



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

ZNOVUVYUŽITÍ ŠEDÝCH VOD V MULTIFUNKČNÍCH BUDOVÁCH

REUSE OF WASTEWATER IN MULTIFUNCTIONAL BUILDINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Skřička

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. PETR HLAVÍNEK, CSc., MBA

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Jakub Skříčka
Název	Znovuvyužití šedých vod v multifunkčních budovách
Vedoucí práce	prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

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 šedých odpadních vod a její využití v inteligentních lidských sídlech prostřednictvím vody vyčištěné, bílé. Součástí rešerše bude i výměník tepla pro rekuperaci energie. 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 student koncepčně navrhne systém technologie znovuvyužití a zpracuje případovou studii včetně instalace výměníků tepla ve velkém měřítku. V případové studii se student zaměří na technické řešení, výpočty, zisk energie a ekonomiku navrženého systému.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce seznamuje čtenáře s dosavadními poznatky v oblasti znovuvyužití šedých odpadních vod. Teoretická část práce popisuje současný stav vody ve světě, dále charakterizuje odpadní vody a popisuje způsob jejího čištění. Dále je v této části popsána možnost získávání tepelné energie z odpadních vod. Na konci teoretické části je čtenář seznámen s některými stávajícími objekty v České republice, které systém čištění odpadních vod využívají. V navazující praktické části jsou veškeré poznatky z teoretické části aplikovány pro konkrétní projekt výstavby systému čištění šedých vod v areálu Vlněna ve městě Brně.

KLÍČOVÁ SLOVA

Šedá voda, černá voda, bílá voda, odpadní voda, tepelné výměníky, technologie znovuvyužití, membrány, čištění odpadních vod

ABSTRACT

This diploma thesis presents reader with current knowledge in the field of gray wastewater reuse. The theoretical part describes the current state of water in the world, thus characterizes wastewater and describes its treatment. Further, this section describes the possibility of obtaining thermal energy from wastewater. At the end of the theoretical part, the reader is presented with some existing buildings in the Czech Republic that use the wastewater re-use technology system. In the following practical part, all the knowledge from the theoretical part are applied for a concrete project of construction of a graywater re-use technology system in the area of Vlněna in Brno city.

KEYWORDS

Greywater, blackwater, whitewater, wastewater, heat changers, re-use technology, membranes, wastewater treatment

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Jakub Skříčka *Znovuvyužití šedých vod v multifunkčních budovách*, 2020. 82 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 *Znovuvyužití šedých vod v multifunkčních budovách* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 10. 01. 2020

Bc. Jakub Skříčka
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci *Znovuvyužití šedých vod v multifunkčních budovách* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 01. 2020

Bc. Jakub Skříčka
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, panu prof. Ing. Petrovi Hlavínkovi CSc., MBA za pomoc a vstřícný přístup při zpracování této práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Kristýně Velikovské, Ing. Jakobovi Račkovi Ph.D., Ing. Martinu Šrámkovi a Ing. Zdeňce Koudelkové za odborné rady a pomoc. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za jejich podporu během celé doby mého studia.

OBSAH

1	ÚVOD	4
2	VODA VE SVĚTĚ	5
2.1	Pitná voda	5
2.2	Současný stav a prognózy spotřeby vody v Evropě.....	7
2.3	Voda v České republice	8
2.3.1	Spotřeba vody v ČR.....	8
2.3.2	Vhodná opatření pro úsporu spotřeby vody v domácnosti.....	10
3	ODPADNÍ VODY	13
3.1	Druhy odpadních vod	13
3.1.1	Splašková voda	13
3.1.2	Srážková voda.....	14
3.2	Šedá odpadní voda	14
3.2.1	Chemicko-fyzikální vlastnosti šedých vod	15
3.2.2	Využití šedých vod v inteligentních lidských sídlech.....	16
3.2.3	Bílá odpadní voda	17
3.2.4	Černá odpadní voda	18
4	ČIŠTĚNÍ SPLAŠKOVÉ VODY A ŠEDÉ ODPADNÍ VODY	20
4.1	Čištění a úprava splaškové vody	20
4.1.1	Čištění chemickou úpravou	20
4.1.2	Čištění biologickou úpravou	20
4.1.1	Čištění fyzikální úpravou.....	21
4.1.2	Přírodní postupy čištění	21
4.2	Čištění a úprava vody šedé na vodu bílou.....	22
4.2.1	Typy čištění šedé vody	23
5	VÝMĚNÍKY TEPLA PRO REKUPERACI ENERGIE	25
5.1	Rekuperace tepla.....	25
5.2	Metody odebrání tepla.....	26
5.2.1	Centrální systém ZZTOV	26
5.2.2	Lokální systém ZZTOV	27
5.3	Situování tepelných výměníků	28
5.3.1	Vertikální situování tepelných výměníků	28
5.3.2	Horizontální situování tepelných výměníků	29
6	STÁVAJÍCÍ OBJEKTY V ČR VYUŽÍVAJÍCÍ REUSE TECHNOLOGII	30

6.1	Otevřená zahrada v Brně	30
6.1.1	Kořenová čistírna	30
6.2	Botanica K	31
6.3	Sportcentrum Prostějov	32
6.4	Liko-S ve Slavkově u Brna	33
6.1	Panelový dům v Jiříkově	34
6.2	Mosaic house	34
6.2.1	Certifikace budov BREEAM	35
7	PRAKTICKÁ ČÁST	36
7.1	Popis zájmového objektu	36
7.1.1	System řešení přítoku pitné vody do objektu	38
7.1.2	Produkce odpadních vod	38
7.1.3	Certifikace BREEAM spojená s výstavbou zájmového objektu	39
7.2	Koncepční návrh	39
7.2.1	Znovuvyužití šedé vody pro splachování toalet	40
7.2.2	Znovuvyužití tepelné energie z šedých odpadních vod	43
7.3	Technické řešení	47
7.3.1	Vyrovňovací nádrž s funkcí čerpací stanice	47
7.3.2	Reakční nádrž s membránovými moduly	48
7.3.3	Akumulační nádrž	49
7.3.4	Automatická tlaková stanice (ATS)	49
7.4	Orientační stanovení investičních nákladů	49
7.4.1	Investiční náklady ZŠV	49
7.4.2	Investiční náklady ZTE	50
7.5	Orientační propočet ekonomické návratnosti	50
7.5.1	Ekonomická návratnost ZŠV	50
7.5.2	Ekonomická návratnost ZTE	57
7.5.3	Ekonomická návratnost kombinace ZŠV+ZTE	64
8	ZÁVĚR	69
9	POUŽITÁ LITERATURA	71
10	SUMMARY	76
11	SEZNAM TABULEK	77
12	SEZNAM OBRÁZKŮ	78
13	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	80

14	SEZNAM PŘÍLOH.....	82
-----------	---------------------------	-----------

1 ÚVOD

Voda, její spotřeba a následný nedostatek. Toto téma začíná být v posledních letech nejen pro odbornou, ale i širokou veřejnost vysoce aktuální. Obzvláště v letních obdobích sucha se s informací o nedostatečném počtu zdrojů pitné vody dostane do styku téměř každý. Nedostatek vody již není problémem pouze některých zemí, ale stává se světovým tématem. Přesto se málokdo pozastaví nad faktem, že v drtivé většině západních zemí s vysokou životní úrovní, se pro splachování toalet používá (logicky bez dalšího jejího využití) právě pitná voda. Taktéž zisk energie prostřednictvím spalování fosilních paliv v aktuálně obrovském množství urychluje globální oteplování, které má nemalý vliv na snižování kvality a vydatnosti vodních zdrojů. Vzhledem k těmto skutečnostem je nutné věnovat zvýšenou pozornost alternativním způsobům získávání vody a tepelné energie. Stále více a více se dostává do popředí koncepce opětovného využití odpadní vody. V České republice však zatím stále chybí širší zkušenosti a znalosti v této problematice. Cílem práce je více obeznámit čtenáře s tímto tématem.

Koncepce opětovného využití odpadní vody je založena na jejím sběru, čištění a znovuvyužití v místě jejího vzniku. Základním bodem opětovného využití odpadní vody je separace znovuvyužitelné odpadní vody (takzvané šedé vody) a již nevyužitelné odpadní vody (černé vody). Upravená černá voda totiž vyžaduje složitější čisticí procesy než úprava vody šedé. Upravená šedá voda, tzv. bílá voda, nevyžaduje splňování tak přísných podmínek, jako je tomu u vody pitné, tudíž je využitelná pro provozní účely objektů. Díky této separaci můžeme zajistit další použití šedé vody pro procesy, u kterých není nutné využívat pitné vody [48].

V praktické části je vybrán konkrétní objekt administrativní budovy v areálu Vlněna poblíž centra města Brna, do kterého je implementován systém znovuvyužití odpadních vod odtékajících ze sprchových koutů a umyvadel. Tato odtékající voda je po následné úpravě opětovně využívána v celé budově pro splachování toalet. Součástí této praktické části je výpočet reálné produkce šedé odpadní vody v celé budově a celkové potřeby vody bílé (tedy upravené šedé odpadní vody) v objektu. Na základě získaných hodnot je vyhotoven koncepční návrh systému čištění šedé vody včetně využití tepelné energie získané z této odpadní vody. Popsáno je také samotné technické řešení čistírny. V poslední části této kapitoly je vypracována ekonomická stránka celého projektu, tedy výše investičních nákladů, doba návratnosti investice a čistá současná hodnota systému.

2 VODA VE SVĚTĚ

Většina zemského povrchu je pokryta molekulovou strukturou složenou z jednoho atomu kyslíku a dvou atomů vodíku – vodou. Také člověk je z většiny tvořen vodou a bez vody nepřežije více než několik dní. U novorozenců může být podíl vody až 80 %, v dospělosti podíl klesá k 60 %. Dochází-li k úbytku vody v těle, nazýváme tento proces dehydratací, která ve vážné míře může znamenat smrt. Předpokládá se, že ve vodě vznikl první život a každá živá bytost se bez ní obejde jen po omezenou dobu [36].

Voda se nejčastěji vyskytuje v kapalném skupenství, v pevném skupenství nabývá podoby ledových ker nebo sněhu a v plynném skupenství se vyskytuje jako pára. V kapalně podobě se voda na jině, než naší planetě ve sluneční soustavě nenachází. Surová voda v kapalně formě nemá ani chuť, ani vůni a v tenkých vrstvách je bezbarvá. Světovým dnem vody podle OSN je 22. březen [56].

V přírodě se setkáváme s koloběhem vody, během něhož dochází ke změnám skupenství vody za přispění slunečního záření, gravitace a pohybu planety. Z oceánů, dalších povrchových zdrojů a rostlin se voda vypařuje a vytváří mraky. Kondenzací se mění zpátky v kapalně skupenství a deštěm či sněžením se dostává zpět na zem, vsakuje se do půdy a posiluje vodní toky. Problémy s nerovnoměrným vlivem počasí však mohou způsobovat extrémní sucha a nedostatek vláhly nebo na druhou stranu při extrémním sněžení či deštích sněhové kalamity nebo rychlé tání sněhu a následné záplavy [56].

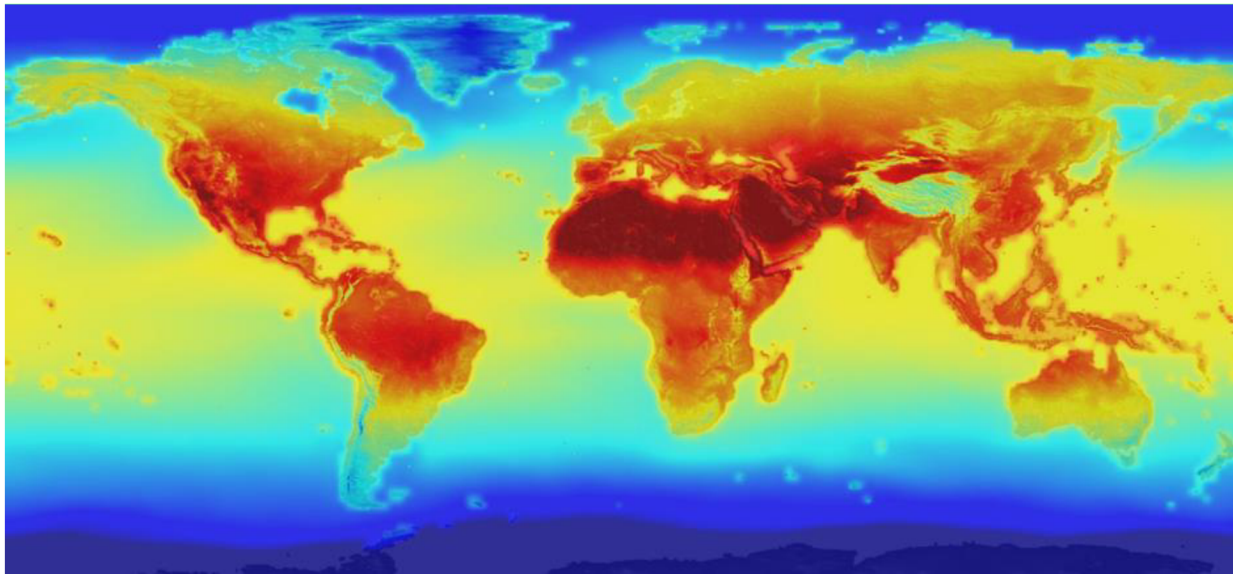
2.1 PITNÁ VODA

V programu Organizace spojených národů si do programu tisíciletí z roku 2000 vytyčila bod, ve kterém se vyskytuje snaha snížit počet lidí nemající přístup k pitné vodě. Dosud se tento problém vztahoval zejména na lidi z rozvojových zemí, nicméně v poslední době se začíná více mluvit o tom, že v příštích desetiletích se tyto problémy mohou dotknout i vyspělých států [60].

Jednoduše řečeno, o nedostatku vody se začíná poslední dobou hovořit jako o globálním problému a ochrana vod začíná být tématem pro celý svět.

Dostatek pitné vody bude pro rostoucí populaci stále větším problémem. Organizace spojených národů odhaduje, že do roku 2025 budou dvě třetiny světové populace žít v oblastech, kde bude zásobování pitnou vodou omezené. V zemích, kde nebude možné pokrýt poptávku po vodě, bude žít 1,8 miliardy lidí [2].

Studie NASA a *University of California* už v roce 2015 uvedla, že třetina největších podzemních sladkovodních zdrojů vody na Zemi trpí nedostatečnými zásobami kvůli častějším obdobím sucha a nedostatku srážek. Nejvíce jsou ohroženy zásoby vody na Arabském poloostrově a na pomezí Indie a Pákistánu. Spotřeba vody přitom ve světě stále stoupá. Světové ekonomické fórum očekává, že v roce 2030 bude propast mezi poptávkou a skutečnými dodávkami vody činit 40 procent. Voda je přitom zásadní surovinou pro zemědělství, energetiku a mnoho průmyslových sektorů jako je chemický, textilní a potravinářský průmysl. Samotné zemědělství se na světové spotřebě vody podílí 70 procenty [1].



Obrázek 1: Oblasti dotčené klimatickými změnami (červená nejvíce) [10]

S klimatickou změnou se potýká celý svět a s ní spojený pokles množství pitné vody bude pro rostoucí populace stále větším problémem.

Příklad, na kterém se dá reflektovat současný stav klimatu, je i Středomoří. Podle řady vědců je změnami sužováno více než ostatní části světa. Podle nové zprávy Středomořské unie, jejímž členem je i Česká republika, se tato oblast otepluje o pětinu rychleji, než je globální průměr. Podle studie se teplota ve Středomoří zvedla oproti období před průmyslovou revolucí v průměru o 1,5 °C. Pokud by takový nárůst teplot měl stejnou tendenci, znamenalo by to, že okolo roku 2040 se teplota zvedne o 2,2 °C, v některých částech této oblasti by teplota mohla být okolo roku 2100 vyšší až o 3,8 °C. To by podle mnoha odborníků znamenalo pro čtvrt milionu lidí z tohoto regionu problémy s nedostatkem vody [3].

Příklad výše tak potvrzuje, že brzy se i mezi dotčenými oblastmi mohou nacházet ty regiony, které dosud existenční problémy s nedostatkem vody neměly.

Agentura „Spojené národy - voda“ (UN – Water) v komentáři k tématu Světového dne vody v roce 2019 uvedla pro zdůraznění nezbytnosti dostupných vodních zdrojů tzv. klíčová fakta. Některými z nich jsou následující poznatky:

- celkem 2,1 mld. lidí na světě žije bez dostupnosti k pitné vodě;
- přibližně 4 mld. lidí, tedy asi dvě třetiny světové populace, je vystaveno nedostatku vody každoročně minimálně 1 měsíc;
- pouze 0,5 % světových zdrojů vody je využitelných pro zajištění dodávek sladké vody, kterou potřebuje ekosystém na Zemi a lidská populace;
- v 60 % evropských měst s více než sto tisíci obyvateli je podzemní voda spotřebována mnohem rychleji, než se její množství dokáže obnovit. Ve stejný okamžik kvůli stárnoucí infrastruktuře dojde ke ztrátám více než 40 % objemu dodávek vody kvůli poruchám a nehodám;
- jeden dolar investovaný do vody (zavedení čištění odpadních vod, její úprava a znovuvyužití) vygeneruje v ekonomice dalších 8 dolarů [2].

Na světě je zhruba 1,4 miliard m^3 vody, což je asi 70 % zemského povrchu. Tento objem je konstantní [2]. Z výše uvedených faktů je tedy potřeba zdůraznit jednu věc. Vody jako takové na světě neubývá, problém je ve snižujícím se množství vody sladké, tedy vody potřebné pro život člověka. Mění se klimatické podmínky tak mají velký vliv na snižující se množství vodních zdrojů, které jsou využitelné pro lidstvo. Jako reakci na tato fakta je potřeba uvažovat nad vhodnými opatřeními, jak tento trend co nejlépe zmírnit.

Například Johannes Cullman ze Světové meteorologické organizace zdůraznil, že je třeba, aby sektor využíval nové technologie, jako je optimalizace zavlažování a jeho řízení. Problém je i ve stárnoucí infrastruktuře vodovodního potrubí na celém světě. V řadě měst Anglie a Walesu pocházejí vodovody z viktoriánského období. Uniká jimi tři miliardy litrů vody každý den. I kvůli nárůstu počtu obyvatel bude potřebovat hlavní město Británie v roce 2025 nový zdroj pitné vody [7].

Obecně v celé Evropě vodovodní infrastruktura stárne a v následujících letech bude potřeba stále vyšších investic, varoval Cullmann. Šéf francouzské firmy Suez Jean-Louis Chaussade vysvětlil, že do budoucna budou muset společnosti ve vodárenství stále více investovat do recyklace vody. Cullmann tvrdí, že současné hospodaření s odpadní vodou, která teče přímo do řek a moří, je skandální [7].

Jako další problém můžeme uvést splachování toalet pitnou vodou ve většině evropských států, USA apod. v konfrontaci s hrubým nedostatkem vodních zdrojů v jiných částech světa. V rozvojových zemích spotřebuje domácnost v průměru 10 litrů vody denně, což by v řadě vyspělých států stačilo na jedno spláchnutí [7].

2.2 SOUČASNÝ STAV A PROGNÓZY SPOTŘEBY VODY V EVROPĚ

Spotřeba vody ve většině odvětví hospodářství se v Evropě od 90. let 20. století snížila, a to díky řadě opatření, která byla přijata za účelem zvýšení účinnosti, jako je lepší nacenění vody nebo technologické zdokonalení zařízení a strojů [8].

Stále však podle indexu využívání vody sestavovaného agenturou EEA bude voda i nadále hojně využívána v odvětvích, jako je zemědělství a energetika, a stejně tak i spotřebiteli v domácnostech, k uspokojení poptávky, která se má podle očekávání i nadále zvyšovat. Změna klimatu bude i nadále vystavovat vodní zdroje dalšímu tlaku a očekává se, že se v řadě jižních regionů zvýší riziko sucha. Úlohu též sehrají demografické trendy. Počet obyvatel Evropy se za posledních dvacet let zvýšil o 10 % a očekává se, že tento trend bude pokračovat. Současně se stále více lidí stěhuje do městských oblastí, což rovněž bude představovat další zátěž pro zásobování vodou [7].

Poptávka po vodě vzroste v některých regionech během klíčových období i ve vztahu k určitým odvětvím, zejména hromadnému cestovnímu ruchu. Každý rok miliony lidí navštěvují destinace v celé Evropě a jejich spotřeba vody tvoří asi 9 % celkové roční spotřeby vody. Většina této spotřeby připadá na činnosti v rámci služeb spojených s ubytováním a potravinářstvím. Očekává se, že cestovní ruch zvýší tlak na dodávky vody, zejména na malých ostrovech ve Středozezemním moři, z nichž většina zaznamenává ohromný příliv letních návštěvníků [8].

Celkové dilema je jasné. Vodu potřebují lidé, příroda i hospodářství. Čím více odebereme ze zdroje vody, tím větší dopad to má na přírodu. Kromě toho v některých regionech, zejména

během některých měsíců, se vody nedostává. Očekává se, že změna klimatu tento vodní deficit dále zhorší. Vzhledem k tomu musíme všichni využívat vodu účinněji. Navíc šetření vodou nám pomůže ušetřit i další suroviny a pomůže ochránit přírodu [8].

2.3 VODA V ČESKÉ REPUBLICE

System vlastnictví ve vodním sektoru dosáhl největších změn v porevoluční době. Na začátku devadesátých let minulého století se vodohospodářská infrastruktura vrátila do rukou měst a obcí, které musely vydat rozhodnutí, jak s nově nabytým majetkem naloží. Zhruba třetina municipalit se rozhodla pro takzvaný smíšený model vlastnictví, kdy subjekt majetek vlastní i provozuje. Zbylé dvě třetiny zvolily model oddílný, kdy byl jako provozovatel zvolen externí subjekt.

V současnosti 85 % infrastruktury v ČR vlastní města a obce. Specifická je situace v Moravskoslezském kraji (s výjimkou Ostravy, kde funguje oddílný model). Třetí největší společnost u nás, Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava, totiž infrastrukturu vlastní i provozuje.

Dalším důsledkem porevolučního dění je výrazná fragmentace sektoru, kdy existuje více než 6400 majitelů (přestože měst a obcí je 6300) a 2700 provozovatelů. 50 největších vodárenských společností pak zásobuje zhruba 90 % obyvatel. V souvislosti s tímto faktem mají malé vodárenské společnosti často problém s tím, aby generovaly dostatečné prostředky, které by pokryly náklady na obnovu sítí. Nejvíce jim v tom brání častá obava zvýšit cenu stočného a vodného na reálnou úroveň, tedy úroveň odpovídající skutečným nákladům. Často se tak v krizových momentech obrací na státní organizace s žádostí o podporu či dotaci [56].

2.3.1 Spotřeba vody v ČR

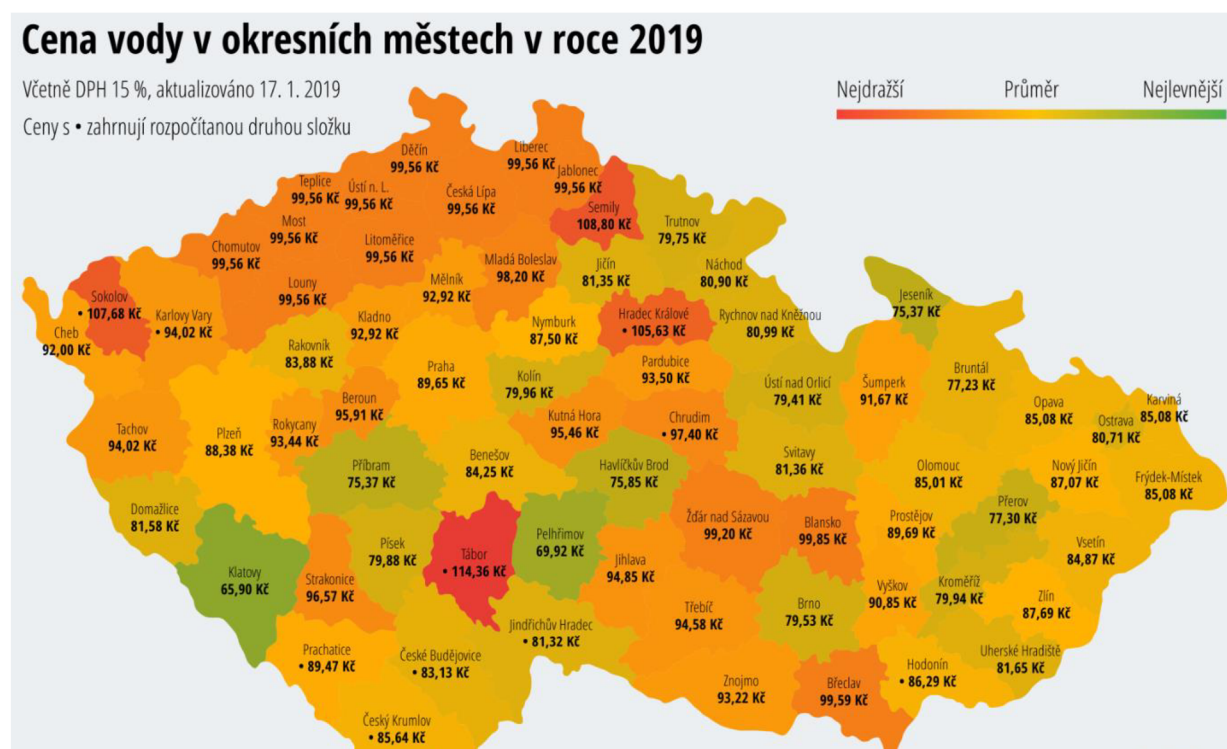
V roce 2018 bylo pro potřeby výroby pitné vody odebráno celkem 625 mil. m³ surové vody, z toho 326 mil. m³ bylo odebráno z povrchových zdrojů a 299 mil. m³ z podzemních zdrojů. Podíl podzemních vod na celkovém objemu odebraných vod činil 48 %, povrchových pak 52 %. V této souvislosti je vhodné připomenout, že v roce 2013 podíl podzemních vod činil 49 % a od té doby podíl podzemních vod na odběru pro výrobu pitné vody meziročně setrvalé klesá. Tuto skutečnost lze přičíst především přetrvávajícímu suchu a zaklesávání hladiny podzemních vod na území ČR.

Celkový objem vyrobené pitné vody je od roku 2013 konstantní, jedná se o asi 601 mil m³. Jednotlivým domácnostem byla dodána a fakturována pitná voda v celkovém objemu 328 mil m³, spotřeba pitné vody v domácnosti činila v přepočtu průměrně 89,2 litru na osobu a den. Od roku 2013 došlo k navýšení spotřeby o 2 litry na osobu a den, což lze přičíst především vyšší míře využívání pitné vody z veřejných vodovodů v domácnostech, které disponují i individuálním zdrojem vody (studna) [11].

