



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

DISSERTATION THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. JAKUB RAČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAV RACLAVSKÝ, Ph.D.

BRNO 2016

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.

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.

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.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem dizertační práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu dizertační práce doc. Ing. Jaroslavu Raclavskému, Ph.D. za jeho odborné vedení, cenné rady a připomínky. Dále bych chtěl poděkovat Technologické agentuře České republiky a to v rámci projektu č. TA01020311 s názvem „Využití šedé a dešťové vody v budovách“, na kterém se Vysoké učení technické v Brně spolupodílelo společně s firmou ASIO, spol. s r.o. v roce 2011 až 2013. Autor dizertační práce byl členem řešitelského týmu projektu a podílel se na pracích spojených s projektem, včetně návrhu a odzkoušení prototypu čistící jednotky šedé vody.

OBSAH

1	ÚVOD.....	4
2	CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE	5
3	SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY.....	7
3.1	Použité názvosloví	7
3.2	Potřeba vody ve světě a v České republice.....	7
3.2.1	Současný stav potřeby vody.....	7
3.2.2	Cena vodného a stočného	8
3.2.3	Alternativní zdroje vody	10
3.3	Odpadní vody z domácností	10
3.3.1	Obecná charakteristika odpadních vod z domácností	10
3.3.2	Černé odpadní vody	12
3.3.3	Šedé vody	13
3.3.4	Dešťové vody.....	14
3.4	Problematika zpětného využití šedých vod	14
3.4.1	Úvod do problematiky zpětného využití šedých vod	14
3.4.2	Zdroje znečištění šedé vody.....	16
3.4.3	Zdroje znečištění dešťové vody	16
3.5	Kvalita šedé vody	16
3.5.1	Chemicko-fyzikální vlastnosti šedých vod	17
3.5.2	Nutrienty v šedých vodách	18
3.5.3	Mikrobiologické znečištění šedých vod.....	19
3.5.4	Hygienické požadavky na kvalitu šedých vod	20
3.6	Kvalita dešťové vody	24
3.6.1	Chemicko-fyzikální vlastnosti dešťových vod.....	25
3.6.2	Hygienické požadavky na kvalitu dešťových vod	27
3.7	Srovnání kvality šedých a dešťových vod	29
3.7.1	Srovnání chemických a mikrobiologických ukazatelů šedých a dešťových vod	29
3.7.2	Kvalita šedých a dešťových vod ve vztahu k materiálům rozvodných potrubí.....	30
3.8	Možnosti úpravy šedé vody	31
3.8.1	Obecná charakteristika úpravy šedé vody	31
3.8.2	Systémy s jednoduchou úpravou	33
3.8.3	Systémy s chemickou úpravou.....	36
3.8.4	Systémy s fyzikální úpravou.....	38
3.8.5	Přírodní postupy čištění	41
3.8.6	Systémy s biologickou úpravou	43
3.8.7	Membránový proces čištění šedých vod	46
3.9	Možnosti úpravy dešťové vody	49
3.9.1	Obecná charakteristika úpravy dešťové vody	49
3.9.2	Svodové a podokapové filtry	49
3.9.3	Interní filtrační vložky	50
3.9.4	Externí filtrační šachty	50
3.10	Faktory ovlivňující účinnost čištění	51

3.11	Získávání tepla z odpadní vody.....	52
3.11.1	Úvod do problematiky rekuperace tepla z odpadních vod.....	52
3.11.2	Lokální systémy rekuperace tepla.....	52
3.11.3	Centrální systémy rekuperace tepla	53
3.12	Stanovení množství šedé vody	53
3.12.1	Úvod do problematiky stanovení množství šedé vody	53
3.12.2	Metoda založená na teorii pravděpodobnosti.....	55
3.12.3	Metody založené na zpracování a vyhodnocení naměřených údajů	55
3.13	Objekty vhodné pro instalaci systému využití šedých vod s uvedením kvality ŠV	57
3.13.1	Obecná charakteristika výběru objektů pro instalaci systému využití šedých vod	57
3.13.2	Hotel	58
3.13.3	Nemocnice	58
3.13.4	Vysokoškolské koleje	59
3.13.5	Lázně	59
3.13.6	Administrativní budovy	59
3.13.7	Prádelna	60
3.13.8	Rodinný dům	60
3.14	Kritická rešerše	60
4	PROJEKT TAČR Č. TA01020311 VYUŽITÍ ŠEDÉ A DEŠŤOVÉ VODY V BUDOVÁCH.....	63
4.1	Vybrané výstupy z projektu TAČR.....	64
4.1.1	TAČR, stanovení bilančního množství šedých vod	64
4.1.2	TAČR, stanovení kvality šedých vod	73
5	METODIKA NÁVRHU SYSTÉMU VYUŽITÍ ŠEDÝCH VOD	80
6	VLASTNÍ ŘEŠENÍ DIZERTAČNÍ PRÁCE.....	81
6.1	Stanovení okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod.....	81
6.1.1	Stanovení bilančního množství šedých vod	81
6.1.2	Stanovení kvality šedých vod	81
6.1.3	Stanovení způsobu čištění šedých vod.....	81
6.1.4	Návrh prototypu čistící jednotky systému využití šedých vod	82
6.1.5	Odzkoušení prototypu čistící jednotky v laboratorních podmínkách.....	92
6.1.6	Odzkoušení prototypu ČJŠV v reálných podmínkách	97
6.1.7	Vyhodnocení měření z I. etapy testování prototypu ČJŠV	104
6.1.8	Vyhodnocení měření z II. etapy testování prototypu ČJŠV	106
6.1.9	Závěry z vyhodnocení měření I. a II. etapy testování	112
6.1.10	Stanovení okrajových podmínek pro metodický postup návrhu systému využití šedých vod	129
6.2	Metodický postup návrhu systému využití šedých vod.....	131
6.2.1	Posouzení lokality pro návrh systému využití šedých vod	132
6.2.2	Stanovení okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod	133
6.2.3	Ekonomické zhodnocení návrhu systému využití šedých vod.....	143
6.2.4	Ekologické zhodnocení návrhu systému využití šedých vod.....	145
6.2.5	Technický návrh systému využití šedých vod	146
6.2.6	Realizace systému využití šedých vod.....	152
6.2.7	Provozování systému využití šedých vod	153
6.2.8	Závěr, metodický postup návrhu systému využití šedých vod.....	154
6.3	Studie využitelnosti na vybraných lokalitách	155
6.3.1	Výběr vhodné lokality pro aplikaci systému využití šedých vod.....	155

6.3.2	Vysokoškolské koleje v Brně s potřebou bílé vody 510 m ³ a 1650 m ³ za měsíc	156
6.3.3	Prádelna v Brně s potřebou bílé vody 240 m ³ za měsíc	162
6.3.4	Prádelna v Hodoníně s potřebou bílé vody 500 m ³ za měsíc	163
6.3.5	Prádelna v lázních s potřebou bílé vody 363 m ³ za měsíc	165
6.3.6	Více generační rodinný dům v Břeclavi	167
6.3.7	Závěr, zhodnocení vhodnosti využitelnosti systému využití šedé vody	168
7	SHRNUTÍ A PŘÍNOSY DIZERTAČNÍ PRÁCE	170
7.1	Shrnutí	170
7.2	Přínosy pro vědní obor a praxi	171
7.3	Doporučení dalších směrů výzkumu	172
	POUŽITÁ LITERATURA	174
	SEZNAM TABULEK	189
	SEZNAM OBRÁZKŮ	193
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	195
	SUMMARY	197
	PŘÍLOHY	198

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.

