktivní uhlí může být přidáno pro odstranění rozpuštěných organických sloučenin. Přidáním chloridu železitého se spustí koagulační proces. Voda je pomalu míchána, aby vznikly větší vločky. Pro podpoření procesu může být přidán polymer. Následuje flotace rozpuštěným vzduchem, při níž mikroskopické bubliny vzduchu nasytí vodu a vynesou vločky na povrch, odkud jsou pravidelně odstraňovány. Před filtrací se do vody přidá hydroxid sodný pro stabilizaci pH a manganistan draselný pro srážení železa a manganu. Následně dojde k zachycení na filtrační vrstvě, jako médium je použit antracit a písek. Přefiltrovaná voda je následně ošetřena ozonem z kyslíku s vysokou čistotou (92 – 95 %), oba plyny se vyrábí na místě. Přidáním malého množství peroxidu vodíku se odstraní zbytky ozonu, který by ve vodě přebýval. Voda pak projde filtrací přes biologické aktivní uhlí, kde jsou biologicky

odbouratelné sloučeniny odstraněny mikroorganismy žijícími na povrchu uhlíku. Zbývající rozpuštěné organické sloučeniny se absorbují na granulovaném aktivním uhlí. Odstraňování rozpuštěného organického uhlíku je důležité z důvodu nebezpečí tvorby vedlejších produktů dezinfekce a zabránění recyklaci léčiv. Bakterie a viry jsou následně odstraněny pomocí ultrafiltrace. Výsledný produkt je po přidání chloru a úpravě pH připraven k namíchání s ostatními zdroji pitné vody. [76] [77]

Za již téměř 50 let praxe bylo ověřeno, že produkovaná voda je bezpečná, což prokázaly i epidemiologické studie. Mimo online sledování kvality vody, jsou vzorky vody pravidelně zkoumány laboratorně. Navíc město samotné sleduje vodu nezávisle. [74]

10 Opětovné využití vody v České republice

10.1 Tendence

Následující odstavce zachycují, co bylo v oblasti opětovného využívání vody učiněno, případně kolik financí bylo vynaloženo.

Za podpory Operačního programu podnikání a inovace v roce 2009 započal projekt Technologické platformy pro trvale udržitelné vodní zdroje. Implementační akční plán obsahoval mezi svými prioritami i kapitolu Znovuvyužití a recyklace vod. Technologická platforma je členem The European Technology Platform for Water. Na období 2010 až 2012 získala na své financování příspěvek Evropské Unie 4 267 850 Kč (celkový rozpočet činil 6 699 000 Kč). V následujícím období 2013 až 2014 získala příspěvek 4 250 000 Kč (celkový rozpočet na toto období byl 6 667 000 Kč). [78] Žadatelem byla Asociace pro vodu v krajině České republiky, z.s. Internetové stránky platformy uvádějí jako hlavní aktivity workshopy a prezentace, ovšem aktivita s koncem roku 2014 ustala. [79] Na dotaz týkající se konkrétních úspěchů v oblasti recyklace vody projektový manažer Ing. Jan Čermák nereagoval.

Ministerstvo životního prostředí (MŽP) připravilo v roce 2016 v rámci Národního programu Životní prostředí Výzvu č. 3/2016 k předkládání žádostí o poskytnutí podpory. Cílovou skupinou byly malé obce do 500 obyvatel. Předkládané projekty měly cílit na snížení kvantity vypouštěného znečištění a podporu užívání dešťové vody jako vody užitkové. Dotace tohoto programu je 50 milionů korun, podpora poskytnutá jednomu projektu nesmí přesahovat 5 milionů korun. Expertní komise vybírala v prvním kole projekty mimo jiné i z hlediska inovátorství a nekonvenčnosti. MŽP ve spolupráci se Státním fondem životního prostředí připravilo 6 seminářů s názvem Chytré obce - hospodaření s vodou, na kterých informovalo o možnostech získání finanční podpory na projekty hospodaření se srážkovou a odpadní vodou a také o dnes využitelných moderních technologiích.

V roce 2017 vláda schválila dokument implementující Agendu 2030 Organizace spojených národů - strategický rámec Česká republika 2030. [80] Tento dokument

si klade za cíl nasměrovat udržitelný rozvoj do příštích desítek let, je voda popisována jako strategický zdroj. Mimo potřeby zintenzivnit zadržování vody v krajině zmiňuje i nutnost připravit v sídlech předpoklady vedoucí k využívání srážkových vod, regulaci odtoku ze zpevněných ploch a recyklaci vody. V návrhu implementace je doporučeno podporovat adaptaci budov na klimatické změny. Jako taková opatření jsou uváděny například zelené střechy, funkční vegetace v okolí budov, užívání šedých a dešťových vod.

V návaznosti byla pracovní skupinou Voda-sucho vypracována a následně v roce 2017 vládou přijata Koncepce ochrany před následky sucha [81] upozorňující na očekávané snižující se dostupné množství vody a nevyhovující jakost vody. Je popisována potřeba komplexního přístupu – od zvyšování disponibilního množství, po snižování spotřeby. Doporučeno je také intenzivní podporování recyklace užitkové vody a vyčištěné odpadní vody.

