

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV**



**VYUŽITÍ ODPADNÍCH VOD V BYTOVÉM  
DOMĚ**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vypracoval:**

**Adam Palkovič**

**Vedoucí práce:**

**Ing. Zuzana Veverková, Ph.D.**

**2022/2023**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Palkovič	Jméno: Adam	Osobní číslo: 484602
Zadávající katedra: K125 - Katedra technických zařízení budov		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor/specializace: Konstrukce pozemních staveb		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Využití odpadních vod v bytovém domě	
Název bakalářské práce anglicky: Use of wastewater in an apartment building	
Pokyny pro vypracování: Studie využití odpadních vod, návrh možných variant pro zadaný objekt, vč. výběru vhodné varianty.	
Zpracování projektu vybrané varianty: - projekt vodovodu a kanalizace zvolené varianty - půdorysy, svislé řezy, podélné řezy, výpočty, technické zprávy.	
Seznam doporučené literatury: prof. Ing. K.Kabele, CSc. a kol.: Energetické a ekologické systémy 1 - skriptum ČVUT Valášek, J. a kol. - Zdravotnětechnická zařízení budov, Jaga 2006, ISBN 80-88905-60-5. ČSN 75 5409 Vnitřní vodovody. ČNI 2013 ČSN 75 6760 Vnitřní kanalizace. ČNI 2014	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Zuzana Veverková, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2023	Termín odevzdání BP v IS KOS: 22.5.2023
<i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>	
_____	_____
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

_____	_____
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů

V Praze dne 22.5.2023

.....

Adam Palkovič

## **Poděkování**

Děkuji Ing. Zuzaně Veverkové, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a lidský přístup během konzultací.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině a kamarádům za podporu během studia.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá možností využití odpadních vod, převážně šedé a dešťové, u bytového domu, definuje druhy odpadních vod, popisuje různé druhy čištění a ukazuje realizace jak v Česku, tak v zahraničí.

Praktická část práce obsahuje projekt kanalizace a vodovodu bytového domu včetně výkresů a výpočtů.

## **Klíčová slova**

Šedá voda, dešťová voda, recyklace vody, bytový dům, kanalizace, vodovod

## **Abstract**

The bachelor thesis focuses on different uses of wastewater (especially greywater and rainwater) in an apartment building, defines types of wastewaters, shows different purification methods and different implementations in the Czech Republic and abroad.

The second part consists of a project of sewage system and water pipeline including drawings and calculations.

## **Key words**

Greywater, rainwater, water recycling, apartment building, sewage system, water pipeline

# Obsah

<b><u>1. ÚVOD</u></b>	<b><u>- 1 -</u></b>
<b><u>2. SPOTŘEBA VODY V DOMÁCNOSTECH</u></b>	<b><u>- 2 -</u></b>
<b><u>3. ODPADNÍ VODY Z DOMÁCNOSTÍ</u></b>	<b><u>- 2 -</u></b>
<b>3.1 ČERNÁ VODA</b>	<b>- 3 -</b>
3.1.1 ŽLUTÁ VODA	- 4 -
3.1.2 HNĚDÁ VODA	- 4 -
<b>3.2 DEŠŤOVÁ VODA</b>	<b>- 4 -</b>
3.2.1 PŘÍNOSY HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVOU VODOU	- 5 -
3.2.2 ZNEČIŠTĚNÍ A ÚPRAVA	- 5 -
3.2.3 MOŽNOSTI VYUŽITÍ V OBYTNÝCH BUDOVÁCH	- 7 -
<b>3.3 ŠEDÁ VODA</b>	<b>- 8 -</b>
3.3.1 ZNEČIŠTĚNÍ ŠEDÉ VODY	- 9 -
3.3.2 DRUHY ČIŠTĚNÍ	- 10 -
3.3.2.1 Mechanické čištění	- 10 -
3.3.2.2 Chemické čištění	- 10 -
3.3.2.3 Fyzikální čištění	- 10 -
3.3.2.4 Biologické čištění	- 11 -
3.3.2.5 Přírodní způsoby čištění	- 11 -
3.3.2.6 Dezinfekce	- 12 -
3.3.3 ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA Z ODPADNÍ VODY	- 12 -
3.3.4 PŘÍNOSY VYUŽÍVÁNÍ ŠEDÉ VODY	- 13 -
<b><u>4. LEGISLATIVA O VYUŽÍVÁNÍ ODPADNÍ VODY</u></b>	<b><u>- 13 -</u></b>
<b>4.1 LEGISLATIVA V ČESKU</b>	<b>- 13 -</b>
<b>4.2 LEGISLATIVA V ZAHRANIČÍ</b>	<b>- 15 -</b>
4.2.1 NĚMECKO	- 15 -
4.2.2 SPOJENÉ STÁTY AMERICKÉ	- 16 -

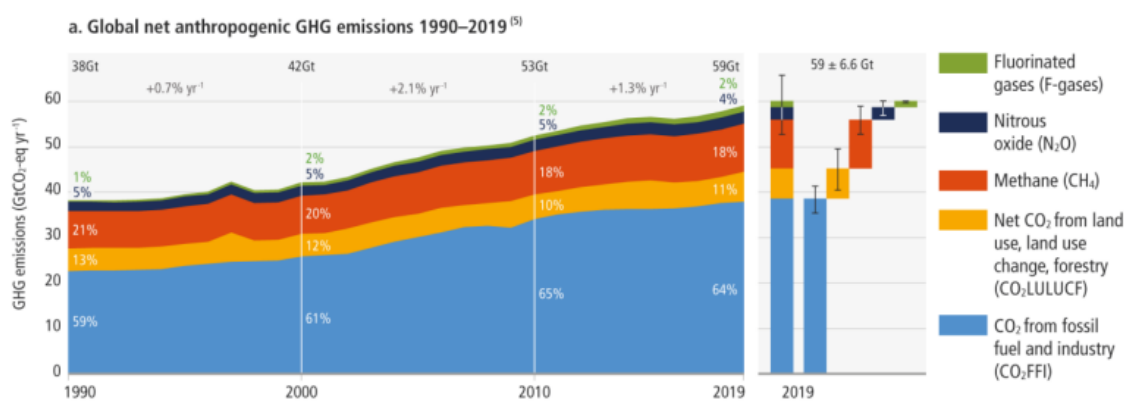
<b><u>5. PŘÍKLADY RECYKLACE</u></b>	<b>- 17 -</b>
5.1 REALIZACE V ČESKU	- 17 -
5.2 REALIZACE V ZAHRANIČÍ	- 18 -
5.2.1 SPOJENÉ STÁTY AMERICKÉ	- 18 -
5.2.2 SINGAPUR	- 20 -
5.2.3 IZRAEL	- 21 -
<b><u>6. PRAKTICKÁ ČÁST – PROJEKT</u></b>	<b>- 21 -</b>
6.1 POPIS PROJEKTU	- 21 -
6.2 PRINCIP RECYKLACE VODY	- 21 -
<b><u>ZÁVĚR</u></b>	<b>- 24 -</b>
<b><u>ZDROJE</u></b>	<b>- 25 -</b>
<b><u>SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK</u></b>	<b>- 30 -</b>
<b><u>SEZNAM PŘÍLOH</u></b>	<b>- 31 -</b>



# 1. Úvod

Voda je nepostradatelný zdroj, bez které by neexistoval život. Její spotřeba s rostoucí populací roste, od roku 1940 do roku 2006 se spotřeba na Zemi zvýšila 4x. [1] V poslední době můžeme stále více slyšet o klimatické krizi a jejích dopadech. Jedním z nich jsou častější období sucha a nedostatek vody. V roce 2020 26 % světové populace (2,0 miliardy lidí) nemělo přístup k bezpečnému zdroji pitné vody. [2,6]

Dle pravidelné zprávy OSN o klimatu stále rostou emise skleníkových plynů, viz obrázek 1. Ze zprávy také vyplývá, že k oteplení planety o 1,5 °C oproti globální průměrné teplotě předprůmyslového období může dojít již v 30. letech 21. století a o 2,5 – 3 °C na konci tisíciletí. Problém s nedostatkem pitné vody může tedy dále růst. [3]



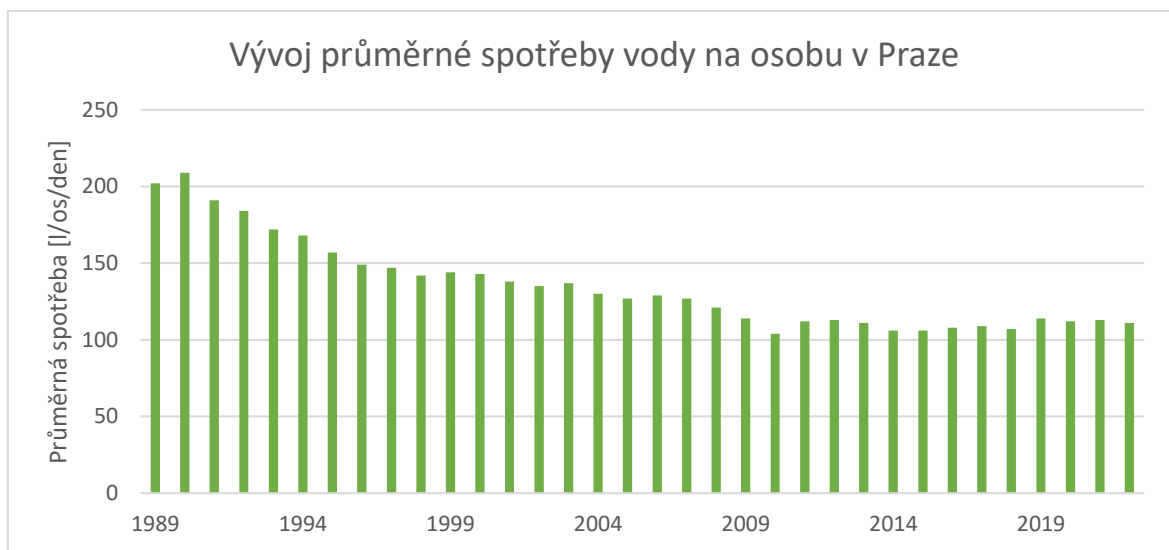
Obrázek 1- Globální čisté antropogenní emise skleníkových plynů [Gt/CO<sub>2</sub>ekv.rok], 1990-2019 [2]

Region střední Evropy se oproti globálnímu průměru otepluje dvojnásobně. Kolem roku 2050 může tedy ve střední Evropě dojít k oteplení o 4 °C. Jedním z hlavních dopadů bude nedostatek vody, který v sušších obdobích část obyvatel Česka už teď zažívá. [3]

Z těchto statistik vyplývá, že problém s nedostatkem vody je třeba řešit a zlepšit hospodaření s vodou. Vhodným řešením je opětovné využití vyčištěné odpadní vody, které má menší dopad na životní prostředí než alternativní dodávky vod jako odsolování. V Evropské unii k tomu zatím dochází zřídka.

