



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

METODIKA NÁVRHU SYSTÉMU VYUŽITÍ ŠEDÝCH VOD VE VYBRANÝCH OBJEKTECH

METHODOLOGY OF USE GREYWATER IN THE SELECTED OBJECTS

DIZERTAČNÍ PRÁCE – ZKRÁCENÁ VERZE

DISSERTATION THESIS – SHORT VERSION

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. JAKUB RAČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAV RACLAVSKÝ, Ph.D.

BRNO 2016

KLÍČOVÁ SLOVA

Šedá voda, bílá voda, čištění odpadních vod, membránová filtrace, vnitřní vodovod, vnitřní kanalizace.

KEYWORDS

Greywater, white water, wastewater treatment, membrane filtration, internal water main, sanitary sewage.

MÍSTO ULOŽENÍ PRÁCE

Knihovnické informační centrum, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

RAČEK, Jakub. *Metodika návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech*. Brno, 2016. 198 s., 2 přílohy, Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce doc. Ing. Jaroslav Raclavský, Ph.D.

OBSAH

1	ÚVOD	2
2	CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE.....	3
3	SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY	4
4	PROJEKT TAČR Č. TA01020311 VYUŽITÍ ŠEDÉ A DEŠŤOVÉ VODY V BUDOVÁCH.....	10
5	METODIKA NÁVRHU SYSTÉMU VYUŽITÍ ŠEDÝCH VOD	12
6	VLASTNÍ ŘEŠENÍ DIZERTAČNÍ PRÁCE.....	13
6.1	Stanovení okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod	13
6.1.1	Stanovení bilančního množství šedých vod.....	13
6.1.2	Stanovení kvality šedých vod.....	13
6.1.3	Stanovení způsobu čištění šedých vod	13
6.1.4	Návrh prototypu čistící jednotky systému využití šedých vod	13
6.1.5	Odzkoušení prototypu ČJŠV v reálných podmínkách	14
6.1.6	Závěry z vyhodnocení měření I. a II. etapy testování.....	15
6.1.7	Stanovení okrajových podmínek pro metodický postup návrhu systému využití šedých vod.....	22
6.2	Metodický postup návrhu systému využití šedých vod	23
6.2.1	Posouzení lokality pro návrh systému využití šedých vod	24
6.2.2	Stanovení okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod.....	25
6.2.3	Ekonomické zhodnocení návrhu systému využití šedých vod	25
6.2.4	Ekologické zhodnocení návrhu systému využití šedých vod	26
6.2.5	Technický návrh systému využití šedých vod	27
6.2.6	Závěr, metodický postup návrhu systému využití šedých vod	28
6.3	Studie využitelnosti na vybraných lokalitách.....	29
7	SHRNUTÍ A PŘÍNOSY DIZERTAČNÍ PRÁCE	30
7.1	Shrnutí.....	30
7.2	Přínosy pro vědní obor a praxi.....	31
7.3	Doporučení dalších směrů výzkumu	32
	POUŽITÁ LITERATURA	34
	SEZNAM PUBLIKOVANÝCH PRACÍ	36
	ŽIVOTOPIS.....	38

1 ÚVOD

Snížená kvalita a vydatnost vodních zdrojů, způsobená suchem a měnícími se klimatickými podmínkami, vede ke koncepci opětovného využití šedých odpadních vod a to již v místě svého vzniku, tedy v budovách. Tato koncepce založená na sběru a následném čištění šedé odpadní vody pro zpětné využití by nemusela vykazovat tak přísné parametry vybraných ukazatelů vody, jak je tomu u vody pitné. Takto upravenou vodu bychom mohli využít k provozním potřebám obyvatelstva a to v objektech budov.

Tyto systémy zpětného vyžití šedé vody se stávají nutností v některých zemích, jako je jižní Evropa, Blízký východ, státy Perského zálivu, tedy všude tam, kde se obyvatelstvo potýká nejen s nedostatkem vody, ale i tam, kde systémy na úpravu mořské vody pro vodu pitnou nebo užitkovou jsou ekonomicky dosti nákladné. V jiných zemích jsou systémy pro opětovné využití odpadní vody přímo nařízeny regulačními orgány. Např. v Japonsku je recyklovaná šedá voda určena ke splachování toalet. Jiným variantním příkladem systémů zpětného využití šedé vody jsou systémy s využitím dešťové vody, které se úspěšně aplikují v suchých oblastech Austrálie, Afriky a některých států USA. V současné době se tyto systémy s využitím dešťové vody objevují i v projektech administrativních budov a hotelů ve střední Evropě a to z důvodu ekonomické a ekologické strategie. Bývají součástí ekologických, úsporných budov.

V České republice prozatím schází zkušenosti a podklady pro projektování systému využití šedých vod v objektech. Z mála realizovaných projektů můžeme zmínit aplikování opětovného využití šedých vod v hotelu Mosaic House v Praze pro splachování toalet [1], dále pak realizované projekty společnosti ASIO, spol. s r.o. na území jižní Moravy, např. Lipka – školské zařízení pro environmentální vzdělávání Brno, příspěvková organizace, v Brně.

Dizertační práce se podrobně zabývá problematikou a metodikou návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech. Jedná se o oblast vodního hospodářství v podmínkách České republiky téměř bez praktických zkušeností. Systémy využití šedých vod je možné úspěšně aplikovat a provozovat jen v určitých typech budov a to za určitých podmínek. O vhodnosti využitelnosti šedých vod prozatím nerozhoduje ekologie a ochrana životního prostředí, ale ekonomika systému využití šedých vod. Mezi ekonomicky zajímavé lokality můžeme zařadit objekty s velkou produkcí šedých odpadních vod a velkou potřebou vody provozní, kterou označíme jako bílou vodu a můžeme ji využít na splachování toalet, zalévání zahrad, travnatých ploch nebo je možné bílou vodu použít k jiným provozním nebo technologickým účelům. Metodický postup návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech řeší dizertační práce.

Problematika využití šedých vod byla mimo jiné řešena v rámci projektu Technologické agentury České republiky TAČR č. TA01020311 s názvem „Využití šedé a dešťové vody v budovách“. Tento projekt byl řešen Vysokým učením technickým v Brně, Fakultou stavební a firmou ASIO, spol. s r.o. v rámci programu ALFA Technologické agentury České republiky v letech 2011 až 2013. Dizertační práce vychází z výsledků projektu TAČR, kde byl autor dizertační práce členem řešitelského týmu a aktivně se podílel na pracích spojených s projektem.

2 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Dizertační práce „Metodika návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech“ vědního oboru Vodní hospodářství a vodní stavby, řeší systémy využití šedých odpadních vod ve vybraných objektech. Zabývá se systémy využívající akumulaci a čištění šedé vody. Vyčištěná, provozní, recyklovaná šedá voda, tedy bílá voda, se využije v řešených objektech.

Cíle dizertační práce vycházejí ze zpracované rešerše a jsou následující:

- stanovení okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod;
- metodický postup návrhu systému využití šedých vod;
- studie využitelnosti na vybraných lokalitách.

Stanovení okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod navazuje na zpracovanou rešeršní část převážně zahraniční literatury, jelikož v České republice jsou systémy využití šedých vod prozatím řešeny pouze okrajově a to v ojedinělých projektech. Stanovení okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod spočívá ve stanovení bilančního množství šedých vod, stanovení kvality šedých a bílých vod chemickým a mikrobiologickým rozbořem, vyhodnocení kvality šedých a bílých vod a jejich vzájemné porovnání. Návrh a odzkoušení prototypu čistící jednotky šedých vod (dále prototyp ČJŠV) v laboratorních podmínkách na vybraném typu membrány, tj. fyzikální proces mikrofiltrace. Následné odzkoušení prototypu ČJŠV v reálných podmínkách bez očkovaní odpadní vody v reaktoru nádrže čištění prototypu ČJŠV aktivovaným kalem a s očkováním aktivovaným kalem z komunální ČOV. Stanovení a vyhodnocení sledovaných ukazatelů znečištění bílé vody chemickým a mikrobiologickým rozbořem, stanovení účinnosti čištění šedé vody na vybraném typu membrány a provedení optimalizace potřeby vzduchu za účelem dosažení požadované účinnosti čištění šedých vod, tj. za účelem snížení energetické náročnosti prototypu ČJŠV.

Metodický postup návrhu systému využití šedých vod zahrnuje postup pro výběr vhodné lokality pro návrh systému využití šedých vod, respektive pro vybrané vhodné objekty. Dále zahrnuje stanovení okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod s aplikací navrženého softwaru pro stanovení bilancí šedé a bílé vody, se stanovením vybraného zařízení pro čištění šedé vody a výpočet ekonomiky navrženého systému využití šedých vod. Následuje ekonomické a ekologické zhodnocení návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech. Následně je popsán technický návrh systému využití šedých vod se zaměřením na specifické požadavky pro návrh vnitřní kanalizace šedé vody, vnitřního vodovodu bílé vody a zařízení pro čištění šedé vody systému využití šedé vody. Metodický postup návrhu systému využití šedých vod zahrnuje postup pro realizaci, zkoušení a provozování systému využití šedých vod.

Součástí praktické části dizertační práce jsou studie využitelnosti systému využití šedých vod ve vybraných objektech, respektive na vybraných lokalitách. Tato část dizertační práce zahrnuje odzkoušení navržených metodických postupů návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech, jako jsou prádelny, lázně, vysokoškolské koleje apod.

Novým poznatkem pro vědní obor a praxi je metodický postup návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech pro podmínky České republiky zpracovaný na základě okrajových podmínek návrhu těchto systémů, návrhu a odzkoušení prototypu ČJŠV s vybraným typem membrány v laboratorních a reálných podmínkách, ověření navrženého metodického postupu návrhu systému využití šedých vod na případových studiích využitelnosti na vybraných lokalitách a doporučení dalších směrů výzkumů.

3 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

Nedostatek kvalitních zdrojů pitné vody se stává problémem v celosvětovém měřítku. Snížená kvalita těchto zdrojů zvyšuje investiční a provozní náklady na její úpravu, což vede přímo ke zvýšení ceny vodného za dodanou vodu. Důsledkem jsou v praxi realizovaná úsporná opatření spočívající v instalování úsporných baterií, úsporného systému splachování toalet, používání úsporných domácích spotřebičů jako jsou pračky a myčky nádobí. Nastává tedy pokles reálné potřeby vody obyvatelstva, což vede k dalšímu zvýšení rostoucí ceny vody.

V současné době je specifická spotřeba vody domácností, specifické množství vody fakturované domácnostem, v České republice okolo 87 l.os.den^{-1} , což je oproti průměrné specifické spotřebě vody domácností z roku 1989, $171 \text{ l.os.den}^{-1}$, znatelně nižší hodnota [13]. Ve srovnání s vyspělými státy Evropské unie je potřeba vody u nás nižší, obdobně je to ve srovnání s vyspělými státy světa.

Ne všechny státy mají kvalitní a vydatné zdroje surové vody vhodné k úpravě na vodu pitnou. Snížená kvalita a vydatnost těchto zdrojů vede k řešení dodávky vody prostřednictvím použití alternativních zdrojů. Mezi alternativní zdroje vody můžeme u některých přímořských států (např. státy severní Afriky, Blízkého východu, Jihoafrická republika apod.) zařadit odsolování mořské vody, tedy desalinace a její využití pro potřeby domácností nebo průmyslu. Tyto systémy na úpravu slané vody jsou značně ekonomicky nákladné a způsobují řadu provozních problémů, kdy odsolená voda postrádá potřebné ionty vápníku, hořčíku, které se musí do vody dodatečně doplňovat.

Dalším příkladem alternativních zdrojů vody je sběr a po mechanickém čištění využití dešťové vody. Náklady na čištění jsou nižší než např. u desalinace mořské vody, ale tyto systémy využití dešťové vody jsou závislé na klimatických poměrech, zejména na množství, intenzitě a průběhu srážek v průběhu roku. Tato nevyrovnanost přítoku dešťové vody je hlavním nedostatkem tohoto alternativního zdroje vody.

Mezi významné alternativní zdroje vody řadíme šedou vodu, která je mírně znečištěnou odpadní vodou z provozu vybraných objektů. Po úpravě lze tento zdroj, tedy bílou vodu, použít např. pro splachování toalet, zalévání zahrady nebo pro závlahu travnatých ploch. Problematikou metodického návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech se zabývá dizertační práce.

Odpadní vody z domácností můžeme podle místa vzniku roztrdit do tří skupin:

- černé odpadní vody: vody z toalet, pisoárů, obsahující fekální znečištění;
- dešťová voda: srážkové, dešťové vody ze střech budov a zpevněných ploch;
- šedé vody: odpadní vody z koupání, mytí rukou, z kuchyňského dřezu, praní prádla, čisté průmyslové vody, odpadní vody obvykle neobsahující fekální znečištění.

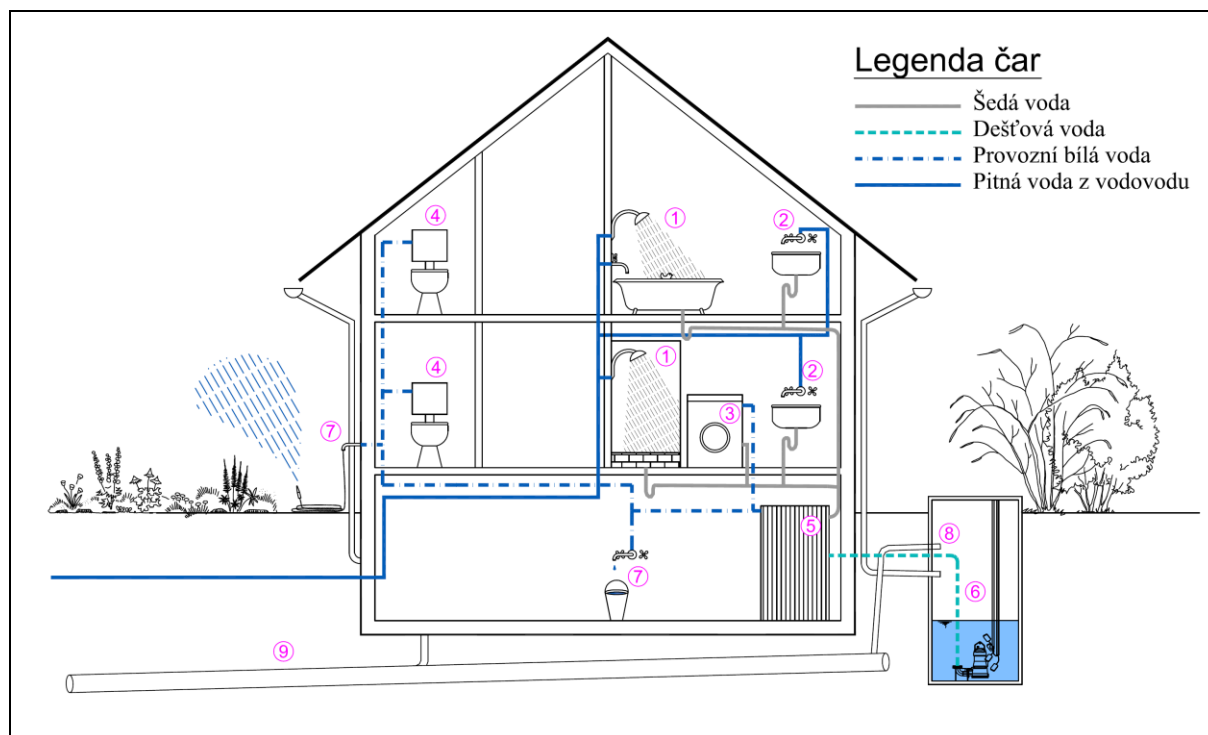
Šedou vodou nazýváme podle ČSN EN 12056 [15] a DIN 4045 Abwassertechnik – Grundbegriffe [16] splaškové odpadní vody neobsahující fekálie a moč. Šedé vody z domácností tvoří významný podíl produkce odpadní vody z provozu domácností [14]. Relativně čisté šedé vody ve velkém objemu jsou produkovány v objektech, jako jsou hotely, školy, restaurace, ubytovny, administrativní budovy, vysokoškolské budovy a další objekty. Bílou vodu lze využít pro splachování toalet, závlahu zahrad a travnatých ploch, nebo použít k jiným potřebám obyvatelstva např. úklidu domu, případně k technologickým nebo provozním účelům. Příkladem velkého zdroje šedé vody mohou být prádelny, tedy provozy s velkou produkcí šedých vod a velkou potřebou vody bílé.