V již zmiňovaném programu Dešťovka bylo v první výzvě (duben 2017) rozdělováno 100 mil. korun a za pouhých 28 hodin bylo přijímání žádostí uzavřeno. V druhé výzvě (srpen 2017) bylo alokováno 240 mil. korun a příjem žádostí stále probíhá. [82] Dotace jsou poskytovány prostřednictvím SFŽP z Národního programu Životní prostředí. Podporováno je opětovné využívání čištěné odpadní vody a využívání dešťové vody jak pro zálivku, tak i pro splachování toalet.

Aktivitu v oblasti opětovného využívání vody projevila i Technologická agentura ČR. Vysoké učení technické v Brně společně se společností Asio vyvinuli zařízení na recyklaci šedé vody, kterou dokáže vyčistit na úroveň vody dešťové. Z programu ALFA, zaměřeného na nové technologie a výrobky získali dotaci 3,9 mil. korun. [83] Jiným podpořeným projektem bylo centrum NANOBOWAT, zaměřené na vývoj nano a bio technologií pro čištění vody. Mimo jiné pracovalo na aplikaci nanočástic stříbra na membrány, čímž se snižovalo zanášení membránových povrchů. Podpořeno bylo částkou 219 mil. korun. [84] Dalším podpořeným výzkumným projektem je PROTĚŽ společnosti GIS-GEOINDUSTRY,

s.r.o a Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v.v.i. zabývající se zasakováním vyčištěných odpadních vod do vod podzemních. [85]

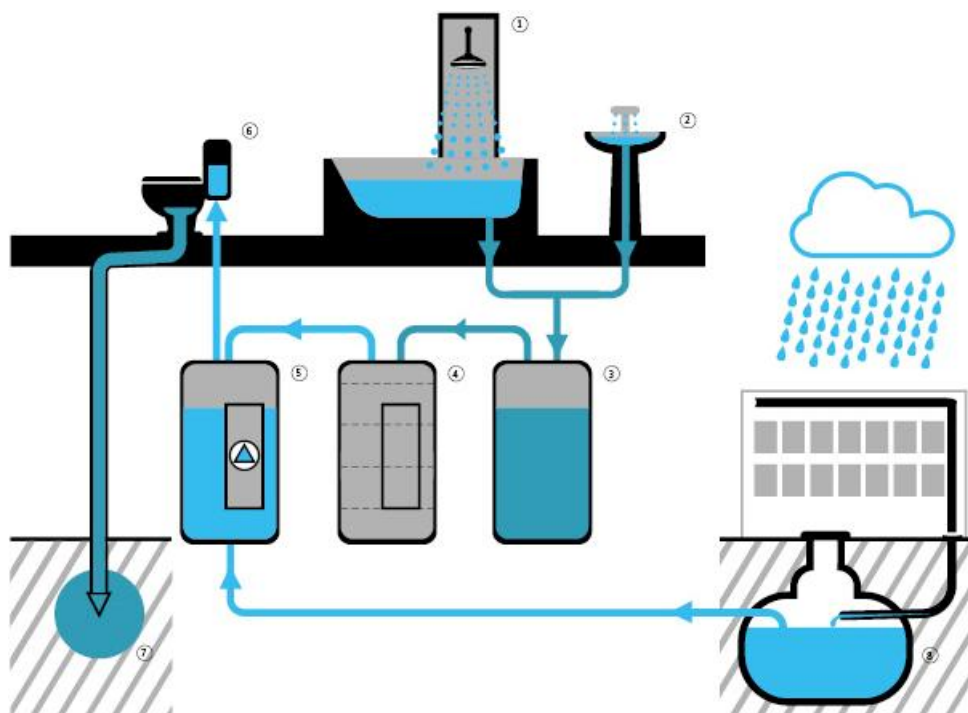
Je diskutabilní, zda je vůbec účelné jakékoliv dotace poskytovat. Názory zpochybňující přínosy dotací nejsou vůbec neobvyklé. Argumentem bývá, že takovýto způsob podpory narušuje rovnováhu trhu podporou i těch méně úspěšných. Podpora významně ekologicky příznivých činností má ovšem jiné cíle než pomoc některým subjektům na trhu. Cíleno je na zkvalitnění životního prostředí pro všechny a právě holistický přístup musí být do vnímání dotací v oblasti životního prostředí vnesen.

10.2 Bytový dům s recyklací šedé vody

Jelikož informace použité pro demonstraci následujícího domácího příkladu realizace byly poskytnuty s podmínkou, že projekt ani developer nebudou nijak pojmenováni, bude instalace popisována pouze jako „bytový dům“.