## 2. Spotřeba vody v domácnostech

Spotřeba pitné vody v domácnostech v ČR je nižší než průměr Evropské unie, v Praze se pohybuje okolo 110 litrů na osobu denně, ve zbytku republiky je spotřeba nižší. Dle dat Pražských vodovodů a kanalizací dnešní spotřeba klesla proti roku 1989 téměř na polovinu, viz obrátek 2. Zároveň stále roste cena vodného a stočného, v roce 1998 byla cena 26,19 Kč/m<sup>3</sup>, dnes 128,18 Kč/m<sup>3</sup>. [1,4]

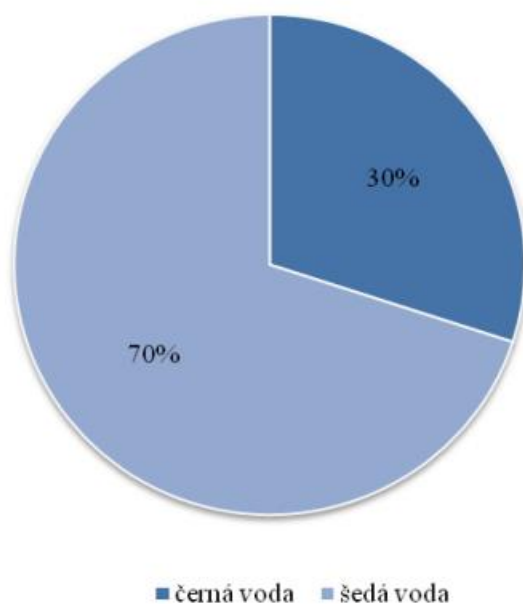


Obrázek 2 – Vývoj průměrné spotřeby vody na osobu v Praze [4]

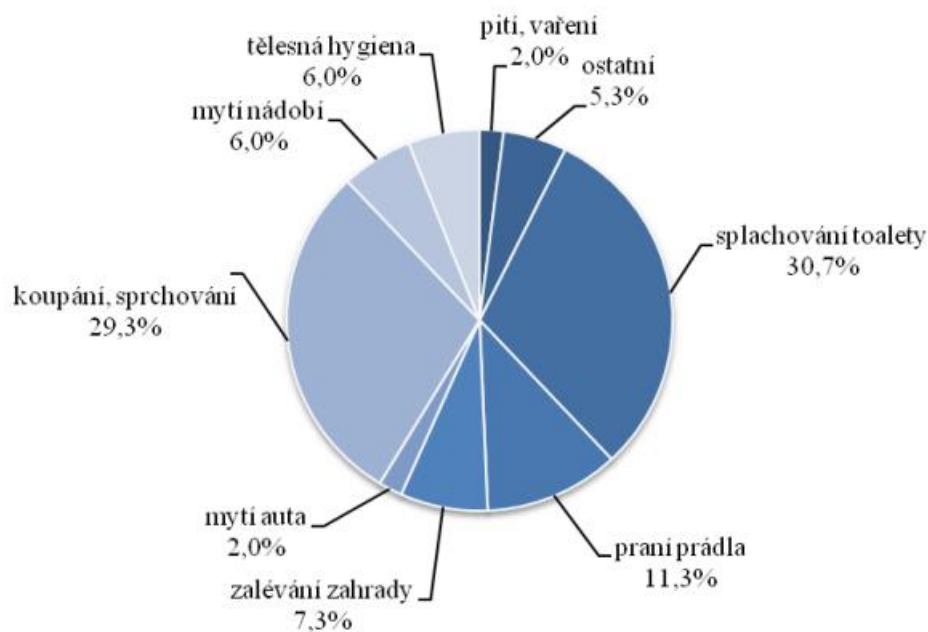
## 3. Odpadní vody z domácností

Odpadní voda je voda, která při použití změní svoje fyzikální nebo chemické vlastnosti a může ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Odpadní vody jsou ze zařizovacích předmětů odváděny vnitřní kanalizací budovy do kanalizační přípojky. Dále dle způsobu likvidace – decentrální nebo centrální – jsou vedeny do jímky nebo domovní čistírny odpadních vod, respektive kanalizačním řádem do centrální čistírny odpadních vod. [1]

Odpadní vody lze dle místa vzniku dělit na vodu černou, šedou a dešťovou. Černá voda je odpadní voda z toalet, pisoárů a obsahuje fekální znečištění. Šedá voda vzniká při koupání, mytí rukou, praní prádla a v kuchyňském dřezu, případně v myčce. Neměla by obsahovat fekální znečištění. Dešťová voda je srážková voda svedená ze zpevněných ploch objektu. Rozdělení odpadní vody je patrné na obrázku 3 a 4. [1]



Obrázek 3 – Porovnání produkce šedé a černé vody v domácnosti [1]



Obrázek 4 – Rozdělení průměrné denní potřeby vody v domácnosti [1]

### 3.1 Černá voda

Černá voda je splašková odpadní voda, která obsahuje fekálie a moč. Tvoří přibližně 30 % odpadní vody z domácnosti. Při oddělené kanalizaci se jedná o odpadní vodu ze záchodů. Lze ji rozdělit na vodu hnědou a žlutou, kdy voda žlutá neobsahuje fekálie, ale pouze moč. [1,16]

### 3.1.1 Žlutá voda

Žluté odpadní vody tvoří přibližně 1 % objemu všech odpadních vod. Obsahují velké množství dusíku a fosforu, které lze využít v zemědělství. Z moči je možné vyrábět hnojiva nebo ji lze využívat jako hnojivo jen po naředění s vodou. Žluté vody neobsahují bakterie, plísňe nebo viry.

Pro separaci od vody hnědé je třeba vytvořit oddílné kanalizační potrubí. Pro vyloučení ředění s vodou se instalují bezvodé zařizovací předměty, díky kterým dojde k úspoře pitné či užitkové vody. Instalace systému je vhodná pro místa s velkou koncentrací lidí jako jsou benzínové pumpy, motoresty nebo koncertní budovy.

Výhodou oddělení černých vod je menší nátok do čistírny odpadních vod, ve které je možnost vynechání některých stupňů čištění díky absenci dusíku a fosforu. To vede k finančním úsporám při prvotní investici do výstavby ČOV (menší objem nádrží) a při ročních nákladech na provoz (úspora na chemikáliích). [1,16,17]

### 3.1.2 Hnědá voda

Hnědé vody představují hygienické riziko z důvodu obsahu fekálií. Sušinu z hnědé vody je možné kompostovat, případně spalovat. V budovách je možné instalovat suché (také kompostující) záchody, díky kterým není třeba instalovat splaškové kanalizační potrubí a dochází k další úspoře vody. Pomocí pokročilých membránových technologií je i hnědé (případně černé) vody možné přechistit na vysokou kvalitu dle potřeby. [1,18]

## 3.2 Dešťová voda

Dešťová voda je voda z atmosférických srážek. Jedná se o málo znečištěnou odpadní vodu, i bez čištění splňuje německou NSF normu pro kvalitu vody a jedná se o vhodnou odpadní vodu pro zpětné využití. Dlouhodobý průměrný úhrn srážek na území ČR je 684 mm. Díky tomu může průměrný rodinný dům za rok nasbírat přibližně 65 m<sup>3</sup> vody za rok, což odpovídá téměř polovině spotřeby čtyřčlenné domácnosti. S minimálním čištěním lze dešťovou vodu použít na splachování WC, úklid, praní prádla, zalévání zahrady a mytí auta. Z grafu na obrázku 4 můžeme vidět, že potřeba vody na tyto činnosti je 51,3 %. Po komplexnějším přechistění je možné vodu využívat jako pitnou. [5,7,8]

### **3.2.1 Přínosy hospodaření s dešťovou vodou**

Jedním z důvodů, proč je dobré řešit nakládání s dešťovou vodou, je vysoký počet urbanizovaných území, která mají velký podíl nepropustných ploch – komunikace, střechy budov. Tím se porušily přirozené odtokové podmínky. Dochází k rychlému odtoku do lokálního koloběhu vody, v případě městských aglomerací dochází k přetížení hydraulické kapacity stokových systémů. Dle předpovědí klimatologů budou přívalové srážky v budoucnu méně časté, ale bude se zvyšovat jejich extrémnost. [9]

Ideálním řešením je decentralizovaný způsob odvodnění, který se zabývá srážkovým odtokem v místě jeho vzniku a vrací ho do přirozeného koloběhu vody. Základem jsou přírodě blízká opatření, která podporují výpar, vsakování a pomalý odtok do lokálního koloběhu vody. Patří sem i akumulace a užívání srážkové vody nebo retence s regulovaným odtokem do sítě. [9]