Vysoká produkce šedých odpadních vod není konečným ukazatelem pro výběr systému využití šedých vod ve vybraných objektech. Při návrhu systému využití šedých vod je potřeba zohlednit potřebu bílé vody. V případě nadbytku bílé vody by se tato voda nespotřebovala a čištění šedé vody by neúnosně navýšovalo provozní náklady. V opačném případě by nedostatek bílé vody šel řešit dodávkou vody z veřejného vodovodu nebo doplněním systému využití šedých vod o sběr dešťové vody ze střechy nebo zpevněných povrchů. Dále by bylo možné optimalizovat ekonomiku systému využití šedých vod ve vybraných objektech prostřednictvím instalace výměníku tepla, kdy by šedá voda předávala své teplo k jinému využití. Mezi další vhodné instalace systému využití šedých vod lze zařadit lokality, kde je nedostatek zdrojů surové nebo pitné vody nebo kde cena za vodné z veřejného vodovodu je značně vysoká.

Kuchyňské dřezy a myčky na nádobí nejsou vhodné jako zdroj kvalitní šedé vody pro systémy využití šedých vod, jelikož obsahují vysoké hodnoty BSK₅, plovoucích látek, velké množství lipidů a tenzidů. Odstranění těchto látek v čistícím procesu systému využití šedých vod je ekonomicky nákladné.

Systémy využití šedých vod ve vybraných objektech řeší podchycení šedé vody ještě před samotným zaústěním do stoky nebo jímky na vyvážení či septiku. Šedé vody nejsou obvykle nadměrně znečištěny. Vyžadují základní čistící procesy spočívající v odstranění tuků, filtraci a dezinfekci. Takto vyčištěnou šedou vodu, nazývanou jako bílou vodu, lze použít na splachování toalet, závlahu zahrad, zelených ploch nebo ji lze využít k jiným technologickým nebo provozním účelům.

Kromě vyčištěné šedé vody lze použít také vodu dešťovou, která by mohla být shromažďována z nepropustných povrchů, jako jsou střechy budov a zpevněné plochy parkovišť. Dešťové a šedé vody využívat za určitých okolností v kombinovaném systému využití šedých a dešťových vod, viz Obr. 3.1 [17], který znázorňuje koloběh vody v budově.



Obr. 3.1 Koloběh vody v budově [17]

(legenda: 1-sprcha, 2-umyvadlo, 3-pračka, 4-toaleta, 5-čistící jednotka šedé a dešťové vody, 6-nádrž na dešťovou vodu, 7-odběr bílé vody, 8-bezpečnostní přepad, 9-kanalizační přípojka)

Systémy využití šedých vod ve vybraných objektech lze dle způsobu konečné potřeby bílé vody rozdělit následujícím způsobem:

- nekontaktní využití: pro zavlažovací systémy;
- nízkokontaktní využití: pro splachování toalet, praní prádla, užitková voda na podmíněné mytí podlahy a užití všude tam, kde se předpokládá minimální styk s lidskou pokožkou;
- kontaktní využití: po důkladném čištění a dezinfekci vody využití bílé vody pro koupání (umyvadla, sprchy a vany), mytí podlahy, u které se předpokládá styk s lidskou pokožkou;
- speciální využití: procesní vyčištěná bílá voda pro užití v průmyslových odvětvích, např. velkých prádelnách [18].

Při aplikování systému využití šedých vod se objevuje termín „bílá“ voda. Jedná se o vyčištěnou odpadní vodu určenou ke konkrétnímu typu spotřeby, tedy vodu provozní [19]. V zahraniční odborné literatuře se můžeme setkat s pojmem „green water“ [20]. Jedná se v podstatě o zdůraznění ekologického pojetí opětovného využití šedých odpadních vod, ale vzhledem k tomu, že termín šedá voda je již natolik vžit do podvědomí veřejnosti, byla by tato změna názvosloví velice obtížná.

Zpětné využití šedých vod je z hlediska ekologického nezanedbatelným přínosem pro ochranu životního prostředí a vzhledem k narůstající ceně vodného a stočného v České republice, lze očekávat i ekonomickou návratnost pořizovací investice zařízení.

Šedou vodu můžeme tedy podle svého vzniku rozdělit následovně:

- neseparovaná šedá voda (tj. šedá voda neoddělená z umyvadel, umyvadel, van, sprch, kuchyňského dřezu apod.);
- šedá voda z umyvadel na mytí rukou, van a sprch;
- šedá voda z praček;
- šedá voda z kuchyňského dřezu, myček na nádobí;
- ostatní šedá voda.

Ve světovém měřítku je aplikace systému využití šedých vod v určitých oblastech zavedenou a běžnou praxí. Jedná se především o země s omezenými kvalitními zdroji vody nebo se jedná o lokality, kde náklady na úpravu surové vody jsou vysoké.

V České republice nedosahuje situace zatím takového stavu, aby náklady spojené s přechodem na systém využití vyčištěné odpadní vody byly plně zdůvodnitelné, protože není akutní potřeba se zabývat odpadními vodami jako zdrojem z kvantitativního hlediska. Problémem je nejen technická a ekonomická stránka, ale také negativní názor široké veřejnosti na znovu využívání vyčištěné odpadní vody. Opětovné využití vyčištěné odpadní vody v České republice přímo neomezuje žádný zákon, vyhláška ani předpis. Pro konkrétní oblast využití by se taková odpadní voda ke zpětnému využití zkoumala z hlediska ukazatelů kvality pitné vody, tedy podle vyhlášky č.252/2004 Sb., změna vyhláškou č. 293/2006 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody [21] v platném znění. Posouzení, zda je vhodné využít vyčištěnou odpadní vodu, by probíhalo individuálně se zohledněním požadavků na kvalitu vody v dané oblasti využití [22], tedy ke konkrétní potřebě ve vybraných objektech.

Aplikace systému využití šedých vod ve vybraných objektech je dnes již technologicky možná a ekonomicky odůvodnitelná. V České republice se objevují již systémy využití šedých vod, které není možné posuzovat z hlediska norem nebo legislativy. Je potřeba tedy definovat všechny právní aspekty a zajistit přijatelnost takového využívání odpadní vody veřejností.

Zájem o úpravu a znovu užití šedých vod byl zaznamenán už v sedmdesátých letech minulého století [23][24]. První technologie čištění šedých vod spočívaly v principu mechanické fyzikální úpravy jako je hrubá filtrace (coarse filtration) nebo filtrace prostřednictvím membrány. Často byla technologie doplněna o dezinfekci. V osmdesátých a devadesátých letech se začaly používat technologie čištění šedé vody založené na biologickém čištění vody. Během stejné doby byly vyvinuty jednoduché separátory založené na fyzikálním principu doplněné o dezinfekci. Tyto jednoduché systémy využití šedých vod byly instalovány u jednotlivých rodinných domků. Ke konci devadesátých let se začalo diskutovat o využití pokročilých technologií čištění odpadních vod aplikovatelných na čištění šedých vod. Mezi tyto moderní technologie patří membránový bioreaktor. I přes technologický vývoj složitých moderních jednotek můžeme také upozorovat levnější systémy využití šedých vod, jako jsou rákosová pole a kořenové čistírny. Tyto systémy jsou ovšem náročné na plochu a nejsou schopny plnit tak přísné parametry čištění jako je tomu u membránových technologií [23].

Hlavním problémem při využití bílé vody může být potenciální riziko ohrožení zdraví uživatelů nebo obsluhy provozovatele systému využití šedých vod. Z těchto důvodů jsou předpisy a normy založené převážně na sledování mikrobiologických ukazatelů [4]. Jedná se především o sledování *Escherichia coli*, střevní enterokoky, *Legionella pneumophila*, celkové koliformní bakterie apod. Kromě tohoto mikrobiologického znečištění je důležité sledovat také samotný vzhled a kvalitu vyčištěné vody. Mezi další sledované parametry patří biochemická spotřeba kyslíku BSK₅, chemická spotřeba kyslíku CHSK_{Cr}, nerozpuštěné látky NL, zákal apod.

Systémy využití šedých vod ve vybraných objektech je možné dle způsobu čistících procesů rozdělit následovně:

- jednoduchá úprava (např. mechanické předčištění a dezinfekce systému);
- chemická úprava (např. fotokatalýza, elektro-koagulace a koagulace);
- fyzikální úprava (např. pískový filtr, adsorpce a membrány);
- biologická úprava (např. biologické provzdušňované filtry, rotující kontaktní bioreaktor a membránový bioreaktor);
- přírodní postupy čištění (např. mokřady, kořenové čistírny, rákosová pole).

V současné době, na rozdíl od některých evropských států, neexistuje v České republice norma nebo doporučené postupy pro navrhování systému využití šedých vod, které by se využitím šedých vod alespoň částečně zabývaly. Výjimkou jsou produkty systému využití šedých vod společnosti ASIO, spol. s r.o. vytvořené v rámci projektu TAČR. V evropských normách je problematika využití šedých a dešťových vod zmíněna jen okrajově. Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby v § 6, odst. 4 [3] pouze zmiňuje možnost zadržování dešťových vod pro další využití. V některých evropských státech normy pro využití šedých a dešťových vod již mají, např. BS 8525-1 [4] nebo DIN 1989 *Regenwassernutzungsanlagen* [5]. Regulaci zpětného užití šedých vod nejrozsáhleji zatím řeší Austrálie v *NWQMS Australian Guidelines for Water Recycling* [6], kde je v několika dílech řešena problematika z hygienického i environmentálního hlediska a je také velmi podrobně posouzena a upravena [7].

Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), novela č. 350/2012 Sb. [8] sice striktně nevyžaduje, aby každý obytný dům byl zásobován pitnou vodou, ale pro objekty sloužící veřejnosti, včetně ubytovacích zařízení, je to obvykle různými zákony požadováno. *Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, v platném znění, novela č. 115/2012.* [9] v § 3 definuje pitnou vodu následovně: „veškerá voda v původním stavu nebo po úpravě, která je určena k pití, vaření, přípravě jídel a nápojů, voda používaná v potravinářství, voda která je určena k péči o tělo, k čištění předmětů, které svým určením přicházejí do styku s potravinami nebo lidským tělem, a k dalším účelům lidské spotřeby, a to bez ohledu na její původ, skupenství a způsob jejího dodávání. Hygienické požadavky na zdravotní nezávadnost a čistotu pitné vody se stanoví hygienickými limity mikrobiologických, fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů, které jsou upraveny prováděcím právním předpisem, nebo jsou povoleny nebo určeny podle tohoto zákona příslušným orgánem ochrany veřejného zdraví“. Nejedná se tedy jen o vodu na pití či vaření, ale i vodu používanou na čištění předmětů nebo ploch, se kterými přichází člověk do přímého kontaktu. Vodu na splachování toalet sem sice zahrnout nemůžeme, ale vodu na umývání podlahy v bytech, ubytovnách, hotelových pokojích apod. ano, protože po nich může člověk chodit bosý a dítě se jí může dotýkat ještě intenzivněji [7].

V rámci stavebního řízení je u objektů sloužících veřejnosti orgán ochrany veřejného zdraví dotčeným orgánem a navíc lze předpokládat, že stavební úřad by si vyžádal jeho stanovisko i v případech, kdy by sice dotčeným orgánem nebyl, ale nešlo by o standardní projekt. Pokud by se jednalo jen o formu stanoviska stavebnímu úřadu, byla by s největší pravděpodobností požadována dezinfekce a mikrobiologická nezávadnost těchto vod a absence pachu a to včetně vody využívané pro splachování WC. Další případné požadavky by vyplývaly z přesného užití. Samozřejmostí by bylo označení výtokových kohoutů s nápisem a piktogramem, že se nejedná o pitnou vodu. U vody na úklid (mytí podlah a dalších povrchů) měl by to být nízký obsah organických látek, srovnatelný s pitnou vodou, aby nedocházelo k podpoře růstu bakterií ve formě biofilmu [7].

Bílá voda v podmínkách České republiky má být posuzována podle odborných požadavků v ČSN 75 7143 [10]. V důsledku rizik spojených s užíváním šedé vody byly v některých státech EU zavedeny normy pro využití šedých vod. Jedná se např. ve Španělsku o *Spanish Regulation for Water Reuse* z roku 2007 [11]. Hygienické aspekty mikrobiologického znečištění při využívání šedých odpadních vod mohou být dle rozdílného úhlu pohledu dosti rozdílné [7][12]. Z článku MUDr. F. Kožíška, CSc. „Šedé vody z pohledu hygienické legislativy“ [7] a „Epidemie (z) šedé vody“ [26] je patrná míra rizika při užívání systému využití šedých vod a je nutné již v prvním kroku definovat, k čemu má být vyčištěná, bílá voda používána. Poté je potřeba posoudit všechna možná zdravotní rizika a stanovit hygienické cíle, které mají požadavky na kvalitu vyčištěné vody, ale také na požadavky účinnosti úpravy vody a ověřování její účinnosti. Ohrožení zdraví může proběhnout náhodným (neúmyslným) použitím takovéto vody nebo neúmyslnému požití zeleniny zalévané takovou vodou, vdechnutím aerosolu generovaným z této vody při některých použití a konečně kontaktem takové vody s pokožkou. V článku [7] je uveden příklad skryté, ale velmi efektivní expoziční cesty ohrožení zdraví osob ze systému využívající šedou vodu. Jedná se o příklad menší epidemie legionářské nemoci (těžký zápal plic způsobený bakterií *Legionella pneumophila*) zaznamenaná v roce 2008 ve státě Victoria v Austrálii, kdy došlo v myčce aut k vdechnutí aerosolu obsahujícího výše uvedené bakterie. Podobná epidemie vznikla ve Španělsku v roce 2010. Další ohrožení zdraví při užití systému využití šedých vod proběhlo v Nizozemsku v devadesátých letech při několika realizovaných projektech, např. v sídlišti Leidsche Rijn, kdy došlo k několika případům

selhání lidského faktoru při instalaci dvojího rozvodného potrubí vodovodu pitné a bílé vody. V průběhu let 1999 – 2002 došlo k několika onemocnění způsobených právě selháním lidského faktoru při instalaci rozvodu bílé vody, která byla propojena se zdrojem vody pitné. V srpnu 2003 nizozemská vláda zakázala budování a provozování dvojitých rozvodů (nepitné užitkové vody), protože zdravotní riziko neúmyslného napití nepitné vody se ukázalo být nepříjemně vysokým a přínos pro životní prostředí nevýznamným. [26] Z uvedených příkladů selhání systému využití šedých vod je zřejmé ohrožení zdraví. Vlastní část dizertační práce se proto zabývá v metodickém návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech také návrhem hygienického zabezpečení bílé vody.

Systémy využití šedých vod se ve světě uplatňují v energeticky úsporných certifikovaných budovách, které jsou ohleduplné k životnímu prostředí a využívající recyklované materiály a technologie a mají současně nižší provozní náklady. Certifikace budovy zvyšuje hodnotu na trhu nemovitostí, dále pak slouží jako měřítko pro porovnání jednotlivých budov a v neposlední řadě znamená důkaz o samotné kvalitě budovy. V současné době jsou v České republice uplatňovány čtyři certifikační systémy a to LEED, který je nejvíce užívaným, dále BREEAM, který se stále více prosazuje, následně je to SBToolCZ, který je vyvíjen na ČVUT a také DGNB certifikační systém, který byl uplatněn zatím jen na několika budovách. Certifikační systém si dobrovolně volí investor stavby a po jeho volbě je nutno přizpůsobit umístění stavby, konstrukci, technické vybavení budovy a ostatní detaily tak, aby naplnily některý z hodnotících stupňů zvolené certifikace. Environmentální certifikace budov procházejí v České republice velkým rozmachem. [25] Stejně jako ve světě jde i u nás o jednoznačný trend vývoje kvality budov.