V Praze bude během tohoto léta dokončen projekt bytového domu recyklujícího šedou a dešťovou vodu. V domě je celkem 100 bytových jednotek, odhad denního požadavku na celkové množství upravené vody byl 25 l na osobu. Protože dům bude sloužit z velké části jako nájemní, byl proveden propočet na 6000 l/den. [86]

Šedá voda bude sváděna z koupelen (umyvadel, van a sprch) a po předčištění s ní budou splachovány toalety. V posledním stupni úpravy je přidávána dešťová voda a v případě potřeby i pitná. Maximální možný přítok na čištění je 250 m³/hod. Celková plocha sběrných povrchů pro dešťovou vodu byla odhadnuta na 2500 m². Odborný servis je předpokládán na 16 hod za rok. Pro hygienický dohled budou pravidelně odebírány vzorky a sledovány mikrobiální parametry vody. [86]



Obrázek 17: Schéma recyklace vody v bytovém komplexu [35]

Investiční náklady byly přibližně 750 000 Kč bez DPH. Na vyprodukování jednoho kubíku vody bude potřeba 0,8 až 1 kWh. Celkové provozní náklady byly vyčísleny na 24 184,00 Kč/rok. Cena vyčištěné vody (bez investičních nákladů) je tak 11,20 Kč/m³. [86] Při běžné denní spotřebě 100 l/os a ceně vody 100 Kč/m³ vznikne využitím 25 l/os bílé vody finanční úspora 2,5 Kč/den na osobu. Pro porovnání, cena za vyčištěných 25 l/os za den je 0,28 Kč. Každý den tak jedna osoba v domě ušetří 2,22 Kč, na byt (1 byt = 2,4 obyvatele; totéž bylo použito při propočtu úspory 25 l/den, celkově 6000 l/den, 100 bytů) vychází úspora 5,33 Kč. Investice by se tak měla vrátit za necelé 4 roky.

Důvody instalování této technologie byly péče o životní prostředí ze strany developera a snaha nabídnout „něco víc než jen byt“. Projektový manažer tohoto projektu nevěděl o jediné koupi takto vybaveného bytu z důvodu, že by byl byt opatřen recyklační technologií a přiznal, že pokud se vlastníci dohodnou, budou moci zařízení úplně odstavit.

10.3 Dotazníkový průzkum

V původním plánu této závěrečné práce bylo i zpracování dotazníkového šetření mezi společnostmi realizujícími aplikace zařízení zpracovávající šedou vodu s jejím následným využitím v budovách. Hlavním cílem průzkumu bylo objevit trendy, kterými se projekty nejčastěji ubírají, o jaké typy objektů zpravidla jde, jaké byly důvody realizace, zda se doplňkově využívá i dešťová voda, na co je bílá voda využívána, jaká je kapacita zařízení a jakou má zařízení spotřebu elektrické energie, zda je využíváno i teplo odpadní vody, finanční aspekty a nastalé provozní komplikace. Z celkem pěti oslovených společností na opakované žádosti reagovala jen jediná. Společnost poskytla informace pouze z jednoho realizovaného projektu, což zdaleka nenaplnuje představy o dostatečném vzorku.

České společnosti evidentně neochotně rozšiřují informace o svých projektech. V porovnání se zahraničními respondenty, kteří téměř s pýchou prezentují své projekty, byl onen jediný český respondent mnohem zdrženlivější. Žádal, aby nebyl projekt ani jeho developer nikde nazván svým jménem. Reakce ostatních se přes opakovanou snahu ani nepodařilo získat. Tato všeobecná neochota může mít svůj důvod v nízké legislativní podpoře. Za nevyjasněných pravidel se jeví jako strategičtější varianta na projekty příliš neupozorňovat, přestože jejich záměry jsou veskrze pozitivní s dobrými úmysly.

11 Závěr

Současné cenové nastavení poplatků za pitnou vodu není stále dostatečně motivující. Chybí dostatečně intenzivní veřejná diskuze na téma, jak moc si ceníme vody, její hojnosti a kvality. Zpřísnění limitů za vypouštění množství a koncentrace znečištění odpadních vod bude mít pozitivní dopad na recyklaci odpadní vody. Porušování přísné regulace vyvodí hrozbu vyšších poplatků za vodu. Zdražování je ovšem tak nepopulárním krokem, že v důsledku nezbude než zintenzivnit čistící procesy, vodu opětovně využívat a limity splňovat. Pokud by se motivace přísnými limity minula účinkem (kalkulace na jednotlivých provozech by ukázaly, že se vyplatí limity překračovat) a náklady by byly jen pasivně přeneseny na spotřebitele smířené s vyššími poplatky, tak bude nutné důsledné sledování, na co jsou vybrané finance následně využity a trvat na jejich upotřebení na projektech šetřících vodu. V České republice zatím není velký nedostatek pitné vody, a tak je jen na společnosti jakou laťku si v její recyklaci nastaví. Česká republika se řadí mezi vyspělé země a právě v nich se jejím uvědomělým občanům potřeba opětovného využívání surovin vysvětluje snáze.

Bylo prokázáno, že klimatická změna se týká i našeho území. Modely sice předpovídají obdobné průměrné roční úhrny srážek, jako máme v dnešní době, ovšem mnohem delší než dnes jsou předpovídána suchá nebo horká období. Krátké deštivé periody budou střídány delšími suchými obdobími. Nemělo by se proto čekat až nás takové změny zasáhnou nepřipravené. Tyto předpovědi jsou dobrou motivací pro podnikání kroků k včasné adaptaci na zásadní změny klimatu, včetně ohrožení suchem a nedostatkem vody. Projekty opětovně využívající vodu jsou u nás zatím stále spíše prestižní záležitostí. Jak bylo prezentováno, naprosto jiná situace panuje v suché Namibii, kde je recyklace odpadní vody na vodu pitnou již desítky let podporou při zásobování obyvatelstva vodou.