Tato opatření mají několik přínosů. Mezi ekologické se řadí snižování sucha pomocí vsakování a zpětného využívání vody v budovách, podpoření modro-zelené infrastruktury měst, která pomáhá zlepšit mikroklima snížením teploty a zvýšením vlhkosti vzduchu. [9]

Ekonomické přínosy zahrnují možnost navrhovat menší profily stok a menší zatížení čistíren odpadních vod, které zvyšuje jejich účinnost. Dále podpořením modro-zelené infrastruktury se snižuje teplota prostředí a tím se zvyšuje životnosti materiálů komunikací a sníží se také náklady na adaptační opatření spojená se změnou klimatu. Z řady studií vyplývá, že cena nemovitostí v zeleném prostředí se navyšuje až o 10 %. [9]

Opatření mohou mít i zdravotní přínosy. V prostředí s více zelení se snižuje koncentrace škodlivin ve vzduchu, snižuje se hluk a má i příznivý vliv na psychické zdraví. [9]

### **3.2.2 Znečištění a úprava**

Srážkové vody jsou znečištěny látkami obsaženými v atmosféře a látkami z odvodňovacích ploch. Znečištění pocházející z atmosféry je nejčastější ve městech, průmyslových oblastech a v okolí dopravních tepen. Nejčastějšími látkami jsou sloučeniny síry a dusíku pocházejících ze spalování fosilních paliv, dále těžké kovy a uhlovodíky. Znečištění z odvodňovacích ploch můžeme rozdělit do dvou skupin, zaprvé látky, které se uvolňují z materiálů plochy jako například vápník, hliník, zinek, měď nebo organické látky

z asfaltových povrchů. Zadruhé mechanické nečistoty jako části střešní krytiny, části stromů nebo pyl. [9,5]

Způsob úpravy vody závisí na zamýšleném využívání. Může zahrnovat biologické, chemické nebo fyzikální procesy. Základní úprava zahrnuje odstranění hrubých částic, které musí být navrženo před akumulacním zařízením. Jeho účelem je zamezení vniku větších částic a organického materiálu většího než 1 mm do akumulacního zařízení. Existují dva typy filtrů – interní a externí. Externí jsou umístěny na svody srážkové vody a přefiltrovaná voda odtéká do akumulacní nádrže. Pokud se jedná o samočisticí filtry, systém je napojený i do kanalizace, kam odtéká přebytečná voda a nečistoty. Interní filtry jsou umístěny v nádrži, viz obrázek 5. Pokud se bude dešťová voda používat na praní nebo splachování WC, je doporučeno použít jemný filtr, aby nedocházelo k zanášení systému. Zadržení jemných částic může zajišťovat také sedimentace probíhající v akumulacní nádrži, nebo v oddělené usazovací nádrži. [5,10]



*Obrázek 5 – Samočisticí filtr v interním provedení [10]*

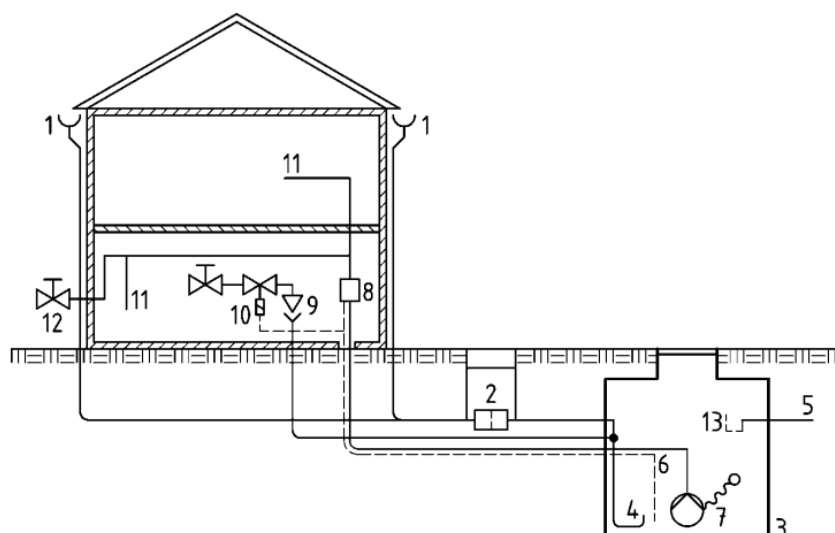
Pokud je pro použití potřeba vyšší kvalita, je navrhována další úprava. Pro zamezení zápachu vody lze umístit filtr s aktivním uhlím. Pro další hygienické zajištění vody např. pro využití jako vody pitné se doporučuje pokročilé membránové čištění (např. reverzní osmóza) v kombinaci s UV lampou, aby došlo k eliminaci bakterií, virů a plísní. [5,11,12]

### 3.2.3 Možnosti využití v obytných budovách

V současné době je povinné hospodařit s dešťovou vodou u novostaveb i rekonstrukcí požadujících stavební povolení. Nařízení má omezit rychlý odtok vody a podpořit zadržování vody v krajině. Nutná je tedy minimálně instalace vsakovacího objektu, pokud to dovolí hydrogeologické podmínky území. Pokud jsou podmínky nevyhovující, další možností je retenční srážkové vody, která zajistí zpomalení odtoku do kanalizační sítě. [15]

Nejjednodušším systémem využití dešťové vody je zavlažování. Není třeba instalace nákladného systému na úpravy vody a postačí obyčejná nádrž bez nutnosti instalace rozvodů. Dalším stupněm využití je využívání srážkové vody jako vody provozní – pro praní prádla, úklid a splachování WC. Pro toto využití je nutné instalovat minimálně filtrační zařízení a oddělené vodovodní potrubí, které musí být viditelně označeno. Výhodou dešťové vody je její měkkost, díky tomu se zařizovací předměty nezanášejí vodním kamenem a snižuje se spotřeba pracího prášku. [11,13]

V praxi se dnes navrhuje nádrže na potřebu provozní vody na 14-21 dní, pro rodinné domy tomu odpovídá nádrž o objemu 3-4 m<sup>3</sup>. Systém musí být opatřen bezpečnostním přepadem do kanalizace nebo vsaku v případě naplnění akumulární nádrže a řídicí jednotkou s doplněním pitné vody v případě nedostatku vody dešťové. Systém pitné vody musí být chráněn, aby nedošlo k jeho propojení se systémem provozní vody. Recyklace dešťové vody je výhodnější pro rodinné domy než bytové domy z důvodu příznivějšího poměru sběrné plochy (střechy) a objemu potřebné vody. Ukázka systému dle normy je na obrázku 6. [5,11,14]



#### Legenda

- |   |  |    |   |
|---|--|----|---|
| 1 | podokapní žlab/dešťové odpadní potrubí       | 8  | ovládání čerpadla s ochranou proti chodu nasucho        |
| 2 | filtr  | 9  | volný výtok typu AA podle EN 1717 a EN 13076            |
| 3 | akumulační nádrž                             | 10 | elektromagnetický ventil pro doplňkové zásobování vodou |
| 4 | zařízení na uklidnění přítoku                | 11 | využití nepitné vody, např. WC, pračka                  |
| 5 | přelivné potrubí                             | 12 | zahradní výtoková armatura                              |
| 6 | senzor/plovákový spínač                      | 13 | volitelná zápachová uzávěrka na odtoku                  |
| 7 | ponorné čerpadlo s plovoucím sacím zařízením |    |   |

Obrázek 6 – Příklad objektu s využitím dešťové vody [5]

Systémy využití dešťové vody nemají kvůli nízké ceně pitné vody rychlou návratnost investice, u rodinných domů se může návratnost pohybovat až kolem dvaceti let. Je možné získat dotaci v rámci programu Nová zelená úsporám v podoblasti Dešťovka (pro rekonstrukce i novostavby) na maximálně 50 % z investice. [11]

### 3.3 Šedá voda

Šedá voda je splašková voda, která neobsahuje fekálie a moč. Tvoří velký podíl splaškových vod z domácnosti – přibližně 70 %, viz obrázek 3. Jedná se o málo znečištěné vody. Typicky se jedná o odpadní vodu ze sprchy, vany, umyvadla, pračky, dřezu a myčky. Po přečištění se nejčastěji využívá jako tzv. voda bílá (v zahraniční literatuře „green water“) pro splachování WC, praní prádla, pro úklid nebo zálivku zeleně. Její recyklace se nejvíce vyplatí v provozech s její vysokou produkcí a potřebou vody bílé, např. hotely, wellness centra a prádelny. [1,19]

Německá směrnice DWA – M277 dělí šedé vody na málo zatížené (typ A):

- Typ A1 – vody z vany a sprchy
- Typ A2 – vody z vany, sprchy a umyvadla



a silně zatížené (typ B):

- Typ B1 – vody z vany, sprchy, umyvadla a pračky
- Typ B2 – vody z vany, sprchy, umyvadla, pračky a kuchyně

Jednotlivé typy se liší koncentrací znečištění a hodnotou pH. Typ B1 je oproti typu A2 více zásaditý (9,3-10,0) a obsahuje více organického znečištění. Nejvíce znečištěna je odpadní voda z kuchyně, která navíc obsahuje tuky, které zanáší jemné filtry a membrány. Protože tvoří 5-10 % celkového objemu, není k recyklaci doporučována. [1,20]

Systémy využití šedých vod lze dle způsobu konečné potřeby dále dělit:

- Nekontaktní – zavlažovací systémy
- Nízko kontaktní – splachování WC, praní prádla, úklid
- Kontaktní – koupání, pitná voda

### **3.3.1 Znečištění šedé vody**

Šedá voda obsahuje nerozpuštěné látky, pevné nebo kapalné, které způsobují tvorbu emulzí a povlaků. Látky lehčí než voda jako prach, vlasy nebo chlupy způsobují povlak na hladině, který zabraňuje její aeraci. Těžší látky se usazují. Dalším znečištěním je zákal, jehož vyšší hodnoty jsou pozorovány u vody z koupání než z praček. [1,22]