V České republice prozatím schází zkušenosti s projektováním a provozováním systému využití šedých vod. Veřejnost vnímá prozatím problematiku opětovného využití šedých vod spíše pesimisticky. Je potřeba ovšem zdůraznit, že systémy využití šedých vod jsou závislé na mnoha faktorech a jejich využití je značně ovlivněno okrajovými podmínkami. Obecně lze říci, že tyto systémy využití šedých vod lze úspěšně aplikovat ve vybraných areálech budov s velkou produkcí šedé vody a s velkou potřebou bílé vody. Např. systém využití šedých vod pro rodinný dům je vzhledem k nevyváženosti ekonomiky pořizovací prvotní investice a následného provozu nevhodný. Naopak ekologického a ekonomického přínosu můžeme dosáhnout u velkých objektů, jako jsou hotely, ubytovny, vysokoškolské koleje, administrativní budovy, plavecké bazény, lázně, prádelny apod. Značné množství definic, poznatků je zakotveno převážně v zahraniční legislativě a zahraniční odborné literatuře.

Při zpracování rešerše jsem upozoroval absenci podkladů pro navrhování, instalaci a provozování systému využití šedých vod pro podmínky České republiky. Zahraniční literatura se zabývá především systémy využití šedých vod založené na principu jednoduché úpravy nebo na přírodních postupech čištění. Vzhledem k nízké kvalitě vyčištěné šedé, tedy bílé vody je značně omezen rozsah zpětného využití. Pro zajištění potřebné kvality a množství bílé vody je v dizertační práci posouzen fyzikální proces membránové mikrofiltrace doplněný o dezinfekci systému využití šedých vod prostřednictvím UV lampy. Touto metodou lze docílit vysoké kvality a hygienické bezpečnosti dodané bílé vody.

Zahraniční literatura se nedostatečně zabývá problematikou hodnocení rizik, kdy systémy využití šedých vod představují charakterem odpadní vody značné ohrožení zdraví pro své uživatele. Jak je uvedeno výše, zahraniční legislativa a normy [4][5][6] uvádějí požadavky na kvalitu připravené bílé vody. Z uvedeného důvodu se jeví jako důležité aplikovat na konci čistícího cyklu systému využití šedých vod ve vybraných objektech hygienické zabezpečení.

4 PROJEKT TAČR Č. TA01020311 VYUŽITÍ ŠEDÉ A DEŠŤOVÉ VODY V BUDOVÁCH

Jak již bylo řečeno v úvodu dizertační práce, autor dizertační práce byl členem řešitelského týmu projektu Technologické agentury České republiky TAČR č. TA01020311 s názvem „Využití šedé a dešťové vody v budovách“. Tento projekt byl řešen Vysokým učením technickým v Brně a firmou ASIO, spol. s r.o. v rámci programu ALFA Technologické agentury České republiky v letech 2011 až 2013.

V rámci projektu TAČR byly v letech 2011 až 2013 prováděny pracovním týmem následující vybrané činnosti:

- měření špičkových průtoků v potrubí vnitřního vodovodu;
- stanovení návrhových parametrů;
- měření a vyhodnocování kvality šedých vod;
- technická pravidla pro navrhování čistícího zařízení pro šedé a dešťové vody;
- *zpracování návrhu normy ČSN 75 6780 Využití šedých a dešťových vod v budovách a na přilehlých pozemcích [2];*
- zpracování projektu pro prototyp: zařízení, napojení;
- výroba prototypu ČJŠV;
- testování prototypu ČJŠV v laboratorních podmínkách;
- testování prototypu ČJŠV v reálných podmínkách;
- prezentace projektu v ČR a zahraničí;
- zpracování softwaru pro dimenzování čistícího zařízení;
- vzorová projektová dokumentace.

Z výše uvedených vybraných činností autor dizertační práce zpracoval, samostatně pod odborným vedením svého školitele dizertační práce a zároveň vedoucího projektu TAČR č. TA01020311, následující úkony:

- měření a vyhodnocování kvality šedých vod:
 - autor dizertační práce provedl odběry šedé vody a zajistil rozborů chemického a mikrobiologického rozboru na vybraných lokalitách automatická pračka „B“, prádelna v lázních „H“, prádelna Hodonín;
 - dále autor dizertační práce provedl porovnání kvality šedé vody s odbornou, zejména zahraniční literaturou;
- technická pravidla pro navrhování čistícího zařízení pro šedé a dešťové vody:
 - autor dizertační práce zpracoval kapitolu „6 Způsoby čištění šedých a dešťových vod“;
 - dále autor zpracoval přílohu „E“ s názvem „Příklady řešení technologických schémát čištění šedých a dešťových vod“;
- zpracování návrhu normy ČSN 75 6780 *Využití šedých a dešťových vod v budovách a na přilehlých pozemcích [2];*
 - autor dizertační práce zpracoval kapitolu normy „Způsoby čištění šedých a srážkových povrchových vod“;
 - dále autor zpracoval přílohu „E“ s názvem „Příklady řešení technologických schémát čištění šedých a srážkových vod“;
- zpracování projektu pro prototyp: zařízení, napojení;

- autor dizertační práce zpracoval kompletní návrh prototypu ČJŠV (technologické schéma, výrobní výkres vyrovnávací nádrže a nádrže biologie, způsob osazení, místo osazení prototypu);
- provedl výpočet produkce šedé vody, objemu čistící jednotky dle zpracovávané normy ČSN 75 6780 *Využití šedých a dešťových vod v budovách a na přilehlých pozemcích* [2];
- zpracovanou projektovou dokumentaci předal partnerovi projektu TAČR, společnosti ASIO, spol. s r.o. pro zajištění výroby prototypu ČJŠV, tj. výrobu vyrovnávací nádrže a nádrže biologie.
- testování prototypu ČJŠV v laboratorních podmínkách:
 - autor dizertační práce provedl samostatně testování prototypu ČJŠV v laboratorních podmínkách v prostorách FAST VUT v Brně, budově „Z“ v období únor až srpen 2013;
- testování prototypu ČJŠV v reálných podmínkách:
 - autor dizertační práce provedl ve spolupráci se svým školitelem dizertační práce testování prototypu ČJŠV v reálných podmínkách v suterénu více generačního rodinného domu v období srpen až prosinec 2013 v I. etapě testování (následně v období srpen 2014 až září 2015 v II. etapě testování již po ukončení projektu TAČR);
- vzorová projektová dokumentace:
 - autor dizertační práce zpracoval případové studie využití šedých vod ve vybraných objektech, kdy na základě zpracované studie s názvem „Využití šedé a dešťové vody v budovách, koleje VUT pod Palackého Vrchem“ zpracoval pro potřeby projektu TAČR vzorovou projektovou dokumentaci.

Vlastní řešení dizertační práce navazuje na týmovou práci, zejména na vlastní samostatně zpracované výše uvedené úkony v rámci projektu TAČR. Po ukončení projektu se autor dizertační práce samostatně, pod vedením svého školitele, zaměřil na testování prototypu ČJŠV s vybraným typem fyzikálního principu čištění prostřednictvím membrány v reálných podmínkách, vyhodnocení testování, porovnání dosažených výsledků chemické a mikrobiologické kvality bílé vody s platnou legislativou a literaturou a zpracování závěrů ke stanovení okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod ve vybraných objektech.

Autor dizertační práce se na základě odzkoušení prototypu ČJŠV dále zabýval optimalizací čistícího procesu na vybraném typu fyzikálního principu čištění prostřednictvím membrány za účelem dosažení požadované kvality čištění při minimálních provozních nákladech v podmínkách více generačního rodinného domu. Následně v rámci dizertační práce je přistoupeno ke zpracování metodického postupu návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech. Studie využitelnosti na demonstračních místech zahrnuté v dizertační práci uvedené v projektu TAČR autor dizertační práce zpracoval zcela samostatně.

5 METODIKA NÁVRHU SYSTÉMU VYUŽITÍ ŠEDÝCH VOD

V návaznosti na zpracovanou řešeršní část, viz kapitola 3, nemám pro řešení cílů dizertační práce dostatek měření množství produkce šedých vod v objektech, mikrobiologických a chemických rozborů, fyzikálních veličin šedých vod ke stanovení okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod ve vybraných objektech. Dále nejsou pro podmínky České republiky k dispozici zkušenosti s návrhem, postupem pro projektování, instalaci a provozování ČJŠV, tj. není definována metodika návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech.

V návaznosti na provedenou řešerši současného stavu problematiky využití šedých vod ve vybraných objektech jsem se zaměřil na okrajové podmínky pro návrh systému využití šedých vod ve vybraných objektech. Zaměřil jsem se na stanovení bilančního množství, stanovení kvality šedé vody a na stanovení způsobu čištění šedé vody. Na základě provedených měření v rámci projektu TAČR jsem následně provedl vyhodnocení naměřených hodnot množství produkované šedé vody. Na základě provedených chemických a mikrobiologických rozborů jsem stanovil kvalitu šedé vody ve vybraných objektech. Provedl jsem návrh prototypu ČJŠV, který jsem otestoval v laboratorních podmínkách. Na prototypu ČJŠV při testování v laboratorních podmínkách jsem sledoval chod funkčních prvků, jako byly čerpadla, membrána, dmýchadlo, plováky a trojcestný ventil. Při doplňování ČJŠV šedou vodou jsem sledoval funkčnost jednotlivých dílčích částí a celku prototypu ČJŠV se zaměřením na odtok vyčištěné šedé vody, tedy bílé vody. Po ověření funkčnosti prototypu ČJŠV jsem provedl mikrobiologický a chemický rozbor šedé a bílé vody, následně jsem tyto rozborů vyhodnotil.

Po testování prototypu ČJŠV v laboratorních podmínkách jsem provedl osazení v reálném objektu, více generačním rodinném domě školitele doc. Ing. Jaroslava Raclavského Ph.D. Při běžném provozu prototypu ČJŠV v reálných podmínkách jsem optimalizoval a následně verifikoval čistící proces. Na prototypu čistící jednotky jsem sledoval kvantitativní ukazatele, jako byla teplota, množství kyslíku a Redox potenciál v reaktoru nádrže čištění prototypu ČJŠV, přítok šedé vody, produkce bílé vody a množství spotřebované elektrické energie. Dále jsem se zaměřil na kvalitativní ukazatele, jako byla kvalita šedé a bílé vody bez použití hygienického zabezpečení a s UV lampou na odtoku z prototypu ČJŠV. Provedl jsem vyhodnocení kvality bílé vody s ohledem na možnost využití dle platné legislativy a literatury s předpokladem pro využití bílé vody pro splachování toalety, praní prádla, zalévání zahrady apod.

Na základě stanovených okrajových podmínek jsem přistoupil k vyhodnocení bilance a kvality šedé vody. Provedl jsem a popsal jsem software za účelem zjištění aplikovatelnosti systému využití šedých vod ve vybraných objektech a vypracoval jsem metodiku návrhu systému využití šedých vod s návrhem technologické linky čištění šedé vody. Dále jsem definoval doporučené postupy pro návrh, realizaci, zkoušení a provozování systému využití šedých vod ve vybraných objektech.

Doplňujícím prvkem praktické části dizertační práce jsem zpracoval případové studie využitelnosti instalace systému využití šedých vod ve vybraných objektech, lokalitách, jako jsou vysokoškolské koleje, prádelny, rodinný dům apod.

Na základě zpracované metodiky návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech jsem provedl doporučení dalších směrů výzkumu a definoval jsem přínos pro vědní obor a praxi.

6 VLASTNÍ ŘEŠENÍ DIZERTAČNÍ PRÁCE

6.1 STANOVENÍ OKRAJOVÝCH PODMÍNEK PRO NÁVRH SYSTÉMU VYUŽITÍ ŠEDÝCH VOD

Stanovení vstupních okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod ve vybraných objektech navazuje na zpracovanou rešeršní část dizertační práce a na měření provedená v rámci projektu TAČR s vlastním dopracováním dílčích částí autorem dizertační práce. Mezi vstupní okrajové podmínky využitelnosti a výběru systému využití šedých vod ve vybraných objektech, které jsou ověřeny a stanou se podkladem pro definování okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod, patří:

- stanovení bilančního množství šedých vod;
- stanovení kvality šedých a bílých vod;
- stanovení způsobu čištění šedých vod.

6.1.1 Stanovení bilančního množství šedých vod

Stanovení bilančního množství šedých vod bylo provedeno v rámci projektu TAČR č. TA01020311, výstupy jsou popsány v samostatné kapitole dizertační práce.

6.1.2 Stanovení kvality šedých vod

Stanovení kvality šedých vod bylo provedeno v rámci projektu TAČR č. TA01020311, výstupy jsou popsány v samostatné kapitole dizertační práce.

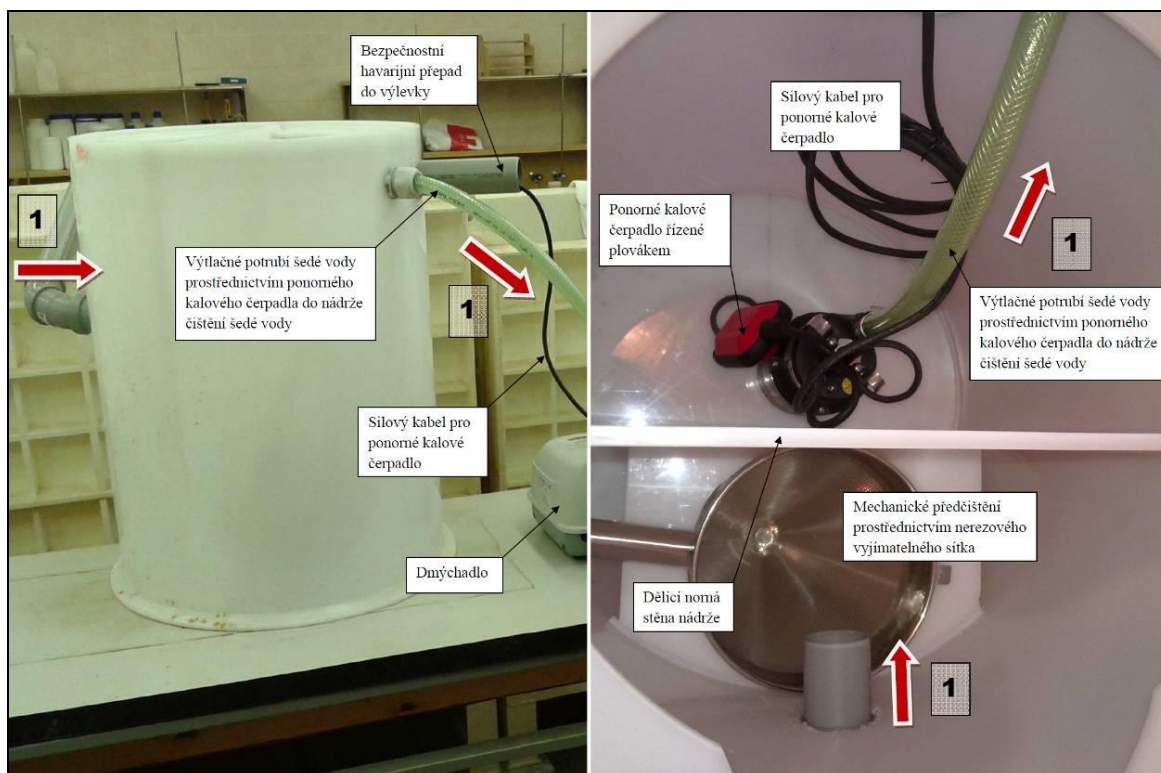
6.1.3 Stanovení způsobu čištění šedých vod

Z požadavků na hodnoty vybraných ukazatelů chemického rozboru bílé vody vyplývajících z legislativy, norem a literatury a s ohledem na požadavky na vybrané ukazatele mikrobiologického znečištění a s ohledem na informace uvedené v rešeršní části dizertační práce je zřejmý požadavek na účinný způsob čištění šedých vod doplněný o hygienické zabezpečení. Z popsanych technologií na úpravu šedé vody v rešeršní části dizertační práce byla vybrána metoda čištění šedé vody založená na principu membránové fyzikální mikrofiltrace s hygienickým zabezpečením prostřednictvím UV lampy na výtlačném potrubí bílé vody. Výběr membránové technologie jsem provedl na základě vysoké účinnosti čištění šedé vody, nízkými nároky na prostor a výhodu jednoduchosti provozu.

