



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

# TECHNOLOGIE ZNOVUVYUŽITÍ ODPADNÍCH VOD

TECHNOLOGY OF WASTEWATER REUSE

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kristýna Velikovská

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. PETR HLAVÍNEK, CSc., MBA

BRNO 2019



## VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav vodního hospodářství obcí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Kristýna Velikovská
<b>Název</b>	Technologie znovuvyužití odpadních vod
<b>Vedoucí práce</b>	prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2018
<b>Datum odevzdání</b>	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

---

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

- [1] Metcalf + Eddy: Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, McGRAW-HILL, New York 1985
- [2] Parson S.: Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment, IWA Publishing, ISBN: 1843390175
- [3] HLAVÍNEK Petr, MIČÍN Jan, PRAX Petr. Příručka stokování a čištění, NOEL 2000, 2001, 251 s., ISBN 80-86020-30-4.
- [4] Krejčí a kol.: Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup, ISBN 80-86020-39-8, NOEL 2000, Brno 2002.
- [5] Sborníky Water Science and Technology, IWA Publishing.
- [6] Časopisy SOVAK, VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Diplomová práce bude zaměřena na technologie znovuvyužití odpadních vod. V první části práce bude zpracována rešerše zaměřená na stávající stav problematiky čištění odpadní vody splaškové a dělené (šedá, hnědá a žlutá) v rámci systému reuse technologie a její využití v inteligentních lidských sídlech prostřednictvím vody vyčištěné, bílé. Součástí rešerše bude i výměník tepla pro rekuperaci energie jako součást reuse technologie. Součástí teoretické práce bude i rešerše stávajících objektů v ČR, které využívají v současné době reuse technologie pro hospodaření s odpadními vodami.

V praktické části studentka koncepčně navrhne systém reuse technologie pro vybraný druh odpadních vod a zpracuje případovou studii včetně instalace výměníků tepla. V případové studii se studentka zaměří na technické řešení, výpočty, zisk energie a ekonomiku navrženého systému.

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

---

prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA  
Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce zpracovává dosavadní poznatky v oblasti znovuvyužití odpadních vod. Teoretická část práce charakterizuje splaškové odpadní vody a její separované složky (šedé, hnědé a žluté odpadní vody) z hlediska jejich fyzikálních, chemických a mikrobiologických vlastností. Dále jsou v teoretické části podrobně popsány možnosti znovuvyužití odpadní vody jako zdroje vody, včetně technologie čištění, a získávání tepla z odpadní vody. Tyto poznatky jsou pak aplikovány v praktické části, ve které je navržen koncepční systém čištění a rekuperace tepla šedých odpadních vod v bytovém domě.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Odpadní voda, technologie znovuvyužití, splašková voda, černá voda, šedá voda, membránové technologie, rekuperace tepla, tepelné výměníky.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis presents the knowledge of wastewater reuse. The theoretical part of the thesis describes types of wastewater (greywater, brownwater, and yellow-water) and their characteristics. Further, the theoretical part describes the possibilities of re-use of wastewater as a source of water in detail, including treatment technology, and the heat recuperation from wastewater. The practical part of the thesis uses gained knowledge for designing a greywater treatment and heat recovery technology of grey water in an apartment complex.

## **KEYWORDS**

Wastewater, re-use technology, blackwater, greywater, membrane technology, heat recuperation, heat changer.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Bc. Kristýna Velikovská *Technologie znovuvyužití odpadních vod*. Brno, 2019. 96 s.,  
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního  
hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Technologie znovuvyužití odpadních vod* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 9. 1. 2019

---

Bc. Kristýna Velikovská  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Technologie znovuvyužití odpadních vod* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 1. 2019

---

Bc. Kristýna Velikovská  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé diplomové práce, panu prof. Ing. Petrovi Hlavínkovi, CSc., MBA za vstřícný přístup, ochodu a odborné rady při zpracování této práce. Děkuji také své rodině za její bezmeznou podporu po celou dobu studia.

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>SPOTŘEBA VODY V ČESKÉ REPUBLICE .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1</b>	<b>Odpadní vody z domácností.....</b>	<b>6</b>
2.1.1	Splaškové odpadní vody .....	8
2.1.2	Šedá odpadní voda .....	9
2.1.3	Černá odpadní voda .....	11
2.1.4	Srovnání vlastností černé a šedé vody .....	12
<b>2.2</b>	<b>Tepelná energie z odpadní vody .....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>ODPADNÍ VODA JAKO ALTERNATIVNÍ ZDROJ VODY.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>Splašková voda jako alternativní zdroj vody .....</b>	<b>16</b>
3.1.1	Možnosti úpravy splaškové vody.....	16
<b>3.2</b>	<b>Černá voda jako alternativní zdroj vody.....</b>	<b>17</b>
<b>3.3</b>	<b>Šedá voda jako alternativní zdroj vody .....</b>	<b>18</b>
3.3.1	Možnosti úpravy šedé vody .....	19
3.3.2	Membránové technologie .....	20
3.3.3	Návrh systému čištění šedé vody.....	24
<b>3.4</b>	<b>Legislativa a předpisy .....</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>ZÍSKÁVÁNÍ TEPELNÉ ENERGIE.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1</b>	<b>Rekuperace tepla z odpadní vody.....</b>	<b>26</b>
4.1.1	Základní principy zpětného získávání tepla z odpadní vody .....	26
4.1.2	Účinnost.....	28
4.1.3	Tepelné výměníky.....	29
<b>5</b>	<b>STÁVAJÍCÍ OBJEKTY V ČR VYUŽÍVAJÍCÍ REUSE TECHNOLOGIE.....</b>	<b>30</b>
<b>5.1</b>	<b>Hotel Mosaic House .....</b>	<b>30</b>
<b>5.2</b>	<b>Lipka – Centrum Rozmarýnek.....</b>	<b>31</b>
<b>5.3</b>	<b>Otevřená zahrada.....</b>	<b>32</b>
<b>5.4</b>	<b>Hotel Galant .....</b>	<b>32</b>
<b>5.5</b>	<b>Botanica K.....</b>	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>STUDIE ZNOVUVYUŽITÍ ODPADNÍ VODY NA OBYTNÉM SOUBORU .....</b>	<b>34</b>
<b>6.1</b>	<b>Stanovení ekvivalentních obyvatel .....</b>	<b>34</b>
<b>6.2</b>	<b>Znovuvyužití šedé odpadní vody jako zdroje vody .....</b>	<b>37</b>
6.2.1	Stanovení potřeby pitné vody .....	37
6.2.2	Stanovení produkce šedé vody a potřeby bílé vody .....	39
6.2.3	Výběr technologie čištění šedé vody .....	40
6.2.4	Návrh čistící jednotky a akumulace šedé vody .....	43

6.2.5	Návrh akumulace bílé vody .....	44
6.2.6	Ekonomické posouzení .....	44
<b>6.3</b>	<b>Rekuperace tepla z šedé vody .....</b>	<b>50</b>
6.3.1	Výběr technologie pro rekuperaci .....	50
6.3.2	Návrh a výpočet výkonu výměníku tepla .....	52
6.3.3	Ekonomické posouzení .....	54
<b>6.4</b>	<b>Technologické schéma systému znovuvyužití odpadní vody .....</b>	<b>59</b>
<b>6.5</b>	<b>Ekonomické zhodnocení systému znovuvyužití odpadní vody .....</b>	<b>59</b>
6.5.1	Celková investice a doba návratnosti systému znovuvyužití odpadní vody .....	60
6.5.2	Celková čistá současná hodnota systému znovuvyužití odpadní vody .....	62
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>66</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ.....</b>	<b>67</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>68</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>70</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>78</b>
	<b>SUMMARY.....</b>	<b>80</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>81</b>
	<b>PŘÍLOHA Č. 1: TABULKY SUMARIZACE BYTOVÝCH JEDNOTEK PRO JEDNOTLIVÉ BYTOVÉ DOMY .....</b>	<b>82</b>
	<b>PŘÍLOHA Č. 2: TABULKY SUMARIZACE OBSAZENOSTI BYTOVÝCH DOMŮ .</b>	<b>89</b>
	<b>PŘÍLOHA Č. 3: BLOKOVÉ SCHÉMA VYUŽITÍ ŠEDÝCH A BÍLÝCH VOD.....</b>	<b>96</b>

# 1 ÚVOD

Zemský povrch je ze 70 % tvořen vodou. Objem veškeré vody na naší planetě je přibližně 1,4 miliard m<sup>3</sup>. Jestliže je tento objem konstantní, proč se tedy lidstvo potýká s nedostatkem vody? Odpověď je jednoduchá. 97,5% tohoto objemu tvoří voda z oceánů a moří, voda slaná, která je pro lidskou potřebu nevhodná. Zbývá část, 2,5 % objemu, tvoří voda sladká, která je vlivem populace a klimatických podmínek pod silným tlakem [1].

Také energie se stává stále cennějším materiálem, avšak spalování fosilních paliv urychluje globální oteplování. Využití obnovitelné energie je nejlepším řešením pro úsporu fosilních zdrojů, snížení nebo vyloučení emisí oxidu uhličitého a zpomalení klimatických změn. Rekuperace tepla z odpadních vod je tedy s ohledem na životní prostředí a ekonomické hledisko efektivní řešení získávání tepelné energie.[2]

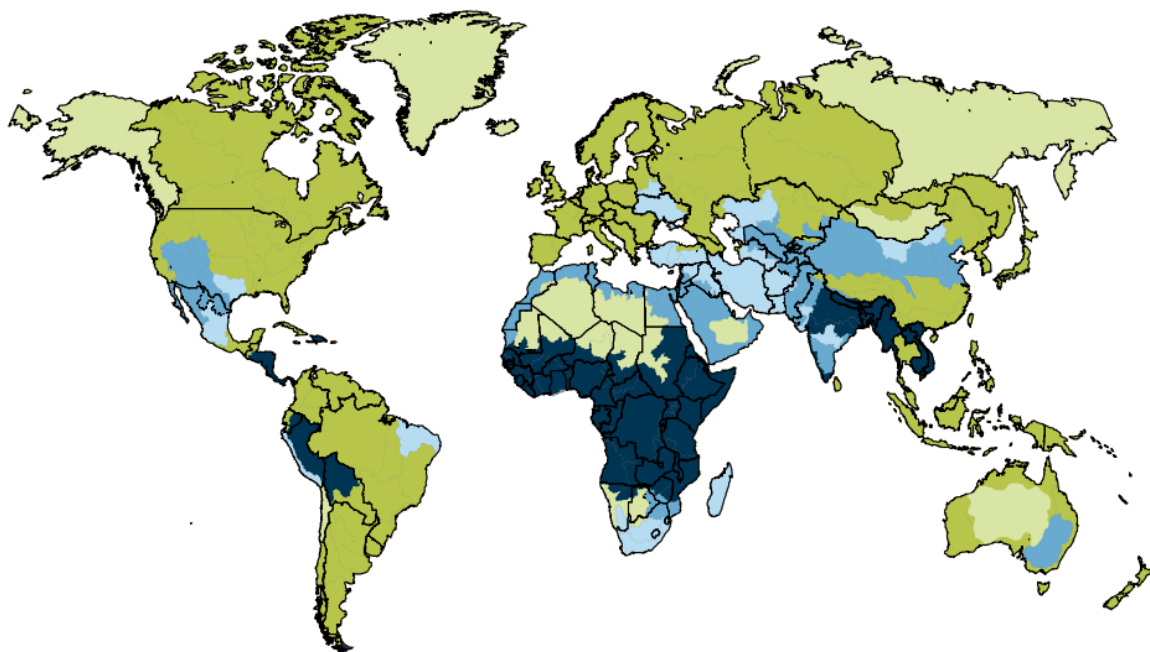
Mění se klimatické podmínky a sucho jsou jedny z hlavních příčin snižování kvality a vydatnosti vodních zdrojů [3]. Vzhledem k tomuto extrémnímu stavu je tedy nutné věnovat zvýšenou pozornost alternativním způsobům získávání tepelné energie a vody. Proto se stále více a více dostává do popředí koncepce opětovného využití odpadní vody jakožto udržitelné hospodaření s vodními zdroji nebo také v diskuzích o ekologické ekonomice. Evropská unie na situaci zareagovala roku 1998 vydáním směrnice Rady 98/15/ES o čištění městských odpadních vod prohlášením „...kdykoli je to vhodné, měly by být tyto odpadní vody znovu využity“ [4].

Koncepce opětovného využití odpadní vody, je založena na jejím sběru, čištění a znovuvyužití v místě jejího vzniku, tedy v budovách. Upravená černá voda, vyžaduje složitější čistící procesy než úprava vody šedé. Upravená šedá voda, tzv. bílá voda, nevyžaduje splňování tak striktních parametrů, jako je tomu u vody pitné, tudíž je využitelná pro provozní účely objektů. [3]

Na Obrázek 1.1 lze vidět grafické znázornění celosvětového nedostatku vody. Fyzikální nedostatek vody vychází z nedostatečnosti přírodních zdrojů k zásobování oblastí. Tento jev je způsoben zejména nevhodným řízením a nakládáním s vodními zdroji. Následky fyzického nedostatku vody zahrnují zhoršování životního prostředí a pokles hladiny podzemních vod. Ekonomický nedostatek vody je způsoben nedostatkem finančních zdrojů pro investice do technické infrastruktury [5].

V České Republice zatím chybí širší zkušenosti a znalosti v této problematice [3], avšak v současnosti jsou technologie pro znovuvyužití odpadní vody podporovány a propagovány Státním fondem životního prostředí prostřednictvím dotačního programu Dešťovka.[6] Ministerstvo životního prostředí má prostřednictvím tohoto programu v plánu motivovat obyvatele k hospodárnému nakládání s vodou a ekologickému smýšlení. Dešťovka je vypsána ve třech úrovních:

- zalévání dešťovou vodou (dotace až 55 tisíc korun);
- zalévání a splachování dešťovou vodou (dotace až 65 tisíc korun);
- využití přečištěné šedé odpadní vody pro splachování (dotace až 105 tisíc korun) [6].



**Obrázek 1.1 Nedostatek vody ve světě [5]**

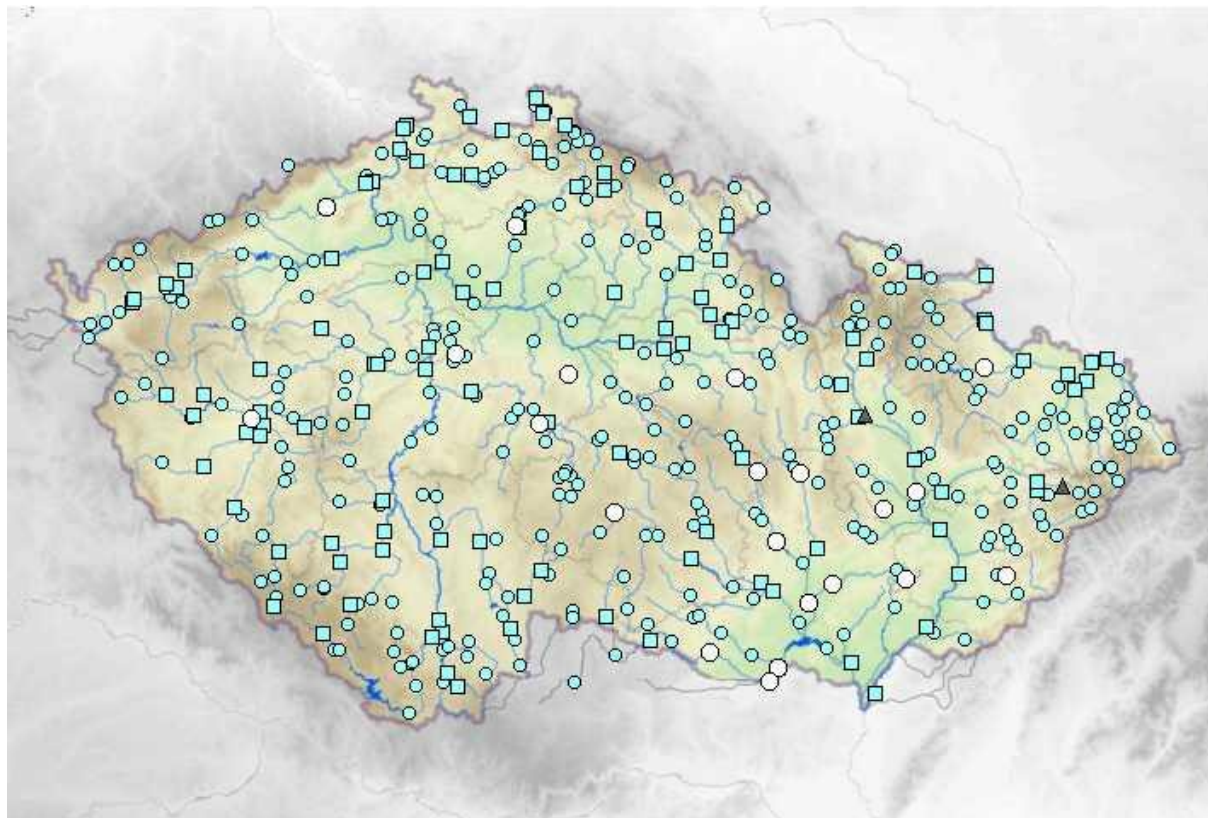
Pozn.: světle zelená barva = bez odhadu, zelená barva = malý nebo žádný nedostatek vody, modrá barva = fyzický nedostatek vody, světle modrá barva = blíží se fyzický nedostatek vody, tmavě modrá barva = ekonomický nedostatek vody.

Cílem diplomové práce je seznámení se s možnostmi opětovného využití odpadní vody jako vodního zdroje, získání a využití tepelné energie z odpadní vody a jejich aplikací v praktické části. Praktická část diplomové práce je zaměřena na aplikování získaných znalostí problematiky a vypracování studie znovuvyužití odpadní vody na obytném souboru ve městě Vsetín.

Součástí studie je stanovení počtu ekvivalentních obyvatel, potřeby pitné vody, produkce splaškové a šedé odpadní vody, potřeby bílé vody ke splachování toalet. Na základě těchto parametrů je vybrána technologie čištění, navržena akumulární nádrž šedé vody a akumulární nádrž bílé vody. Dále se studie zabývá návrhem rekuperačního systému a zpětným získáváním tepla z odpadní vody pomocí výměníků tepla. Pro dílčí části systému i komplexní návrh znovuvyužití odpadní vody v obytném souboru je v rámci studie vypracováno ekonomické posouzení.

## 2 SPOTŘEBA VODY V ČESKÉ REPUBLICE

V současné době je Česká republika sužována extrémně suchými klimatickými podmínkami. S ohledem do nedávné minulosti, provází zemi tento velmi kritický stav od roku 2014. Sucho a vysoké teploty mají za následek nedostatek kvalitních zdrojů pitné vody, tzv. hydrologické sucho [8], a tím způsobený nárůst investičních a provozních nákladů na úpravu vody ze zdrojů vody o snížené kvalitě. Obrázek 2.1 znázorňuje tento kritický aktuální stav na tocích v ČR.



**Obrázek 2.1 Hydrologická mapa ČR (23.8.2018) [8]**

Pozn.: bílá značka – kritický stav, modrá značka – normální stav

Přímo úměrně s nárůstem nákladů na úpravu vody roste také cena vodného, na kterou společnost reaguje hospodárnějším přístupem k využití vody a instalacemi úsporných opatření [3]. V celkovém důsledku má tedy reálná spotřeba pitné vody na obyvatele v České republice v průběhu let 1989 až 2014 klesající tendenci [8].

Navzdory tomuto poklesu spotřeby vody pro běžného spotřebitele však trend ovlivňuje, s ohledem na extrémní sucho trvající od roku 2014, narůstající potřeba vody v zemědělství. Oproti roku 2017 došlo k nárůstu spotřeby vody o 0,4 l [10] vztaženého na jednoho obyvatele. Celkový průběh pohybu množství spotřeby vody v letech 1989 až 2017 je znázorněn v tabulce 2.1.

Přestože se však spotřebitelé chovají úsporněji, cena vodného je dále navyšována [3]. Důvodem jsou neklesající náklady na úpravu a údržbu systémů dodávky pitné vody a suchem způsobený nedostatek.

**Tabulka 2.1 Specifická spotřeba vody fakturované v letech 1989 – 2017 [8][10]**

Ukazatel	Měrná jednotka	1989	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
$Q_{\text{spec,celkem}}$	$\text{l.os}^{-1}.\text{den}^{-1}$	298	137,9	135,8	134,0	131,1	129,4	131,5	131,2	131,6
$Q_{\text{spec,domácnost}}$	$\text{l.os}^{-1}.\text{den}^{-1}$	171	89,5	88,6	88,1	87,1	87,3	87,9	88,3	88,8

Pozn.:  $Q_{\text{spec,celkem}}$  = Specifické množství vody fakturované celkem;  $Q_{\text{spec,domácnost}}$  = Specifické množství vody fakturované domácnostem

Do popředí se tedy dostává myšlenka využití alternativního zdroje vody pro úpravu na požadovanou kvalitu, ať už pro pitné nebo užitkové účely. V přímořských státech přichází v úvahu úprava slané vody, tzv. odsolování nebo desalinace [3], která je provozně i ekonomicky velmi náročná také proto, že tímto způsobem upravenou vodu je nutné doplnit o potřebné ionty vápníku a hořčíku [3]. Středozemní státy se spíše soustřeďují na možnost znovuvyužití dešťové nebo odpadní vody.

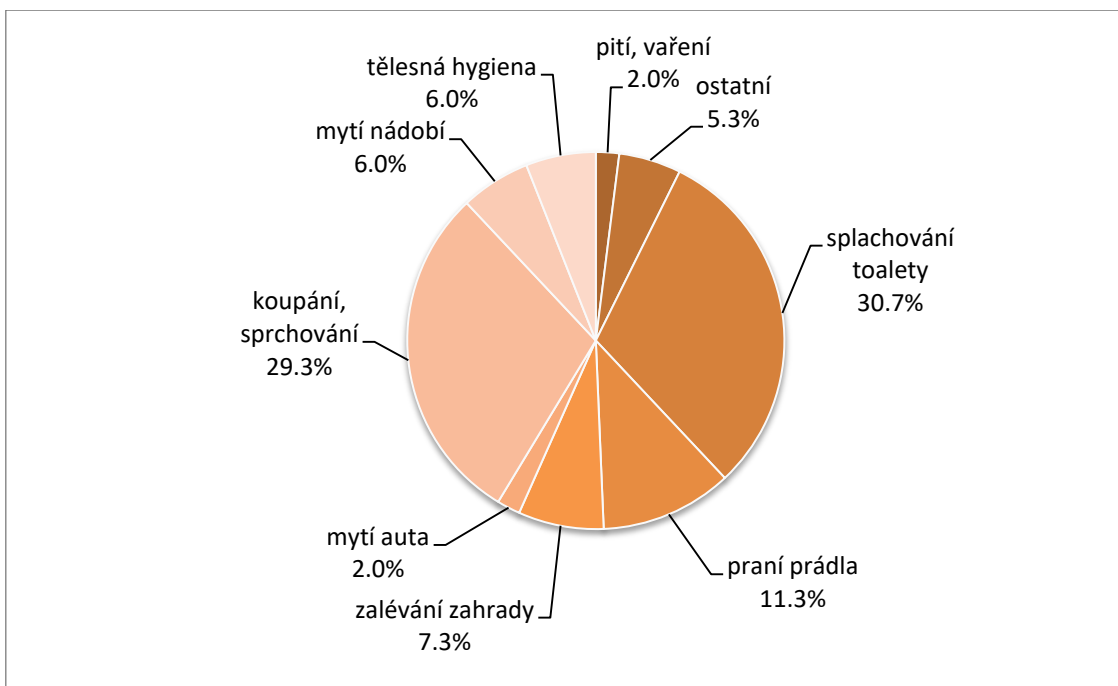
## 2.1 ODPADNÍ VODY Z DOMÁCNOSTÍ

Veškerou vodu, která projde výrobním procesem či jiným využitím, při němž změní svou kvalitu, považujeme za vodu odpadní [3]. V běžné praxi jsou odpadní vody odváděné z místa vzniku, z domácností, zaústěny do jímky na vyvážení anebo prostřednictvím kanalizační přípojky do domovní čistírny odpadních vod (DČOV) či stokové sítě, odkud jsou dále svedeny k místu čištění, na čistírny odpadních vod (ČOV), a poté zaústěny do vodního recipientu [3]. Domácnosti v České republice v roce 2017 tímto způsobem vypustilo do kanalizace 453,3 milionů  $\text{m}^3$  [8] splaškové odpadní vody, tedy odpadní vody nezahrnující srážkové odpadní vody.

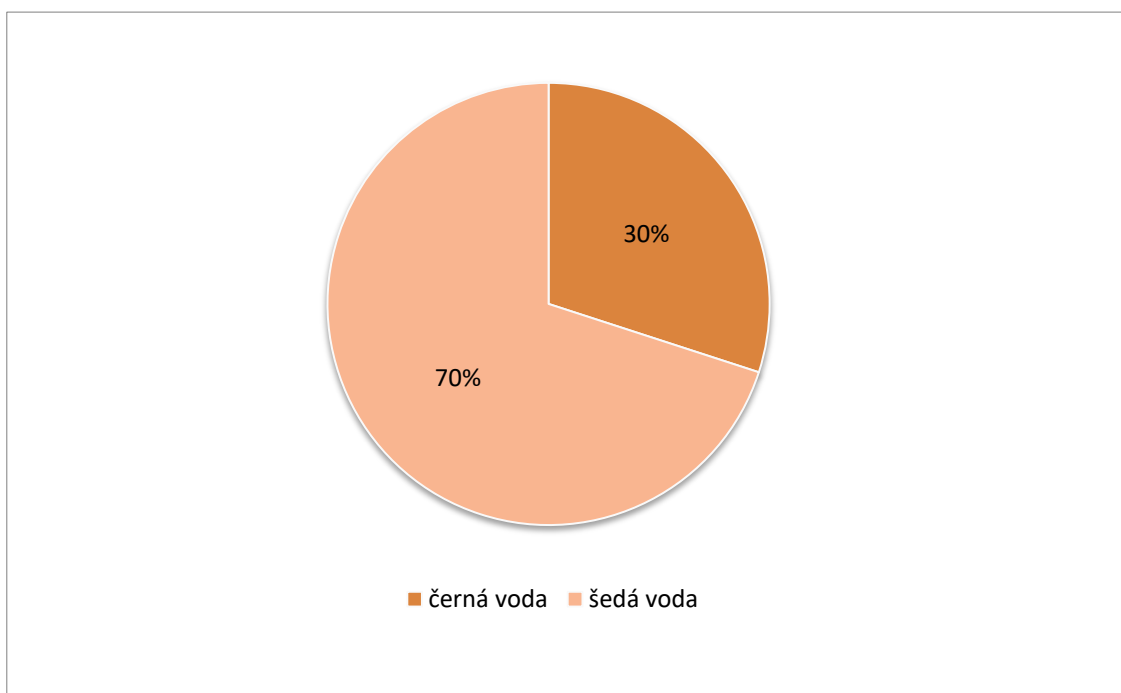
Odpadní vodu lze rozdělit dle místa vzniku do dvou typů [3]:

- splašková odpadní voda z domácností, která se dále dělí:
  - šedá odpadní voda;
  - černá odpadní voda;
- dešťová odpadní voda.

Tohle rozdělení je přínosné z hlediska ekonomického nebo ekologického hospodaření, zejména pro odpovídající zpracování jednotlivých typů odpadní vody. Důmyslnou úpravou a nakládáním s odpadní vodou lze získat nejen vodu pro znovuvyužití, ale i tepelnou energii a živiny v podobě organických a anorganických látek. Rozdělení průměrné denní potřeby vody a produkce odpadních vod v běžné domácnosti je znázorněno v grafech 2.1 a 2.2. Z grafu podrobného rozdělení průměrné denní potřeby vody v domácnosti je zřejmé, že šedé vody tvoří až polovinu celkové potřeby vody domácnosti. Přibližně 70 % z celkové produkce odpadní vody v domácnosti tvoří voda šedá a zbylých 30 % tvoří voda černá.



Graf 2.1 Podrobné rozdělení průměrné denní potřeby vody v domácnosti dle činností [3]



Graf 2.2 Porovnání produkce šedé a černé vody v domácnostech [3]

## 2.1.1 Splaškové odpadní vody

Splaškové odpadní vody jsou dle normy ČSN 75 6101 definovány jako „*odpadní vody obsahující splašky z kuchyní, koupelen, prádelen, WC, technické občanské vybavenosti apod.*“ a jsou součástí městských odpadních vod. Složení splaškových vod a charakter jejich znečištění je založen na původu pitné vody, metabolických produktech obyvatelstva, zbytcích jídel, čisticích prostředcích apod. [67].

### *Fyzikální a chemická charakteristika splaškových vod*

Vlastnosti splaškových odpadních vod jsou, jak již bylo zmíněno, ovlivněné řadou aspektů spjatou s jejich vznikem. Tabulka 2.2 znázorňuje intervaly hodnot chemických a fyzikálních vlastností splaškových vod.

**Tabulka 2.2 Vybrané chemicko-fyzikální vlastnosti splaškových vod [59][60][67][18]**

Ukazatel	Měrná jednotka	Splaškové odpadní vody
pH	-	6,5 – 8,5
Teplota	°C	10 - 20
Barva	Pt.C <sup>-1</sup>	-
Zákal	NTU	> 5
RL	mg.l <sup>-1</sup>	600 - 800
NL	mg.l <sup>-1</sup>	200 - 700
BSK <sub>5</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	100 - 400
CHSK <sub>Cr</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	250 - 800

### *Koncentrace živin ve splaškových vodách*

Živiny, jinak nutrienty, se v odpadních vodách vyskytují ve formě organicky vázaného dusíku (např. v bílkovinách), dusitanů, dusičnanů a fosforečnanů. Množství dusíkatých nutrientů v podobě dusitanů a dusičnanů je v porovnání s množstvím organicky vázaného dusíku zanedbatelné. Výskyt fosforečnanů v odpadní vodě je v úzkém vztahu se způsobem života obyvatelstva, a to zejména v používání čisticích prostředků – detergentů. [19] Tabulka 2.3 zobrazuje množství vybraných nutrientů v mg.l<sup>-1</sup> ve splaškových odpadních vodách.

**Tabulka 2.3 Koncentrace vybraných nutrientů ve splaškových vodách [19]**

Ukazatel	Měrná jednotka	Splaškové odpadní vody
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	20 – 45
N <sub>celk</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	30 - 70
P <sub>celk</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	5 – 15

## ***Mikrobiologické znečištění splaškových vod***

Výskyt mikrobiologického znečištění ve splaškových odpadních vodách vyplývá z jejich definice dle normy ČSN 75 6101. Tabulka 2.4 představuje hodnoty výskytu vybraných mikrobiologických ukazatelů znečištění ve splaškových vodách.