Poplatky, přísná legislativa a případně ohrožení nedostatkem vody jsou v praxi jedinými stimuly přispívající k aplikaci recyklace vody. Vývoj tedy bude pravděpodobně korespondovat s vývojem těchto tvrdých opatření (limity integrovaného povolení, BAT, nejlepší dostupné technologie). Včasný a jasný

budoucí vývoj legislativy je nezbytný pro přípravu techniky a zařízení čistíren odpadních vod. Nejlépe se nejmodernější technologie aplikují a provozují u centralizovaných řešení. Lokální řešení jsou jistě v omezené míře únosná, ovšem je potřeba si při jejich zavádění uvědomit, že se nejedná o běžné domácí spotřebiče, nýbrž jsou to zařízení vyžadující obsluhu a odborný dohled. Větší systémy mají výhodu právě v kvalifikované obsluze zajišťující dohled nad bezpečností provozu. Podpora malých uživatelů předčištěné odpadní vody v programu Dešťovka proto není prozřetelným řešením.

Pro úspěšnou aplikaci je důležité zajištění co nejlevnějšího čištění s co nejvyšší kvalitou produktu. Přetrvávají nejistoty okolo zneškodňování mikropolutantů a legislativa stále neudává dostatečně jasná omezení. Zábrany pro intenzivnější využívání vyčištěných odpadních vod jsou nejenom společenské obavy ohledně dopadů na lidské zdraví, ale také legislativní pravidla pro její využívání a nakládání se zemědělskými produkty zavlažovanými čištěnou odpadní vodou. Právní nejasnosti tak vedou k aplikaci zavedených konvenčních řešení a neumožňují rozvoj progresivních metod.

Zásadními kroky k recyklaci vody jsou: uvědomění si, na co vše zbytečně využíváme kvalitní pitnou vodu a vnímání odpadní vody jako suroviny vhodné pro opětovné využití. Zajištění spolehlivých dodávek vody a zkvalitňování vodních prostředí jsou nedílnou součástí udržitelného rozvoje. Opětovné využívání vody by se proto mělo stát plnohodnotnou kapitolou vodního hospodářství i ve státech netrpícími přímým ohrožením suchem.

12 Seznam použitých zdrojů

- [1] *Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*. [online]. [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>.
- [2] *Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.* [online]. [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-401>.
- [3] *Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů*. [online]. [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185/zneni-20180101#f5679577>.
- [4] Státní fond životního prostředí. *Možnosti finanční podpory hospodaření s vodami v malých obcích z prostředků SFŽP*. 2016. [online]. [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: http://www.obecmokosin.cz/assets/File.ashx?id_org=9818&id_dokumenty=1714.
- [5] The World Health Organization. *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, Volume 2 Wasterwater Use in Agriculture*. 3. ed. Geneva: World Health Organization. 2006. ISBN 9241546832.
- [6] *Směrnice Rady 91/271/EHS, o čištění městských odpadních vod*. [online]. [cit. 2018-03-12]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0271&from=CS>.
- [7] *Zpráva o stavu provádění a o programech provádění (podle článku 17) směrnice Rady 91/271/EHS o čištění městských odpadních vod*. [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:52017DC0749&from=EN>.
- [8] SIEGEL, S. M. *Budiž voda: izraelská inspirace pro svět ohrožený nedostatkem vody*. Praha: Aligier, 2016. ISBN 978-80-906420-2-7.
- [9] BIO by Deloitte. *Optimising water reuse in the EU – Public consultation analysis report*. [online]. [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/BIO_Water%20Reuse%20Public%20Consultation%20Report_Final.pdf.
- [10] Klimatická změna. *Nedostatek vláhy v kořenové vrstvě půdy během vegetační sezóny*. Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i. [online]. [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <http://www.klimatickazmena.cz/cs/?l=12>.
- [11] ESLAMIAN, S. *Urban water reuse handbook*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016. ISBN 1482229145.