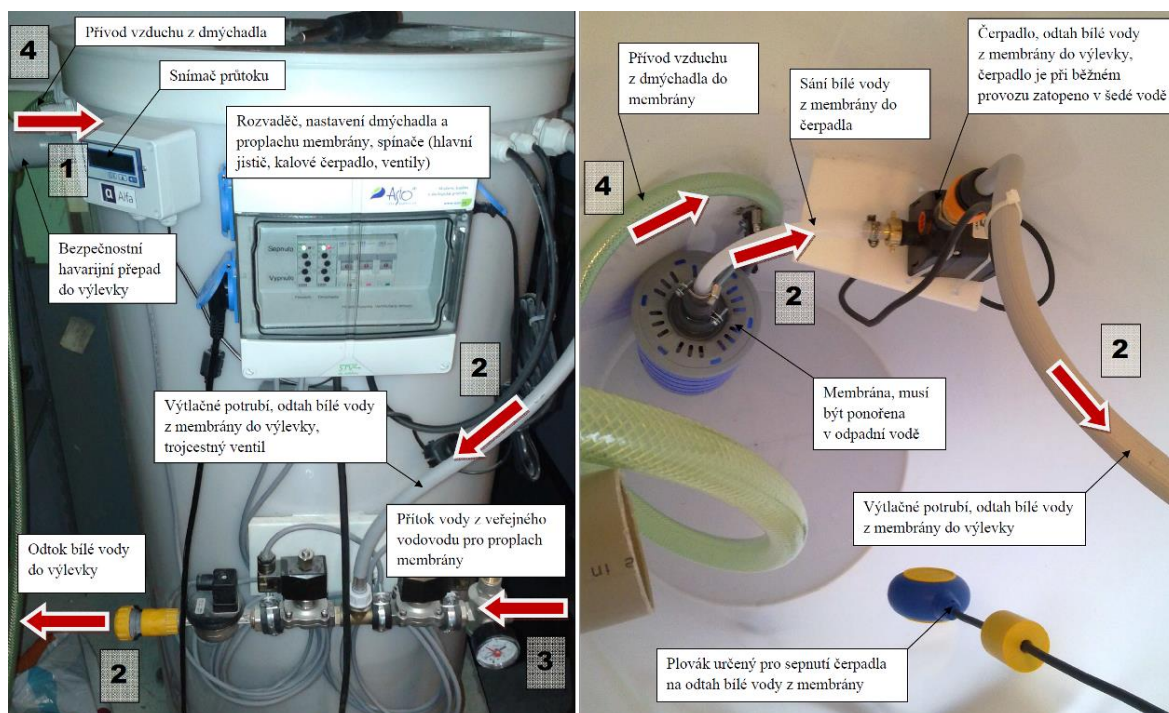
6.1.4 Návrh prototypu čistící jednotky systému využití šedých vod

V návaznosti na zpracovanou rešerši dizertační práce jsem v roce 2012 provedl návrh prototypu čistící jednotky šedé vody ČJŠV.

Prototyp ČJŠV jsem dopracoval do podrobností prostřednictvím dílenské dokumentace s následnou realizací prototypu partnerem projektu TAČR firmou ASIO, spol. s r.o. Pro laboratorní odzkoušení byl vybrán suterén objektu Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně, budova „Z“.



Obr. 6.1 Prototyp, akumulční vyrovnávací nádrž (vlevo pohled vně, vpravo pohled dovnitř)
(legenda rozvodů: 1-potrubí šedé vody)



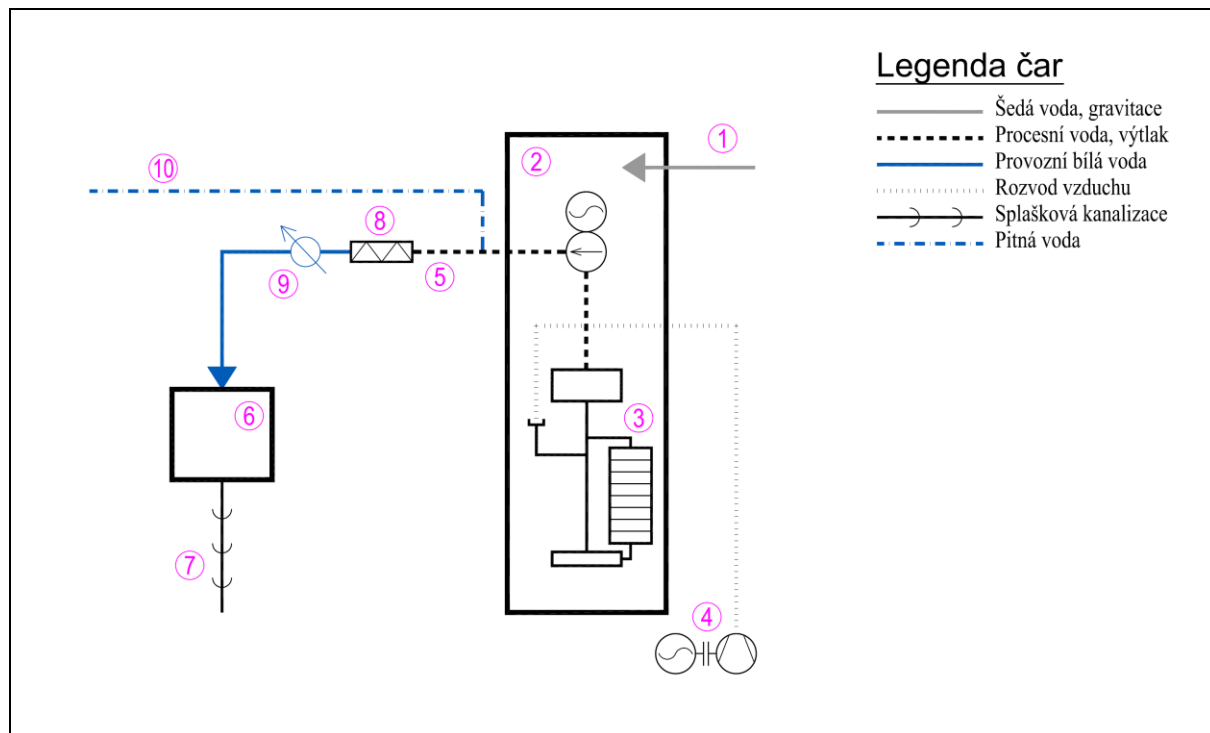
Obr. 6.2 Prototyp, nádrž čištění šedých vod (vlevo pohled vně, vpravo pohled dovnitř)
(legenda rozvodů: 1-potrubí šedé vody, 2-potrubí bílé vody, 3-potrubí vody z veřejného vodovodu, 4-potrubí přívodu vzduchu)

6.1.5 Odzkoušení prototypu ČJŠV v reálných podmínkách

Po testování v laboratorních podmínkách byl prototyp ČJŠV ke dni 8. 8. 2013 přemístěn do suterénního prostoru garáže více generačního domu o 3 samostatných bytových jednotkách v Břeclavi (označení dále v textu jako prototyp RD). Bylo zahájeno testování prototypu

ČJŠV v reálných podmínkách viz Obr. 6.3. médiem šedé vody ve dvou zamýšlených etapách:

- I. etapa, prototyp ČJŠV je zprovozněn na základě přirozeného přítoku šedé vody;
- II. etapa, prototyp ČJŠV, respektive nádrž čištění šedé vody, je doplněn aktivovaným kalem z komunální čistírny odpadních vod.



Obr. 6.3 Technologické schéma zapojení prototypu ČJŠV v reálných podmínkách

(legenda: 1-přítok šedé vody, 2-nádrž čištění šedé vody, 3-MBR jednotka, mikrofiltrace, 4-dmýchadlo, přívod vzduchu do MBR jednotky, 5-výtlač bílé vody z MBR jednotky, 6-výlevka, 7-odtok do vnitřní kanalizace, 8-dezinfekce prostřednictvím UV lampy, 9-průtokoměr, 10-přívod pitné vody pro proplach membrány)

6.1.6 Závěry z vyhodnocení měření I. a II. etapy testování

Na základě provedených měření a následného vyhodnocení těchto měření jsou stanoveny společné závěry pro I. a II. etapu testování v následujícím rozdělení:

- závěry z vyhodnocení měření chemického rozboru šedé vody;
- závěry z vyhodnocení měření chemického rozboru bílé vody
- závěry z vyhodnocení měření mikrobiologického rozboru šedé vody;
- závěry z vyhodnocení měření mikrobiologického rozboru bílé vody;
- závěry z vyhodnocení měření množství rozp. kyslíku v reaktoru nádrže čištění;
- závěry z vyhodnocení měření Redox potenciálu v reaktoru nádrže čištění;
- závěry z vyhodnocení měření teploty v reaktoru nádrže čištění;
- závěry z vyhodnocení měření průtoku bílé vody na výtlaču;
- závěry z vyhodnocení měření spotřeby elektrické energie.

Závěry z vyhodnocení měření chemického rozboru šedé vody

Výsledky chemického rozboru neseparované šedé vody z více generačního rodinného domu pro I. a II. etapu testování vybraných ukazatelů NL, BSK₅, CHSK_{Cr}, N_{NH4}⁺, P_{celk}, pH, zákalu je možné porovnat s hodnotami shrnutými rešeršní části dizertační práce.

Tab. 6.1 Porovnání vybraných ukazatelů chemického rozboru šedé vody v roce 2013-2015 s hodnotami uváděnými v literatuře

Ozn.	Sledovaný ukazatel znečištění šedé vody	Jednotka	Naměřené hodnoty			Hodnoty v literatuře
			I. etapa měření v roce 2013	II. etapa měření v roce 2014-2015	I. + II. etapa měření	Hodnoty v Tab. 3.1 a Tab. 3.2;*
1	NL	[mg.l ⁻¹]	34,20 - 95,80	110,00 - 210,00	34,20 - 210,00	45,00 - 330,00
2	BSK ₅	[mg.l ⁻¹]	30,00 - 103,00	72,00 - 170,00	30,00 - 170,00	41,00 - 194,00
3	CHSK _{Cr}	[mg.l ⁻¹]	131,00 - 338,00	147,00 - 254,00	131,00 - 354,00	26,00 - 1600,00
4	N _{NH4} ⁺	[mg.l ⁻¹]	0,04 - 0,18	0,07 - 1,60	0,07 - 0,18	0,10 - 25,00*
5	P _{celk}	[mg.l ⁻¹]	0,52 - 1,41	1,40 - 6,70	0,52 - 6,70	3,30 - 11,00
6	pH	[-]	8,12	7,50 - 7,70	7,52 - 8,12	6,10 - 8,40
7	zákal	[ZF(n)]	-	85,00 - 110,00	85,00 - 110,00	20,00 - 370,00*

Pozn: hodnoty platí pro neseparovanou šedou vodu kromě *; *doplňkové hodnoty platí pro šedou vodu z van, sprch a umyvadel

Tab. 6.2 Poměr CHSK_{Cr} a BSK₅ v šedých vodách při měření v roce 2013-2015

Ozn.	Popis testovaného vzorku	Sledovaný ukazatel		Poměr	
		CHSK _{Cr}	BSK ₅	CHSK _{Cr} /BSK ₅	
		[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[číslo / číslo]	
1	Prototyp RD, ŠV, 30.10.2013* (neust.)	131,00	30,00	4,4	1,0
2	Prototyp RD, ŠV, 19.11.2013 (10+10)	338,00	103,00	3,3	1,0
3	Prototyp RD, ŠV, 26.11.2013 (10+10)	248,00	51,10	4,9	1,0
4	Prototyp RD, ŠV, 28.10.2014 (5+10)	147,00	72,00	2,0	1,0
5	Prototyp RD, ŠV, 5.11.2014 (4+9)	233,00	92,00	2,5	1,0
6	Prototyp RD, ŠV, 25.2.2015 (2+15)	354,00	170,00	2,1	1,0
7	Prototyp RD, ŠV, 26.2.2015 (2+15)	248,00	120,00	2,1	1,0

Pozn: vzorky odebral Raclavský, dopravil k rozboru Raček kromě *) vzorky odebral a dopravil k rozboru Bartoník; označení číselných hodnot např. (5+10) označuje 5 minut provzdušňování a 10 minut bez provzdušňování nádrže

Závěry z vyhodnocení měření chemického rozboru bílé vody

Výsledky chemického rozboru bílé vody na výtlaku z prototypu ČJŠV pro I. a II. etapu testování vybraných ukazatelů NL, BSK₅, CHSK_{Cr}, N_{NH4}⁺, P_{celk}, pH, zákalu je možné porovnat s hodnotami z odborných literatur. Pro způsob zpětného užití vyčištěné šedé vody, tedy vody bílé, je uvažováno využití pro splachování WC, praní prádla, pro koupání a závlahu rostlin. Toto porovnání je provedeno v následující tabulce.

Tab. 6.3 Porovnání vybraných ukazatelů chemického rozboru bílé vody v roce 2013-2015 s hodnotami uváděnými v literatuře

Ozn.	Sledovaný ukazatel znečištění bílé vody	Jednotka	Naměřené hodnoty	Hodnoty v literatuře					
			I. + II. etapa měření	Literatura 1, Česká republika, bazénová voda	Literatura 2, Velká Británie, splachování toalety	Literatura 3, Německo, splachování toalety	Literatura 4, WHO, splachování toalety	Literatura 5, Austrálie, splachování toalety a praní prádla	Literatura 6, Kanada, splachování toalety
1	NL	[mg.l ⁻¹]	2,00 - 10,50	-	-	-	≤ 10,0	< 10,0	< 10,0
2	BSK ₅	[mg.l ⁻¹]	3,80 - 45,00	-	-	< 5,0 (BSK ₇)	≤ 10,0	< 10,0	< 10,0
3	CHSK _{Cr}	[mg.l ⁻¹]	22,20 - 95,00	-	-	-	-	-	-
4	N _{NH4+}	[mg.l ⁻¹]	0,03 - 0,06	-	-	-	-	-	-
5	P _{celk}	[mg.l ⁻¹]	0,02 - 0,32	-	-	-	-	-	-
6	pH	[-]	7,10 - 7,90	6,50 - 7,60	5,00 - 9,50	-	-	-	-
7	zákal	[ZF(n)]	1,20 - 2,50	0,50	< 10,00	-	-	-	-

Literatura 1 ... bílá voda jako bazénová voda během provozu dle Vyhlášky č. 238/2011 Sb. [27]

Literatura 2 ... Velká Británie, bílá voda pro splachování toalety dle BS 8525-1:2010 [4]

Literatura 3 ... Německo, bílá voda pro splachování toalety dle Service Water Reused for Toilet Flushing [28]

Literatura 4 ... WHO, bílá voda pro splachování toalety dle WHO Guidelines for Greywater Reuse for Different Purposes [29]

Literatura 5 ... Austrálie, bílá voda pro splachování toalety dle Australian Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines [30]

Literatura 6 ... Kanada, bílá voda pro splachování toalety dle Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing [31]

Závěry z vyhodnocení měření mikrobiologického rozboru šedé vody

Výsledky mikrobiologického rozboru neseptované šedé vody z více generačního rodinného domu pro I. a II. etapu testování vybraných ukazatelů Enterokoky, Salmonella, Koliformní bakterie, Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa je možné porovnat s hodnotami z odborných literatur shrnutými v rešeršní části dizertační práce.