Dle dlouhodobých statistik však Češi přesto umí s vodou hospodařit dobře. Zatímco v devadesátých letech představovala spotřeba vody za den na osobu 159 litrů, dnes je to téměř polovina. Naopak pro porovnání v USA je to 300 litrů a ve Velké Británii 350 litrů. Průměr Evropské unie činí 150 litrů na osobu a den [60].

Podle oddělní statistiky životního prostředí ČSÚ je nejvyšší spotřeba vody v domácnostech v Praze. Převyšuje 107 litrů na osobu za den. Nejnižší je naopak ve Zlínském kraji, kde je přibližně o 32 litrů menší [9].

Vodné a stočné nadále udržují vzestupný trend. Pitná voda stála loni průměrně 38,10 Kč za metr krychlový bez DPH, oproti roku 2017 o 90 haléřů více. Stočné stoupl v průměru o 60 haléřů na 33,40 Kč [9].



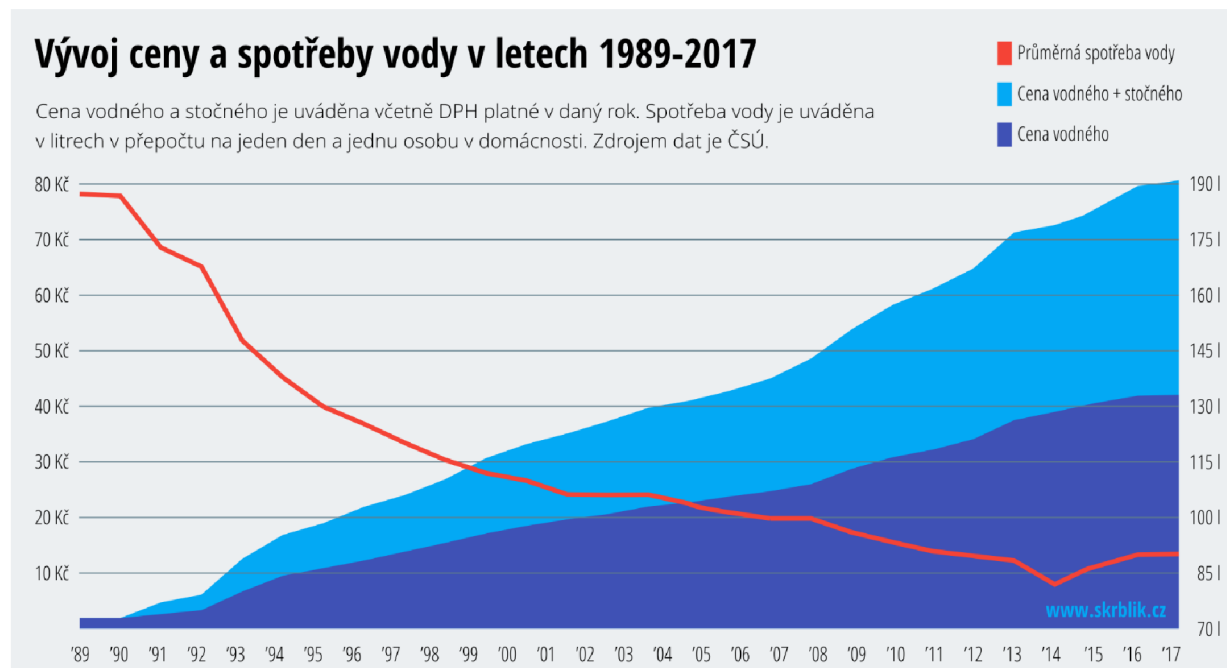
Obrázek 2: Ceny vody v okresních městech ČR v roce 2019 [57]

Jak již bylo uvedeno výše, důvody zvýšení ceny vodného a stočného jsou především zvyšující se náklady na údržbu a obnovu sítí. Díky vynakládaným prostředkům do oprav, údržby a obnovy infrastruktury, systematické péči o ni a úspěšným identifikováním skrytých poruch, dochází k poklesu havárií. Ztráty vody v síti jsou dle republikového průměru 18 %, vhodnými opatřeními však je možné docílit výsledků ztráty vody ve výši 9 %, což je dvojnásobně méně ztrát [56].

Dalším důvodem může být i změna strategie výroby vody. Například Brněnské vodárny a kanalizace se pro nadcházející rok 2020 chystají nastavit strategii, která umožňuje stabilizaci hladin podzemních vod v Březové nad Svitavou (prameniště, odkud je čerpána surová podzemní voda) v důsledku nízkých srážek v posledních letech. I proto bude v roce 2020 více využíván zdroj povrchové vody z vodní nádrže Vír, jejíž voda je upravována na úpravně vody Švařec. Nákup surové vody se tímto zvyšuje kvůli rozdílům v ceně jednotlivých zdrojů. Metr krychlový podzemní vody totiž stojí dvě koruny, zatímco za stejný objem vody povrchové společnost zaplatí 7 korun [56].

Podle informací ČTK z konce listopadu tohoto roku (2019) konkrétně v Brně společnost Brněnské vodárny a kanalizace hodlají zdražit vodné a stočné o 4,77 koruny za krychlový metr,

což v přepočtu činí nárůst zhruba o 6 % na 84,30 koruny za metr krychlový. Od května 2020 však cena za vodné a stočné bude opět klesat, jelikož dojde ke snížení DPH z dosavadních 15 % (viz výše) na 10 % (jedná se o zvýhodněnou deseti procentní sazbu DPH na vybrané položky). Od května 2020 by tak mělo být v Brně vodné a stočné zvýšeno oproti roku 2019 o 1,1 koruny (zhruba 1,6 %) [56].



Obrázek 3: Vývoj cen a spotřeby vody v ČR [57]

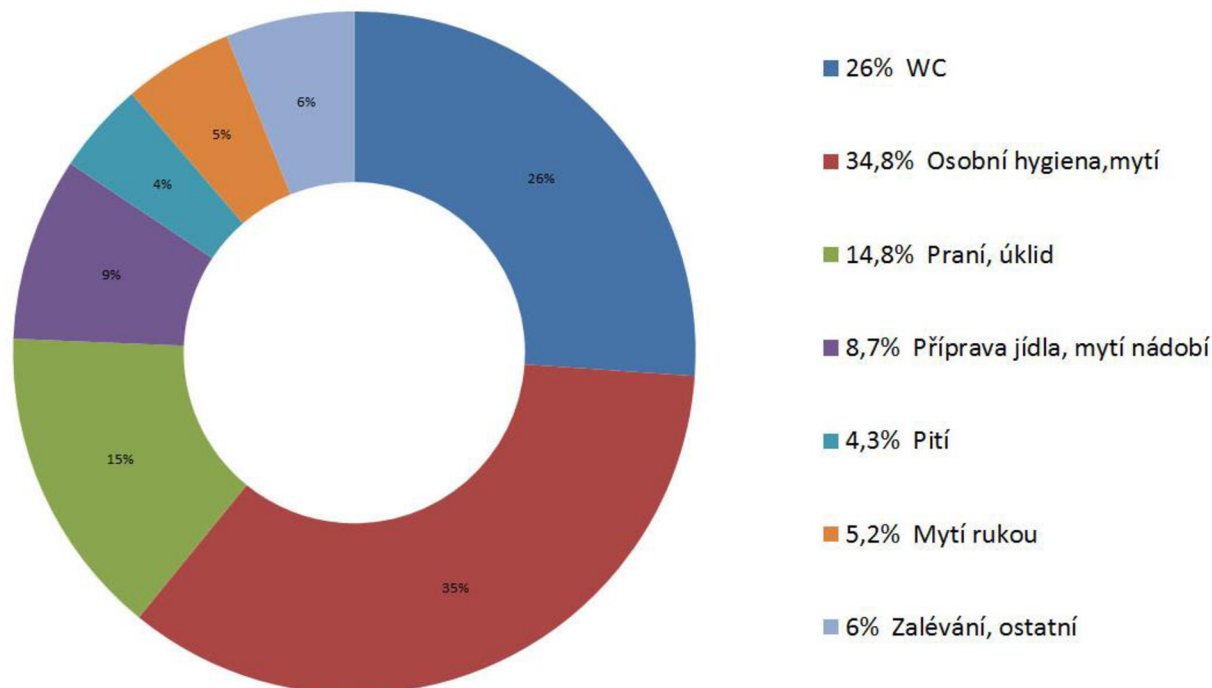
V České republice se na vodném a stočném každoročně vybere více než 40 miliard korun, z čehož ovšem 41 % představují odvody, daně a další poplatky směřující do veřejných rozpočtů. Dle průzkumů má Česká republika společně s Německem nejvyšší poplatky v Evropě za odběr povrchové a podzemní vody, DPH za vodu je v těchto zemích stanovena na 15 %. Výše DPH za vodu se však v evropských státech liší. V některých zemích je odběr vody osvobozen od daně úplně, jinde daň může být nižší, ale i vyšší v porovnání s 15 % daně z přidané hodnoty u nás (na Slovensku, Estonsku a Bulharsku je DPH 20 %, v Rumunsku až 25 %). Majetek v sektoru vodárenství a kanalizací v ČR přesahuje jeden bilion korun, do jeho obnovy by se dle propočtů mělo investovat ročně 20-25 miliard, reálné investice jsou ovšem zhruba poloviční [56].

Vodou z vodovodů bylo loni zásobováno 94,7 procenta obyvatel ČR, tedy stejně jako v roce 2017, kdy bylo z vodovodů poprvé zásobeno více než deset milionů obyvatel. Podíl obyvatel napojených na kanalizaci dosáhl loni 85,5 procenta, což představuje 9,09 milionu lidí [11].

2.3.2 Vhodná opatření pro úsporu spotřeby vody v domácnosti

Téměř dvě třetiny spotřebované vody v domácnosti proteče vanou, sprchou či toaletou. Více než třetina spotřeby vody připadá na sprchování a koupání, necelou třetinu tvoří splachování toalety a zhruba 15 % z celkové spotřeby vody spadá na praní prádla a úklid [59].

Graf níže znázorňuje objem spotřebované vody v jednotlivých odvětvích spotřeby v domácnosti. V rozboru níže jsou popsány podrobněji nedostatky čtyř, dle objemu vody největších příčin spotřeby vody v domácnosti.



Obrázek 4: Spotřeba vody v domácnosti [59]

- Splachování

Při každém spláchnutí toalety dochází k velkému odtoku pitné vody, jejíž objem může, zejména u starších modelů toalet (respektive v závislosti na velikosti nádrčky) nabývat hodnoty až 10 litrů, což v přepočtu znamená necelá koruna na spláchnutí. Pokud jedna osoba spláchně za den čtyřikrát, znamená to zhruba 1400 spláchnutí ročně (a tedy skoro 1400 Kč za rok na osobu za spláchnutí, což není zanedbatelná částka). Moderní toalety jsou vybaveny systémem dvojího splachování, kdy je možné si vybrat z průtoku tři nebo šest litrů vody na spláchnutí. Roční náklady při používání tohoto typu toalet se tak pohybují kolem 400 Kč za rok na osobu. Úspora tak může být až 1000 Kč ročně. Mezi další opatření, jak ušetřit spotřebu vody, je instalace rozvodů šedých vod v objektu, která je sice investičně náročnější, nicméně v následujících letech by se s touto variantou mělo počítat jako se samozřejmostí [59]

- Sprchování a koupání

Pro šetrnější sprchování a koupání již existují úsporné sprchové hlavice se spotřebou okolo 10 litrů za minutu namísto běžných 20-25 litrů za minutu. Princip fungování úsporných sprch spočívá v užití speciální konstrukce, která vodu ředí vzduchem a ze sprchy tak stříká voda v menších kapkách, než je tomu u klasických sprch. Díky tomu je objem spotřebované vody menší, komfortní pocit ze sprchování je však stále zachován [58]. Jelikož není voda ze sprchových koutů a koupelí tolik znečištěná, jako je tomu u vody odtékající z toalet, uvažuje se v poslední době o čím dál větším znovuvyužití této

vody pro jiné účely (například zavlažování, rekuperace tepla atd.). Těmito opatřeními by došlo nepřímo k úspoře vody, protože by mohla být opětovně, byť pro jiné účely, použita.

- **Praní a úklid**
Staré pračky se byly schopny při každém praní naplnit až 100 litry vody, což v přepočtu činí necelých 9,- Kč za jedno praní. Oproti tomu nové pračky použijí objem vody v rozmezí 40 až 80 litrů vody za praní. Některé pračky umí prané prádlo před začátkem pracovního procesu zvážit a poměrově si odebrat adekvátní množství vody, zároveň také nastaví délku pracovního cyklu. Významně tak uspoří nejen vodu, ale stejně tak i elektrickou energii [58]. Zde platí to stejné, co u sprchování a koupání – odtékající voda je možná opětovně využít, v takovém případě znovu dochází k úspoře.
- **Mytí nádobí**
Rozdíl ve spotřebě vody při používání myčky a ručním mytím není zásadní, nicméně podle statistik na mytí nádobí v myčce využijeme méně vody než ručním mytím. Zatímco úspornější myčkou nádobí proteče okolo 10-15 litrů vody za jeden cyklus, při ručním mytí ve dřezu spotřebujeme asi 20 litrů vody. Na druhou stranu při užívání myčky spotřebováváme elektrickou energii a prací prostředky, při přičtení těchto faktorů tak nelze jednoznačně určit, který způsob mytí nádobí je hospodárnější [58]. Rovněž, co se týká úspory v podobě znovuvyužití špinavé vody, zde je nutné individuálně posoudit, zda se proces znovuvyužití vody vyplatí. Voda odtékající z kuchyňských dřezů a myček nádobí je v porovnání s výše zmíněnými odtékajícími vodami nejvíce znečištěna, a proto je potřeba vynaložit mnohem účinnější (a tím i finančně náročnější) prostředky, pro její nutné vyčištění do požadovaných hodnot kvality bílé vody.

3 ODPADNÍ VODY

Za odpadní vodu je považována veškerá voda, která projde jakýmkoliv výrobním procesem a tímto použitím se změnila její jakost nebo teplota, případně i jiné vody, odtékající ze sídlišť, obcí, dolů, závodů a dalších objektů, které jsou vypouštěny do vod povrchových (recipientů) a mohou ohrozit jakost těchto vod [44].

Znečištění splašků je závislé na způsobu života obyvatel, životní úrovni a technické vybavenosti domácnosti i obce. V odpadních vodách jsou látky rozpuštěné i nerozpuštěné. Nerozpuštěné látky jsou jednak sunuty po dně stok (písek, hlína, šterk, škvára), tak unášené a plovoucí (hadry, papír, jemný kal vznikající rozmělněním různých organických zbytků a výkalů) [45].

Kvalita odpadních vod se klasifikuje pomocí několika ukazatelů. Organické znečištění se hodnotí biochemickou spotřebou kyslíku za 5 dní (BSK_5). Je to rozdíl obsahu kyslíku ve vodě v $mg \cdot l^{-1}$ v okamžiku odebrání vzorku a za 5 dní. Čím bude tato hodnota větší, tím je voda více znečištěna organickými látkami, protože se kyslík spotřeboval biochemickými procesy samočištění vody. Pětidenní interval stanovili ve Velké Británii, kde doba, za kterou voda teče od pramenu až do moře, je maximálně 5 dní. Britští vědci byli prvními na světě, kteří se touto problematikou zabývali. BSK_5 je mírou obsahu organických látek těch biologicky rozložitelných oproti $CHSK$ (chemická spotřeba kyslíku), kde se organické znečištění stanovuje titrací chemickým oxidovadlem, a které oxiduje i látky biologicky nerozložitelné. Platí, že $BSK_5 < CHSK_{Cr}$. Z organických látek se nejčastěji věnuje pozornost těm skupinám organických látek, které významným způsobem ovlivňují jakost a chování vody. Jsou to zejména ropa a ropné látky, fenoly a tenzidy. Voda se dále klasifikuje podle množství nerozpuštěných látek, pH, obsahu dusíku a fosforu a jiných parametrů [44].

Odpadní vodu můžeme rozdělit dle místa vzniku na vodu splaškovou a vodu srážkovou (nazývanou taky dešťovou).

3.1 DRUHY ODPADNÍCH VOD

3.1.1 Splašková voda

Jako splaškové odpadní vody jsou definovány ty, které jsou vypouštěné obyvatelstvem z bytů a obytných domů. Do této kategorie spadají i odpadní vody z obecní, respektive městské vybavenosti (úřady, restaurace, hotely, penziony, školy, apod.), které jsou podobného charakteru jako odpadní vody z domácností [46].

Vlastnosti splaškových vod jsou ovlivněny řadou aspektů, která souvisí s jejich původem.

Tabulka 1 Orientační obecné složení splaškových vod [45][47]

UKAZATEL	ROZMEZÍ
pH	6,5-8,5 [-]
NL (Nerozpuštěné látky)	200-700 [mg·l ⁻¹]
RL (Rozpuštěné látky)	600-800 [mg·l ⁻¹]
BSK ₅	100-400 [mg·l ⁻¹]
CHSK _{Cr}	250-800 [mg·l ⁻¹]
N _{celk.}	30-70 [mg·l ⁻¹]
NH ₄	20-45 [mg·l ⁻¹]
P _{celk.}	5-15 [mg·l ⁻¹]

Splaškovou vodu můžeme dále rozdělit na šedou odpadní vodu a černou odpadní vodu [48].

3.1.2 Srážková voda

Jedná se o vody odváděné z intravilánu obce veřejnou kanalizací, nebo z výrobního závodu či jiných ploch. Veřejné kanalizace mohou být jednak oddílné, které odvádějí vody splaškové jiným samostatným potrubím než vody dešťové (dešťovou kanalizací) a jednak jednotné, jimiž je odváděna voda splašková společně s vodou dešťovou na ČOV [46].

Přestože dešťovou vodu můžeme uvnitř budovy rovněž využít, nemůžeme ji řadit mezi vodu šedou. Hlavní rozdíl spočívá v tom, že šedá voda vzniká uvnitř budovy. Rozdíl můžeme nalézt i v kvalitě a složení surové šedé vody a dešťové vody, každá voda tak potřebuje naprosto odlišný způsob čištění a úpravy, aby bylo dosaženo výsledné kvality vody [13].

3.2 ŠEDÁ ODPADNÍ VODA

Šedá voda dostala svoje pojmenování podle nezaměnitelného zbarvení a zahrnuje splaškové odpadní vody, které odtékají z umyvadel, praček, van, sprch, dřezů a dalších vod neobsahující fekálie a moč [13]. Recyklovanou šedou vodu (zejména z koupelen) je možné dále využívat po úpravě jako vodu provozní (tzv. bílá voda).

Spotřeba vody se liší od objektu, ve kterém se nachází. Tedy spotřeba vody a její rozdělení dle využití bude různá například v bytovém domě či kancelářské budově. Tématem této práce je znovuvyužití šedých vod v budově administrativního typu, tabulka níže tak znázorňuje potřeby vody pro kancelářskou budovu:

Tabulka 2: Potřeby vody v kancelářských budovách dle Vyhlášky č.120/2011 Sb [45]

Dostupná zařízení	spotřeba na jednu osobu denně
WC, umyvadla	8
WC, umyvadla a tekoucí teplá voda	14
WC, umyvadla a tekoucí teplá voda s možností sprchování	18

Produkce šedé vody tvoří více než 60 % celkové produkce odpadní vody v domácnosti a asi 50 % celkové průměrné denní potřeby vody v domácnosti.

Například bytový dům s 200 jednotkami a 350 obyvateli může generovat 15-19 mil. litrů vody ročně. V případě hotelu s 200 pokoji to může dokonce být ještě více, a to kvůli častému praní ložního prádla a ručníků. I fitness tělocvičny a další podobné komplexy s více než 500 uživateli denně produkují až 11 mil. litrů vody ročně. Z těchto čísel je zřejmé, že se jedná o významné množství vody, které v některých sušších oblastech přesahuje množství zachycení a sběru dešťové vody [16].

Šedé vody můžeme rozdělit do několika kategorií:

- neseparované šedé vody;
- šedé vody z kuchyní a myček;
- šedé vody z praček;
- šedé vody z umyvadel, van a sprch;
- ostatní šedé vody.

Vlastnosti šedých vod se odráží právě na výše uvedených kategoriích (symbolizujících různý vznik a původ), do kterých konkrétní voda spadá.

3.2.1 Chemicko-fyzikální vlastnosti šedých vod

BSK₅, CHSK

Z hlediska chemického složení je poměr mezi CHSK a BSK₅ zpravidla 4:1, což ukazuje na vyšší podíl obtížněji rozložitelných organických látek (v klasických komunálních vodách je poměr CHSK : BSK₅ obvykle okolo 2:1). Tento nepříznivý poměr platí zejména pro odtoky ze sprch, kde se používají mýdla a šampony.

Tabulka 3: Hodnoty BSK₅, CHSK v šedých vodách [44]

Zdroj šedé vody:	Pračky	Vany, sprchy, umyvadla	Kuchyně, myčky	Neseparovaná šedá voda
BSK ₅ [mg·l ⁻¹]	45-682	19-200	669-756	41-194
CHSK _{Cr} [mg·l ⁻¹]	375	64-8000	26-1600	49-623

pH, teplota

U komunálních vod se pH pohybuje v rozmezí 7 až 8, u šedých vod se pH výrazněji liší na základě původu. U šedých vod z koupelen a kuchyní je pH 5 až 8,6, u vod šedých s podílem vod z praní je pH 9,3 až 10 [40]. Šedé vody z kuchyní jsou tedy spíše kyselé nebo mírně zásadité, oproti tomu šedé vody z praček jsou zásadité.

Teplota šedých vod z praček kolísá mezi 28 až 32 °C, z van, sprchových koutů a umyvadel mezi 18 až 38 °C, neboť pro hygienické účely je používána teplá voda. Čím vyšší teplota vody je, tím více dochází k rozvoji mikroorganismů [40].

Zákal, plovoucí látky

U barvy a zákalu šedých vod jsou hodnoty o něco vyšší u vod z koupelen než u vod z praček. Naopak šedé vody z praček vykazují vyšší množství plovoucích látek (např. vlákna) než vody z van, sprch a umyvadel (zde zase můžeme nalézt vlasy). Největší množství plovoucích látek lze

zaznamenat u šedých vod z kuchyní a myček nádobí, je to způsobeno tím, že se zde vyskytují zbytky stravy. Právě koloidy a plovoucí látky představují nejčastější příčinu problémů při úpravě šedých vod [40].

Tabulka 4: Množství plovoucích látek v šedých vodách [44]

Zdroj šedé vody:	Pračky	Vany, sprchy, umyvadla	Kuchyně, myčky
Plovoucí látky [mg·l ⁻¹]	79-280	7-120	134-1300

Mikrobiologické znečištění

Ačkoliv je šedá voda v ČSN EN 12056 [41] definována jako voda bez obsahu moči a fekálií, může obsahovat známky mikrobiologického znečištění [49].

3.2.2 Využití šedých vod v inteligentních lidských sídlech

Koncepce opětovného využití odpadních vod nabývá v poslední době většího významu. Nutností se tyto systémy stávají i v Evropě, kde prozatím takový tlak na znovuvyužití šedých vod nebyl. Obzvláště však ve státech jižní Evropy se nedostatek pitné vody začíná projevovat a je proto potřeba hledat další zdroje. Další fakt, který nahrává recyklaci části použitých vod, je skutečnost, že systém znovuvyužití šedých vod je ekonomicky výhodnější než úprava mořské vody. Větší množství nových projektů administrativních budov a hotelů tak počítá s využitím šedých a dešťových vod, vyžadované to je v budovách s nízkoenergetickým standardem. V ČR se samotnou problematikou a přípravou technických podkladů zabývá projekt pod názvem „Využití šedých a dešťových vod v budovách“, který je řešen v rámci programu ALFA, Technologické agentury České republiky, a na kterém spolupracuje firma ASIO, spol. s.r.o. a VUT Brno [12].

Vhodnými adepty na využívání recyklované šedé vody jsou:

- hotely a penziony;
- trvale obydlená sídla (rodinné domy, velké byty a bytové domy, koleje, kasárny,..);
- myčky aut;
- tělocvičny, sportovní areály, wellness centra, plavecké areály [13].

Projekty ukázaly, že s využitím těchto nových technologií lze dosáhnout podstatného snížení použitých surovin, energie a asi 50 % denní spotřeby pitné vody [14].

Tabulka 5: Orientační hodnoty pro bakteriologické monitorování bílé vody [17]

Parametr	Postřikové aplikace	Bezpostřikové aplikace		
	Tlakové mytí, zahradní rozstříkovač a mytí vozidel	Splachování WC	Zavlažování zahrad	Praní
Escherichia coli [počet·100ml ⁻¹]	nezjišťuje se	250	250	nezjišťuje se
Střevní enterokoky [počet·100ml ⁻¹]	nezjišťuje se	100	100	nezjišťuje se
Legionella pneumophila [počet·100ml ⁻¹]	10	nelze aplik.	nelze aplik.	nelze aplik.
Koliformní bakterie [počet·100ml ⁻¹]	10	1000	1000	10

Bakterie *Escherichia coli* se využívá jako nejlepší identifikátor fekálního znečištění a obsahu koliformních a patogenních bakterií. V současné době zařízení na úpravu šedé vody mohou tyto bakterie odstranit filtrací, pomocí chlóru, ozonem, oxidačními procesy nebo také výše zmiňovanou UV filtrací [16].

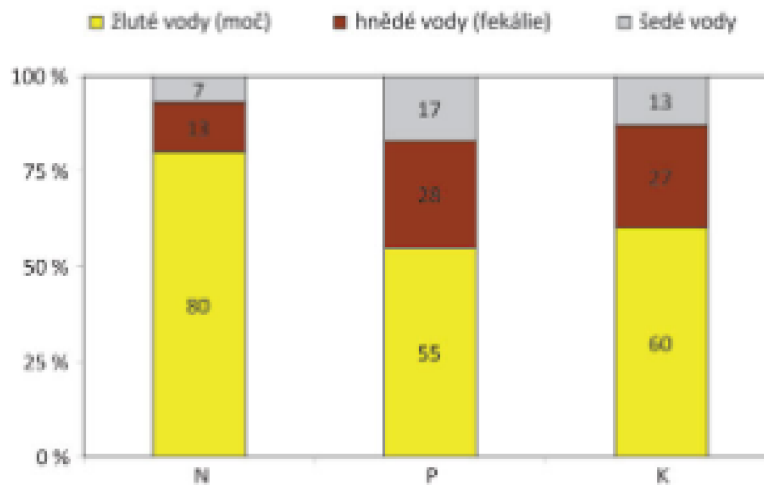
3.2.4 Černá odpadní voda

Černé vody se od šedých liší zejména obsahem koliformních bakterií pocházejících z lidského trávicího traktu. Mají vyšší organické zatížení (vyjádřené parametrem BSK₅). Občas je mezi vodu černou započítávána voda z kuchyní, jelikož zbytky potravin navyšují BSK₅, jejich čištění je tak mnohdy náročné a ekonomicky se nevyplatí je do oběhu šedých vod zahrnovat [14].