Šedé vody, tedy vody ze sprch, praček a umyvadel, nejsou obvykle nadměrně znečištěny [2]. Šedé vody obvykle neobsahují fekálie a moč. Čištění šedých vod vyžaduje základní čistící procesy spočívající v odstranění tuků, sedimentaci, filtraci a dezinfekci. Takto vyčištěná bílá voda se použije zejména pro splachování toalet, závlahu zahrad, travnatých ploch, k úklidu, praní prádla nebo k jiným provozním, technologickým účelům. Produkce šedé vody z domácností tvoří až 35 % [3] z celkové potřeby vody domácností. Speciálními druhy šedých vod jsou odpadní vody z kuchyní a z praní prádla.

Pro doplnění systému využití šedých vod ve vybraných objektech je možné použít také vodu dešťovou, shromážděnou z nepropustných povrchů. Čištění dešťové vody spočívá v základních čistících procesech jako je sedimentace, filtrace a dezinfekce. Systém s využitím dešťové vody je ale závislý na mnoha faktorech, zejména na množství a intenzitě dešťových srážek.

Cíle dizertační práce vycházejí ze zpracované rešerše, viz kapitola 3.14, 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

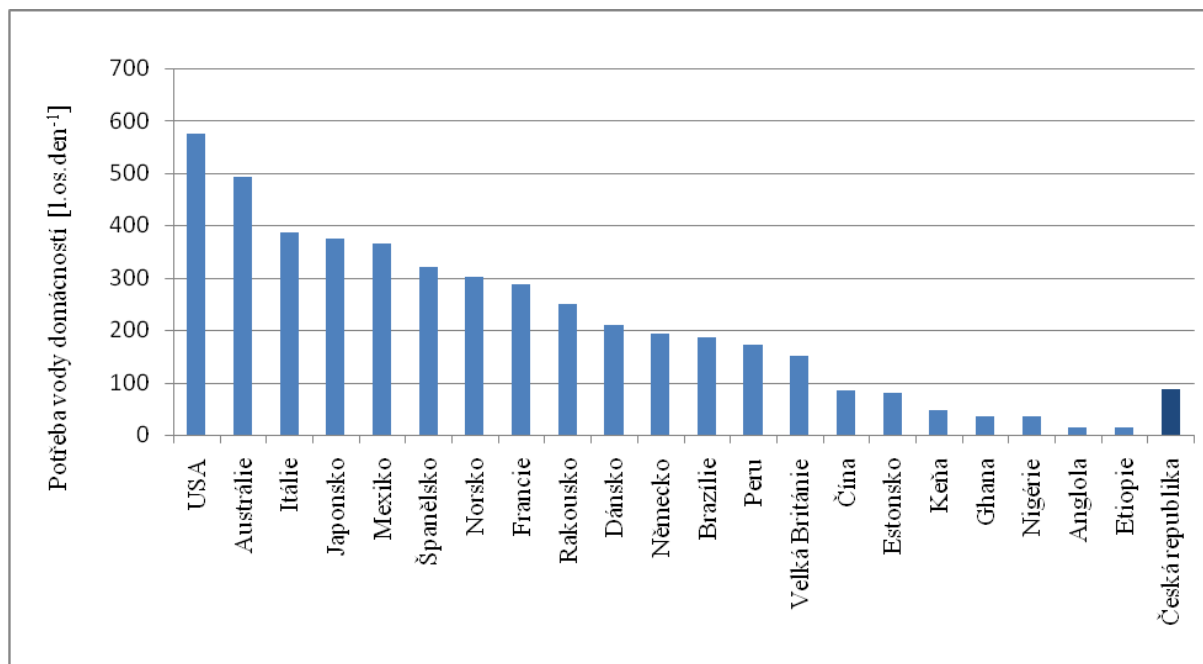
3.1 POUŽITÉ NÁZVOSLOVÍ

Šedá voda:	splašková odpadní voda neobsahující fekálie a moč [33], zpravidla odpadní voda ze sprchy, vany, umyvadla na mytí rukou.
Splašková odpadní voda:	odpadní voda z kuchyně, prádelny, koupelny, záchodu a podobných prostorů [33].
Černá voda:	splašková odpadní voda obsahující fekálie a moč [33].
Žlutá voda:	splašková odpadní voda pocházející z moči.
Provozní voda:	voda pro různé provozní účely, jejíž jakost odpovídá příslušnému způsobu využití, může se např. jednat o dešťovou nebo bílou vodu, kterou je zásobováno potrubí oddílného vnitřního vodovodu, provozní voda není dodávána z vodovodů pro veřejnou potřebu.
Bílá voda:	provozní voda vytvořená čištěním a dezinfekcí šedé vody.

3.2 POTŘEBA VODY VE SVĚTĚ A V ČESKÉ REPUBLICE

3.2.1 Současný stav potřeby vody

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.

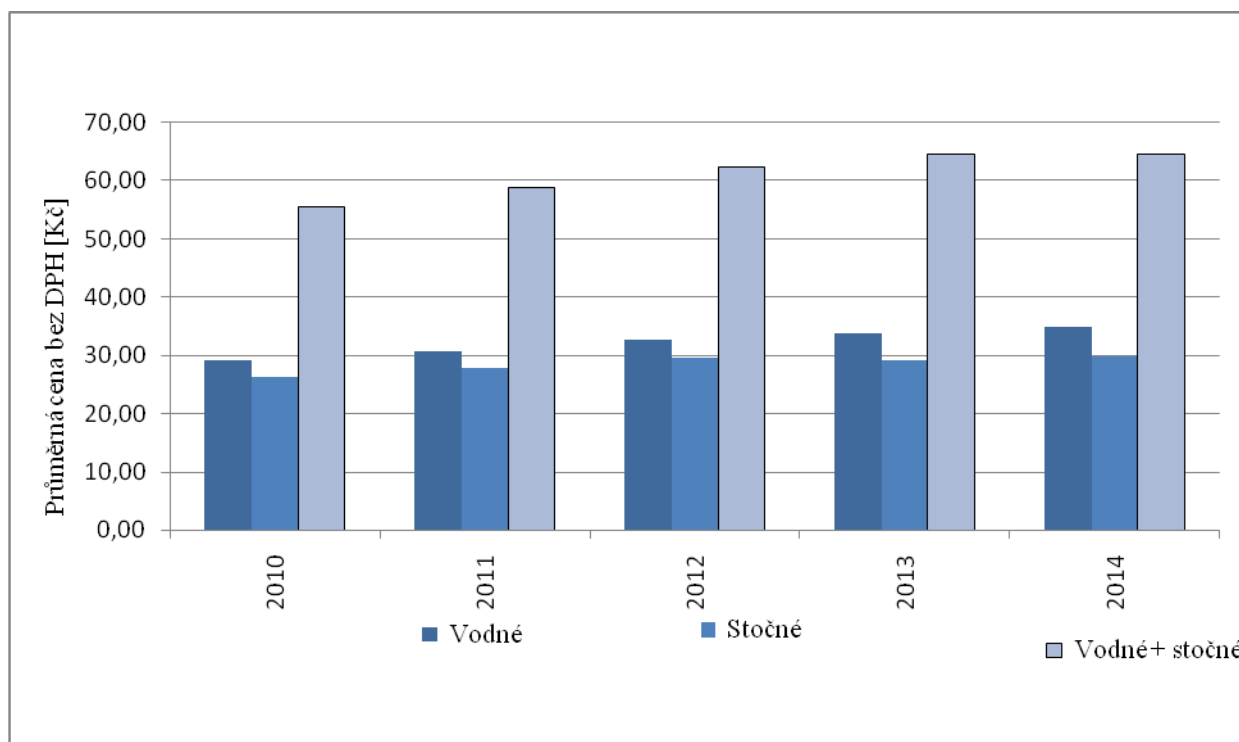


Obr. 3.1 Průměrná spotřeba vody domácností ve světě a v České republice (průměr z let 2006 – 2014)
[17][18][19][21]