- [12] Šyc, M. a kol. *Možnosti recyklace fosforu z čistírenských kalů*. [online]. [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <http://invenio.nusl.cz/record/181127/files/content.csg.pdf?version=5>.
- [13] IndexMundi. *Rock Phosphate Monthly Price - US Dollars per Metric Ton*. [cit. 2018-03-20]. [online]. Dostupné z: <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=rock-phosphate&months=360>.
- [14] Horizont 2050. *Nedostatek fosforu*. [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.horizont2050.cz/signal/default/26>.
- [15] LAZAROVA, V., CHOO, K. H., CORNEL, P. *Water-Energy Interactions in Water Reuse*. IWA Publishing, London: IWA Publishing, 2012. ISBN 9781843395416.
- [16] The United Nations. *The United Nations World Water Development Report 2017 - Wastewater: The Untapped Resource*. UNESCO, Paris. ISBN 978-92-3-100201-4.
- [17] PERÁČKOVÁ J., PODOBEKOVÁ V. *Možnosti využití tepla z vnějších kanalizačních systémů*. TZB-info: 8. 9. 2014 [online]. [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/uspory-voda-kanalizace/11687-moznosti-vyuziti-tepla-z-vnejsich-kanalizacnich-system>.
- [18] PIÑOS S., BARTONÍK A., PLOTĚNÝ K. *Využití energie z odpadních vod*. ASIO, spol. s r.o.: 20. 9. 2012 [online]. [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/139.vyuziti-energie-z-odpadnich-vod>.
- [19] BARTONÍK, A. a kol. *Šedé vody - možnosti využití jejich energetického potenciálu a způsoby jejich čištění a znovuvyužití*. Vodní hospodářství 2012/2. str. 60-65.
- [20] Apple Inc. *Environmental Responsibility Report: 2017 Progress Report, Covering Fiscal Year 2016*. [online]. [cit. 2018-03-26]. Dostupné z: https://images.apple.com/environment/pdf/Apple_Environmental_Responsibility_Report_2017.pdf.
- [21] Ministerstvo životního prostředí. *Důvodová zpráva k návrhu zákona, kterým se mění zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů*. 2015.
- [22] FRIEDLER, E. a HADARI, M. *Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings*. Desalination [online]. 2006, 190(1-3), 221-234 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916406001391>.

- [23] Státní fond životního prostředí. *Dotace Dešťovka*. [online]. [cit. 2018-03-29]. Dostupné z: <https://www.dotacedestovka.cz/>.
- [24] BIO by Deloitte. *Optimising water reuse in the EU – Final report. Part I*. [online]. [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/BIO_IA%20on%20water%20reuse_Final%20Part%20I.pdf.
- [25] EPA - United States Environmental Protection Agency. *Water Recycling and Reuse: The Environmental Benefits*. Water Division Region IX - EPA 909-F-98-001. [online]. [cit. 2018-30-03]. Dostupné z: <https://www3.epa.gov/region9/water/recycling/pdf/brochure.pdf>.
- [26] Klimatická změna. *Úvod do metodiky*. Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i. [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <http://www.klimatickazmena.cz/cs/metodika/uvod-do-metodiky/>.
- [27] Klimatická změna. *Průměrný roční úhrn srážek*. Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i. [online]. [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: <http://www.klimatickazmena.cz/cs/?l=35>.
- [28] Klimatická změna. *Riziko výskytu horkých nebo suchých period*. Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i. [online]. [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: <http://www.klimatickazmena.cz/cs/?l=96>.
- [29] STRÁNSKÝ V. *Rozhovor s Ministrem životního prostředí Mgr. Richardem Brabcem*. Vodní hospodářství 8/2017.
- [30] UNEP, GEC. *Water and Wastewater Reuse: An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management*. [online]. [cit. 2018-03-23]. Dostupné z: http://www.unep.or.jp/letc/Publications/Water_Sanitation/wastewater_reuse/Booklet-Wastewater_Reuse.pdf.
- [31] EPA - United States Environmental Protection Agency. *2012 Guidelines for Water Reuse*. US EPA Office of Research and Development, Washington, DC, EPA/600/R-12/618, 2012. [online]. [cit. 2018-03-29]. Dostupné z: <https://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf>.
- [32] ŠÁLEK, Jan. *Voda v domě a na chatě: Využití srážkových a odpadních vod*. Praha: Grada, 2012. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-3994-6.
- [33] BERÁNKOVÁ, M. *Odpadní voda – odpad nebo poklad? Vodohospodářské technicko-ekonomické informace 2016/2*. str. 43 - 45.
- [34] FRIEDLER, E. *Quality of Individual Domestic Greywater Streams and its Implication for On-Site Treatment and Reuse Possibilities*. Environmental

- Technology [online]. 2004, 25(9), 997-1008 [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593330.2004.9619393>.
- [35] POLLERT J. *Voda jako strategická surovina*. In: SquirrelMail. [online]. 8. 2. 2018, 15:02.
- [36] *Vyhláška č. 501/2006 Sb. o obecných požadavcích na využívání území*. [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-501>.
- [37] *Technická norma vodního hospodářství TNV 75 9011*. [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/209372/TNV_75_9011__brezen_2013.pdf.
- [38] EPA - United States Environmental Protection Agency. *What is Green Infrastructure?* [online]. [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/green-infrastructure/what-green-infrastructure>.
- [39] ekrost. *Optigreen*. [online]. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://www.ekrost.cz/zelene-strechy.html>.
- [40] KABELKOVÁ, I. *Městské odpadní vody: od čištění k získávání zdrojů*. 2018. ISBN 978-80-01-06419-1 .
- [41] NGO, H. H. *Green technologies for sustainable water management*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2016. ISBN 978-0-7844-1442-2.
- [42] SMITH, M. a kol. *Water transformed: Sustainable water solutions for climate change adaptation*. The Natural Edge Project (TNEP), Australia. [online]. [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <https://eprints.qut.edu.au/85206/7/85206.pdf>.
- [43] Wanner, J. Konzultace k bakalářské práci. [cit. 2018-04-13].
- [44] Public Utilities Board, Singapore's National Water Agency. *Technical Guide for Greywater Recycling System*. 2014. [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://www.pub.gov.sg/Documents/greywaterTech.pdf>.
- [45] British Standards Institution. *Greywater systems – Part 1: Code of practice*. BS 8525-1. 2010. ISBN 978-0-580-63475-8.
- [46] AYERS, R. S., WESTCOT D.W. *Water quality for agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1985. ISBN 92-5-102263-1.
- [47] ALCALDE-SANZ L., GAWLIK B. M. *Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge: Towards a legal instrument on water reuse at EU level*. Publications Office of the European Union. Luxembourg. 2017. ISBN 978-92-79-77175-0.