**Tabulka 2.4** Hodnoty výskytu vybraného mikrobiologického znečištění ve splaškových vodách [57]

<b>Mikrobiologický ukazatel</b>	<b>Měrná jednotka</b>	<b>Splaškové odpadní vody</b>
Fekální koliformy	KTJ.100ml <sup>-1</sup>	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>6</sup>
Celkové koliformy	KTJ.100ml <sup>-1</sup>	10 <sup>9</sup> - 10 <sup>10</sup>
Escherichia coli	KTJ.100ml <sup>-1</sup>	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>5</sup>
Enterokoky	KTJ.100ml <sup>-1</sup>	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>5</sup>

### **2.1.2 Šedá odpadní voda**

Šedá odpadní voda získala své pojmenování díky specifickému zbarvení a kvalitě. Šedou vodu označujeme dle ČSN EN 12056 [11] a DIN 4045 Abwassertechnik – Grundbegriffe [12] jako odpadní vodu, která neobsahuje moč a fekální znečištění. Šedé vody představují málo znečištěné odpadní vody z domácnosti, jako jsou především vody z koupelen, praček, kuchyňských dřezů a myček nádobí [3].

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1, šedé vody tvoří přibližně 70 % celkového produkovaného množství odpadní vody a zhruba 50 % celkové průměrné denní potřeby vody v domácnosti. Relativně čistá šedá voda obsahuje složky šampónů a mýdel, pracích prostředků, zubní pasty, vlasů, zbytků jídla a kuchyňských olejů.[3] S ohledem na rozličné složení lze šedou vodu rozdělit do dvou skupin [89]:

- světlá šedá voda, kterou tvoří voda ze sprch a umyvadel koupelen, obsahuje jen v malé míře nutrienty dusík a fosfor;[89]
- a tmavá šedá voda, která je tvořena odpadní vodou z kuchyní a praček, která je znečištěna zbytky jídla, oleji, saponáty a tenzidy a fosfáty z pracích prostředků.[89]

Čištění tmavé šedé vody je ekonomicky a technicky náročnější než čištění světlé šedé vody. [89]

### ***Fyzikální a chemická charakteristika šedých vod***

Komplexní fyzikální a chemické vlastnosti šedých vod jsou zobrazeny v následující tabulce 2.5 v kategorii neseparovaná šedá voda. Tyto vlastnosti jsou však rozličné pro šedé vody různého vzniku a původu. Proto tabulka 2.5 obsahuje také hodnoty fyzikálně-chemických parametrů pro konkrétní zdroje šedé vody, tj. [3]:

- pračky;
- koupelny – šedá voda z vany, sprchy a umyvadla;
- kuchyně – šedá voda z kuchyňského dřezu a myčky na nádobí.

**Tabulka 2.5 Vybrané chemicko-fyzikální vlastnosti šedých vod podle jednotlivých kategorií [3][14][20][21][22][23][24][25][28][29][30][31][32][33][34]**

Ukazatel	Měrná jednotka	Neseparovaná šedá voda	Pračky	Koupelny	Kuchyně
pH	-	6,1 - 8,4	9,3 – 10,0	5,0 - 8,6	6,3 - 7,4
Teplota	°C	-	28 - 32	18 - 38	-
Barva	Pt.C <sup>-1</sup>	-	50 -70	60 - 100	-
Zákal	NTU	-	14 - 296	20 - 370	-
Plovoucí látky	mg.l <sup>-1</sup>	-	79 - 280	7 - 120	134 - 1 300
NL	mg.l <sup>-1</sup>	45 - 330	-	-	-
BSK <sub>5</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	41 - 194	48 - 682	19 - 200	669 - 756
CHSK <sub>Cr</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	495 - 623	375	64 - 8 000	26 - 1 600

### ***Koncentrace živin v šedých vodách***

Množství nutrientů v šedých odpadních vodách je znázorněno v tabulce 2.6. Tabulka rozlišuje koncentraci nutrientů v neseparovaných šedých vodách a v šedých vodách dle konkrétního zdroje, tj.[3]:

- z pračky;
- z koupelny – šedá voda z vany, sprchy a umyvadla;
- z kuchyně – šedá voda z kuchyňského dřezu a myčky na nádobí.

**Tabulka 2.6 Koncentrace nutrientů v šedých odpadních vodách [3][19]**

Ukazatel	Měrná jednotka	Neseparovaná šedá voda	Pračky	Koupelny	Kuchyně
N <sub>NH4+</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	-	< 0,1 - 3,8	< 0,1 – 25,0	0,2 – 23,0
N <sub>celk</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	8,1	6,2	0,6 - 46,4	13,0 – 60,0
P <sub>celk</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	3,3 – 11,0	0,06 – 57,0	0,11 - 2,20	3,1 – 10,0

### ***Mikrobiologické znečištění šedých vod***

Přestože šedou vodu definuje ČSN EN 12056 [11] a DIN 4045 [12] jako odpadní vodu neobsahující moč a fekální znečištění, není výjimkou, že obsahuje známky mikrobiologického znečištění. Výskyt mikrobiologického znečištění je způsoben například mytím rukou, sprchováním nebo ze zpracování potravin [3]. Tabulka 2.7 uvádí hodnoty výskytu vybraných mikrobiologických ukazatelů v jednotkách KTJ.100 ml<sup>-1</sup>.

**Tabulka 2.7** Hodnoty výskytu vybraného mikrobiologického znečištění v šedých vodách [3][14][20][22][23][24][25][28][29][31]

Mikrobiologický ukazatel	Měrná jednotka	Neseparovaná šedá voda	Pračky	Koupelny	Kuchyně
Fekální koliformy	KTJ.100ml <sup>-1</sup>	10 <sup>2</sup> - 10 <sup>6</sup>	10 <sup>1</sup> - 10 <sup>4</sup>	10 <sup>1</sup> - 10 <sup>6</sup>	-
Celkové koliformy	KTJ.100ml <sup>-1</sup>	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>1</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>1</sup> - 10 <sup>9</sup>	-
Escherichia coli	KTJ.100ml <sup>-1</sup>	10 <sup>1</sup> - 10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup> - 10 <sup>6</sup>	10 <sup>1</sup> - 10 <sup>7</sup>	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>8</sup>
Streptokoky	KTJ.100ml <sup>-1</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup> - 10 <sup>7</sup>	10 <sup>1</sup> - 10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>8</sup>
Enterokoky	KTJ.100ml <sup>-1</sup>	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>5</sup>	N	N	-

Pozn.: N – nezjištěno

### 2.1.3 Černá odpadní voda

Černou odpadní vodu definuje norma ČSN EN 12056-1 až 5: *Vnitřní kanalizace – Gravitační systémy – část 1 až 5* [11] jako splaškovou odpadní vodu obsahující fekálie a moč.

Černou odpadní vodu lze dále rozdělit na žlutou a hnědou odpadní vodu [57], přičemž žlutá voda je složena z vodného roztoku metabolických odpadů, konkrétně rozpuštěných solí a nutrientů [57]. Mezi nutrienty obsažené v močovině patří dusík, fosfor, draslík a další prvky. Člověk denně vyloučí 0,6 až 2,0 l žluté vody – moči, což je o něco menší množství, než každý jedinec vypije. Ročně pak jeden člověk vyprodukuje přibližně 500 l moči [57]. [3]

Hnědou odpadní vodu tvoří fekální znečištění, obsahující značné množství uhlíku a vápníku, ale také hořčíku, železa, fosforu a draslíku [3][57]. Člověk denně vyloučí přibližně 120 až 300 g fekálií, přibližně tvořených z 22 – 25 % sušiny, která je z 90 % složena z organických látek [3][69].

#### *Fyzikální a chemická charakteristika černých vod*

Komplexní fyzikální a chemické vlastnosti černých vod jsou zobrazeny v následující tabulce 2.8.

**Tabulka 2.8** Vybrané chemicko-fyzikální vlastnosti černých vod [59][60][71][112]

Ukazatel	Měrná jednotka	Černé odpadní vody
pH	-	8,02 – 9,08
Teplota	°C	15,3 – 26,1
NL	mg.l <sup>-1</sup>	920 - 4320
BSK <sub>5</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	410-1400
CHSK <sub>Cr</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	806-3138

#### *Koncentrace živin v černých vodách*

Množství nutrientů v černých odpadních vodách je znázorněno v tabulce 2.9.

**Tabulka 2.9** Koncentrace vybraných nutrientů v černých vodách [112][59][60]

Ukazatel	Měrná jednotka	Černé odpadní vody	Žluté odpadní vody	Hnědé odpadní vody
N <sub>celk</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	~14	25 - 60	3 - 7
P <sub>celk</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	~11	1,7 – 8,25	1,2 - 6

### ***Mikrobiologické znečištění černých vod***

Žlutá odpadní voda ve své podstatě neobsahuje fekální znečištění, s tím většinou přichází do kontaktu až po opuštění lidského těla. Moč sama o sobě neobsahuje bakterie, plísně ani viry [70]. Veškeré mikrobiologické znečištění černé vody je tedy koncentrováno v její druhé složce, v hnědé odpadní vodě. Ve 100 ml černé odpadní vody lze zaznamenat 10<sup>8</sup> KTJ fekálních koliformních bakterií a 10<sup>4</sup> - 10<sup>6</sup> KTJ Escherichia coli.[75][112]

#### **2.1.4 Srovnání vlastností černé a šedé vody**

V předchozích kapitolách byly podrobně rozepsány fyzikální a chemické vlastnosti, koncentrace živin a mikrobiologické znečištění jednotlivých druhů odpadních vod z domácností.

Tato kapitola je zaměřena na porovnání výše zmíněných vlastností odpadních vod a následnou úvahu pro efektivní znovuvyužití.

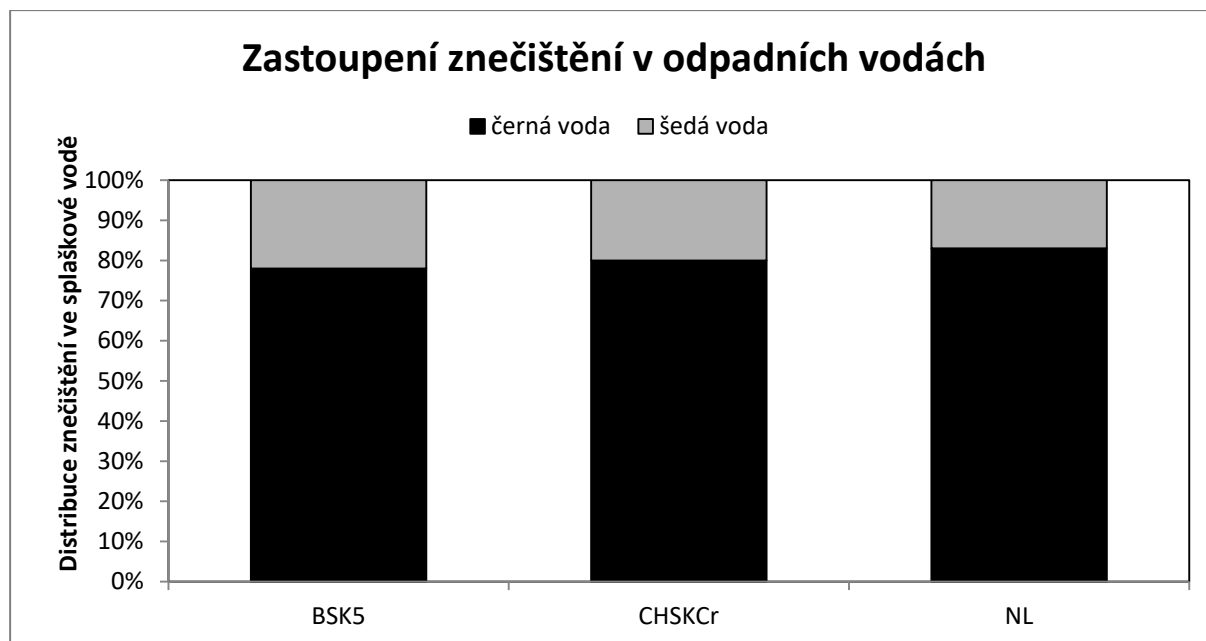
#### ***Fyzikální a chemická charakteristika***

Na rozdíl od mírně zásaditých komunálních a černých vod, mají neseparované šedé vody hodnotu pH spíše kyselější. Tyto hodnoty se pohybují v rozmezí 6,1 – 8,4. Hodnota pH je však závislá na druhu znečištění, proto například šedé vody z praní jsou mnohem zásaditější než šedé vody produkované v kuchyních a koupelnách.

S ohledem na teplotu, která se u šedých pohybuje v rozmezí 18 – 38 °C, tvoří šedé vody příznivé prostředí k rozvoji mikroorganismů. Navzdory tomu je díky této vysoké teplotě šedá voda vhodná pro rekuperaci tepla.

Chemické složení dokazuje vyšší podíl obtížněji rozložitelných látek. Oproti splaškovým vodám, ve kterých je CHSK<sub>Cr</sub> a BSK<sub>5</sub> v poměru zpravidla 2:1 [19], vykazují šedé vody znečištění CHSK<sub>Cr</sub> a BSK<sub>5</sub> v poměru 4:1. Tento nepříznivý poměr je způsoben zejména obsahem mýdel a šamponů. [3][25][26]

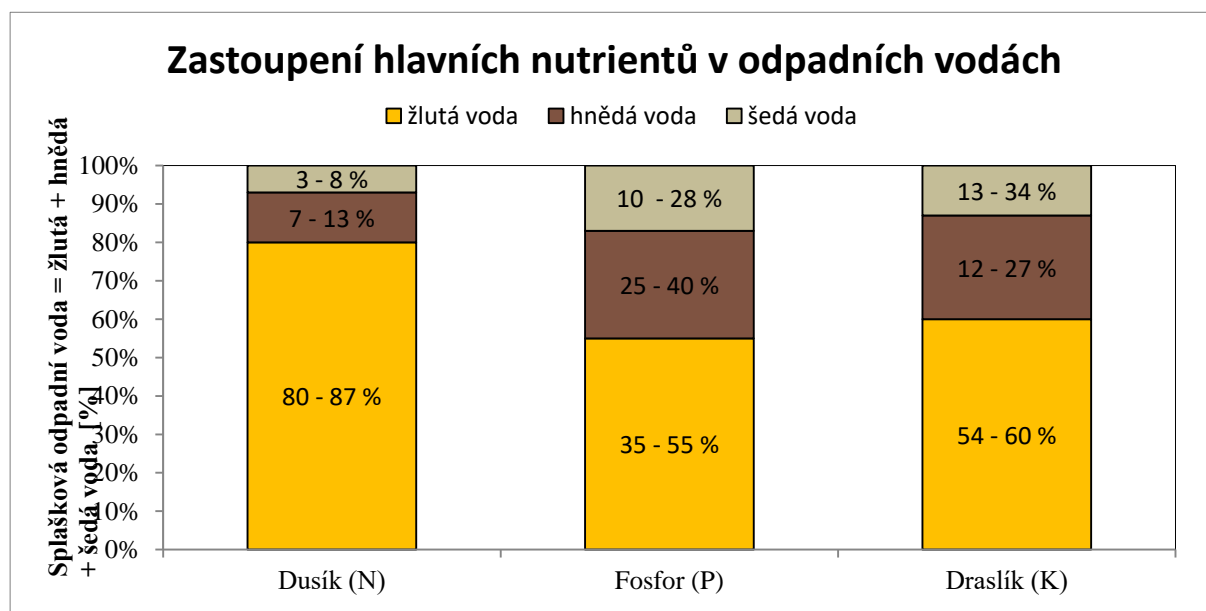
Graf 2.3 znázorňuje poměrné zastoupení znečištění splaškové vody s procentuálním rozdělením šedé a černé vody.



Graf 2.3 Distribuce znečištění v odpadních vodách [111]

### *Koncentrace živin v odpadních vodách*

Pro srovnání koncentrace živin v odpadních vodách je v grafu 2.4 znázorněna procentuální koncentrace vybraných nutrientů. Nejvyšší zastoupení živin se vyskytuje ve žluté odpadní vodě, čímž se jeví jako nejvhodnější složka splaškové vody pro další využití, např. jako přírodního hnojiva.



Graf 2.4 Zastoupení nutrientů v odpadních vodách [3][64]

### *Mikrobiologické znečištění odpadních vod*

Z hlediska výskytu mikrobiologického znečištění v separovaných složkách splaškové vody jsou nejnižším hygienickým rizikem šedé odpadní vody z koupelen, praček a kuchyní. Naopak nejvyšší hygienické riziko představují černé vody kvůli svému fekálnímu znečištění, čímž klesá jejich potenciál pro zpětné využití jako vodního zdroje. Čištění černých vod pro

je tedy z důvodu jejich znečištění, finanční náročnosti a složitosti čištění pro účely znovuvyužití nevýhodné.

## 2.2 TEPELNÁ ENERGIE Z ODPADNÍ VODY

Odpadní voda je zdrojem tepelné energie, jejíž potenciál není v dnešní době téměř využíván. Teplota ve stokovém systému je poměrně stálá. Zásadní teplotní výkyvy nastávají v létě, kdy dosahuje maximálních teplot i přes 20 °C a v zimě, kdy jsou teploty odpadní vody nejnižší, v průměru mezi 10 °C až 13 °C. [90]

Odpadní voda z domácností je tedy nákladově efektivním zdrojem tepelné energie. Průměrné spotřebiče vypustí do kanalizace až 40 % tepelné energie vyrobené v obytných budovách. Ochlazením 1 m<sup>3</sup> odpadní vody lze získat 1,16 kWh tepelné energie. [14]

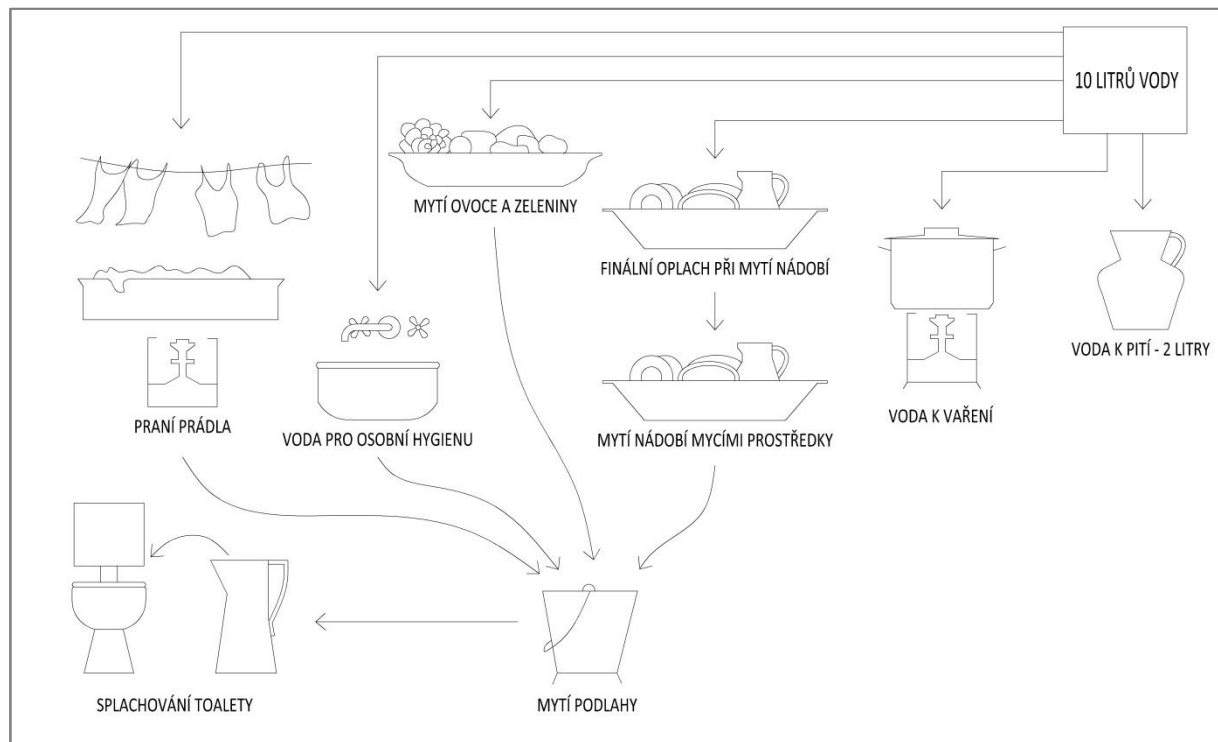
Tepelnou energii lze získat:

- v místě vzniku;
- na odtoku z budovy;
- ve stokové síti;
- na přítoku do čistírny odpadních vod.

V místě spotřeby teplé vody a tedy v místě svého vzniku má odpadní voda svou nejvyšší tepelnou energii. Po opuštění budovy tato tepelná energie směrem k nátoku na čistírnu odpadních vod postupně klesá. Pokles teploty může být způsoben naředěním se studenější odpadní vodou nebo v případě jednotné kanalizace s dešťovou vodou. Teplota odpadní vody ve stokovém systému klesá o několik stupňů také během noci. Nejvýhodnějším zdrojem tepelné energie se jeví odpadní voda v místě svého vzniku. [14]

### 3 ODPADNÍ VODA JAKO ALTERNATIVNÍ ZDROJ VODY

Současný stav extrémního sucha vyžaduje alternativní přístupy k získávání nových zdrojů vody. Koncept a přijetí opětovného použití vody se v současnosti dostává do širšího povědomí, ačkoliv myšlenka znovu využití odpadní vody byla zaznamenána již v čtyřicátých letech minulého století. Tehdejší denní spotřeba vody v Izraeli činila 10 litrů pro jednoho obyvatele, proto bylo nutné nakládat s vodou efektivně [61]. Typický systém využití vody je znázorněn v obrázku 3.1.



Obrázek 3.1 Systém znovuvyužití vody v Jeruzalémě (r. 1948) [61]

Přístup k vodě jako k alternativnímu zdroji vody je přijímán zejména v regionech, které se spoléhají na nepředvídatelné dodávky vody, a v průmyslových aplikacích pro zajištění sekundárního zdroje recyklované procesní vody [36].

Primárním bodem konceptu znovuvyužití v přístupu k čištění odpadní vody je potlačení centrálního sběru, čištění a vypouštění do recipientu. Koncept je naopak založen na zavedení decentralizovaného sběru a čištění odpadní vody v místě jejího vzniku nebo využití. V zahraničí je přístup decentralizovaného odvádění a opětovného využití pojmenován akronymem DESAR (decentralised sanitation and reuse)[55]. V Německu jsou technologie pro alternativní způsob sanitační nazývány NASS (Neuartige Sanitärsystemen)[57].

V následujících kapitolách budou rozebrány metody a možnosti čištění a znovuvyužití jednotlivých forem splaškové odpadní vody:

- splaškové odpadní vody komplexně (neseparovaná odpadní voda z domácností);
- šedé odpadní vody;
- černé odpadní vody a jejich separovaných částí.

## 3.1 SPLAŠKOVÁ VODA JAKO ALTERNATIVNÍ ZDROJ VODY

Systémy využití splaškových vod jako alternativního zdroje vody řeší podchycení a odvedení splaškové vody ze stokového systému v místě potřeby, její čištění a následné užití. Tento typ technologie je v zahraničí nazýván Sewer Mining. [91]

Průkopníkem technologie Sewer Mining se stala Austrálie, jehož principem je využití vyčištěné odpadní vody k zavlažování zelených ploch, sportovních zařízení nebo dokonce k domácímu využití, například ke splachování toalet. Přebytečná vyčištěná voda je svedena zpátky do kanalizace.[91]

### 3.1.1 Možnosti úpravy splaškové vody

Pro čištění splaškové vody a dosažení požadovaných parametrů přečištěné vody jsou v těchto systémech využívány přístupy čištění s [91]:

- chemickou úpravou (např. koagulace);
- fyzikální úpravou (např. membránová filtrace s desinfekcí);
- biologickou úpravou (např. biologické provzdušňované filtry, moving bed bioreaktory – bioreaktory s biomasou ve vznosu, rotující kontaktní bioreaktor a membránový bioreaktor);
- přírodními postupy (např. mokřady, kořenové čistírny, rákosová pole – reed bed).

#### *Systém s chemickou úpravou*

Systémy čištění šedé vody s chemickou úpravou jsou založeny na principu koagulace, elektrochemické koagulace, popř. chemické oxidaci hydroxylovými radikály. Tato technologie spočívá v řízeném dávkování chemikálií na bázi železa, hliníku nebo oxidačních činidel v podobě hydroxylových radikálů [3]. Jejich reakcí s koloidními látkami obsaženými ve vodě dochází k flokulaci a následné separaci vysrážených nečistot.

#### *Systémy s fyzikální úpravou*

Systémy s fyzikální úpravou vody jsou založeny na mechanickém čištění spočívajícím v kontinuálním průtoku čištěného média skrze vrstvu materiálu zachycujícího nečistoty, tzv. filtrace. Nejvyužívanějším způsobem fyzikální úpravy je filtrace na pískovém loži, filtrace na granulovaném aktivním uhlí (GAU) a membránová filtrace. [3]

Filtrace odpadní vody na pískovém loži, popř. mulčovací kůře, je proces ulpívání a adsorpce nečistot. Tato metoda je význačná svým jednoduchým provozem, jednoduchou údržbou a nízkými investičními náklady. Nevýhody metody tkví v neúplném odstranění patogenů a možnosti ucpání filtru a tím přetížení celkového systému.[3]

Oproti filtraci vody na pískovém loži je metoda filtrace na aktivním uhlí GAU účinnější v zachycování organických i anorganických látek. Proces čištění vychází ze stejného principu jako filtrace na pískovém loži. GAU má však vysoké investiční náklady a nezachycuje podstatné množství chemických látek, jako např. sodík nebo dusičnany.[3][115]

Membránová filtrace úspěšně odstraňuje rozpuštěné i nerozpuštěné látky. Membrány jsou schopny odstranit organické znečištění v závislosti na svých parametrech, zejména na rozměrech částic, které jsou schopny zachytit. O typech membrán a účinnosti odstranění znečištění pojednává kapitola 3.3.2.[3]

Systémy s fyzikální úpravou je vhodné doplnit o zařazení hygienického zabezpečení před samotným využitím přečištěné odpadní vody.

### ***Systémy s biologickou úpravou***

Biologická úprava zahrnuje celou řadu procesů, které jsou využívány v čistírnách odpadních vod. Technologický postup začíná mechanickým předčištěním, může následovat sedimentační nádrž, filtrace (písková nebo na GAU) v kombinaci se samotnou biologickou úpravou, nejčastěji prostřednictvím aplikace aktivační nádrže. Do čistící jednotky odpadní vody lze také zakomponovat membránové technologie. [3]

Podstatou biologického čištění je aktivace, která spočívá v provzdušňování aktivovaného kalu v aktivační nádrži. Aktivovaný kal je směsná kultura mikroorganismů, která spotřebovává rozpuštěný kyslík a odbourává organické látky za snížení koncentrace odpadních látek. [3]

Systémy s biologickou úpravou můžeme rozdělit následovně [3]:

- biologická jednotka;
- bioreaktor, MBR jednotka.

Systémy s biologickou úpravou pružně reagují na množství a objem znečištění, čímž zajišťují vysokou účinnost odstranění organických látek, mají však vysoké investiční a provozní náklady. V případě membránového bioreaktoru je možné odstranění většího množství patogenů. [68]

### ***Systém s přírodními postupy***

Přírodní postupy čištění odpadní vody jsou obvykle zastoupeny mokřady, kořenovými čistírnami, rákosovými poli a jezírky [3]. V některých evropských zemích se kořenové čistírny používají už od sedmdesátých let [73].

Princip čištění je založen na sedimentaci hrubého znečištění, následné pískové filtraci plovoucího znečištění [3] a konečném přírodním biochemickém procesu probíhajícím ve vodním prostředí. Mokřady jsou komplexy zvodnělého nebo mělce zapraveného zemního lože, vegetace a živočichů. Kořenové čistírny využívají samočisticích pochodů porézním půdním prostředím za spoluúčasti mikroorganismů a rostlin. [72]

Tyto systémy jsou mnohem levnější než moderní čistící jednotky, avšak jsou velmi náročné na plochu a nejsou schopny plnit tak přísné parametry čištění jako je tomu u membránových technologií [3][52].

## **3.2 ČERNÁ VODA JAKO ALTERNATIVNÍ ZDROJ VODY**

Černá voda, ať už jako celek nebo dělená na žlutou a hnědou, není ve světě využívána jako alternativní zdroj vody. Důvodem je významné mikrobiologické znečištění, které by mohlo nést vysoká hygienická rizika.

Přestože černá odpadní voda není vhodná k jinému než konvenčnímu čištění na čistírnách odpadních vod, její znovuvyužití lze zacílit na získání živin. Význam recyklace živin souvisí s nárůstem využívání minerálních hnojiv v zemědělství pro intenzivní produkci potravin. Živiny v minerálních hnojivech sestávají převážně z fosforu a dusíku, které jsou získávány z horninových fosfátů a Haber-Boschovým procesem pro umělou fixaci dusíku a výrobu amoniaku [75][76][77]. Odváděním černé vody, žluté i hnědé vody odděleně od ostatních odpadních vod z domácnosti, vzniká surovina pro výrobu přírodního hnojiva. [57]

Přístup k separované žluté vodě jako ke zdroji živin se objevil již v 70. letech ve Švédsku, kde byly na suchých toaletách prázdninových domů osazovány kompostovací prvky

s oddělováním moči. Od roku 1991 jsou na trhu také americké Waterless Urinals – tzv. suché pisoáry. V letech 1996-1999 byl ve Švédsku vyvíjen separační systém na principu dělicích toalet (no-mix toalet). Ve Francii jsou zavedeny ekologické „květinové“ pisoáry pro veřejnost tvořené ze slámy či pilin, které v kombinaci s močí vytvářejí přírodní hnojivo.[57]

Také hnědá voda nepostrádá svůj význam ve znovuvyužití. Kal ze separované černé nebo hnědé vody je díky koncentracím živin výhodnější surovinou pro výrobu bioplynu.[78]

### 3.3 ŠEDÁ VODA JAKO ALTERNATIVNÍ ZDROJ VODY

Systémy využití šedých vod v objektech jsou u nás i ve světě v současnosti jedny z nejvyužívanějších strategií pro redukci spotřeby pitné vody, k čemuž se vyjádřil i ministr životního prostředí Richard Brabec: „*Máme celou řadu plánů i s takzvanou šedou vodou, která odchází třeba z umyvadel, a je možno ji opět po zpracování použít ke splachování WC. Splachujeme, stejně jako mnohé jiné evropské země, pitnou vodou, což je barbarství a v některých zemích, včetně třeba Izraele, kde vodou umí šetřit, se to dnes považuje za něco nepřijatelného.*“ [74].