Černou odpadní vodu lze dále rozdělit na vodu žlutou a hnědou.

Hnědá odpadní voda je složena převážně z fekálií. Obsahuje značné množství uhlíku a vápníku, ale také hořčíku, železa, fosforu a draslíku [48]. Člověk vyprodukuje za den průměrně 120 až 330 g fekálií, z čehož na sušinu připadá asi 30 až 75 g [49].

Žlutá voda je složena zejména z moči. Žlutá voda je bohatá na nutrienty, obsahuje dusík, fosfor, draslík, síru a bór. Na rozdíl od fekálií moč samotná neobsahuje žádné bakterie, plísňe nebo viry. Moč je kontaminovaná látkami teprve ve chvíli, kdy opustí lidské tělo a je konfrontována s látkami, které se nachází na povrchu, po kterém je moč dále dopravována (tzn. v klasických toaletách se mísí s fekáliemi, které bakterie, viry a plísňe obsahují). Jeden člověk vyprodukuje za rok přibližně 500 l moči, což je 0,6 až 2,0 l moči denně [49].



Obrázek 6: Procentuální zastoupení nutrientů v žlutých, hnědých a šedých vodách [49]

Dle grafu výše vyplývá, že procentuálně největší zastoupení nutrientů v podobě dusíku, fosforu a draslíku se vyskytuje ve žluté odpadní vodě. Znamená to, že žlutá odpadní voda se tak jeví jako nejvhodnější typ odpadní vody pro další využití jako je například přírodní hnojivo atd.

4 ČIŠTĚNÍ SPLAŠKOVÉ VODY A ŠEDÉ ODPADNÍ VODY

Koncept opětovného použití vody se v současnosti stává důležitým tématem vzhledem k častějším obdobím sucha aj. (viz kapitola 2). Proto, aby mohla být voda znovu využívána, je však nezbytná její úprava. Systém, který využívá splaškových vod jako alternativní zdroj vody, řeší podchycení a odvedení splaškové vody ze stokového systému přímo v místě potřeby. Následně voda projde čistícím procesem a poté je znovu využita. Tento typ technologie se nazývá Sewer Mining [50].

4.1 ČIŠTĚNÍ A ÚPRAVA SPLAŠKOVÉ VODY

V systémech Sewer Mining se můžeme setkat s následujícími typy čištění:

- čištění fyzikální úpravou;
- čištění chemickou úpravou;
- čištění biologickou úpravou;
- přírodními postupy.

4.1.1 Čištění chemickou úpravou

Chemické čištění je jedním z bodů celkového čištění odpadních vod a používá se ve většině čistíren odpadních vod ke zvýšení kvality vypouštěných vod a zajištění optimálních životních podmínek pro bakterie [54].

Výběr použitých chemických metod závisí na požadavcích na vypouštěnou vodu a zahrnuje zejména chemické srážení pro odstranění fosforu a regulaci pH. Jiné využití zahrnuje přidávání externího zdroje uhlíku, pokud je jeho dostupnost limitujícím faktorem při biologické přeměně dusičnanů na dusík [54].

Vzhledem k agresivní povaze používaných chemikálií musí být dávkovací stanice navržena podle konkrétních chemikálií. To se provádí s ohledem na příslušné bezpečnostní postupy a rovněž s ohledem na uskladnění chemikálií, dávkovací čerpadla, míchadla a potrubí [54].

Mezi nejčastější způsoby patří oxidace vzduchem, kyslíkem, ozónem, peroxidem vodíku, manganistanem draselným nebo chlorem a jeho sloučeninami. Na průběh oxidace má velký vliv hodnota pH, teplota a obsah organických i anorganických nečistot ve vodě [54].

4.1.2 Čištění biologickou úpravou

Princip biologického čištění je založen na odstranění organického znečištění pomocí působení mikroorganismů, zejména bakterií. Organické znečištění ve splaškové vodě můžeme kontrolovat pomocí chemických rozborů. Mezi nejdůležitější ukazatele znečištění patří ukazatel chemická spotřeba kyslíku $CHSK_{Cr}$ (koncentrace veškerého biologického znečištění) a biologická spotřeba kyslíku BSK_5 (koncentrace biologicky rozložitelného znečištění). U vyčištěné vody se ještě sleduje koncentrace nerozpuštěných látek NL [53].

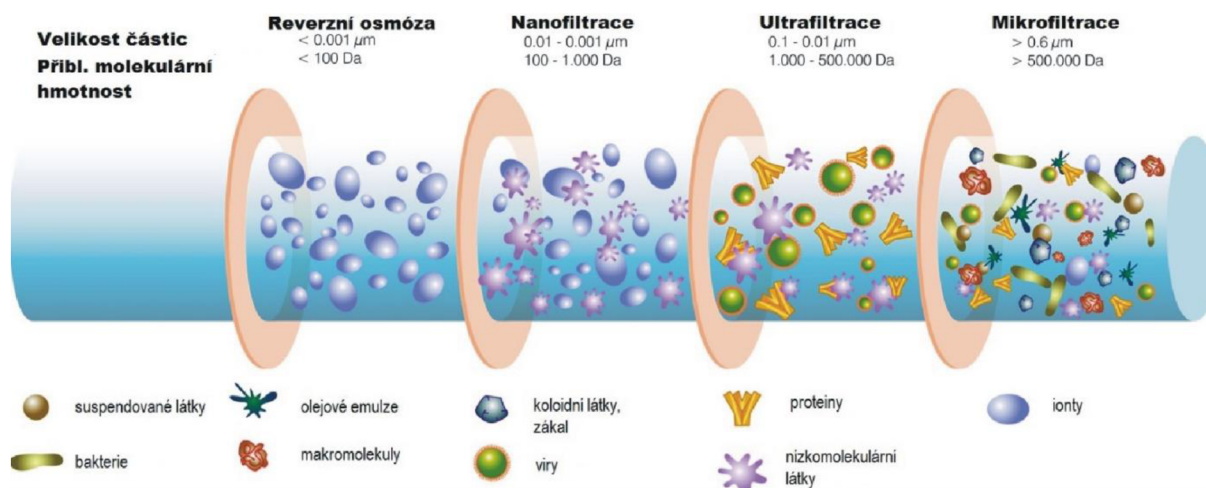
Biologické čistírny využívají zejména dva čistící procesy. První je aerobní probíhající v přítomnosti kyslíku, druhý je anaerobní probíhající v jeho nepřítomnosti. Každý proces má své výhody a zápory. U domovních čistíren se nejčastěji používá aerobní biologické čištění, jehož princip spočívá v rozkladu organických látek složitými biochemickými procesy za přítomnosti molekulárního kyslíku na vodu a oxid uhličitý. Kyslík musí být přiváděn do aktivační části

čistírny, aby mohly probíhat biochemické procesy. Jeho rozpuštění ve vodě zajišťuje aerační zařízení, do kterého je dopravován tl. vzduch z dmychadla [53].

4.1.1 Čištění fyzikální úpravou

V poslední době sílí trend minimalizovat při úpravě vody spotřebu chemikálií a energie. Standardní fyzikální metody úpravy vody, jako jsou koagulace, sedimentace a písková filtrace, jsou již časem prověřené a spolehlivé, nedokážou však reagovat na měnící se kvalitu surové vody (například vyšší přítomnost pesticidů, farmaceutik apod., se kterými se původně při návrhu úpravy vod nemohlo počítat, a které je těmito standardními metodami možné odstranit buď částečně nebo vůbec). Proto stále větší uplatnění nacházejí membránové procesy, zejména mikrofiltrace a ultrafiltrace [55].

Membránové systémy umožňují fyzikální desinfekci vody na základě síťové filtrace organismů, které jsou větší, než je velikost pórů membrán. Menší částice prochází membránou do upravené vody nebo permeátu. Tato desinfekce je tak možná bez použití chemických činidel. Určení velikosti póru a jejich rozložení na povrchu membrány je důležitý faktor pro účinnost odstranění mikroorganismů ve vodě. Jelikož je primárním účelem ultrafiltrace zadržení makromolekul, je velikost pórů membrány často charakterizována pomocí údaje MWCO (Molecular Weight Cut-Off) s jednotkou Dalton ($\text{Da} = \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$). Tento parametr vyjadřuje molární hmotnost nejmenší složky, která je alespoň z 90 % procent zadržena [55].



Obrázek 7: Účinnost jednotlivých druhů filtračních postupů [55]

4.1.2 Přírodní postupy čištění

Přírodní postupy čištění jsou obvykle zastoupeny v podobě mokřadů, jezírek a kořenových čistíček [48].

V kořenové čistírně čistíčka probíhá celá řada přirozených procesů, které lze rozdělit na aerobní (za přístupu kyslíku) v nezatopené části filtrů, anaerobní (bez přístupu kyslíku) v zatopené části kořenového pole a anoxické [51].

Čistící procesy lze rovněž vnímat jako fyzikální, chemické a biologické. Mezi ty fyzikální patří například sedimentace pevných vysrážených látek a jejich filtrace v kořenovém poli. Do chemických reakcí lze zařadit sorpci, rozklad a přeměnu odpadních složek do jiných stabilních forem a komplexní oxidační i redukční procesy. Biologický proces v čistíčka probíhá soustavně,

jelikož na celkovém čistícím procesu vody se podílí velké množství různých druhů mikroorganismů [51].

Tento systém čištění patří mezi nejlevnější typy, je však velmi náročný na využití volné plochy a není tak spolehlivý jako membránové technologie [48].

4.2 ČIŠTĚNÍ A ÚPRAVA VODY ŠEDÉ NA VODU BÍLOU

Také šedou vodu je třeba upravovat, pokud ji chceme využívat dále pro splachování toalet, praní nebo zavlažování. Existuje celá řada technologií, díky kterým lze šedou vodu upravit tak, aby bezpečně splňovala parametry vhodné pro další použití. V USA je jedním z měřítek posuzování dosaženého stupně čištění používána norma NSF 350. Ta popisuje kvalitu šedé vody surové a následně upravované takto:

Tabulka 6: Požadavky na šedou vodu upravenou dle NSF 350 [14]

	Surová šedá voda (voda z koupelen a prádelen)	Upravená voda (průměrné hodnoty podle NSF 350)
NL (ppm)	80-160	<10
CHSK _{Cr} (ppm)	130-180	<10
zákal (ppm)	50-100	<2
E. Coli	100-1000	<2,2

Pokud se podaří vodu upravit na požadované hodnoty, nebude docházet k opětovnému růstu bakterií, které by jinak mohly způsobovat problémy ve vodovodním potrubí nebo vytvářet zdravotní rizika při kontaktu s člověkem. Norma NSF 350 by tak měla uživatelům zajistit vodu vhodnou pro zvolené koncové využití (bez zápachu a zdravotních rizik) [14].

Jak již bylo řečeno výše, existuje široké spektrum technologií, které je možné využít pro čištění šedých vod. Každý zvolený typ technologické úpravy má své výhody i omezení, proto výběr adekvátní technologie je často velmi variabilní (závisí na mnoha faktorech jako jsou vlastnosti upravované vody, její množství atd.). Parametry, na kterých je srovnání zvolených technologií nejvíce patrné, jsou hodnoty určující kvalitu vody BSK₅ a množství bakterie E. Coli (viz tabulka výše) [52].

Escherichia coli je známá bakterie, která se využívá jako nejlepší identifikátor fekálního znečištění, koliformních a patogenních bakterií. V současné době dostupná zařízení na úpravu šedé vody mohou tyto bakterie odstranit filtrací, neutralizací pomocí UV záření nebo zlikvidovat chlorem, ozonem nebo pokročilými oxidačními procesy [52].

BSK₅ je biologický ukazatel znečištění, jehož hodnota vypovídá, jak velká část znečištění je biologicky čistitelná [52].

Tabulka níže ukazuje, jakých hodnot nabývají šedé vody v závislosti na kvalitě čištění, respektive na požadované úrovni kvality výsledné šedé vody. Lze si povšimnout, že čím důslednější a technologicky propracovanější úpravou voda prochází, tím více se její standardy blíží ke kvalitě pitné vody:

Tabulka 7: Hodnoty E. Coli a BSK₅ u různých typů výsledných šedých vod [52]

Typ vody	E. Coli (CFU·ml ⁻¹)	BSK ₅ (ppm)
surová (neošetřená) černá voda	1-100 mil.	350
surová (neošetřená) šedá voda (voda z koupelen)	100-1000	130-180
EPA standard pro kvalitu rekreační vody	<100	NA
vyčištěná voda (trvalá sídla) - průměr podle NSF 350	<14	<10
surová dešťová voda	<10	<5
vyčištěná voda (komerční objekty) - průměr podle NSF 350	<2,2	<10
šedá voda vyčištěná pomocí MBR	<2	<5
EPA standard pro pitnou vodu	<1	0

4.2.1 Typy čištění šedé vody

- přímé použití

Přímé použití spočívá v tom, že se nahromaděná šedá voda využívá téměř okamžitě. Takové použití bývá velmi ojedinělé, lze ho však mnohdy využít například pro zavlažování okolní zeleně. Z pohledu předpisů je na tento typ využití nahlíženo různě, a to z důvodu relativně vysokých hodnot BSK₅ a E. Coli. Velmi často předpisy nařizují, aby voda byla využita do 24 hodin, tedy do doby, než dojde k bakteriálnímu růstu [52].

- filtrace

Filtrace bývá použita velmi často v případech, kdy je šedá voda spotřebována do 24 hodin. Běžně se využívá tkaninových filtrů, někdy i filtrů kombinovaných s různými náplněmi. Hrubost filtrů se pohybuje od 100 do 5 mikron. Čím hrubější síto je, tím méně kvalitněji je voda upravena, ovšem četnost údržby filtru je rovněž zredukována. Hlavní užití těchto systémů nalezneme opět ve venkovním zavlažování, jedním z problematických bodů může být údržba – v některých případech se může na zavlažovacích linkách vytvářet slizovitá vrstva, kterou je potřeba pravidelně odstraňovat [52].

- filtrace a desinfekce

Nadstavba předchozího způsobu úpravy vody může být přidání desinfekce do technologické linky. Nejčastěji se jako desinfekce užívá chloru, ozonu nebo kombinace obojího. Po chloru i ozonu zůstává ve vodě residua, která pomáhají zabránit nárůstu biofilmu v potrubí. Pokud je technologická linka pravidelně udržována a kontrolována a funguje spolehlivě, lze tyto systémy čištění vody využít i pro vnitřní instalaci rozvodu, například pro splachování toalet s možností využití případného přebytku vody pro zavlažování. I v těchto případech však je nutné pravidelně kontrolovat stav BSK₅ a E. Coli [52].

- biologické čištění s filtrací

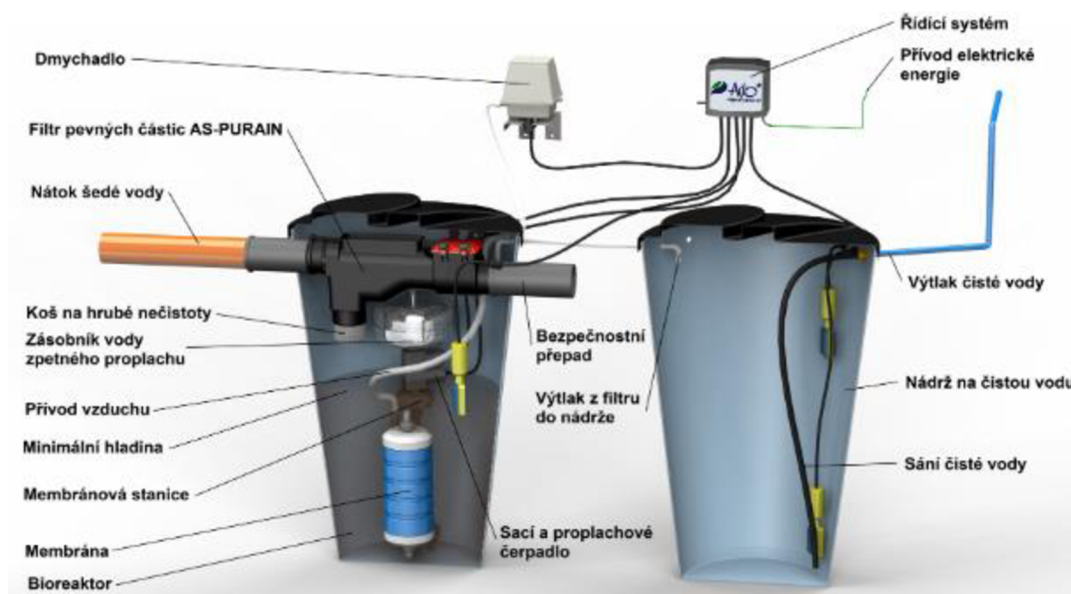
Nejběžnějším procesem v této kategorii je membránový bioreaktor (MBR). Membránový proces se skládá z biologického stupně využívajícího aerace, který výrazně snižuje BSK₅, následně voda prochází membránovou filtrací o velikosti póru 0,2 micron nebo menší. Vzhledem k tomu, že taková velikost síta je menší než velikost bakterií, je tento proces právě

výhodný z hlediska výrazného snížení počtu bakterií ve vyčištěné vodě. Nehrozí tedy, že by se například při výpadku dávkování chloru bakterie dostaly dále do oběhu [52].

Také do tohoto technologického procesu lze přidat desinfekce (například ve formě UV), není to ale vždy nutné. Tyto procesy totiž většinou bez potíží splňují normy týkající se kvality vyčištěné šedé vody [15].

- biologické čištění s mechanickým předčištěním a akumulací

Odpadní šedá voda natéká přes filtr mechanických nečistot do akumulační nádrže. Úkolem této vyrovnávací nádrže je zejména zachytit nerovnoměrnost vypouštění – akumulace. Z vyrovnávací nádrže je voda přečerpána čerpadlem do aktivační nádrže. V aktivační nádrži osazené membránovým modulem dochází k biologickým reakcím, díky kterým je odpadní voda čištěna. Ve spodní části membránového modulu se nachází aerační systém, který slouží ke vhánění kyslíku do aktivační nádrže a k čištění membrán [15].



Obrázek 8: Systém pro recyklaci šedých vod pro bytovou jednotku [15]

Do systému může být doplňována pitná voda v závislosti na hladině v zásobní nádrži.

Rozvod bílé vody bývá proveden v tlakovém potrubí.

5 VÝMĚNÍKY TEPLA PRO REKUPERACI ENERGIE

Dalším aspektem znovuvyužití šedých odpadních vod, kterého může být využito, je tepelný potenciál v obsažených šedých vodách. V šedých vodách je obsaženo více tepla než v jiných vodách (její teplota se pohybuje v rozmezí 18 až 38 °C), zároveň jsou šedé vody relativně čisté, takže se minimalizuje největší problém v této oblasti, a to je usazování nečistot na výměnících [18].

Odborné veřejnosti je známo, že 30 až 40 % celkové energetické náročnosti objektů odtéká do kanalizace v podobě teplé odpadní vody. V posledních letech se tento procentuální poměr zvyšuje s ohledem na zateplování objektů, využívání vzduchotechniky s rekuperací a tepelných čerpadel [20].

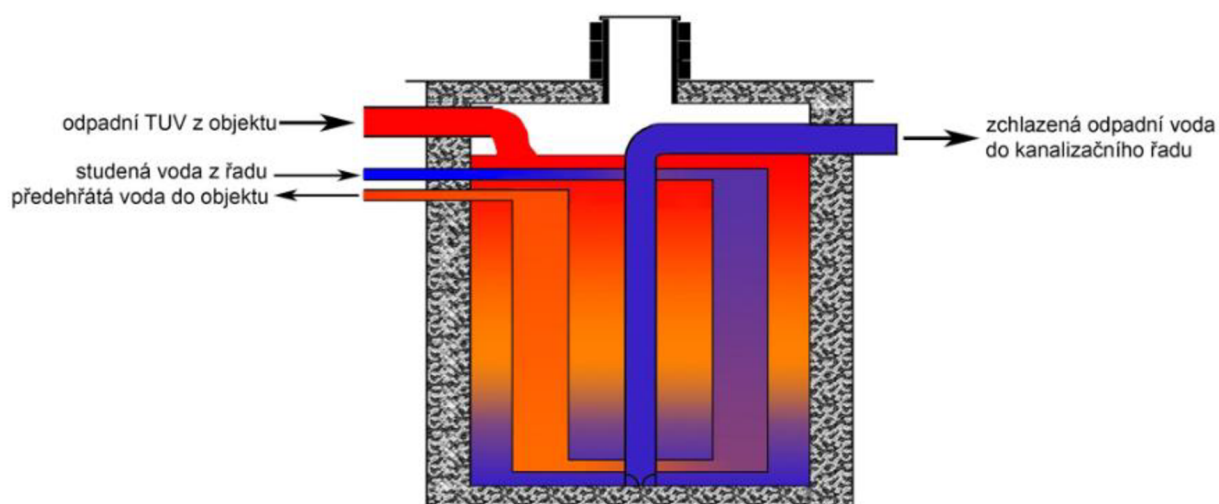
5.1 REKUPERACE TEPLA

Pojem rekuperace znamená zpětné získávání tepla. Jedná se o systémové řešení, jehož součástí je rekuperační výměník, kdy veškerá teplá šedá odpadní voda z objektu je svedena do akumulární nádoby výměníku, přes kterou dále odtéká do kanalizačního řadu. Akumulační nádoba má za úkol vyrovnávat nekontinuální provoz v používání teplé vody v objektu [20].

V opačném směru, tedy odspodu nádoby výměníku nahoru, protéká odděleným teplosměnným potrubím studená voda z vodovodního řadu, která dále pokračuje do rozvodů v objektu [20].

V rekuperačním výměníku dojde k předání tepla z teplejší odpadní vody do studené protékající pitné vody z vodovodu. Tato předehřátá pitná voda vstupující do objektu je přivedena do zásobníku teplé vody, kde se dohřeje, případně je přivedena přímo ke spotřebičům s vlastním ohřevem (jako může být pračka či myčka nádobí) [20].

Na obrázku níže je znázorněn řez rekuperačním výměníkem, kde je zaznamenáno schéma průtoku kapalin a též teplotní rozvrstvení v hladinách tak, jak ukázala průběžná měření.



Obrázek 9: Řez rekuperačního výměníku [21]

Teplu získané ze šedé vody můžeme využít pro ohřev provozní teplé vody, ohřev teplé užitkové vody (TUV) nebo pro celkové vytápění objektu [20].

5.2 METODY ODEBRÁNÍ TEPLA

Metoda odebrání tepla z odpadní vody je často označována jako zpětné získávání tepla z odpadní vody (ZZTOV). Dle normy ČSN EN 1717 Ochrana proti znečištění pitné vody ve vnitřních vodovodech a všeobecné požadavky na zařízení na ochranu proti znečištění zpětným průtokem [23] musí být teplosměnná plocha zařízení provedena jako dvouplášťová. Díky tomuto provedení nedochází k žádnému kontaktu mezi dvěma médii (ohřívaná voda a voda přenášející teplo). Zároveň u ZZTOV nedochází k čerpání žádné další energie [19].

Odebírání tepla z odpadní vody můžeme provádět lokálně nebo centrálně. O vhodnosti každé varianty rozhoduje průtok odpadní vody. Investičně vhodnější pro malé rodinné domy a menší objekty je aplikace lokální rekuperace tepla, která reaguje na aktuální spotřebu. U větších objektů je možné odpadní vodu akumulovat, odebrat z ní potřebné teplo a následně ji vypustit do čistírny odpadních vod nebo do stokové sítě [19].

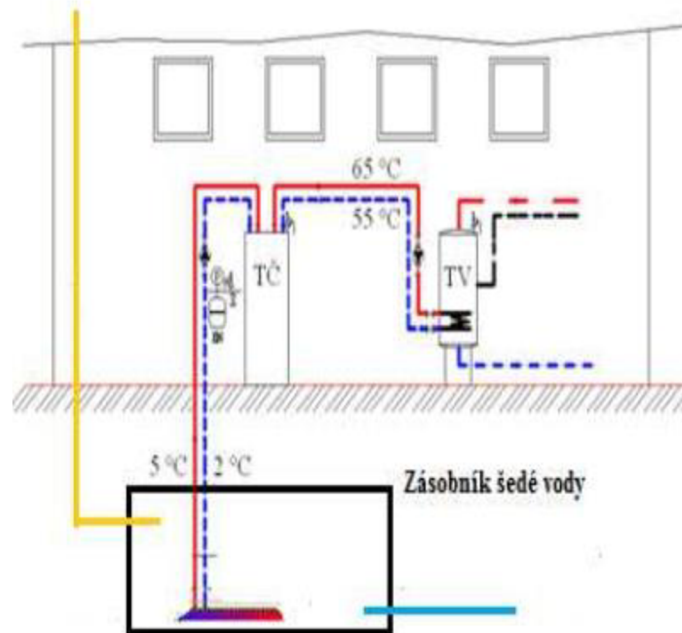
5.2.1 Centrální systém ZZTOV

Centrální systém ZZTOV funguje na principu umístění výměníku tepelné energie do nádrže s odpadní vodou odebranou přímo ze stokového systému (metoda sewer mining) nebo umístění přímo do stokového systému [19].

Metoda sewer mining a s ní spojené využívání tepla z odpadní vody je založena na principu odběru a akumulace odpadní vody, tepelné výměně a navrácení ochlazené vody do stokového systému. Tento způsob rekuperace tepla není limitován sklonem kanalizačního potrubí ani průtokem odpadní vody. V rámci tohoto systému je často nutné zařadit předčištění odpadní vody před kontaktem se zařízením na výměnu tepla, a to alespoň pomocí perforovaného koše na vtoku do akumulární nádrže. Ochlazenou odpadní vodu lze při opětovném zaústění do stokového systému využít pro splach shrabků z perforovaného koše zpět do kanalizace [24].

Podobně jako u metody sewer mining lze využívat tepelných výměníků pro využití tepla z akumulované odpadní vody ještě před odvedením z budovy. Tohoto systému je využíváno zejména v průmyslových provozech. Umístění výměníku tepelné energie přímo do stokového systému je založeno na osazení potrubí se zabudovaným výměníkem nebo dodatečném umístění výměníku do stávajícího potrubí. Takový systém je možné užít jak na stávající, tak na novou stokovou síť. Pro reálné využití je třeba, aby rychlost odpadní vody v potrubí neklesala pod $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a teplota odpadní vody neklesala pod $10 \text{ }^\circ\text{C}$. V případě snížení teploty pod $10 \text{ }^\circ\text{C}$ by mohlo narušit průběh denitrifikace na ČOV [24].

Centrální systémy se potýkají se ztrátami tepelné energie při dopravě ke spotřebiteli a rovněž s nutností instalace tepelného čerpadla. Instalace výměníku centrálně je ekonomicky náročnější a komplikovanější s ohledem na provozovatele stokového systému a ČOV, než systém lokální [24]. Nicméně návratnost investice by se měla pohybovat v řádech 4 až 8 let [25].