- [48] NSW Food Authority. *Water reuse guideline: For food businesses in NSW considering reusing water*. 2008. [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: http://www.foodauthority.nsw.gov.au/_Documents/retail/water_reuse_guideline.pdf.
- [49] SHAKIR, E. a kol. *Environmental and health risks associated with reuse of wastewater for irrigation*. Egyptian Journal of Petroleum [online]. 2017, 26(1), 95-102 [cit. 2018-04-22]. ISSN 11100621. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S111006211530115X>.
- [50] KASAG. *Heat transmission solutions for wastewater heat recovery*. [online]. [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: <https://www.kasag.com/produkt/erneuerbare-energien-systeme-anlagen-waermetauscher-waerme-aus-abwasser-waermetauscherloesungen-abwasserkanal/>.
- [51] Rabtherm. *Products*. [online]. [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: <http://www.rabtherm.com/en/produkte.html>.
- [52] KASAG. *Sewage-pipe heat exchanger*. [online]. [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: https://www.kasag.com/fileadmin/user_upload/Erneuerbare%20Energien/3.0/EN_Sewage_pipe_heat_exchanger_KASAG_Gravitytube_201801.pdf.
- [53] KASAG. *Pressure-pipe heat exchanger*. [online]. [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: https://www.kasag.com/fileadmin/user_upload/Erneuerbare%20Energien/3.0/EN_Pressure_pipe_heat_exchanger_KASAG_Pressurepipe_201801.pdf.
- [54] STRÁNSKÝ, D. Konzultace k bakalářské práci. [cit. 2018-04-19].
- [55] PETRÁČKOVÁ J., PODOBENKOVÁ V. *Jak využít teplo z kanalizace na přípravu teplé vody v budovách?* TZB-info: 6. 10. 2014 [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/uspory-voda-kanalizace/11807-jak-vyuzit-teplo-z-kanalizace-na-pripravu-t>.
- [56] TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F. L. a STENSEL, H. D. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. 4th ed. Boston: McGraw-Hill, 2003. ISBN 0-07-041878-0.
- [57] WINTGENS, T. a kol. *The role of membrane processes in municipal wastewater reclamation and reuse*. Desalination [online]. 2005, 178(1-3), 1-11 [cit. 2018-04-15]. ISSN 00119164. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916405002274>.
- [58] EPA - United States Environmental Protection Agency. *2017 Potable Reuse Compendium*. Washington, DC, EPA/810/R-17/002. [online]. [cit. 2018-04-14]. Dostupné z:

https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-01/documents/potablereusecompendium_3.pdf .

- [59] ASANO, T. *Water reuse: issues, technologies, and applications*. New York: McGraw-Hill, c2007. ISBN 0071459278.
- [60] European Commission. *Membrane technologies for water applications: highlights from a selection of European research projects*. Luxembourg: EUR-OP, 2010. ISBN 9789279170874.
- [61] DE KONING, J. a kol. *Characterisation and assessment of water treatment technologies for reuse*. *Desalination* [online]. 2008, 218(1-3), 92-104 [cit. 2018-04-16]. ISSN 00119164. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916407005152>.
- [62] ALBA, M. *Wastewater Treatment with the Internet of Things*. *engineering.com*. 18. 5. 2017. [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.engineering.com/IOT/ArticleID/14925/Wastewater-Treatment-with-the-Internet-of-Things.aspx>.
- [63] iMETland. *Technologies*. [cit. 2018-04-16]. [online]. Dostupné z: <http://imetland.eu/project#technologies>.
- [64] Bixio, D. a kol. *Wastewater Reclamation and Reuse in the European Union and Israel: Status Quo and Future Prospects*. *International Review for Environmental Strategies*. Vol. 6, No. 2, 2006. [online]. [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: https://pub.iges.or.jp/system/files/publication_documents/pub/peer/1200/IRE S_Vol.6-2_251.pdf.
- [65] IGUDAN. *W.W.T.P.* [online]. [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <https://www.igudan.org.il/home-en/>.
- [66] FRIEDLER, E. a kol. *Study of urban population attitudes towards various wastewater reuse options: Israel as a case study*. *Journal of Environmental Management* [online]. 2006, 81(4), 360-370 [cit. 2018-04-11]. ISSN 03014797. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479705003646>.
- [67] AWERBUCH, L., TROMMSDORFF, C. *From seawater to tap or from toilet to tap? Joint Desalination and Water Reuse is the future of sustainable water management*. *International Water Association*. 14. 9. 2016. [online]. [cit 2018-04-12]. Dostupné z: <http://www.iwa-network.org/from-seawater-to-tap-or-from-toilet-to-tap-joint-desalination-and-water-reuse-is-the-future-of-sustainable-water-management/>.