Hlavní výhodou využívání šedých vod je nejen jejich vysoká produkce v domácnosti, ale také nízká úroveň znečištění. Přečištěná šedá voda, nazývána vodou bílou [3], která prošla základními čistícími procesy, jako je odstranění tuků, filtrací a desinfekcí, je vhodná pro další využití pro splachování toalet, závlahu zahrad a zelených ploch nebo jako vodu provozní či technologickou [3]. V zahraniční literatuře se také můžeme setkat s pojmem „green water“ [50].

Systémy využití šedých vod ve vybraných objektech řeší podchycení šedé vody ještě před samotným zaústěním do stoky nebo jímky na vyvážení či septiku [3].

Bílá voda, jakožto výstupní médium po recyklaci šedé vody, by měla splňovat čtyři kritéria:

- hygienická bezpečnost;
- estetika;
- environmentální tolerance;
- ekonomická proveditelnost.

Systémy využití šedých vod lze dle způsobu a místa využití bílé vody rozdělit následujícím způsobem [3][26]:

- nekontaktní využití (zavlažovací systémy);
- nízkokontaktní využití (splachování toalet, praní prádla);
- kontaktní využití (úklid, osobní hygiena – umyvadla, sprchy a vany);
- speciální využití (užití v průmyslových odvětvích).

Čištění šedé vody pro účely zavlažování se může jevit jako snadný proces úpravy s nízkými nároky na kvalitu výsledného permeátu, avšak opak je pravdou. Přestože je šedá voda definována jako odpadní voda neobsahující fekálie a moč, určité množství mikrobiologického znečištění přece jen obsahuje, viz kapitola 2.1.1. Při využití bílé vody pro zavlažování může být uživatel ohrožen na zdraví v případě náhodného neúmyslného vdechnutí vody, kontaktem této vody s pokožkou nebo úmyslným požitím zeleniny zalévané takovou vodou. [38]

V případě využívání bílých vod v přímém kontaktu s lidskou pokožkou je nutná důkladná úprava šedé vody a následná desinfekce v kombinaci s pravidelným odebíráním a analyzováním kontrolních vzorků.

Využití šedé vody jako procesní vody či pro nekontaktní účely se jeví jako nejbezpečnější varianta.

### 3.3.1 Možnosti úpravy šedé vody

Pro úpravu šedé vody byla v sedmdesátých letech poprvé použita metoda mechanické fyzikální filtrace, konkrétně hrubá nebo membránová filtrace, doplněná desinfekcí. V 80. a 90. letech se dostaly do popředí technologie využívající biologického čištění vody a jednoduché separátory založené na fyzikálních procesech v kombinaci s následnou desinfekcí. Konec 90. let patřil vývoji pokročilejších technologií čištění šedých vod, zejména membránových bioreaktorů. [3]

K dosažení doporučených parametrů a kvality bílé vody lze využít různých přístupů, a to [3][35]:

- jednoduchou úpravou (např. mechanické čištění);
- fyzikální úpravou (např. pískový filtr, adsorpce a membrány);
- chemickou úpravou (např. fotokatalýza, elektro-koagulace a koagulace);
- biologickou úpravou (např. biologické provzdušňované filtry, rotující kontaktní bioreaktor a membránový bioreaktor);
- přírodními postupy čištění (např. mokřady, kořenové čistírny, rákosová pole).
- nebo jejich kombinací.

Pro následné využívání přečištěné vody je však doporučováno doplnění těchto přístupů následnou desinfekcí.

Existuje však i přístup k využití šedé vody bez úpravy, tzv. přímé použití. Tato metoda je využívána spíše ojediněle a zejména u větších komerčních aplikací. Místní předpisy mohou na tento způsob znovuvyužití šedé vody nahlížet různě, a to zejména s ohledem na jejich znečištění. Přímý přístup vyžaduje využití šedé vody do 24 hodin z důvodu bakteriálního růstu a je využíván zejména k zavlažování. V zahraničí je tento přístup nazýván Laundry-to-landscape, tedy vody z praní (přímo) do krajiny. [79]

#### *Systémy s jednoduchou úpravou*

Úprava šedé vody pomocí systémů s jednoduchou úpravou je založena na technologii sedimentace, hrubé filtrace (tzv. coarse filtration) a jejich kombinací. Tato metoda je vhodná pro málo znečištěnou šedou vodu. Do procesu čištění je v rámci doúpravy vhodné zařadit desinfekci. Je-li dezinfekce správně navržena a provozována, je zaručena vysoká účinnost odstranění mikrobiologického znečištění.[3]

Tato metoda čištění je výhodná z důvodu nízkých provozních nákladů a jednoduchosti čistícího procesu. Avšak vzhledem k základním čistícím procesům může chlór a ozón tvořit toxické vedlejší produkty. Ozón a ultrafialové záření mohou být navíc nepříznivě ovlivněny obsahem organických složek šedé vody, proto mohou být systémy s jednoduchou úpravou málo účinné.[3]

#### *Systém s chemickou úpravou*

Systémy čištění šedé vody s chemickou úpravou jsou založeny na principu koagulace, který je popsán v kapitole 3.1.1 Možnosti úpravy splaškové vody.

Metoda je vysoce účinná a vhodná pro aplikaci např. pro čištění šedých vod z prádelen. Jejimi hlavními nevýhodami jsou však vysoké investiční a provozní náklady. [3]

### ***Systém s fyzikální úpravou***

Systém čištění s fyzikální úpravou je uveden v kapitole 3.1.1 Možnosti úpravy splaškové vody. Princip těchto technologických postupů je pro čištění šedé a splaškové odpadní vody stejný.

### ***Systém s biologickou úpravou***

Systém čištění s biologickou úpravou je uveden v kapitole 3.1.1 Možnosti úpravy splaškové vody. Princip těchto technologických postupů je pro čištění šedé a splaškové odpadní vody stejný.

Systémy využití šedých vod s biologickou úpravou čištění šedé vody dosahují vysokého stupně odstranění organických látek. Pro hygienické zabezpečení systému využití šedých vod je důležité čisticí proces doplnit o UV lampu, chlorační nebo ozonizační jednotku. V případě doplnění systému využití šedých vod biologického čištění o membránovou technologii je dosaženo takového odstranění mikroorganismů, že by teoreticky nebylo už potřeba systém dál hygienicky zabezpečovat. [3]

Nejatraktivnější přístup pro čištění šedých vod v místě jejich vzniku je fyzikální úprava, konkrétně využití membránového procesu, zejména kvůli kvalitě bílé vody, nízkým prostorovým nárokům a snadné obsluze.

## **3.3.2 Membránové technologie**

Membránové procesy čištění vod jsou založené na principu polopropustnosti, tzv. semipermeability. Zařazením membrány do prostředí vzniká bariéra separující nečistoty, nazývané retentát, a propouštějící přečištěnou vodu, tzv. permeát [40]. Proces úpravy vody pomocí membrán lze provést jako jednoduchou fyzikální filtraci nebo filtraci s biologickou úpravou [3].

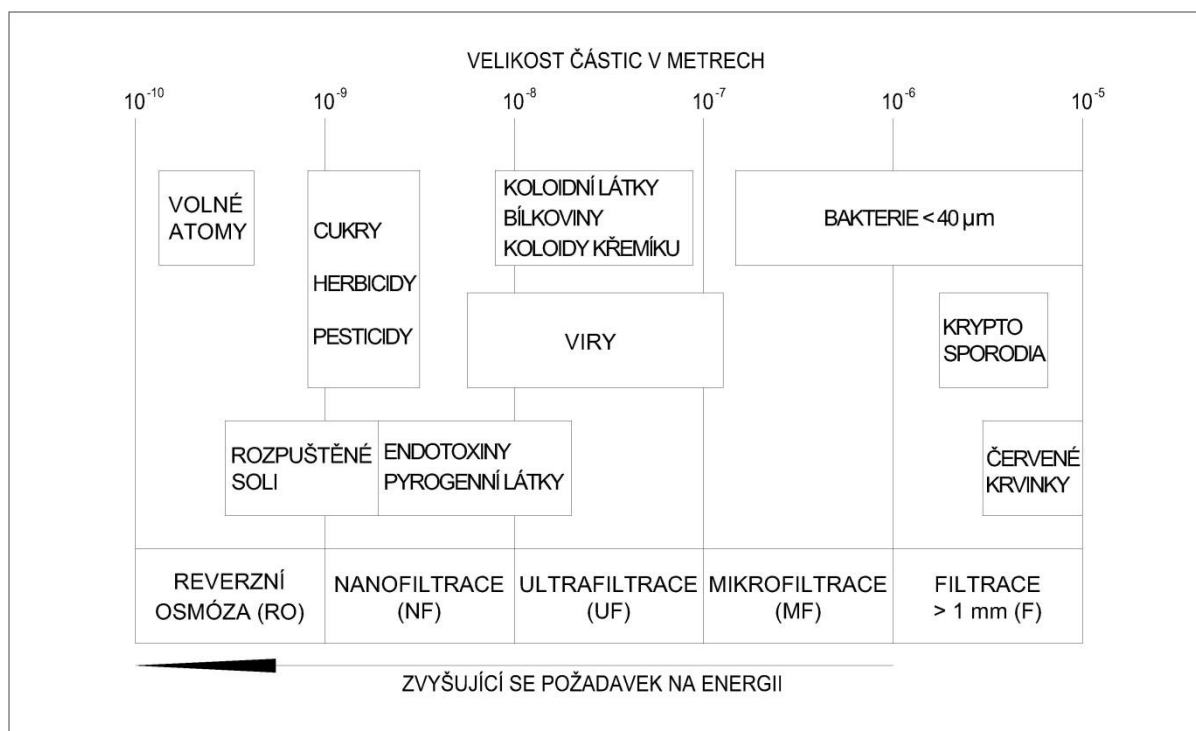
Membránovou filtraci je vhodné doplnit předřazeným mechanickým předčištěním pro zvýšení její účinnosti a životnosti. Jako mechanické předčištění lze zvolit např. filtraci s pískovou náplní nebo granulovaným aktivním uhlím [3].

V případě využití permeátu jako zdroj šedé vody je důležité zařadit do čisticího procesu stupeň hygienického zabezpečení, a to ve formě UV lampy, chlorační nebo ozonizační jednotky [40][3].

Membránové technologie lze rozdělit do kategorií dle velikosti pórů, respektive na základě minimální velikosti částic, které jsou schopny zachytit na povrchu membrány. Membránové procesy tedy dělíme, s přihlédnutím k obrázku 3.2, následovně [92]:

- mikrofiltrace (MF);
- ultrafiltrace (UF);
- nanofiltrace (NF);
- reverzní osmóza (RO).

Obrázek 3.2 také zobrazuje příklady částic, popř. zástupce organismů, které je membrána schopna separovat.



Obrázek 3.2 Typy membránové filtrace [3][92]

### ***MBR Technologie***

Systémy kombinující membránovou filtraci a biologickou úpravu šedé vody jsou nazývány membránovými bioreaktory (MBR – Membrane Bio-Reaktor). MBR systémy jsou tvořeny biologickým ošetřením odpadní vody s podmíněným růstem, obvykle aktivovaného kalu, doplněným o předúpravu v podobě mechanického předčištění. Pro mechanické předčištění jsou běžně do systému zařazovány hrubé česle nebo síta v místě nátoky do sběrné nádrže. [41]

Po hrubém mechanickém předčištění a biologickém ošetření je médium přiváděno na membránu, kde jsou odděleny pevné složky (retentát) od permeátu. Odpadní voda je tedy v tomto místě zbavena částic, které jsou větší než póry membrány. Zařazením membrány do aktivačního procesu je membránou plně nahrazena dosazovací nádrž, čímž odpadá nepříznivý vliv na kvalitu odtoku způsobený nedostatečnými sedimentačními vlastnostmi sekundárního kalu. Takto získaný permeát je vysoce kvalitním produktem čištění odpadních vod, jehož teplota či biologické a chemické vlastnosti zůstaly při separaci na membráně nezměněny. [3][41]

Membránové systémy, jako součást MBR technologie, lze rozdělit z hlediska konfigurace průtoku membránou do dvou skupin:

- podtlakové (vakuové) nebo gravitačně řízené;
- tlakové.

Modul podtlakového membránového systému je obvykle ponořen přímo do aktivační nádrže. Pod membránový modul je přiváděn provozní vzduch zajišťující jemnobublinnou aeraci. Usazené látky jsou v těchto modulech odstraňovány přiváděným pracím vzduchem společně s provozním vzduchem, a to v podobě hrubobublinných elementů. [3]

V případě tlakového nátoky filtrovaného média na membránu je membrána mimo prostor aktivační nádrže. Aktivace probíhá samostatně v aktivační nádrži, odkud je aktivační směs přecerpávána na externě umístěnou membránu. [3]

## ***Materiál membrán***

Při výběru membrány je potřeba zohlednit materiál, z něhož je membrána vyrobena. Také on má značný vliv na separační proces v systémech MBR. Dle materiálu jejich vláken je tedy možné rozdělit membrány na [40]:

- anorganické (keramické, uhlíkové);
- polymerní;
- a kompozitní.

Keramické membrány jsou charakterizovány dobrým filtračním výkonem a to zejména kvůli vysoké chemické odolnosti, inertnosti (neaktivitě) a snadnému čištění. Tyto vlastnosti zaručují nízké provozní náklady a jednoduchou údržbu. Jejich odolnost vůči znečištění je zároveň založena na hydrofilních vlastnostech. Hlavní nevýhody aplikace keramických membrán spočívají v jejich vysokých výrobních nákladech a křehké povaze. Z ekonomických důvodů prakticky znemožňují využití keramických membrán v systémech MBR. [40]

Nejpoužívanějšími membránami jsou polymerní membrány. Polymerní membrány mají dobrou fyzikální a chemickou odolnost, přestože jsou převážně hydrofobní. Vzhledem k jejich hydrofobní povaze mají tendenci jednodušeji se zanášet. Hlavní výhodou polymerních membrán je snadná výroba pórů. Tyto membrány jsou vyráběny z polyvinylchloridu (PVC), polyethylenu (PE), polyvinylbutyralu (PVB), polyethersulfanu (PES), polysulfanu (PS), polyakrylonitrilu (PAN), acetátu celulózy (PTFE) a podobně. [40]

Kompozitní membrány jsou membrány vyrobené kombinací dvou a více materiálů na základě částic znečištění filtrovaného média. Tyto membrány tvoří vrstvy, přičemž hydrofobní vrstvy jsou pokryty hydrofilními. [40]

## ***Konstrukce a dispozice membrán***

Existuje několik typů membránových modulů, avšak pro čištění odpadních vod se využívají zejména membrány deskové (flat plate membrane) a membrány z dutých vláken (hollow fibre membrane). Membrány z dutých vláken jsou tvořeny dlouhými a velmi úzkými vlákny, která mohou mít různá uspořádání. Tyto membrány fungují na principu „zevnitř ven“ nebo „zvenčí dovnitř“, dle uspořádání nátoky. Princip „zevnitř ven“ je založen na vstupu filtrátu do středu vlákna a radiální filtraci přes stěnu vlákna. Při opačném provozu vstupuje voda dovnitř vláken z vnějšku přes filtrační stěnu, vlákno je poté odváděn přefiltrovaný permeát. Deskové membrány, oproti membránám z dutých vláken, fungují na jednoduchém principu prostupu filtrátu skrze jednotnou filtrační bariéru. [3][40]

Membrány lze také rozlišit dle směru nátoky přiváděného filtrovaného média do dvou skupin:

- membrány s klasickou filtrací;
- membrány s příčným tokem. [3]

Membrány s klasickou (přímou) filtrací jsou membrány, na jejichž povrch je filtrované médium přiváděné kolmo. V zahraniční literatuře je tento způsob nátoky na membránu označován jako „dead – end filtration“ nebo také „direct filtration“. Usazovaný retentát je na těchto membránách zadržován hydraulickými silami působícími kolmo k membráně a vytváří tzv. cake layer, tedy filtrační koláč. [3][40]

Většina systémů MF a UF s dutými vlákny pracuje na principu klasické filtrace. Typicky jsou usazené pevné látky ze systémů odstraňovány zpětným proplachem. V některých případech

jsou však látky usazovány až do fáze, kdy je dosaženo tak nepříznivé redukce průtoku membránou, že je nutné membránu nahradit. [3]

Existují také systémy využívající takzvaný „backpulse“, tedy krátký interval reverzního toku. Usazené látky jsou v těchto systémech uvolňovány z povrchu membrány například provzdušněním nebo přidáním malých dávek oxidantů. Tyto uvolněné pevné látky však nejsou odstraňovány ze systému. Pevné látky znovu suspendují a tím se udržují koncentrovány v blízkosti membrány, čímž zabraňují většímu potenciálu průchodu patogenů a kontaminaci filtrátu. [3]

Membrány s filtrací s příčným tokem, na jejichž povrch je médium přiváděno tangenciálně, jsou výhodné z hlediska snižování tloušťky vzniklého filtračního koláče. Takto prováděná filtrace je v zahraniční literatuře označována jako „cross – flow filtration“. [3][40]

### ***Využití MBR technologie pro čištění šedých vod***

Existují různé typy MBR systémů kombinující membránovou filtraci a biologickou úpravu šedé vody. Vzhledem k účelu využití přečištěných šedých vod je často volen typ membránového procesu filtrace. Pro požadované konečné užití a kvalitu permeátu jako vod bílých s využitím v domácnostech pro splachování, úklid či zavlažování jsou typicky používány procesy mikrofiltrace (MF) a ultrafiltrace (UF). Membrány zajišťující nanofiltraci (NF) a reverzní osmózu (RO) se používají pro pokročilé aplikace nebo pro následnou úpravu odpadních vod, kde je nezbytný vysoce kvalitní permeát. NF a RO jsou využívány např. v procesech nepřímého znovuvyužití pitné vody (injektáž podzemní vody) nebo pro průmyslovou aplikaci. V následujících tabulkách (tabulka 3.1 a 3.2) jsou zobrazeny základní charakteristiky jednotlivých membránových procesů a látky, které jsou procesy schopny odstranit. [40][42]

**Tabulka 3.1 Základní charakteristiky jednotlivých membránových procesů [40][42]**

<b>Membránový proces</b>	<b>MF</b>	<b>UF</b>	<b>NF</b>	<b>RO</b>
Velikost částic [ $\mu\text{m}$ ]	10 - 0.1	0.1 - 0.01	0.01 - 0.001	< 0.001
Provozní tlak [Mpa]	0.1 - 0.4	0.2 - 0.7	0.6 - 1.0	1.0 - 8.0

**Tabulka 3.2 Odstraňované látky v jednotlivých membránových procesech [38][40]**

<b>Membránový proces</b>	<b>MF</b>	<b>UF</b>	<b>NF</b>	<b>RO</b>
Suspendované látky	*	*	*	*
Prvoci	*	*	*	*
Bakterie	*	*	*	*
Viry	**	*	*	*
Železo, mangan	***	***	*	*
Huminové látky	-	**	*	*
CHSK <sub>Cr</sub>	-	-	**	*
Syntetické organické látky (pesticidy)	-	-	**	*

Membránový proces	MF	UF	NF	RO
Vápník, hořčík	-	-	**	*
Nutrienty	-	-	-	*

Pozn:

\*) celkové odstranění

\*\*\*) částečné odstranění

\*\*\*\*) odstranění v závislosti na chemické formě

Procesy membránové úpravy poskytují významnou výhodu v aplikacích pro opětovné použití vody díky své prokázané schopnosti poskytovat spolehlivou, předvídatelnou a konzistentní kvalitu vody [36].

### 3.3.3 Návrh systému čištění šedé vody

Pro návrh čištění šedé vody je nutno zohlednit potřebné množství bílé vody. Optimalizací bilance produkované šedé a potřebné bílé vody lze zamezit neekonomickému vypouštění přečištěné vody do kanalizace nebo nutnosti doplnění systému o vodu pitnou z distribuční vodovodní sítě.

Také místo původu šedé vody a s ním spojená různá náročnost čistících procesů může ovlivnit ekonomiku systému. V případě využívání šedých vod z kuchyňských dřezů a myček jsou na systémy čištění přiváděny šedé vody s vysokým obsahem BSK<sub>5</sub>, plovoucích látek, lipidů a tenzidů. Odstranění znečištění tohoto typu je ekonomicky nákladné.[3]

Zohledněním výše uvedeného lze říci, že pro systémy znovuvyužití šedých vod je vhodné čistit šedé vody z koupelen a praní. Pro kapacitní návrh systému je klíčové množství produkované šedé vody. Množství potřebné bílé vody lze stanovit dle ČSN 75 6101 [18].

## 3.4 LEGISLATIVA A PŘEDPISY

V České republice v současné době zatím neexistuje platný zákon, vyhláška ani předpis, o který by se opětovné využívání odpadní vody mohlo opřít. V přípravě je norma ČSN 75 6780 *Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích*.

Naopak v zahraničí existují platné normy zabývající se tematikou znovuvyužití šedé vody. Příslušné normy [37][39]:

- Evropská norma *EN 16941-2 On-site non-potable water systems –Part 2: Systems for the use of treated greywater* [43];
- Britská norma *BS 8525-1:2010 Greywater systems: Code of practice* [44];
- Britská norma *BS 8525-2:2011 Greywater systems: Domestic greywater treatment, equipment, requirements and test methods* [45].

V zahraniční literatuře se mimo tyto předpisy lze setkat s řadou příruček a doporučení k využívání šedých vod, a to zejména s ohledem na kvalitu využívané bílé vody. Následující tabulka 3.3 uvádí srovnání doporučených hodnot znečištění vyskytujících se v bílé vodě pro splachování toalet ve vybraných zemích a Světovou zdravotnickou organizací (WHO).

**Tabulka 3.3 Srovnání doporučené kvality bílé vody ve vybraných zemích [44][45][46][47][48][47]**

Ukazatel	Měrná jednotka	UK	Německo	Kanada	USA	WHO
TSS	mg·l <sup>-1</sup>	-	-	≤10.0 <sup>**</sup>	-	≤10.0
BSK <sub>5</sub>	mg·l <sup>-1</sup>	-	<5.0 <sup>***</sup>	≤10.0 <sup>**</sup>	≤10.0	≤10.0
CHSK <sub>Cr</sub>	mg·l <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-
N <sub>NH4+</sub>	mg·l <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-
P	mg·l <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-
pH	[-]	5.0-9.5	-	-	6.0 - 9.0	-
Zákal	NTU	<10.0	-	≤2.0 <sup>*</sup>	≤2.0	-
Celk. koliformy	KTJ.100ml <sup>-1</sup>	1000	-	-	-	-
E-coli	KTJ.100ml <sup>-1</sup>	250	<100	≤200	-	-
Enterokoky	KTJ.100ml <sup>-1</sup>	100	<1	-	-	-

Pozn:

\*) ≤2.0 mg·l<sup>-1</sup> (medián); <5.0 mg·l<sup>-1</sup> (max)

\*\*\*) ≤10.0 mg·l<sup>-1</sup> (medián); <20.0 mg·l<sup>-1</sup> (max)

\*\*\*\*) <5.0 mg·l<sup>-1</sup> je hodnota pro sedmidenní biologickou spotřebu kyslíku BSK<sub>7</sub>, což koresponduje s hodnotou 4.27 mg·l<sup>-1</sup> pro BOD<sub>5</sub> [93]

## 4 ZÍSKÁVÁNÍ TEPELNÉ ENERGIE

Kromě uplatnění odpadních vod jako alternativního zdroje vody lze jejich znovuvyužití pojmut i z energetického hlediska. V českých domácnostech je použito na ohřev vody přibližně 20 % celkové roční spotřeby energie, 63 % energie patří vytápění a zbylých 17 % je spotřeba elektřiny na osvětlení, vaření, praní a ostatní potřeby [94]. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1.2 Šedá odpadní voda, teplota šedé vody se pohybuje v rozmezí 18 – 38 °C, a právě díky své vysoké tepelné kapacitě je vhodná pro předeřtání studené vody, rekuperaci tepla, a tím snížení množství potřebné energie k ohřevu vody.

### 4.1 REKUPERACE TEPLA Z ODPADNÍ VODY

Rekuperace tepla, tedy zpětné získávání tepla, je v posledních dvou desetiletích využívaná zejména jako nástroj pro snížení potřebné energie při vytápění. Budovy provedené nebo opravené dle pasivního standardu jsou schopny díky své precizní tepelné obálce a technologii rekuperace tepla při větrání eliminovat náklady na vytápění. Problematika získávání tepla je tedy v poslední době zaměřena na potřebu energie pro ohřev vody. [14]

Teplu získané z šedé vody můžeme rozdělit dle místa spotřeby energie na ohřev:

- provozní teplé vody;
- teplé užitkové vody (dále TUV);
- vytápění objektu [17].

Dle evropského profilu odběru teplé vody a dalších měření je většina energie pro ohřev vody v domácnostech potřeba pro sprchování nebo koupání. Takto vzniklé odpadní vody dosahují teploty až 38°C [3]. Odvedením odpadních vod do stokového systému je odvedena a ztracena i značná část tepelné energie. Rekuperace tepla nabízí tuto ztracenou energii využít k současnému předeřtání studené vody a tak prakticky snížit potřebu teplé vody v objektu.

#### 4.1.1 Základní principy zpětného získávání tepla z odpadní vody

Termín zpětného získávání tepla z odpadní vody (ZZTOV) je v zahraniční literatuře označován jako „drain water heat recovery“. Technologií pro ZZTOV v domácnostech jsou tepelné výměníky typu voda – voda, pro které je typická okamžitá předávka tepelné energie z odpadní vody přiváděnému médiu, užitkové nebo pitné vodě. Takhle předeřtanou vodu lze přivádět rovnou do sprchové hadice nebo ke zdroji tepla teplé užitkové vody (TUV). [14] Dle normy ČSN EN 1717 *Ochrana proti znečištění pitné vody ve vnitřních vodovodech a všeobecné požadavky na zařízení na ochranu proti znečištění zpětným průtokem* [15] musí být teplosměnná plocha zařízení provedena jako dvouplášťová, čímž nedochází k žádnému přenosu hmoty. Dvouplášťová konstrukce zajistí ochranu pitné vody před znečištěním. [14]

Zařízení jsou tedy vhodná pro sprchování, ale neužívají výhod při koupelích ve vaně, kdy napouštění a vypouštění nenastává současně. Tato technologie pracuje na principu gravitace a přetlaku v systému vodovodního řádu. Nejsou tedy potřeba žádné pohyblivé části, jako jsou čerpadla, nebo směšovací ventily apod. Tyto systémy vynikají nízkou údržbou, malými požadavky na prostor. Zařízení zpravidla nemají zásobník šedých vod z důvodu vzniku tepelných ztrát při skladování tepla, rizika vzniku bakterií Legionelly a nižších účinností rekuperace.[14]

Výhodou systému ZZTOV je, že nespoteřovává žádné další pomocné energie.

Systémy rekuperace tepla z odpadní vody lze rozdělit dle umístění výměníku a rozsáhlosti zásobování teplou vodou do dvou základních skupin systémů, konkrétně jako:

- centralizované systémy;
- decentralizované systémy [16].

### ***Centralizované systémy ZZTOV***

Centralizované systémy ZZTOV fungují na principu umístění výměníku tepla do nádrže s odpadní vodou odebranou ze stokového systému splaškových odpadních vod (také součástí sewer mining – viz kapitola 3.1.1) nebo umístění výměníku přímo do stokového systému.

Umístění výměníku tepla přímo do stokového systému je založeno na osazení potrubí se zabudovaným výměníkem tepla. Pro reálné využití je třeba, aby rychlost odpadní vody v potrubí neklesala pod 10 m/s a teplota odpadní vody neklesala pod 10 °C [62]. Odběrem tepla z odpadní vody o teplotě nižší než 10 °C by mohlo narušit průběh denitrifikace na čistírně odpadních vod. [95]

Centralizované systémy se potýkají se ztrátami tepelné energie při dopravě ke spotřebiteli a nutností instalace tepelného čerpadla [16]. Instalace výměníku decentralizované je ekonomicky náročnější a komplikovanější s ohledem na provozovatele stokového systému a také zajištění nutných vlastností odpadních vod na přítoku do čistírny než systém decentralizovaný [17].

### ***Decentralizované systémy ZZTOV***

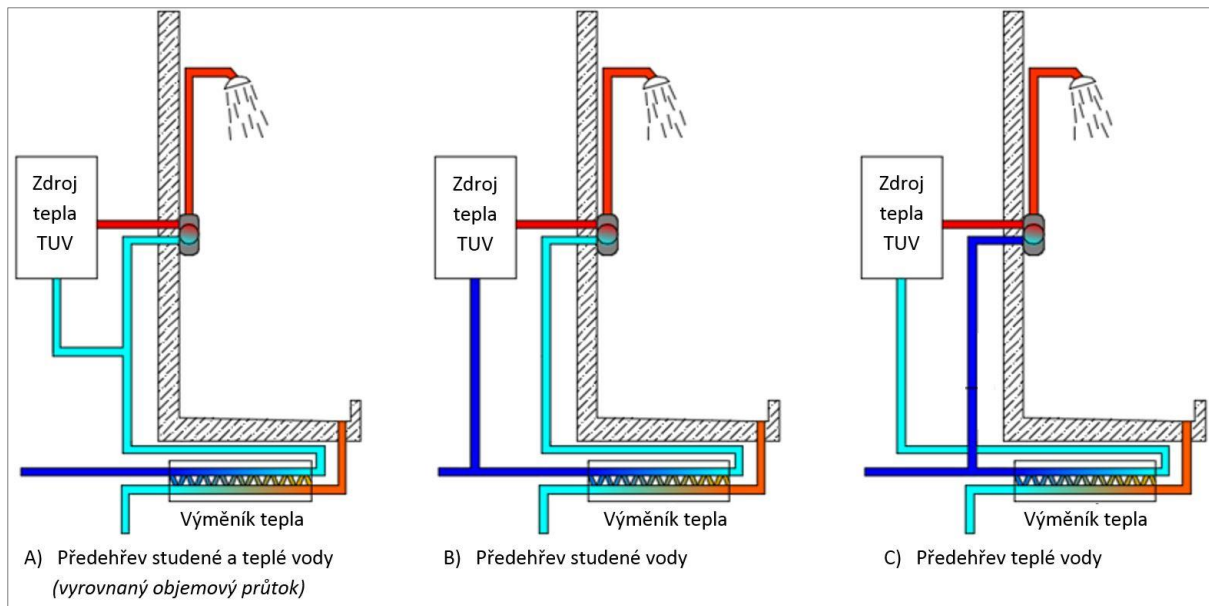
Decentralizované, lokální, systémy ZZTOV využívají teplo z odváděné odpadní vody přímo v místě jejího vzniku, kde je teplo okamžitě předáváno přiváděné vodě určené ke spotřebě, čímž lze znatelně eliminovat ztrátu tepelné energie [17]. Tyto systémy jsou vhodné pro např. rodinné domy.