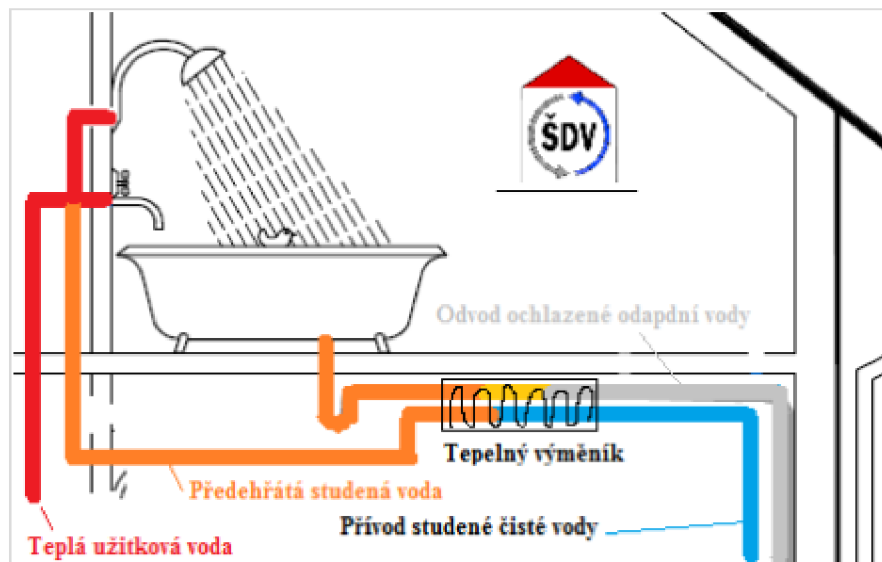


Obrázek 10: Schéma centrálního systému v budově [25]

5.2.2 Lokální systém ZZTOV

Lokální systémy jsou založeny na principu odebrání tepla z odtékající vody, která předehřívá studenou vodu do sprch nebo jiných aplikací. Existují dva druhy aplikací, a to:

- předehřev studené vody do zásobníku TUV;
- předehřev studené vody pro okamžitou spotřebu [26].



Obrázek 11: Schéma zapojení lokálního systému ZZTOV [26]

Předehřev studené vody do zásobníku TUV funguje na principu zavedení vody do zásobníku TUV, kde se následně dohřívá na příslušnou požadovanou teplotu. S výhodou se dá využít stratifikace vody do zásobníku, to znamená teplotu odvádět do místa výměníku, které má

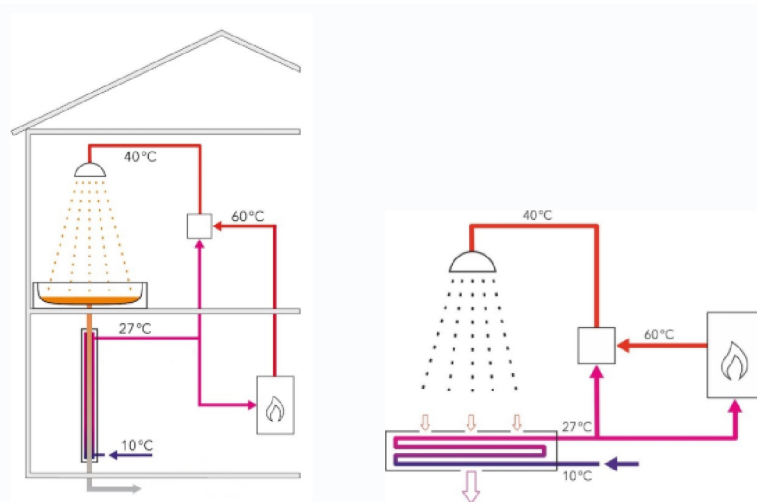
příslušnou teplotu. Tento systém je však méně účinný a investičně náročnější než systém předehřevu studené vody pro okamžitou spotřebu (viz níže) [26].

Předehřev studené vody pro okamžitou spotřebu spočívá v ohřevu studené vody teprve ve chvíli, kdy probíhá spotřeba teplé vody. Časová prodleva, od které je předehřátá voda k dispozici, je závislá na délce potrubí a umístění tepelného výměníku. Teplota předehřáté vody se pohybuje okolo 20 °C. Vyšší účinnost než u výše uvedeného systému je zajištěna zejména proto, že zásobník TUV je umístěn blíže směšovací baterii a nedochází tak k markantním ztrátám [26].

5.3 SITUOVÁNÍ TEPELNÝCH VÝMĚNÍKŮ

Výměníky na ZZTOV mají velmi snadnou údržbu, jednoduchý a beznákladový provoz, protože nepotřebují žádná čerpadla [19].

Existují dva způsoby uložení tepelných výměníků, a) vertikální uložení, b) horizontální uložení [20]. Pokud je to možné, je vhodnější volit vertikální (svislé) systémy, které jsou schopny za relativně nízkou cenu dosáhnout vysoké účinnosti. Některé horizontální systémy navíc obsahují některé další komponenty, jako je například sifon či sprchový žlábek, u kterých je potřeba zajistit pravidelnou údržbu [19].



Obrázek 12: Vertikální (vlevo) a horizontální výměník (vpravo) [19]

5.3.1 Vertikální situování tepelných výměníků

Vertikální výměníky disponují vyšší účinností, jsou prakticky bezúdržbové a cenově velmi výhodné. Zároveň je možno připojení více sprch. Nevýhodou je nutnost jejich zapojení o podlaží níže, jelikož výměníky dosahují délek v rozmezí 1,6 až 2,2 m. V souvislosti s jejich větší délkou mohou nastat komplikace při uložení do již postavených objektů, proto nejsou vhodné pro rekonstrukce starších bytových domů [20].

Vertikální výměníky jsou koncipovány systémem „trubka v trubce“. V praxi to znamená, že šedá voda protéká po stěnách vnitřní trubky jako tenké medium a ohřívá tak stěny vnější trubky, ve které je přiváděna protiprouděně přiváděná voda do koupelny [20].

5.3.2 *Horizontální situování tepelných výměníků*

S horizontálními výměníky dosud není tolik zkušeností jako s výměníky vertikálními. Jejich účinnost zatím nedosahuje takových výsledků jako vertikální výměníky, přesto jsou cenově na trhu dražší. Styl jejich uložení však umožňuje instalaci v úrovni podlaží, proto se tyto výměníky hodí více pro rekonstrukce starších bytových domů (odpadá zde nutnost zasahovat instalací do sousedních podlaží) [20].

Nejčastější uložení horizontálních výměníků je přímo pod vanou. Jejich tvar může korespondovat s tvarem vany/sprchového koutu, vyrábí se jak výměníky kruhové, tak deskové (obdélníkové tvary) [20].

Horizontální výměníky se často zanášejí, proto je nutné je čistit. Zejména pokud jsou vybaveny žlábkem, je potřeba tento žlábek čistit minimálně jednou za měsíc. Výrobci tomu ale samozřejmě přizpůsobují odnímatelné části, díky kterým se uživatel snadno dostane dovnitř [19].

6 STÁVAJÍCÍ OBJEKTY V ČR VYUŽÍVAJÍCÍ REUSE TECHNOLOGII

V praxi existuje řada objektů, u nichž by se již dnes vyplatilo oddělit šedé vody a použít je jako užitkovou vodu – nejlepších ekonomických parametrů se logicky dosahuje tam, kde je relativně větší produkce a zejména větší spotřeba (sportovní areály, nemocnice, hotely, bazény, větší bytové komplexy aj.). Státní fond životního prostředí České republiky se snaží prostřednictvím výzvy pod názvem Dešťovka motivovat vlastníky a stavebníky obytných domů k udržitelnému a efektivnímu hospodaření s vodou a snížit tak množství odebírané pitné vody z povrchových a podzemních zdrojů. Díky programu Dešťovka je možné získat dotaci až 105 000 Kč [27]. V této kapitole jsou uvedeny větší projekty instalace systémů znovuvyužití šedých vod (či dešťových vod) v České republice.

6.1 OTEVŘENÁ ZAHRADA V BRNĚ

Otevřená zahrada je vzdělávací a poradenské centrum, které se nachází v Brně, nedaleko hradu Špilberk, na ulici Údolní. Prostor je přístupný jako veřejný park od dubna do září. Vzdělávací centrum Otevřená zahrada provozuje Nadace Partnerství. Součástí je budova označená provozovatelem jako unikátní pasivní dům se zelenou střechou a naučná stezka vedená po svažitém pozemku s výsadbou. Provozovatel celek nazvaný Otevřená zahrada označuje za "prostor pro moderní environmentální vzdělávání, ukázkou využití moderních technologií, pro tvůrčí poznávání, hry, unikátní zázemí pro obyvatele i podnikatele". Celkové náklady na výstavbu včetně vybavení dosáhly 86 milionů Kč (s DPH) [31].

Zaměstnanci areálu ročně spotřebují cca 200 m³ vody – z toho 50 m³ se dále filtruje a následně přirozeně vypařuje v kořenové čistírně. Jedná se o šedou vodu z umyvadel na toaletách v 2. a 3. patře budovy C. Šedou vodu z umyvadel a sprch v 1. podlaží nebylo možné na jezírko napojit kvůli spádu. Použitá voda z kuchyňek zase nevyhovuje kvůli mastnotám. Malé množství tuku obsahuje také šedá voda z napojených umyvadel. S tím si však kořenová čistírna dokáže poradit přibližně během dvou dnů [31].

Hlavním záměrem Otevřené zahrady bylo využívat přečištěnou šedou vodu k zálivce zahrady. Praxe posledních suchých let ukazuje, že se kvůli nedostatku srážek a vysokému výparu nestačí jezírko (sloužící zároveň jako výukový biotop) doplňovat z provozní šedé vody, ani z dešťových odtoků ze zelené střechy. Vodu je proto občas potřeba dodávat z akumulčních nádrží pitné vody [31].

6.1.1 Kořenová čistírna

Kořenové čistírny využívají podobných principů jako mokřad, v němž probíhají samočistící procesy. Odpadní voda protéká štěrkovým substrátem osázeným mokřadní vegetací (například rákosem, chrasticí, skřípinou, orobincí), kde se čistí díky fyzikálním, biologickým a chemickým procesům. Slouží primárně k čištění odpadní vody, zároveň však mají další nepostradatelné funkce – zadržují vodu, přirozeným výparem vody v létě ochlazují své okolí a zpříjemňují prostředí po estetické stránce [32].

Součástí kořenové čistírny jsou:

- *mechanické předčištění*, jehož úkolem je odstranit z odpadní vody nerozpustné plovoucí částice, aby se zabránilo případnému zanesení filtračního pole. Může se jednat o několik zařízení – odlehčovací komora, jemné a hrubé česle, lapák písku, usazovací nádrž (vícekomorový septik);
- *kořenový filtr složený z vrstev štěrku a mokřadních rostlin*. Odpadní voda do něj může proudit vertikálním či horizontálním směrem (v ČR nejčastěji používané). Oba typy filtrů mají své výhody a nevýhody. Vertikální filtr je díky aerobnímu prostředí účinnější v čištění a také se u něj nevyskytují problémy s ucpáváním filtračního materiálu. Horizontální filtr je zase jednodušší na realizaci, ale zabírá větší plochu a má sklony k zanášení (většinou vinou nedostatečného mechanického předčištění);
- *mokřadní rostliny* plní doplňkovou funkci - částečně odsávají živiny, dodávají kyslík, na jejich kořenech sídlí bakterie a v zimě působí jako tepelná izolace;
- *stabilizační nádrž* v podobě mělkého rybníku, v níž probíhá případné dočištění. Používá se obvykle při vyšších nárocích na kvalitu přečištěné vody [32].



Obrázek 13: Areál Otevřené zahrady v Brně [31]

6.2 BOTANICA K

Bytový komplex Botanica K se nachází v Praze v Jinonicích a jedná se o první rezidenční dům v České republice, který využívá systém pro hospodaření s vodou [33]. Jako první u nás získal mezinárodní environmentální certifikaci BREEAM Excellent [35].

Přečištěná voda z koupelen (konkrétně z umyvadel, van a sprch) je znovu využívána pro splachování toalet. Pokud šedé vody z uvedených zdrojů nestačí, systém je doplní zachycenou dešťovou či pitnou vodou. Po půl roce provozu z nasbíraných dat vyplynulo, že z celkového množství 3644 m³ spotřebované pitné vody bylo recyklováno 550 m³, což činí 15 %. Z dat bylo dále zjištěno, že domácnosti vyprodukují zhruba dvojnásobek šedé vody oproti reálné spotřebě

vody na splachování. Skanska Reality si tak potvrdila předpoklad, že šedé vody bude nadbytek. Zbylých 50 % šedé vody z umyvadel, van a sprch oteklo nevyužito do kanalizace [34].

Od zprovoznění systému využívání šedé vody ušetřily domácnosti bytového domu za šest měsíců téměř 50 tisíc korun. Z průzkumu spokojenosti klientů vyplývá, že 86 % respondentů vnímá systém splachování toalety šedou vodou jako vyhovující až velmi pozitivní [34].

Aktuálně se společnost Skanska snaží tento systém instalovat také na Čertově vršku (Praha-Libeň) a dalších projektech [34].



Obrázek 14: Bytové jednotky Botanica K [33]

6.3 SPORTCENTRUM PROSTĚJOV

Rada městě Prostějov schválila rozpočtové opatření ve výši 240 tisíc korun na zapracování projektové dokumentace k efektivnímu hospodaření se srážkovou vodou. Systém by měl využívat dešťové vody zachycené na plochách sportovního centra ke splachování toalet či zalévání zeleně. Zbytek vody se vsákne zpět do půdy [37].



Obrázek 15: Sportcentrum Prostějov [36]

6.4 LIKO-S VE SLAVKOVĚ U BRNA

Ve Slavkově u Brna byla v červnu 2019 otevřena průmyslová hala společnosti LIKO-S. Budova má střechu i fasádu osázenou zelení a náklady na chlazení šestkrát nižší než srovnatelné haly postavené tradičním způsobem [38].

Stavba začala v říjnu 2018 a přišla na 60 milionů korun. Na budově s 1423 m² zastavěné plochy je na fasádě a střeše osázeno 1693 m² zelení. K zavlažování zelených ploch na fasádě i střeše slouží odpadní voda čištěná kořenovou čistíčkou [38].



Obrázek 16: Průmyslová hala společnosti LIKO-S [38]

6.1 PANELOVÝ DŮM V JIŘÍKOVĚ

V jednom z panelových domů na Děčínsku mají obyvatelé vlastní čističku odpadních vod. Díky ní tak mohou opětovně využívat vodu, kterou vypustí z vany nebo pračky na splachování záchodů. Zařízení je v provozu od března 2019, vzhledem k prokazatelným výhodám tohoto systému se tamní družstvo chystá stejnou technologii postupně zavést do všech svých bytových domů. Systém se skládá ze dvou nádrží. V první nádrži je akumulována použitá voda, která se zde následně mechanicky vyčistí pomocí membrány. Ve finální fázi pak voda prochází přes UV lampu. Vyčištěná voda protéká následně do druhé nádrže, odkud je dále rozváděna do bytových jednotek a může být použita pro splachování záchodů. Tento systém obsluhuje celkem 22 bytů, dle dosavadních propočtů je systém schopen vyčistit zhruba 1,5 m³ vody denně, potřeba na splachování je zhruba 1,0 m³. Přeměna jednoho kubíku šedé vody vyjde přibližně na 20-, Kč. Samotná čistička stála obyvatele jiříkovského panelového domu na půl milionu korun [30].

6.2 MOSAIC HOUSE

Tento pražský hotel se v roce 2010 stal druhou budovou na světě využívající recyklaci vody a rekuperace tepla z šedé odpadní vody. Hotel obdržel jako první v České republice certifikát BREEAM s hodnocením Excellent [39].

V hotelu je nainstalován systém, který vykonává recyklaci vody a rekuperaci tepla pro celkem 94 pokojů. Využívá biologicko-mechanických technologií. Čištění je aplikováno pomocí biomasy na molitanové drti v provzdušňovaných nádržích. Šedé vody jsou v tomto objektu využívány pro splachování záchodů a jako užitková voda pro úklid [39].

Díky usazení výměníku je možný ohřev přívodní studené užitkové vody pomocí rekuperace tepla z odpadní vody [39].



Obrázek 17: Hotel Mosaic House v Praze [39]

6.2.1 Certifikace budov BREEAM

Certifikace budov je kvantifikované hodnocení míry naplnění kritérií trvale udržitelné stavby. Tato kritéria mohou být stanovena v určitých systémech hodnocení.

Po celém světě je k dispozici mnoho konkrétních certifikačních systémů, mezi nejčastěji používané v Evropě patří BREEAM, který vznikl ve Velké Británii.

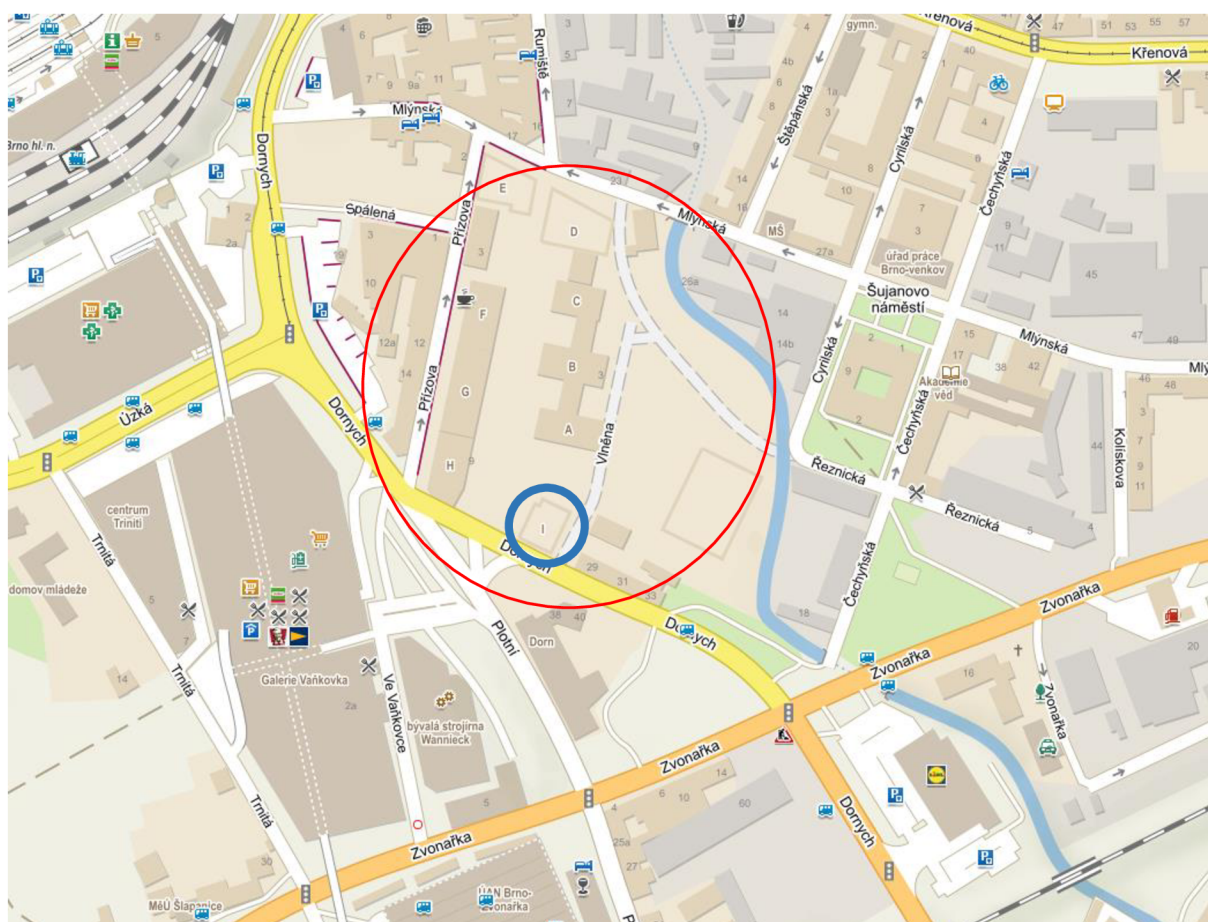
Systém BREEAM (British Research Establishment's Environmental Assessment) vznikl před více než 22 lety na půdě Britské výzkumné společnosti (BRE), která funguje dodnes jako certifikační orgán. Na celém světě má certifikát BREEAM cca 200 000 objektů, většinou jde o rodinné domy ve Velké Británii. Administrativních budov s certifikátem BREEAM je přibližně 6 000. Systém BREEAM pracuje s národními předpisy, vyžaduje dodržení postupů a požadavků místních norem. Certifikace BREEAM má několik podtypů podle místa a druhu stavby. V našich podmínkách se zatím použil podtyp BREEAM Europe Commercial, který lze aplikovat na objekty administrativní, obchodní a výrobní [68].

7 PRAKTICKÁ ČÁST

7.1 POPIS ZÁJMOVÉHO OBJEKTU

Plánovaná výstavba se nachází v Brně, jižně od historického jádra města. Areál sousedí s významnou komunikační osou centra města – obchodní dům Tesco – Galerie Vaňkovka – autobusové nádraží Zvonařka. Nachází se v zastavěném území městského bloku bývalého textilního areálu Vlněna o ploše cca 40 tis m², který je vymezen ulicemi Dorných, Přízová a Mlýnská. Východní hranici areálu tvoří Svitavský náhon.

Vzhledem k poloze v blízkosti centra města a bezproblémovému dopravnímu napojení pro automobilovou, hromadnou i pěší dopravu je pozemek ideální pro stavbu uvažovaného komplexu obsahujícího administrativní a obchodní plochy.



Obrázek 18 Poloha areálu Vlněna (v severozápadní části obrázku brněnské Hlavní nádraží) [61]

Vlněna vznikla v r. 1949 sloučením dvou textilních firem, Paul Neumark a Bratři Stiassini, které v této lokalitě půsily už ve druhé polovině 19. století. Jejich hlavní výrobní činností byly polovlněné barevné tkaniny, resp. tkaniny z česané a jemně mykané příže. V této výrobě pak Vlněna pokračovala až do r. 1994 (barvení, předění, příprava pro tkaní, tkaní a zušlechťování). V r. 1996 došlo k rekonstrukci části budov Vlněny (blok podél ulice Dorných) a ke stavbě parkoviště za nimi pro obchodní dům Delvita. V současné době se již na pozemku nenachází žádné původní objekty, kromě zrekonstruovaného Bochnerova paláce. Ten sloužil jako vstupní brána do objektu bývalé Vlněny. Dále jsou již vystavěny objekty A, B, F, G, H, které slouží jako

office a obchodní plochy. Dokumentace k těmto objektům není součástí této práce. Objekt, ke kterému se vztahuje tato práce, je označen písmenem I.

Celý areál je uzavřen, je napojen na městskou kanalizaci, veřejný vodovod, veřejný plynovod a rozvod páry z městské teplárny, telekomunikační síť, VN. Komunikace a manipulační plochy v areálu jsou zpevněny kamennou dlažbou a živičným povrchem.

Areál bývalé Vlněny je lokalitou typu brownfield a v současné době je již minimálně využíván. Fyzicky i ekonomicky negativně ovlivňuje své okolí a v důsledku své původní činnosti je částečně kontaminován.

Objekt I bude převážně využíván pro administrativní účely s doplňkovou funkcí služeb lokálního charakteru, jako například potravinového obchodu, kavárny atd. Objekt bude mít 16 NP a 1 PP, zastavěná plocha by měla být 938 m². Kostru budovy by měl tvořit železobetonový skelet. Základní modul skeletu je 7,5 m x 7,5 m. Půdorysný rozměr objektu je 34 m x 21 m. V objektu I jsou navrženy dva vstupy s recepcí a další vstupy do maloobchodů, technických místností nacházejících se v přízemí a únikové východy. V objektu se budou nacházet čtyři osobní výtahy a dvě schodiště.



Obrázek 19 Umístění Objektu I v areálu Vlněna (pohled ze severovýchodní strany) [62]

Administrativní prostory v objektu budou pronajímány jako zázemí pro společnosti se zaměřením na oblast služeb včetně center pro výzkum a vývoj, obchodních oddělení apod. Uživatelé maloobchodních ploch a kancelářských prostor byly v době vypracování této diplomové práce neznámí.

Předmětem této práce je aplikování čištění šedých odpadních vod ze sprch a umyvadel v objektu a jejich následné znovuvyužití pro splachování toalet a pisoárů. Práce zahrnuje také možnost usazení výměníků tep. energie, které by snížily náklady na ohřívání přitékající pitné vody z vodovodního řádu.

7.1.1 *Systém řešení přítoku pitné vody do objektu*

Vnitřní rozvod pitné vody v objektu bude napojený na vodovodní přípojku DN 80 ukončenou vodoměrnou sestavou v technické místnosti objektu. Za vodoměrnou sestavou se potrubí rozdělí na dvě větve rozvodu pitné vody:

- větev SV pro první tlakové pásmo (1TP). – pro 1.PP až 5.NP bude v rámci 1TP osazen redukční ventil tlaku s maximálním přípustným tlakem 0,55 MPa;
- větev SV pro druhé tlakové pásmo (2TP) – pro 6.NP až 11.NP a pro napojení ohřevu TUV ve výměňkové stanici bude osazena ATS s tlakem 0,75 MPa.

Teplá voda (TV) pro nájemce by měla být zajištěna formou lokálních elektrických ohřivačů o objemu 50 l, nebude tedy uvažováno s rozvody TV v rámci celého objektu, nýbrž pouze lokálně (tedy mezi ohřivači a cílovému zařízení).

7.1.2 *Produkce odpadních vod*

V objektu je plánován maximální stav 1075 osob za den. Není v plánu prostory budov pronajímat pro obytné účely, dá se tedy předpokládat, že drtivá většina osob se bude v objektu pohybovat během dvanáctihodinového časového pracovního intervalu, konkrétně mezi 8. a 20. hodinou, pouze v pracovní dny, tedy od pondělí do pátku. Předpokládá se také, že počet mužů a žen bude zhruba stejný.

Pro znovuvyužití šedých vod v objektu I je uvažováno se sběrem a úpravou odpadních vod vzniklých pouze při sprchování a mytí rukou. Sprchové kouty budou k dispozici údržbě celého objektu a příležitostně zaměstnancům (například lidem, kteří budou dojíždět do budovy na kole).

Stanovení bilanční produkce šedých vod je možné provést prostřednictvím dvou metod:

- metoda založená na zpracování a vyhodnocení naměřených údajů;
- metoda založená na počtu měrných jednotek či počtu provedených činností.

Je možné zvolit jednu nebo kombinaci těchto metod. Výběr metody je dán na základě dostupných údajů, které máme k dispozici. Pro tuto práci byla vybrána metoda založená na počtu provedených činností.