- [68] REED, J., CLOVER, C. *China investment in Israeli companies rises*. The Financial Times. 14. 5. 2015. [online]. Dostupné z: předplatné článků pro studenty a absolventy Gymnázia Jana Keplera.
- [69] UDASIN, S. *Israeli company mines sewage into gold*. The Jerusalem Post. 6. 11. 2013. [online]. Dostupné z: <http://www.jpost.com/Enviro-Tech/Israeli-company-mines-sewage-into-gold-330801>.
- [70] Applied Clean Tech. *Recyllose - Products from sewage*. [online]. [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: http://www.appliedcleantech.com/files/content/Recyllose_brochure.pdf.
- [71] CAISTER B. *Re: Black Water Recycling Plant*. In: SquirrelMail. [online]. 20. 3. 2018, 16:00.
- [72] Gemmell, A. *Re: Courteous request - water reuse*. Detailed report on 60L Green Building. In: SquireelMail. [online]. 4. 5. 2018, 7:24.
- [73] Český hydrometeorologický ústav. *Praha - Karlov: měsíční data 2017*. [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data#>.
- [74] WaterReuse. *Global Water Connections Map*. [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://watereuse.org/water-reuse-101/global-connections/>.
- [75] WINGOC. *About us*. [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.wingoc.com.na/about-us>.
- [76] Veolia Africa. *WINGOC - Wastewater recycling plant*. [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=t15FsW-ZI-c>.
- [77] WINGOC. *The 10 steps of the process*. [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.wingoc.com.na/water-reclamation-plant/10-steps-process-0>.
- [78] Ministerstvo pro místní rozvoj ČR. *Regionální informační servis*. [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <http://www.risy.cz/cs/vyhledavace/projekty-eu?nazevProjektu=&cisloProjektu=&popis=&typProgramu=&nazevProgramu=&zadatel=Asociace+pro+vodu+v+krajn%C4%9B+%C4%8Cesk%C3%A9+republiky%2C+z.s.&ic=&typNuts=&nuts2=&krajNuts=&okresNuts=&obecNazev=&obecNazevHidden=>.
- [79] Technologická platforma pro udržitelné vodní zdroje. *Články*. [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <http://www.tpuvz.cz/aktuality.htm>.

- [80] KÁRNÍKOVÁ, A. a kol. *Strategický rámec Česká republika 2030*. V Praze: Úřad vlády České republiky, Odbor pro udržitelný rozvoj, 2017. ISBN 978-80-7440-188-6.
- [81] Voda-sucho. *Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky*. [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: http://www.suchovkrajine.cz/sites/default/files/vystup/koncepce_sucho.pdf.
- [82] Státní fond životního prostředí ČR. *Dešťovka*. [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/destovka/>.
- [83] Technologická agentura ČR. *Čeští výzkumníci se připravili na nedostatek vody v přírodě*. 4. 8. 2017. [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: https://www.tacr.cz/dokums_raw/Tiskove_zpravy/170802_TZ_vyuzitiSedeDestoveVodyVBudovach.pdf.
- [84] Technologická agentura ČR. *Ekologicky šetrné nanotechnologie a biotechnologie pro čištění vod a půd*. [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <https://www.tacr.cz/index.php/cz/zajimave-projekty/104-technologie-cistenivody-pudy.html>.
- [85] Technologická agentura ČR. *Jak hospodařit s vodou v malých povodích?* [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://www.tacr.cz/index.php/cz/zajimave-projekty/401-jak-hospodarit-s-vodou-v-malych-povodich.html> .
- [86] MIFKA, J. *Re: Prosba o poskytnutí podkladů k bakalářské práci*. In: SquirrelMail. [online]. 29. 3. 2018, 10:25.

13 Seznam obrázků

Obrázek 1: Určení hlášených kalů z městských odpadních vod [7].....	14
Obrázek 2: Nedostatek vláhy v kořenové vrstvě půdy během vegetační sezóny [10].....	16
Obrázek 3: Vývoj ceny fosforitu [13].....	17
Obrázek 4: Návratnost zařízení pro recyklaci v závislosti na ceně vody [22]	22
Obrázek 5: Průměrný roční úhrn srážek: 1981 – 2010 (horní obr.), model 2090 (dolní obr.) [27].....	23
Obrázek 6: Riziko výskytu horkých nebo suchých period: 1981 - 2010 (horní obr.), model 2090 (dolní obr.) [28]	24
Obrázek 7: Akumulační dešťová nádrž s připojenou mokřadní infiltrační zónou [32]	31
Obrázek 8: Potrubí s vloženým výměníkem tepla [50]	40
Obrázek 9: Betonové potrubí s integrovaným výměníkem tepla [51]	41
Obrázek 10: Příčný řez gravitačním a tlakovým předizolovaným potrubím [17]	41
Obrázek 11: Schematický diagram membránového bioreaktoru: (a) s ponořenou membránou a (b) s membránou mimo nádrž [56]	45
Obrázek 12: Dispoziční uspořádání [71]	55
Obrázek 13: Čistící sestava ve Vancouver Convention Centre [71]	56
Obrázek 14: Průměrné měsíční srážkové úhrny v Melbourne (mm) [72]	57
Obrázek 15: Průměrný počet deštivých dní v měsíci v Melbourne [72]	58
Obrázek 16: Měsíční úhrny srážek a měsíční počet dní se srážkami v roce 2017 a v dlouhodobém průměru, Praha - Karlov [73].....	58
Obrázek 17: Schéma recyklace vody v bytovém komplexu [35].....	64