Rozpuštěné látky mohou způsobovat zápach nebo vyšší kyselost a odebírají z vody kyslík. Rozpuštěné látky se dělí dle původu na organické a anorganické. Mezi organické se řadí sacharidy, tuky, vitamíny nebo antibiotika. Jejich koncentrace se zjišťuje parametrem CHSK (chemická spotřeba kyslíku). Příkladem anorganických látek jsou soli, sloučeniny draslíku, hořčíku, fosforu nebo chlóru. Množství biologicky rozložitelných látek jako jsou hnojiva, zbytky potravin, detergenty nebo oleje se měří biologický ukazatelem znečištění BSK<sub>5</sub>. Jeho snížení je nutné pro bezpečnou akumulaci vody. [7,22]

Mikrobiologické znečištění pochází z mytí rukou případně z moči při sprchování. Jako indikátor fekálního zatížení se používá měření bakterie *Escherichia coli*, dalšími indikátory jsou koliformní bakterie. [1,7]

### 3.3.2 Druhy čištění

#### 3.3.2.1 Mechanické čištění

Mechanické čištění zahrnuje filtraci a sedimentaci. Čištění zajišťují česle, sedimentační nádrž, případně lapák tuků při nátoku vod z kuchyně. Doporučená velikost průlin filtrů je 0,2-3 mm. Při následném používání membrán je maximální velikost průlin 0,5 mm z důvodu zachycení vlasů. Při návrhu je nutné eliminovat možný vznik turbulence, aby nedocházelo k ovlivňování sedimentačního procesu. Mechanické čištění má omezenou účinnost z hlediska organických a anorganických látek. Výhodou systému jsou nízké provozní náklady, nevýhodou dlouhá finanční návratnost z důvodu úzkého využití. [1,27]

#### 3.3.2.2 Chemické čištění

Chemické čištění je založeno na dávkování chemických látek na bázi železa, hliníku do čištěné vody, díky kterým dochází k oddělení látek organického a anorganického původu. Separované látky se dále oddělují sedimentací nebo filtrací. Tyto procesy rozdělujeme na koagulaci a elektrokoagulaci. Třetí metodou chemického čištění je chemická oxidace hydroxylovými radikály. Chemické čištění je vhodné pro méně znečištěné vody, např. pro prádelny. [1,27]

#### 3.3.2.3 Fyzikální čištění

Fyzikální čištění zahrnuje pískovou a membránovou filtraci. Lze instalovat oba systémy, kdy pískový filtr je použit pro primární filtraci – odstranění hrubších částic. Membránová filtrace provede sekundární, jemnější filtraci. [1,27]

##### ***Písková filtrace***

Písková filtrace je založena na adsorpci nerozpuštěných látek na svém povrchu. Filtrační materiál je běžně z křemičitého písku, může být přidáno aktivní uhlí. Je třeba zajistit dostatečný a rovnoměrný přísun šedé vody. [1]

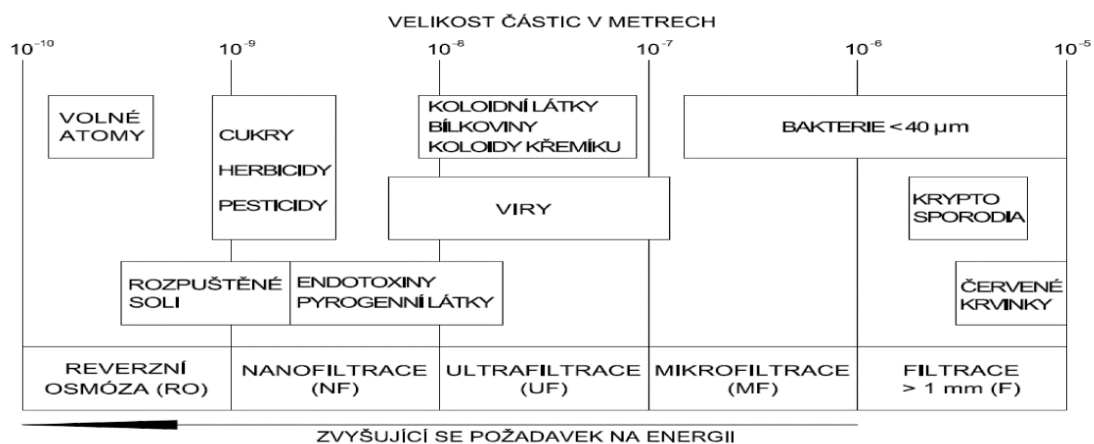
##### ***Membránová filtrace***

Membránová filtrace je zařazena až za mechanické a biologické čištění. Membrána odděluje pevné složky od kapalné, které jsou menší než její póry. Látka při procesu nemění své teplotní, biologické nebo chemické vlastnosti. Dle velikosti póru se dělí:

- Mikrofiltraci

- Ultrafiltraci
- Nanofiltraci
- Reverzní osmózu

Reverzní osmóza filtruje i nejmenší částice viz obrázek 7.



Obrázek 7 – Přehled membránových procesů separace [1]

Pracovní tlak nejpoužívanější ultrafiltrace a mikrofiltrace je 0,1-2 MPa. Mezi výhody patří prostorová nenáročnost a jednoduchost provozu. Nevýhody metody jsou vyšší investiční náklady, nutnost instalace předčištění kvůli riziku ucpání membrány. [1,27]

### 3.3.2.4 Biologické čištění

Mezi biologické čištění se řadí biofilmové reaktory, aktivační nádrže, membránový bioreaktor a biologické provzdušňovací filtry. V reaktoru jsou nasazené kultury organismů, které se účastní čištění. Biologické čištění dosahuje vysokého stupně odstranění organických látek. Systém se využívá při vysoké produkci šedé vody s vyšším znečištěním, např. v administrativních budovách, hotelech, ubytovnách. [1,27]

### 3.3.2.5 Přírodní způsoby čištění

Šedou vodu je také možné čistit kořenovou čističkou. Systém lze sestavit z biologického filtru ze štěrku nebo písku a bahenních rostlin. Nevýhodou je prostorová náročnost projektu. [27,23]

### 3.3.2.6 Dezinfekce

Dezinfekce je používána k snížení množství bakterií a tím snížením zdravotní nezávadnosti. Využívá se chlór, ozon nebo UV záření. [1,21]

### 3.3.3 **Získávání tepla z odpadní vody**

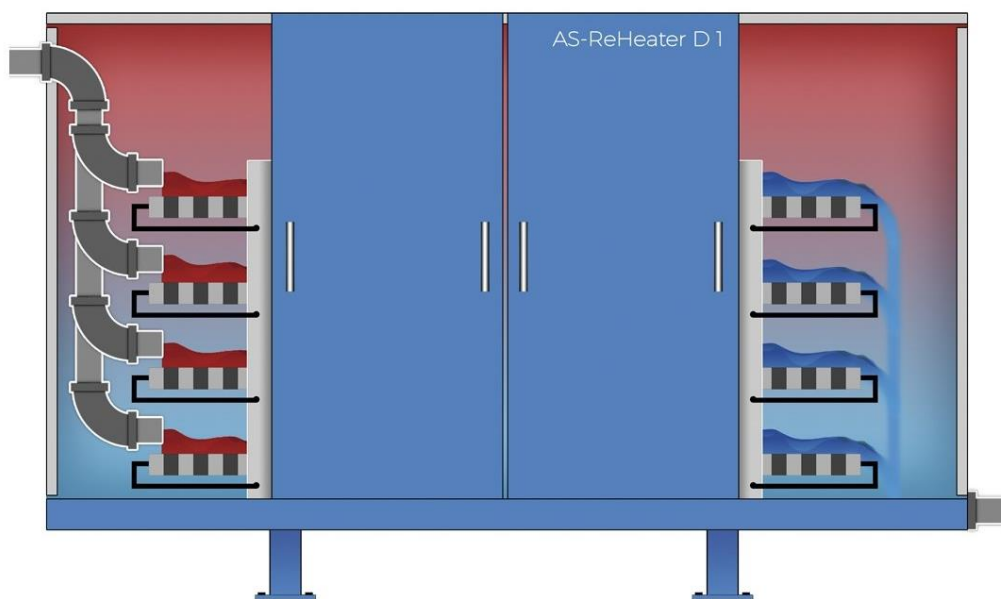
Dalším možným využitím šedé splaškové vody je využití její tepelné energie. Její teplota na odtoku se pohybuje mezi 18-35 °C. Je to významný zdroj energie, který může být využit pro předehřev teplé vody pomocí výměníku a snížit energii spotřebou na ohřev teplé vody, která u moderních pasivních domů podílově roste.

Systémy lze rozdělit na lokální a centrální. Lokální systém odebírá teplo odpadní vodě hned u zdroje – vaničky sprchy, vany (obrázek 8). Voda je předehřívána buď pro okamžitou spotřebu, nebo pro zásobník TV. Tento systém je vhodnější pro menší objekty s menším množstvím odpadní vody, např. rodinné domy.