Produkce šedých odpadních vod

Pro užití metody založené na počtu provedených činností je potřeba znát produkční množství šedé vody pro příslušnou činnost za den a počet činností stejného druhu během jednoho dne. Na základě těchto hodnot je produkce šedých vod stanovena dle vztahu (7.1):

$$Q_{prod} = \sum_{i=1}^m q_{\check{c},i} \cdot n_{\check{c},ip} \quad (7.1)$$

kde:

Q_{prod}	objem vyprodukované šedé vody [$l \cdot \text{den}^{-1}$];
$q_{\check{c},i}$	produkce šedé vody pro příslušnou činnost a den [$l \cdot \text{den}^{-1}$];
$n_{\check{c},j}$	počet činností stejného druhu během jednoho dne [ks];
j	počet druhů činností [-];

Předpokládá se, že jedna osoba stráví u puštěného umyvadla v objektu denně 2 minuty, ve sprše pak 5 minut. Sprchový kout v objektu denně využije maximálně 10 osob, umyvadlo každá osoba. Znamená to tedy, že specifická potřeba pro mytí rukou činí $12 \text{ l} \cdot \text{den}^{-1}$ a specifická potřeba pro sprchování $30 \text{ l} \cdot \text{den}^{-1}$, dále viz Tabulka 8.

Tabulka 8 Výpočet produkce šedých vod v objektu na základě metody založené na počtu provedených činností

Druh činnosti	Produkce šedé vody pro příslušnou činnost	Výpočet - počet činností stejného druhu prováděných během dne	Objem vyprodukované šedé vody
	$q_{\text{e},i}$	n_{e}	Q_{prod}
	$[\text{l} \cdot \text{den}^{-1}]$	$[\text{ks}]$	$[\text{l} \cdot \text{den}^{-1}]$
Mytí rukou	12	1075	12900
Sprchování (běžná sprcha)	30	10	300
Celkem			13200

Z výpočtu vyplývá, že celková produkce šedé vody v objektu činí $13\,200 \text{ l} \cdot \text{den}^{-1}$.

7.1.3 Certifikace BREEAM spojená s výstavbou zájmového objektu

Požadavkem investora stavby je, aby objekt I splňoval podmínky definované v certifikaci BREEAM pro budovy, která byla popsána v kapitole 6.2.1.

Certifikace BREEAM obsahuje i požadavky na hospodaření s vodou, jako je například úspora spotřeby vody v pisoárech, toaletách, umyvadlových bateriích, sprchách apod.

Znamená to tedy, že požadavky na základě certifikátu BREEAM se přímo dotýkají i projektů znovuvyužití šedých vod.

Investor požaduje, na základě certifikace BREEAM, dodržet následující kritéria:

- snížení spotřeby vody použitím úsporného splachovacího zařízení pro toalety (efektivní hodnota jednoho spláchnutí je stanovena na 3,75 litru);
- snížení spotřeby vody použitím úsporných pisoárů (maximálně 1,2 litru na spláchnutí);
- snížení spotřeby vody použitím úsporných umyvadlových baterií (Použité umyvadlové baterie musí mít průtok maximálně 6 litrů za minutu);
- snížení spotřeby vody použitím úsporných sprch (Použité sprchy musí mít průtok menší než 6 litrů za minutu).

7.2 KONCEPČNÍ NÁVRH

V rámci odborného posouzení je přistoupeno k zohlednění nejmodernějších vědeckých poznatků v oblasti technologie čištění odpadních vod, prognózy rozvoje území a ve vazbě na dosažení maximální ekonomické efektivity. Ve studii je koncepčně posouzena efektivnost využití šedých vod po její úpravě na bílé vody pro splachování toalet v objektu včetně možnosti využití

přenosu tepelné energie z šedých odpadních vod na přitékající studenou pitnou vodu z vodovodního řadu pomocí výměníků tepelné energie.

7.2.1 Znovuvyužití šedé vody pro splachování toalet

Bílá voda, produkt čištění šedé vody, bude v objektu využívána pouze pro splachování toalet. Pro tyto účely je třeba stanovit její potřebu.

Potřeba bílé vody

Denní potřeby bílé vody pro splachování záchodových mís a pisoárů je stanovena dle následujícího vzorce:

$$Q_{24} = Q_{wc} = q_o \cdot p \cdot n + q_{pis} \cdot n \quad (7.2)$$

kde:

Q_{24}	objem potřeby bílé vody [$l \cdot \text{den}^{-1}$];
Q_{wc}	objem potřeby bílé vody pro splachování toalet [$l \cdot \text{den}^{-1}$];
$q_{o,pis}$	splachovací objem podle navržených splachovačů [$l \cdot \text{den}^{-1}$];
p	počet použití splachovačů na jednu osobu během dne [ks];
n	počet osob využívajících daný typ toalety [-];

Jelikož, jak již bylo řečeno výše, se v budově nachází záchodové mísy i pisoáry, počet použití jednotlivých zařízení jednou osobou za den je dle Tabulka 9 následující.

Tabulka 9 Počet použití různých typů toalet za den podle pohlaví

Druh mísy a pohlaví uživatelů	Počet použití zařízení jednou osobou během jednoho dne
Záchodové mísy pro muže, pokud jsou instalovány také pisoáry	1
Záchodové mísy pro ženy	4
Pisoárové mísy pro muže	3

Objekt musí splňovat požadavky certifikátu BREEAM, je tudíž jasně definován objem vody při spláchnutí toalety. Pisoár každým spláchnutím spotřebuje maximálně 1,2 litru bílé vody, záchodovou mísu je možné spláchnout malým spláchnutím (3,0 litry) nebo velkým spláchnutím (6,0 litrů), přičemž efektivní hodnota jednoho spláchnutí je dle BREEAM 3,75 litru.

Tabulka 10 Spotřeba vody v závislosti na spláchnutí

Zařizovací předmět	Splachovací objem splachovačů	
	q _o a q _{pis} [l]	
	Velké spláchnutí	Malé spláchnutí
Záchodová mísa	6,0	3,0
Pisoár	1,2	-

Jak již bylo uvedeno výše, počet mužů a žen je uvažován jako rovnoměrný, následný výpočet množství bílé vody pro splachování toalet, a tím tedy i množství potřebné bílé vody pro celý objekt, je vidět v následující Tabulka 11:

Tabulka 11 Výpočet potřeby bílé vody v celém objektu

Druh mísy a pohlaví	Splachovací objem (Tab 9)	Počet použití během dne (Tab 10)	Počet měrných jednotek	Vypočtený objem v l·den ⁻¹
	q _o [l]	p [kus]	n	Q
Záchodová mísa (M)	6	1	537,5	3225
Pisoár (M)	1,2	3	537,5	1935
Záchodová mísa (Ž)	3,75	4	537,5	8062,5
	Q_{wc}			13223

Potřeba bílé vody v celém objektu byla stanovena na 13 000 l·den⁻¹.

Srovnání bilančního množství šedé a bílé vody

V této části je provedeno srovnání množství vytvořené šedé vody v objektu a potřebné množství bílé vody v objektu. Pokud platí podmínka, že $Q_{\text{prod}} \geq Q_{\text{wc}}$, není potřeba systém využití šedých vod doplňovat dešťovou vodou nebo vodou z vodovodního řadu, pokud je $Q_{\text{prod}} \leq Q_{24}$, pak je potřeba zvážit doplnění systému využití šedých vod o vodu dešťovou případně z vodovodu.

Jelikož jako Q_{prod} uvažujeme hodnotu 13,2 m³·den⁻¹ a Q_{24} (nebo také Q_{wc}) jako 13,0 m³·den⁻¹, je pravděpodobné, že vzhledem k velmi blízkým hodnotám bude občas nutné systém doplňovat dešťovou nebo pitnou vodou. Bude tedy potřeba zajistit možnost dopouštění akumulované vody pro splachování pitnou vodou z vodovodního řadu.

Návrh technologie čištění

Samotná šedá odpadní voda bude z umyvadel a sprch gravitačně odtékat do vyrovnávací nádrže v technické místnosti v 1.PP. Z vyrovnávací nádrže bude šedá odpadní voda čerpána čerpadly s filtrem na vlasy přes pískový filtr do reakční nádrže s membránovými moduly. V reakční nádrži budou membránové moduly zcela ponořeny a uvnitř nich bude probíhat filtrace šedé vody. Následně bude voda pomocí čerpadla permeátu dopravována do akumulační nádrže bílé vody k dalšímu využití. Čerpadlo permeátu bude spouštěno v závislosti na výšce hladiny v nádrži šedých vod. Hladina v nádrži bude kontrolována pomocí plovákového spínače. Součástí technologie bude i dmychadlo, jehož účelem bude vhnět vzduch do membránového modulu.

Z akumulační nádrže bude bílá voda čerpána zpět do objektu pomocí dvou automatických tlakových stanic (ATS), jelikož celý objekt je dimenzován na dvě tlaková pásma (1.PP až 5.NP a 6.NP až 11.NP). Na výtlaku z ATS bude nainstalováno desinfekční zařízení – UV lampa. Toto desinfekční zařízení bude sloužit k potlačení mikrobiálního rozvoje ve vodě. Následně bude tato voda odváděna přímo k místu spotřeby (záchodové mísy a pisoáry) pro splachování.

Jelikož pravděpodobně (na základě předchozích výpočtů) bude docházet k nedostatku vyčištěné bílé vody v akumulační nádrži, bude zde vybudován přísun pitné vody z vodovodního řadu.

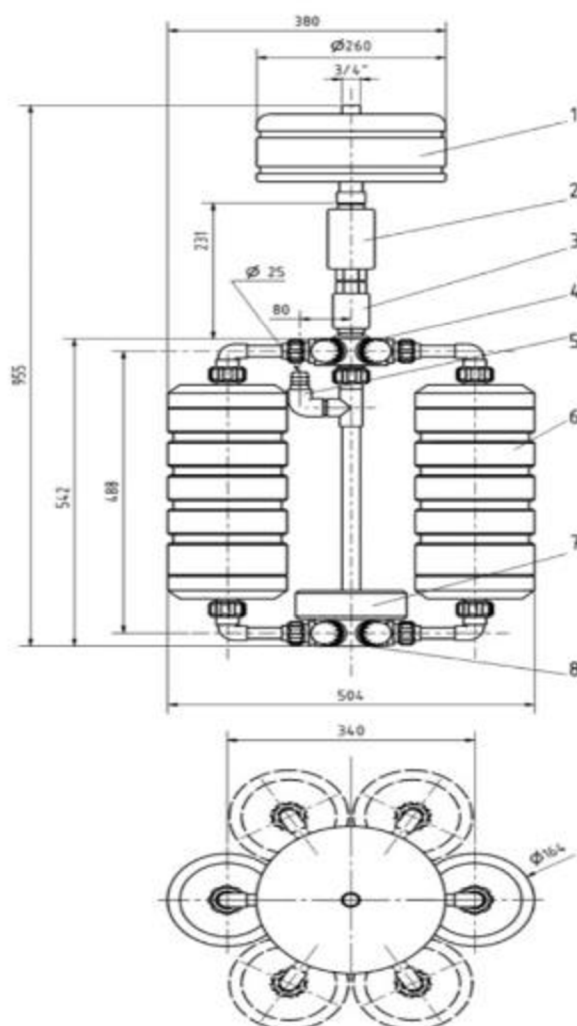
Součástí technologické místnosti bude i havarijní kalová jímka, do které budou zavedeny tři výpusti z nádrží pro možnost jejich úplného vypuštění.

Návrh membránového modulu

Na základě účelu využití bílých vod bude pro návrh čištění šedé odpadní vody zvolena technologie membránového bioreaktoru. Čistící MBR jednotka bude umístěna v reakční nádrži šedých vod. Jako vhodný typ byl zvolen systém AS-GW/AQUALOOP 48, který bude do nádrže umístěn 6x, jelikož maximální nátok jedné jednotky dle údajů od výrobce je roven $2,4 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$, pro splnění maximálního denního nátoku o velikosti $13 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ je tedy potřeba těchto jednotek 6.

Pro výběr technologie bude zvoleno toto vyzbrojení ultrafiltrační membránové jednotky:

- 6x páteřní konstrukce (blok) se závažím proti vyplavání a napojením přívodu vzduchu;
- 36x membránová patrona s organickými vlákny, průměr 164 mm (plocha membrány v patroně 6 m^2 , 6 ks membránových patron na jeden blok);
- 6x samonasávací odstředivé čerpadlo permeátu;
- 6x čerpadlo proplachové vody;
- 6x zásobní nádrž proplachové vody objem 6 l;
- 6x rozdělovací port provzdušňování;
- 6x sběrný port permeátu;
- tlakový senzor dmychadel na jednotlivých blocích;
- tlakový senzor čerpadel na jednotlivých blocích;
- nosič biomasy;
- čisticí sada na praní a čištění membrán;
- automatická řídicí jednotka – včetně systému ovládání.



Obrázek 20 Membránová stanice AS-GW/AQUALOOP [55]

Patrona má připojení na odvod vyčištěné bílé vody a na přívod tlakového vzduchu, který zajišťuje průběžné čištění membrán. Tlakový vzduch je do systému přiváděn pomocí rotačního lamelového dmyhadla, které bude umístěno v horním patře technické místnosti. Zapojení dmyhadel bude 1+1. Dmyhadla slouží k zajištění správné turbulence a čištění membránových patron, vzduch bude do jednotlivých membránových modulů rozdělen rovnoměrně. Jejich provoz bude kontinuální a nastavený v řídicím systému. Proud vzduchu do membrán bude přepínán pomocí solenoidového ventilu, který je jištěný ruční armaturou.

Životnost filtračních membrán uvažujeme až 15 let (doba životnosti je závislá zejména na zatížení a údržbě zařízení). V pravidelných intervalech dochází k regeneraci membrán 1% roztokem kyseliny citrónové. Regeneraci provádí odborná firma dle pokynů v provozním řádu ČŠV.

7.2.2 Znovuvyužití tepelné energie z šedých odpadních vod

Jak bylo uvedeno v kapitole 5, odpadní voda může být skvělým zdrojem tepelné energie. Díky takto vysokým teplotám může být odpadní voda nákladově efektivní zdroj tepla. Nejvyšší teplotu

má odpadní voda v místě svého vzniku. Zdrojem teplé odpadní vody v tomto projektu jsou sprchové kouty. Teplota šedých odpadních vod z koupelen dosahuje teplot mezi 18 °C až 38 °C.

Výběr technologie znovuvyužití tepla z šedé vody

S ohledem na skutečnost, že sprchové kouty (a tedy hlavní zdroj teplé odpadní vody) budou velmi sporadicky využívány, šedá odpadní voda bude do nádrží přitékat hlavně z umyvadel. Odpadní voda z umyvadel může mít oproti odpadní vodě ze sprch a koupelen podstatně nižší teplotu (klidně i 10 °C). Usazením centralizovaného výměníku do nádrže bychom tak nezískávali příliš tepelné energie, tudíž se jako výhodnější užití nabízí instalace decentralizovaného výměníku.

Jako vhodný typ výměníku pro tento projekt byl zvolen výměník NELA, tedy horizontální výměník, jehož parametry jsou popsány v odstavci níže. Výhodou je jeho cena, ale především prostorové umístění. Jelikož se sprchové kouty budou nacházet v přízemí, nebude možné využít patro pod nimi, kde by bylo nutné umístit vertikální výměník. Jeho údržba by rovněž nemusela být problematická, jelikož budou sprchy využívány i samotnými členy údržby – bude tedy docházet k jejich pravidelnému kontaktu a prohlídce úrovně čistoty sprchových koutů. Další výhodou je absence nutnosti zasahovat do jiných pater objektu. Účinnost však bude o 15 % nižší, než by mohla být u výměníku vertikálního.

Konkrétní typ výměníku tepelné energie

V této podkapitole jsou popsány vlastnosti a parametry horizontálního tepelného výměníku, který by byl vhodný pro instalaci v zájmové lokalitě.

Sprchový výměník NELA

Tento horizontální výměník je určen pro vody odtékající ze sprchových koutů při teplotě 37 až 40 °C. Jeho účinnost dosahuje až 45 %. Účinnost rekuperace nám v tomto případě definuje, kolik tepelné energie může odpadní voda předat pitné vodě, přiváděné z vodovodního řadu, v tepelném výměníku.

Princip tohoto výměníku spočívá v průtoku pitné vody soustavou kanálků uvnitř horizontálně položené desky pod sprchovou vaničkou. Odtékající teplá voda volně stéká po desce výměníku a tím ohřívá čistou, studenou vodu uvnitř výměníku. Předehřátá pitná voda je dále odváděna do směšovací baterie, kde je promíchána s teplou, klasicky ohřátou pitnou vodou.

Instalace výměníku u nové výstavby není náročná. Pro připojení výměníku k odpadní vodě se používá plastové potrubí DN 40.

Pracovní, teplosměnnou, plochu výměníku je potřeba pravidelně čistit pro zajištění co nejvyšší účinnosti. Čištění spočívá v použití přípravků, které jsou ekologicky šetrné a založené zejména na biologické bázi. Tento čistící roztok je potřeba nalít do sifonu sprchové vaničky [65].

Informace k vybranému výměníku tepelné energie

Rozměry a povolené pracovní hodnoty:

Skříň výměníku vakuový výtažek z plastu ABS.

Vlastní těleso výměníku je z nerezového plechu AISI 316.

Čisté rozměry skříně: 552 x 144 x 87 mm.

Váha: 1800 g

Připojení odpadní strany DN40.

Připojení vody G 1/2"

Maximální pracovní teplota 90 °C, tlak 16 bar.

Cena produktu se pohybuje okolo 6000 Kč [65].



Obrázek 21 NELA výměník (modře čistá studená voda, oranžově výstup čisté přehřáté vody) [65]

Výpočet výkonu výměníku tepelné energie

V rámci případové studie je uvažována teplota šedé odpadní vody, která vytéká ze sprchového koutu. Teplota této vody je stanovena na 35 °C. Tato šedá voda bude stékat po ploše výměníku a tím bude předávat teplo přiváděné vodě z vodovodního řadu uvnitř výměňkové desky. Tato přiváděná pitná voda bude mít teplotu v rozmezí 10 °C až 15 °C (uvažujme tedy 10 °C). Jestliže výměník bude mít účinnost 45 %, jsme schopni vypočítat teplotu čisté vody, která bude z výměníku odtékat do směšovací nádrže, podle následujícího vzorce [66]:

$$\eta_{\text{stac}} = \frac{T_1 - T_0}{T_t - T_0} \quad (7.3)$$

kde: η_{stac} účinnost výměníku 45 %

T_1 teplota přehřáté vody na výstupu z výměníku [°C];

T_0 teplota studené vody na vstupu do výměníku 10 °C;

T_t teplota odpadní vody na vstupu do výměníku 35 °C.

Dosazením výše uvedených hodnot do vztahu (5.1) získáme:

$$0,45 = \frac{T_1 - 10}{35 - 10}$$

Z tohoto vzorce vyplývá, že T_1 teplota přehřáté vody na výstupu z výměníku bude 21,25 °C.

Pro výpočet výkonu výměníku a systému potřebného pro ohřev vody je využito následujícího vzorce (7.4) [66]:

$$W_{OP} = c \cdot \rho \cdot Q \cdot \Delta T \quad (7.4)$$

kde:

W_{OP}	množství odebraného tepla (výkon) [kW];
ΔT	rozdíl teploty odpadní vody (35 °C) a teploty přehřáté vody (21,25 °C) [°C];
c	měrná tepelná kapacita vody [kJ·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹];
ρ	měrná hmotnost vody (pro 10 °C) [kg·l ⁻¹];
Q	průtok odpadní vody [l·s ⁻¹].

Rozdíl ΔT je 13,75 °C, měrná tepelná kapacita 4,186 kJ·kg⁻¹·°C⁻¹, měrná hmotnost vody 0,9997 kg·l⁻¹ a průtok odpadní vody ze sprchových koutů 300 l·den⁻¹.

$$\Delta T = 35 - 21,25 = 13,75 \text{ °C}$$

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

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

$$Q = 300 \text{ l} \cdot \text{den}^{-1} = 0,003 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$W_{OP} = 4,18 \cdot 0,9997 \cdot 0,003 \cdot 13,75 = 0,17 \text{ kW.}$$

Pro 7 sprchových koutů bude celkový výkon výměníků 0,17 kW, výkon jednoho výměníku tak bude 0,025 kW.

Energie, která bude dodaná přiváděné vodě za jedno sprchování a úspora, kterou systém rekuperace vytvoří, je stanovena na základě těchto vzorců [66]:

$$E = m \cdot c_{Wh} \cdot (t_1 - t_2) \quad (7.5)$$

$$m = \rho \cdot V \quad (7.6)$$

$$c_{Wh} = \frac{c}{3600} \quad (7.7)$$

kde:

c_{Wh}	měrná tepelná kapacita vody přepočtená na W·h·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹ ;
$(t_1 - t_2)$	rozdíl teploty přehřáté vody a teploty vody na vstupu [°C];
m	hmotnost vody (pro 10 °C) [kg·l ⁻¹];
V	objem přehřáté vody [l].

Objem vody pro sprchování jedné osoby byl stanoven na 30 l (odtok baterie sprchového koutu je $6 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, osoba stráví ve sprše 5 minut). Dosazením hodnot vzniká výsledná energie za jedno koupaní 0,392 kWh, viz následující vzorec:

$$E = (30 \cdot 0,9997) \cdot \frac{4,186}{3600} \cdot (21,25 - 10)$$
$$E = 0,392 \text{ kWh.}$$

7.3 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

Čistírna šedých vod bude umístěna v technické místnosti, která se nachází v 1.PP. Samotná technická místnost bude rozdělena na dvě podlaží, přičemž ve spodním podlaží se budou nacházet tři nádrže a v horním patře dvě ATS s membránovými moduly. Obě mezipatra technické místnosti budou oddělena odnímatelným kompozitovým roštem pro snadný přístup do jakékoli části ve spodním mezipatře. Čistírna šedých vod se skládá z následujících částí:

- vyrovnávací nádrž s funkcí čerpací stanice;
- reakční nádrž s membránovými moduly;
- akumuláční nádrž;
- automatická tlaková stanice (ATS);
- další technologické přístroje;

7.3.1 Vyrovnávací nádrž s funkcí čerpací stanice

Přívodní PVC potrubí DN 200 odpadních vod je gravitačně zaústěno do vyrovnávací nádrže s funkcí čerpací stanice ve 2.PP technické místnosti. Přívodní potrubí bude v technické místnosti osazeno plastovým čistícím kusem DN 200 a následně jisticím ručním nožovým uzávěrem. Za tímto nožovým uzávěrem bude potrubí rozvětveno, přičemž jedna větev bude napojena do vyrovnávací nádrže a druhá do reakční nádrže. Napojení přívodního potrubí do obou nádrží zvláště je vytvořeno proto, aby bylo v nouzovém stavu možné vyrovnávací nádrž dočasně vyřadit z celého čistícího systému a voda tak mohla putovat přímo do reakční nádrže. Toto řešení bude aplikováno pouze při nouzovém provozu, jelikož voda nebude moci projít všemi technologickými procesy úpravy (pískové filtry atd., viz níže), a její úprava bude spočívat pouze ve filtraci přes membrány v reakční nádrži. Obě větve přívodního potrubí budou opatřeny lokálními uzávěry.

Vyrovnávací nádrž je z plastového materiálu o tloušťce 15 mm, dále je na každé straně nádrže použito opásání a jeho zaplastování v tloušťce 75 mm. Půdorysný rozměr nádrže je 1,6 m x 1,9 m, konstrukční výška je 2,0 m (maximální hladina 1,7 m + 0,3 m rezerva). Užitený objem nádrže je $5,0 \text{ m}^3$. Nádrž je na přítoku vybavena nornou stěnou.

Nádrž bude vybavena odvětráním a přístup do ní budou zajišťovat dva prachotěsné poklapy. Na dně nádrže budou ve spádové části dna osazena dvě havarijní ponorná kalová čerpadla se zpětnou klapkou. Tato dvě čerpadla budou sloužit k odčerpání přebytečného kalu do stávajícího systému kanalizace vedené pod stropem technické místnosti a následně do 1.PP technické místnosti. Čerpadla, která se nachází v 1. PP technické místnosti, budou sepnuta při dosažení maximální hladiny ve vyrovnávací nádrži. K sepnutí čerpadla dojde při dosažení maximální hladiny ve vyrovnávací nádrži. Čerpadlo bude vybaveno spirálovým oběžným kolem. Výkon čerpadla je navržen na maximální průtok $6,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ při maximální hladině ve vyrovnávací nádrži. Spínání

čerpadel bude zajišťovat tenzometr jištěný minimálním plovákem. U čerpadel bude možné nastavit časový režim chodu a pauzy při čerpání. Při poklesu vody pod provozní hladinu, bude čerpadlo vypnuto. Hladina poté vystoupá na maximální provozní hladinu a čerpadlo se znovu sepne.

Na výtlaku z havarijních čerpadel bude usazen indukční průtokoměr DN 40 jištěný ruční armaturou DN 40.

Vyrovňovací nádrž bude vybavena u dna vypouštěcím ventilem, aby umožnil pohodlné čištění dna nádrže.

Pro lepší promíchání šedých vod ve vyrovňovací nádrži bude umístěn středněbublinný provzdušňovací rošt, jehož přívod vzduchu z dmychadel bude zajišťovat solenoidový ventil, který bude umístěn v horním patře technické místnosti.

Šedá voda bude z vyrovňovací nádrže vyvedena čtyřmi sacími otvory DN 50 do 1. PP technické místnosti. Potrubí povede ke dvěma samonasávacím cirkulačním čerpadlům s filtrem vlasů včetně zpětné klapky DN 50 na výtlaku v 1.PP. Tato část čistírny bude sestrojena v suché instalaci. Výkon jednoho čerpadla bude navržen na $6,5 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$. V provozu bude vždy pouze jedno čerpadlo, druhé čerpadlo bude plnit funkci rezervního čerpadla. Spínání čerpadel bude zajišťovat tenzometr. U čerpadel bude možné naprogramovat jejich časový interval pauzy při čerpání či naopak aktivity. Spínání čerpadel bude regulováno dle hladin v reakční nádrži, která následuje, a tlaku na pískových filtrech. Na sání z čerpadel je osazen ruční uzávěr DN 50 a na výtlaku zpětná klapka s ručním uzávěrem DN 50. Uzávěry slouží zejména pro ochranu čerpadel.

Následně budou šedé odpadní vody čerpány zpět do 2.PP přes pískové filtry do reakční nádrže s membránovými moduly. Pískové filtry jsou osazeny v sériovém zapojení a budou naplněny hrubozrnnou frakcí. Výtlak prací vody bude sveden do stávajících rozvodů kanalizace potrubím DN 50. Potrubí bude vybaveno zpětnou klapkou s koulí DN 50.