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 [15]. Ve srovnání s vyspělými státy Evropské unie je potřeba vody u nás nižší, obdobně je to ve srovnání s vyspělými státy světa. Hodnoty specifické spotřeby vody domácností ve světě a v České republice jsou zobrazeny v Obr. 3.1 [17][18][19][20]. V posledních letech u domácností celková spotřeba opět mírně stoupá. Děje se tak v důsledku napojování dalších odběratelů na veřejné vodovody. Odběry se ale dál snižují v průmyslu, kde se omezuje výroba a nové výrobní průmyslové areály jsou v potřebě vody pokud možno maximálně úsporné. Mezi evropskými zeměmi je vysoká spotřeba vody ve Velké Británii. Zde činí potřeba vody na obyvatele $343 \text{ l.os.den}^{-1}$. Spotřeba vody se s přírůstkem světové populace znatelně zvyšuje, od roku 1940 do roku 2006 se spotřeba vody na Zemi zvýšila čtyřikrát [16].

3.2.2 Cena vodného a stočného

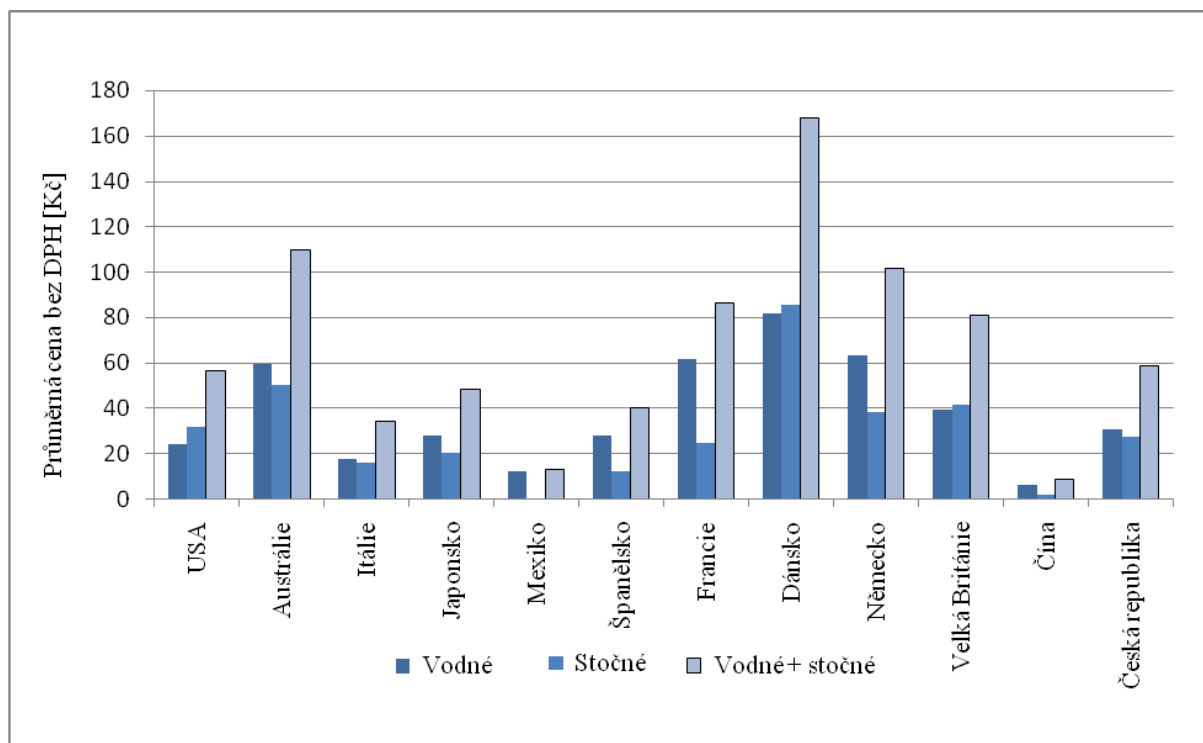
Za vodu se v České republice platí stále výrazně méně než ve státech západní Evropy a to i přes zvyšující se tendenci, viz Obr. 3.2 [20] a Obr. 3.3 [26]. Česká republika, na rozdíl od jiných zemí, stále naplňuje princip doporučený Světovou zdravotnickou organizací a Světovou bankou, který upozorňuje na to, že ceny vodného a stočného by měly zůstat sociálně únosné pro obyvatelstvo. Výdaje domácností za vodné by neměly překračovat 2 procenta jejich hrubého průměrného příjmu [16].



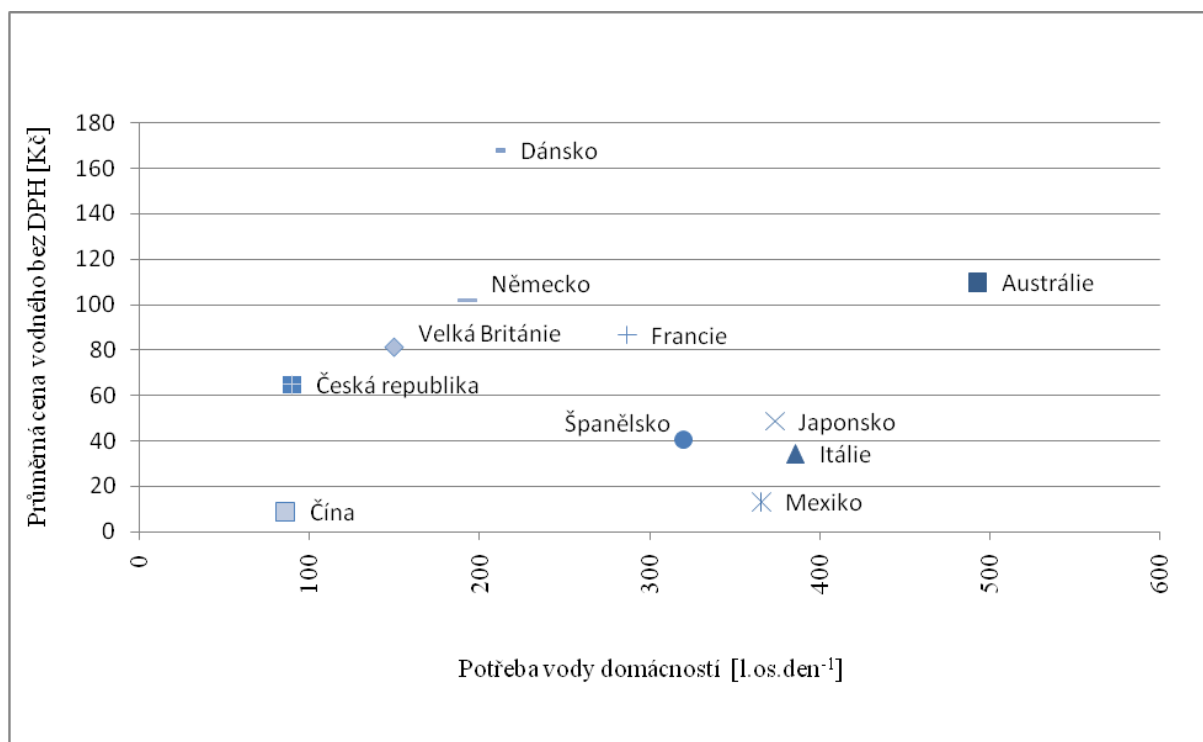
Obr. 3.2 Vývoj cen vodného a stočného v České republice v letech 2010 – 2014 [21][22][23][24][25]