14 Seznam tabulek

Tabulka 1: Navrhovaná úprava poplatku za znečištění [21]	21
Tabulka 2: Limity pro vodu ke splachování toalet.....	35
Tabulka 3: Limity pro závlahu rostlin ke konzumaci	37
Tabulka 4: Klasifikace vody dle elektrické konduktivity a množství rozpuštěných látek [49].....	38
Tabulka 5: Klasifikace vody dle indexu SAR [49]	38

15 Seznam použitých zkratek a symbolů

AV ČR	Akademie věd České republiky
AOP	Advanced oxidation processes
AOX	halogenové organické látky
BAT	Best Available Techniques
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
BSK	biochemická spotřeba kyslíku
DESAR	Decentralized Sanitation and Reuse
DMR	Distance Meter Reading
DN	Diamètre Nominal
EPA	Environmental Protection Agency
HDV	hospodaření s dešťovou vodou
CHSK	chemická spotřeba kyslíku
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LID	Low Impact Development
pH	pondus hydrogenia
ppm	parts per million
SAR	Sodium Adsorption Ratio
SUDS	sustainable drainage system
TSS	Total Suspended Solids
UV	ultraviolet
WHO	World Health Organization
WSUD	water-sensitive urban design

16 Seznam příloh

Příloha 1 - Klasifikace membránových filtračních metod dle různých autorů

16.1 Příloha 1 – Klasifikace membránových filtračních metod dle různých autorů

membránová filtrační metoda	autor	velikost pórů [nm]	velikost zadržovaných částic [μm]	pracovní tlaky [kPa]	odstraňuje	spotřeba energie [kWh/m ³]
mikrofiltrace	Asano	> 50	0,008 – 2,0	7 - 100	velmi malé suspendované částice, některé koloidy, většinu bakterií	0,4
	Eslamian	0,05 - 2		20 - 300	bakterie, koloidy	
	Evropská komise		0,1 - 10	10 - 200	suspendované částice, bakterie, prvoci	
	Tchobanoglous a kol.		0,08 – 2,0	7 - 700	nerozpuštěné látky, bakterie	0,4 (při 100 kPa)
ultrafiltrace	Asano	2 - 50	0,005 – 0,2	70 - 700	organické látky s molekulovou hmotností > 1000, pyrogeny, viry, bakterie, koloidy	3,0
	Eslamian	0,005 – 0,1		200 - 1000	větší organické molekuly, viry	
	Evropská komise		cca 0,003 – 0,1	20 - 500	koloidy, proteiny, polysacharidy, většinu bakterií, viry (částičně)	
	Tchobanoglous a kol.		0,005 – 0,2	70 - 700	biologicky rozložitelné látky, nerozpuštěné látky, bakterie	3,0 (při 525 kPa)

membránová filtrační metoda	autor	velikost pórů [nm]	velikost zadržovaných částic [μm]	pracovní tlaky [kPa]	odstraňuje	spotřeba energie [kWh/m ³]
nanofiltrace	Asano	< 2	0,001 – 0,01	350 - 550	malé molekuly, barva, tvrdost, bakterie, viry, proteiny	0,6 – 1,2
	Eslamian	0,001 – 0,05		1000 - 2700	malé organické molekuly, dvojmocné ionty, barvu, mikropolutanty, pesticidy, herbicidy	
	Evropská komise		cca 0,001	500 - 2000	viry, přírodní organické hmoty, vícemocné ionty	
	Tchobanoglous a kol.		0,001 – 0,01	500 - 1000	biologicky rozložitelné látky, tvrdost, těžké kovy, dusičnany, syntetické organické sloučeniny, rozpuštěné látky, bakterie, viry	5,3 (při 875 kPa)
reverzní osmóza	Asano	< 2	0,0001 – 0,001	1200 - 1800	velmi malé molekuly, barva, tvrdost, sírany, dusitany, sodík a další ionty	1,5 – 2,5
	Eslamian	0,0005 – 0,002		1500 – 8300	všechny rozpuštěné druhy, vodné soli	
	Evropská komise		cca 0,0001	1000 - 10000	téměř všechny nečistoty, včetně jednomocných iontů	
	Tchobanoglous a kol.		0,0001 – 0,001	850 - 7000	biologicky rozložitelné látky, tvrdost, těžké kovy, dusičnany, syntetické organické sloučeniny, rozpuštěné látky, bakterie, viry	18,2 (při 2800 kPa)