7.3.2 Reakční nádrž s membránovými moduly

Reakční nádrž je umístěna v 2.PP. Je z plastového materiálu o tloušťce 15 mm, dále je na každé straně nádrže použito opásání a jeho zaplastování v tloušťce 75 mm. Půdorysný rozměr nádrže je 1,6 m x 2,4 m, konstrukční výška je 2,0 m (maximální hladina 1,7 m + 0,3 m rezerva). Užité objem nádrže je $6,5 \text{ m}^3$. Přístup do nádrže bude zajišťovat dělený celoplošný poklop. Nádrž bude vybavena odvětráním.

Pro potřebu úplného vypuštění nádrže bude instalován vypouštěcí ventil u dna nádrže.

V reakční nádrži bude osazeno 6 ks membránových modulů včetně čerpadla permeátu (bílá voda) a prací vody. Princip filtrace spočívá v průtoku vody přes stovky k sobě svázaných dutých porézních vláken. Vláknata mají vnější průměr menší než 1 mm.

Přebytečný kal, který bude usazován na dně nádrže, bude odváděn třemi čerpadly přebytečného kalu, které budou usazeny na dně nádrže. Výtlak z těchto čerpadel je vybaven zpětnou klapkou a bude kal odvádět do stávajícího systému kanalizace vedené pod stropem 1.PP technické místnosti. Výkon jednoho čerpadla bude navržen na maximální průtok $7,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ při maximální hladině v reakční nádrži. Spínání čerpadel bude zajišťovat tenzometr.

7.3.3 Akumulační nádrž

Akumulační nádrž je z plastového materiálu o tloušťce 15 mm, dále je na každé straně nádrže použito opásání a jeho zaplastování v tloušťce 75 mm. Půdorysný rozměr nádrže je 0,8 m x 3,7 m, konstrukční výška je 2,0 m (maximální hladina 1,7 m + 0,3 m rezerva). Užité objem nádrže je 5,0 m³. Přístup do nádrže bude zajišťovat dělený celoplošný poklop. Nádrž bude vybavena odvětráním. Akumulační nádrž bude vybavena u dna vypouštěcím ventilem, aby umožnil pohodlné čištění dna nádrže.

V akumulaciční nádrži jsou osazena sání čerpadel s automatickým hlídáním tlaku v rozvodu provozní vody.

V případě nedostatku bílé vody je akumulaciční nádrž automaticky doplňována pitnou vodou pomocí solenoidového ventilu jištěného ručním uzávěrem. Přívod pitné vody je opatřen indukčním průtokoměrem pro měření dopouštěného množství vod.

7.3.4 Automatická tlaková stanice (ATS)

Z akumulaciční nádrže bílé vody bude sacím potrubím odváděna bílá voda do horního patra technické místnosti rovnoměrně do dvou ATS. Každé ze čtyř sacích potrubí (2+2) bude v akumulaciční nádrži na vstupu osazeno sacím košem. Tyto automatické tlakové stanice mají za úkol dopravit vyčištěnou bílou vodu do jednotlivých pater budovy. Budova je rozdělena na dvě tlaková pásma, v místnosti tedy budou dvě ATS, přičemž každá z nich bude dopravovat vodu do jiného tlakového pásma.

Každá ATS bude opatřena dvěma celonerezovými vertikálními vícestupňovými čerpadly. Musí zabezpečit přečerpání maximálního množství provozní bílé vody $Q = 2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ při $H = 60 \text{ m}$ (dispoziční přetlak u ATS 0,6 MPa).

Přímo na motoru bude integrována regulace, která bude obsahovat frekvenční měnič, řídicí jednotku a regulátor. Ve svorkovnici elektromotoru bude senzor pro hlídání teploty elektromotoru.

Součástí dodávky je elektrický rozváděč s jističi a hlavním vypínačem a automatickým řídicím systémem.

Na výtlačích z obou ATS bude osazena UV lampa k potlačení mikrobiálního oživení pomocí UV zářivek, min. výkon 7,2 m³·h⁻¹. Materiálové provedení pláště UV lampy bude nerezové.

7.4 ORIENTAČNÍ STANOVENÍ INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ

V této kapitole je stanovena výše investičních nákladů. Náklady pro znovuvyužití šedé vody jsou stanoveny orientačně.

7.4.1 Investiční náklady ZŠV

Do těchto investičních nákladů je zahrnuto technologické vstrojení čistírny šedých vod, stavební část ČŠV, měření a regulace a ostatní náklady. Tabulka 12 znázorňuje výši jednotlivých investičních nákladů a jejich následnou sumarizaci.

Tabulka 12 Cenový odhad jednotlivých složek investičních nákladů ČŠV

Cena celkem za technologické vybavení ČŠV v Kč bez DPH	3 630 000
Cena celkem za stavební část ČŠV v Kč bez DPH	1000 000
Cena celkem za měření a regulace Kč bez DPH	50 000
Cena celkem za ostatní náklady Kč bez DPH	490 000
Rezerva 5 % investičních nákladů	258 500
Cena celkem za výše uvedené v Kč bez DPH	5 430 000

Celkové investiční náklady ZŠV činí tedy zhruba 5 430 000 Kč bez DPH.

7.4.2 Investiční náklady ZTE

Do těchto nákladů nejsou zahrnuty náklady na instalaci technologie, jelikož instalace proběhne v rámci výstavby vnitřních rozvodů. Je počítáno s osazením výměníku do všech 7 sprchových koutů. Cena jednoho výměníku je 6 000 Kč, dohromady tedy investiční složka nákladů činí 42 000 Kč [65].

7.5 ORIENTAČNÍ PROPOČET EKONOMICKÉ NÁVRATNOSTI

Tato část diplomové práce zhodnocuje výhodnost a časovou návratnost investice do systému znovuvyužití šedých odpadních vod.

7.5.1 Ekonomická návratnost ZŠV

Práce v tomto objektu zahrnuje výpočet doby návratnosti investice navržené technologie pro využití odpadní vody jako zdroje pro splachování toalet v celé budově. Návrh předpokládá 15letou životnost technologické části systému a 30letou životnost stavební části systému (nádrže a vnitřní rozvody). Ekonomická návratnost ZŠV je počítána z cen bez DPH. Jako diskontní sazby byly zvoleny tři varianty – 3%, 5% a 6% sazba.

Investiční náklady

Výše investičních nákladů byla shrnuta v Kapitole 7.4. Jejich výše je 5 430 000 Kč.

Provozní náklady

Provozní náklad na 1 m³ šedé vody určené k čištění je 9,8 Kč bez DPH. Celkové provozní náklady na čištění šedé vody za 1 den je 129 Kč bez DPH. Do těchto nákladů jsou zahrnuty náklady na energii, náklady na regeneraci membrán, mzdy pro členy údržby apod. V práci je uvažováno, že provozní náklady jsou započítány za každý den v roce. Náklady jsou rovněž navýšeny o předpokládanou inflaci, která byla vypočtena na základě údajů z posledních 10 let na 2,20 %.

Prostá doba návratnosti

Prostá doba návratnosti zobrazuje čas, kdy je investice do daného systému zcela pokryta díky vzniklým úsporám. Snahou každého projektu je vytvořit co nejkratší prostou dobu návratnosti.

Pro výpočet doby návratnosti investice je použito vyjádření tzv. prosté doby návratnosti (7.8):

$$T_p = \frac{IN}{CF} \quad (7.8)$$

kde:

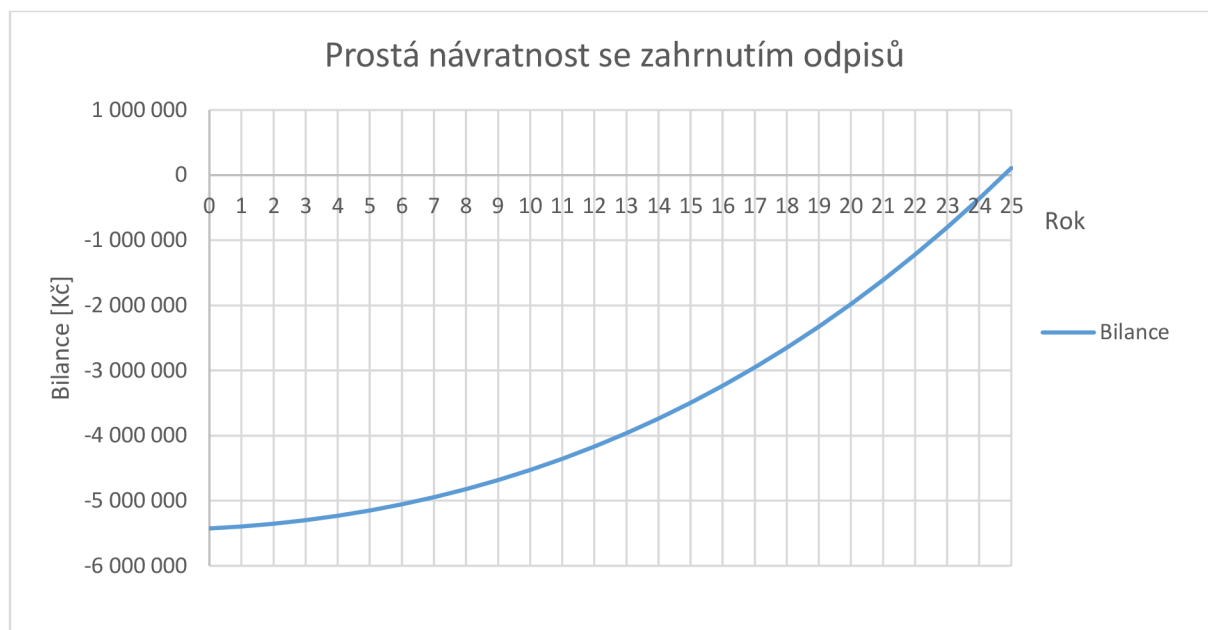
T_p	prostá doba návratnosti [roky];
IN	náklady na investici – investiční výdaj [Kč]
CF	Cash-flow [Kč].

Pro výpočet doby návratnosti je nutné znát cash-flow, které nám systém přinese. To je vypočítáno na základě cen vodného a stočného bez DPH v lokalitě, vynásobenou o průměrný růst cen vypočtený na základě údajů z posledních 10 let. Výpočet bilance byl vypočítán ve dvou variantách. V první variantě jsou do nákladů zahrnuty odpisy z nákladů na technologie za 15 let jejich životnosti a odpisy ze stavební části za 30 let životnosti. Ve druhé variantě odpisy zahrnuty nejsou. Je důležité uvést, že obě výpočetní varianty nepočítají se zahrnutím jakékoliv dotace.

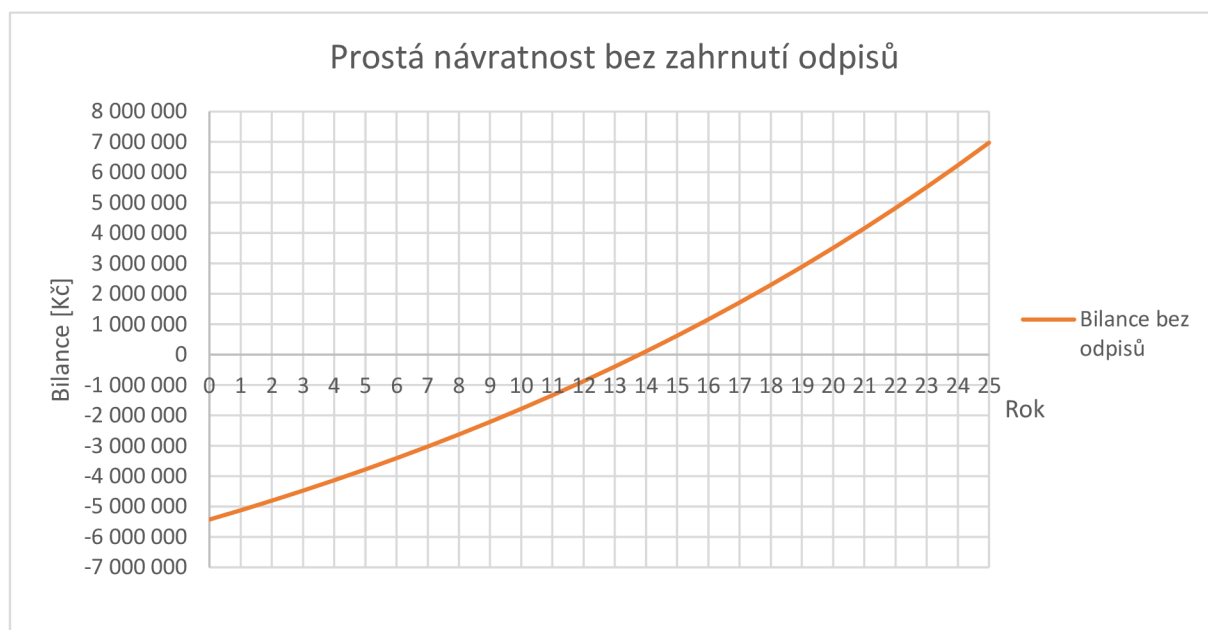
Tabulka 13 Cash-flow využití systému šedých vod

Rok	Provozní náklady technologie	Úspora	Odpisy	Bilance včetně odpisů	Bilance bez odpisů
0	-	-	-	-5 426 000	-5 426 000
1	-48 255	353 180	-274 680	-5 395 755	-5 121 075
2	-48 255	365 254	-274 680	-5 353 436	-4 804 076
3	-48 255	377 740	-274 680	-5 298 632	-4 474 592
4	-48 255	390 652	-274 680	-5 230 915	-4 132 195
5	-48 255	404 007	-274 680	-5 149 843	-3 776 443
6	-48 255	417 817	-274 680	-5 054 961	-3 406 881
7	-48 255	432 100	-274 680	-4 945 796	-3 023 036
8	-48 255	446 871	-274 680	-4 821 860	-2 624 420
9	-48 255	462 147	-274 680	-4 682 648	-2 210 528
10	-48 255	477 946	-274 680	-4 527 638	-1 780 838
11	-48 255	494 284	-274 680	-4 356 289	-1 334 809
12	-48 255	511 181	-274 680	-4 168 044	-871 884
13	-48 255	528 655	-274 680	-3 962 324	-391 484
14	-48 255	546 727	-274 680	-3 738 532	106 988
15	-48 255	565 416	-274 680	-3 496 051	624 149
16	-48 255	584 745	-274 680	-3 234 242	1 160 638
17	-48 255	604 734	-274 680	-2 952 443	1 717 117
18	-48 255	625 406	-274 680	-2 649 972	2 294 268
19	-48 255	646 785	-274 680	-2 326 121	2 892 799
20	-48 255	668 895	-274 680	-1 980 161	3 513 439
21	-48 255	691 761	-274 680	-1 611 335	4 156 945
22	-48 255	715 409	-274 680	-1 218 862	4 824 098
23	-48 255	739 864	-274 680	-801 932	5 515 708
24	-48 255	765 156	-274 680	-359 711	6 232 609
25	-48 255	791 313	-274 680	108 666	6 975 666
26	-48 255	818 363	-274 680	604 094	7 745 774
27	-48 255	846 338	-274 680	1 127 498	8 543 858
28	-48 255	875 270	-274 680	1 679 833	9 370 873
29	-48 255	905 191	-274 680	2 262 088	10 227 808
30	-48 255	936 134	-274 680	2 875 287	11 115 687
31	-48 255	968 135	-274 680	3 520 487	12 035 567
32	-48 255	1 001 230	-274 680	4 198 782	12 988 542
33	-48 255	1 035 457	-274 680	4 911 304	13 975 744
34	-48 255	1 070 853	-274 680	5 659 222	14 998 342

Obrázek 22 a Obrázek 23 graficky znázorňují návratnost investice.



Obrázek 22 Graf závislosti finanční bilance SČŠV včetně odpisu na čase



Obrázek 23 Graf závislosti bilance SČŠV bez zahrnutí odpisů na čase

Čistá současná hodnota

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 ve třech variantách na hodnoty 3 %, 5 % a 6 %. Hodnota NPV lze vyjádřit následujícím vztahem:

$$NPV = \sum_0^t \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (7.9)$$

kde:

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

Tabulka 14, Tabulka 15 a Tabulka 16 znázorňují analýzu peněžních toků a výpočet čisté současné hodnoty systému znovuvyužití šedé odpadní vody vypočtené dle vztahu (7.9). 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 na Obrázek 24.

Tabulka 14 Čistá současná hodnota investice (diskont 3 %)

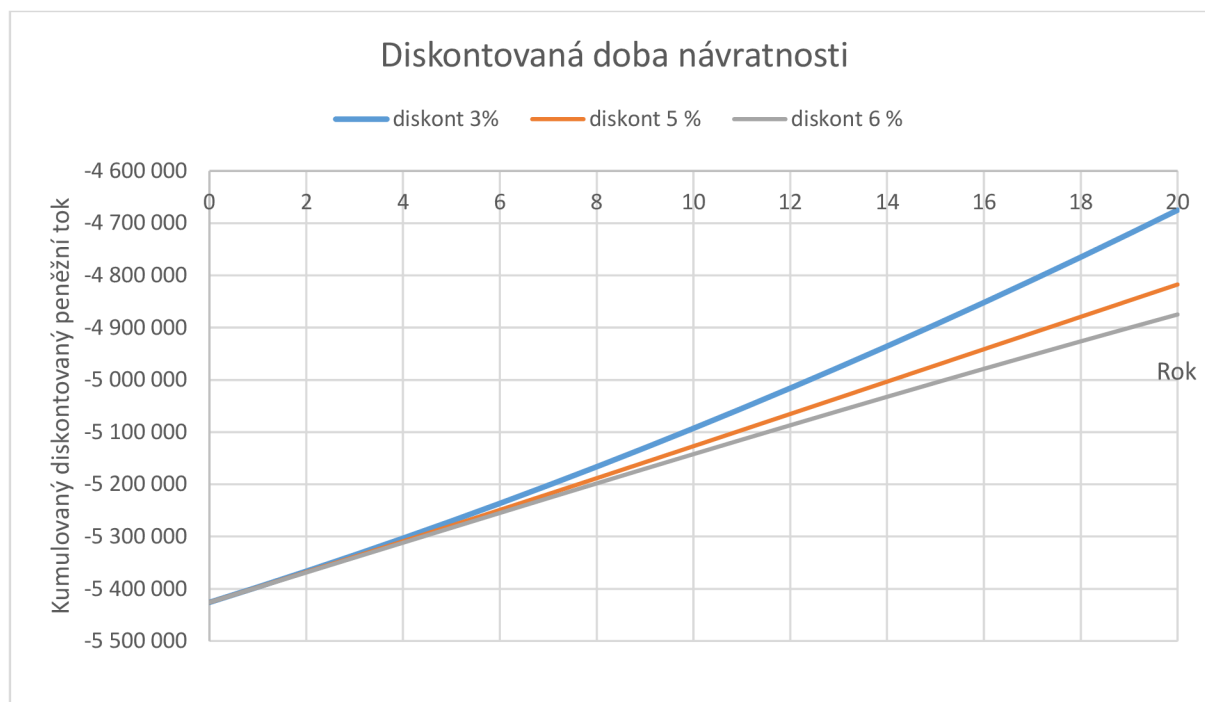
Diskontní sazba	3			%		
Rok	0	1	2	3	4	5
Čisté peněžní toky	-5 426 000	30 245	32 104	34 039	36 056	38 156
Diskontní faktor	1,0000	0,9709	0,9426	0,9151	0,8885	0,8626
Diskontované peněžní toky	-5 426 000	29 364	30 261	31 151	32 035	32 914
Kumulované diskontované peněžní toky	-5 426 000	-5 396 636	-5 366 375	-5 335 224	-5 303 189	-5 270 275
Rok	-	6	7	8	9	10
Čisté peněžní toky	-	40 343	42 619	44 989	47 455	50 021
Diskontní faktor	-	0,8375	0,8131	0,7894	0,7664	0,7441
Diskontované peněžní toky	-	33 786	34 653	35 514	36 370	37 220
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-5 236 489	-5 201 836	-5 166 322	-5 129 952	-5 092 731
Rok	-	11	12	13	14	15
Čisté peněžní toky	-	52 691	55 469	58 359	61 364	64 490
Diskontní faktor	-	0,7224	0,7014	0,6810	0,6611	0,6419
Diskontované peněžní toky	-	38 065	38 905	39 740	40 569	41 394
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-5 054 666	-5 015 761	-4 976 021	-4 935 452	-4 894 058
Rok	-	16	17	18	19	20
Čisté peněžní toky	-	67 740	71 118	74 631	78 282	82 077
Diskontní faktor	-	0,6232	0,6050	0,5874	0,5703	0,5537
Diskontované peněžní toky	-	42 213	43 028	43 838	44 643	45 444
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-4 851 845	-4 808 817	-4 764 980	-4 720 337	-4 674 893
Rok	-	21	22	23	24	25
Čisté peněžní toky	-	86 020	90 118	94 376	98 799	103 394
Diskontní faktor	-	0,5375	0,5219	0,5067	0,4919	0,4776
Diskontované peněžní toky	-	46 240	47 032	47 819	48 602	49 381
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-4 628 653	-4 581 621	-4 533 801	-4 485 199	-4 435 818
Čistá současná hodnota projektu za 20 let		NPV	-4 674 893		Kč bez DPH	

Tabulka 15 Čistá současná hodnota investice (diskont 5 %)

Diskontní sazba		5			%	
Rok	0	1	2	3	4	5
Čisté peněžní toky	-5 426 000	30 245	32 104	34 039	36 056	38 156
Diskontní faktor	1,0000	0,9524	0,9070	0,8638	0,8227	0,7835
Diskontované peněžní toky	-5 426 000	28 805	29 119	29 405	29 663	29 896
Kumulované diskontované peněžní toky	-5 426 000	-5 397 195	-5 368 076	-5 338 672	-5 309 008	-5 279 112
Rok	-	6	7	8	9	10
Čisté peněžní toky	-	40 343	42 619	44 989	47 455	50 021
Diskontní faktor	-	0,7462	0,7107	0,6768	0,6446	0,6139
Diskontované peněžní toky	-	30 104	30 288	30 450	30 590	30 709
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-5 249 008	-5 218 720	-5 188 270	-5 157 680	-5 126 971
Rok	-	11	12	13	14	15
Čisté peněžní toky	-	52 691	55 469	58 359	61 364	64 490
Diskontní faktor	-	0,5847	0,5568	0,5303	0,5051	0,4810
Diskontované peněžní toky	-	30 808	30 887	30 949	30 993	31 021
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-5 096 164	-5 065 276	-5 034 327	-5 003 334	-4 972 313
Rok	-	16	17	18	19	20
Čisté peněžní toky	-	67 740	71 118	74 631	78 282	82 077
Diskontní faktor	-	0,4581	0,4363	0,4155	0,3957	0,3769
Diskontované peněžní toky	-	31 032	31 029	31 011	30 979	30 934
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-4 941 281	-4 910 252	-4 879 242	-4 848 263	-4 817 329
Rok	-	21	22	23	24	25
Čisté peněžní toky	-	86 020	90 118	94 376	98 799	103 394
Diskontní faktor	-	0,5375	0,5219	0,5067	0,4919	0,4776
Diskontované peněžní toky	-	46 240	47 032	47 819	48 602	49 381
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-4 771 089	-4 724 057	-4 676 238	-4 627 635	-4 578 254
Čistá současná hodnota projektu za 20 let		NPV	-4 817 329		Kč bez DPH	

Tabulka 16 Čistá současná hodnota investice (diskont 6 %)

Diskontní sazba		6			%	
Rok	0	1	2	3	4	5
Čisté peněžní toky	-5 426 000	30 245	32 104	34 039	36 056	38 156
Diskontní faktor	1,0000	0,9434	0,8900	0,8396	0,7921	0,7473
Diskontované peněžní toky	-5 426 000	28 533	28 572	28 580	28 560	28 512
Kumulované diskontované peněžní toky	-5 426 000	-5 397 467	-5 368 895	-5 340 315	-5 311 755	-5 283 243
Rok	-	6	7	8	9	10
Čisté peněžní toky	-	40 343	42 619	44 989	47 455	50 021
Diskontní faktor	-	0,7050	0,6651	0,6274	0,5919	0,5584
Diskontované peněžní toky	-	28 440	28 344	28 226	28 088	27 932
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-5 254 803	-5 226 459	-5 198 232	-5 170 144	-5 142 212
Rok	-	11	12	13	14	15
Čisté peněžní toky	-	52 691	55 469	58 359	61 364	64 490
Diskontní faktor	-	0,5268	0,4970	0,4688	0,4423	0,4173
Diskontované peněžní toky	-	27 757	27 567	27 361	27 142	26 909
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-5 114 455	-5 086 889	-5 059 528	-5 032 386	-5 005 477
Rok	-	16	17	18	19	20
Čisté peněžní toky	-	67 740	71 118	74 631	78 282	82 077
Diskontní faktor	-	0,3936	0,3714	0,3503	0,3305	0,3118
Diskontované peněžní toky	-	26 665	26 411	26 146	25 873	25 592
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-4 978 811	-4 952 401	-4 926 254	-4 900 381	-4 874 789
Rok	-	21	22	23	24	25
Čisté peněžní toky	-	86 020	90 118	94 376	98 799	103 394
Diskontní faktor	-	0,5375	0,5219	0,5067	0,4919	0,4776
Diskontované peněžní toky	-	46 240	47 032	47 819	48 602	49 381
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-4 828 549	-4 781 517	-4 733 698	-4 685 095	-4 635 714
Čistá současná hodnota projektu za 20 let		NPV	-4 874 789		Kč bez DPH	



Obrázek 24 Graf diskontované doby návratnosti SČŠV

7.5.2 Ekonomická návratnost ZTE

Investiční náklady

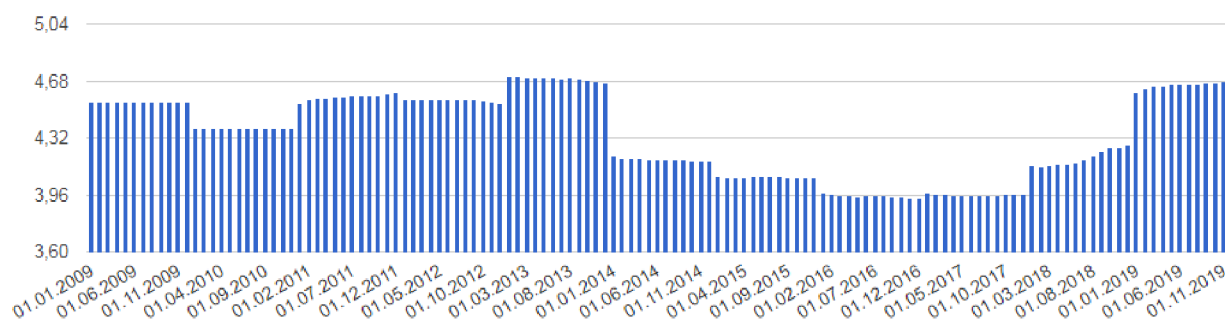
Jak bylo uvedeno v kapitole 7.4.2, je počítáno s osazením výměníku do všech 7 sprchových koutů. Cena jednoho výměníku je 6 000 Kč, dohromady tedy investiční složka nákladů činí 42 000 Kč.