Tab. 6.4 Porovnání vybraných ukazatelů mikrobiologického rozboru šedé vody v roce 2013 a 2014 s hodnotami uváděnými v literatuře

Ozn.	Sledovaný ukazatel znečištění šedé vody	Jednotka	Naměřené hodnoty			Hodnoty v literatuře
			I. etapa měření v roce 2013	II. etapa měření v roce 2014	I. + II. etapa měření	Hodnoty v Tab. 3.3
1	Enterokoky	[KTJ.100ml ⁻¹]	0 - 7300	1 - 1400	0 - 7300	1000 - 100000
2	Salmonella	[KTJ.ml ⁻¹]	negativní	-	negativní	-
3	Koliformní bakterie	[KTJ.100ml ⁻¹]	5000 - 1013300	1600 - 2000	1600 - 1013300	10 ⁵ - 10 ⁸
4	Escherichia coli	[KTJ.100ml ⁻¹]	0 - 20000	0	0 - 20000	10 - 100
5	Pseudomonas aeruginosa	[KTJ.ml ⁻¹]	-	0 - 15	0 - 15	100 - 100000

Pozn: hodnoty platí pro neseptovanou šedou vodu

Závěry z vyhodnocení měření mikrobiologického rozboru bílé vody

Výsledky mikrobiologického rozboru bílé vody bez UV lampy (dále bez UV) a s hygienickým zabezpečením UV lampou (dále s UV) prototypu ČJŠV na výtlačku z prototypu ČJŠV pro I. a II. etapu testování vybraných mikrobiologických ukazatelů znečištění Enterokoky, Salmonella, Koliformní bakterie, Escherichia coli, Pseudomonas

aeruginosa z více generačního rodinného domu je možné porovnat s hodnotami z odborných literatur, nařízení. Pro způsob zpětného užití vody bílé je uvažováno využití pro splachování WC, praní prádla, pro koupání a závlahu rostlin. Porovnání je provedeno v tabulce Tab. 6.5.

Tab. 6.5 Porovnání vybraných ukazatelů mikrobiologického rozboru bílé vody v roce 2013 a 2014 s hodnotami uváděnými v literatuře

Ozn.	Sledovaný ukazatel znečištění šedé vody	Jednotka	Naměřené hodnoty bez UV lampy	Hodnoty v literatuře					
			I. + II. etapa měření	Literatura 1, Česká republika, bazénová voda	Literatura 2, Velká Británie, splachování toalety	Literatura 3, Německo, splachování toalety	Literatura 4, WHO, splachování toalety	Literatura 5, Austrálie, splachování toalety a praní prádla	Literatura 6, Kanada, splachování toalety
1	Enterokoky	[KTJ.100ml ⁻¹]	0 - 800	-	100	-	-	-	-
2	Salmonella	[KTJ.ml ⁻¹]	negativní	-	-	-	-	-	-
3	Koliformní bakterie	[KTJ.100ml ⁻¹]	0 - 5000	-	1000	< 100	≤ 10	≤ 10	negativní
4	Escherichia coli	[KTJ.100ml ⁻¹]	0 - 3000	0	250	-	-	-	-
5	CPM 22	[KTJ.ml ⁻¹]	4364	-	-	-	-	-	-
6	CPM 36	[KTJ.ml ⁻¹]	21364	100	-	-	-	-	-
7	Pseudomonas aeruginosa	[KTJ.ml ⁻¹]	0	0	-	< 1	-	-	-

Literatura 1 ... bílá voda jako bazénová voda během provozu dle Vyhlášky č. 238/2011 Sb. [27]

Literatura 2 ... Velká Británie, bílá voda pro splachování toalety dle BS 8525-1:2010 [4]

Literatura 3 ... Německo, bílá voda pro splachování toalety dle Service Water Reused for Toilet Flushing [28]

Literatura 4 ... WHO, bílá voda pro splachování toalety dle WHO Guidelines for Greywater Reuse for Different Purposes [29]

Literatura 5 ... Austrálie, bílá voda pro splachování toalety dle Australian Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines [30]

Literatura 6 ... Kanada, bílá voda pro splachování toalety dle Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing [31]

Závěry z vyhodnocení měření množství rozp. kyslíku v reaktoru nádrže čištění

Pro I. a II. etapu testování prototypu ČJŠV je možné shrnout výsledky měření množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění do následující přehledné tabulky Tab. 6.6.

Tab. 6.6 Rekapitulace množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV v roce 2013-2015

Ozn.	Popis testovaného vzorku	Poměr mezi provzd. a bez provzd.	Počet prov. měření	Min. hodnota - průměr	Max. hodnota - průměr	Průměrná hodnota	Min. hodnota - medián	Max. hodnota - medián	Medián
		např. 4/9	[den]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]
1	Vzduch (10+10), 2013	1,0	5	7,96	10,90	9,51	7,94	10,98	9,48
2	Vzduch (5+10), 2014	0,5	5	8,30	9,48	9,17	8,25	9,43	9,09
3	Vzduch (4+9), 2014	0,4	5	8,08	10,05	8,98	8,48	10,03	9,08
4	Vzduch (2+15), 2014-5	0,1	9	6,30	8,58	7,47	7,13	8,78	7,99

Pozn: označení číselných hodnot např. (4+9) označuje 4 minuty provzdušňování a 9 minut bez provzdušňování nádrže

V následující tabulce je provedeno porovnání průměrných hodnot rozpuštěného kyslíku s intervaly hodnot vybraných ukazatelů chemického rozboru bílé vody.

Tab. 6.7 Porovnání průměrných hodnot rozpuštěného kyslíku s intervaly hodnot vybraných ukazatelů chemického rozboru bílé vody v roce 2013-2015

Ozn.	Popis testovaného vzorku	Poměr mezi provzd. a bez provzd.	Počet prov. měření	Průměr	Počet prov. rozborů	Sledovaný ukazatel [interval hodnot]			
		např. 4/9	[den]	[mg.l ⁻¹]	[ks]	NL	BSK ₅	CHSK _{Cr}	P _{celk}
						[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]
1	Vzduch (10+10), 2013	1,0	5	9,51	2	2,00	3,80-5,80	23,00-25,00	0,02-0,07
2	Vzduch (5+10), 2014-5	0,5	5	9,17	3	2,00	20,00-24,00	24,00-38,00	0,09-0,12
3	Vzduch (4+9), 2014-5	0,4	5	8,98	3	2,00	18,00-28,00	39,00-48,00	0,13-0,18
4	Vzduch (2+15), 2014-5	0,1	9	7,47	5	2,00	8,60-45,00	23,00-95,00	0,08-0,32

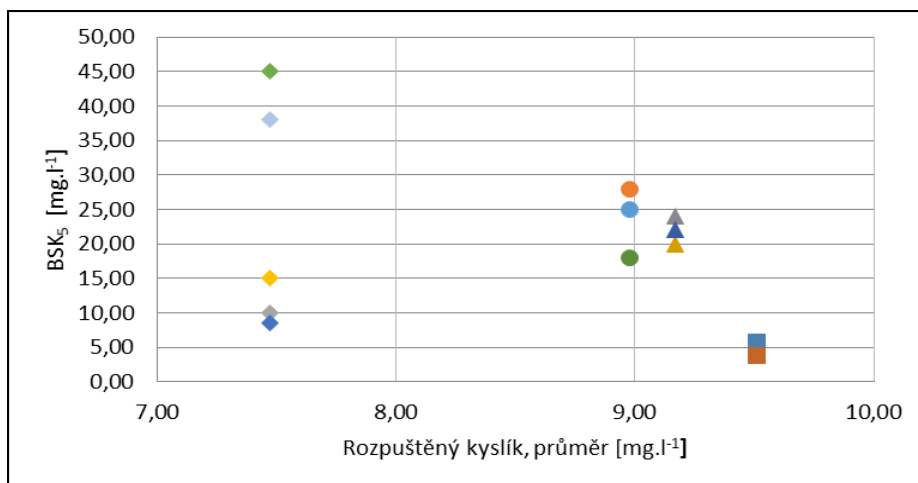
Pozn: označení číselných hodnot např. (4+9) označuje 4 minuty provzdušňování a 9 minut bez provzd. nádrže

V této tabulce je provedeno porovnání průměrných hodnot rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV pro nastavení režimu dmýchadla 10+10, 5+10, 4+9 a 2+15. V pravé části tabulky jsou stanoveny vybrané sledované ukazatele znečištění bílé vody, tj. NL, BSK₅, CHSK_{Cr} a P_{celk}.

Tab. 6.8 Porovnání průměrných hodnot rozpuštěného kyslíku s konkrétními hodnotami vybraných ukazatelů chemického rozboru bílé vody v roce 2013-2015

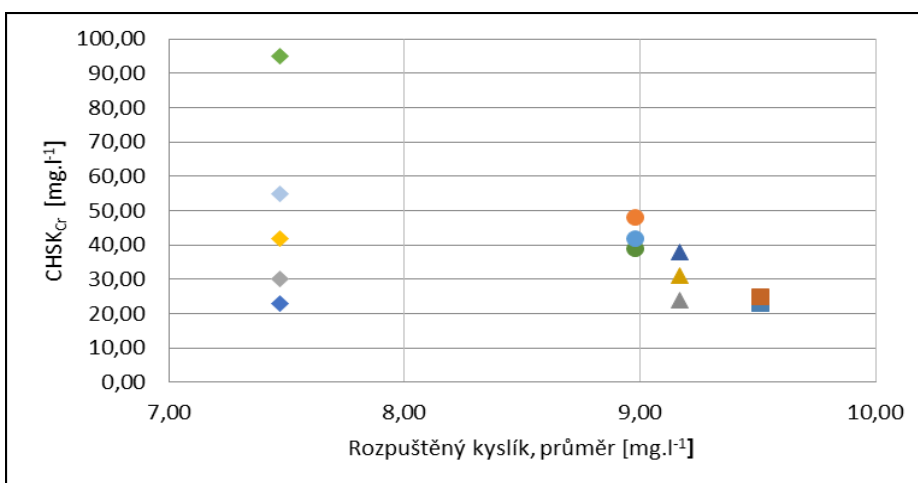
Ozn.	Popis testovaného vzorku	Poměr mezi provzdušňováním a bez provzdušňování	Počet provedených měření	Průměrná hodnota	Počet provedených rozborů	Sledovaný ukazatel [hodnota]		
		např. 4/9	[den]	[mg.l ⁻¹]	[ks]	BSK ₅	CHSK _{Cr}	P _{celk}
						[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]
1	BV, 19.11.2013 (10+10)	1,0	5	9,51	2	5,80	23,00	0,02
2	BV, 26.11.2013 (10+10)					3,80	25,00	0,07
3	BV, 28.10.2014 (5+10)	0,5	5	9,17	3	24,00	24,00	0,10
4	BV, 30.11.2015 (5+10)					20,00	31,00	0,12
5	BV, 7.12.2015 (5+10)					22,00	38,00	0,09
6	BV, 5.11.2014 (4+9)	0,4	5	8,98	3	18,00	39,00	0,18
7	BV, 1.12.2015 (4+9)					25,00	42,00	0,13
8	BV, 8.12.2015 (4+9)					28,00	48,00	0,16
9	BV, 9.12.2014 (2+15)	0,1	9	7,47	5	10,00	30,00	0,17
10	BV, 10.12.2014 (2+15)					15,00	42,00	0,32
11	BV, 25.2.2015 (2+15)					8,60	23,00	0,08
12	BV, 26.2.2015 (2+15)					45,00	95,00	0,11
13	BV, 14.12.2015 (2+15)					38,00	55,00	0,22

Pozn: označení číselných hodnot např. (4+9) označuje 4 minuty provzdušňování a 9 minut bez provzdušňování nádrže



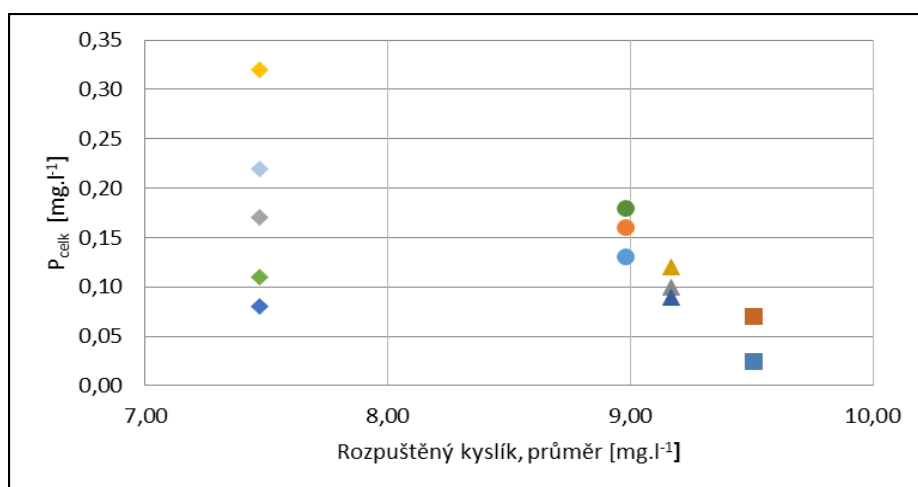
Obr. 6.4 Porovnání průměrných hodnot rozpuštěného kyslíku s hodnotami sledovaného ukazatele znečištění BSK₅

(legenda: osa x-množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV; osa y-chemický rozbor BSK₅)



Obr. 6.5 Porovnání průměrných hodnot rozpuštěného kyslíku s hodnotami sledovaného ukazatele znečištění CHSK_{Cr}

(legenda: osa x-množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV; osa y-chemický rozbor CHSK_{Cr})



Obr. 6.6 Porovnání průměrných hodnot rozpuštěného kyslíku s hodnotami sledovaného ukazatele znečištění P_{celk}

(legenda: osa x-množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV; osa y-chemický rozbor P_{celk})

Závěry z vyhodnocení měření Redox potenciálu v reaktoru nádrže čištění

Z provedených měření a vyhodnocení těchto měření pro I. a II. etapu testování prototypu ČJŠV je možné shrnout výsledky měření množství Redox potenciálu v reaktoru nádrže čištění šedé vody v prototypu ČJŠV uvedené do následující tabulky Tab. 6.9.

Tab. 6.9 Rekapitulace naměřených hodnot Redox potenciálu v reaktoru nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV v roce 2013-2015

Ozn.	Popis testovaného vzorku	Poměr mezi provzd. a bez provzd.	Min. hodnota	Max. hodnota	Průměrná hodnota	Medián
		např. 4/9	[mV]	[mV]	[mV]	[mV]
1	Vzduch (10+10), 2013	1,0	272,00	362,56	343,85	343,85
2	Vzduch (5+10), 2014	0,5	299,00	341,50	319,83	319,83
3	Vzduch (4+9), 2014	0,4	299,10	349,70	323,94	320,10
4	Vzduch (2+15), 2014-5	0,1	272,00	379,90	343,85	347,82

Pozn: označení číselných hodnot např. (4+9) označuje 4 minut provzdušňování a 9 minut bez provzdušňování nádrže

Závěry z vyhodnocení měření teploty v reaktoru nádrže čištění

Z provedených měření a vyhodnocení těchto měření pro II. etapu testování prototypu ČJŠV je možné shrnout výsledky měření teploty v reaktoru nádrže čištění šedé vody v prototypu ČJŠV do následující tabulky Tab. 6.10.

Tab. 6.10 Rekapitulace naměřených hodnot teploty v reaktoru nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV v roce 2013-2015

Ozn.	Popis testovaného vzorku	Poměr mezi provzd. a bez provzd.	Min. hodnota	Max. hodnota	Průměrná hodnota	Medián
		např. 4/9	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
1	Vzduch (10+10), 2013	1,0	16,10	18,40	17,80	17,80
2	Vzduch (5+10), 2014	0,5	20,20	20,90	20,59	20,59
3	Vzduch (4+9), 2014	0,4	18,60	20,90	19,64	19,58
4	Vzduch (2+15), 2014-5	0,1	15,60	21,20	17,88	17,53

Pozn: označení číselných hodnot např. (4+9) označuje 4 minut provzdušňování a 9 minut bez provzdušňování nádrže

Závěry z vyhodnocení měření průtoku bílé vody na výtlaku

S ohledem na provedená měření v 7 dnech na prototypu ČJŠV lze konstatovat, že produkce šedé vody, respektive produkce bílé vody, při porovnání reálného měření s metodami výpočtu, se blíží hodnotě výpočtu založeného na počtu měrných jednotek stejného druhu.