*Obrázek 8 – Výměník ve sprchové vaničce (lokální pro okamžitou spotřebu) [25]*

Centrální systémy jsou vhodné pro velké objekty, s větší produkcí šedých vod. Voda se akumuluje v jímce, která slouží jako zdroj tepla pro tepelné čerpadlo. Instalace a konstrukce systému je jednoduchá. Investiční náklady jsou vysoké, ale lze dosáhnout vysoké účinnosti. Centrální systém je vhodný pro prádelny, bazény, wellness. [1,24]



Obrázek 9 – Centrální deskový výměník na získávání tepla z odpadní vody [26]

### 3.3.4 Přínosy využívání šedé vody

Recyklace šedé vody má ekologické přínosy, může nahradit i více než 40 % poptávky a tím bojovat proti lokálnímu suchu. U některých typů projektů lze očekávat i finanční návratnost, zejména u provozů s velkou produkcí šedé vody jako wellness, hotely. Ekonomické náklady lze snížit dotací Nová zelená úsporám, které mohou pokrýt až 50 % nákladů. Zároveň se snižuje nátok do centrálních ČOV, zmenšují se dimenze potrubí. Instalace systému recyklace vody je výrazně jednodušší u novostaveb než rekonstrukcí a může tak být investicí do budoucnosti, ve které lze očekávat nedostatek vody a její vyšší cenu. [1,21]

## 4. Legislativa o využívání odpadní vody

### 4.1 Legislativa v Česku

V Česku zatím recyklace odpadní vody velkým tématem není a zařízení na recyklaci se instalují pouze ve zlomku stavěných budov. Situace se ale zlepšuje kvůli stále častějším problémům se suchem a kvůli sílení debaty o ekologii. Vývoj částečně brzdí i legislativa, která odpadní vodu i po přečištění nedovoluje použít jako vodu pitnou.

Norma ČSN EN 16941-2 definuje šedou vodu jako splaškovou (domovní) odpadní vodu kromě odpadních vod z WC a pisoárů. Každé zařízení pro využití šedé vody má čtyři hlavní funkční prvky – jímání, úpravu, akumulaci a rozvody. Podle využití norma určuje kvalitu vyčištěné vody viz tabulka na obr. 10 a 11. Čištění šedé vody musí zahrnovat jeden nebo více uvedených kroků:

- Sedimentaci/flotaci
- Síta
- Mechanickou jemnou filtraci
- Biologické čištění
- Chemické čištění
- Dezinfekci

Akumulační zařízení musí být vybaveno přepadem se zpětnou armaturou do stokového systému. Musí být zamezeno znečištění rozvodů pitné vody. [19]

Ukazatel CFU <sup>NP14</sup> /100 ml	Postřik	Využití bez postřiku			Zkušební metoda		Druh vnitřního vodovodu
	Vysokotlaké mytí, postřik zahrad a mytí automobilů	Splachování WC	Zalévání zahrad	Praní, tj. využití v pračkách	Postřik	Využití bez postřiku	
<i>Escherichia coli</i>	Nedetekováno	250	250	Nedetekováno	EN ISO 9308-1	EN ISO 9308-3	Individuální a společné vnitřní vodovody
Intestinální enterokoky	Nedetekováno	100	100	Nedetekováno	EN ISO 7899-2 nebo EN ISO 7899-1	EN ISO 7899-1	Individuální a společné vnitřní vodovody
<i>Legionella pneumophila</i>	10	N/A <sup>b</sup>	N/A	N/A	EN ISO 11731	N/A	Kde je analýza nutná, jak vyplývá z posouzení rizik (viz 5.10 <sup>NP15</sup> )
Koliformní bakterie <sup>a</sup>	10	1 000	1 000	10	EN ISO 9308-1	EN ISO 9308-3	Individuální a společné vnitřní vodovody

<sup>a</sup> „Koliformní bakterie“ jsou indikátorovým ukazatelem pro hodnocení provozu. Uvedené mikrobiologické doporučené hodnoty pro šedou vodu vyžadují kontrolu kvality čištěné vody pro zásobování a využití.

<sup>b</sup> N/A = není k dispozici<sup>NP16</sup>)

Obrázek 10 – Příklad doporučených hodnot pro mikrobiologický monitoring kvality šedých vod [19]

Ukazatel <sup>a</sup>	Postřik	Využití bez postřiku			Zkoušení	Druh vnitřního vodovodu
	Vysokotlaké mytí, postřik zahrad a mytí automobilů	Splachování WC	Zalévání zahrad	Praní, tj. využití v pračkách		
Zákal (NTU)	< 10	< 10	N/A	< 10	EN ISO 7027-1	Všechny vnitřní vodovody
pH	5 až 9,5	5 až 9,5	5 až 9,5	5 až 9,5	EN ISO 10523	Všechny vnitřní vodovody
Zbytkový chlor (mg/l)	< 2,0	< 2,0	< 0,5	< 2,0	EN ISO 7393-2	Všechny vnitřní vodovody, kde je použit
Zbytkový brom (mg/l)	0,0	< 5,0	0,0	< 5,0	EN ISO 10304-1	Všechny vnitřní vodovody, kde je použit

<sup>a</sup> Vedle těchto ukazatelů se ve všech systémech mají kontrolovat nerozpuštěné látky a barva. Čištěná šedá voda má být vizuálně čistá, bez plovoucích nečistot a má mít přijatelnou barvu pro všechna použití. Barva je významná zejména pro využití v pračkách.

Obrázek 11 – Příklad hodnot pro celkový monitoring kvality šedých vod [19]

Všechna potrubí – svodná i rozvodná – musí být označena jinou barvou nebo identifikačním páskem. U výtokových armatur nepitné vody musí být instalováno upozornění slovy „Nepitná voda“ nebo symbolem. [19]

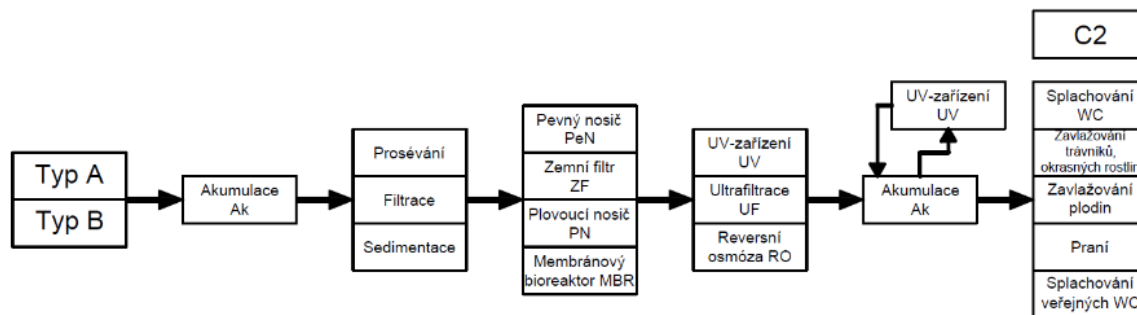
## 4.2 Legislativa v zahraničí

### 4.2.1 Německo

Voda vyrobená z šedé vody má být hygienicky nezávadná, ideálně bezbarvá, bez plovoucích částic a bez zápachu. Norma udává krajní hodnoty znečištění pro jednotlivé využití. Rozděluje požadavky na kvalitu úpravy dvěma kategoriemi čištění:

- C1: mechanická a biologická úprava včetně stabilizace kalu pro vody typu A (typ vody viz kapitola 3.3),
- C2: mechanická a biologická úprava a hygienizace šedých vod typu A a B,

Norma udává doporučené schéma čištění viz obr. 12. [20]

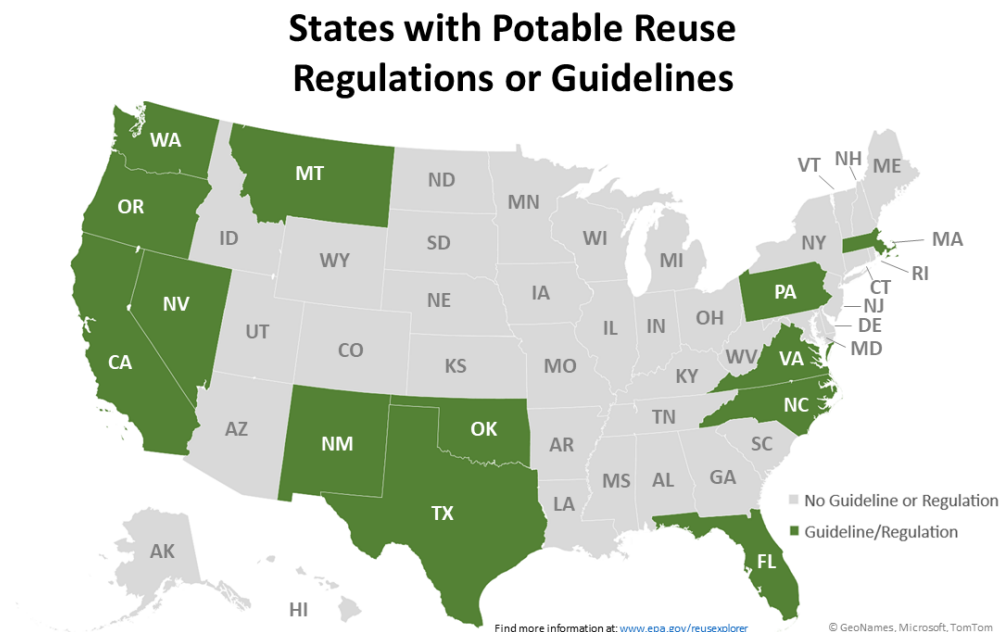


Obrázek 12 – Schéma zpracování šedých vod typu A nebo B na cíl daný třídou C2 [20]

Přečištěná voda může být vypouštěna do povrchových nebo podzemních vod nebo akumulována a využívána, pokud splňuje parametry dané normou. [20]

#### 4.2.2 Spojené státy americké

Ve Spojených státech amerických řeší v několika státech dlouhodobý nedostatek vody a využití odpadní vody je na velmi pokročilé úrovni a několik států již má legislativu na pitné znovuvyužití, viz obrázek 13. Pitná voda musí ve Spojených státech splňovat federální zákon o požadavcích na kvalitu pitné vody. Doplnující legislativu tvoří státy jednotlivě, viz obrázek 13. Použití se dělí na nepřímé pitné znovuvyužití (IPR – indirect potable reuse) a přímé pitné znovuvyužití (DPR – direct potable reuse). [29]



Obrázek 13 – Státy s legislativou pro pitné znovuvyužití vody (zelenou barvou jsou značený státy, které legislativu mají) [28]