V porovnání s jinými státy Evropské unie, nejvíce za vodné pro domácnosti zaplatí Dánsko, v přepočtu cca 82 Kč, dále pak Německo a Francie, kde za m^3 zaplatí v přepočtu 62 Kč. V porovnání s mimoevropskými zeměmi, vyjde cena za dodávku vody výrazně levněji. Nejdražší vodu mimo EU mají v Austrálii, kde vodné za m^3 vyjde v přepočtu na cca 60 Kč, dále pak můžeme zmínit Japonsko s cca 28 Kč, USA s 24 Kč. Mezi státy s nejlevnějším vodným můžeme zařadit Mexiko a Čínu, kde vodné za m^3 dosahuje hodnoty cca 12 Kč a 7 Kč. Přehled nákladů za vodné je uveden v Obr. 3.3 [26]. Nejlevnější dodávky vody jsou

distribučovány v Indii, kde se za m^3 vody platí jen 1,6 Kč. Irsko poskytuje občanům pitnou vodu zdarma [16].



Obr. 3.3 Porovnání ceny vodného a stočného ve vybraných zemích v roce 2011[24][25][26]



Obr. 3.4 Porovnání množství a ceny vodného ve vybraných zemích v roce 2011 [26]

S cenami stočného je to obdobné jako u cen vodného, nejvyšší stočné v EU zaplatí v Dánsku, za m^3 čištění odpadní vody cca 86 Kč, což nepatrně převyšuje cenu vodného. Naopak v Německu a ve Francii je cena za stočné výrazně nižší než za vodné a to 39 Kč a 25 Kč. Srovnatelná cena vodného a stočného je ve Velké Británii, kde m^3 vychází na cca 39 Kč za vodné a 42 za stočné. V mimoevropských zemích jsou náklady za stočné ve většině případů

nižší než za vodné, výjimku tvoří USA, kde m³ stočného stojí cca 32 Kč. Nejvyšší stočné mají Austrálii a to cca 50 Kč. Přehled nákladů za stočné je uveden v Obr. 3.3 [26]. Mezi státy s nejlevnějším stočným patří Mexiko, Čína a Jižní Korea. V Indii je stočné zdarma [16].

Dalším ukazatelem hospodaření s vodou je porovnání množství a ceny vody ve vybraných zemích světa, viz Obr. 3.4 [26]. Z grafu je patrné, že státy s nižší cenou vody mají vyšší potřebu vody, než státy s vyšší cenou. Tato podmínka ovšem neplatí pro Austrálii, kde je nižší podíl vydatných zdrojů surové vody v porovnání se zvýšenou poptávkou po vodě na zalévání zahrad.

Jak vyplývá z přehledu Global Water Intelligence 2009 (dále GWI) [27], ceny vodného a stočného ve světě stále rostou. Průměrná cena vodného a stočného ve 266 významných městech světa, sledovaných v rámci průzkumu GWI 2009, činí cca 36 Kč. Největší nárůst lze pozorovat ve východní Evropě a centrální Asii. Jednou z hlavních příčin byla rychlá devalvace místních měn. Ve 27 státech USA, zahrnutých v přehledu GWI 2009, byl vykázán průměrný nárůst o 6,5 %, přičemž inflace ve sledovaném období činila 1,4 %. I tak zůstaly ceny vodného a stočného o více než polovinu nižší, než kupříkladu v severní Evropě. Navzdory těmto příznivým cenám zaplatí americký spotřebitel za vodné a stočné výrazně více než spotřebitel v Evropě. Důvodem je přibližně trojnásobně vyšší potřeba vody. V České republice došlo v období od června 2008 do června 2009 k navýšení cen vodného a stočného o 6,4 % [28], mezi roky 2010 do 2011 o 5,6 % [24][25], a mezi roky 2011 do 2012 o 5,8 % [21][24].

3.2.3 Alternativní zdroje vody

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.

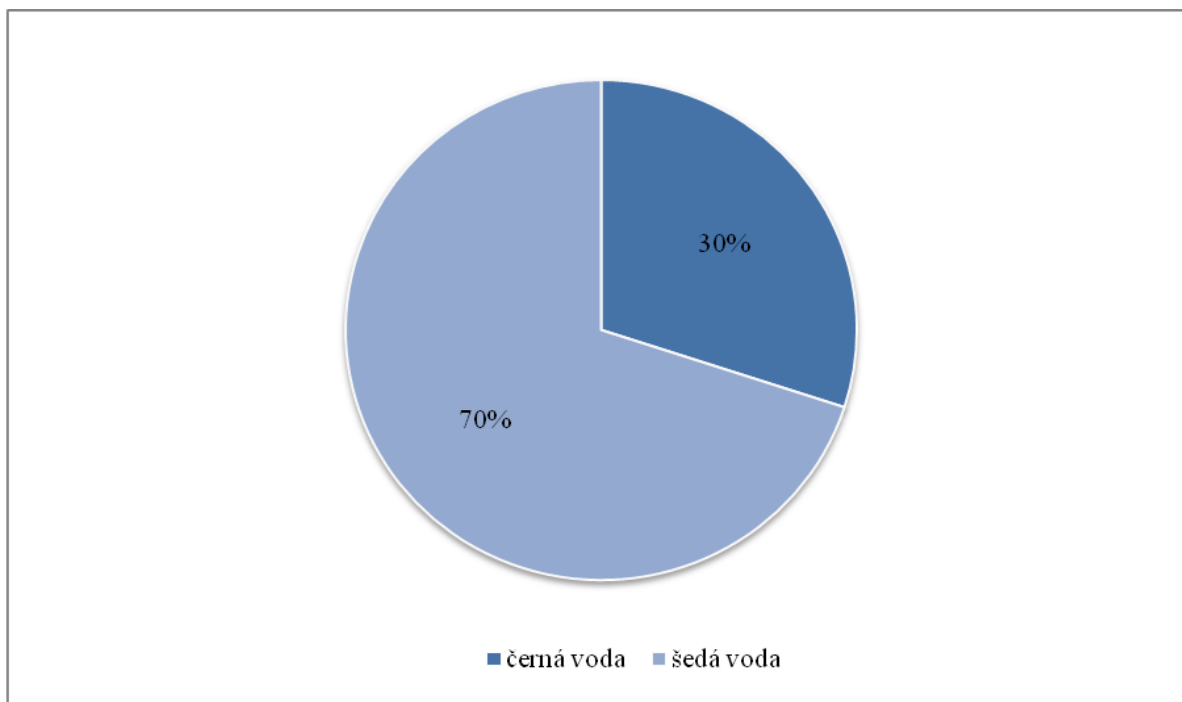
Mezi významné alternativní zdroje vody řadíme šedou vodu, která je mírně znečištěnou odpadní vodou z provozu vybraných objektů. Po úpravě lze tento zdroj, tedy bílou vodu, použít např. pro splachování toalety, zalévání zahrady nebo pro závlahu travnatých ploch. Problematikou metodického návrhu systému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