Provozní náklady

Do provozních nákladů není započítán ohřev pitné vody přiváděné do sprchových koutů. Předpokládá se, že údržba bude spočívat pouze odstranění vrchního krytu z ušlechtilé oceli a následného vyjmutí a vypláchnutí rozdělovací desky. V případě potřeby se dá výměník tepelné energie snadno osprchovat nebo také vyčistit kartáčem. Jak již bylo řečeno výše, do sprchových koutů bude pravidelně docházet úklidová služba areálu, provozní náklady ve smyslu čištění výměníku v takovémto rozsahu jsou tedy pro výpočet zanedbatelné.

Prostá doba návratnosti

Prostá doba návratnosti ZTE byla vypočtena stejným způsobem, jako prostá doba návratnosti ZŠV v kapitole 7.5.1.



Obrázek 25 Graf průměrné ceny elektrické energie za 1 kWh za posledních 10 let [67]

Obrázek 25 výše znázorňuje závislost ceny elektrické energie na čase za posledních 10 let. Pokud bychom sledovali cenu elektrické energie v rámci posledních 10 let, zjistili bychom, že cena el. energie mezi lety 2003 až 2017 klesala, poslední 2 roky ovšem má cena vzestupnou tendenci. Zatímco v roce 2017 byla průměrná cena elektrické energie 3,96 Kč/kWh, v roce 2019 se pohybovala okolo 4,68 Kč/kWh. Tabulka 17 znázorňuje kolísavost průměrných cen elektrické energie za posledních 7 let.

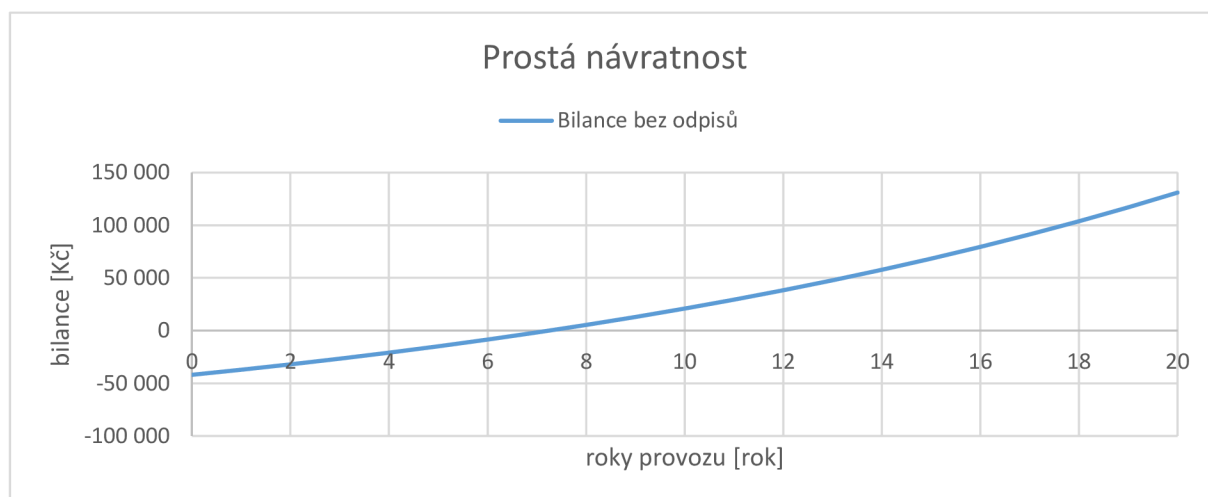
Tabulka 17 Kolísavost cen el. energie v čase [67]

Rok	DPH	cena 1 kWh vč. DPH	cena 1 kWh bez DPH	Procentní nárůst cen	Index
2013	21 %	4,69	3,87		
2014	21 %	4,19	3,46	-10,62 %	0,89
2015	21 %	4,07	3,36	-2,86 %	0,97
2016	21 %	3,95	3,26	-2,95 %	0,97
2017	21 %	3,96	3,27	0,25 %	1,00
2018	21 %	4,21	3,48	6,31 %	1,06
2019	21 %	4,66	3,85	10,69 %	1,11

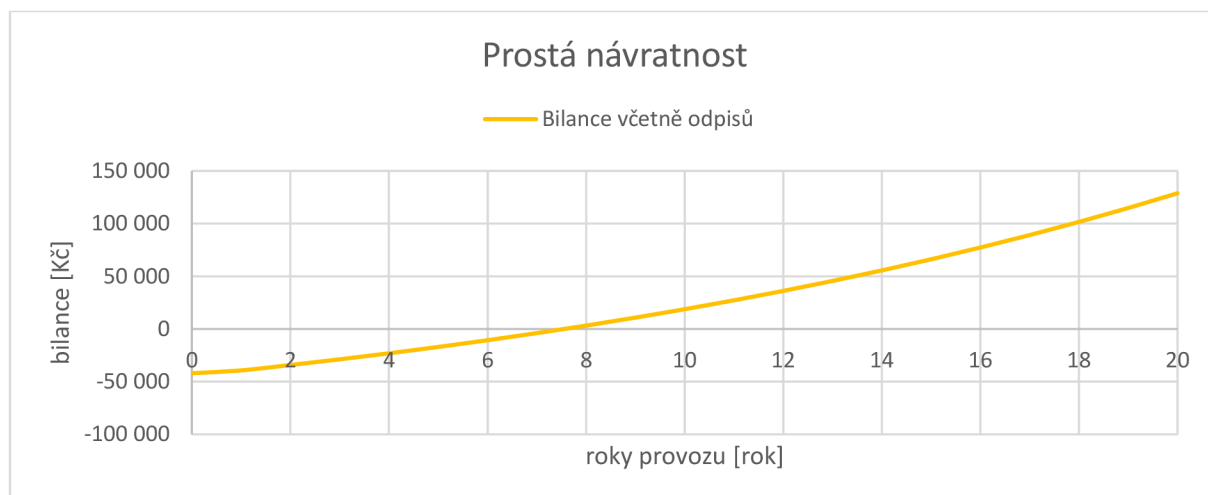
Pokud budeme uvažovat trend ceny posledních 3 let, její průměrný růst se bude pohybovat okolo indexu 1,058. Za jedno vysprchování výměník vytvoří 0,392 kWh, přičemž průměrně se denně vysprchuje 10 osob. Výsledná získaná energie za den je 3,92 kWh. Dále počítáme s využitím sprch 250 dní v roce. Prostá návratnost investice je zobrazena v Tabulka 18.

Tabulka 18 Prostá návratnost investice

Rok	Provozní náklady technologie	Úspora	Odpisy	Bilance včetně odpisů	Bilance bez odpisů
0	-	-	-	-42 000	-42 000
1	0	4 829	2 100	-39 271	-37 171
2	0	5 107	2 100	-34 163	-32 063
3	0	5 401	2 100	-28 762	-26 662
4	0	5 712	2 100	-23 051	-20 951
5	0	6 040	2 100	-17 010	-14 910
6	0	6 388	2 100	-10 623	-8 523
7	0	6 755	2 100	-3 868	-1 768
8	0	7 144	2 100	3 276	5 376
9	0	7 554	2 100	10 830	12 930
10	0	7 989	2 100	18 819	20 919
11	0	8 448	2 100	27 267	29 367
12	0	8 934	2 100	36 202	38 302
13	0	9 448	2 100	45 650	47 750
14	0	9 992	2 100	55 641	57 741
15	0	10 566	2 100	66 208	68 308
16	0	11 174	2 100	77 382	79 482
17	0	11 817	2 100	89 198	91 298
18	0	12 496	2 100	101 695	103 795
19	0	13 215	2 100	114 910	117 010
20	0	13 975	2 100	128 885	130 985



Obrázek 26 Prostá doba návratnosti instalace tepelných výměníků pro 7 sprchových koutů bez zahrnutí odpisů



Obrázek 27 Prostá návratnost instalace tepelných výměníků pro 7 sprchových koutů se zahrnutím odpisů

Prostá návratnost investice výměníku tepelné energie nastane mezi 7. a 8. rokem jejich užívání.

Čistá současná hodnota

Tabulka níže zobrazuje analýzu peněžních toků a výpočet čisté hodnoty investice (NPV), vypočtené dle následujícího vztahu:

$$NPV = \sum_0^t \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (7.9)$$

kde:

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

Součástí práce je výpočet celkové čisté současné hodnoty investice do výměníku tepelné energie se třemi různými diskontními sazbami (3 %, 5 % a 6 %).

Tabulka 19 Čistá současná hodnota investice (diskont 3 %)

Diskontní sazba		3			%	
Rok	0	1	2	3	4	5
Čisté peněžní toky	-42 000	2 729	2 886	3 052	3 228	3 414
Diskontní faktor	1,0000	0,9709	0,9426	0,9151	0,8885	0,8626
Diskontované peněžní toky	-42 000	2 650	2 721	2 793	2 868	2 945
Kumulované diskontované peněžní toky	-42 000	-39 350	-36 629	-33 836	-30 968	-28 023
Rok	-	6	7	8	9	10
Čisté peněžní toky	-	3 610	3 818	4 037	4 270	4 515
Diskontní faktor	-	0,8375	0,8131	0,7894	0,7664	0,7441
Diskontované peněžní toky	-	3 023	3 104	3 187	3 272	3 360
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-25 000	-21 896	-18 708	-15 436	-12 077
Rok	-	11	12	13	14	15
Čisté peněžní toky	-	4 775	5 049	5 340	5 647	5 972
Diskontní faktor	-	0,7224	0,7014	0,6810	0,6611	0,6419
Diskontované peněžní toky	-	3 449	3 542	3 636	3 733	3 833
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-8 627	-5 086	-1 449	2 284	6 117
Rok	-	16	17	18	19	20
Čisté peněžní toky	-	6 315	6 678	7 063	7 469	7 898
Diskontní faktor	-	0,6232	0,6050	0,5874	0,5703	0,5537
Diskontované peněžní toky	-	3 935	4 041	4 149	4 259	4 373
Kumulované diskontované peněžní toky	-	10 052	14 093	18 241	22 501	26 874
Rok	-	21	22	23	24	25
Čisté peněžní toky	-	8 353	8 833	9 341	9 878	10 447
Diskontní faktor	-	0,5375	0,5219	0,5067	0,4919	0,4776
Diskontované peněžní toky	-	4 490	4 610	4 733	4 860	4 989
Kumulované diskontované peněžní toky	-	31 364	35 974	40 707	45 566	50 556
Čistá současná hodnota projektu za 25 let		NPV		50 556		Kč bez DPH

Tabulka 20 Čistá současná hodnota investice (diskont 5 %)

Diskontní sazba		5			%	
Rok	0	1	2	3	4	5
Čisté peněžní toky	-42 000	2 729	2 886	3 052	3 228	3 414
Diskontní faktor	1,0000	0,9524	0,9070	0,8638	0,8227	0,7835
Diskontované peněžní toky	-42 000	2 599	2 618	2 637	2 656	2 675
Kumulované diskontované peněžní toky	-42 000	-39 401	-36 782	-34 146	-31 490	-28 815
Rok	-	6	7	8	9	10
Čisté peněžní toky	-	3 610	3 818	4 037	4 270	4 515
Diskontní faktor	-	0,7462	0,7107	0,6768	0,6446	0,6139
Diskontované peněžní toky	-	2 694	2 713	2 733	2 752	2 772
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-26 121	-23 408	-20 675	-17 923	-15 151
Rok	-	11	12	13	14	15
Čisté peněžní toky	-	4 775	5 049	5 340	5 647	5 972
Diskontní faktor	-	0,5847	0,5568	0,5303	0,5051	0,4810
Diskontované peněžní toky	-	2 792	2 812	2 832	2 852	2 873
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-12 360	-9 548	-6 716	-3 864	-992
Rok	-	16	17	18	19	20
Čisté peněžní toky	-	6 315	6 678	7 063	7 469	7 898
Diskontní faktor	-	0,4581	0,4363	0,4155	0,3957	0,3769
Diskontované peněžní toky	-	2 893	2 914	2 935	2 956	2 977
Kumulované diskontované peněžní toky	-	1 902	4 815	7 750	10 706	13 682
Rok	-	21	22	23	24	25
Čisté peněžní toky	-	8 353	8 833	9 341	9 878	10 447
Diskontní faktor	-	0,5375	0,5219	0,5067	0,4919	0,4776
Diskontované peněžní toky	-	4 490	4 610	4 733	4 860	4 989
Kumulované diskontované peněžní toky	-	18 172	22 782	27 515	32 375	37 364
Čistá současná hodnota projektu za 25 let		NPV	37 364		Kč bez DPH	

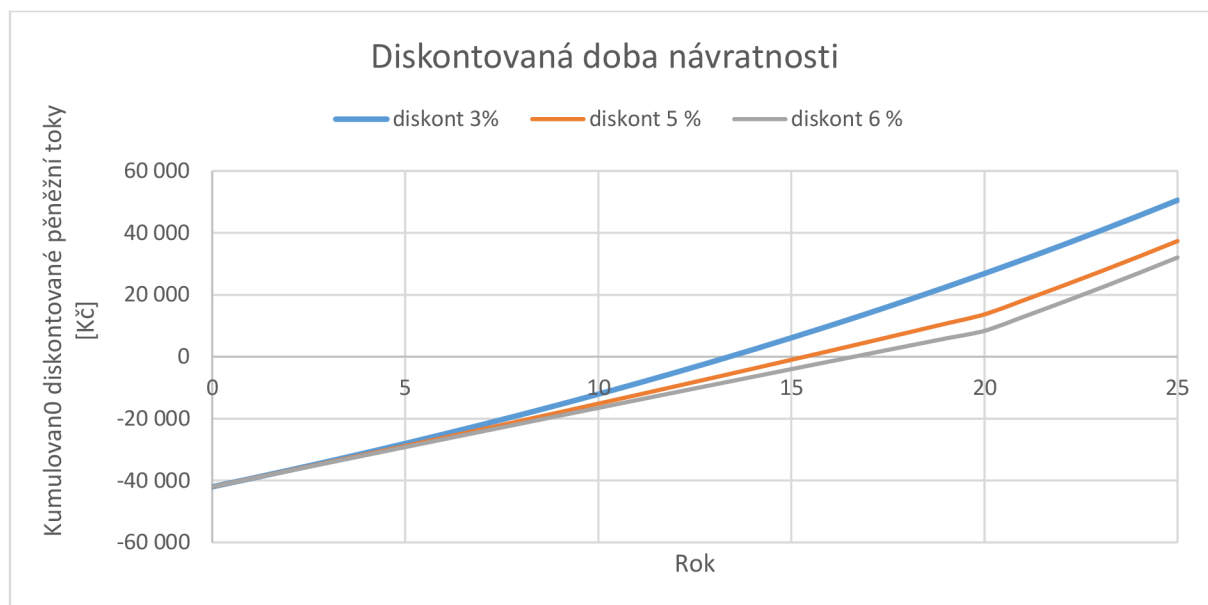
Tabulka 21 Čistá současná hodnota investice (diskont 6 %)

Diskontní sazba		6			%	
Rok	0	1	2	3	4	5
Čisté peněžní toky	-42 000	2 729	2 886	3 052	3 228	3 414
Diskontní faktor	1,0000	0,9434	0,8900	0,8396	0,7921	0,7473
Diskontované peněžní toky	-42 000	2 575	2 569	2 563	2 557	2 551
Kumulované diskontované peněžní toky	-42 000	-39 425	-36 856	-34 293	-31 736	-29 185
Rok	-	6	7	8	9	10
Čisté peněžní toky	-	3 610	3 818	4 037	4 270	4 515
Diskontní faktor	-	0,7050	0,6651	0,6274	0,5919	0,5584
Diskontované peněžní toky	-	2 545	2 539	2 533	2 527	2 521
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-26 640	-24 101	-21 568	-19 041	-16 520
Rok	-	11	12	13	14	15
Čisté peněžní toky	-	4 775	5 049	5 340	5 647	5 972
Diskontní faktor	-	0,5268	0,4970	0,4688	0,4423	0,4173
Diskontované peněžní toky	-	2 515	2 509	2 504	2 498	2 492
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-14 005	-11 495	-8 992	-6 494	-4 002
Rok	-	16	17	18	19	20
Čisté peněžní toky	-	6 315	6 678	7 063	7 469	7 898
Diskontní faktor	-	0,3936	0,3714	0,3503	0,3305	0,3118
Diskontované peněžní toky	-	2 486	2 480	2 474	2 469	2 463
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-1 516	964	3 438	5 907	8 369
Rok	-	21	22	23	24	25
Čisté peněžní toky	-	8 353	8 833	9 341	9 878	10 447
Diskontní faktor	-	0,5375	0,5219	0,5067	0,4919	0,4776
Diskontované peněžní toky	-	4 490	4 610	4 733	4 860	4 989
Kumulované diskontované peněžní toky	-	12 859	17 469	22 202	27 062	32 051
Čistá současná hodnota projektu za 25 let		NPV	32 051		Kč bez DPH	

Hodnota čistých peněžních toků je vypočítána jako roční úspora.

Diskontní faktor r představuje hodnotu $(1+r)^{-t}$.

Diskontovaný peněžní tok značí součin CF_t a $(1+r)^{-t}$.



Obrázek 28 graf závislosti kumulovaných diskontovaných peněžních toků z investice do tepelných výměníků pro 7 sprchových koutů v závislosti na čase

Z této analýzy vyplývá následující:

- Při diskontní sazbě 3 % lze uspořit po 25 letech užívání 50 556,- Kč.
- Při diskontní sazbě 5 % lze uspořit po 25 letech užívání 37 374,- Kč.
- Při diskontní sazbě 6 % lze uspořit po 25 letech užívání 32 051,- Kč.

7.5.3 Ekonomická návratnost kombinace ZŠV+ZTE

Tato kapitola zhodnocuje souhrnnou ekonomickou návratnost investic do systému znovuvyužití šedých vod včetně instalace výměníků tepelné energie.

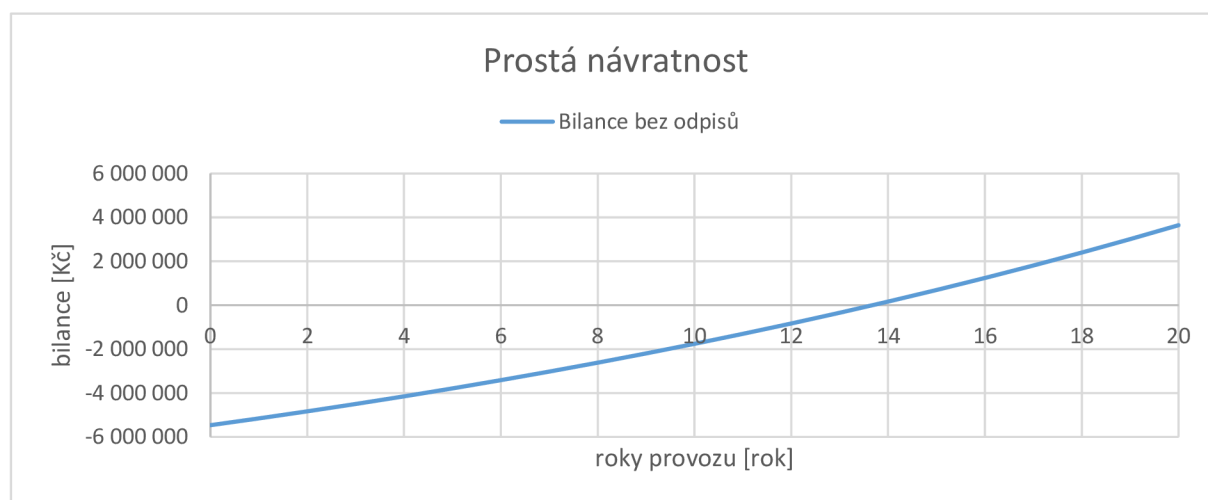
Prostá doba návratnosti byla vypočtena stejným způsobem, jako v kapitolách 7.5.1 a 7.5.2.

V Tabulka 22 je číselně zachycena prostá doba návratnosti v kombinaci investice ZŠV+ZTE včetně i bez odpisů.

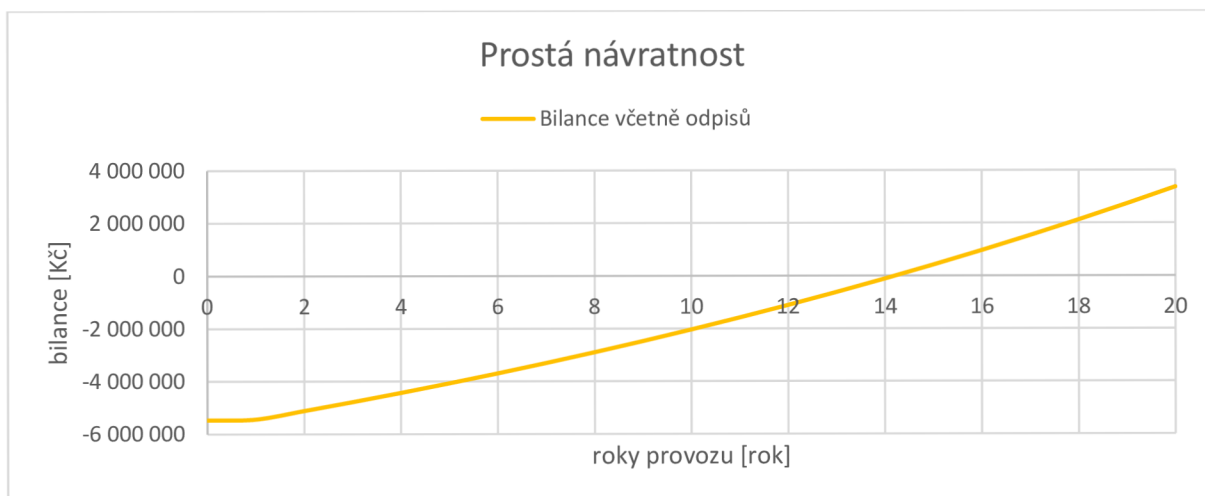
Tabulka 22 Prostá doba návratnosti kombinaci ZŠV+ZTE

Rok	Úspora		Provozní náklady		Bilance včetně odpisů	Bilance bez odpisů
	ZŠV	ZTE	ZŠV	ZTE		
0	-	-	-	-	-5 468 000	-5 468 000
1	353 180	4 829	-48 255	0	-5 435 025	-5 158 245
2	365 254	5 107	-48 255	0	-5 112 920	-4 836 140
3	377 740	5 401	-48 255	0	-4 778 034	-4 501 254
4	390 652	5 712	-48 255	0	-4 429 925	-4 153 145
5	404 007	6 040	-48 255	0	-4 068 134	-3 791 354
6	417 817	6 388	-48 255	0	-3 692 184	-3 415 404
7	432 100	6 755	-48 255	0	-3 301 584	-3 024 804
8	446 871	7 144	-48 255	0	-2 895 824	-2 619 044
9	462 147	7 554	-48 255	0	-2 474 378	-2 197 598
10	477 946	7 989	-48 255	0	-2 036 699	-1 759 919
11	494 284	8 448	-48 255	0	-1 582 222	-1 305 442
12	511 181	8 934	-48 255	0	-1 110 362	-833 582
13	528 655	9 448	-48 255	0	-620 514	-343 734
14	546 727	9 992	-48 255	0	-112 051	164 729
15	565 416	10 566	-48 255	0	415 677	692 457
16	584 745	11 174	-48 255	0	963 340	1 240 120
17	604 734	11 817	-48 255	0	1 531 636	1 808 416
18	625 406	12 496	-48 255	0	2 121 283	2 398 063
19	646 785	13 215	-48 255	0	2 733 029	3 009 809
20	668 895	13 975	-48 255	0	3 367 644	3 644 424

Na obrázcích níže je znázorněna prostá návratnost bez a včetně odpisů.



Obrázek 29 Prostá návratnost investice kombinace ZTE+ZŠV bez odpisů



Obrázek 30 Prostá návratnost investice kombinace ZTE+ZŠV včetně odpisů

Čistá současná hodnota

Čistá současná hodnota pro kombinaci ZŠV+ZTE byla vypočtena s diskontní sazbou 3 %, 5 % a 6 % analogicky jako v kapitole 7.5.1, respektive 7.5.2.