Zařízení ZZTOV je zapojováno do odpadního potrubí co nejbližší za sprchový sifon, nejlépe v blízkosti směšovací sprchové baterie. Místo klasické pákové nebo kohoutové baterie je doporučováno využití termostatické sprchové baterie obsahující termostatický článek, který automaticky reguluje poměr teplé a studené vody, jejíž teplotní úroveň se po celý proces sprchování dynamicky mění.[14]

Vzhledem k distribučním ztrátám tepla jsou zařízení nejčastěji instalována přímo v koupelně jako horizontální výměníky tepla (pod sprchovou vaničku či vanu do podlahy) nebo jako vertikální výměníky tepla umístěné do instalační šachty. [14]

Z hydraulického hlediska lze zařízení ZZTOV zařadit do systému třemi způsoby přivedení přehřáté vody:

- kombinací zařazení do místa odběru studené vody a ke zdroji teplé užitkové vody (TUV) – přehřev studené a teplé vody (obrázek 4.1.A);
- přímo do místa odběru studené vody – přehřev studené vody (obrázek 4.1.B);
- do zásobníku TUV, kde je dohřívána – přehřev teplé vody (obrázek 4.1.C) [14].



Obrázek 4.1 Způsoby zapojení tepelného výměníku do systému TUV [14]

Kombinovaným zařazením výměníku tepla, předehřev studené a teplé vody, do systémů ZZTOV lze dosáhnout nejvyšší možné účinnosti v případě, že je objemový průtok vyrovnaný. V opačném případě účinnost výměníku citelně klesá a je třeba přiklonit se k některé ze zbylých variant. [14]

#### 4.1.2 Účinnost

Zjednodušená rovnice na výpočet stacionární účinnosti tepelného výměníku pro ZZTOV při zapojení s vyrovnaným objemovým průtokem (varianta A. Předehřev studené a teplé vody) [14][113]:

$$\eta_{stac} = \frac{T_1 - T_0}{T_t - T_0} \quad (4.1)$$

kde  $T_1$  teplota předehřáté vody na výstupu z výměníku [°C];

$T_0$  teplota studené vody na vstupu do výměníku [°C];

$T_t$  teplota odpadní vody na vstupu do výměníku [°C].

Výrobci udávají účinnosti svých výrobků obvykle pro vyrovnaný objemový průtok a za stacionární situace, kdy nastává ustálený stav a  $T_1$  se dále nemění. Stacionární účinnost je vhodná např. pro řízení vzduchotechniky, kde probíhá tepelná výměna v ustáleném stavu. Pro sprchování, které je krátkodobým procesem, je ovšem nutné vzít v potaz vyskytující se tzv. dynamické jevy. [14]

Dynamickými jevy se rozumí např. postupné prohřívání sprchové soustavy, odpar nebo měnící se teplota. Účinnost, která zohledňuje působení těchto okrajových podmínek, je nazývána dynamická. Hodnotu dynamické účinnosti udávají certifikáty vystavované nezávislými certifikačními společnostmi na základě laboratorních měření. Účinnost je měřena pro vyrovnaný průtok, přičemž definice okrajových podmínek pro dynamickou účinnost se u jednotlivých certifikátů liší. [14]

Nejlepší dostupná zařízení na trhu dosahují stacionární účinnosti přes 70 %, která ovšem nekorresponduje úspoře energie. S ohledem na snížení účinnosti sprchovacího cyklu

a dynamice tohoto jevu lze říci, že zařízení se 70% stacionární účinností může uspořit přibližně jednu třetinu energie na přípravu teplé vody. [14]

Z tohoto důvodu značná část výrobců tepelných výměníků využívá podmínek měření dle atestačních norem. Mezi ty nejběžnější patří:

- kanadská norma *CSA B55.1-15*, která udává stacionární účinnost při  $T_0 = 10^\circ\text{C}$ ,  $T_t = 38^\circ\text{C}$  a jmenovitém průtoku  $9,5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ) [55];
- nizozemská normy *NEN7120:2011/C2:2011*, která neudává jako výsledek stacionární účinnost, ale dynamickou účinnost při normovaném, 8 minutovém, sprchovém cyklu (tj. při  $T_t = 40^\circ\text{C}$  a průtoku  $9,2 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ) [56].

### 4.1.3 Tepelné výměníky

Systémy zpětného získávání tepla z odpadní vody lze rozdělit dle polohy tepelných výměníků do dvou skupin [14]:

- vertikální;
- horizontální.

#### *Vertikální systémy*

Svislé systémy zpětného získávání teplé vody jsou založeny na dvouplášťových měděných trubkových výměnících, jejichž středem protéká teplá odpadní voda jako tenký film po stěnách vnitřní trubky. Tento film zajišťuje přenos tepelné energie vnější straně trubky, kterou je protiprouděně přiváděná studená vody do sprchy. [14]

Tyto výměníky je nutné umístit výškově pod sprchovou vaničku. S délkou výměníku tepla stoupá jeho účinnost, ale také prostorové nároky. Na trhu se tyto výměníky vyskytují o délkách 1,6 m a 2,2 m, čímž vzniká nutnost instalace zařízení o patro níže, což může způsobit komplikace při rekonstrukcích, především, bytových domů [14].

#### *Horizontální systémy*

V případě malých prostorových možností lze využít horizontálních systémů ZZTOV. Hlavní výhodou horizontálních výměníků je jejich umístění v rámci jednoho podlaží, a to přímo pod sprchovou vaničku, do podlahy sprchy nebo do sprchové vaničky. Na rozdíl od vertikálních modelů jsou modely horizontálních systémů technicky odlišné. [14]

## 5 STÁVAJÍCÍ OBJEKTY V ČR VYUŽÍVAJÍCÍ REUSE TECHNOLOGIE

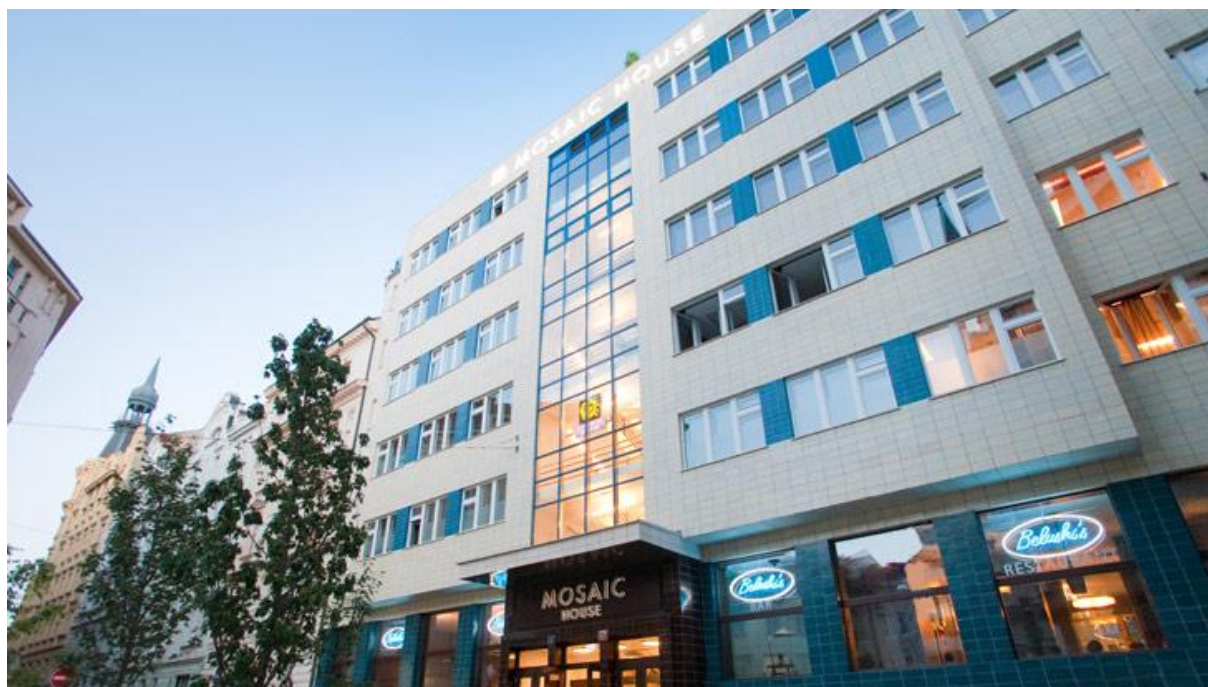
Znovuvyužití odpadní vody v souvislosti s klimatickými změnami jsou v České Republice velmi skloňovanými tématy.[80] Jak již bylo zmíněno v úvodu, technologie pro znovuvyužití odpadní vody jsou v ČR podporovány Státním fondem životního prostředí prostřednictvím dotačního programu Dešťovka [6]. Ministerstvo životního prostředí má prostřednictvím tohoto programu v plánu motivovat obyvatele k hospodárnému nakládání s vodou a ekologickému smýšlení. Dešťovka je vypsána ve třech úrovních:

- zalévání dešťovou vodou (dotace až 55 tisíc korun);
- zalévání a splachování dešťovou vodou (dotace až 65 tisíc korun);
- využití přečištěné šedé odpadní vody pro splachování (dotace až 105 tisíc korun) [6].

Nejen v rámci této propagace existuje v ČR spousta individuálních systémů, kterými se snaží lidé, především na venkově, šetřit a efektivně využívat vodu. V následujících kapitolách budou zmíněny větší instalace systémů znovuvyužití odpadní vody.[80]

### 5.1 HOTEL MOSAIC HOUSE

Pražský hotel Mosaic House (obrázek 5.1) se v roce 2010 stal prvním objektem v ČR a v pořadí druhým objektem na světě, využívající současně recyklaci vody a rekuperaci tepla z šedé odpadní vody. Díky této kombinaci reuse technologií se hotel stal první certifikovanou budovou v České Republice v britské certifikaci BREEAM-In-Use s hodnocením Excellent.[64]



Obrázek 5.1 Hotel Mosaic House v Praze [64]

V objektu je instalován recyklační a rekuperační systém AquaCycle® 4500, který je produktem společnosti PONTOS, dceřiné společnosti firmy Hansgrohe. Systém AquaCycle® 4500 je zařízení k čištění šedých vod z 94 pokojů pomocí mechanicko-biologické technologie.[65] Princip čištění je založen na nárůstu biomasy na molitanové drti

v provzdušňovaných nádržích a následné filtraci.[64] Přečištěné šedé vody jsou v objektu využívány pro splachování toalet nebo jako užitková voda pro úklid. [65]

V rámci první fáze čištění je aplikován i výměník tepla, který z recyklačního procesu získává teplo. Získané teplo je využíváno k předehřevu přírodní studené užitkové vody.[65]

Hotel Mosaic House dále využívá celou řadu aktivních i pasivních opatření pro úsporu vody a energie, jako jsou úsporná světla a zařízení, zateplená okna a fasáda, zpětné získávání tepla z ventilace a chlazení a využívání solární energie prostřednictvím solárních panelů na střeše.[66]

## 5.2 LIPKA – CENTRUM ROZMARÝNEK

Lipka je školské zařízení pro environmentální vzdělávání v Brně, které organizuje výukové programy pro mateřské, základní i střední školy, školy v přírodě, zájmové kroužky a akce pro širokou veřejnost zaměřenou především na rodiny s dětmi. Centrum Rozmarýnek se zabývá tématy ekologie a zdravý životní styl včetně zdravého vaření a bydlení.[80]

Centrum Rozmarýnek má od rekonstrukce provedené v roce 2014 zavedený systém využívání šedých odpadních vod. Šedá voda z umyvadel je svedena do čisticí jednotky AQUALOOP (obrázek 5.2) od firmy ASIO [80], biofiltru, umístěného ve sklepě objektu. Vyčištěná bílá voda je shromažďována v akumulační nádrži a využívána pro splachování toalet. Do akumulační nádrže bílé vody jsou v případě nedostatku zaústěny také dešťové vody. [80]

V případě nadbytku šedé vody je využito bezpečnostního přepadu do zahradní kořenové čistírny. Do jezírka kořenové čistírny jsou svedeny i dešťové vody. [80]



Obrázek 5.2 Čisticí jednotka AQUALOOP firmy Asio v objektu centra Rozmarýnek [82]

### 5.3 OTEVŘENÁ ZAHRADA

Otevřená zahrada Nadace Partnerství v centru Brna je ideální místo pro odpočinek, vzdělání i zábavu. Zahrada nabízí výukový prostor čtyř živelů, ukázky městského hospodaření, kurzy a programy pro školy, prostor pro firemní akce, konference, atp. [83]

Z hlediska tzv. zeleného stavění se řadí mezi energeticky nejúspornější prostory v České Republice a to díky využívání např. rekuperaci vzduchu, chytrých žaluzií, aktivních radiátorů, solárních panelů a v neposlední řadě znovuvyužití odpadní vody.[83]

V rámci znovuvyužití odpadní vody jsou v objektu využívány dešťové a šedé vody pro splachování toalet. Šedé vody jsou čištěné v jezírku (obrázek 5.3), které slouží jako přírodní kořenová čistírna. [83]



Obrázek 5.3 Přírodní kořenová čistírna šedých vod v Otevřené Zahradě [Velikovská]

### 5.4 HOTEL GALANT

Hotel Galant v Mikulově (obrázek 5.4 vpravo) získal roku 2013 Ekologického Oskara za projekt snížení energetické náročnosti. V hotelu je efektivně využíváno nejen solární energie, rekuperace vzduchu atp., ale také odpadní vody jako zdroje a rekuperace tepla vznikajícího při kvašení vína nebo hotelového a wellness provozu. Získané teplo je v hotelu využíváno k ohřevu teplé vody nebo při dalších procesech výroby vína.[85]

Využívání odpadní vody jako zdroje spočívá ve sběru dešťových a šedých vod, jejich čištění pomocí systému AQUALOOP (obrázek 5.4 Obrázek 5.4 vlevo) od firmy ASIO a jejich dalším využití pro splachování toalet. Čistící jednotka je založena na biologickém čištění a filtraci přes membrány.[85][82]



Obrázek 5.4 Čistící jednotka šedých a dešťových vod firmy ASIO (vlevo) [84],  
Hotel Galant v Mikulově (vpravo)[86]

## 5.5 BOTANICA K

Botanica K v Praze (obrázek 5.5) je prvním bytovým domem v České Republice využívající systém pro hospodaření s šedou vodou. Celý systém spočívá ve sběru šedé vody z umyvadel, van a sprch, které jsou po vyčištění využívány pro splachování toalet. V případě nedostatku šedé vody je systém doplněn zachycenou dešťovou vodou nebo pitnou vodou. Díky tomuto řešení bytová novostavba uspoří až 6 000 litrů pitné vody denně.[80][87]

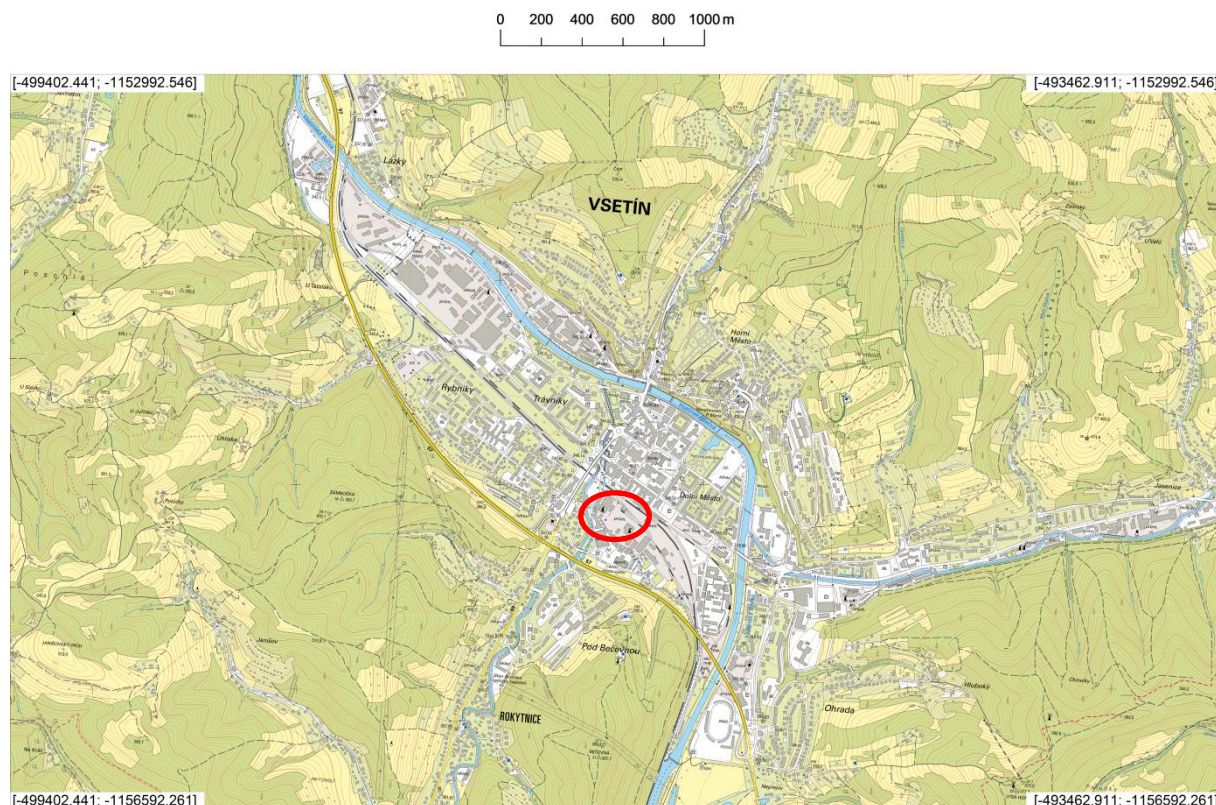


Obrázek 5.5 Bytový dům Botanica K společnosti SKANSKA v Praze [87]

Systém čištění šedé vody je založen na filtraci, odmaštění, sedimentaci a desinfekci. U domu je navíc umístěna akumulační nádrž pro zachycování srážkových vod, které mohou být dále využity pro zalévání zeleně v okolí domu. Projekt Botanica 1,2 získal BREEAM Interim certifikát a pro schéma "International New Construction 2013 – Residential" v úrovni Very good. [87]

## 6 STUDIE ZNOVUVYUŽITÍ ODPADNÍ VODY NA OBYTNÉM SOUBORU

Praktická část diplomové práce je zaměřena na aplikaci poznatků z rešeršní části na nově navržený obytný soubor ve městě Vsetín. Obrázek 6.1 znázorňuje zájmové území navrženého obytného souboru.



Obrázek 6.1 Zájmové území navrženého obytného souboru (červeně znázorněno) [96]

Předmětem studie znovuvyužití odpadní vody je návrh technologie čištění šedých odpadních vod z koupelen a praček jednotlivých bytových jednotek, jejich další využití pro splachování toalet a osazení výměníků tepla z odpadní vody pro předehřev pitné vody využívané v koupelnách.

Předpokladem studie je využití technologie se záměrem nejen ekonomické, ale i ekologické úspory. Město Vsetín má zavedený jednotný kanalizační systém odvádějící splaškové a dešťové odpadní vody společně na čistírnu odpadních vod. Dimenze vsetínského kanalizačního systému se však s rostoucí aglomerací od doby výstavby blíží ke svému kapacitnímu limitu. Znovuvyužitím šedé vody lze částečně eliminovat množství vypouštěné odpadní vody do veřejného kanalizačního systému.

### 6.1 STANOVENÍ EKVIVALENTNÍCH OBYVATEL

Navržený obytný soubor obsahuje 21 bytových domů s celkem 270 bytovými jednotkami. Schéma obytného souboru je znázorněno na obrázku 6.2. Jednotlivé bytové jednotky byly na základě výkresových podkladů rozpočítány dle typologie 1+1, 1+kk, 2+kk, 3+kk, 4+kk a 5+1 a rozřizeny dle bytových domů.

Tabulka 6.1 znázorňuje vzorovou tabulku podrobného rozdělení typů bytových jednotek pro bytový dům BD A1a dle podlaží. Tabulky sumarizace bytových jednotek pro všechny bytové domy jsou obsaženy v příloze č. 1.



**Obrázek 6.2 Schéma obytného souboru**

Pozn.: BD = bytový dům; modré BD = blok sever; fialové BD = blok jih; růžová šrafa = komunikace; žlutá barva = parkovací plochy; zelená barva = zelené plochy, stromy a keře.

**Tabulka 6.1 Vzorová tabulka sumarizace bytových jednotek - bytový dům BD A1a**

Označení bytového domu:		BD A1a				
Počet bytových jednotek dle typu a podlaží:						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1		2	2	2		
1+kk		2	2	2		
2+kk		2	2	2		
3+kk					2	
4+kk						
počet bytů	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	
Celkem	<b>20</b>					

Pro stanovení osídlení a počtu ekvivalentních obyvatel bytového souboru jsou jednotlivým typům bytů přiřazeny počty obyvatel na bytovou jednotku, viz tabulka 6.2. Pro pracovní účely a etapizaci stavby je bytový soubor rozdělen na tzv. blok sever a blok jih. Tabulka 6.3 rozděluje bytový soubor na tyto dva bloky dle názvu bytových domů a zároveň uvádí počet obyvatel, ozn. PO, v jednotlivých bytových domech, ozn. BD.

**Tabulka 6.2 Počet obyvatel v jednotlivých typech bytových jednotek**

Typ bytové jednotky	Počet obyvatel v bytové jednotce
1+1	1.5
1+kk	1.5
2+kk	2
3+kk	3
4+kk	4
5+1	4

**Tabulka 6.3 Rozdělení obytného souboru na blok sever a blok jih, včetně obsazenosti bytů.**

blok	BD	PBJ	PO	PO
sever	BD A1a	20	36	419.5
	BD A1b	20	36	
	BD A1c	20	36	
	PD A2	33	49.5	
	PD A3	36	54	
	BD B1	14	37.5	
	BD B2	14	37.5	
	BD C1	10	28	
	BD C2	10	28	
	BD C3	10	28	
	BD C4	10	28	
	BD E1	6	21	
jih	BD C5	7	24	216
	BD C6	7	24	
	BD C7	7	24	
	BD C8	7	24	
	BD C9	7	24	
	BD D1	20	54	
	BD F1	4	14	
	BD F2	4	14	
	BD F3	4	14	
Obytný soubor	Celkem	270	635.5	635.5

Pozn.: BD = bytový dům; PBJ = počet bytových jednotek; PO = počet obyvatel.

## 6.2 ZNOVUVYUŽITÍ ŠEDÉ ODPADNÍ VODY JAKO ZDROJE VODY

Vlastní návrh systému využívání šedé odpadní vody jako alternativního zdroje zahrnuje zařazení čistící jednotky šedých vod (ČJŠV) do procesu odkanalizování objektu, na kterou budou odváděny šedé odpadní vody z koupelen, umyvadel a praček. Čistící jednotka šedých odpadních vod bude umístěna v technické místnosti bloku sever obytného souboru, v BD A1b.

Šedé vody produkované v bloku sever obytného souboru budou svedeny do šesti čerpacích stanic šedé vody s havarijním bezpečnostním přepadem do splaškových kanalizačních přípojek, odkud budou čerpány do ČJŠV. ČJŠV je navržena jako akumulární nádrž na šedou vodu, v níž budou umístěny podtlakové moduly MBR technologie (membrane bio-reactor) založené na fyzikální filtraci odpadních vod. MBR moduly jsou složeny z polymerních membrán umožňující ultrafiltraci, tj. schopnost zachytit částice o velikosti 0.1 - 0.01  $\mu\text{m}$ . Ultrafiltrací jsou z vody odstraňovány suspendované látky, mýdla a saponáty, viry a bakterie (koliformní bakterie, Escherichia Coli, aj.).

ČJŠV bude předřazeno mikrosíta pro zachycení větších nečistot na vstupu. Shrabky z mikrosíta budou umístovány do plastové popelnice. Na výstupu přečištěné vody (bílá voda) bude zařazena UV lampa pro doúpravu a desinfekci bílé vody. Takto upravená bílá voda bude akumulována a dále rozvedena do jednotlivých bytových jednotek, kde bude využita jen pro splachování toalet. Přečištěná bílá voda bude rozvedena do jednotlivých bytů pro znovuvyužití při splachování toalet. V rámci bloku sever bude bílá voda dodávána do bytů v rámci vnitřních rozvodů, do bloku jih bude bílá voda čerpána pomocí výtlačku „BV“ PE 100 63 x 5,8 mm o celkové délce 16,5 m, odkud bude dále dodávána do bytů v rámci vnitřních rozvodů.

### 6.2.1 Stanovení potřeby pitné vody

Pro stanovení potřeby pitné vody byly použity následující vztahy [63]:

$$Q_p = q_{spec} \times PO \quad (6.1)$$

$$Q_m = Q_p \times k_d \quad (6.2)$$

$$Q_h = Q_m \times k_h \quad (6.3)$$

kde:

$Q_p$	průměrná denní potřeba vody [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ];
$q_{spec}$	specifická potřeba vody [ $\text{l} \cdot \text{osoba}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$ ];
$PO$	počet zásobovaných obyvatel [-];
$Q_d$	maximální denní potřeba vody [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ];
$k_d$	koeficient denní nerovnoměrnosti [-]
$Q_h$	maximální hodinová potřeba vody [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ];
$k_h$	koeficient hodinové nerovnoměrnosti [-].

Pro potřeby výpočtu byla zvolena hodnota specifické potřeby vody na základě občanské vybavenosti spotřebiště  $q_{spec}=120 \text{ l} \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$ . Koeficient denní nerovnoměrnosti byl stanoven na základě osídlení spotřebiště spadající do kategorie 500 – 2000 obyvatel  $k_d = 1,35$ . Koeficient hodinové nerovnoměrnosti  $k_h = 2,00$  byl vybrán z empiricky

stanovených hodnot z intervalu 1,8 – 2,0, přičemž vyšší hodnoty jsou doporučeny pro spotřebiště sídlištního charakteru.

Následující tabulka 6.4 znázorňuje vypočtené hodnoty potřeby vody  $Q_p$ ,  $Q_d$ ,  $Q_h$  pro jednotlivé bytové domy bloku sever. Tabulka 6.5 znázorňuje vypočtené hodnoty potřeby vody  $Q_p$ ,  $Q_d$ ,  $Q_h$  pro jednotlivé bytové domy bloku jih.

**Tabulka 6.4 Potřeba vody pro bytové domy bloku sever**

blok	BD	PBJ	PO	$Q_p$	$Q_p$	$Q_d$	$Q_h$
				$l.den^{-1}$	$m^3.h^{-1}$	$m^3.h^{-1}$	$m^3.h^{-1}$
sever	BD A1a	20	36.0	4 320	0.180	0.243	0.486
	BD A1b	20	36.0	4 320	0.180	0.243	0.486
	BD A1c	20	36.0	4 320	0.180	0.243	0.486
	PD A2	33	49.5	5 940	0.248	0.334	0.668
	PD A3	36	54.0	6 480	0.270	0.365	0.729
	BD B1	14	37.5	4 500	0.188	0.253	0.506
	BD B2	14	37.5	4 500	0.188	0.253	0.506
	BD C1	10	28.0	3 360	0.140	0.189	0.378
	BD C2	10	28.0	3 360	0.140	0.189	0.378
	BD C3	10	28.0	3 360	0.140	0.189	0.378
	BD C4	10	28.0	3 360	0.140	0.189	0.378
	BD E1	6	21.0	2 520	0.105	0.142	0.284
	celkem	203	419.5	50 340	2.098	2.832	5.663

Pozn.: BD = bytový dům; PBJ = počet bytových jednotek; PO = počet obyvatel.

**Tabulka 6.5 Potřeba vody pro bytové domy bloku jih**

blok	BD	PBJ	PO	$Q_p$	$Q_p$	$Q_d$	$Q_h$
				$l.den^{-1}$	$m^3.h^{-1}$	$m^3.h^{-1}$	$m^3.h^{-1}$
jih	BD C5	7	24.0	2 880	0.120	0.162	0.324
	BD C6	7	24.0	2 880	0.120	0.162	0.324
	BD C7	7	24.0	2 880	0.120	0.162	0.324
	BD C8	7	24.0	2 880	0.120	0.162	0.324
	BD C9	7	24.0	2 880	0.120	0.162	0.324
	BD D1	20	54.0	6 480	0.270	0.365	0.729
	BD F1	4	14.0	1 680	0.070	0.095	0.189
	BD F2	4	14.0	1 680	0.070	0.095	0.189
	BD F3	4	14.0	1 680	0.070	0.095	0.189
	celkem	67	216	25 920	1.080	1.458	2.916

Pozn.: BD = bytový dům; PBJ = počet bytových jednotek; PO = počet obyvatel.

Pro celý obytný soubor činí průměrná denní potřeba vody  $76\,260\text{ l.den}^{-1}$ .

## 6.2.2 Stanovení produkce šedé vody a potřeby bílé vody

Pro stanovení produkce šedé vody bylo využito rozdělení splaškové vody v domácnosti zmíněné v kapitole 2.1. Odpadní vodu z domácností tvoří 70 % šedých odpadních vod a 30 % černých odpadních vod. Pro návrh znovuvyužití šedé vody bude však využito pouze 64 % celkové produkce odpadních vod v domácnosti, po vyřazení odpadních vod použitých pro mytí nádobí (6 %).

$$Q_{prod,šV} = 0,64 \times Q_p \quad (6.4)$$

$$Q_{p,BV} = 0,30 \times Q_p \quad (6.5)$$

Tabulka 6.6 Produkce šedých odpadních vod a potřeba bílé vody

blok	BD	$Q_p$	$Q_{prod,šV}$	$Q_{p,BV}$
		$\text{l.den}^{-1}$	$\text{l.den}^{-1}$	$\text{l.den}^{-1}$
sever	BD A1a	4 320	2764.8	1296
	BD A1b	4 320	2764.8	1296
	BD A1c	4 320	2764.8	1296
	PD A2	5 940	3801.6	1782
	PD A3	6 480	4147.2	1944
	BD B1	4 500	2880.0	1350
	BD B2	4 500	2880.0	1350
	BD C1	3 360	2150.4	1008
	BD C2	3 360	2150.4	1008
	BD C3	3 360	2150.4	1008
	BD C4	3 360	2150.4	1008
	BD E1	2 520	1612.8	756
jih	BD C5	2880	0	864
	BD C6	2880	0	864
	BD C7	2880	0	864
	BD C8	2880	0	864
	BD C9	2880	0	864
	BD D1	6480	0	1944
	BD F1	1680	0	504
	BD F2	1680	0	504
	BD F3	1680	0	504
Obytný soubor	celkem	76 260	32 218	22 878

Pozn.:  $BD$  = bytový dům;  $Q_{prod,šV}$  = průměrná denní produkce šedých vod;  $Q_{p,BV}$  = průměrná denní potřeba bílých vod pro splachování toalet.