Závěry z vyhodnocení a měření spotřeby elektrické energie

Na základě provedených měření spotřeby elektrické energie na prototypu ČJŠV, lze definovat následující závěr, že rozdíl mezi doporučeným nastavením 5+10 minuty pro membránové systémy pro čištění komunální splaškové odpadní vody a testovaným nastavením 2+15 minuty je více než 100 %, v případě většího počtu osazených

membránových modulů a silnějších dmýchadel by úspora za elektrickou energii byla nezanedbatelná.

6.1.7 Stanovení okrajových podmínek pro metodický postup návrhu systému využití šedých vod

Na základě stanovených vstupních okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod specifikovaných v kapitole 6.1 a na základě odzkoušení prototypu ČJŠV v laboratorních, reálných podmínkách v I. a II. etapě testování se stanovením závěrů z vyhodnocení měření I. a II. etapy testování prototypu ČJŠV v kapitole 6.1.6 Závěry z vyhodnocení měření I. a II. etapy testování je možné stanovit okrajové podmínky pro metodický postup návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech následovně:

- stanovení bilančního množství šedé a bílé vody;
- stanovení kvality šedé a bílé vody;
- stanovení způsobu čištění šedých vod.

Tyto okrajové podmínky pro metodický postup návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech odpovídají předpokladům definovaných v předchozí kapitole, jež byly ověřeny při testování prototypu ČJŠV. Okrajové podmínky pro metodický postup návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech jsou metodicky zapracovány v následující kapitole dizertační práce 6.2.

6.2 METODICKÝ POSTUP NÁVRHU SYSTÉMU VYUŽITÍ ŠEDÝCH VOD

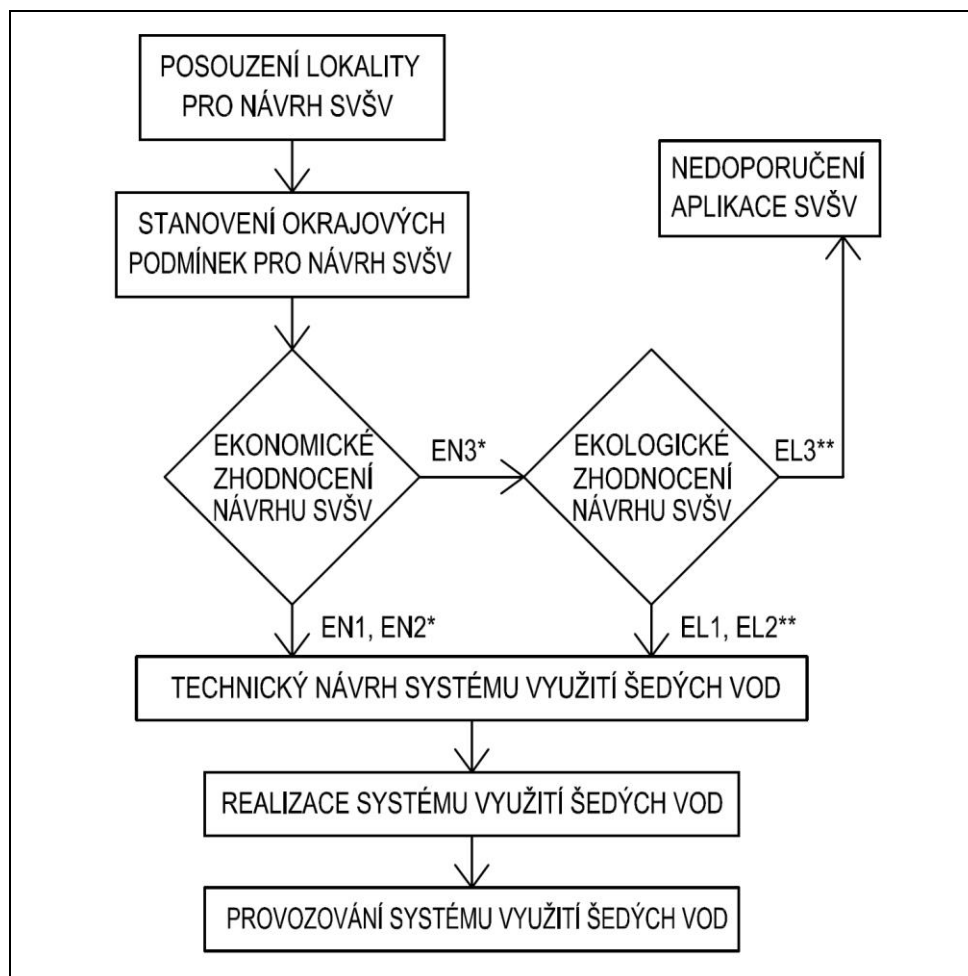
Metodický postup návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech navazuje na zpracovanou rešeršní část dizertační práce a na realizovaná měření provedená v rámci projektu TAČR s vlastním dopracováním dílčích částí autorem dizertační práce. Metodický postup návrhu systému využití šedých vod navazuje na předchozí kapitolu dizertační práce 6.1 Stanovení okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod.

Metodický postup návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech, s přihlédnutím ke schéma v obrázku Obr. 6.7 je členěn do následujících kroků:

- posouzení lokality pro návrh systému využití šedých vod;
- stanovení okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod;
- ekonomické zhodnocení návrhu systému využití šedých vod;
- ekologické zhodnocení návrhu systému využití šedých vod;
- technický návrh systému využití šedých vod;
- realizace systému využití šedých vod;
- provozování systému využití šedých vod.

Metodický postup návrhu systému využití šedých vod v první části specifikuje posouzení lokality pro návrh SVŠV. Po výběru vhodné lokality pro návrh SVŠV je možné přistoupit ke stanovení okrajových podmínek pro návrh SVŠV, jedná se o stanovení bilančního množství šedé a bílé vody, dále pak stanovení kvality šedé a bílé vody, posléze je potřeba stanovit způsob čištění šedé vody. Po stanovení okrajových podmínek pro návrh SVŠV je přistoupeno k ekonomickému zhodnocení návrhu SVŠV s aplikací softwaru a s ekonomickým zhodnocením prostřednictvím kategorií EN1 až EN3. Po ekonomickém zhodnocení je přistoupeno k ekologickému zhodnocení návrhu SVŠV s použitím metodiky zařazení návrhu SVŠV do kategorií EL1 až EL3.

Teprve po vyřešení výše uvedeného je možné provést samotný technický návrh SVŠV s přihlédnutím k poznatkům definovaným v dizertační práci a s ohledem na zpracovaný návrh normy ČSN 75 6780 *Využití šedých a dešťových vod v budovách a na přilehlých pozemcích* [2] z listopadu 2014, na kterém se autor dizertační práce podílel v rámci projektu TAČR č. TA01020311 [25]. Technický návrh systému využití šedých vod zahrnuje postupy pro návrh vnitřní kanalizace šedé vody, vnitřního vodovodu bílé vody, návrh nádrží šedé a bílé vody, návrh zařízení pro doplňování pitné nebo užitkové vody a požadavky na vypouštění šedé a bílé vody do kanalizace pro veřejnou potřebu. Následuje metodický postup pro realizaci SVŠV, respektive pokyny pro provádění a následné zkoušení SVŠV. Poslední část metodického postupu návrhu systému využití šedých vod se zabývá provozováním SVŠV, respektive provozem a údržbou kanalizace šedé a bílé vody a provozem a údržbou zařízení pro čištění šedé vody.



Obr. 6.7 Metodický postup návrhu systému využití šedých vod, *) viz kapitola „Ekonomické zhodnocení návrhu SVŠV“, **) viz kapitola „Ekologické zhodnocení návrhu SVŠV“

Autor dizertační práce zpracoval ucelený software metodického návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech, ve kterém je definován postup návrhu těchto systémů pro vybrané objekty. Tento software je nedílnou součástí dizertační práce a tvoří přílohu č. 1 a přílohu č. 2, která představuje vyplněný vzorový příklad.

Uživatel softwaru vyplňuje žlutě vybarvené buňky v jednotlivých ucelených částech softwaru. Zelené buňky v softwaru následně představují zobrazení dílčích nebo konečných výsledků výpočtu.

V následujících kapitolách je proveden popis metodického postupu návrhu systému využití šedých vod a zpracovaný popis k vytvořenému softwaru.

Na konci této kapitoly jsou definovány dílčí závěry pro metodický postup návrhu systému využití šedých vod.

6.2.1 Posouzení lokality pro návrh systému využití šedých vod

Mezi lokality pro návrh systému využití šedých vod jsem v dizertační práci navrhl zařadit následující objekty:

- hotely;
- nemocnice;
- vysokoškolské koleje;

- lázně;
- vybrané administrativní budovy;
- prádelny;
- podmíněčně rodinné domy apod.

6.2.2 Stanovení okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod

Okrajové podmínky pro metodický postup návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech jsem rozdělil následovně:

- stanovení bilančního množství šedé vody;
- stanovení bilančního množství bílé vody;
- srovnání bilančního množství šedé a bílé vody;
- stanovení kvality šedé a bílé vody;
- stanovení způsobu čištění šedé vody.

Teprve na základě stanovených okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod ve vybraných objektech navrhuji přistoupit k ekonomickému a ekologickému zhodnocení systému využití šedých vod, následně pak k samotnému návrhu systému využití šedých vod.

V rámci projektu TAČR č. TA01020311 s názvem „Využití šedé a dešťové vody v budovách“ bylo v rámci závěrečné odborné zprávy o postupu prací a dosažených výsledcích za rok 2013 proveden software pro dimenzování systému využití šedých vod v programu MS Excel [25]. Software pro dimenzování systému využití šedých vod zahrnující kapitoly 1. Stanovení bilančního množství šedých vod, 2. Stanovení potřeby bílé vody, 3. Technické posouzení SVŠV a 4. Posouzení ekonomické návratnosti SVŠV byl zpracován společně pracovním týmem, autor dizertační práce se podílel na tvorbě kapitoly stanovení bilančního množství šedých vod a stanovení bilančního množství bílých vod. V rámci dizertační práce provedl autor dizertační práce dílčí formální úpravy softwaru, doplnil další kapitoly a samostatně zpracoval následující popis k softwaru, který nebyl součástí odborné zprávy o postupu prací a dosažených výsledcích za rok 2013 z projektu TAČR č. TA01020311.

6.2.3 Ekonomické zhodnocení návrhu systému využití šedých vod

V rámci metodického postupu návrhu systému využití šedých vod jsem navrhl ekonomické zhodnocení systému využití šedých vod pro vybranou lokalitu, respektive pro vybraný objekt.

Posouzení ekonomické návratnosti je provedeno v ucelené části softwaru, ve které jsou definovány vstupní údaje, investiční náklady, provozní náklady, stanovení průměrného růstu cen vody pro vybranou lokalitu, úvěry, přehledy nákladů, přínosy, analýza peněžních toků a diskontovaná doba návratnosti. Ucelená část softwaru s názvem „3. Ekonomické zhodnocení návrhu systému využití šedých vod“ není zpracováno autorem dizertační práce, ale ekonomy Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně v rámci projektu TAČR č. TA01020311 [25]. Autor dizertační práce samostatně definoval postup ekonomického zhodnocení návrhu SVŠV s návrhem kategorií EN1, EN2 a EN3.

Metodický postup ekonomického zhodnocení návrhu SVŠV

Nyní je potřeba přistoupit ke zpracovanému ekonomickému zhodnocení návrhu systému využití šedých vod. Metodický postup ekonomického zhodnocení návrhu SVŠV je popsán v následující přehledné tabulce Tab. 6.11.

Tab. 6.11 Kategorie ekonomického zhodnocení návrhu SVŠV

Kategorie	EN1	EN2	EN3
Popis kategorie	Diskontovaná doba návratnosti pořizovací investice ≤ 10 roků, respektive dle požadavku investora	Diskontovaná doba návratnosti pořizovací investice > 10 roků, respektive dle požadavku investora, podnikatelský záměr je vázán na „energeticky úsporný certifikovaný“ typ budovy	Diskontovaná doba návratnosti pořizovací investice > 10 roků, respektive dle požadavku investora
Zhodnocení	Doporučení aplikace návrhu systému využití šedé vody	Podmínečné doporučení aplikace návrhu systému využití šedé vody	Nedoporučení aplikace návrhu systému využití šedé vody

V tabulce Tab. 6.11 je popsán metodický postup ekonomického zhodnocení návrhu SVŠV s definováním celkem tří kategorií ekonomického zhodnocení EN1, EN2 a EN3. Název kategorie jako zkratka byl stanoven ze dvou písmen slova „ekonomické“.

- Do kategorie EN1 patří systémy využití šedých vod SVŠV s diskontovanou dobou návratnosti pořizovací investice SVŠV menší nebo rovno 10 roků, respektive dle požadavku investora, tj. investor upraví hodnotící kritérium pro roky analýzy peněžních toků. V případě ekonomického zhodnocení návrhu kategorií EN1 lze doporučit aplikaci návrhu systému využití šedé vody SVŠV.
- Do kategorie EN2 patří systémy využití šedých vod SVŠV s diskontovanou dobou návratnosti pořizovací investice SVŠV vyšší než 10 roků, respektive dle požadavku investora, tj. investor upraví hodnotící kritérium pro roky analýzy peněžních toků. Podnikatelský záměr návrhu SVŠV je však vázán na „energeticky úsporný certifikovaný“ typ budovy. V případě ekonomického zhodnocení návrhu kategorií EN2 lze podmíněně doporučit aplikaci návrhu systému využití šedé vody SVŠV.
- Do kategorie EN3 patří systémy využití šedých vod SVŠV s diskontovanou dobou návratnosti pořizovací investice SVŠV vyšší než 10 roků, respektive dle požadavku investora, tj. investor upraví hodnotící kritérium pro roky analýzy peněžních toků. V případě ekonomického zhodnocení návrhu kategorií EN3 se nedoporučuje aplikovat návrh systému využití šedé vody SVŠV.

6.2.4 Ekologické zhodnocení návrhu systému využití šedých vod

V rámci metodického postupu návrhu systému využití šedých vod jsem navrhl ekologické zhodnocení systému využití šedých vod pro vybranou lokalitu, respektive pro vybraný objekt. Systémy využití šedých vod SVŠV jsou z hlediska ekologického nezanedbatelným přínosem pro ochranu životního prostředí, respektive odpadní voda je čištěna a zpětně

využívána jako voda bílá ke spotřebě tam, kde by byla jinak použita např. voda pitná z vodovodního řadu.

Metodický postup ekologického zhodnocení návrhu SVŠV

Metodický postup ekologického zhodnocení návrhu SVŠV je popsán v následující přehledné tabulce Tab. 6.12.

Tab. 6.12 Kategorie ekologického zhodnocení návrhu SVŠV

Kategorie	EL1	EL2	EL3
Popis kategorie	Systém využití šedé vody má z ekologického hlediska významný ekologický přínos (nedostatek pitné nebo užitkové vody, komplikovaná likvidace odpadních vod, apod.)	Systém využití šedé vody nemá z ekologického hlediska významnější ekologický přínos, nicméně investor má zájem využívat bílou vodu	Systém využití šedé vody nemá z ekologického hlediska významnější ekologický přínos
Zhodnocení	Doporučení aplikace návrhu systému využití šedé vody	Podmínečné doporučení aplikace návrhu systému využití šedé vody	Nedoporučení aplikace návrhu systému využití šedé vody

V tabulce Tab. 6.12 je popsán metodický postup ekologického zhodnocení návrhu SVŠV s definováním celkem tří kategorií ekologického zhodnocení EL1, EL2 a EL3. Název kategorie jako zkratka byl stanoven ze dvou písmen slova „**ek**o**l**ogické“.