3.3 ODPADNÍ VODY Z DOMÁCNOSTÍ

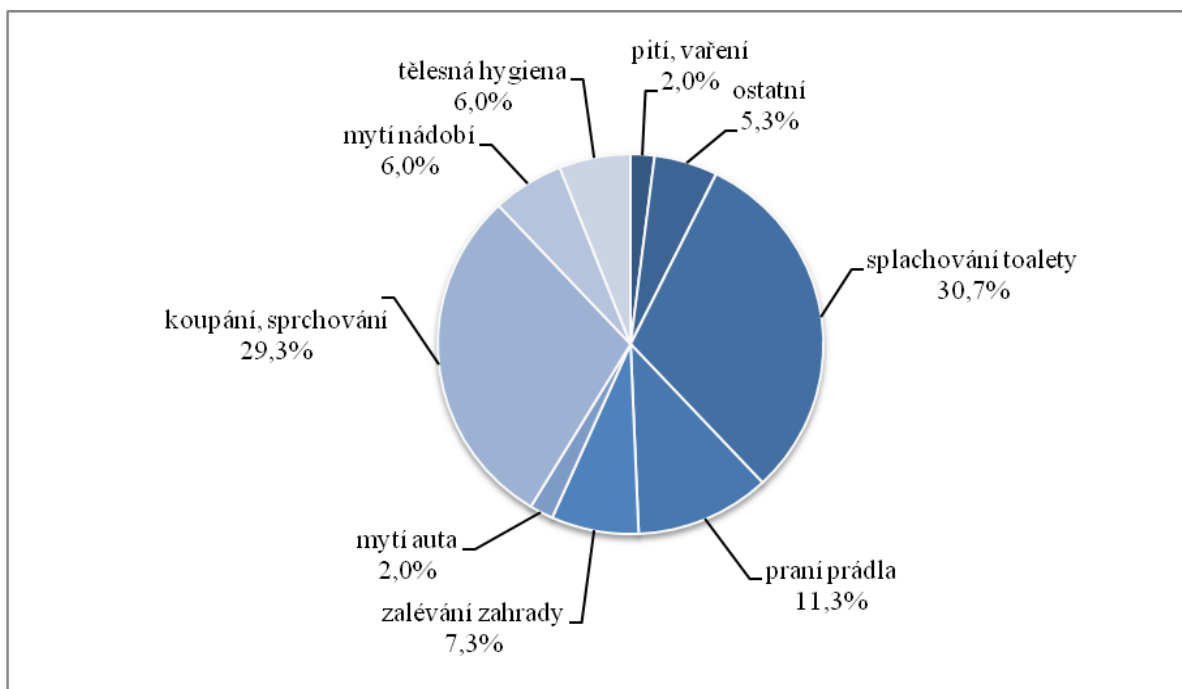
3.3.1 Obecná charakteristika odpadních vod z domácností

Odpadní voda je voda, která při použití změní svoje fyzikální nebo chemické vlastnosti a pokud může ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Odpadní vody z domácností

jsou od místa svého vzniku (zařizovací předměty, střecha budovy apod.), prostřednictvím vnitřní kanalizace budovy, svedeny do kanalizační přípojky, jímky na vyvážení nebo domovní čistírny odpadních vod (DČOV).



Obr. 3.5 Porovnání produkce šedé a černé vody z provozu domácnosti [31]



Obr. 3.6 Podrobné rozdělení průměrné denní potřeby vody z provozu domácnosti [32]

Odpadní vody z domácností můžeme podle místa vzniku roztrždit 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.

Hlavní podíl znečišťujících látek splaškových odpadních vod připadá na moč a na fekálie. Až 80 % organických látek ve splaškových vodách pochází z moče a fekálií [29].

Odpadní vody z domácností můžeme také rozdělit podle produkce šedé a černé vody, viz Obr. 3.5 [31], dále pak podle místa potřeby vody, viz Obr. 3.6 [32]. Z grafu rozdělení průměrné denní potřeby vody je patrné zastoupení šedé vody v rozsahu cca 50 % z celkové potřeby vody domácností.

3.3.2 Černé odpadní vody

Černá voda je dle ČSN EN 12056-1 až 5: *Vnitřní kanalizace – Gravitační systémy – část 1 až 5* [33] splašková odpadní voda, která obsahuje fekálie a moč. Odborná literatura někdy uvádí dělení na hnědou a žlutou odpadní vodu [35][36], což představuje rozdělení odpadní vody na splaškové odpadní vody, respektive fekálie z toalety a znečištění močí z pisoáru. Pokud budeme uvažovat průměrnou denní potřebu vody na jednoho obyvatele na den, na sušinu fekálií připadá ve splaškové vodě průměrně asi 330 mg.l⁻¹, tj. asi 300 mg.l⁻¹ organických látek. Sušinu fekálií tvoří zbytky střevních bakterií, lipidy, bílkoviny, polysacharidy a jejich rozkladné produkty. Na anorganické látky připadá asi jenom 10 % sušiny. Množství anorganického dusíku je podstatně menší než množství vylučované močí. Fosfor je přítomen převážně v nerozpuštěné formě, vázaný na Ca a Mg [29].

Hnědé a žluté vody jsou pro zpětné využití vyčištěných odpadních vod ve vybraných objektech, vzhledem k vysokému znečištění, problematickému a drahému čištění, nevýhodné.