Tabulka 6.6 znázorňuje produkci šedých vod a potřebu bílých vod v jednotlivých bytových domech. Z celkové bilance vyplývá, že produkce šedé odpadní vody vhodné k přečištění je o 9,34 m<sup>3</sup> větší než potřeba bílé vody ke splachování toalet. Tento rozdíl však není celodenní, z důvodu nerovnoměrnosti spotřeby vody během dne. Může tedy dojít dočasně k přebytku šedé vody, který bude řešen pomocí bezpečnostního přepadu z akumulací nádrže šedých vod ústícího do veřejné kanalizace, a také k nedostatku bílé vody pro splachování, který bude řešen doplněním systému pitnou vodou z vodovodního řadu. Celková bilance a shrnutí množství šedých a bílých vod je znázorněno v příloze 3. Blokové schéma využití šedých a bílých vod.

### 6.2.3 Výběr technologie čištění šedé vody

Na základě účelu využití bílých vod je pro návrh čištění šedé odpadní vody zvolena technologie membránového bioreaktoru. Čisticí MBR jednotka bude umístěna v technické místnosti v garážích bloku sever v akumulací nádrži šedých vod. Součástí čistícího systému je navržena akumulací nádrž bílých přečištěných vod  $AN_{BV1}$ , odkud bude bílá voda rozváděna vnitřními rozvody do bytových jednotek bloku sever a výtlačem do akumulací nádrže bílých vod  $AN_{BV2}$  v bloku jih. Z akumulací nádrže  $AN_{BV2}$  bude bílá voda rozváděna do jednotlivých bytových jednotek bloku jih vnitřními rozvody.

Pro výběr technologie byly zvoleny dvě ultrafiltrační membránové jednotky od různých výrobců, u kterých bude porovnávána kvalita permeátu na odtoku (dle parametrů deklarovaných výrobcem), prostorové nároky, cena a nároky na údržbu. Na základě získaných informací bude vybrán výhodnější produkt a použit pro návrh.

Porovnání bude provedeno na těchto zařízeních:

- produkt siClaro<sup>®</sup>FM společnosti Martin Systems AG;
- produkt Aqua-Aerobic MBR společnosti Aqua-Aerobic Systems, Inc.

#### **Produkt siClaro<sup>®</sup>FM**

Společnost:	Martin Systems AG
Webové stránky:	<a href="http://www.martin-membrane.de">www.martin-membrane.de</a>
Původ:	Německo
Cena:	374 400 Kč [97]
Rozměry:	15 x (404 x 291 x 1099 mm) [97]

Filtry siClaro<sup>®</sup>FM (obrázek 6.3) jsou využívány k filtrování kapalin a především aktivovaného kalu v ultrafiltračních membránových bioreaktorech pro čištění splaškových odpadních vod. Modulové jednotky sestavené z těchto syntetických filtrů, deskových membrán, lze sestavit do komplexů o maximální výšce tří modulů na sobě. [97]

Při uvedení do provozu jsou moduly, nebo komplexy modulů, ponořeny v akumulací nádrži pro čištěné médium. Vytvořením podtlaku na straně permeátu prochází čištěná kapalina přes upevněnou deskovou membránu a je dále odváděna odtokovým potrubím k dalšímu využití. V pravidelných intervalech jsou uváděny do provozu dmyhadla vhánějící vzduch do mikrobublinných provzdušňovačů. Tyto provzdušňovače vytvářejí vířivý proud směsi vzduchu s vodou hnaný zespolu membrán, čímž je uvolňován usazený retentát na povrchu membrány. [97] Účinnost čištění šedé vody pomocí siClaro<sup>®</sup>FM je znázorněna v tabulce 6.7.

V případě výběru produktu siClaro<sup>®</sup>FM je uvažována filtrační plocha 15 modulů 93,75 m<sup>2</sup>.



Obrázek 6.3 siClaro<sup>®</sup>FM MBR jednotka [97]

Tabulka 6.7 Účinnost čištění vody pomocí siClaro<sup>®</sup>FM [97]

Ukazatel	BSK <sub>5</sub>	CHSK <sub>Cr</sub>	N <sub>NH4+</sub>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
Účinnost čištění	98.2%	94.2%	97.1%	81.4%	-

### ***Produkt Aqua-Aerobic MBR***

Společnost: Aqua-Aerobic Systems, Inc.

Webové stránky: <http://www.aqua-aerobic.com>

Původ: USA

Cena: 8 651 552 Kč [110]

Rozměry: 2 nádrže o rozměrech 2,1 x 1,7 x 4,0 m [110]

Aerobní ošetření a membránový bioreaktor Aqua-Aerobic MBR (obrázek 6.4) se skládá z několika nádrží pro akumulaci šedé vody z koupelen, kde je šedá voda provzdušňována a čištěna přes ultrafiltrační membránu. Výsledný permeát je čerpán do akumulární nádrže na bílou vodu (zbaven virů, bakterií a suspendovaných látek) a je vhodný pro splachování toalet, zavlažování nebo praní prádla. [100]

Výhodou produktu je možnost vzdálené údržby a analýzy prostřednictvím sítě Ethernet nebo provedením kontroly na místě prostřednictvím USB flash disku. Řídící jednotku lze nastavit pro automatické upozorňování na chyby pomocí emailu. [100]

Na základě konzultace s výrobcem byla navržena a čistící jednotka šedých vod pro účely využití v obytném souboru. Čistící jednotka vyžaduje dokonalé předčištění předřazenými sítě s průlinami max. 1 mm. Součástí navržené ČJŠV jsou dvě nádrže s bioreaktory

a membránovými moduly o filtrační ploše 43,5 m<sup>2</sup>. ČJŠV zahrnuje čerpadla šedých a bílých vod, řídicí ventily bioreaktoru, regulační ventily pro řízení průtoku, soustavy hrubobulinných difuzorů a provzdušňovačů, tlakoměry, snímače hladiny a kompresor. V rámci desinfekce je součástí chlorace. V ceně jsou zahrnuty náklady na dopravu a standardní služby při zahájení provozu. [110] Účinnost čištění šedé vody pomocí Aqua-Aerobic MBR je znázorněna v tabulce 6.8.



Obrázek 6.4 Aqua Aerobic MBR jednotka [100]

Tabulka 6.8 Účinnost čištění vody pomocí Aqua Aerobic MBR[110]

Ukazatel	BSK <sub>5</sub>	CHSK <sub>Cr</sub>	N <sub>NH4+</sub>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
Účinnost čištění	99,6 %	-	-	100 %	100 %

### *Shrnutí výběru technologie*

Pro výběr navrhované technologie byly porovnány dva produkty různých výrobců membránových jednotek pro čištění šedých vod. Produkt siClaro®FM od společnosti Martin systems je MBR jednotka složená z plochých deskových membrán a založena na principu podtlaku. Produkt Aqua Aerobic MBR od společnosti Aqua-Aerobic Systems, Inc. je MBR jednotka složená z dutých vláken a fungující na principu „zevnitř ven“.

Konkrétní informace o porovnávaných produktech k čištění šedé vody jsou uvedeny výše.

Tabulka 6.9 hodnotí sledované parametry čísly pořadí, přičemž číslo 1 značí výhodnější variantu a číslo 2 méně výhodnou variantu pro návrh.

**Tabulka 6.9** Shrnutí výběru technologie

Produkt	Kvalita permeátu	Prostorové nároky	Cena	Údržba
siClaro®FM	2	1	1	1
Aquaco Aerobic MBR	1	2	2	1

Pro návrh čistící jednotky šedé vody byl vybrán produkt siClaro®FM společnosti Martin Systems na základě výše uvedeného porovnání. Produkt siClaro®FM sice vykazuje horší vlastnosti a kvalitu výsledného permeátu čištění šedé vody, avšak nezahrnuje chemickou hygienizaci, která by byla zajištěna UV lampou na odtoku z ČJŠV. Produkt siClaro®FM se jeví se výhodnější i z hlediska prostorových nároků a především ekonomické náročnosti. Membránová jednotka siClaro®FM je přibližně 23 krát levnější než ČJŠV Aqua Aerobic MBR. Zatímco čistící jednotka Aqua Aerobic MBR vyžaduje umístění mimo akumulární nádrž šedých vod a přívádění šedé vody tlakovým systémem do dutých vláken, čistící jednotka siClaro®FM může být umístěna přímo do akumulární nádrže šedých vod.

S ohledem na údržbu obou membránových jednotek lze konstatovat stejnou náročnost regenerace membrán. V obou případech je nutná fyzikální a chemická regenerace celých membránových boxů u dodavatele.

#### 6.2.4 Návrh čistící jednotky a akumulace šedé vody

Filtry siClaro®FM mají modulární konstrukci složenou z desek membrán, vzdálených od sebe 6 mm. Jednotlivé moduly s filtrační plochou 6,25 m<sup>2</sup> lze skládat v řadě s maximálním uložením tří modulů na sebe. K jednomu čerpadlu pak lze připojit až 48 filtračních modulů.

Výrobce deklaruje filtraci čištěného média průměrného průtoku dle teploty. Hodnoty průtoku pro jeden modul jsou zobrazeny v tabulce 6.10.

**Tabulka 6.10** Průtokové charakteristiky membránové jednotky siClaro®FM [97]

teplota	$Q_{p,MBR}$	$Q_{p,MBR}$	$Q_{h,MBR}$
10°C	0,10 m <sup>3</sup> /h	2,29 m <sup>3</sup> /den	0,15 m <sup>3</sup> /h
20°C	0,12 m <sup>3</sup> /h	2,97 m <sup>3</sup> /den	0,20 m <sup>3</sup> /h

Produkce šedé vody v obytném souboru, resp. v rámci bloku sever, byla vypočtena v kapitole 6.2.2,  $Q_{prod,šV} = 32\,218 \text{ l.den}^{-1}$ . Pro účely návrhu kapacity ČJŠV bude tato hodnota zaokrouhlena na celé m<sup>3</sup> nahoru, tj.  $Q_{prod,šV} = 33 \text{ m}^3.\text{den}^{-1}$ . Teplota šedé vody přiváděné do navrhované akumulární nádrže je v případě aplikace výměníku tepla (viz následující kapitola 6.3 Rekuperace tepla z šedé vody) pro obytný soubor nižší než 20 °C. Pro návrh ČJŠV bude tedy použita nižší hodnota průtoku, tj. 2,29 m<sup>3</sup>.den<sup>-1</sup>. V případě vysazení výměníku tepla a přivedením teplé šedé vody na ČJŠV lze snížit počet membránových modulů, které mohou být využity jako záložní v době regenerace filtrů.

Počet membránových modulů  $P_{MBR}$  pro obytný soubor byl stanoven následujícím výpočtem:

$$P_{MBR} = \frac{Q_{prod,šV}}{Q_{p,MBR}} \quad (6.6)$$

$$P_{MBR} = \frac{33}{2,29} = 14,41 \doteq 15 \text{ ks}$$

Rozmístění 15 ks membránových modulů je navrženo ve třech řadách po pěti, tj. komplexu MBR o rozměrech 1212 x 1455 x 1099 mm. Membránové moduly musí být ponořeny minimálně do výšky 1050 mm. Minimální ponor vymezuje dolní hranici provozního objemu akumulární nádrže. Moduly budou uloženy v monolitické akumulární nádrži o rozměrech 2500 x 2600 mm s osazením síta a nornou stěnou na přítoku. Filtrace šedé vody neprobíhá kontinuálně. Celý proces probíhá přerušovaně v režimu spínání čerpadel 4:1, obvykle 8-12 minut filtrace a 2-4 minuty prodlevy [97].

Pod membránovými moduly jsou namontovány trubkové mikrobublinné provzdušňovače, které vytvářejí vířivý proud směsi vzduchu s vodou příčně k povrchu membrán. Proud směsi je dostatečně silný, čímž odstraňuje nánosy retentátu na membránách a zajišťuje stabilní filtrační výkon. [97]

Výška monolitické nádrže je určena předepsaným minimálním ponorem modulů a akumulárním provozním objemem pro šedou vodu. Provozní objem je navržen o velikosti třetiny produkce šedé vody. Přebytek šedé vody bude řešen skrze bezpečnostní přepad do kanalizace. Celková výška akumulární nádrže je 3200 mm.

Na odtoku z MBR jednotky bude v rámci ČJŠV osazena UV lampa pro desinfekci bílé vody.

### 6.2.5 Návrh akumulace bílé vody

Primární akumulární nádrž bílé vody  $AN_{BV1}$  slouží k shromažďování produktu čištění z ČJŠV. V nádrži bude osazeno čerpadlo pro rozvod bílé vody do jednotlivých bytových jednotek. Provozní objem akumulární nádrže bílé vody je navržen pro polovinu celkové denní potřeby šedé vody. V případě přebytku bílé vody bude využito bezpečnostního přepadu, čímž budou bílé vody svedeny do veřejné kanalizace. Akumulární nádrž  $AN_{BV1}$  je navržena o rozměrech 2400 x 2400 x 3200 mm.

Sekundární akumulární nádrž bílé vody je navržena pro sběr bílé vody k znovuvyužití v bloku jih obytného souboru. Sběr je navržen pomocí výtlačného řadu z  $AN_{BV1}$  umístěné v garážích bloku sever. Akumulární nádrž je navržena o rozměrech 2000 x 2000 x 2200 mm včetně pracovního prostoru čerpadla a bezpečnostního přepadu do veřejné kanalizace.

### 6.2.6 Ekonomické posouzení

Studie znovuvyužití odpadní vody v obytném souboru zahrnuje výpočet doby návratnosti investice navržené technologie pro využití odpadní vody jako zdroj pro splachování toalet. Návrh předpokládá 15letou životnost technologie a 30letou životnost stavební části – vnitřních rozvodů. Ekonomické posouzení investice je počítáno z cen bez DPH.

Pro výpočet doby návratnosti investice je použito vyjádření tzv. prosté doby návratnosti [101](6.7):

$$T_p = \frac{IN}{CF} \quad (6.7)$$

kde:

$T_p$	prostá doba návratnosti [roky];
$IN$	náklady na investici – investiční výdaj [Kč]
$CF$	Cash-flow [Kč].

## Investiční náklady

Výpočet doby návratnosti investice zahrnuje odhad stavebních i technologických investičních nákladů stanovené projektantem TZB. Tyto a celkové náklady jsou rozepsány v tabulce 6.11.

**Tabulka 6.11 Investiční náklady pro znovuvyužití šedé vody jako zdroje vody**

Stavební část:	$N_{stav=}$	1 940 320	Kč bez DPH
Technologická část:	$N_{tech=}$	1 950 000	Kč bez DPH
Celkové investiční náklady	$N_{inv=}$	3 890 320	Kč bez DPH

Investiční náklady stavební části tvoří výstavba vnitřních rozvodů šedé, bílé a černé vody, vnitřního vodovodu a výtlačku bílé vody do bloku jih. Technologická část investičních nákladů zahrnuje nákup a instalaci čerpadel, čistících MBR jednotek a akumulčních nádrží.

## Provozní náklady

Provozní náklady na vyčištění 1 m<sup>3</sup> šedé odpadní vody navrženou technologií byly stanoveny pro potřeby výpočtu na hodnotu  $N_{prov}=9,80$  Kč bez DPH. Cena  $N_{prov}$  zahrnuje:

- náklady na údržbu (regeneraci) membránových jednotek;
- náklady na elektrickou energii pro:
  - čerpadlo permeátu o příkonu 0,8 kW a dmychadlo o příkonu 1,5 kW v rámci membránového reaktoru;
  - automatickou tlakovou stanici o příkonu 7,0 kW, UV lampu o příkonu 1,5 kW a dávkovací čerpadlo desinfekce o příkonu 0,1 kW v rámci akumulční nádrže bílých vod.
- náklady na mzdy a odměny pro obsluhu;
- odvoz neodvodněného kalu při údržbě nádrží a membránových jednotek, vyvážení shrabků.

Celková denní produkce šedé vody určené k čištění byla stanovena v kapitole 6.2.2 na  $Q_{prod,šv} = 32\,218 \text{ l.den}^{-1}$ . Celkové denní provozní náklady na čištění šedé vody činí 316 Kč bez DPH v případě nulové inflace. Pro potřeby výpočtu je použita 2,2% hodnota inflace dle výhledu České národní banky pro rok 2019.

## Úspora

Úspory za ušetřenou pitnou vodu při využití přečištěné bílé vody pro splachování uvažují meziroční růst ceny za vodné a stočné. Tabulka 6.12 znázorňuje ceny vodného a stočného v letech 2009 – 2019 a jejich meziroční procentuální růst. Pro účely výpočtu byla použita průměrná hodnota procentního nárůstu ceny, tj. 3,86 %.

**Tabulka 6.12 Průměrný nárůst ceny vody v zájmové lokalitě [98][99]**

Rok	DPH	V+S	V+S	Vodné	Vodné	Stočné	Stočné	Nárůst cen*
[-]	[%]	[Kč vč. DPH]	[Kč bez DPH]	[Kč vč. DPH]	[Kč bez DPH]	[Kč vč. DPH]	[Kč bez DPH]	[%]
2009	9%	55.30	50.73	32.48	29.80	22.82	20.94	-

Rok	DPH	V+S	V+S	Vodné	Vodné	Stočné	Stočné	Nárůst cen*
[-]	[%]	[Kč vč. DPH]	[Kč bez DPH]	[Kč vč. DPH]	[Kč bez DPH]	[Kč vč. DPH]	[Kč bez DPH]	[%]
2010	10%	59.73	54.30	34.98	31.80	24.75	22.50	7.03 %
2011	10%	65.78	59.80	38.17	34.70	27.61	25.10	10.13 %
2012	15%	72.28	62.85	41.95	36.48	30.33	26.37	5.10 %
2013	15%	74.29	64.60	43.59	37.90	30.70	26.70	2.78 %
2014	15%	75.67	65.80	44.39	38.60	31.28	27.20	1.86 %
2015	15%	77.17	67.10	44.97	39.10	32.20	28.00	1.98 %
2016	15%	79.47	69.10	45.66	39.70	33.81	29.40	2.98 %
2017	15%	79.47	69.10	45.66	39.70	33.81	29.40	0.00 %
2018	15%	80.73	70.20	45.66	39.70	35.07	30.50	1.59 %
2019	15%	84.87	73.80	48.30	42.00	36.57	31.80	5.13 %

Pozn.: V+S = vodné a stočné; \*nárůst ceny vodného a stočného je vypočten z cen bez DPH.

### ***Doba návratnosti investice a cash-flow***

Technologie pro znovuvyužití odpadní vody jsou podporovány Státním fondem životního prostředí prostřednictvím dotačního programu Dešťovka. Navržená technologie pro obytný soubor spadá do třetí kategorie tohoto programu, tj. využití přečištěné odpadní vody pro splachování. Využitím internetové kalkulačky dotačního programu byla stanovena možná výše dotace 105 000 Kč. Prostá doba návratnosti byla dosažením do rovnice (6.7):

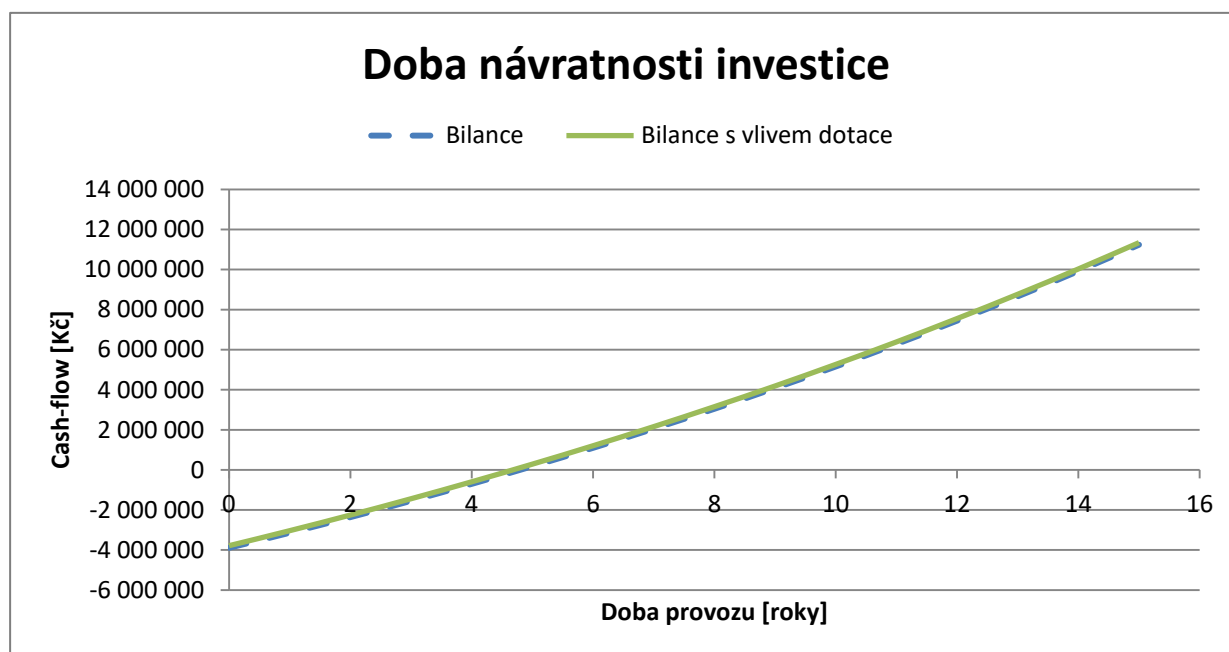
$$T_p = \frac{3\,890\,320}{867\,856 - 117\,779}$$

stanovena z provozních nákladů a úspory v prvním roce na hodnotu 5,18 let. V případě využití dotace klesá doba návratnosti na hodnotu 5,04 let. Tabulka 6.13 představuje podrobný cash-flow (peněžní tok) zahrnující provozní náklady a úsporu při využívání navrženého systému po dobu 15ti let životnosti technologie. Pro potřeby výpočtu prosté doby návratnosti investice je uvažována nulová diskontní sazba.

Z tabulky 6.13 je zřejmé, že doba návratnosti stanovená výpočtem na hodnotu 4,79 let přibližně odpovídá prosté době návratnosti vypočtené užitím rovnice (6.7). Výpočet doby návratnosti pomocí cash-flow, na rozdíl od prosté doby návratnosti, uvažuje meziroční nárůst ceny vodného a stočného o 3,86 %. Odhadovaná úspora nákladů při využívání přečištěné šedé vody ke splachování toalet, namísto splachování pitnou vodou z veřejné vodovodní sítě, činí po 15 letech provozu přes 11,3 milionů korun. Graf 6.1 zobrazuje odhadovaný peněžní tok a návratnost investice systému čištění šedých vod.

**Tabulka 6.13 Cash-flow využívání systému čištění šedých vod a jejich využití pro splachování**

Rok	Provozní náklady	Úspora	Bilance	Bilance s využitím dotace
[-]	[Kč bez DPH]	[Kč bez DPH]	[Kč bez DPH]	[Kč bez DPH]
0	-	-	-3 890 320	-3 785 320
1	-117 779	867 856	-3 140 243	-3 035 243
2	-120 370	901 335	-2 359 278	-2 254 278
3	-123 018	936 106	-1 546 191	-1 441 191
<b>4</b>	<b>-125 725</b>	<b>972 218</b>	<b>-699 698</b>	<b>-594 698</b>
<b>5</b>	<b>-128 491</b>	<b>1 009 723</b>	<b>181 534</b>	<b>286 534</b>
6	-131 318	1 048 674	1 098 891	1 203 891
7	-134 207	1 089 129	2 053 813	2 158 813
8	-137 159	1 131 144	3 047 797	3 152 797
9	-140 177	1 174 780	4 082 400	4 187 400
10	-143 261	1 220 099	5 159 238	5 264 238
11	-146 412	1 267 166	6 279 992	6 384 992
12	-149 633	1 316 049	7 446 408	7 551 408
13	-152 925	1 366 818	8 660 300	8 765 300
14	-156 290	1 419 545	9 923 556	10 028 556
15	-159 728	1 474 307	11 238 134	11 343 134



**Graf 6.1 Doba návratnosti investice do systému čištění šedých vod**

### Čistá současná hodnota investice (NPV)

Čistá současná hodnota, Net Present Value (NPV), na rozdíl od prosté doby návratnosti počítá s budoucími peněžními toky a jejich hodnotou v čase, závisí na tzv. diskontu. Diskontování peněžních toků obvykle probíhá na roční bázi, proto je diskantová míra stanovena p. a. (tj. ročně). Diskont, také úroková sazba, byla stanovena na hodnotu 5 % [104]. Hodnota NPV lze vyjádřit následujícím vztahem [101]:

$$NPV = \sum_0^t \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (6.8)$$

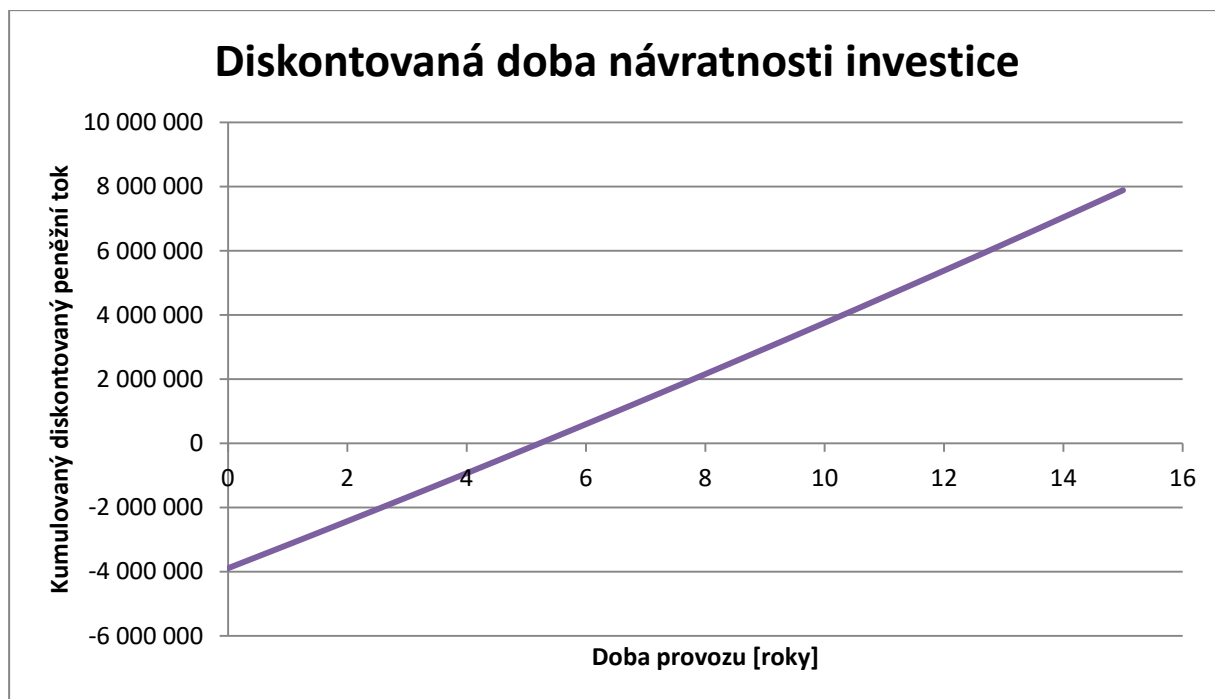
kde:

- $t$  doba životnosti [roky];
- $CF_t$  generovaný peněžní tok (cash-flow) v roce  $t$  [Kč];
- $r$  úroková míra (diskont) [%].

Tabulka 6.14 znázorňuje analýzu peněžních toků a výpočet čisté současné hodnoty systému znovuvyužití šedé odpadní vody vypočtené dle vztahu (6.8). Hodnoty čistých peněžních toků (NFC) jsou tvořeny součtem hodnot roční úspory a provozních nákladů z výše provedených výpočtů. Diskontní faktor  $r^*$  představuje  $(1+r)^{-t}$  a diskontovaný peněžní tok (DCF) součin  $CF_t$  a  $(1+r)^{-t}$ . Kumulovaný diskontovaný peněžní tok je označen KDCF. Průběh diskontované doby návratnosti je zobrazen v grafu 6.2.

**Tabulka 6.14 Analýza peněžních toků a čistá současná hodnota systému znovuvyužití šedé odpadní vody v Kč bez DPH**

Rok	0	1	2	3	4	5
NFC	-3 890 320	750 077	780 965	813 087	846 493	881 232
$r^*$	1.0000	0.9709	0.9426	0.9151	0.8885	0.8626
DCF	-3 890 320	728 230	736 134	744 090	752 098	760 158
KDCF	-3 890 320	-3 162 090	-2 425 956	-1 681 866	-929 768	-169 609
Rok	-	6	7	8	9	10
NFC	-	917 357	954 922	993 985	1 034 603	1 076 838
$r^*$	-	0.8375	0.8131	0.7894	0.7664	0.7441
DCF	-	768 272	776 439	784 661	792 937	801 269
KDCF	-	598 662	1 375 102	2 159 762	2 952 699	3 753 968
Rok	-	11	12	13	14	15
NFC	-	1 120 754	1 166 416	1 213 893	1 263 256	1 314 579
$r^*$	-	0.7224	0.7014	0.6810	0.6611	0.6419
DCF	-	809 656	818 101	826 602	835 161	843 778
KDCF	-	4 563 624	5 381 725	6 208 327	7 043 487	7 887 265
<b>Čistá současná hodnota systému</b>				<b>NPV = 7 887 265 Kč bez DPH</b>		



**Graf 6.2** Diskontovaná doba návratnosti systému znovuvyužití šedé odpadní vody

## 6.3 REKUPERACE TEPLA Z ŠEDÉ VODY

Studie znovuvyužití odpadní vody zahrnuje i návrh výměníků tepla. Ve studii je uvažováno osazení výměníku tepla pro každou bytovou jednotku tak, aby odváděná teplá šedá voda z koupelen a praček přehřívala přiváděnou vodu z vodovodního řadu do zásobníku TUV.

Pro tyto účely a pro účely znovuvyužití šedé vody budou zkonstruovány speciální vnitřní rozvody pro svedení šedých vod do akumulární nádrže šedých vod na ČJŠV.

### 6.3.1 Výběr technologie pro rekuperaci

Pro výběr technologie byly vybrány dva produkty od různých výrobců pro každý typ výměníku tepla, tedy dva horizontální a dva vertikální výměníky. U výměníků bude porovnávána účinnost, prostorové nároky, cena a nároky na údržbu. Na základě získaných informací bude vybrán výhodnější produkt a použit pro návrh.

#### *Horizontální výměníky*

Horizontální výměníky jsou osazeny přímo do vaničky sprchového systému, kde odtékající šedá voda projde zařízením a předá teplo přiváděné vodě. Porovnání produktů pro návrh bude provedeno na těchto zařízeních:

- produkt ECOshower Tray 900 společnosti Wagner;
- produkt NELA společnosti Sakal.