- Do kategorie EL1 patří systémy využití šedých vod SVŠV, které mají z ekologického hlediska významný ekologický přínos. Může se jednat např. o lokality s nedostatkem pitné nebo užitkové vody nebo např. lokality, ve kterých je komplikovaná likvidace odpadních vod. V případě ekologického zhodnocení návrhu kategorií EL1 lze doporučit aplikaci návrhu systému využití šedé vody SVŠV.
- Do kategorie EL2 patří systémy využití šedých vod SVŠV, které nemají z ekologického hlediska významnější ekologický přínos, nicméně investor má zájem využívat bílou vodu. V případě ekonomického zhodnocení návrhu kategorií EL2 lze podmíněčně doporučit aplikaci návrhu systému využití šedé vody SVŠV.
- Do kategorie EL3 patří systémy využití šedých vod SVŠV, které nemají z ekologického hlediska významnější ekologický přínos. V případě ekologického zhodnocení návrhu kategorií EL3 se nedoporučuje aplikovat návrh systému využití šedé vody SVŠV.

6.2.5 Technický návrh systému využití šedých vod

V rámci dizertační práce je přistoupeno k návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech. Komplexní návrh systému využití šedých vod prozatím přímo nespecifikuje předpis v České republice, nicméně je připraven 5. návrh normy ČSN 75 6780 *Využití šedých a dešťových vod v budovách a na přilehlých pozemcích* [2] z listopadu 2014, který se komplexním návrhem přímo zabývá.

Autor dizertační práce, jak již bylo popsáno v kapitole 4, samostatně zpracoval kapitolu normy ČSN 75 6780 [2] s názvem kapitol „Způsoby čištění šedých a srážkových

povrchových vod“ a „Příklady řešení technologických schémat čištění šedých v a srážkových vod“, na ostatních kapitolách se spolupodílel nebo prováděl připomínkování.

Metodický postup zhodnocení návrhu technologie čištění SVŠV

Metodický postup zhodnocení návrhu technologie SVŠV je popsán v následující přehledné tabulce Tab 6.13.

Tab 6.13 Kategorie zhodnocení návrhu technologie čištění SVŠV

Kategorie	TE1	TE2
Popis kategorie	Systém využití šedé vody je dotován šedou vodou obsahující $BSK_5 \leq 150 \text{ mg.l}^{-1}$	Systém využití šedé vody je dotován šedou vodou obsahující $BSK_5 > 150 \text{ mg.l}^{-1}$
Zhodnocení	Doporučení návrhu technologie čištění SVŠV bez aplikace biologického způsobu čištění	Doporučení návrhu technologie čištění SVŠV s aplikací biologického způsobu čištění

V tabulce Tab 6.13 je popsán metodický postup zhodnocení návrhu technologie čištění SVŠV s definováním celkem dvou kategorií zhodnocení TE1 a TE2. Název kategorie jako zkratka byl stanoven ze dvou písmen slova „technologie“.

- Do kategorie TE1 patří systémy využití šedých vod SVŠV, které jsou dotovány šedou vodou obsahující $BSK_5 \leq 150 \text{ mg.l}^{-1}$. Pro zjištění hodnoty BSK_5 doporučuji provedení reprezentativního dvouhodinového slévaného vzorku šedé vody z vnitřní kanalizace šedé vody před předpokládanou instalací technologie čištění SVŠV. V případě hodnoty $BSK_5 \leq 150 \text{ mg.l}^{-1}$ představující nedostatečné přiváděné biologické znečištění a technologii čištění SVŠV navrhne bez aplikace biologického způsobu čištění (např. systémy s jednoduchou úpravu, chemickou úpravu, fyzikální úpravu, biologickými postupy čištění). Při zprovoznění technologie čištění SVŠV neprovádíme očkování aktivovaným kalem z komunální ČOV.
- Do kategorie TE2 patří systémy využití šedých vod SVŠV, které jsou dotovány šedou vodou obsahující $BSK_5 > 150 \text{ mg.l}^{-1}$, jež představuje přiváděné biologické znečištění a technologii čištění SVŠV navrhne s aplikací biologického způsobu čištění (např. systémy s biologickou úpravu, biologická úprava v kombinaci s membránovým procesem čištění). Při zprovoznění technologie čištění SVŠV provádíme očkování aktivovaným kalem z komunální ČOV.

6.2.6 Závěr, metodický postup návrhu systému využití šedých vod

Metodický postup návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech navazuje na zpracovanou rešeršní část dizertační práce a na provedená měření provedená v rámci projektu TAČR s vlastním dopracováním dílčích částí autorem dizertační práce, zejména provedení testování prototypu ČJŠV se závěrečným stanovením okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod v kapitole 6.1. Metodický postup návrhu systému využití šedých vod je přehledně zobrazen v grafu obrázku Obr. 6.7 a je přehledně popsán v předcházejícím textu a v přílohách č. 1 a č. 2 dizertační práce.

6.3 STUDIE VYUŽITELNOSTI NA VYBRANÝCH LOKALITÁCH

V součinnosti s kapitolou 6.2 Metodický postup návrhu systému využití šedých vod jsou vybrány vhodné lokality pro návrh systému využití šedých vod, u kterých se ověřila správnost metodického postupu návrhu systému využití šedých od.

V následujících kapitolách jsou prezentovány základní informace případové studie aplikace systému využití šedých vod ve vybraných objektech s posouzením ekonomické návratnosti, respektive s výpočtem návratnosti pořizovací investice. Jedná se o následující vybrané lokality:

- vysokoškolské koleje v Brně s potřebou bílé vody 510 m³ a 1650 m³ za měsíc;
- prádelna v Brně s potřebou bílé vody 240 m³ za měsíc;
- prádelna v Hodoníně s potřebou bílé vody 500 m³ za měsíc;
- prádelna v lázních s potřebou bílé vody 363 m³ za měsíc;
- více generační rodinný dům v Břeclavi.

V této kapitole dizertační práce nejsou, z důvodu značného rozsahu řešených studií, uvedeny veškeré informace, respektive technické popisy, výpočty a výkresy k řešeným lokalitám. V této kapitole dizertační práce jsou tedy zpracovány podstatné skutečnosti a závěry z řešených studií, jež zpracovatel dizertační práce zpracoval samostatně jako projektové dokumentace pro potřeby investorů řešených lokalit.

Tab. 6.14 Srovnání diskontované doby návratnosti investice SVŠV pro vybrané lokality

Lokalita případové studie	Vodné a stočné v roce 2015	Produkce šedé vody v objektu	Potřeba bílé vody v objektu	Cena investice celkem	Údržba systému v roce 2015	Diskontovaná doba návratnosti
	[Kč.m ⁻³]	[m ³ .měs ⁻¹]	[m ³ .měs ⁻¹]	[tis. Kč]	[tis. Kč]	[rok]
Ubyt. budova VŠ kolejí v Brně "4",var.1	64,75	1650	510	2600	290	12. – 13.
Ubyt. budova VŠ kolejí v Brně "4",var.2	64,75	1650	1650	3350	1023	6. – 7.
Prádelna Brno "K"	64,75	240	240	925	204	7. – 8.
Prádelna Hodonín "H",var.1	35,53	500	500	1350	425	-
Prádelna Hodonín "H",var.2	57,75	500	500	1350	425	11. – 12.
Prádelna v lázních "H"	57,75	363	363	1220	306	12. – 13.
Více generační dům „B“	74,80	10	10	80	6	13. – 14.

Pozn: ceny uvedeny bez DPH

7 SHRNU TÍ A PŘÍNOSY DIZERTAČNÍ PRÁCE

7.1 SHRNU TÍ

Cíl dizertační práce pro stanovení okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod byl splněn. V rámci tohoto vytyčeného cíle lze konstatovat následující:

- v rámci dizertační práce jsem se zaměřil na stanovení bilančního množství, stanovení kvality šedé vody a na stanovení způsobu čištění šedé vody;
- provedl jsem vyhodnocení naměřených hodnot množství produkované šedé vody, kvality šedé vody;
- provedl jsem návrh prototypu čistící jednotky šedé vody ČJŠV, který jsem nejdříve otestoval v laboratorních, pak v reálných podmínkách;
- na základě laboratorního testování jsem provedl dílčí úpravy na strojně-technologické části, po ověření funkčnosti jsem provedl vyhodnocení mikrobiologického a chemického rozboru;
- na základě testování v rámci I. a II. etapy jsem provedl dílčí úpravy na strojně-technologické části, při testování jsem sledoval kvantitativní ukazatele jako je teplota, množství kyslíku a Redox potenciál v reaktoru nádrže čištění prototypu ČJŠV, přítok šedé vody, produkce bílé vody a množství spotřebované elektrické energie;
- dále jsem se při testování v reálných podmínkách zaměřil na kvalitativní ukazatele jako je kvalita šedé a bílé vody bez použití hygienického zabezpečení a s UV lampou na odtoku z prototypu ČJŠV;
- po optimalizaci prototypu ČJŠV jsem provedl vyhodnocení kvality bílé vody s ohledem na možnost využití dle platné legislativy a literatury s předpokladem pro využití bílé vody;
- autorem dizertační práce navržený prototyp ČJŠV vykázal vysokou čistící účinnost pro vybrané sledované ukazatele chemického znečištění, které jsou srovnatelné s hodnotami uváděnými dodavatelem membrány;
- vyčištěnou bílou vodu je možné s ohledem na srovnání s hodnotami uváděnými zejména v zahraniční literatuře aplikovat pro splachování toalety, praní prádla, podlahové mytí, postřik zahrady a mytí auta;
- v rámci dizertační práce bylo ověřeno, že hygienické zabezpečení bílé vody má své opodstatnění a v případě aplikace UV lampy je ověřeno splnění vybraných ukazatelů mikrobiologického znečištění ve srovnání s požadavky na hygienické zabezpečení uváděné v zahraniční literatuře;
- při změně dávkování množství kyslíku do reaktoru nádrže prototypu ČJŠV bylo v rámci dizertační práce zjištěno, že vyšší hodnotě rozpuštěného kyslíku odpovídají nižší hodnoty sledovaných ukazatelů znečištění BSK₅, CHSK_{Cr} a P_{celk}, respektive stoupá účinnost čištění šedé vody osazenou membránovou technologií;
- v rámci testování prototypu ČJŠV v reaktoru čištění šedé vody prototypu nejsou aplikovány biologické procesy čištění odpadních vod, ale čištění je založena zcela na principu fyzikální mikrofiltrace na membráně a množství rozpuštěného kyslíku nemá z hlediska biologického čištění šedých vod podstatný vliv na účinnost čistícího

procesu, očkovaní technologie SVŠV aktivovaným kalem z komunální ČOV nemá praktické využití;

- snížením množství rozpuštěného kyslíku, respektive změnou režimu nastavení dmýchadla 4+9 a následně 2+15 se pravděpodobně zanáší nečistotami membrána v prototypu ČJŠV a snižuje se tímto zákonitě účinnost čistícího procesu, lze tedy konstatovat, že dodávka vzduchu v případě aplikace technologie na principu fyzikální mikrofiltrace je přímo úměrná zanášení membrány a biologické procesy nejsou rozhodujícím parametrem, snížení dodávky vzduchu má podstatný vliv na úsporu provozních nákladů;
- v případě absence biologického procesu čištění odpadních vod v prototypu ČJŠV se zcela fyzikálním procesem mikrofiltrace nemá ukazatel redox potenciálu praktické využití, respektive ukazatele Redox potenciálu lze využít při nastavení denitrifikace a nitrifikace biologického procesu, nikoli v případě testovaného prototypu ČJŠV;
- produkce šedé vody, respektive produkce bílé vody při porovnání reálného měření s metodami výpočtu se blíží hodnotě vypočtené a založené na počtu měrných jednotek stejného druhu.

Druhý cíl dizertační práce pro vytvoření metodického postupu návrhu systému využití šedých vod byl splněn. V rámci tohoto vytyčeného cíle lze konstatovat:

- na základě stanovených okrajových podmínek jsem přistoupil k vyhodnocení bilance a kvality šedé vody, provedl jsem a popsal software (software je součástí přílohy č. 1 a č. 2 dizertační práce) za účelem zjištění aplikovatelnosti systému využití šedých vod ve vybraných objektech a vypracoval jsem metodiku návrhu systému využití šedých vod s návrhem technologické linky čištění šedé vody;
- v rámci metodiky jsem přistoupil k sestavení doporučených postupů pro návrh, realizaci, zkoušení a provozování systému využití šedých vod ve vybraných objektech.

Třetí cíl dizertační práce pro ověření systémů využití šedých vod v rámci studií využitelnosti na vybraných lokalitách byl splněn. V rámci tohoto vytyčeného cíle lze konstatovat:

- v rámci dizertační práce jsem zpracoval případové studie využitelnosti instalace systému využití šedých vod ve vybraných objektech, lokalitách, jako jsou vysokoškolské koleje, prádelny, rodinný dům.

Dizertabilitu práce spatřuji v implementaci návrhu prototypu ČJŠV pro odzkoušení zařízení v laboratorních, následně reálných podmínkách s provedením optimalizace a verifikace prototypu ČJŠV s vytvořením metodického návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech.

7.2 PŘÍNOSY PRO VĚDNÍ OBOR A PRAXI

Zatím v České republice nebyl a ani v současné době není ekonomický tlak na užívání jiných vod než z veřejných rozvodů či studní. Vydatnosti zdrojů vody byly v uplynulých letech v podstatě dostačující, i když „suchý“ rok 2015 potvrdil nutnost lépe hospodařit se zdroji vody. Lze tedy očekávat, že se dále budou zvyšovat sazby vodného a stočného tak, aby umožnily plynulou obnovu převážně zastaralých inženýrských sítí a obnovu nebo výstavbu nových více kapacitních zdrojů vody. Tento nárůst vytvoří podmínky pro návratnost investic do systému využití šedých vod ve vybraných objektech.

Novým poznatkem pro vědní obor je:

- odzkoušení prototypu ČJŠV s vybraným typem membrány v laboratorních a reálných podmínkách;
- optimalizace potřeby vzduchu za účelem dosažení požadované účinnosti čištění šedých vod, tj. za účelem snížení energetické náročnosti prototypu ČJŠV, porovnání výsledků rozboru vybraných ukazatelů chemického rozboru s ohledem na množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění s konkrétní osazenou membránovou technologií;
- doplnění literatury o další sledované ukazatele chemického a mikrobiologického znečištění z provedených rozborů šedé a bílé vody;
- na základě odzkoušení prototypu ČJŠV je provedeno stanovení okrajových podmínek pro návrh systému využití šedé vody.

Přínosem pro praxi je:

- metodický postup návrhu systému využití šedých vod pro podmínky České republiky;
- software pro metodický postup návrhu systému využití šedých vod, který může být podkladem pro investory, projektanty, zhotovitele a provozovatele těchto systémů v ekologických, úsporných budovách;
- definování kategorií pro ekonomické, ekologické zhodnocení návrhu SVŠV, definování kategorií zhodnocení návrh technologie čištění SVŠV;
- dále pak ověření navrženého systému využití šedých vod na případových studiích využitelnosti.

Dizertační práce se zpracovanou metodikou návrhu systému využití šedých vod může být podkladem pro vědecké pracovníky, projektanty a investory.

7.3 DOPORUČENÍ DALŠÍCH SMĚRŮ VÝZKUMU

Vzhledem k širokému okruhu využitelnosti šedých vod ve vybraných objektech bude možné pokračovat dále ve vývoji a zdokonalování metodiky návrhu systému využití šedých vod se zaměřením na následující směry výzkumu:

- odzkoušení jiného typu membrány za účelem optimalizace potřeby vzduchu, dosažení požadované účinnosti čištění šedých vod, snížení energetické náročnosti systému využití šedé vody;
- rozšíření databáze využitelnosti systému využití šedých vod v dalších objektech se zapracováním vyhodnocení produkce, potřeby a kvality čištěné vody, se zaměřením na korekci empirického koeficientu hodinové nerovnoměrnosti v dané kategorii budov;
- zdokonalování postupů dimenzování vnitřní kanalizace a vnitřního vodovodu pro systémy využití šedých vod;
- rozšíření postupů pro projektování systému využití šedé vody s doplněním o sběr, akumulaci, čištění a zpětné využití dešťové vody;
- odzkoušení dalších moderních postupů čištění šedých vod s využitím ultrafiltrace, nanofiltrace a reverzní osmózy;

- odzkoušení možných způsobů hygienického zabezpečení bílé vody mimo klasickou UV lampu, využití ozonizace vody apod.;
- doplnění systému využití šedých vod o výměník tepla např. u využití šedé vody z prádelen;
- na základě nebezpečí ohrožení zdraví provést rizikovou analýzu systému využití šedých vod ve vybraných objektech.