Žluté odpadní vody

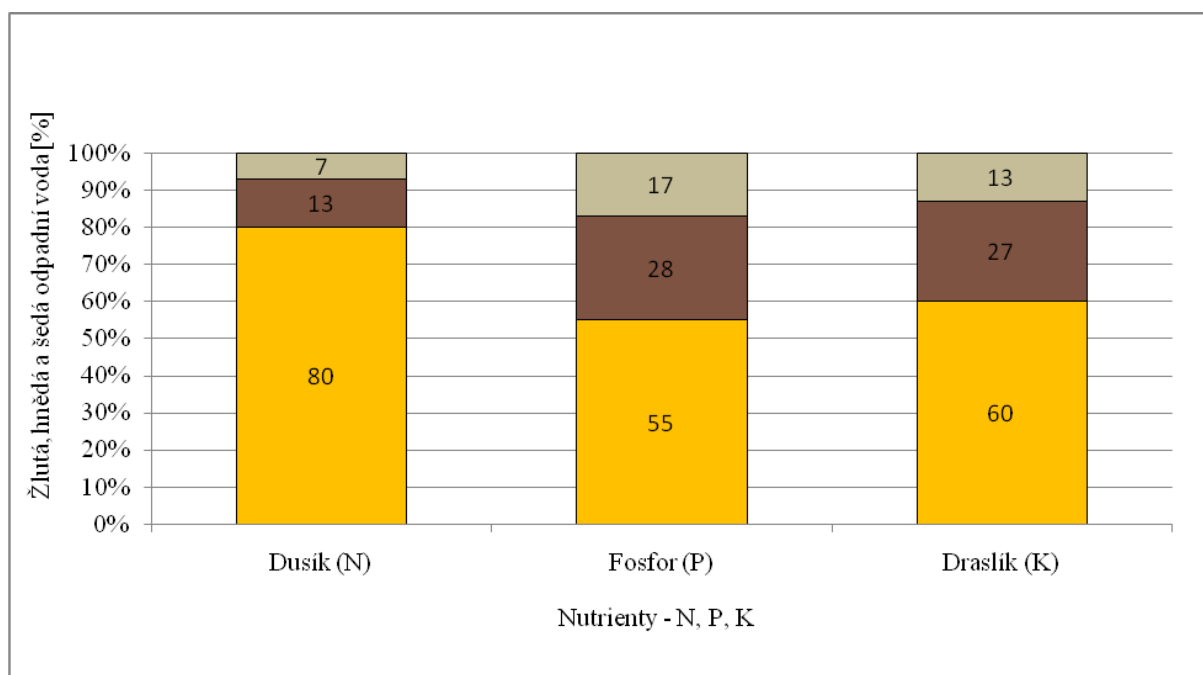
Člověk vylučuje denně 0,6 až 2,0 l moči, průměrně asi 1,5 l o sušině 60 g, což je o něco menší množství, než každý jedinec vypije [29]. Když moč opustí lidské tělo, je kontaminována látkami, které se nacházejí na povrchu, po kterém je dále dopravována (v klasických toaletách se dostává do kontaktu s fekáliemi) a přestává být sterilní. Na rozdíl od fekálií moč sama o sobě neobsahuje bakterie, plísňe nebo viry. Barvu moči může ovlivnit celá řada faktorů. Moč se skládá z vodního roztoku metabolických odpadů (např. močovina, někdy nazývaná urea, CH₄N₂O), rozpuštěných solí a organických látek. Moč obsahuje velké množství močoviny, která může být využita jako zdroj dusíku pro rostliny a je užitečný urychlováč kompostu [37].

Hnědé odpadní vody

Hnědé odpadní vody jsou vody z toalety obsahující fekální znečištění. Člověk vyprodukuje asi 120 až 330 g fekálií za den, z čehož na sušinu připadá asi 30 až 75 g. Průměrně můžeme uvažovat s 250 g fekálií o sušině 50 g na jednoho obyvatele na den. Sušina je z 90 % tvořena látkami organickými [29]. Hnědé odpadní vody vzhledem ke svému fekálnímu znečištění představují vysoké hygienické riziko.

Porovnání nutrientů ve žluté, hnědé a šedé odpadní vodě

Pod pojmem nutrienty v odpadní vodě rozumíme anorganické sloučeniny dusíku, fosforu a draslíku. Všechny tyto tři základní nutrienty se nacházejí nejenom v moči, ale i ve fekáliích, které jsou vylučovány z lidského organismu, rozdíl je v jejich poměru, jak znázorňuje Obr. 3.7 [37]. Nutrienty se v moči nacházejí ve formách, které jsou pro rostliny snadno využitelné. Fosfor je zastoupen převážně ve formě sulfátových iontů, dusík se z moči snadno degraduje na amonium a nitráty. Proto se moč někdy považuje za ideální biologické hnojivo [37].



Obr. 3.7 Porovnání nutrientů N, P, K ve žluté, hnědé a šedé odpadní vodě (dělení podle barvy) [37]

3.3.3 Šedé vody

Šedou vodou nazýváme podle ČSN EN 12056 [33] a DIN 4045 Abwassertechnik – Grundbegriffe [34] splaškové odpadní vody neobsahující fekálie a moč. Šedé vody z domácností tvoří významný podíl produkce odpadní vody z provozu domácností, viz Obr. 3.6. [32]. 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 navyšovalo 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.

3.3.4 Dešťové vody

Jedná se o přirozenou srážkovou vodu, která nebyla znečištěna využitím, ale změnila svoje chemické a fyzikální vlastnosti. Před dopadem na zemský povrch obsahuje dešťová voda řadu látek, které získala průchodem atmosférou. Jedná se v převážné většině o plynné skupenství látek. Dešťové vody je možné úspěšně aplikovat v systému využití odpadní vody a to buď samostatně v systému využití dešťové vody, nebo v kombinovaném systému využití šedých a dešťových vod ve vybraných objektech.

Dešťová voda se po dopadu na povrch konstrukce obohacuje o další látky, které dále unáší při své cestě ze střechy budovy nebo zpevněné plochy. Kvalita dešťové vody závisí na druhu povrchu, ze kterého dešťová voda stéká. Dešťová voda odtékající ze střechy budovy se obohacuje o rozpuštěné oxidy a může měnit i své pH. Při styku se střechou budovy nebo zpevněné plochy je ovlivňována řadou dalších organických i anorganických látek. Může se jednat např. o ptačí trus, listí, pyl, prach. Dešťová voda, která odtéká ze zpevněných ploch parkovišť, může být navíc znečištěna ropnými látkami.

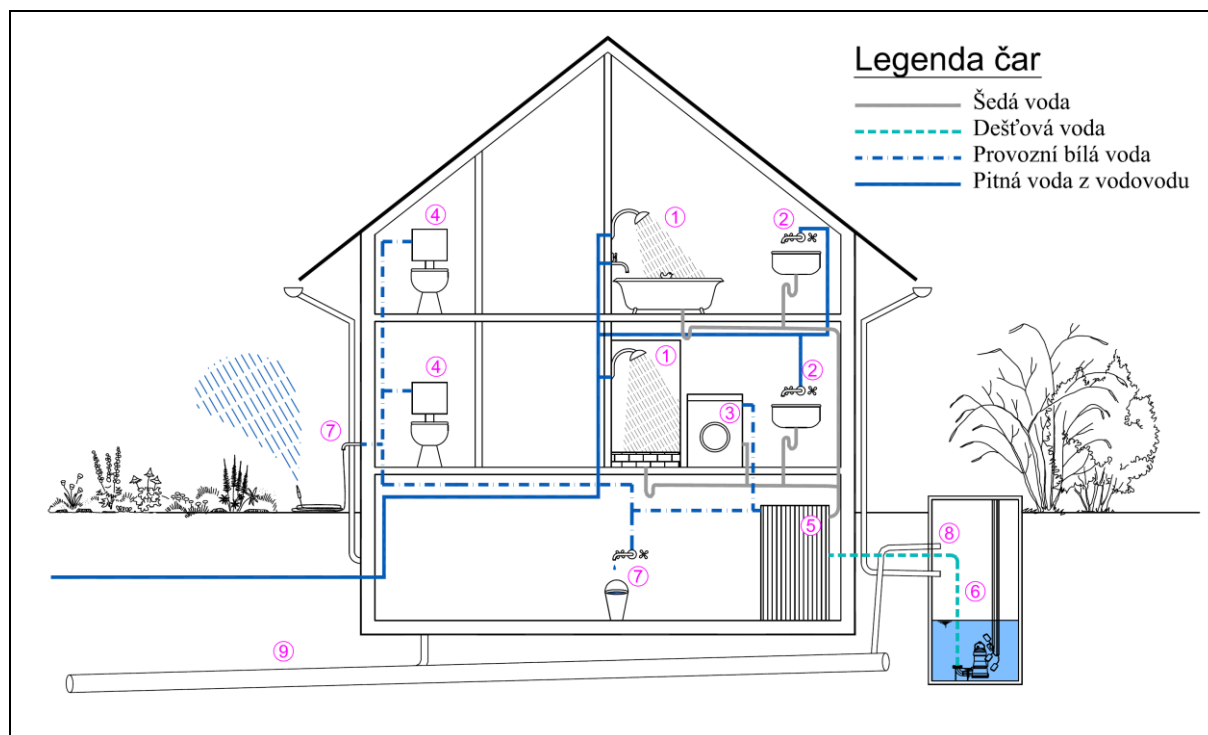
Dešťová voda byla od nepaměti, po mnoho tisíciletí, využívána a skladována jako zásobárna vody pro nespočet komunit po celém světě. V minulých stoletích byla voda z řek (a často i z podzemních zdrojů) často kontaminována fekálním znečištěním, což v mnoha případech vedlo k vypuknutí cholery či úplavice. Sběr a znovu užití dešťové vody bylo v té době bráno jako méně riskantní zdroj z pohledu hygienické nezávadnosti. Pravděpodobně z těchto důvodů je i dnes dešťová voda vnímaná většinou lidí jako čistý, čerstvý zdroj vody. Uplatnění v našich podmínkách lze zpozorovat v systémech využití dešťové vody rodinných domů nebo v zahrádkářských koloniích, kde se dešťová voda hojně sbírá a využívá pro zalévání zahrady.