#### Produkt ECOshower Tray 900

Společnost:	Wagner
Webové stránky:	<a href="http://www.wagner-solar.com">www.wagner-solar.com</a>
Původ:	Německo
Cena:	40 560 Kč/ks
Rozměry:	součástí vaničky, 900 x 200 x 900 mm
Účinnost:	54,0 %



Obrázek 6.5 Výměník tepla ECOshower Tray 900

Odpadní voda protéká rekuperačním výměníkem ECOshower Tray 900 (obrázek 6.5), kde předává teplo čisté vodě proudící v měděné trubice uspořádané do několika smyček. Tento výměník je přímo součástí sprchového koutu. Sprchová vanička je dodávána spolu s výměníkem. [17][102]

#### Produkt NELA

Společnost:	Sakal
Webové stránky:	<a href="http://www.sakal-ovt.cz">www.sakal-ovt.cz</a>
Původ:	Česká Republika
Cena:	6 552 Kč/ks
Rozměry:	144 x 87 x 552 mm
Účinnost:	40,5 %



Obrázek 6.6 Výměník tepla NELA [103]

Deskový výměník NELA (obrázek 6.6) je schován v plastovém pouzdře, ze kterého vedou čtyři otvory. Je tvořen profilovanými deskami z leštěného nerezového plechu, po kterých stéká ohřátá odpadní voda. Studená čistá voda (cca 10°C) odebere teplo 12-14°C odpadní

vodě (cca 35°C). Tato předeřtá voda se vede do směšovací baterie. Potřeba horké vody klesá až o 45%. [17][102][103]

### ***Vertikální výměníky***

Vertikální výměníky jsou osazeny do systému vnitřních rozvodů ve svislé poloze, kde odtékající šedá voda projde zařízením a předá teplo přiváděné vodě. Porovnání bude provedeno na těchto zařízeních:

- produkt ECOshower Pipe 15 společnosti Wagner Solar;
- produkt R4-120 společnosti Power-Pipe.

#### Produkt ECOshower Pipe 15

Společnost:	Wagner Solar
Webové stránky:	www.wagner-solar.com
Původ:	Německo
Cena:	12 000 Kč/ks
Rozměry:	1500 mm x 63 mm
Účinnost:	66,0 %



**Obrázek 6.7** Výměník tepla ECOshower Pipe 15 [102]

Výměník ECOshower Pipe 15 (obrázek 6.7) se umísťuje ve svislé poloze tak, že odpadní voda teče směrem dolů skrz centrální trubku. Čistá studená voda proudí směrem nahoru ve spirále po vnějším okraji odpadního potrubí. [102]

#### Produkt R4-84

Společnost:	Power-Pipe
Webové stránky:	www.powerpipehr.co.uk
Původ:	Spojené království Velké Británie a Severního Irska
Cena:	11 180 Kč/ks
Rozměry:	2130 mm x 63 mm
Účinnost:	56,0 %



**Obrázek 6.8** Výměník tepla R4-120 [105]

Výměník R4-84 (obrázek 6.8) pracuje na stejném principu jako produkt ECOshower Pipe 15. [105]

### ***Shrnutí výběru technologie***

Pro výběr technologie byly vybrány 4 produkty od různých výrobců výměníků tepla pro systém voda-voda. Konkrétní informace o porovnávaných produktech jsou uvedeny v tabulce 6.15. V tabulce jsou ohodnoceny sledované parametry čísla 1 – 4, přičemž číslo 1 znamená nejvýhodnější a číslo 4 nejméně výhodné.

**Tabulka 6.15** Shrnutí výběru technologie výměníku tepla

Produkt	Účinnost	Prostorové nároky	Cena/ks	Údržba	Hodnocení
ECOshower Tray 900	54,0 %	900 x 200 x 900 mm	40 560 Kč	*	4
NELA	40,5 %	144 x 87 x 552 mm	6 552 Kč	*	3
ECOshower Pipe 15	66,0 %	1500 mm	12 000 Kč	Bez údržby	1
R4-84	56,0 %	2130 mm	11 180 Kč	Bez údržby	2

\* závisí na přístupu uživatele

Pro návrh systému rekuperačních jednotek byl zvolen produkt ECOshower Pipe 15 společnosti Wagner Solar.

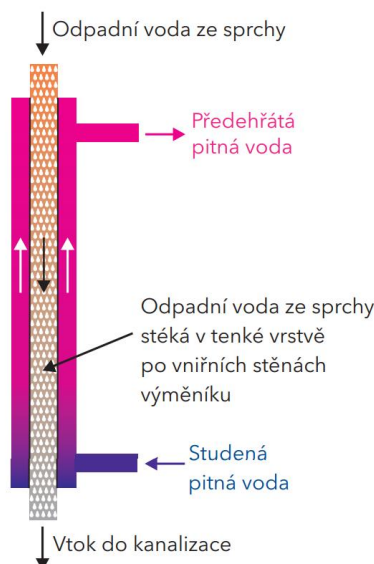
Tento produkt je z výše sledovaných hned druhý nejúčinnější z hlediska předávání tepla a pořizovacích nákladů. Nejvýhodnější se jeví z hlediska prostorových nároků a to zejména kvůli jeho vlastním rozměrům a také využití v rámci vnitřních rozvodů navržených pro separované vedení šedých vod z koupelen a praček pro čištění a znovuvyužití.

Z hlediska údržby se jeví vertikální výměníky výhodnější než výměníky horizontální. U vertikálního typu není předpokládána komplikace s usazováním nečistot v potrubí a zároveň odpadá uživatelská nutnost čištění, jako je tomu u horizontálních typů výměníků tepla. Pro horizontální výměníky je doporučováno pravidelné čištění vtokové vaničky výměníku z důvodu usazování nečistot a tím zapříčiněného snížení účinnosti tepelné výměny. V případě obytného souboru čítajícího 270 bytových jednotek není možné zaručit pravidelnou kontrolu uživatelem nebo pověřeným pracovníkem kontroly. Kontrola pověřeným pracovníkem není vhodná, ať už z důvodu narušování spokojenosti obyvatel nebo provozních nákladů na pracovníka.

### 6.3.2 Návrh a výpočet výkonu výměníku tepla

Pro jednotlivé bytové jednotky je v rámci rekuperace tepla z odpadní vody navržen jeden vertikální výměník tepla, konkrétně ECOshower Pipe 15. Pro nátok teplého média do výměníku jsou v návrhu uvažovány šedé odpadní vody z koupelen o teplotě 38°C, které vznikají spotřebou při sprchování. Šedá voda stéká v tenké vrstvě po vnitřních stěnách výměníků, kde předává teplo protiproudě přiváděné pitné vodě. Přiváděná pitná voda má teplotu 10 °C. Tento jev je schematicky zobrazen na obrázku 6.9.

Výrobce Wager Solar deklaruje 66,2% účinnost předání tepla přiváděné studené vodě. Přiváděná studená voda je v tomto případě předehřáta na hodnotu 28,53 °C dle vztahu uvedeného v kapitole 4.1.2. Takto předehřátá přiváděná pitná voda je zaústěna do průtokového elektrického ohříváče, kde je dohřívána na požadovanou teplotu a dále využívána jako zdroj TUV.



Obrázek 6.9 Schéma výměny tepla

Pro výpočet výkonu systému rekuperace a jednotlivého výměníku tepla byly použity následující vztahy [106]:

$$\Delta T = \frac{W_{OP}}{c \cdot \rho \cdot Q} \quad (6.9)$$

$$W_{OP} = c \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta T \quad (6.10)$$

kde:

$W_{OP}$	množství odebraného tepla (výkon) [kW];
$\Delta T$	chlazení odpadní vody [°C];
$c$	měrná tepelná kapacita vody [kJ.kg <sup>-1</sup> .°C <sup>-1</sup> ];
$\rho$	měrná hmotnost vody (pro 10 °C) [kg.l <sup>-1</sup> ];
$Q$	průtok odpadní vody [l.s <sup>-1</sup> ].

Dosazením následujících hodnot do vztahu (6.10) lze získat celkový výkon rekuperačního systému pro obytný soubor:

$$\Delta T = 38 - 28,53 = 9,47 \text{ °C}$$

$$c = 4,186 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$$

$$\rho = 0,9997 \text{ kg.l}^{-1}$$

$$Q = Q_p = \frac{76260}{24 \times 60 \times 60} = 0,8826 \text{ l.s}^{-1}$$

$$W_{OP} = 4,18 \cdot 0,9997 \cdot 0,8826 \cdot 9,47 = 34,93 \text{ kW.}$$

Výkon výměníku pro jednotlivé bytové jednotky je přibližně  $W_{OP} = \frac{34,93}{270} = 0,129 \text{ kW.}$

Energie dodaná přiváděnému médiu vztažená na jedno koupání a úspora systému rekuperace tepla byla vypočtena z následujících vztahů [107]:

$$E = m \times c_{wh} \times (t_1 - t_2) \quad (6.11)$$

$$m = \rho \times V \quad (6.12)$$

$$c_{wh} = \frac{c}{3600} \quad (6.13)$$

kde:

$c_{wh}$	měrná tepelná kapacita vody přepočtená na W.h.kg <sup>-1</sup> .°C <sup>-1</sup> ;
$(t_1 - t_2)$	rozdíl teploty předeřáté vody ( $t_1=28,53$ °C) a teploty vody na vstupu ( $t_2=10$ °C) [°C];
$m$	hmotnost vody (pro 10 °C) [kg.l <sup>-1</sup> ];
$V$	objem předeřáté vody [l].

Pro potřeby výpočtu byla v kapitole 6.2.1 stanovena specifická potřeba vody  $q_{spec}=120$  l.os<sup>-1</sup>den<sup>-1</sup>. Dle kapitoly 2.1 lze konstatovat, že množství vody 29,3 % z  $q_{spec}$ , tedy 35,16 l, je voda určená ke koupání a sprchování.

Dosazením výše uvedených hodnot do vztahu (6.11) lze získat výslednou energii přenosu tepla při jednom koupání:

$$E = (35,15 \times 0,9997) \times \frac{4,186}{3600} \times (28,53 - 10)$$

$$E = 0,757 \text{ kWh.}$$

### 6.3.3 Ekonomické posouzení

Studie znovuvyužití odpadní vody v obytném souboru zahrnuje výpočet doby návratnosti investice navržené technologie pro rekuperaci tepla z odpadní vody. Návrh předpokládá 15 – 20letou životnost výměníku tepla. Ekonomické posouzení investice je počítáno z cen bez DPH.

Pro výpočet doby návratnosti investice je použito vyjádření tzv. prosté doby návratnosti (6.7).

#### ***Investiční náklady***

Investiční náklady spojené s osazením výměníků tepelné energie jsou pouze náklady na pořízení technologie. Odpadají tedy investiční náklady stavebního charakteru, a to z důvodu osazení technologie v rámci výstavby vnitřních rozvodů. V návrhu je uvažováno osazení výměníků tepla ve všech 270 bytech obytného souboru, takže celkové investiční náklady jsou, při ceně jednoho výměníku tepla 12 000 Kč, 3 240 000 Kč.

#### ***Provozní náklady***

Návrh systému rekuperace tepla předpokládá dohřev předeřáté vody samostatným průtokovým elektrickým ohříváčem v každé bytové jednotce. Provozní náklady pro ohřev vody jsou tedy spojené s ohříváčem a výměníku tepla tato položka odpadá. Výměník tepla má předpokládanou dobu životnosti 15 – 20 let, během které nevykazuje nároky na provozní náklady. V bloku sever obytného souboru jsou navrženy v rámci systému znovuvyužití šedé vody pro splachování toalet oddělené vnitřní rozvody šedé a černé vody. Výměníky tepla budou v tomto bloku osazeny na rozvodech šedé vody, což umožňuje bezproblémový provoz

s ohledem na usazování nečistot a snižování účinnosti technologie. V případě bloku jih nejsou navrženy oddělené vnitřní rozvody černé a šedé vody, přesto nejsou uvažovány náklady na údržbu díky pravidelným proplachům šedé vody z koupelen a praček.

## Úspora

Výpočet úspor za ušetřenou energii předeřhřevem TUV uvažuje meziroční růst cen společnosti E.ON za 1 kWh v zájmovém území pro ohřev vody. Tabulka 6.16 znázorňuje ceny elektrické energie za 1 kWh v letech 2013 – 2019. Pro účely výpočtu byla použita průměrná hodnota procentního poklesu ceny energie, tj. 0,45 %.

**Tabulka 6.16 Průměrný nárůst ceny energie pro zájmovou oblast v letech 2013-2018 [108]**

Rok	DPH	1 kWh vč. DPH [Kč]	1 kWh bez DPH [Kč]	Procentní nárůst cen*
2013	21%	4.69	3.87	
2014	21%	4.37	3.61	-6.82%
2015	21%	4.30	3.55	-1.60%
2016	21%	4.19	3.46	-2.52%
2017	21%	4.30	3.55	2.58%
2018	21%	4.81	3.97	11.82%
2019	21%	4.51	3.73	-6.16%

Pozn.: \*nárůst ceny vodného a stočného je vypočten z cen bez DPH.

## Doba návratnosti investice a cash-flow

Systémy rekuperace tepla z odpadní vody jsou podporovány Státním fondem životního prostředí prostřednictvím dotačního programu Nová zelená úsporám. Program Nová zelená úsporám nabízí dotaci ve výši 5 000 Kč na každý jeden decentrální systém rekuperace tepla, avšak pouze pro bytové domy v Praze. [109] V případě, že by byl navrhovaný bytový dům postaven v Praze, byl by pravděpodobně podpořen dotací 1 350 000 Kč. Tento příspěvek se nevztahuje na navrhovaný obytný soubor studie.

Prostá doba návratnosti byla dosazením do rovnice (6.7):

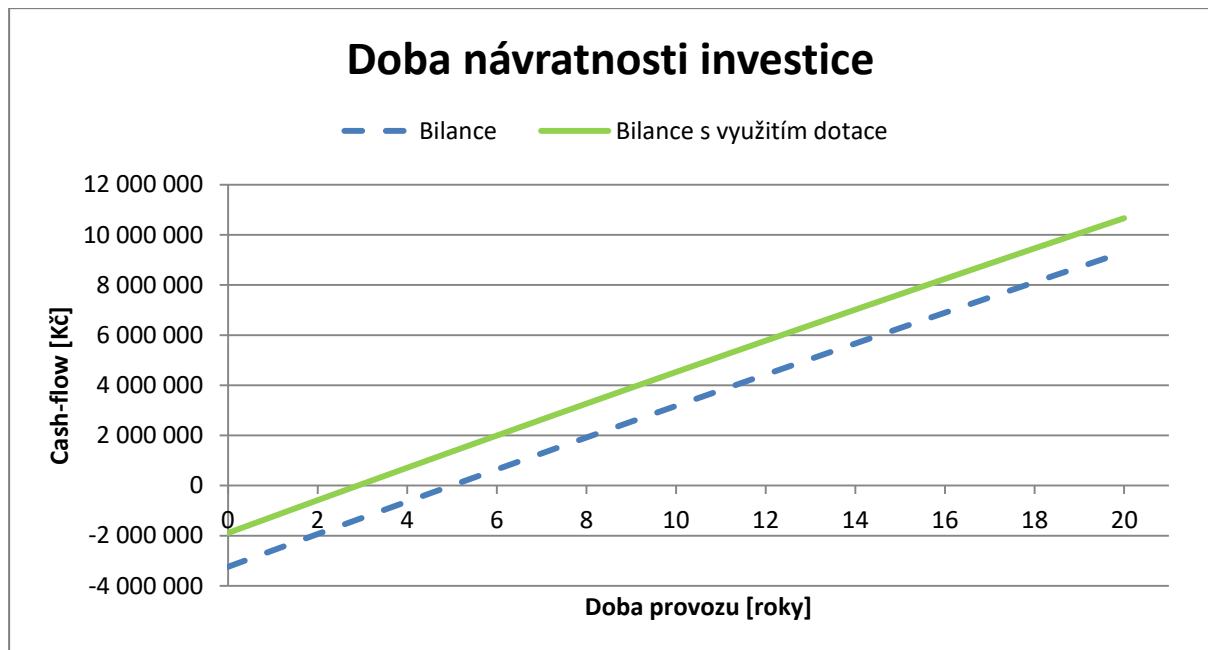
$$T_p = \frac{3\,240\,000}{654\,986}$$

stanovena na hodnotu 4,95 let. V případě, že by měl návrh obytného souboru nárok na výše zmíněný dotační příspěvek, klesla by prostá doba návratnosti na hodnotu 2,89 let. Tabulka 6.17 představuje podrobný cash-flow (peněžní tok) zahrnující úsporu při využívání navrženého systému po dobu 20 let. Pro potřeby výpočtu je uvažována investice s nulovou diskontní sazbou a ceny bez DPH.

Prostá doba návratnosti investice se výrazně neliší od doby návratnosti stanovené výpočtem v tabulce 6.17 na hodnotu 4,99 let, který uvažuje, na rozdíl od prosté doby návratnosti, meziroční pokles ceny elektrické energie o 0,45 %. Odhadovaná úspora nákladů při využívání výměníků tepla k předeřhřevu pitné vody, činí po 20-ti letech provozu přes 9,3 milionů korun. Graf 6.3 zobrazuje odhadovaný peněžní tok a návratnost investice systému čištění šedých vod.

**Tabulka 6.17 Cash-flow využívání systému rekuperace tepla z odpadní vody**

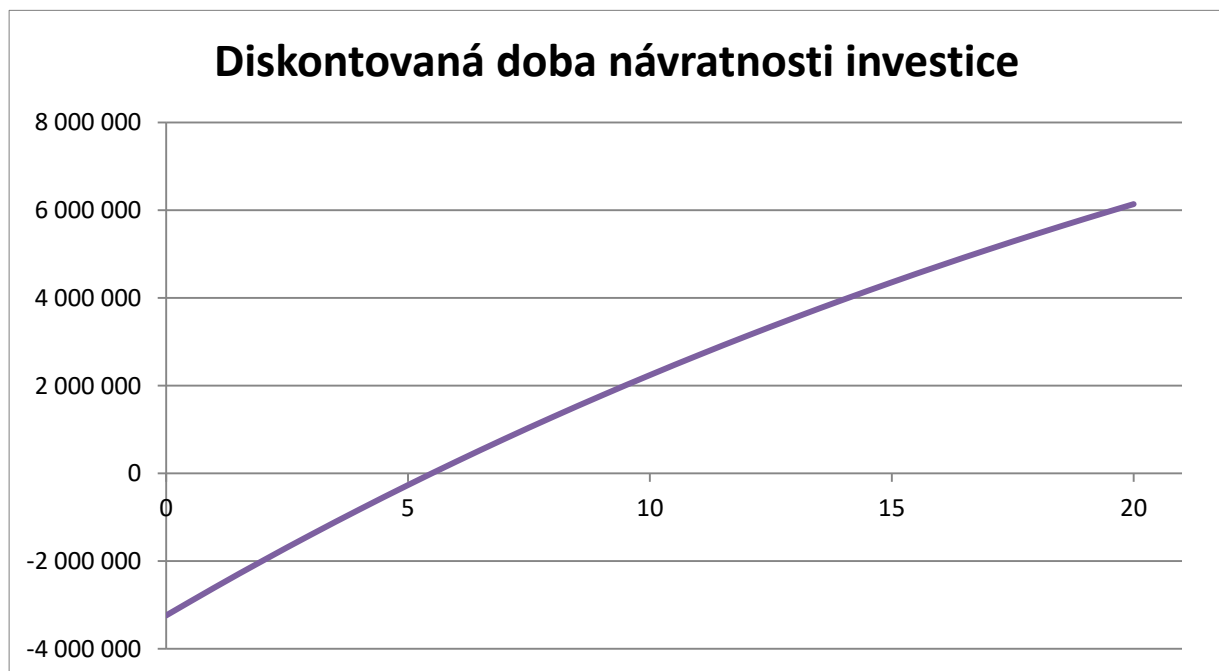
<b>Rok</b>	<b>Úspora</b>	<b>Bilance</b>
<b>[-]</b>	<b>[Kč bez DPH]</b>	<b>[Kč bez DPH]</b>
0	-	-3 240 000
1	654 986	-2 585 014
2	652 035	-1 932 978
3	649 098	-1 283 880
<b>4</b>	<b>646 174</b>	<b>-637 707</b>
<b>5</b>	<b>643 262</b>	<b>5 556</b>
6	640 364	645 920
7	637 479	1 283 400
8	634 607	1 918 007
9	631 748	2 549 755
10	628 902	3 178 658
11	626 069	3 804 727
12	623 248	4 427 975
13	620 441	5 048 416
14	617 645	5 666 061
15	614 863	6 280 924
16	612 093	6 893 016
17	609 335	7 502 351
18	606 590	8 108 941
19	603 857	8 712 798
20	601 137	9 313 935



Graf 6.3 Doba návratnosti investice systému rekuperace tepla z odpadní vody

### Čistá současná hodnota investice (NPV)

Tabulka 6.18 znázorňuje analýzu peněžních toků a výpočet čisté současné hodnoty systému rekuperace tepla z odpadní vody vypočtené dle vztahu (6.8) s 3% úrokovou mírou. Hodnoty čistých peněžních toků (NFC) jsou tvořeny součtem hodnot roční úspory a provozních nákladů z výše provedených výpočtů. Diskontní faktor  $r^*$  představuje  $(1 + r)^{-t}$  a diskontovaný peněžní tok (DCF) součin  $CF_t$  a  $(1 + r)^{-t}$ . Kumulovaný diskontovaný peněžní tok je označen KDFC. Průběh diskontované doby návratnosti je zobrazen v grafu 6.4.



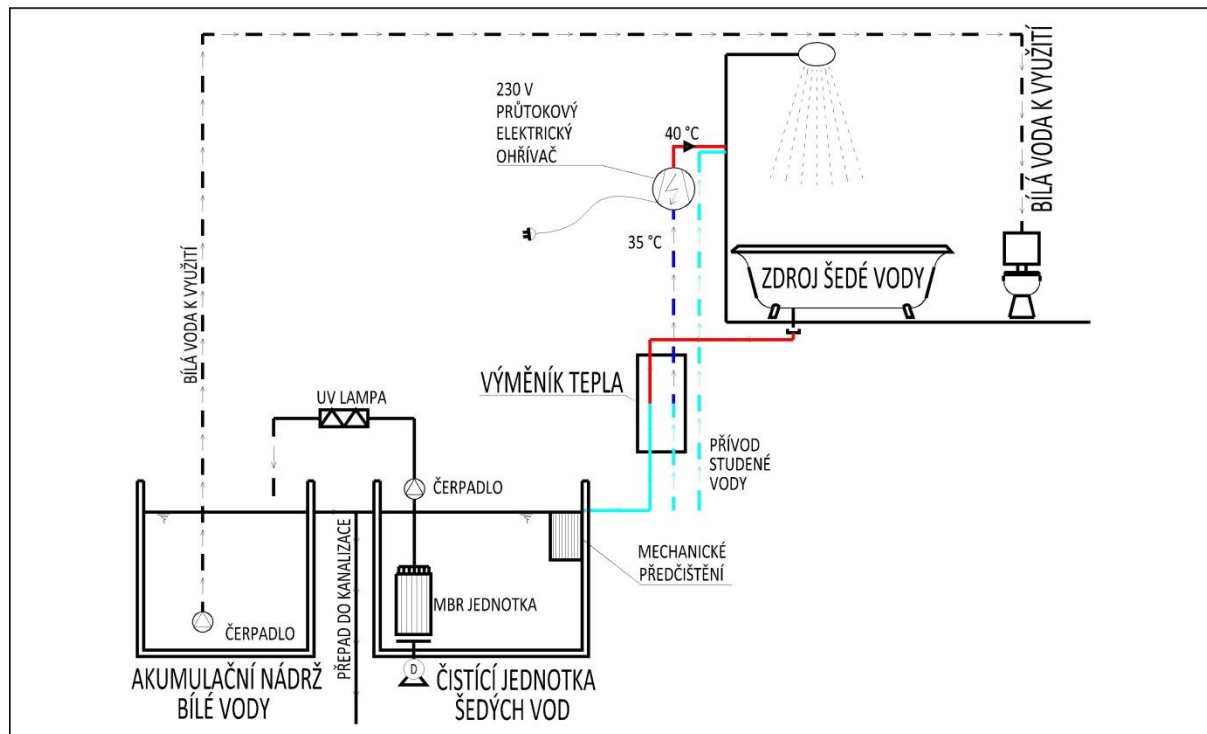
Graf 6.4 Diskontovaná doba návratnosti systému rekuperace tepla z odpadní vody

**Tabulka 6.18 Analýza peněžních toků a čistá současná hodnota systému rekuperace tepla z odpadní vody v Kč bez DPH**

<b>Rok</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>NFC</b>	-3 240 000	654 986	652 035	649 098	646 174	643 262
<b>r*</b>	1.0000	0.9709	0.9426	0.9151	0.8885	0.8626
<b>DCF</b>	-3 240 000	635 909	614 606	594 017	574 117	554 884
<b>KDCF</b>	-3 240 000	-2 604 091	-1 989 485	-1 395 468	-821 352	-266 468
<b>Rok</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>NFC</b>	-	640 364	637 479	634 607	631 748	628 902
<b>r*</b>	-	0.8375	0.8131	0.7894	0.7664	0.7441
<b>DCF</b>	-	536 295	518 329	500 965	484 183	467 962
<b>KDCF</b>	-	269 827	788 156	1 289 121	1 773 304	2 241 266
<b>Rok</b>	<b>-</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
<b>NFC</b>	-	626 069	623 248	620 441	617 645	614 863
<b>r*</b>	-	0.7224	0.7014	0.6810	0.6611	0.6419
<b>DCF</b>	-	452 286	437 134	422 490	408 336	394 657
<b>KDCF</b>	-	2 693 552	3 130 686	3 553 176	3 961 512	4 356 169
<b>Rok</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
<b>NFC</b>	-	612 093	609 335	606 590	603 857	601 137
<b>r*</b>	-	0.6232	0.6050	0.5874	0.5703	0.5537
<b>DCF</b>	-	381 436	368 658	356 308	344 371	332 835
<b>KDCF</b>	-	4 737 605	5 106 262	5 462 570	5 806 941	6 139 776
<b>Čistá současná hodnota systému</b>			<b>NPV = 6 139 776 Kč bez DPH</b>			

## 6.4 TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA SYSTÉMU ZNOVUVYUŽITÍ ODPADNÍ VODY

V rámci studie znovuvyužití odpadní vody v obytném souboru byl navržen systém zahrnující čištění šedé odpadní vody pomocí membránových modulů, využití bílé vody pro splachování toalet a rekuperace tepla z odpadní vody.



Obrázek 6.10 Technologické schéma systému znovuvyužití odpadní vody

Technologické schéma, znázorněné v obrázku 6.10, popisuje technické a technologické řešení systému. Šedé odpadní vody z koupelen a praček jsou z bytových jednotek vedeny samostatnými vnitřními rozvody do akumulární nádrže šedých vod. Na vtoku do akumulární nádrže šedých vod je navrženo mechanické předčistění pomocí síta pro zachycení vlasů a jiných plovoucích látek, které by ulpívaly na membránách a tvořily tzv. filtrační koláč. V akumulární nádrži šedých vod jsou umístěny ultrafiltrační membránové moduly siClaro®FM společnosti Martin Systems, jejichž součástí jsou mikrobublinné aerátory (dmychadla) a čerpadla permeátu. Přecházející šedá voda (bílá voda) je po průchodu desinfekcí UV lampou shromažďována v akumulární nádrži bílých vod, odkud je čerpána do jednotlivých bytových jednotek obytného souboru k dalšímu využití pro splachování toalet.

V rámci rekuperace tepla z odpadní vody jsou navrženy vertikální výměníky tepla ECOshower Pipe 15 společnosti Wagner Solar. Osazení výměníků tepla je navrženo na svody odpadní vody ze všech bytových jednotek – v bloku sever na svody šedé odpadní vody, v bloku jih na svody veškeré splaškové odpadní vody z domácností.

## 6.5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ SYSTÉMU ZNOVUVYUŽITÍ ODPADNÍ VODY

V rámci návrhu systému znovuvyužití odpadní vody byly v kapitolách 6.2.6 a 6.3.3 vypočteny doby návratnosti investice a čisté současné hodnoty pro jednotlivé části systému. V následujících kapitolách je zpracováno ekonomické zhodnocení při využití obou částí

návrhu systému znovuvyužití odpadní vody. Ekonomické posouzení investice je počítáno z cen bez DPH.

### 6.5.1 Celková investice a doba návratnosti systému znovuvyužití odpadní vody

Z dílčích výpočtů doby návratnosti investice kapitole 6.2.6 je patrné, že investice do čisticí jednotky šedé vody a jejích součástí je z ekonomického hlediska výhodné, a to i v případě, že by nebyla podpořena dotacemi. Při 15leté životnosti technologie je možné zavedením čisticí jednotky ušetřit na nákladech na pitnou vodu téměř 11,3 milionů korun, v případě podpory dotace až 11,35 milionů korun. Doba návratnosti investice do navrženého systému znovuvyužití šedé odpadní vody jako zdroje je do 4,8 let.

Co se týká systému rekuperace tepla z odpadní vody prostřednictvím vertikálních výměníků tepla, vychází doba návratnosti a úspora zavedením systému (kapitola 6.3.3) ještě příznivěji než využití čisticí jednotky šedé vody. Na navržený obytný soubor ve městě Vsetín se nevztahuje dotace na systémy rekuperace z odpadní vody ze Státního fondu životního prostředí. Dotační program Nová Zelená úsporám je vypsán pouze pro bytové domy hlavního města Prahy. Výměníky tepla z odpadní vody mají obecně životnost 15 – 20 let, přičemž doba návratnosti investice pro osazení výměníků pro všechny bytové jednotky obytného souboru byla vypočtena do 5 let. V případě rekuperace tepla z odpadní vody a 15leté životnosti výměníků lze očekávat úsporu necelých 6,3 milionů korun. Při 20leté životnosti výměníků lze však uspořit přes 9,3 milionů korun. V případě teoretického rozšíření lokality pro nárok na dotaci rekuperačního systému by byla prostá doba návratnosti snížena na dobu necelých 3 let.

Z hlediska doby návratnosti a předpokládané životnosti technologie lze zhodnotit investici do systému znovuvyužití odpadní vody jako zdroje energie jako velmi výhodnou. Celkové investiční náklady při zavedení obou částí navrženého systému znovuvyužití odpadní vody, využití šedé vody jako zdroje a rekuperace tepla, jsou znázorněny v tabulce 6.19.