S aplikací těchto systémů využití šedých vod ve vybraných objektech lze z pohledu vodárenských společností očekávat obavy v dalším snižování množství odběrů pitné vody z veřejných vodovodů, což se promítne do ceny za vodné a stočné.

S rostoucí cenou vodného, stočného a s ohledem na současný trvalý trend snižování nákladů na technologie čištění, bude možné prezentované postupy stále více úspěšně aplikovat v praxi. Tyto skutečnosti zlepší podmínky pro další výzkum a vývoj v této oblasti vodního hospodářství.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] FIŠKOVÁ, Miroslava. Mosaic House: První systém využití šedých vod v ČR, *Materiály pro stavbu*, 02/2011, s. 26-29.
- [2] Návrh normy ČSN 75 6780: *Využití vyčištěných šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích*, listopad 2014.
- [3] Česká republika. In: *Sbírka zákonů České republiky: Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby*. Ministerstvo pro místní rozvoj, 2009.
- [4] UK. British Standard BS 8525-1:2010: *Greywater systems – Part 1: Code of practice*. BSI British Standards. 2010, 46 s.
- [5] DIN 1989 *Regenwassernutzungsanlagen - Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung* (Rainwater harvesting systems - Part 1: Planning, installation, operation and maintenance).
- [6] *National Water Quality Management Strategy, Australian Guidelines For Water Recycling Managing Health and Environmental Risks*, 2006, Natural Resource Management Ministerial Council Environment Protection and Heritage Council Australian Health Ministers Conference.
- [7] KOŽÍŠEK, F.: Šedé vody z pohledu hygienika a legislativy, jejich kvalita a možnost využití. SOVAK, 2012, roč. 21., č. 2, s. 14. ISSN: 1210- 3039.
- [8] Česká republika. In: *Sbírka zákonů České republiky: Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), novela č. 350/2012 Sb.* Ministerstvo vnitra, 2012, s. 4634-4696.
- [9] Česká republika. In: *Sbírka zákonů České republiky: Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, v platném znění, novela č. 115/2012*. Ministerstvo vnitra, 2012, s. 1794-1824.
- [10] ČSN 75 7143 (757143): *Jakost vod. Jakost vody pro závlahu*. Praha: Český normalizační institut, 1992. 24 s.
- [11] ASERSA, Spanish Association for Sustainable Water Reuse: *Spanish Regulations for Water Reuse, Royal Decree 1620/2007 of 7 December*. Universitat Politècnica de Catalunya, UPC. 2011, 29 s.
- [12] CASANOVA, L. M., GERBA, C. P., KARPISCAK, M.: Chemical and microbial, characterization of household greywater. *Journal of Environmental Science and Health, Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental, Engineering*, ©2001 by Marcel Dekker. A36(4), s. 395-401.
- [13] MELOUNOVÁ, M.: Zásobování pitnou vodou v ČR v roce 2008. Sborník konference *Pitná voda 2010*, s. 25-30. W&ET Team, Č. Budějovice 2010. ISBN 978-80-254-6854-8.
- [14] ASIO, spol. s r.o.: Čištění šedých vod a možnost využití energie z nich. *Asio.cz* [online]. 4.12. [cit. 2013-01-01]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/153.cisteni-sedych-vod-a-moznost-vyuziti-energie-z-nich>
- [15] 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.

- [16] DIN 4045: *Abwassertechnik – Grundbegriffe* (Wastewater engineering), 2003. 44 s.
- [17] RACLAVSKÝ, J., HLUŠTÍK, P., BIELA, R., RAČEK, J., BARTONÍK, A.: Hospodaření s šedou a dešťovou vodou v budovách. *Vodní hospodářství*, 2012, roč. 62., č. 2, s. 65-68. ISSN: 1211- 0760.
- [18] BIELA, R.: Šedé vody, jejich kvalita a možnost využití. *SOVAK*, 2012, roč. 21., č. 2, s. 11-13. ISSN: 1210- 3039.
- [19] ASIO, spol. s r.o.: Dělení vod, bílé a šedé vody – nové poznatky a možnosti využití. *Asio.cz* [online]. Plotěný K. 2011. [cit. 2012-09-07]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/55.deleni-vod-bile-a-sede-vody-nove-poznatky-a-moznosti-vyuziti>
- [20] MAUNSELL, F.: *Greywater Recycling & Rainwater Harvesting Feasibility Study Sustainable Eastside*, Groundwork Birmingham, 2004. 36 s.
- [21] Česká republika. In: *Sbírka zákonů České republiky: Zákon č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, novela č. 293/2006 Sb., kterou se mění vyhláška 252/2004 Sb.* Ministerstvo zdravotnictví, 2004 (2006), s. 5402-5422.
- [22] ŠRÁMKOVÁ, Michaela a WANNER Jiří: Opětovné využití vyčištěné odpadní vody. *Sborník konference Pitná voda 2010*. 2010, s. 259 - 264. ISBN 978-80-254-6854-8.
- [23] PIDOU, M.: *Hybrid membrane processes for water reuse*, Cranfield university, School of Applied Science, Department of Sustainable Systems, Centre for Water Science, PhD Thesis, 2006, supervisor: Dr. Bruce Jefferson.
- [24] Oasis design: Common Grey Water Errors and Preferred Practices. *oasisdesign.net* [online]. 2009, ©1997-2012 [cit. 2013-01-01]. Dostupné z: <http://www.oasisdesign.net/greywater/misinfo/index.htm>
- [25] TAČR – projekt TA01020311 *Využití šedé a dešťové vody v budovách*. TAČR, Vysoké učení technické v Brně, ASIO. Pracovní tým: Raclavský, J., Biela, R., Hlušík, P., Raček, J., Vrána, J., Ošlejšková, M., Plotěný, K., Bartoník, A., Piňos, S.2010-2013.
- [26] KOŽIŠEK, F. (2012). *Epidemie (z) šedé vody*. *SOVAK – Časopis oboru vodovodů a kanalizací*, 21(6): 193-194.
- [27] Česká republika. In: *Sbírka zákonů České republiky: Vyhláška č. 238/2011 Sb., o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch*. Ministerstvo zdravotnictví, 2011.
- [28] *Service water reused for toilet flushing*, Berlin Senate Department for Urban Development, 1995 & 2003.
- [29] *WHO guidelines for greywater reuse for different purposes*, WHO/CEHA, 2006.
- [30] *Australian Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines*, Part 4, Clause 43(1), Local Government (Approvals) Regulation, 1999, February 2005.
- [31] *Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing*, January 2010.

SEZNAM PUBLIKOVANÝCH PRACÍ

Články v recenzovaných neimpaktovaných časopisech:

RACLAVSKÝ, J.; BIELA, R.; VRÁNA, J.; HLUŠTÍK, P.; RAČEK, J.; BARTONÍK, A. Greywater and rainwater management in buildings. *Advanced Materials Research*, 2013, roč. 649, č. 649, s. 195-198. ISSN: 1022- 6680.

VRÁNA, J.; RAČEK, J.; RACLAVSKÝ, J.; BARTONÍK, A. Preparation a new Czech Standard ČSN 75 6780 Reuse of greywater and rainwater in buildings and adjoining grounds. In *CLIMA 2013 - 11th REHVA World Congress and the 8th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings*. 1. Praha: STP, 2013. s. 1-4. ISBN: 978-80-260-4001- 9

RACLAVSKÝ, J.; HLUŠTÍK, P.; BIELA, R.; RAČEK, J.; BARTONÍK, A. Hospodaření s šedou a dešťovou vodou v budovách. *Vodní hospodářství*, 2012, roč. 62., č. 2, s. 65-68. ISSN: 1211- 0760.

RACLAVSKÝ, J.; BIELA, R.; HLUŠTÍK, P.; RAČEK, J. Využití šedých a dešťových vod v budovách - projekt TAČR. *SOVAK*, 2012, roč. 21., č. 2., s. 10-11. ISSN: 1210- 3039.

Další články související s tematikou práce:

2015

RAČEK, J. Testování prototypu systému využití šedých vod. In *JUNIORSTAV 2015*. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2015. s. 259-269. ISBN: 978-80-214-5091- 2.

2014

RAČEK, J. MOŽNOSTI APLIKACE SYSTÉMŮ VYUŽITÍ ŠEDÝCH VOD VE VYBRANÝCH PRÁDELNÁCH. In *JUNIORSTAV 2014*. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. s. 279-290. ISBN: 978-80-214-4851- 3.

2013

RAČEK, J. Možnosti čištění šedých vod pro zpětné využití v budovách. In *JUNIORSTAV 2013*. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2013. s. 317-325. ISBN: 978-80-214-4670- 0.

2012

RACLAVSKÝ, J.; BIELA, R.; VRÁNA, J.; HLUŠTÍK, P.; RAČEK, J.; BARTONÍK, A.; *Greywater and rainwater management in buildings*; Buildings and environment; 2012; ISBN: 978-80-214-4505-5.

RAČEK, J. Šedé vody a jejich zpětné využití v budovách. In *JUNIORSTAV 2012*. 1. Brno, ČR: VUT v Brně, Fakulta stavební, 2012. s. 321-329. ISBN: 978-80-214-4393- 8.

RAČEK, J. Ekologické hospodaření s šedou vodou v budovách. *Materiály pro stavbu*, 2012, roč. 18., č. 3, s. 51-55. ISSN: 1213- 0311.

RACLAVSKÝ, J.; HLUŠTÍK, P.; BIELA, R.; RAČEK, J. Hospodaření s šedou a dešťovou vodou v budovách. In *11. Zdravotno-technické stavby - malé vodné diela - krajina a voda*. 1. Bratislava: Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva, Stavebná fakulta STU, 2012. s. 189-193. ISBN: 978-80-89385-22- 5.

2011

RACLAVSKÝ, J.; HLUŠTÍK, P.; BIELA, R.; RAČEK, J. Hospodaření s šedou a dešťovou vodou v budovách. In 10. Zdravotno-technické stavby - Malé vodné diela - Krajina a voda. 1. Bratislava: Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva, 2011. s. 213-219. ISBN: 978-80-89385-17- 1.

BIELA, R.; RACLAVSKÝ, J.; HLUŠTÍK, P.; RAČEK, J. Problematika využití šedých a dešťových vod v budovách. In Vodní systém měst zatížený významnými antropogenními změnami. 1. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2011. s. 16-21. ISBN: 978-80-01-04819- 1.

RACLAVSKÝ, J.; BIELA, R.; HLUŠTÍK, P.; RAČEK, J. Využití šedých a dešťových vod v budovách - projekt TAČR. In Sanhyga 2011. 1. Piešťany: Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia ZSVTS Bratislava, 2011. s. 97-100. ISBN: 978-80-89216-42- 0.

ŽIVOTOPIS

Osobní údaje:

Jméno, příjmení: Jakub Raček
Datum narození, místo nar.: 11.7.1985, Starý Bohumín
Trvalé bydliště: Bzenecká 4166/22, 628 00 Brno
Rodinný stav: Ženatý
Telefon: +420 604 981 530
E-mail: racek.j@fce.vutbr.cz, racek.j@centrum.cz

Vzdělání:

2011 – současnost Doktorský studijní program s kombinovanou formou studia
(prezenční formou studia do roku 2015)
Vysoké učení technické v Brně
Fakulta stavební, Vodní hospodářství a vodní stavby
Veveří 331/95, 602 00 Brno

2008 - 2010 Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Vysoké učení technické v Brně
Fakulta stavební, Vodní hospodářství a vodní stavby
Veveří 331/95, 602 00 Brno

2004 - 2008 Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,
1. až 2. ročník - Všeobecné zaměření
3. až 4. ročník - Vodní hospodářství a vodní stavby
Veveří 331/95, 602 00 Brno

2000 - 2004 Gymnázium Fr. Živného
Jana Palacha 794, 735 81 Bohumín, Nový Bohumín

Vědecká činnost:

2011 - současnost Centrum AdMaS, Ph.D. student;
2011 - 2013 TAČR, TA01020311, Využití šedé a dešťové vody v budovách;
2011 - 2012 Optimalizace návrhu stokových sítí a ČOV pro obce do 2 tisíc obyv.;
2012, 2014 medaile „Signum Prosperitatis“ za významné studentské aktivity;
v doktorském studijním programu FAST VUT v Brně.

Praxe v oboru:

od r. 2014 Člen České komory autorizovaných inženýrů a techniků (ČKAIT),
autorizovaný inženýr pro stavby vodního h. a krajinného inženýrství;

2011 - současnost Centrum AdMaS, Ph.D. student;

2007 - současnost VH atelier spol. s r.o.
Projektová a inženýrská činnost ve vodním hospodářství
Lidická 960/81, 602 00 Brno,
korespondenční adresa Merhautova 1066/216, 613 00 Brno
Středisko inženýrské sítě, www.vhatelier.cz
Pozice – vedoucí projektant Střediska inženýrských sítí IS (3 roky),
dříve samostatný projektant, pomocný projektant.

Dovednosti:

MS Office – pokročilý, Auto Cad – pokročilý, Epanet 2.0 – pokročilý, Atlas DMT – pokročilý, Build Power – pokročilý, Kros 4 – pokročilý, HEC RAS - uživatelská úroveň, MOUSE - uživatelská úroveň, SWMM - uživatelská úroveň, MicroStation – základy.

Jazykové znalosti:

středně pokročilý: angličtina;
základy: ruština, francouzština, polština.

ABSTRAKT

Koncepce opětovného využití odpadní vody v budovách nabývá v poslední době stále většího významu. Suchem a měnícími se klimatickými podmínkami klesá vydatnost zdrojů pitné vody. Šedou vodu můžeme obecně definovat jako málo znečištěnou odpadní vodu z umyvadel, sprch, van, kuchyňských dřezů a praček na prádlo. Koncepce založená na využití alternativních zdrojů vody by nemusela vykazovat tak přísné sledované ukazatele, jako je tomu u vody pitné. Dizertační práce se zabývá šedou vodou z umyvadel, sprch a praček na prádlo, sbíranou odděleně od ostatních odpadních vod a to v objektech jako jsou vysokoškolské koleje, prádelny, hotely, rodinné domy, plavecké bazény, administrativní budovy a další objekty. Výzkum ukázal, že membránová filtrace splňuje všechny potřebné parametry kvality vody a lze ji úspěšně aplikovat v systémech budov, kde vyčištěnou bílou vodu použijeme na splachování toalet, zavlažování zahrady nebo travnatých ploch. Systémy využití šedých vod ve vybraných objektech jsou podrobně řešeny v dizertační práci se zaměřením na návrh systému.

ABSTRACT

The concept of reusing wastewater in buildings has recently become more important. This is due to change in climatic conditions and reduction of the yield of water resources. Greywater can broadly be defined as not extremely polluted wastewater coming from basins, showers, baths, kitchen sinks and washing machines. The concept based on the use of alternative water sources wouldn't need same strict parameters as drinking water. Dissertation engage in collecting greywater from basins, showers and wash machines separately from the other more polluted domestic wastewater at the dorms, the laundry machines, the hotels, detached houses, the swimming pools, the office buildings and other buildings. The research showed that membrane filtration meets all needed parameters of water quality and can be used in house systems where we use cleansed white water to flush toilets, watering garden or grass areas. There is still a lack of experience and documentation for such system of operation in our country. Systems of use of greywater in selected objects are detaily solved in my dissertation directed at system proposal.