3.4 PROBLEMATIKA ZPĚTNÉHO VYUŽITÍ ŠEDÝCH VOD

3.4.1 Úvod do problematiky zpětného využití šedých vod

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 nadmíru 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. Úprava dešťové vody spočívá opět v základních mechanických čistících procesech, jako je sedimentace, filtrace a hygienické zabezpečení. Obvykle dešťové vody obsahují méně znečišťujících látek než vody šedé. Nicméně systém využití dešťové vody je silně závislý na množství a intenzitě srážek, klimatických podmínkách, což má návaznost na velikost akumulací nádrže. Z výše uvedených důvodů není nejvýhodnější užívat systému využití odpadních vod jen s dešťovou vodou, ale dešťové a šedé vody využívat za určitých okolností v kombinovaném systému využití šedých a dešťových vod, viz Obr. 3.8 [38], který znázorňuje koloběh vody v budově.



Obr. 3.8 Koloběh vody v budově [38]

(legenda: 1-sprcha, 2-umyvadlo, 3-pračka, 4-toaleta, 5-čisticí 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 [39].

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 [40]. V zahraniční odborné literatuře se můžeme setkat s pojmem „green water“ [41]. 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.

3.4.2 Zdroje znečištění šedé vody

Podle ČSN EN 12056 [33] a DIN 4045 [34] je šedá voda komunální voda bez fekálií a moče. Jedná se např. vody z van, sprch, umyvadel a výlevků. Za komunální vody od obyvatelstva lze považovat i vody z hotelů, restaurací a obdobných ubytovacích zařízení a míst, kde se lidé shromažďují. Šedé vody je možné rozdělit podle toho, kde vznikly nebo za jakým účelem byly použity.

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.

3.4.3 Zdroje znečištění dešťové vody

V současné době patří mezi hlavní problémy v České republice, ale i ve většině členských států EU, problém se znečištěním zejména prachovými částicemi a ozonem. V oblastech s vysokou automobilovou dopravou ve velkých městech (Praha, Brno, Ostrava) a s vysokou koncentrací průmyslu (oblast Ústeckého kraje, oblast okolí města Ostravy) představuje problém znečištění zplodinami, polyaromatickými uhlovodíky a oxidem uhličitým [42].

Znečišťující látky v atmosféře jsou jednou z příčin znečištění dešťového odtoku. Během deště dochází k vymývání látkového znečištění ve vzduchu a tím k čištění atmosféry. Dešťová voda není tedy čistý kondenzát, odráží jak přirozené pozadí zemského povrchu, tak i antropogenní znečištění především kouřovými plyny a dopravou. Látky obsažené v atmosféře mohou být přenášeny na velké vzdálenosti. V dešťové vodě se tak projevují jak vlivy ze vzdálených oblastí, tak i lokální znečištění. Kyseliny a kyselinotvorné látky, pocházející převážně z antropogenních zdrojů znečištění, převažují nad zásaditými látkami pocházejícími z přirozeného prostředí. Zdrojem kyselin jsou především sloučeniny síry a sloučeniny dusíku ze spalování fosilních paliv, z výfukových plynů motorových vozidel, a mikrobiální denitrifikací v půdě a ve vodě. Sloučeniny chloru vznikají ze spalování umělých hmot s obsahem PVC. K ostatním látkám patří především těžké kovy a organické látky. Na střeších budov a zpevněných ploch se v bezdeštném období hromadí značné množství látek organického a anorganického původu. Jedná se o částice prachu, listí, větve, pyl, mechu, dále pak hmyz a případně fekální znečištění trusem od ptactva. V případě sběru dešťové vody je potřeba tyto látky eliminovat zachycením tzv. prvního splachu. Pro zachycení znečištění je vhodné osadit okapový filtr, podokapní filtrační hrnec, šachtu s košem apod. Dešťová voda dopadající na povrch střechy nebo zpevněné plochy reaguje také s materiálem, po kterém stéká a následně mění své fyzikální a chemické vlastnosti. Tímto se dešťová voda stává vodou odpadní. Znečištění, které v důsledcích reakcí vzniká, je ovlivněno typem a materiálem střechy a zpevněné plochy [43][44].

3.5 KVALITA ŠEDÉ VODY

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 [45] v platném znění. Posouzení, zda je vhodné využít vyčištěnou odpadní vodu, by probíhalo individuálně se zohledněním požadavků na kvalitu vody v dané oblasti využití [46], 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.

3.5.1 Chemicko-fyzikální vlastnosti šedých vod

Chemicko-fyzikální vlastnosti šedých vod jsou uvedeny v tabulce Tab 3.1, kde k jednotlivým chemicko-fyzikálním ukazatelům odpovídá hodnota pro jednotlivé kategorie zdrojů šedých vod. Jedná se o šedou vodu rozdělenou dle zdroje:

- pračky;
- vany, sprchy a umyvadla;
- kuchyňský dřez a myčky na nádobí;
- neseparovaná šedá voda.

Tab 3.1 Vybrané chemicko-fyzikální vlastnosti šedých vod

Chemicko-fyzikální ukazatel	Jednotka chem.-fyz. ukazatele	Pračky	Vany, sprchy a umyvadla	Kuchyňský dřez a myčky na nádobí	Neseparovaná šedá voda
pH	-	9,3 – 10,0	5,0 - 8,6	6,3 - 7,4	6,1 - 8,4
Teplota	°C	28 - 32	18 - 38	-	-
Barva	Pt.C ⁻¹	50 - 70	60 - 100	-	-
Zákal	NTU	14 - 296	20 - 370	-	-
Plovoucí látky	mg.l ⁻¹	79 - 280	7 - 120	134 - 1 300	-
NL	mg.l ⁻¹	-	-	-	45 - 330
BSK ₅	mg.l ⁻¹	48 - 682	19 - 200	669 - 756	41 - 194
CHSK _{Cr}	mg.l ⁻¹	375	64 - 8 000	26 - 1 600	495 - 623

Pozn: hodnoty použity z literatury [47][48][49][50][51][52][53][54][55][56][57][58][59][60][61][169]

tabulka je doplněna o vlastní rozbor v rámci vlastního řešení dizertační práce

Teplota, pH

U komunálních vod se pH pohybuje v rozmezí 7,0 až 8,0. U vod šedých s podílem šedých vod z praní je pH 9,3 – 10,0. Dále pak u šedých vod z van, sprch a umyvadel v rozmezí pH 5,0 – 8,6 a u šedé vody z kuchyňského dřezu a myčky nádobí v rozmezí pH 6,3 – 7,4. Jedná se o pH tedy spíše kyselé nebo mírně zásadité. Podobné hodnoty pH v rozmezí 6,1 – 8,4 má i neseparovaná šedá voda [62].