**Tabulka 6.19 Celkové investiční náklady systému znovuvyužití odpadní vody**

Investiční náklady - využití šedé vody jako zdroje	3 890 320	Kč bez DPH
Investiční náklady - rekuperace tepla z odpadní vody	3 240 000	Kč bez DPH
Dotace	105 000	Kč bez DPH
Celkové investiční náklady	7 130 320	Kč bez DPH
Celkové investiční náklady s využitím dotace	7 025 320	Kč bez DPH

Při zavedení obou částí systému znovuvyužití odpadní vody byla stanovena prostá doba návratnosti dosazením do rovnice (6.7):

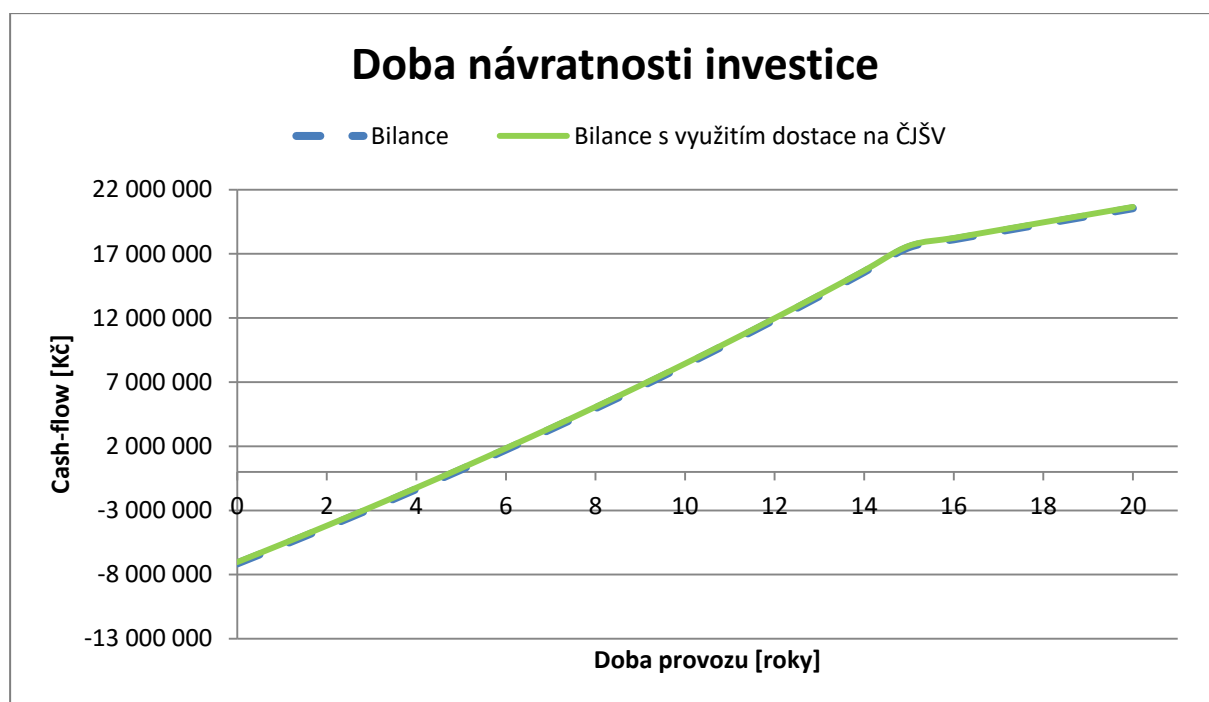
$$T_p = \frac{7\,130\,320}{(867\,856 + 654\,986 - 117\,779)}$$

na hodnotu 5 let. S přihlédnutím k meziročnímu nárůstu cen vodného a stočného a elektrické energie, dle výpočtu doby návratnosti investice viz kapitoly 6.2.6 a 6.3.3, klesá doba návratnosti investice na hodnotu 4,8 let, viz tabulka 6.20.

**Tabulka 6.20 Cash-flow využívání systém znovuvyužití odpadní vody**

Rok	Úspora		Provozní náklady		Bilance	Bilance s využitím dotace na ČJŠV
	ČJŠV	Rekuperace tepla	ČJŠV	Rekuperace tepla		
[-]	[Kč bez DPH]	[Kč bez DPH]	[Kč bez DPH]	[Kč bez DPH]	[Kč bez DPH]	[Kč bez DPH]
0	-	-	-	-	-7 130 320	-7 025 320
1	867 856	654 986	-117 779	0	-5 725 257	-5 620 257
2	901 335	652 035	-120 370	0	-4 292 257	-4 187 257
3	936 106	649 098	-123 018	0	-2 830 071	-2 725 071
<b>4</b>	<b>972 218</b>	<b>646 174</b>	<b>-125 725</b>	<b>0</b>	<b>-1 337 405</b>	<b>-1 232 405</b>
<b>5</b>	<b>1 009 723</b>	<b>643 262</b>	<b>-128 491</b>	<b>0</b>	<b>187 089</b>	<b>292 089</b>
6	1 048 674	640 364	-131 318	0	1 744 811	1 849 811
7	1 089 129	637 479	-134 207	0	3 337 212	3 442 212
8	1 131 144	634 607	-137 159	0	4 965 804	5 070 804
9	1 174 780	631 748	-140 177	0	6 632 156	6 737 156
10	1 220 099	628 902	-143 261	0	8 337 896	8 442 896
11	1 267 166	626 069	-146 412	0	10 084 719	10 189 719
12	1 316 049	623 248	-149 633	0	11 874 383	11 979 383
13	1 366 818	620 441	-152 925	0	13 708 716	13 813 716
14	1 419 545	617 645	-156 290	0	15 589 617	15 694 617
15	1 474 307	614 863	-159 728	0	17 519 058	17 624 058
16	0	612 093	0	0	18 131 151	18 236 151
17	0	609 335	0	0	18 740 486	18 845 486
18	0	606 590	0	0	19 347 076	19 452 076
19	0	603 857	0	0	19 950 933	20 055 933
20	0	601 137	0	0	20 552 069	20 657 069

Využitím obou částí systému znovuvyužití odpadní vody lze po 15 letech provozu uspořit přes 17,5 milionů korun a po 20 letech provozu, v případě neobnovení modulů pro čištění šedé vody, přes 20,5 milionů korun. Graf 6.5 znázorňuje průběh peněžního toku během 20 let provozu technologie znovuvyužití odpadní vody a dobu návratnosti investice pro celý systém.



Graf 6.5 Doba návratnosti investice systému znovuvyužití odpadní vody

### 6.5.2 Celková čistá současná hodnota systému znovuvyužití odpadní vody

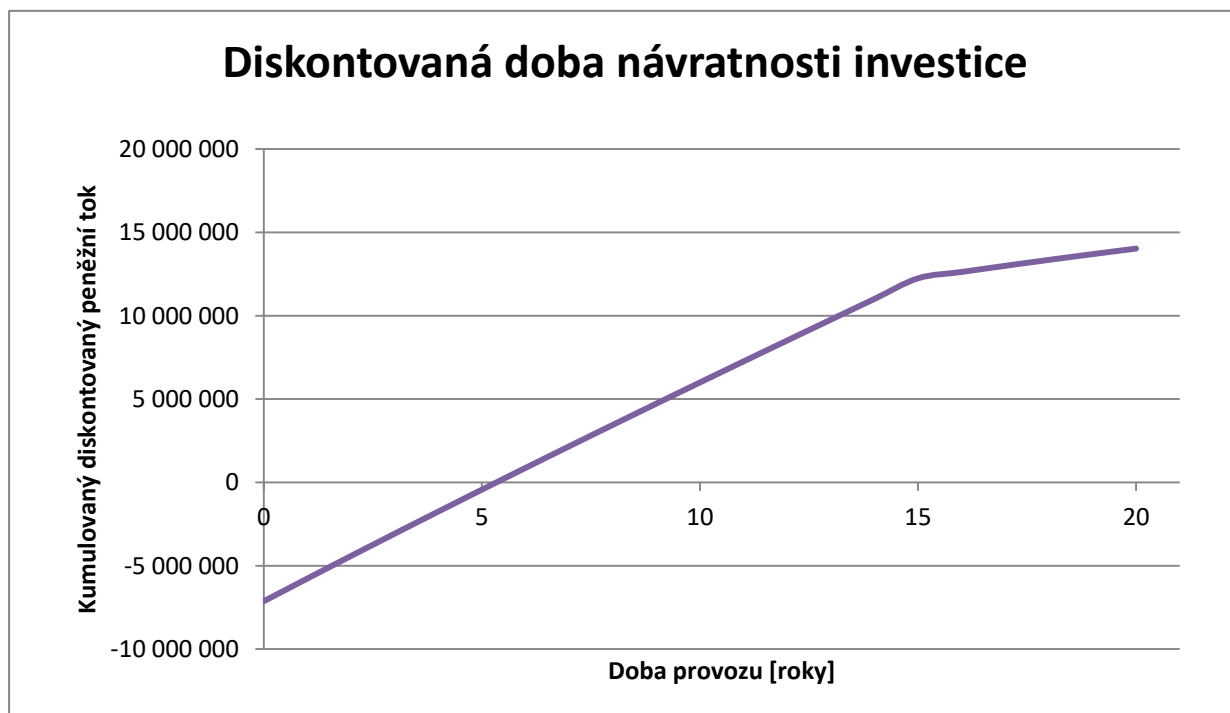
Tabulka 6.21 znázorňuje analýzu peněžních toků a výpočet čisté současné hodnoty systému rekuperace tepla z odpadní vody vypočtené dle vztahu (6.8). Hodnoty čistých peněžních toků (NFC) jsou tvořeny součtem hodnot roční úspory a provozních nákladů z výše provedených výpočtů. Diskontní faktor  $r^*$  představuje  $(1+r)^{-t}$ , diskontovaný peněžní tok (DCF) představuje součin  $CF_t$  a  $(1+r)^{-t}$ . Kumulovaný diskontovaný peněžní tok je označen KDFC.

Tabulka 6.21 Analýza peněžních toků a čistá současná hodnota komplexního systému znovuvyužití odpadní vody

Rok	0	1	2	3	4	5
NFC	-7 130 320	1 405 063	1 433 000	1 462 185	1 492 666	1 524 494
$r^*$	1.0000	0.9709	0.9426	0.9151	0.8885	0.8626
DCF	-7 130 320	1 364 139	1 350 740	1 338 107	1 326 215	1 315 042
KDFC	-7 130 320	-5 766 181	-4 415 441	-3 077 334	-1 751 119	-436 077
Rok	-	6	7	8	9	10
NFC	-	1 557 721	1 592 402	1 628 592	1 666 351	1 705 740
$r^*$	-	0.8375	0.8131	0.7894	0.7664	0.7441
DCF	-	1 304 567	1 294 768	1 285 626	1 277 120	1 269 231
KDFC	-	868 490	2 163 258	3 448 884	4 726 003	5 995 234
Rok	-	11	12	13	14	15
NFC	-	1 746 823	1 789 664	1 834 333	1 880 901	1 929 441

Rok	-	11	12	13	14	15
r*	-	0.7224	0.7014	0.6810	0.6611	0.6419
DCF	-	1 261 942	1 255 234	1 249 092	1 243 497	1 238 435
KDCF	-	7 257 176	8 512 410	9 761 502	11 004 999	12 243 434
Rok	-	16	17	18	19	20
NFC	-	612 093	609 335	606 590	603 857	601 137
r*	-	0.6232	0.6050	0.5874	0.5703	0.5537
DCF	-	381 436	368 658	356 308	344 371	332 835
KDCF	-	12 624 870	12 993 528	13 349 835	13 694 206	14 027 041
<b>Čistá současná hodnota systému</b>			<b>NPV = 14 027 041 Kč bez DPH</b>			

Průběh diskontované doby návratnosti je zobrazen v grafu 6.6. Z analýzy peněžních toků vyplývá, že po 15 letech užívání systému znovuvyužití šedých vod i rekuperace, lze uspořit 12,2 milionů korun. V případě neobnovení systému znovuvyužití ŠV po uplynutí doby jeho životnosti je pro roky 15 – 20 uvažována úspora pouze skrze rekuperační systém. Po 20 letech užívání systému je při 3% diskontu odhadována čistá současná hodnota přes 14 milionů korun.



Graf 6.6 Diskontovaná doba návratnosti komplexního systému znovuvyužití odpadní vody

## 7 ZÁVĚR

V rámci teoretické části diplomové práce byla vypracovaná rešerše odrážející dosavadní české i zahraniční poznatky o technologii znovuvyužití odpadní vody. První část rešerše reflektuje současný stav problematiky sucha a nedostatku vody v České Republice s nastíněním možnosti využití odpadní vody jako zdroje vody a tepelné energie. Následně jsou v rešerši definovány a podrobně rozepsány vlastnosti odpadní vody splaškové, šedé, černé, žluté a hnědé.

Druhá část rešerše diplomové práce je věnována možnostem využití a čištění splaškové a separované odpadní vody jako zdroje vody. V případě využití šedé vody jako alternativního zdroje vody je rešerše zaměřena především na membránové technologie čištění odpadní vody, druhy membránového čištění, materiál a konstrukce membrán a v neposlední řadě legislativní předpisy spjatými s problematikou znovuvyužití šedé vody.

Pro získání poznatků o znovuvyužití energie z odpadní vody je součástí rešerše problematiky rekuperace tepla z odpadní vody, principům zpětného získávání tepla z odpadní vody a druhy tepelných výměníků. Součástí teoretické části je i rešerše stávajících objektů v České Republice, využívajících systémy znovuvyužití pro hospodaření s odpadními vodami.

V praktické části diplomové práce byla zpracována studie znovuvyužití odpadní vody v nově navrhovaném obytném souboru ve městě Vsetín. Z architektonických výkresových podkladů byl stanoven počet bytů a počet osob – počet ekvivalentních obyvatel.

V první části studie je pro návrh membránové technologie čištění šedé vody stanovena potřeba pitné vody, produkce šedé vody z koupelen a praček pro jednotlivé bloky obytného souboru a potřeba bílé vody určené ke splachování toalet. Na základě získaných parametrů byly vybrány dva produkty membránových modulů od různých výrobců, jejichž charakteristiky, účinnosti a ceny byly porovnány pro výběr vhodné technologie. Membránový modul Aquaco Aerobic MBR společnosti Aqua-Aerobic Systems, Inc. byl sestaven technologie výrobce přesně pro účely návrhu membránového modulu pro obytný soubor. Přesto byl pro návrh čistící jednotky šedé vody použit produkt siClaro®FM společnosti Martin Systems pro jeho výhodnější parametry. Dále byla navržena akumuláční nádrž šedé vody s mechanickým předčištěním na nátok, do které bude membránový modul umístěn, a akumuláční nádrž bílé vody.

V rámci první části studie bylo provedeno ekonomické zhodnocení prostřednictvím doby návratnosti investice do systému znovuvyužití šedé vody jako zdroje vody. Zhodnocení zahrnuje soupis investičních nákladů (stavebních i technologických), provozních nákladů technologie, výpočet úspory, ekonomickou bilanci pomocí cash-flow a výpočet čisté současné hodnoty využívání systému. Výpočet zahrnuje také využití dotačního programu Dešťovka vypsaného Státním fondem životního prostředí pro systémy znovuvyužití odpadní vody. Prostá doba návratnosti investice byla stanovena na hodnotu do 5 let. Životnost membránové technologie je předpokládána na 15 let, úspora po této době užívání byla vypočtena na 11,2 milionů korun. Čistá současná hodnota systému znovuvyužití odpadní vody byla stanovena s 3% úrokovou mírou na téměř 7,9 milionů korun bez DPH.

Druhá část studie je zaměřena na návrh systému rekuperace tepla z odpadní vody. Pro výběr technologie byly vybrány čtyři tepelné výměníky od různých výrobců, dva horizontální a dva vertikální, a porovnány jejich charakteristiky, účinnosti a ceny. Pro návrh systému rekuperačních jednotek byl zvolen vertikální výměník ECOshower Pipe 15 společnosti Wagner Solar. V rámci návrhu byl stanoven výkon systému rekuperace a energie dodané ohřivanému médiu vztažená na jedno koupání.

Jako součást druhé části studie bylo rovněž provedeno ekonomické zhodnocení vypočtením doby návratnosti investice do systému rekuperace tepla z odpadní vody a čistá současná hodnota. Systém rekuperace tvoří 270 výměníků tepla, jeden pro každou bytovou jednotku. Investiční náklady na výměníky tepla jsou pouze technologického charakteru. Osazení výměníku tepla nevyžaduje stavební práce. Využívání výměníku tepla také nevykazuje žádné provozní náklady a jeho životnost je odhadována na 15 – 20 let. Pořízení výměníků tepla v bytových domech je podporováno dotačním programem Nová zelená úsporám pouze pro bytové domy v Praze, proto ekonomické zhodnocení nezahrnuje využití dotačního příspěvku. Doba návratnosti investice byla pomocí cash-flow se započtením meziročního nárůstu ceny elektrické energie stanovena na hodnotu necelých 5 let. V případě 15leté životnosti technologie lze předpokládat úsporu systému 6,3 milionů korun. Při 20leté životnosti lze využitím systému rekuperace dosáhnout na úsporu 9,3 milionů korun. Čistá současná hodnota systému rekuperace tepla z odpadní vody byla stanovena s 3% úrokovou mírou na 6,2 milionů korun bez DPH.

Studie uvažuje užití obou výše zmíněných částí pro systém znovuvyužití šedé odpadní vody, celý systém je názorně popsán a zobrazen v kapitole Technologické schéma systému znovuvyužití odpadní vody.

Poslední část studie je věnována komplexnímu ekonomickému zhodnocení pomocí doby návratnosti investice a NPV. Z této části vyplývá, že návratnost investice do systému by měla nastat do 5 let doby provozu technologie. Po 15 letech provozu systému je předpokládaná úspora přibližně 17,5 milionů korun, po 20 letech 20,5 milionů korun. Čistá současná hodnota investice s 3% diskontní úrokovou mírou byla stanovena na 14 milionů korun po 20 letech užívání systému.

Koncepční návrh znovuvyužití šedé odpadní vody jako zdroje vody i energie je z ekonomického i ekologického hlediska velmi výhodné a významné. Zavedením navrženého systému v obytném souboru lze ročně ušetřit 11 760 m<sup>3</sup> pitné vody a 175,7 MWh elektrické energie.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Nedostatek vody ve světě [5].....	4
Obrázek 2.1 Hydrologická mapa ČR (23.8.2018) [8].....	5
Obrázek 3.1 Systém znovuvyužití vody v Jeruzalémě (r. 1948) [61].....	15
Obrázek 3.2 Typy membránové filtrace [3][92] .....	21
Obrázek 4.1 Způsoby zapojení tepelného výměníku do systému TUV [14].....	28
Obrázek 5.1 Hotel Mosaic House v Praze [64].....	30
Obrázek 5.2 Čistící jednotka AQUALOOP firmy Asio v objektu centra Rozmarýnek [82]...	31
Obrázek 5.3 Přírodní kořenová čistírna šedých vod v Otevřené Zahradě [Velikovská].....	32
Obrázek 5.4 Čistící jednotka šedých a dešťových vod firmy ASIO (vlevo) [84], Hotel Galant v Mikulově (vpravo)[86].....	33
Obrázek 5.5 Bytový dům Botanica K společnosti SKANSKA v Praze [87].....	33
Obrázek 6.1 Zájmové území navrženého obytného souboru (červeně znázorněno) [96].....	34
Obrázek 6.2 Schéma obytného souboru.....	35
Obrázek 6.3 siClaro <sup>®</sup> FM MBR jednotka [97].....	41
Obrázek 6.4 Aqua Aerobic MBR jednotka [100] .....	42
Obrázek 6.5 Výměník tepla ECOshower Tray 900.....	50
Obrázek 6.6 Výměník tepla NELA [103] .....	50
Obrázek 6.7 Výměník tepla ECOshower Pipe 15 [102] .....	51
Obrázek 6.8 Výměník tepla R4-120[105].....	51
Obrázek 6.9 Schéma výměny tepla.....	53
Obrázek 6.10 Technologické schéma systému znovuvyužití odpadní vody.....	59

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 2.1 Podrobné rozdělení průměrné denní potřeby vody v domácnosti dle činností [3] .....	7
Graf 2.2 Porovnání produkce šedé a černé vody v domácnostech [3] .....	7
Graf 2.3 Distribuce znečištění v odpadních vodách [111] .....	13
Graf 2.4 Zastoupení nutrientů v odpadních vodách [3][64] .....	13
Graf 6.1 Doba návratnosti investice do systému čištění šedých vod .....	47
Graf 6.2 Diskontovaná doba návratnosti systému znovuvyužití šedé odpadní vody .....	49
Graf 6.3 Doba návratnosti investice systému rekuperace tepla z odpadní vody .....	57
Graf 6.4 Diskontovaná doba návratnosti systému rekuperace tepla z odpadní vody .....	57
Graf 6.5 Doba návratnosti investice systému znovuvyužití odpadní vody .....	62
Graf 6.6 Diskontovaná doba návratnosti komplexního systému znovuvyužití odpadní vody	63

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1	Specifická spotřeba vody fakturované v letech 1989 – 2017 [8][10] .....	6
Tabulka 2.2	Vybrané chemicko-fyzikální vlastnosti splaškových vod [59][60][67][18] .....	8
Tabulka 2.3	Koncentrace vybraných nutrientů ve splaškových vodách [19] .....	8
Tabulka 2.4	Hodnoty výskytu vybraného mikrobiologického znečištění ve splaškových vodách [57].....	9
Tabulka 2.5	Vybrané chemicko-fyzikální vlastnosti šedých vod podle jednotlivých kategorií [3][14][20][21][22][23][24][25][28][29][30][31][32][33][34] .....	10
Tabulka 2.6	Koncentrace nutrientů v šedých odpadních vodách [3][19] .....	10
Tabulka 2.7	Hodnoty výskytu vybraného mikrobiologického znečištění v šedých vodách [3][14][20][22][23][24][25][28][29][31].....	11
Tabulka 2.8	Vybrané chemicko-fyzikální vlastnosti černých vod [59][60][71][112] .....	11
Tabulka 2.9	Koncentrace vybraných nutrientů v černých vodách [112][59][60] .....	12
Tabulka 3.1	Základní charakteristiky jednotlivých membránových procesů [40][42] .....	23
Tabulka 3.2	Odstraňované látky v jednotlivých membránových procesech [38][40] .....	23
Tabulka 3.3	Srovnání doporučené kvality bílé vody ve vybraných zemích [44][45][46][47][48][47] .....	25
Tabulka 6.1	Vzorová tabulka sumarizace bytových jednotek - bytový dům BD A1a.....	35
Tabulka 6.2	Počet obyvatel v jednotlivých typech bytových jednotek.....	36
Tabulka 6.3	Rozdělení obytného souboru na blok sever a blok jih, včetně obsazenosti bytů. 36	
Tabulka 6.4	Potřeba vody pro bytové domy bloku sever.....	38
Tabulka 6.5	Potřeba vody pro bytové domy bloku jih.....	38
Tabulka 6.6	Produkce šedých odpadních vod a potřeba bílé vody .....	39
Tabulka 6.7	Účinnost čištění vody pomocí siClaro <sup>®</sup> FM [97].....	41
Tabulka 6.8	Účinnost čištění vody pomocí Aqua Aerobic MBR[110].....	42
Tabulka 6.9	Shrnutí výběru technologie .....	43
Tabulka 6.10	Průtokové charakteristiky membránové jednotky siClaro <sup>®</sup> FM [97].....	43
Tabulka 6.11	Investiční náklady pro znovuvyužití šedé vody jako zdroje vody .....	45
Tabulka 6.12	Průměrný nárůst ceny vody v zájmové lokalitě [98][99].....	45
Tabulka 6.13	Cash-flow využívání systému čištění šedých vod a jejich využití pro splachování.....	47
Tabulka 6.14	Analýza peněžních toků a čistá současná hodnota systému znovuvyužití šedé odpadní vody v Kč bez DPH.....	48
Tabulka 6.15	Shrnutí výběru technologie výměníku tepla .....	52
Tabulka 6.16	Průměrný nárůst ceny energie pro zájmovou oblast v letech 2013-2018 [108] 55	
Tabulka 6.17	Cash-flow využívání systému rekuperace tepla z odpadní vody .....	56

---

Tabulka 6.18 Analýza peněžních toků a čistá současná hodnota systému rekuperace tepla z odpadní vody v Kč bez DPH.....	58
Tabulka 6.19 Celkové investiční náklady systému znovuvyužití odpadní vody .....	60
Tabulka 6.20 Cash-flow využívání systém znovuvyužití odpadní vody .....	61
Tabulka 6.21 Analýza peněžních toků a čistá současná hodnota komplexního systému znovuvyužití odpadní vody .....	62

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] SMEDLEY, B. T. (2017). *Is the world running out of fresh water? Increasing temperatures and populations threaten a precious element and*, (April).
- [2] Innovative System for Heat Recovery from Wastewater. In: *HUBER Technology - waste water solution* [online]. [cit. 2018-10-02]. Dostupné z: [www.huber.de](http://www.huber.de)
- [3] RAČEK, Jakub. *Metodika návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech*. Brno, 2016. 198 s., 2 přílohy, Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce doc. Ing. Jaroslav Raclavský, Ph.D.
- [4] Směrnice Rady č. 91/271/EHS ze dne 21. května 1991, o čištění městských odpadních vod, ve znění Směrnice Komise č. 98/15/ES ze dne 27. února 1998.
- [5] CONNOR, R., LOUCKS, D. P., COSGROVE, W. J., ÜNVER, O., GREGO, S., & KONCAGÜL, E. (2012). *United Nations World Water Development Report 4. Volume 1: Managing Water under Uncertainty and Risk*. Retrieved from <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/wwdr4-2012/>
- [6] STÁTNI FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR. (2017). *Výzva č. 12/2017 k předkládání žádostí o poskytnutí podpory v rámci Národního programu Životní prostředí „Dešťovka“*, 2017, 1–28.
- [7] ČSN EN 12056-1 až 5: *Vnitřní kanalizace – Gravitační systémy – část 1 až 5*. Praha: Český normalizační institut, 2001. 14 s, 35 s, 36 s, 22 s, 12 s.
- [8] *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-01-08]. Dostupné z: [portal.chmi.cz](http://portal.chmi.cz)
- [9] Ministerstvo životního prostředí. (2018). *Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2017*. Retrieved from [www.eagri.cz](http://www.eagri.cz)
- [10] Český statistický úřad. (2018). *Vodovody, kanalizace a vodní toky - 2017*. Retrieved from <https://www.czso.cz/>
- [11] ČSN EN 12056-1 až 5: *Vnitřní kanalizace – Gravitační systémy – část 1 až 5*. Praha: Český normalizační institut, 2001. 14 s, 35 s, 36 s, 22 s, 12 s.
- [12] DIN 4045: *Abwassertechnik – Grundbegriffe* (Wastewater engineering), 2003
- [13] ELIDOR, M., *Grey Water Recycling Technologies for Toilet Flushing*, 2015
- [14] ŠVELLA, Pavel. Zpětné získávání tepla z odpadní vody - ZZTOV: Principy a doporučení pro plánování pro lokální jednotky. In: *Asionále 2018* [online]. 12.4.2018, s. 10 [cit. 2018-10-02].
- [15] ČSN EN 1717. *Ochrana proti znečištění pitné vody ve vnitřních vodovodech a všeobecné požadavky na zařízení na ochranu proti znečištění zpětným průtokem*. 2002.
- [16] MORONG, Miroslav. *Rekuperace tepla ve sprchách*. Praha, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Praze, fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.
- [17] BŘINDOVÁ, Romana. *Využití tepla odpadních vod*. Praha, 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Praze, fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.

- [18] ČSN 75 6101. Stokové sítě a kanalizační přípojky. 2012.
- [19] BARTONÍK, Adam; HOLBA, Marek; VRÁNA, Jakub; OŠLEJŠKOVÁ, Monika; PLOTĚNÝ, Karel: Šedé vody – možnosti využití jejich energetického potenciálu a způsoby jejich čištění a znovuvyužití. *Vodní hospodářství*, 2012, roč. 62., č. 2, s. 60-65. ISSN: 1211- 0760
- [20] BURROWS, W. D.; SCHMIDT, M. O.; CARNEVALE, R. M.; SCHAUB, S. A.: Non-potable reuse: Development of health criteria and technologies for shower water recycle. *Wat. Sci. Tech.*, 1991, 29(9), pp. 2169–2184.
- [21] BUTLER, D.; FRIEDLER, E.; GATT, K.: Characterising the quantity and quality of domestic wastewater inflows. *Wat. Sci. Tech.*, 1995, 31(7), pp. 13-20.
- [22] CASANOVA, L. M.; GERBA, Ch. P.; KARPISCAK. M.: Chemical and microbial characterization of household greywater. *J. Env. Sci. Health A*, 2001, 36(4), pp. 395-401.
- [23] CHRISTOVA-BOAL, D.; EDEN, R. E.; MCFARLANE, S.: An investigation into grey water reuse for urban residential properties. *Desalination* 106,1996, pp. 391-397.
- [24] ELMITWALLI, T.; MAHMOUD, N.; SOONS, J.; ZEEMAN, G.: Characteristics of grey water: Polderdrift, the Netherlands. *2nd international symposium on ecological sanitation*, 2003, Melbourne.
- [25] BIELA R. TOPINFO: Kvalita šedých vod a možnost jejich využití. *tzb-info.cz* [online]. 2011. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/8097-kvalita-sedych-vod-a-moznost-jejich-vyuziti>
- [26] BIELA, R.: Šedé vody, jejich kvalita a možnost využití. *SOVAK*, 2012, roč. 21., č. 2, s. 11-13. ISSN: 1210- 3039.
- [27] ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; MENZE, M.; LEDIN, A.: Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, 2002, 4(1), pp. 85-104.
- [28] SCHEUMANN, René, Fabio MASI, Bouchaib EL HAMOURI a Matthias KRAUME. Greywater treatment as an option for effective wastewater management in small communities. *Desalination and Water Treatment*[online]. 2012, 4(1-3), 33-39. DOI: 10.5004/dwt.2009.352. ISSN 1944-3994. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.5004/dwt.2009.352>
- [29] OLDENBURG, M., OTTERPOHL, R.: Untersuchungen zur anaeroben Behandlung von Fäkalabwasser mit Bioabfällen und weiteren Cosubstraten sowie der Grauwas-serreinigung am Pilotprojekt Lübeck-Flintenbreite. *Abschlussbericht Deutsche Bundesstiftung Umwelt*. 2005
- [30] PALMQUIST, H., HANAEUS, J.: Hazardous substances in separately collected grey-and blackwater from ordinary Swedish households. *Sci. Tot. Env.*, 2005, 348, pp. 151-163.
- [31] ROSE, J. B.; SUN, G.; GERBA, C. P.; SINCLAIR, N. A.: Microbial quality and persistence of enteric pathogens in grey water from various household sources. *Wat. Res.*, 1991, 25(1) pp. 37-42.
- [32] SANTALA, E.; UOTILA, J.; ZAITSEV, G.; ALASIURUA, R.; TIKKA, R.; TENGVALL, J. (1998): Microbiological greywater treatment and recycling in a apartment building. In: *Advanced Wastewater Treatment, Recycling and Reuse:*

- Selected Proceedings of the 6th International Conference on Advanced Wastewater Treatment, *Recycling and reuse*, Held in Milan, Italy, 14-16 September.
- [33] SHIN, H. S.; LEE, S. M.; SEO, I. S.; KIM, G. O.; LIM, K. H.; SONG, J. S.: Pilot scale SBR and MF operation for the removal of organic and nitrogen compounds from grey water. *Wat. Sci. Tech.*, 1998, 38(6), pp. 79-88.
- [34] SIEGRIST, R.; WITT, M.; BOYLE, W.C: Characteristics of rural household wastewater. *J. Env. Eng. Div.*, 1976, 102 pp. 533-548.
- [35] DING, A., LIANG, H., LI, G., SZIVAK, I., TRABER, J., & PRONK, W. (2017). A low energy gravity-driven membrane bioreactor system for grey water treatment: Permeability and removal performance of organics. *Journal of Membrane Science*, 542(August), 408–417. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.08.037>
- [36] American membrane technology. *Membrane Filtration for Water Reuse*. 2018. Retrieved from [www.amtaorg.com](http://www.amtaorg.com)
- [37] KETTNEROVÁ, M. (2018). Případová studie využití srážkových a šedých vod v budově základní školy. České Vysoké Učení Technické V Praze - katedra technických zařízení budov.
- [38] KOŽÍŠEK F.; *Jak by měli hygienici přistupovat k návrhům na využití vyčištěných odpadních vod*. In: Benáková A., Johanidesová I., Wanner J. (eds). Sborník přednášek a posterových sdělení z 11. bienální konference a výstavy VODA 2015; str. 9–16. Vydal Tribun EU, Brno 2015. ISBN 978-80-263-0971-0. (sborník příspěvků z 11. bienální konference a výstavy VODA 2015, konané v Poděbradech, 16.–18. 9. 2015).
- [39] ALBALAWNEH, A., & CHANG, T.-K. Review of the Greywater and Proposed Greywater Recycling Scheme for Agricultural Irrigation Reuses. ©International Journal of Research – GRANTHAALAYAH International Journal of Research – Granthaalayah, 2015, 3(12), 16–35.
- [40] Minnesota rural water association.. Chapter19: *Membrane Filtration*. *Minnesota Water Works Operations Manual*, 2001, 1–12. Retrieved from [http://www.mrwa.com/WaterWorksMnl/Chapter 19 Membrane Filtration.pdf](http://www.mrwa.com/WaterWorksMnl/Chapter%2019%20Membrane%20Filtration.pdf)
- [41] STEPHENSON, T., BRINDLE, K., JUDD, S., & JEFFERSON, B. (2000). Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment, 3. Retrieved from [https://www.amtaorg.com/Membrane\\_Bioreactors\\_for\\_Wastewater\\_Treatment.html](https://www.amtaorg.com/Membrane_Bioreactors_for_Wastewater_Treatment.html)
- [42] DOLEJŠ, Petr, Nataša KALOUSKOVÁ a Zuzana NOGOVÁ. Využití membránových procesů při úpravě pitné vody. In: Voda Zlín 2002 [online] Zlín: Moravská vodárenská, a.s., březen 2002. [cit. 2018-09-24]. Dostupné z WWW: <http://www.smv.cz/res/archive/014/001646.pdf>
- [43] EN 16941-2 *On-site-potable water system – Part 2: Systems for the use of treated greywater*, German and English version preN 16941-2:2017.
- [44] BS 8525-1:2010: Greywater systems – Part 1: Code of practice. BSI *British Standards*; 2010.
- [45] BS 8525-2:2011: Greywater systems – Part 2: Domestic greywater treatment equipment. Requirements and test methods. BSI *British Standards*; 2011.
- [46] Service water reused for toilet flushing, *Berlin Senate Department for Urban Development*, Germany; 1995 & 2003.