## 5. Příklady recyklace

### 5.1 Realizace v Česku

V Česku je realizováno několik objektů s využitím odpadní vody. Státní zdravotní ústav provedl monitoring kvality recyklované vody v 26 objektech. Mezi časté nedostatky patřilo neoznačení odděleného potrubí (rozlišeno pouze v 41,6 %). Některé systémy fungovaly bez problému a rozborů vody nevykazovaly nedostatky, ale v několika případech byly naměřeny vysoké hodnoty, které ukazovaly na fekální znečištění. Tyto hodnoty výrazně zvýšily průměr, viz obrázek 14. Pro budoucí realizace bylo doporučeno zajistit dobře přístupná odběrová místa co nejbližší zařizovacím předmětům, aby bylo možné odebrat přesné vzorky. [30]

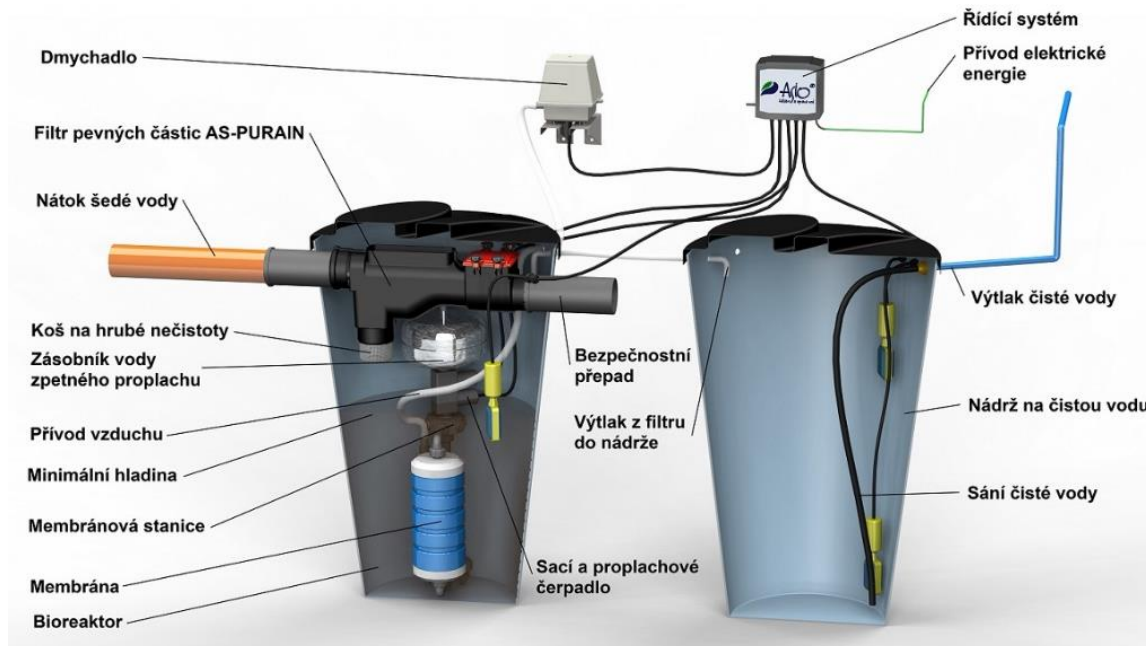
	jednotka	aritmetický průměr	max	min
<b>koliformní bakterie</b>	MPN/100 ml	118,7	1413	0
<i>E. coli</i>	MPN/100 ml	10,8	181	0
<b>enterokoky</b>	KTJ/100 ml	0,6	7	0

Obrázek 14 – Průměrné hodnoty indikátorů fekálního znečištění v přečištěné šedé vodě [30]

Mezi realizovanými stavbami se systémem využití odpadních vod v Česku můžeme najít bytové domy, administrativní budovy, hotely, wellness centra i rodinné domy.

První systém v bytovém domě v ČR byl instalován do projektu firmy Skanska Botanika K, kde je šedá voda používána na splachování WC. Systém čištění se skládá ze sedimentace, aerace, membránového čištění a hygienického zajištění – chlórování. Po roce fungování vychází, že se recyklací ušetří 26 % běžné spotřeby pitné vody. Za čtyři roky systém ušetřil 10 milionů litrů pitné vody. Skanska zároveň buduje nový areál bytových domů s principy modro-zelené infrastruktury s využíváním dešťové vody pro zavlažování zeleně a využíváním šedé vody pro splachování WC a praní prádla. [31]

Česká firma Asio instaluje zařízení na recyklaci vody se dvěma nádržemi. Do první natéká šedá voda přes mechanický filtr a přes membránu je přečerpávána do akumulární nádrže. Systém lze v různých velikostech instalovat do rodinných domů nebo větších objektů. Investice do zařízení pro deset bytových jednotek je přibližně 30 000 Kč/bytovou jednotku a návratnost se pohybuje do deseti let. [33]



Obrázek 15 – Systém pro recyklaci šedých vod od firmy Asio [33]

## 5.2 Realizace v zahraničí

### 5.2.1 Spojené státy americké

Spojené státy americké trpí na dlouhá a častá období sucha, která je donutila postoupit v recyklaci vody daleko. Jednou z obyčejných metod, které se využívají je tzv. „laundry to landscape“, kdy šedá voda z praček je vyvedena pro závlahu zeleně.

Velké projekty čistíren odpadních vod má americký stát Texas. Má několik projektů na nepřímé pitné znovuvyužití (IPR). Jedním z nich jsou mokřady East Fork Trinity R. Wetland (obrázek 16), které jsou největšími umělými mokřady v USA. Do nich natéká řeka s velkým podílem odpadních vod. Úprava probíhá sedimentací a mikrobiologickým čištěním pomocí mikroorganismů a rostlin. Přechištěná voda vtéká do rezervoáru pitné vody. Bonusem je velká biodiverzita ve vytvořeném mokřadu. [34,35]



*Obrázek 16 - East Fork Trinity R. Wetland [44]*

V Texasu jsou také tři místa, kde se využívá přímé pitné znovuvyužití (DPR), někdy také označováno jako „toilet to tap“ – tedy od záchodu ke kohoutku. Kvůli velkému nedostatku pitné vody byla postavena ČOV ve městě Big Spring, kde denně přečistí téměř 80 milionů litrů vody. Po primárním přečištění splaškové vody je instalována mikrofiltrace, která odstraňuje bakterie. Pro odstranění virů je instalována reverzní osmóza. Poslední součástí je hygienizace pomocí peroxidu vodíku a UV záření. [34,36,37]

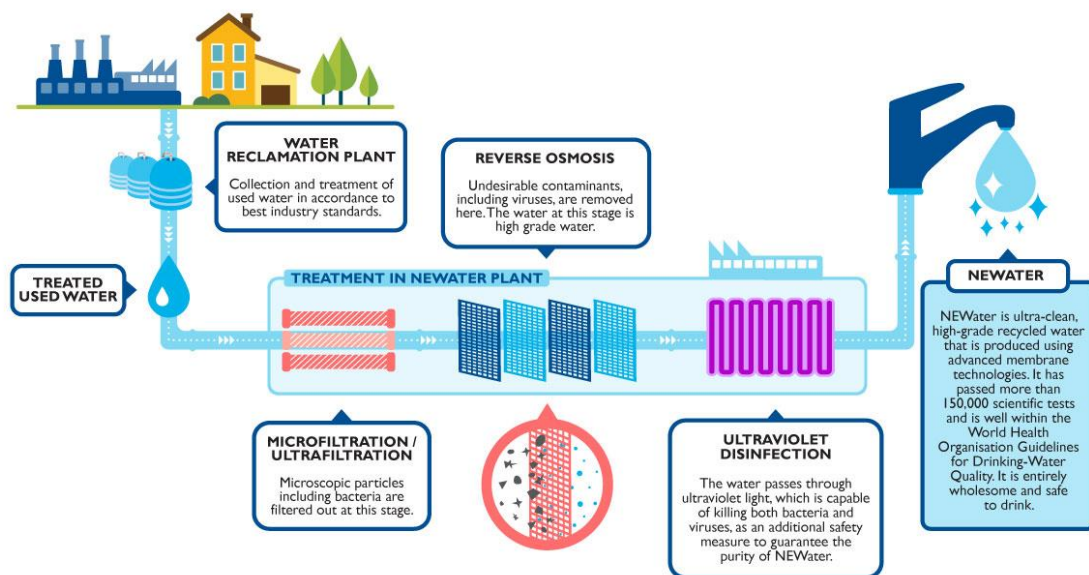
V oblasti Orange County v Kalifornii je hlavním zdrojem pitné vody voda podzemní. Kvůli jejímu nedostatku proniká mořská voda do vnitrozemí a znečišťuje zdroj pitné vody. Ve speciální čističce je splašková voda čištěna na kvalitu pitné vody a vypouští se do podzemní vody, kde tvoří bariéru proti pronikání vody mořské. Běžná ČOV je doplněna o mikrofiltraci a reverzní osmózu. Finálním krokem je hygienizace UV zářením a peroxidem vodíku. Továrna denně vyprodukuje 490 milionů litrů pitné vody a plánuje se její další rozšiřování. Jedná se o největší čistírnu na recyklovanou vodu na světě. [34,38]



Obrázek 17 - – Stanice reverzní osmózy – Orange County [39]

### 5.2.2 Singapur

Singapur trpí nedostatkem vody a je nucený ji dovážet ze sousedních zemí. Stát se rozhodl investovat do nezávislosti a dnes recyklovaná voda pokryje 40 % potřeby. Projekt využívá membránové čištění – mikrofiltraci a reverzní osmózu a UV záření pro dezinfekci. Recyklovaná voda se převážně využívá v průmyslu, který má ještě vyšší požadavky na kvalitu vody, než jsou požadavky na vodu pitnou. Část vody se používá i pro doplnění rezervoárů vody. [40,41]



Obrázek 18 - Schéma čištění vody v Singapuru [40]

### **5.2.3 Izrael**

Izrael recykluje téměř 90 % odpadní vody (pro porovnání USA recykluje 10 %). Velkou část používá pro závlivku v zemědělství, kde využívá speciální technologie pro velkou přesnost zalévání u kořenů rostlin. Část vody se doplňuje do podzemní vody v kvalitě pitné vody, část slouží pro doplnění hladiny toků. Přebytky vody vyváží do sousedního Jordánska. Izrael vystavěl 67 velkých ČOV a velkou síť vodovodů, které dokáží reagovat na potřebu vody v různých částech země. [42,43]

## **6. Praktická část – projekt**

### **6.1 Popis projektu**

V projektu k bakalářské práci jsem zpracoval projekt kanalizace a vodovodu se zaměřením na využití odpadních vod v bytovém domě v Dobřanech u Plzně. Objekt má 4 nadzemní podlaží, nachází se v něm 12 bytů a počet obyvatel je 38 osob.