Tabulka 23 Čistá současná hodnota investice (diskont 3 %)

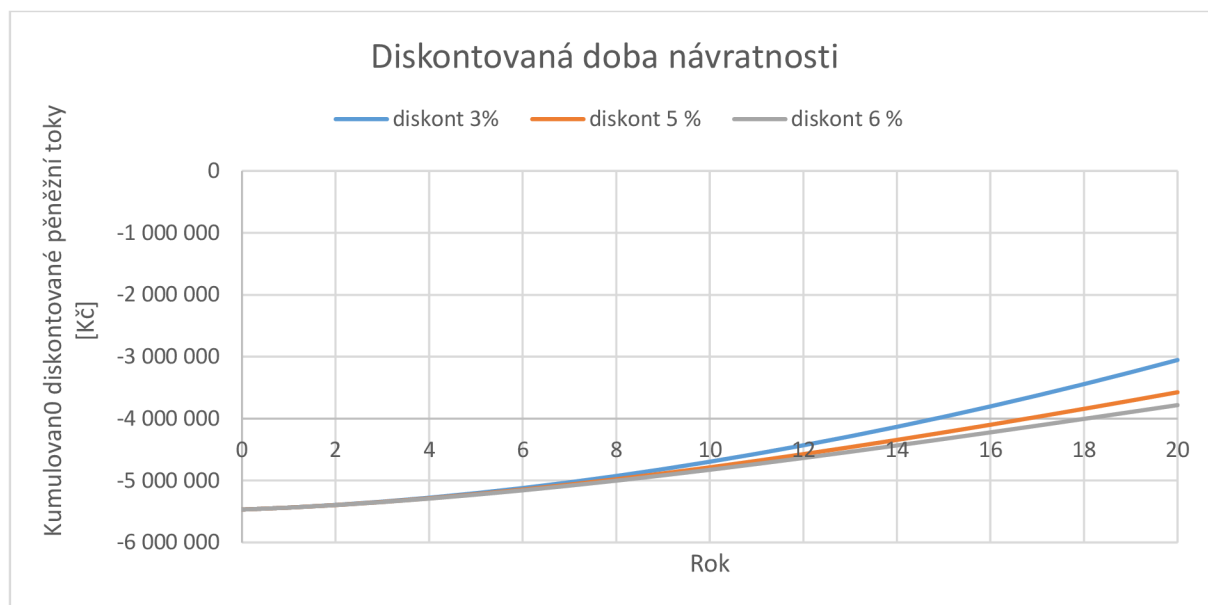
Diskontní sazba	3			%		
Rok	0	1	2	3	4	5
Čisté peněžní toky	-5 468 075	32 975	45 326	58 105	71 329	85 012
Diskontní faktor	1,0000	0,9709	0,9426	0,9151	0,8885	0,8626
Diskontované peněžní toky	-5 468 075	32 014	42 724	53 175	63 375	73 332
Kumulované diskontované peněžní toky	-5 468 075	-5 436 061	-5 393 337	-5 340 162	-5 276 788	-5 203 456
Rok	-	6	7	8	9	10
Čisté peněžní toky	-	99 170	113 820	128 980	144 666	160 899
Diskontní faktor	-	0,8375	0,8131	0,7894	0,7664	0,7441
Diskontované peněžní toky	-	83 053	92 546	101 818	110 875	119 724
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-5 120 403	-5 027 857	-4 926 039	-4 815 164	-4 695 440
Rok	-	11	12	13	14	15
Čisté peněžní toky	-	177 697	195 080	213 068	231 683	250 947
Diskontní faktor	-	0,7224	0,7014	0,6810	0,6611	0,6419
Diskontované peněžní toky	-	128 372	136 825	145 089	153 170	161 074
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-4 567 068	-4 430 243	-4 285 154	-4 131 984	-3 970 910
Rok	-	16	17	18	19	20
Čisté peněžní toky	-	270 884	291 515	312 868	334 965	357 836
Diskontní faktor	-	0,6232	0,6050	0,5874	0,5703	0,5537
Diskontované peněžní toky	-	168 806	176 372	183 777	191 026	198 125
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-3 802 105	-3 625 733	-3 441 956	-3 250 930	-3 052 806
Čistá současná hodnota projektu za 20 let		NPV	-3 052 806		Kč bez DPH	

Tabulka 24 Čistá současná hodnota investice (diskont 5 %)

Diskontní sazba	5					%	
Rok	0	1	2	3	4	5	
Čisté peněžní toky	-5 468 075	32 975	45 326	58 105	71 329	85 012	
Diskontní faktor	1,0000	0,9524	0,9070	0,8638	0,8227	0,7835	
Diskontované peněžní toky	-5 468 075	31 404	41 112	50 194	58 682	66 609	
Kumulované diskontované peněžní toky	-5 468 075	-5 436 671	-5 395 559	-5 345 365	-5 286 683	-5 220 074	
Rok	-	6	7	8	9	10	
Čisté peněžní toky	-	99 170	113 820	128 980	144 666	160 899	
Diskontní faktor	-	0,7462	0,7107	0,6768	0,6446	0,6139	
Diskontované peněžní toky	-	74 002	80 890	87 298	93 253	98 778	
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-5 146 072	-5 065 182	-4 977 884	-4 884 630	-4 785 852	
Rok	-	11	12	13	14	15	
Čisté peněžní toky	-	177 697	195 080	213 068	231 683	250 947	
Diskontní faktor	-	0,5847	0,5568	0,5303	0,5051	0,4810	
Diskontované peněžní toky	-	103 896	108 628	112 995	117 016	120 710	
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-4 681 957	-4 573 329	-4 460 334	-4 343 319	-4 222 609	
Rok	-	16	17	18	19	20	
Čisté peněžní toky	-	270 884	291 515	312 868	334 965	357 836	
Diskontní faktor	-	0,4581	0,4363	0,4155	0,3957	0,3769	
Diskontované peněžní toky	-	124 095	127 187	130 003	132 557	134 864	
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-4 098 514	-3 971 326	-3 841 324	-3 708 766	-3 573 902	
Čistá současná hodnota projektu za 20 let		NPV	-3 573 902			Kč bez DPH	

Tabulka 25 Čistá současná hodnota investice (diskont 6 %)

Diskontní sazba	6					%	
Rok	0	1	2	3	4	5	
Čisté peněžní toky	-5 468 075	32 975	45 326	58 105	71 329	85 012	
Diskontní faktor	1,0000	0,9434	0,8900	0,8396	0,7921	0,7473	
Diskontované peněžní toky	-5 468 075	31 108	40 340	48 786	56 499	63 526	
Kumulované diskontované peněžní toky	-5 468 075	-5 436 967	-5 396 627	-5 347 841	-5 291 342	-5 227 816	
Rok	-	6	7	8	9	10	
Čisté peněžní toky	-	99 170	113 820	128 980	144 666	160 899	
Diskontní faktor	-	0,7050	0,6651	0,6274	0,5919	0,5584	
Diskontované peněžní toky	-	69 911	75 697	80 923	85 628	89 845	
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-5 157 905	-5 082 208	-5 001 285	-4 915 657	-4 825 812	
Rok	-	11	12	13	14	15	
Čisté peněžní toky	-	177 697	195 080	213 068	231 683	250 947	
Diskontní faktor	-	0,5268	0,4970	0,4688	0,4423	0,4173	
Diskontované peněžní toky	-	93 609	96 949	99 895	102 474	104 712	
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-4 732 203	-4 635 255	-4 535 360	-4 432 886	-4 328 175	
Rok	-	16	17	18	19	20	
Čisté peněžní toky	-	270 884	291 515	312 868	334 965	357 836	
Diskontní faktor	-	0,3936	0,3714	0,3503	0,3305	0,3118	
Diskontované peněžní toky	-	106 632	108 258	109 611	110 710	111 575	
Kumulované diskontované peněžní toky	-	-4 221 542	-4 113 284	-4 003 673	-3 892 962	-3 781 388	
Čistá současná hodnota projektu za 20 let		NPV	-3 781 388			Kč bez DPH	



Obrázek 31 Graf diskontované doby návratnosti kombinace ZTE+ZŠV

8 ZÁVĚR

V této diplomové práci byl vytvořen koncepční návrh znovuvyužití šedých vod (ZŠV) pro objekt I v areálu Vlněna v Brně. V první části diplomové práce byla stanovena produkce a potřeba bílých vod v objektu, bilanční srovnání produkce a potřeby a následný hrubý návrh technologie čištění na základě získaných parametrů. Následně byl vybrán membránový produkt vhodný pro osazení do tohoto systému čištění. V rámci práce bylo řešeno i znovuvyužití tepelné energie (ZTE) pomocí výměníků. Na základě dříve získaných poznatků byl jako vhodný typ výměníku tepelné energie zvolen horizontální typ, konkrétně tepelný sprchový výměník NELA. Byl vypočten výkon tohoto tepelného výměníku.

V další části práce bylo popsáno technické řešení celého systému ZŠV v objektu, včetně vypracování výkresů. Byly zpracovány dva půdorysné výkresy systému, jeho technologické schéma a podélný řez rozvinutý ČŠV.

V poslední části práce bylo provedeno ekonomické zhodnocení na základě získaných investičních a provozních nákladů systému ZŠV a ZTE. Celkové investiční náklady ZŠV byly odhadnuty na 5 430 000,- Kč, celkové investiční náklady pro výměníky tepla pak na 42 000,- Kč. Provozní náklady systému čištění vod byly určeny jako 129,- Kč·den⁻¹ (zahrnují údržbu, náklady na elektrickou energii atd.). Výše provozních nákladů byla v každém roce ekonomického zhodnocení násobena o příslušný koeficient předpokládané inflace, stanoveného na základě predikce z jejího růstu v předchozích letech. Provozní náklady výměníků tepelné energie byly určeny jako 0,- Kč. Byla vypočítána úspora systému, ekonomická bilance pomocí cash-flow a výpočet čisté současné hodnoty. Tyto hodnoty byly vypočteny jednak zvlášť pro systém ZŠV a ZTE, tak v jejich kombinaci (při využití obou systémů). Pro výpočet byla uvažována životnost 15 let pro technologickou část systému, 30 let pro stavební část systému a 20 let pro výměníky tepelné energie.

Prostá doba návratnosti investice ZŠV byla stanovena na 25 let (respektive 14 let, pokud nebudeme do výpočtu uvažovat odpisy). Čistá současná hodnota (NPV) byla vypočtena ve třech variantách s různou diskontní sazbou (3%, 5% a 6%). Po 25 letech užívání systému byla vypočtena hodnota čisté současné hodnoty u všech tří variant stále více než -4 000 000,- Kč.

Prostá doba návratnosti investice ZTE byla stanovena na 8 let (bez i včetně odpisů). Čistá současná hodnota (NPV) byla vypočtena ve třech variantách s různou diskontní sazbou (3%, 5% a 6%). Po 25 letech užívání systému byla vypočtena hodnota NPV na 50 000,- Kč (3% diskontní sazba), 37 000,- Kč (5% diskontní sazba) a 32 000,- Kč (6% diskontní sazba).

Prostá doba návratnosti investice kombinace ZŠV+ZTE byla stanovena na 16 let (respektive 15 let bez započítání odpisů). Čistá současná hodnota (NPV) byla vypočtena ve třech variantách s různou diskontní sazbou (3%, 5% a 6%). Po 25 letech užívání systému byla vypočtena hodnota čisté současné hodnoty u všech tří variant stále více než -3 000 000,- Kč.

Realizace systému šedých vod v tomto objektu se jeví, s ohledem na vypočtené hodnoty, z ekonomického hlediska velmi nevýhodná. Hlavními důvody nevýhodnosti jsou zejména malé zdroje produkce šedých vod (pouze málo využívané sprchové kouty a umyvadla). Je nutné zdůraznit, že návrh počítal s konstantní plnou obsazeností osob v objektu během celého roku, což ve výsledku nemusí odpovídat skutečnosti. Stejný problém může nastat u výpočtu získané energie ZTE. Jestliže je však v zájmu investora spíše ekologická stránka projektu (například splnění požadovaných certifikací pro budovu), pak je realizace tohoto systému vhodná (denní úspora spotřeby pitné vody až 13 m³).

V Brně dne 19. 5. 2017

Jakub Skříčka
autor práce

9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] University of California, Irvine. A third of the world's biggest groundwater basins are in distress. *ScienceDaily*. Retrieved October 8, 2019, Dostupné z: www.sciencedaily.com/releases/2015/06/150616155026.htm
- [2] UN-Water. World Water Day – Leaving No One Behind (Human Rights and Refugees) 2019. 2019 Dostupné z: <http://worldwaterdayarchive.unwater.rw1.co.za/2019>
- [3] SMEDLEY, B. T. *Is the world running out of fresh water?* Increasing temperatures and populations threaten a precious
- [4] *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: portal.chmi.cz
- [5] Water for the World, Dostupné z: www.waterfortheworld.net
- [6] 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.
- [7] KIRK, A. *Cities in the face of drought*. – The Telegraph, Dostupné z: <https://www.telegraph.co.uk/news/cities-in-the-face-of-drought/>
- [8] European Environment Agency. Water use in Europe – Quantity and quality face big challenges. Dostupné z: <https://semantic.eea.europa.eu/>
- [9] Český statistický úřad. Vodovody, kanalizace a vodní toky – 2018. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/vodovody-kanalizace-a-vodni-toky-2018>
- [10] JAY FAMIGLIETTI, A map of the future of water, Trend pewtrusts, 2019, Dostupné z: <https://trend.pewtrusts.org/en/archive/spring-2019/a-map-of-the-future-of-water>
- [11] SOVAK ČR, Ing. Oldřich Vlasák, SOVAK ČR k aktuálním údajům z vodního hospodářství, 2019. Dostupné z: <https://www.sovak.cz/cs/clanek/sovak-cr-k-aktualnim-udajum-z-vodniho-hospodarstvi>
- [12] BARTONÍK A., HOLBA M., PLOTĚNÝ K., PALČÍK J.: Znovuvyužití šedých a dešťových vod v budovách. Sborník konference *Pitná voda 2012*, s.315-320. W&ET Team, Č. Budějovice 2012. ISBN 978-80-905238-0-7
- [13] British Standard BS 8525-1:2010 (2010): Greywater systems – Part 1: Code of practice. UK: BSI.
- [14] British Standard BS 8525-2:2010 (2010): Greywater systems – Part 2: Domestic greywater treatment equipment – Requirements and test methods. UK: BSI.
- [15] BARTONÍK A., HOLBA M., VRÁNA J., OŠLEJŠKOVÁ M., PLOTĚNÝ K.: Šedé vody – možnosti využití jejich energetického potenciálu, *Vodní hospodářství* ,2, s.60-64.
- [16] BS 8525-1 Greywater systems – Part 1: Code of practice BS 8515:2009 Rainwater harvesting systems – Code of practice DIN 1989-1 Regenwassernutzungsanlagen. Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung

- [17] [N2] ENVIRONMENT AGENCY. The Microbiology of Drinking Water (2009) – Part 4 – Methods for the isolation and enumeration of coliform bacteria and Escherichia coli (including E.coli O157:H7). Blue book 223. Bristol: Environment Agency, 2009. 2)
- [18] *PREdistribuce* [online]. Praha, 2018 [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://www.predistribuce.cz/cs/>
- [19] ŠVELA, P.: 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. 2019-12-02].
- [20] BŘINDOVÁ, R.: *Využití tepla odpadních vod*. Praha, 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Praze, fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.
- [21] ČSN EN 1717. Ochrana proti znečištění pitné vody ve vnitřních vodovodech a všeobecné požadavky na zařízení na ochranu proti znečištění zpětným průtokem. 2002.
- [22] MORONG, M.: *Rekuperace tepla ve sprchách*. Praha, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Praze, fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.
- [23] NOVÁČEK, P.: 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
- [24] SCHMID, F.: *Sewage water interesting heat source for heat pumps and chillers*. In: [online]. 2008. vyd. Zürich, Switzerland: SwissEnergy Agency for Infrastructure Plants. 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
- [25] PLOTĚNÝ K., Využití tepla z šedých vod k ohřevu TUV
- [26] sborník ASIO, spol. s r. o., Energie z odpadních vod a odpadů (listopad 2011)
- [27] STÁTNÍ 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.
- [28] BERÁNKOVÁ, M., VOLOŠINOVÁ D., STEJSKALOVÁ L.: V ČR se začalo využívatí 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>
- [29] DREW, B.; HANSON, R.: Greywater Recycling – An Untapped Resource Inside Buildings.
- [30] PILAŘOVÁ D.: Lidé z panelového domu v Jiřikově se rozhodli šetřit. „Šedou vodou“ splachují toalety. Dostupné z: https://www.irohlas.cz/zivotni-styl/jirikov-panelovy-dum-setreni-vody_1905080945_mat
- [31] *Otevřená zahrada: Nadace Partnerství* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: www.otevrenazahrada.cz

- [32] *Otevřená zahrada: Nadace Partnerství* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: <https://www.otevrenazahrada.cz/OZ-2/files/c6/c673a19c-8d62-4f07-bafab209f99d5ebd.pdf>
- [33] Sakura, Dostupné z: [cit. 2020-01-05]. <https://www.napomezi.com/>
- [34] *Homes by Skanska: Skanska Reality* [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://reality.skanska.cz/>
- [35] *Homes by Skanska: Skanska Reality* [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://www.tvarchitect.com/clanek/v-novych-projektech-skanska-reality-tece-seda-voda-developer-tak-chrani-zivotni-prostredi/>
- [36] Naše voda. Informační portál o vodě [online]. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.nase-voda.cz/prostejov-chce-destovou-vodu-pouzivat-ke-splachovani-wc/>
- [37] Statutární mesto Prostějov. Webové stránky města [online]. [cit. 2019-12-15]. Dostupné z: <https://www.prostejov.eu/cs/aktuality-archiv/sportcentrum-vyuzije-destovou-vodu.html>
- [38] LIKO -S Dostupné z: <https://www.liko-s.cz/cs/liko-s-predstavil-prvni-zivou-halu-na-svete>
- [39] *MOSAIC HOUSE* [online]. Praha [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: <https://www.mosaichouse.com/cs/we-sustain/>
- [40] 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>
- [41] 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.
- [42] BOGÁŇOVÁ, I. *Možnosti využití šedých vod*. Brno, 2012. 106 s., 6 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.
- [43] VRÁNA, J., OŠLEJŠKOVÁ, M., Bristká norma BS 8525-1 a zásady navrhování zdravotně technických instalací při recyklaci vod v budovách. Sborník semináře Energie z odpadních vod. Brno: ASIO, 2011, s. 5-10
- [44] MALÝ, J.; MALÁ, J.: *Chemie a technologie vody*. Brno: ARDEC s.r.o., 2006. 329 s. ISBN 80-86020-50-9
- [45] HLAVÍNEK, P.; MIČÍN, J.; PRAX, P.: *Stokování a čištění odpadních vod*. Akademické nakladatelství CERM : VÚT Brno, Fakulta stavební, 2003. 283 s. ISBN 80-214-2535-0
- [46] FILIP, J. a kol.: *Odpadové hospodářství*, MZLU v Brně, 2002. ISBN 80-7157- 608-5
- [47] *Odpadní vody*. In: *Úprava a čištění vody: Multimediální učební texty zaměřené na problematiku úpravy a čištění vody* [online]. Prosinec 2010 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/ov.html
- [48] RAČEK, J. *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.
- [49] MIFKOVÁ, T.; PALBUCHTA, J.; PLOTĚNÝ, K. Minimalizace množství nutrietů a odpadních vod vypouštěných do povrchových a podzemních vod - postupy a zařízení. In Decentralizované nakládání s odpadními vodami. 1. Brno: ARDEC s.r.o., s. 29-34. ISBN: 978-80-86020-63-1.
- [50] 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>
- [51] NĚMCOVÁ, M.: Modelování biochemických pochodů ve filtračním prostředí kořenových čistíren. Brno, 2015. (98) s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Kriška, Ph.D.
- [52] DREW, B.; HANSON, R.: Greywater Recycling – An Untapped Resource Inside Buildings. Dostupné z: <http://ecovieenvironmental.com/greywater-recycling-an-untapped-resource-inside-buildings/>
- [53] HERLE J., BAREŠ P.(1990): Čištění odpadních vod z malých zdrojů znečištění, Praha s.78-85[Citováno 2008-11-26]
- [54] Grundfos Sales Czechia and Slovakia s.r.o., Dostupné z: <https://cz.grundfos.com/odvetvi-a-aplikace-cerpadel/aplikace/chemical-treatment-wastewater.html#overview>
- [55] Microfiltration and ultrafiltration membranes for drinking water. 1st ed. Denver, C American Water Works Association, c2005, xxii, 257 s. ISBN 15-832-1360-0.
- [56] *Vodárenství* [online]. ČR: Naše voda, 2017 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.nase-voda.cz/fakta-vode-jaka-je-skutecna-situace-ceskem-vodarenstvi/>
- [57] Skrblik.cz: *Cena vody 2020: Vodné a stočné v 219 městech ČR* [online]. ČR: Petr Novák, 2019 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.nase-voda.cz/fakta-vode-jaka-je-skutecna-situace-ceskem-vodarenstvi/>
- [58] Skrblik.cz: *Cena vody 2020: Vodné a stočné v 219 městech ČR* [online]. ČR: Petr Novák, 2019 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.skrblik.cz/energie/voda/jak-usetrit-za-vodu-v-domacnosti/>
- [59] SČVK: *Spotřeba vody* [online]. ČR: scvk, 2019 [cit. 2019-12-07]. Dostupné z: <https://www.scvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>
- [60] *Aktualne.cz: Spotřeba vody* [online]. ČR: scvk, 2017 [cit. 2019-12-07]. Dostupné z: <https://www.aktualne.cz/wiki/veda-a-technika/voda/r~i:wiki:3695/>
- [61] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [62] Vlněna Office Park. *StavbaWeb.cz* [online]. Brno: -, 2017 [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <https://www.stavbaweb.cz/vlnna-office-park-17704/clanek.html>

- [63] Směrná čísla roční potřeby vody. *Tzbinfo* [online]. -, 2001 [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/94-smerna-cisla-rocni-potreby-vody>
- [64] TUHOVČÁK, L. a kol.: Vodárenství. Elektronická studijní opora. Brno: VUT v Brně, 2006.
- [65] Výměník do koupelny AS-SPRCHA. *ASIO* [online]. -, 2017 [cit. 2019-12-07]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/vymenik-do-koupelny-as-sprcha>
- [66] 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>
- [67] Vývoj celkových cen elektřiny. *Kalkulátor cen energií* [online]. -, 2019 [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <https://kalkulator.tzb-info.cz/cz/vyvoj-celkovych-cen-elektřiny>
- [68] CDI.CZ. Certifikace BREEAM v České republice | Česká rada pro šetrné budovy. www.czgbc.org [online]. [cit. 2018-02-02]. Dostupné z: <https://www.czgbc.org/cs/novinky>

10 SUMMARY

This diploma thesis presents reader with current knowledge in the field of gray wastewater reuse. The theoretical part describes the current state of water in the world, thus characterizes wastewater and describes its treatment. Further, this section describes the possibility of obtaining thermal energy from wastewater. At the end of the theoretical part, the reader is presented with some existing buildings in the Czech Republic that use the wastewater re-use technology system. In the following practical part, all the knowledge from the theoretical part are applied for a concrete project of construction of a graywater re-use technology system in the area of Vlněna in Brno city.

The practical part of the thesis uses gained knowledge of applying re-use technology for the object in the area of Vlněna in Brno. The study is divided into four parts. The first part is focused on the description of the object of interest. The second one describes conceptual design to re-use greywater system treatment in the object. This part also describes the concept of re-use of thermal energy obtained from grey wastewater flowing from showers in the building. The third part deals with the technical solution of the greywater system. This part also consists of designing storage reservoirs for grey and white water. Finally, the last part illustrates the economic evaluation of the entire project. The economic aspect is assessed separately for each system (re-use greywater system and re-use heat system), but also by a combination of these two systems.

11 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Orientační obecné složení splaškových vod [45][47]	14
Tabulka 2: Potřeby vody v kancelářských budovách dle Vyhlášky č.120/2011 Sb [45].....	14
Tabulka 3: Hodnoty BSK5, CHSK v šedých vodách [44].....	15
Tabulka 4: Množství plovoucích látek v šedých vodách [44].....	16
Tabulka 5: Orientační hodnoty pro bakteriologické monitorování bílé vody [17]	18
Tabulka 6: Požadavky na šedou vodu upravenou dle NSF 350 [14]	22
Tabulka 7: Hodnoty E. Coli a BSK5 u různých typů výsledných šedých vod [52].....	23
Tabulka 8 Výpočet produkce šedých vod v objektu na základě metody založené na počtu provedených činností.....	39
Tabulka 9 Počet použití různých typů toalet za den podle pohlaví.....	40
Tabulka 10 Spotřeba vody v závislosti na spláchnutí	41
Tabulka 11 Výpočet potřeby bílé vody v celém objektu	41
Tabulka 12 Cenový odhad jednotlivých složek investičních nákladů ČŠV.....	50
Tabulka 13 Cash-flow využití systému šedých vod.....	52
Tabulka 14 Čistá současná hodnota investice (diskont 3 %)	54
Tabulka 15 Čistá současná hodnota investice (diskont 5 %)	55
Tabulka 16 Čistá současná hodnota investice (diskont 6 %)	56
Tabulka 17 Kolísavost cen el. energie v čase [67].....	58
Tabulka 18 Prostá návratnost investice.....	59
Tabulka 19 Čistá současná hodnota investice (diskont 3 %)	61
Tabulka 20 Čistá současná hodnota investice (diskont 5 %)	62
Tabulka 21 Čistá současná hodnota investice (diskont 6 %)	63
Tabulka 22 Prostá doba návratnosti kombinaci ZŠV+ZTE	65
Tabulka 23 Čistá současná hodnota investice (diskont 3 %)	66
Tabulka 24 Čistá současná hodnota investice (diskont 5 %)	67
Tabulka 25 Čistá současná hodnota investice (diskont 6 %)	67

12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Oblasti dotčené klimatickými změnami (červená nejvíce) [10].....	6
Obrázek 2: Ceny vody v okresních městech ČR v roce 2019 [57]	9
Obrázek 3: Vývoj cen a spotřeby vody v ČR [57]	10
Obrázek 4: Spotřeba vody v domácnosti [59].....	11
Obrázek 5: Odvádění odpadních vod včetně využití šedých vod [15].....	17
Obrázek 6: Procentuální zastoupení nutrientů v žlutých, hnědých a šedých vodách [49]	19
Obrázek 7: Účinnost jednotlivých druhů filtračních postupů [55].....	21
Obrázek 8: Systém pro recyklaci šedých vod pro bytovou jednotku [15]	24
Obrázek 9: Řez rekuperačního výměníku [21]	25
Obrázek 10: Schéma centrálního systému v budově [25]	27
Obrázek 11: Schéma zapojení lokálního systému ZZTOV [26]	27
Obrázek 12: Vertikální (vlevo) a horizontální výměník (vpravo) [19].....	28
Obrázek 13: Areál Otevřené zahrady v Brně [31].....	31
Obrázek 14: Bytové jednotky Botanica K [33].....	32
Obrázek 15: Sportcentrum Prostějov [36].....	33
Obrázek 16: Průmyslová hala společnosti LIKO-S [38].....	33
Obrázek 17: Hotel Mosaic House v Praze [39].....	35
Obrázek 18 Poloha areálu Vlněna (v severozápadní části obrázku brněnské Hlavní nádraží) [61]	36
Obrázek 19 Umístění Objektu I v areálu Vlněna (pohled ze severovýchodní strany) [62]	37
Obrázek 20 Membránová stanice AS-GW/AQUALOOP [55]	43
Obrázek 21 NELA výměník (modře čistá studená voda, oranžově výstup čisté předeřáté vody) [65]	45
Obrázek 22 Graf závislosti finanční bilance SČŠV včetně odpisu na čase	53
Obrázek 23 Graf závislosti bilance SČŠV bez zahrnutí odpisů na čase	53
Obrázek 24 Graf diskontované doby návratnosti SČŠV	57
Obrázek 25 Graf průměrné ceny elektrické energie za 1 kWh za posledních 10 let [67].....	58
Obrázek 26 Prostá doba návratnosti instalace tepelných výměníků pro 7 sprchových koutů bez zahrnutí odpisů	59
Obrázek 27 Prostá návratnost instalace tepelných výměníků pro 7 sprchových koutů se zahrnutím odpisů	60
Obrázek 28 graf závislosti kumulovaných diskontovaných peněžních toků z investice do tepelných výměníků pro 7 sprchových koutů v závislosti na čase.....	64
Obrázek 29 Prostá návratnost investice kombinace ZTE+ZŠV bez odpisů.....	65

Obrázek 30 Prostá návratnost investice kombinace ZTE+ZŠV včetně odpisů.....	66
Obrázek 31 Graf diskontované doby návratnosti kombinace ZTE+ZŠV	68

13 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

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

P_{celk}	Celkový fosfor
PBJ	Počet bytových jednotek
P_{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_{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)
μ_{stac}	Stacionární účinnost výměníku tepla
ρ	Měrná hmotnost vody

14 SEZNAM PŘÍLOH

1. V1 Půdorys ČŠV – 1. podzemní podlaží
2. V2 Půdorys ČŠV – 2. podzemní podlaží
3. V3 Technologické schema
4. V4 Podélný profil rozvinutý