- [47] *Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing* [online]. Canada, 2010 [cit. 2019-01-08]. ISBN 978-1-100-15665-1. Dostupné z: <https://www.canada.ca/content/dam/canada/health-canada/migration/healthy-canadians/publications/healthy-living-vie-saine/water-reclaimed-recyclee-eau/alt/reclaimed-water-eaux-recyclees-eng.pdf>
- [48] *Water Science and Technology* [online]. 1996, 33(10-11) [cit. 2019-01-08]. ISSN 0273-1223. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(96\)00448-9](https://doi.org/10.1016/0273-1223(96)00448-9)
- [49] World Health Organization WHO. *Guidelines for Greywater Reuse for Different Purposes*, WHO/CEHA, 2006.
- [50] KOŽÍŠEK, F. Šedé vody z pohledu hygienika a legislativy. *Sovak*, 2012, č. 2, s. 14.
- [51] MAUNSELL, F.: *Greywater Recycling & Rainwater Harvesting Feasibility Study Sustainable Eastside*, Groundwork Birmingham, 2004. 36 s.
- [52] ASIO, spol. s r.o.: Dělení vod, bílé a šedé vody – nové poznatky a možnosti využití. *Asio.cz* [online]. Plotěný K. 2011. [cit. 2018-09-07]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/55.deleni-vod-bile-a-sede-vody-nove-poznatky-a-moznosti-vyuziti>
- [53] PIDOU, M.: *Hybrid membrane processes for water reuse*, Cranfield university, School of Applied Science, Department of Sustainable Systems, Centre for Water Science, PhD Thesis, 2006, supervisor: Dr. Bruce Jefferson.
- [54] Oasis design: Common Grey Water Errors and Preferred Practices. [www.oasisdesign.net](http://www.oasisdesign.net) [online]. 2009, ©1997-2012 [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <http://www.oasisdesign.net/greywater/misinfo/index.htm>
- [55] CSA B55.1-15: Test method for measuring efficiency and pressure loss of drain water heat recovery units. *Canadian Standards Association*. Canada, 2015.
- [56] NEN 7120:2011/C2:2011. Energieprestatie van gebouwen - *Bepalingsmethode*. *Nederlands*, 2011.
- [57] BERÁNKOVÁ, M. Odpadní voda – odpad nebo poklad?. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2016, roč. 58, č. 2, str. 43–45. ISSN 0322-8916.
- [58] PLOTĚNÝ, Karel (ASIO NEW, spol. s r. o. (2016). Tradiční a kombinace netradiční technologie a jejich kombinace. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/499.tradicni-a-netradicni-technologie-a-jejich-kombinace>
- [59] HOCAOGLU, S. M., INSEL, G., COKGOR, E. U., BABAN, A., & ORHON, D. (2010). COD fractionation and biodegradation kinetics of segregated domestic wastewater: Black and grey water fractions. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 85(9), 1241–1249. <https://doi.org/10.1002/jctb.2423>
- [60] GLOMBOVÁ, B. P. (2015). *Stanovení viskozity pro různé typy splaškových vod*. Vysoké učení technické v brně. Retrieved from <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/37528/22610.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- [61] BERGER, Diego. The evolution of the Water Sector in Israel: Integrative water resources management in Israel and use of smart technologies [online]. In: . 4.11.2018, s. 30 [cit. 2018-12-01].
- [62] NOVÁČEK, Petr. Rekuperace tepla z odpadních vod jako alternativa vytápění a klimatizace budov. In: SDRUŽENÍ OBORU VODOVODU A KANALIZACÍ

- ČR. *Provoz vodovodu a kanalizací 2017: Sborník referátů*. Ostrava, 2017, s. 188-190.
- [63] TUHOVČÁK, L. a kol.: *Vodárenství. Elektronická studijní opora*. Brno: VUT v Brně, 2006.
- [64] BERÁNKOVÁ, Martina, Dagmar VOLOŠINOVÁ, Lada STEJSKALOVÁ a Elžbieta ČEJKOVÁ. V ČR se začalo využívání tzv. šedých vod skloňovat ve všech pádech [online]. 7.8.2017 [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/16101-v-cr-se-zacalo-vyuzivani-tzv-sedych-vod-sklonovat-ve-vsech-padech>
- [65] *Hansgrohe Česká Republika: MOSAIC HOUSE \*\*\*\* hotel, PRAHA 2* [online]. Brno [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <http://www.hansgrohe.cz/13357.htm>
- [66] *MOSAIC HOUSE* [online]. Praha [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <https://www.mosaichouse.com/cs/we-sustain/>
- [67] P., HLAVÍNEK, MIČÍN J., PRAX P., MIFEK R. a HLUŠTÍK P. *Stokování a čištění odpadních vod*. Brno: VUT v Brně, FAST, 2006.
- [68] BAUDIŠOVÁ, Dana. Mikrobiální znečištění povrchových a odpadních vod: Subprojekt 3609 – VZ 01 [online]. In: . 2008 [cit. 2018-12-27].
- [69] PITTER, P.: *Hydrochemie*, Místo vydání: VŠCHT, Vydavatelství: UNITISK, s.r.o., Rok vydání: 1999, 568 stran, ISBN 80-7080-340-1.
- [70] ASB-PORTAL: Nové metody nakládání s odpadními vodami. *asb-portal.cz* [online]. 2011 Mífková Tatiana, ©2013. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/tzb/zdravotni-technika/nove-metody-nakladani-s-odpadnimi-vodami-2687.html>
- [71] OARGA-MULEC, Andreea, Petter D. JENSSEN, Aleksandra KRIVOGRAD KLEMENČIČ, Matej URŠIČ a Tjaša GRIESSLER BULC. Zero-discharge solution for blackwater treatment at remote tourist facilities. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2017, **166**, 798-805 [cit. 2018-12-29]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.08.002. ISSN 09596526. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652617317171>
- [72] SOMMER, L.: *Malé čistírny odpadních vod*. MZe ČR, Praha, 1993, 186 str., ISBN 80-7084-059-5
- [73] VYMAZAL, Jan. Jan Vymazal: Kořenové čistírny mají výrazně nižší náklady na provoz. In: BEZK. *Ekolist.cz: zprávy o přírodě, životním prostředí a ekologii* [online]. 2012 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/jan-vymazal-korenove-cistirny-maji-vyrazne-nizsi-naklady-na-provoz>
- [74] HORÁČEK, Filip. *Splachovat pitnou vodou je barbarství. Musí se to změnit, řekl Brabec* [online]. In: 2017. Dostupné z: [https://ekonomika.idnes.cz/tiskni.aspx?r=ekonomika&c=A170116\\_141237\\_ekonomika\\_fih](https://ekonomika.idnes.cz/tiskni.aspx?r=ekonomika&c=A170116_141237_ekonomika_fih)
- [75] KJERSTADIUS, H., S. HAGHIGHATAFCHAR a Å. DAVIDSSON. Potential for nutrient recovery and biogas production from blackwater, food waste and greywater in urban source control systems. *Environmental Technology* [online]. 2015, **36**(13), 1707-1720 [cit. 2018-12-30]. DOI: 10.1080/09593330.2015.1007089. ISSN 0959-

3330. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593330.2015.1007089>
- [76] Haber process. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Haber\\_process](https://en.wikipedia.org/wiki/Haber_process)
- [77] FURTER, William F. *A Century of chemical engineering* [online]. New York: Plenum Press, c1982 [cit. 2018-12-30]. ISBN 978-0-306-40895-3.
- [78] BERÁNKOVÁ, M., VOLOŠINOVÁ, D., STEJSKALOVÁ, L. a ČEJKOVÁ, E. Vypustit nebo znovu využít?. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2017, roč. 59, č. 3, str. 27–31. ISSN 0322-8916.
- [79] DREW, B.; HANSON, R.: Greywater Recycling – An Untapped Resource Inside Buildings. Dostupné z: <http://ecovieenvironmental.com/greywater-recycling-an-untapped-resource-inside-buildings/>
- [80] BERÁNKOVÁ, Martina, Dagmar VOLOŠINOVÁ a Lada STEJSKALOVÁ. V ČR se začalo využívání tzv. šedých vod skloňovat ve všech pádech. *Tzbinfo* [online]. Výzkumný Ústav Vodohospodářský T. G. Masaryka, Veřejná Výzkumná Instituce, 2017 [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/16101-v-cr-se-zacalo-vyuzivani-tzv-sedych-vod-sklonovat-ve-vsech-padech>
- [81] *Lipka: Školské zařízení pro environmentální vzdělávání* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <http://www.lipka.cz/rozmarynek?idm=22>
- [82] PLOTĚNÝ, Karel. *Udržitelné hospodaření s vodou v domě: Nekonvenční aranžování sanitárních systémů* [online]. In: . 2016, s. 1-83 [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/Baobaby1/karel-plotn-udriteln-hospodaen-s-vodou-v-dom>
- [83] *Otevřená zahrada: Nadace Partnerství* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: [www.otevrenazahrada.cz](http://www.otevrenazahrada.cz)
- [84] PIŇOS, Stanislav. *RECYKLACE ŠEDÝCH VOD A JEJICH ENERGIE* [online]. In: . Brno: ASIO, spol. s r.o., 2016 [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/560.recyklace-sedych-vod-a-jejich-energie>
- [85] E.ON Energy Globe Award ČR 2013: Rozhovor s absolutním vítězem. *E.ON Czech* [online]. České Budějovice: E.ON Česká republika, 2013(11), 4-5 [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: [https://www.eon.cz/-a7575---E32W9k2\\_/listopad-pdf](https://www.eon.cz/-a7575---E32W9k2_/listopad-pdf)
- [86] Hotel Galant. In: *Czechhotels.com: Asociace cestovních kanceláří* [online]. 2017 [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: [http://www.czechhotels.com/galant\\_c.php?site=other](http://www.czechhotels.com/galant_c.php?site=other)
- [87] *Homes by Skanska: Skanska Reality* [online]. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: <https://reality.skanska.cz/>
- [88] PLOTĚNÝ, Karel. COLOR OF WATER – DĚLENÍ VOD. In: *Srážkové a šedé vody aneb „colors of water“* [online]. 2013 [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/177.color-of-water-deleni-vod>
- [89] EGYPTIAN-GERMAN PRIVATE SECTOR DEVELOPMENT PROGRAMME. *Grey water recycling & reuse: Towards a sustainable unitization of domestic water* [online]. Deutsche Gesellschaft fur internationale zusammenabeit, 2011 [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: <http://www.yemenwater.org/wp-content/uploads/2015/11/Grey-Water-Treatment.pdf>

- [90] TLAŠEK, Miroslav. Využití tepla z odpadní vody. Brno, 2014. 65 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA.
- [91] MAKROPOULOS, C., E. ROZOS, I. TSOUKALAS, et al. Sewer-mining: A water reuse option supporting circular economy, public service provision and entrepreneurship. *Journal of Environmental Management* [online]. 2018, **216**, 285-298 [cit. 2019-01-06]. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.07.026. ISSN 03014797. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479717306928>
- [92] JUDD, S., JUDD, C., *The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*, 2006, ISBN: 978-1-85617-481-7.
- [93] CHUDOBA, Jan, DOHÁNYOS, Michal, WANNER, Jiří. Biologické čištění odpadních vod. Praha : SNTL, 1991. 468 s. 1. ISBN 80-03-00611-2.
- [94] *PREdistribuce* [online]. Praha, 2018 [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <https://www.predistribuce.cz/cs/>
- [95] SCHMID, Felix. *SEWAGE WATER INTERESTING HEAT SOURCE FOR HEAT PUMPS AND CHILLERS*. In: [online]. 2008. vyd. Zürich, Switzerland: SwissEnergy Agency for Infrastructure Plants [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/123320392/SEWAGE-WATER-INTERESTING-HEAT-SOURCE-FOR-HEAT-PUMPS-AND-CHILLERS> British Standard BS 8525-1:2010. Greywater systems – Part 1: Code of practice. UK: BSI, 2010.
- [96] ČUZK: *Státní správa zeměměřičtví a katastru* [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: <https://www.cuzk.cz/>
- [97] *Martin Membrane Systems* [online]. Berlín, 2019 [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: [www.martin-membrane.de/en/](http://www.martin-membrane.de/en/)
- [98] *Pravdaovode.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: [www.pravdaovode.cz](http://www.pravdaovode.cz)
- [99] *Vodovody a kanalizace Vsetín, a.s.* [online]. Vsetín, 2013 [cit. 2019-01-06]. Dostupné z: [www.vakvs.cz](http://www.vakvs.cz)
- [100] *Aqua-Aerobic Systems, Inc.: A Metawater Company* [online]. UK, 2010 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <http://www.aqua-aerobic.com/>
- [101] *VYBRANÉ PŘÍKLADY Z EKONOMIKY NEROSTNÝCH SUROVIN*. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/cvekonomika/index.html>
- [102] *Wagner Solar* [online]. Cölbe [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: [www.wagner-solar.com](http://www.wagner-solar.com)
- [103] *Sakal: Technologie pro úspory energií* [online]. 2019 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: [www.sakal-ovt.cz](http://www.sakal-ovt.cz)
- [104] SRDEČNÝ, Karel. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2009. ISBN 978-80-7212-519-7.
- [105] *Power-pipe: Waste water heat recovery systems* [online]. Liverpool, UK [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: [www.powerpipehr.co.uk](http://www.powerpipehr.co.uk)
- [106] Water2Energy: Využijte energii z vody. In: *Veoliavoda* [online]. [cit. 2017-09-10]. Dostupné z: <http://www.veoliavoda.cz/czech-republic-water/ressources/files/1/35727,Water-2-Energy-complete-CZ.pdf>

- [107] REINBERK, Zdeněk. *Výpočet doby ohřevu teplé vody* [online]. In: . TZB.INFO [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/97-vypocet-doby-ohrevu-teple-vody>
- [108] *E.ON* [online]. České Budějovice, 2019 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: [www.eon.cz](http://www.eon.cz)
- [109] Nová zelená úsporám: Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu NZÚ RODINNÉ DOMY v rámci 3. výzvy k podávání žádosti [online]. In: STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR. 15.10.2018 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: [www.novazelenausporam.cz](http://www.novazelenausporam.cz)
- [110] NOWICKI, Jacob. *Process Design Report: College Student Projects*. Design# 154703. USA: Aqua-Aerobic Systems, 2019.
- [111] GULYAS, Holger a Claudia WENDLAND. *Characteristic, analytic and sampling of wastewater* [online]. In: . [cit. 2019-01-09]. Dostupné z: [https://cgi.tu-harburg.de/~awwwweb/wbt/emwater/documents/slides\\_a1.pdf](https://cgi.tu-harburg.de/~awwwweb/wbt/emwater/documents/slides_a1.pdf)
- [112] CHAKKARWAR, Priyanka a Amol KINGE. A cross sectional study on assessment of epidemiological factors associated with open field defecation in a tribal community. *International Journal Of Community Medicine And Public Health* [online]. 2018, 6(1), 164-167 [cit. 2019-01-09]. DOI: 10.18203/2394-6040.ijcmph20185237. ISSN 2394-6040. Dostupné z: <https://www.ijcmph.com/index.php/ijcmph/article/view/3461>
- [113] MATUŠKA, Tomáš a Roman VAVŘIČKA. Účinnost rekuperačního výměníku odpadní vody není rovna úspoře tepla. In: *TZB.info* [online]. 25.4.2016 [cit. 2019-01-09]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/uspory-voda-kanalizace/14105-ucinnost-rekuperacniho-vymeniku-odpadni-vody-neni-rovna-uspore-tepla>
- [114] OTTERPOHL, R.. New technological development in ecological sanitation. *Proceedings of 2nd international symposium on ecological sanitation*, April 2003, Lübeck, Germany, p. 455
- [115] PIDOU, M.: *Hybrid membrane processes for water reuse*, Cranfield university, School of Applied Science, Department of Sustainable Systems, Centre for Water Science, PhD Thesis, 2006, supervisor: Dr. Bruce Jefferson.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AN <sub>BV1</sub>	Akumulační nádrž bílých přečištěných vod bloku jih
AN <sub>BV2</sub>	Akumulační nádrž bílých přečištěných vod bloku sever
BD	Bytový dům
BSK <sub>5</sub>	Biochemická spotřeba kyslíku po 5 dnech
BV	Bílá voda
c	Měrná tepelná kapacita vody
CF	Cash-flow (peněžní tok)
CHSK <sub>Cr</sub>	Chemická spotřeba kyslíku
ČJŠV	Čistící jednotka šedé vody
ČOV	Čistírna odpadních vod
c <sub>wh</sub>	Měrná tepelná kapacita vody přepočtená na W.h.kg <sup>-1</sup> .°C <sup>-1</sup>
DČOV	Domovní čistírna odpadních vod
E	Energie dodaná přiváděnému médiu
GAU	Granulované aktivní uhlí
IN	Investiční výdaj
k <sub>d</sub>	Koeficient denní nerovnoměrnosti
k <sub>h</sub>	Koeficient hodinové nerovnoměrnosti
KTJ	Kolonie tvořící jednotky
m	Hmotnost vody
MBR	Membránový bioreaktor
MF	Mikrofiltrace
N <sub>celk</sub>	Celkový dusík
NF	Nanofiltrace
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amonium
N <sub>inv</sub>	Celkové investiční náklady
NL	Nerozpuštěné látky
NP	Nadzemní podlaží
N <sub>prov</sub>	Provozní náklady
NPV	Net Present Value - čistá současná hodnota
N <sub>stav</sub>	Investiční náklady technologie
N <sub>tech</sub>	Investiční náklady stavební části
NTU	Nephelometric Turbidity Units
P <sub>celk</sub>	Celkový fosfor
PBJ	Počet bytových jednotek

---

$P_{\text{MBR}}$	Počet MBR modulů
PO	Počet obyvatel
Q	Průtok odpadní vody
$Q_d$	Maximální denní průtok
$Q_h$	Maximální hodinový průtok
$Q_{h,\text{MBR}}$	Maximální hodinový průtok MBR modulem
$Q_p$	Průměrný denní průtok
$Q_{p,\text{BV}}$	Potřeba bílých vod
$Q_{p,\text{MBR}}$	Průměrný průtok MBR modulem
$Q_{\text{prod},\text{ŠV}}$	Produkce šedých vod
$q_{\text{spec}}$	Specifická potřeba vody
$Q_{\text{spec,celkem}}$	Specifické množství vody fakturované celkem
$Q_{\text{spec,domácnost}}$	Specifické množství vody fakturované domácnostem
RL	Rozpuštěné látky
RO	Reverzní osmóza
ŠV	Šedá voda
$T_0$	Teplota studené vody na vstupu do výměníku
$T_1$	Teplota přehřáté vody na výstupu z výměníku
$T_p$	Prostá doba návratnosti
$T_t$	Teplota odpadní vody na vstupu do výměníku
TUV	Teplá užitková voda
TZB	Technické zabezpečení budov
UF	Ultrafiltrace
V	Objem přehřáté vody
WOP	Množství odebraného tepla (výkon)
$\mu_{\text{stac}}$	Stacionární účinnost výměníku tepla
$\rho$	Měrná hmotnost vody

## SUMMARY

This diploma thesis presents the knowledge of wastewater reuse. The theoretical part of the thesis describes types of wastewater (greywater, brownwater, and yellow-water) and their characteristics. Further, the theoretical part describes the possibilities of re-use of wastewater as a source of water in detail, including treatment technology, and the heat recuperation from wastewater. The practical part of the thesis uses gained knowledge for designing a greywater treatment and heat recovery technology of grey water in an apartment complex.

The practical part of the thesis uses gained knowledge for applying reuse technologies in an apartment complex located in Vsetín. The study is divided into two parts. The first part is focused on greywater treatment technology design based on membrane filtration. Membrane treatment unit has been chosen from two types of MBR technology, flat plate, and hollow fiber membrane. Martin Systems' flat plate membrane has been used for this study. This part also consists of design storage reservoir for grey and white water and economic assessment of the investment in the technology. The second part of the practical part is focused on heat recovery technology. The selection of heat recovery technology between four heat exchangers, two horizontal and two vertical heat exchangers is also described, as well as the economic assessment of the investment in the technology. The concept of wastewater reuse technology is based on both of these parts and assessed economically together.

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č.1: Tabulky sumarizace bytových jednotek pro jednotlivé bytové domy

Příloha č.2: Tabulky sumarizace obsazenosti bytových domů

Příloha č.3: Blokové schéma využití šedých a bílých vod

Příloha č. 1:

TABULKY SUMARIZACE BYTOVÝCH JEDNOTEK PRO JEDNOTLIVÉ BYTOVÉ DOMY

<b>Označení bytového domu:</b>		<b>BD A1a</b>			
<b>Počet bytových jednotek dle typu a podlaží:</b>					
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP
1+1		2	2	2	
1+kk		2	2	2	
2+kk		2	2	2	
3+kk					2
4+kk					
počet bytů	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>2</b>
Celkem	<b>20</b>				

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD A1b</b>			
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>					
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP
1+1		2	2	2	
1+kk		2	2	2	
2+kk		2	2	2	
3+kk					2
4+kk					
počet bytů	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>2</b>
Celkem	<b>20</b>				

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD A1c</b>			
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>					
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP
1+1		2	2	2	0
1+kk		2	2	2	0
2+kk		2	2	2	0
3+kk					2
4+kk					
počet bytů	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>2</b>
Celkem	<b>20</b>				

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD A2</b>				
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1					3	
1+kk		10	10	10		
2+kk						
3+kk						
4+kk						
počet bytů	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	
Celkem	<b>33</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD A3</b>				
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1		2	2	2	1	
1+kk		9	9	9	2	
2+kk						
3+kk						
4+kk						
počet bytů	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>3</b>	
Celkem	<b>36</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD B1</b>				
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk	2	1	1	1		
2+kk						
3+kk		2	2	2		
4+kk		1	1	1		
počet bytů	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>14</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD B2</b>				
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk	2	1	1	1		
2+kk						
3+kk		2	2	2		
4+kk		1	1	1		
počet bytů	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>14</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD C1</b>				
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	2	1	1			
3+kk		2	2			
4+kk				2		
počet bytů	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>10</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD C2</b>				
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	2	1	1			
3+kk		2	2			
4+kk				2		
počet bytů	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>10</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD C3</b>				
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	2	1	1			
3+kk		2	2			
4+kk				2		
počet bytů	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>10</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD C4</b>				
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	2	1	1			
3+kk		2	2			
4+kk				2		
počet bytů	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>10</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD C5</b>				
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	1					
3+kk	2					
4+kk		2	2			
počet bytů	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>7</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD C6</b>				
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	1					
3+kk	2					
4+kk		2	2			
počet bytů	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>7</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD C7</b>				
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	1					
3+kk	2					
4+kk		2	2			
počet bytů	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>7</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD C8</b>				
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	1					
3+kk	2					
4+kk		2	2			
počet bytů	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>7</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD C9</b>				
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	1					
3+kk	2					
4+kk		2	2			
počet bytů	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>7</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD D1</b>				
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	2	1	1	1	1	
3+kk	2	3	3	3	3	
4+kk						
počet bytů	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	
Celkem	<b>20</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD E1</b>				
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk						
3+kk		1	1	1		
4+kk		1	1	1		
počet bytů	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>6</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD F1</b>				
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk						
3+kk	2					
4+kk						
5+1	2					
počet bytů	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>4</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD F2</b>				
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+kk						
2+kk						
3+kk	2					
4+kk						
5+1	2					
počet bytů	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>4</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD F1</b>				
<b>Počet bytů dle typu a podlaží</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+kk						
2+kk						
3+kk	2					
4+kk						
5+1	2					
počet bytů	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>4</b>					

Příloha č. 2:

TABULKY SUMARIZACE OBSAZENOSTI BYTOVÝCH DOMŮ

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD A1a</b>			
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>					
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP
1+1		3	3	3	
1+kk		3	3	3	
2+kk		4	4	4	
3+kk					6
4+kk					
PO	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>6</b>
Celkem	<b>36</b>				

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD A1b</b>			
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>					
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP
1+1		3	3	3	
1+kk		3	3	3	
2+kk		4	4	4	
3+kk					6
4+kk					
PO	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>6</b>
Celkem	<b>36</b>				

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD A1c</b>			
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>					
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP
1+1		3	3	3	
1+kk		3	3	3	
2+kk		4	4	4	
3+kk					6
4+kk					
PO	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>6</b>
Celkem	<b>36</b>				

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD A2</b>			
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>					
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP
1+1					4,5
1+kk		15	15	15	
2+kk					
3+kk					
4+kk					
PO	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>4,5</b>
Celkem	<b>49,5</b>				

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD A3</b>			
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>					
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP
1+1		3	3	3	1.5
1+kk		13.5	13.5	13.5	3
2+kk					
3+kk					
4+kk					
PO	<b>0</b>	<b>16.5</b>	<b>16.5</b>	<b>16.5</b>	<b>4.5</b>
Celkem	<b>54</b>				

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD B1</b>			
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>					
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP
1+1					
1+kk	3	1.5	1.5	1.5	
2+kk					
3+kk		6	6	6	
4+kk		4	4	4	
PO	<b>3</b>	<b>11.5</b>	<b>11.5</b>	<b>11.5</b>	<b>0</b>
Celkem	<b>37,5</b>				

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD B2</b>				
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk	3	1.5	1.5	1.5		
2+kk						
3+kk		6	6	6		
4+kk		4	4	4		
PO	<b>3</b>	<b>11.5</b>	<b>11.5</b>	<b>11.5</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>37,5</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD C1</b>				
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	4	2	2			
3+kk		6	6			
4+kk				8		
PO	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>28</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD C2</b>				
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	4	2	2			
3+kk		6	6			
4+kk				8		
PO	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>28</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD C3</b>				
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	4	2	2			
3+kk		6	6			
4+kk				8		
PO	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>28</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD C4</b>				
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	4	2	2			
3+kk		6	6			
4+kk				8		
PO	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>28</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD C5</b>				
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	2					
3+kk	6					
4+kk		8	8			
PO	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>24</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD C6</b>				
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	2					
3+kk	6					
4+kk		8	8			
PO	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>24</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD C7</b>				
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	2					
3+kk	6					
4+kk		8	8			
PO	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>24</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD C8</b>				
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	2					
3+kk	6					
4+kk		8	8			
PO	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>24</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD C9</b>				
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	2					
3+kk	6					
4+kk		8	8			
PO	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>24</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD D1</b>				
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk	4	2	2	2	2	
3+kk	6	9	9	9	9	
4+kk						
PO	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	
Celkem	<b>54</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD E1</b>				
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk						
3+kk		3	3	3		
4+kk		4	4	4		
PO	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>21</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD F1</b>				
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+1						
1+kk						
2+kk						
3+kk	6					
4+kk						
5+1	8					
PO	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>14</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD F2</b>				
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+kk						
2+kk						
3+kk	6					
4+kk						
5+1	8					
PO	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>14</b>					

<b>OZNAČENÍ DOMU:</b>		<b>BD F3</b>				
<b>Počet obyvatel dle typu bytu a podlaží:</b>						
	1 NP	2 NP	3 NP	4 NP	5 NP	
1+kk						
2+kk						
3+kk	6					
4+kk						
5+1	8					
PO	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Celkem	<b>14</b>					

Příloha č. 3:

BLOKOVÉ SCHÉMA VYUŽITÍ ŠEDÝCH A BÍLÝCH VOD