### **6.2 Princip recyklace vody**

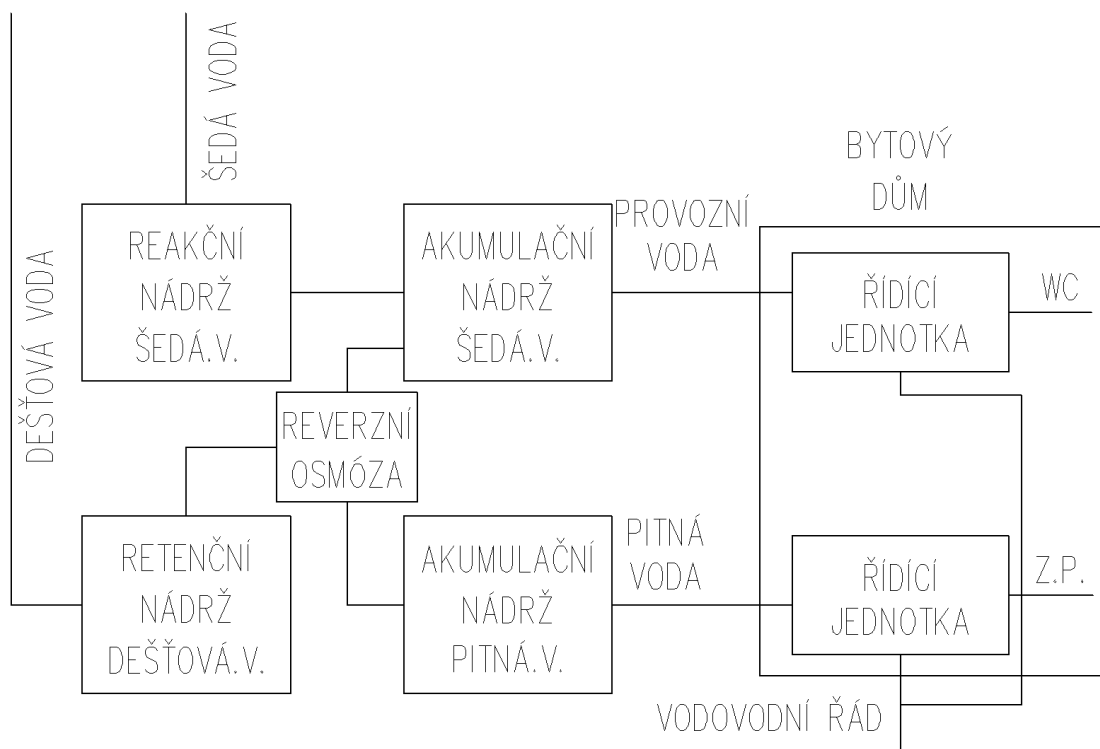
Víme, že vodu je možné přечиšťovat na jakoukoliv kvalitu, ve světě čistí splaškovou přímo na kvalitu pitné a dodávají ji do systému. V projektu mé bakalářské práce jsem vytvořil koncept, při kterém se šedá voda a dešťová voda přечиšťují až na kvalitu pitné vody. Tento systém jsem zvolil proto, aby byla šedá a dešťová voda využita kompletně. Při běžných variantách, kdy se recyklovaná voda používá na splachování WC, recyklovaná voda pokryje pouze 20 % denní spotřeby a využije se pouze třetina mírně znečištěných odpadních vod. Oproti dnešním velkým projektům je čištění v mém objektu probíhá u místa vzniku, v anglické terminologii „on-site“. Jednou z motivací využití takového systému je snížení stočného a nemíchání silně znečištěné černé vody s méně znečištěnou šedou.

V objektu je navržena oddělená kanalizace pro šedou a černou splaškovou vodou. Šedá voda z kuchyňských dřezů a myček kvůli velkému množství polutantů není navržena pro recyklaci a je odváděna společně s černou vodou do kanalizačního řádu. Šedá voda je svedena přes hrubý filtr (primární čištění) do reakční nádrže s bioreaktorem a přes membránu s kvalitou ultrafiltrace (sekundární čištění) je přečerpána do akumulární nádrže. Navržena je venkovní nádrž od firmy Asio – AS-GW/SiClaro-5 s maximálním denním

nátokem 5000 l/den. Voda po sekundárním čištění slouží pro splachování WC. Z bilancí denní potřeby vychází, že na splachování bude používáno 42 % přečištěné šedé vody. Zbytek bude dále přečišťován nejjemnější membránou o kvalitě reverzní osmózy, která zachycuje i viry a léčiva. Pro bezpečnost systému bude voda ještě dezinfikována pomocí UV záření a peroxidu vodíku a bude akumulována a použita jako zdroj pitné vody. Dešťová voda bude sváděna ze střechy a teras objektu a bude po hrubém přečištění na filtru AS-PURAIN akumulována v nádrži AS-REWA kombi 6 EO o objemu 6 m<sup>3</sup> a dále přečišťována na reverzní osmóze pro doplnění systému pitné vody. Systém bude doplňován pitnou vodou z vodovodního řádu. Díky tomuto systému je možné v průměru pokrýt potřebu pitné vody ze 71 % recyklovanou vodou, viz tab.1.

Průměrná denní produkce	Vd [l/den]	Vš [l/den]	Potřeba rec. v. [l/den]	Přebytek rec. vody [l/den]	Podíl rec. v. na celkové spotřebě
Recyklovaná voda pouze na splachování WC	228	3094	950	2373	20%
Rec. v. na WC + úklid + pračka	228	3094	1710	1613	37%
Rec. v. na vše	228	3094	4652	-1330	71%

Tab. 1 – Bilance využití dešťové a šedé vody



Obrázek 19 - Schéma systému recyklace vody

Přečištěná šedá voda bude primárně využívá pro splachování WC, aby nedocházelo ke splachování pitnou vodou. Voda na WC nebude přečišťována na kvalitu pitné vody, protože to není nutné a šetří se tím energie a systém čištění. Systém bude postavený na hladinových plovácích, podle kterých bude docházet k přečerpávání. Voda na terciální přečištění se bude přečerpávat pouze pokud v akumulční nádrži na šedou vodu budou 2/3 objemu potřebného na splachování WC denně. Všechny nádrže mají bezpečností přepad se zpětnou klapkou.

## **Závěr**

Odpadní voda je v Česku zatím téměř nevyužívaný zdroj, i když ji díky pokročilé technologii i velkým zkušenostem ze zahraničí umíme využít. Její zpětné využití často komplikuje nedostatečná legislativa. Dnes je u nás stále dostatek vody a projekty nejsou vždy návratné, ale měli bychom jako společnost dělat taková rozhodnutí, která nás připraví na budoucnost s odlišným klimatem s vyššími teplotami, kdy vody bude nedostatek.

Dnes se mnoho bytových domů nebo i kancelářských domů staví v komplexech. To nahrává investicím do technologií čištění odpadních vod, protože s vyšším počtem jednotek klesá investice do recyklačních zařízení. Přesto takových projektů vzniká pouze zlomek.



## Zdroje

- [1] 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.
- [2] Summary Progress Update 2021: SDG 6 — water and sanitation for all | UN-Water. UN-Water [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.unwater.org/publications/summary-progress-update-2021-sdg-6-water-and-sanitation-all>
- [3] Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC) - Ministerstvo životního prostředí. Úvodní stránka [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/mezivladni\\_panel\\_pro\\_zmenu\\_klimatu](https://www.mzp.cz/cz/mezivladni_panel_pro_zmenu_klimatu)
- [4] Pitná voda - Pražské vodovody a kanalizace, a.s. [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/>
- [5] ČSN EN 16941-1 Zařízení pro využití nepitné vody na místě - Část 1 Zařízení pro využití srážkových vod
- [6] 1 in 3 people globally do not have access to safe drinking water – UNICEF, WHO. World Health Organization (WHO) [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.who.int/news/item/18-06-2019-1-in-3-people-globally-do-not-have-access-to-safe-drinking-water-unicef-who>
- [7] Recyklace šedé vody – nevyužitý zdroj uvnitř budovy - ASIO. [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/news/recyklace-sede-vody-nevyuzity-zdroj-uvnitř-budovy.510>
- [8] Portál ČHMÚ: Home. Portál [online]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/>
- [9] Srážkové vody a urbanizace krajiny (TP 1.20.1) [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/tp-1-20/tp-1-20-1/#1-1>
- [10] Využívání dešťové vody (I) - kvalita a čištění: Možnosti využívání dešťové vody a k tomu potřebná technická zařízení [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3902-vyuzivani-destove-vody-i-kvalita-a-cistení>

- [11] Využití srážkových vod – současný stav a trendy - ASIO. [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/news/vyuziti-srazkovych-vod-soucasny-stav-a-trendy.961>
- [12] Úprava dešťové vody | VODASERVIS s.r.o. [online]. [cit. 06.05.2023] Dostupné z: <https://www.vodaservis.cz/uprava-destove-vody-cc>
- [13] Využívání dešťové vody (II) - možnosti použití dešťové vody a části zařízení: Kvalita dešťové vody a její čištění [online]. [cit. 06.05.2023] Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3962-vyuzivani-destove-vody-ii-moznosti-pouziti-destove-vody-a-casti-zarizeni>
- [14] Dešťová voda a její využití - ASIO. ASIO - čištění a úprava vod, dešťové a šedé vody [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/news/destova-voda-a-jeji-vyuziti.1127>
- [15] Odvod dešťové vody z pohledu zákona v roce 2022 – ZAKRA. Projekční kancelář: Vodohospodářské projekty - ZAKRA [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://zakra.cz/blog/odvod-destove-vody-zakon/>
- [16] Cities of the future aneb města budoucnosti - ASIO. [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/news/cities-of-the-future-aneb-mesta-budoucnosti.383>
- [17] AS-URINE - program na využití žlutých vod - ASIO. [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/news/as-urine-program-na-vyuziti-zlutych-vod.364>
- [18] Řešení intenzivně navštěvovaného objektu v krasovém území - ASIO. [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/news/reseni-intenzivne-navstevovaneho-objektu-v-krasovem-uzemi.638>
- [19] ČSN EN 12056-2 Vnitřní kanalizace - Gravitační systémy - Část 2 Odvádění splaškových odpadních vod - Navrhování a výpočet
- [20] Šedé vody v Německu - legislativa ve světle směrnice DWA-M 277 - ASIO. [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/news/sede-vody-v-nemecku-legislativa-ve-svetle-smernice-dwa-m-277.1141>

- [21] Recyklace šedé vody – nevyužitý zdroj uvnitř budovy - ASIO. [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/news/recyklace-sede-vody-nevyuzity-zdroj-uvnitr-budovy.510>
- [22] Využití šedé odpadní vody, vyplatí se to? | Vodarium. [online]. Dostupné z: <https://vodarium.cz/vyuziti-sede-odpadni-vody/>
- [23] Operační program Životní prostředí – Dotační program financovaný z fondů Evropské unie na ochranu a zlepšování životního prostředí [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: [https://opzp.cz/files/documents/storage/2023/02/01/1675238135\\_Metodicky\\_postup\\_problematiky\\_recyklace\\_sedych\\_vod\\_v\\_sidlech\\_CR.pdf](https://opzp.cz/files/documents/storage/2023/02/01/1675238135_Metodicky_postup_problematiky_recyklace_sedych_vod_v_sidlech_CR.pdf)
- [24] Čištění šedých vod a možnost využití energie z nich - ASIO. [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/news/cisteni-sedych-vod-a-moznost-vyuziti-energie-z-nich.137>
- [25] Výměník do koupelny AS-ECOshower tray - ASIO. [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/p/78.vymenik-do-koupelny-as-ecoshower-tray>
- [26] Výměníky AS-ReHeater - ASIO. [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/p/79.vymeniky-as-reheater>
- [27] ČSN 75 6780 – Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích
- [28] Maps of States with Water Reuse Regulations or Guidelines – EPA [online]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/waterreuse/maps-states-water-reuse-regulations-or-guidelines>
- [29] Texas (Treated Municipal Wastewater for Potable Water Reuse) – EPA [online]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/waterreuse/texas-treated-municipal-wastewater-potable-water-reuse#types>
- [30] Zkušenosti s recyklací vody v budovách v ČR [online]. Dostupné z: <https://www.voda.tzb-info.cz/22951-zkusenosti-s-recyklaci-vody-v-budovach-v-cr>
- [31] Šedá voda | Skanska. Skanska Residential [online]. Dostupné z: <https://residential.skanska.cz/seda-voda>

- [32] Počet osob v bytě | Sčítání 2021. Český statistický úřad | ČSÚ [online]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/scitani2021/pocet-osob-v-byte>
- [33] Čistírna šedých vod pro domácnosti a bytové domy | ASIO.cz. [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/p/142.cistirny-sedych-vod-as-gw-aqualoop>
- [34] Recyklace vod v USA, Polygon recyklace vod - YouTube. [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_dve7ovbvA&list=PLO3rT2hAvXQV2lJsqIUekwSay24Ko1CGU&index=3](https://www.youtube.com/watch?v=_dve7ovbvA&list=PLO3rT2hAvXQV2lJsqIUekwSay24Ko1CGU&index=3)
- [35] East Fork Water Reuse Project - North Texas Municipal Water District. NTMWD [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.ntmwd.com/east-fork-water-reuse-project/>
- [36] Water Treatment Plant | Big Spring, TX. Big Spring, TX | [online]. Dostupné z: <https://www.mybigspring.com/298/Water-Treatment-Plant>
- [37] From toilet to tap: Texas town makes the most of its 'pre-owned' water - WHYY. Homepage [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://whyy.org/segments/from-toilet-to-tap-a-texas-town-makes-the-most-of-its-pre-owned-water/>
- [38] Water reuse | OCWD. Home - Orange County Water District [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.ocwd.com/what-we-do/water-reuse/>
- [39] The process - Orange County Water District. Home [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.ocwd.com/gwrs/the-process/>
- [40] NEWater – Singapore's National Water Agency [online]. Dostupné z: <https://www.pub.gov.sg/watersupply/fournationaltaps/newater>
- [41] How is Singapore recycling wastewater to make it drinkable? | World Economic Forum [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.weforum.org/agenda/2022/11/singapore-wastewater-recycling-water-stressed/>
- [42] Recyklace odpadních vod, cíle udržitelného rozvoje a stav v České republice - ASIO [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné

z: <https://www.asio.cz/cz/news/recyklace-odpadnich-vod-cile-udrzitelneho-rozvoje-a-stav-v-ceske-republice.1266>

- [43] Israel Leads World in Water Recycling | Fluence. Global Water & Wastewater Solutions [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.fluencecorp.com/israel-leads-world-in-water-recycling/>
- [44] East Fork Wetland Project, Texas Agricultural Land Trust [online]. [cit. 06.05.2023]. Dostupné z: <https://www.txaglandtrust.org/east-fork-wetland-project/>

## Seznam obrázků a tabulek

OBRÁZEK 1- GLOBÁLNÍ ČISTÉ ANTROPOGENNÍ EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ [GT/CO <sub>2</sub> EKV.ROK], 1990-2019 [2] .....	- 1 -
OBRÁZEK 2 – VÝVOJ PRŮMĚRNÉ SPOTŘEBY VODY NA OSOBU V PRAZE [4] .....	- 2 -
OBRÁZEK 3 – POROVNÁNÍ PRODUKCE ŠEDÉ A ČERNÉ VODY V DOMÁCNOSTI [1] .....	- 3 -
OBRÁZEK 4 – ROZDĚLENÍ PRŮMĚRNÉ DENNÍ POTŘEBY VODY V DOMÁCNOSTI [1].....	- 3 -
OBRÁZEK 5 – SAMOČISTÍCÍ FILTR V INTERNÍM PŘÍKONVENÍ [10].....	- 6 -
OBRÁZEK 6 – PŘÍKLAD OBJEKTU S VYUŽITÍM DEŠŤOVÉ VODY [5].....	- 8 -
OBRÁZEK 7 – PŘEHLED MEMBRÁNOVÝCH PROCESŮ SEPARACE [1].....	- 11 -
OBRÁZEK 8 – VÝMĚNÍK VE SPRCHOVÉ VANIČCE (LOKÁLNÍ PRO OKAMŽITOU SPOTŘEBU) [25] ..	- 12 -
OBRÁZEK 9 – CENTRÁLNÍ DESKOVÝ VÝMĚNÍK NA ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA Z ODPADNÍ VODY [26].....	- 13 -
OBRÁZEK 10 – PŘÍKLAD DOPORUČENÝCH HODNOT PRO MIKROBIOLOGICKÝ MONITORING KVALITY ŠEDÝCH VOD [19].....	- 14 -
OBRÁZEK 11 – PŘÍKLAD HODNOT PRO CELKOVÝ MONITORING KVALITY ŠEDÝCH VOD [19] .....	- 15 -
OBRÁZEK 12 – SCHÉMA ZPRACOVÁNÍ ŠEDÝCH VOD TYPU A NEBO B NA CÍL DANÝ TRÍDOU C2 [20].-	16 -
OBRÁZEK 13 – STÁTY S LEGISLATIVOU PRO PITNÉ ZNOVUVYUŽITÍ VODY (ZELENOU BARVOU JSOU ZNAČENÝ STÁTY, KTERÉ LEGISLATIVU MAJÍ) [28] .....	- 16 -
OBRÁZEK 14 – PRŮMĚRNÉ HODNOTY INDIKÁTORŮ FEKÁLNÍHO ZNEČIŠTĚNÍ V PŘEČIŠTĚNÉ ŠEDÉ VODĚ [30] .....	- 17 -
OBRÁZEK 15 – SYSTÉM PRO RECYKLACI ŠEDÝCH VOD OD FIRMY ASIO [33].....	- 18 -
OBRÁZEK 16 - EAST FORK TRINITY R. WETLAND [44].....	- 19 -
OBRÁZEK 17 -- STANICE REVERZNÍ OSMÓZY – ORANGE COUNTY [39] .....	- 20 -
OBRÁZEK 18 - SCHÉMA ČIŠTĚNÍ VODY V SINGAPURU [40].....	- 20 -
OBRÁZEK 19 - SCHÉMA SYSTÉMU RECYKLACE VODY .....	- 23 -

## Seznam příloh

- Výpočtová část
  - A. Kanalizace
  - B. Vodovod
- Projektová část
  - A. Kanalizace
  - B. Vodovod