Teplota šedých vod z praček kolísá mezi 28 až 32°C, z van, sprch a umyvadel mezi 18 až 38°C, neboť pro hygienické účely je používána teplá voda. Následkem vyšší teploty však dochází k rozvoji mikroorganismů [62] a je potřeba pro návrh systému využití šedých vod ve vybraných objektech s touto skutečností uvažovat.

Barva, zákal, plovoucí látky

Co se týká barvy a zákalu šedých vod, jsou tyto hodnoty o něco vyšší u vod z koupelen než u vod z praček. Naopak šedé vody z praček vykazují vyšší množství plovoucích látek (např. vlákna) než vody z van, sprch a umyvadel (např. vlasy). Největší množství plovoucích látek lze zaznamenat u šedých vod z kuchyní a myček, viz Tab 3.1. Je to tím, že se zde vyskytují zbytky jídla. Koloidy a plovoucí látky pak mohou být příčinou problémů při úpravě šedých vod [62].

Chemická a biochemická spotřeba kyslíku

Hodnoty CHSK_{Cr} a BSK₅ pro šedé vody jsou uvedeny v tabulce Tab 3.1, kde jejich poměr je zpravidla 4:1 [47]. To ukazuje na vyšší podíl hůře odbouratelných organických látek. V klasických komunálních odpadních vodách je poměr CHSK_{Cr} a BSK₅ obvykle 2:1 [62].

Lze konstatovat, že nejméně zatížené znečištěním jsou vody ze sprch a mytí rukou. Šedé vody z kuchyní díky vyšším obsahům zbytků jídla obsahují vysoké hodnoty BSK₅ a CHSK_{Cr}. Na základě těchto poznatků lze pak šedou vodu dělit na vhodnou a podmíněně vhodnou pro aplikaci v systémech využití šedých vod. Vhodná je šedá voda z umyvadel, van a sprch, podmíněně vhodná pak šedá voda z kuchyňských dřezů a myček nádobí. Úpravou šedých vod vhodných v systému využití šedých vod lze získat kvalitní hygienicky nezávadnou provozní vodu, vodu bílou, s kvalitou přibližující se pitné vodě [62].

3.5.2 Nutrienty v šedých vodách

Co se týká nutrientů, tak dusík se v šedých vodách vyskytuje především jako organicky vázaný (např. v bílkovinách). Koncentrace amoniakálních, resp. oxidovaných forem dusíku (dusitany, dusičnany) jsou v porovnání s koncentrací organického dusíku zanedbatelné. Množství fosforu pak závisí na způsobu života obyvatelstva produkujícího šedou vodu v používání detergentů. Nejvíce fosforu je v mycích přípravcích do myček na nádobí a v šedých vodách z praček. Nicméně vysoké koncentrace fosforu by v této skupině už měly být minulostí, neboť v řadě zemí (a Česká republika není výjimkou) je již použití fosfátových přípravků zakázáno nebo omezeno [47].

Tab 3.2 Koncentrace nutrientů v šedých vodách

Chemicko-fyzikální ukazatel	Jednotka chem.fyz. ukazatele	Pračky	Vany, sprchy, umyvadla	Kuchyňský dřez a myčky na nádobí	Neseparovaná šedá voda
N _{NH4+}	mg.l ⁻¹	< 0,1 - 3,8	< 0,1 – 25,0	0,2 – 23,0	-
N _{NO2-}	mg.l ⁻¹	0,10 - 0,31	< 0,05 - 0,20	-	-
N _{NO3-}	mg.l ⁻¹	0,4 - 0,6	0 - 4,9	-	-
P _{PO43-}	mg.l ⁻¹	4,3	0,3 – 35,0	0,4 – 14,0	0,6 - 7,4
N _{celk}	mg.l ⁻¹	6,2	0,6 - 46,4	13,0 – 60,0	8,1
P _{celk}	mg.l ⁻¹	0,06 – 57,0	0,11 - 2,20	3,1 – 10,0	3,3 – 11,0

Pozn: hodnoty použity z literatury [47][49][51][52][53][54][55][56][57][58][59][60][61]

tabulka je doplněna o vlastní rozbor v rámci vlastního řešení dizertační práce

3.5.3 Mikrobiologické znečištění šedých vod

Mikrobiologické znečištění (viz tabulka Tab 3.3) může pocházet z mytí rukou, moči při sprchování (zejména u dětí) a ze zpracování potravin. Průzkumy ukazují, že z mytí rukou a sprch mohou být krátkodobě vyšší koncentrace mikrobiologického znečištění než z praní. Pro parametr *Escherichia coli* je rozdíl jednoho řádu, pro koliformní bakterie (tj. fekální a celkové koliformy) je pak ve dvou řádech. Velmi zatížené mohou být šedé vody z kuchyní, ze zpracování potravin, ale v odborné literatuře jsou pro tyto šedé vody uváděna jen ojedinělá měření [47].

Tab 3.3 Mikrobiologické znečištění šedých vod

Mikrobiologický ukazatel	Jednotka mikrobiolog. ukazatele	Pračky	Vany, sprchy, umyvadla	Kuchyňský dřez a myčky na nádobí	Neseparovaná šedá voda
Fekální koliformy	KTJ.100ml ⁻¹	10 ¹ - 10 ⁴	10 ¹ - 10 ⁶	-	10 ² - 10 ⁶
Celkové koliformy	KTJ.100ml ⁻¹	10 ¹ - 10 ⁸	10 ¹ - 10 ⁹	-	10 ⁵ - 10 ⁸
<i>Escherichia coli</i>	KTJ.100ml ⁻¹	10 ¹ - 10 ⁶	10 ¹ - 10 ⁷	10 ⁵ - 10 ⁸	10 ¹ - 10 ²
Streptokoky	KTJ.100ml ⁻¹	10 ¹ - 10 ⁷	10 ¹ - 10 ⁶	10 ³ - 10 ⁸	10 ²
Celkový počet kolonií	KTJ.100ml ⁻¹	-	10 ² - 10 ⁸	-	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	KTJ.100ml ⁻¹	-	N - 10 ³	-	10 ² - 10 ⁵
<i>Salmonella</i>	KTJ.100ml ⁻¹	N	N	-	-
<i>Cryptosporidium</i>	KTJ.100ml ⁻¹	N	N	-	N
<i>Giardia intestinalis</i>	KTJ.100ml ⁻¹	N	N	-	-
Enterokoky	KTJ.100ml ⁻¹	N	N	-	10 ³ - 10 ⁵

Pozn: N... nezjištěno; hodnoty použity z literatury [47][48][50][51][52][53][54][55][58][61][171]

tabulka je doplněna o vlastní rozbor v rámci vlastního řešení dizertační práce

3.5.4 Hygienické požadavky na kvalitu šedých vod

Společnost Market Transformation Programme (MTP) podporující vývoj ekoproductů ve Spojeném království Velké Británie a Severního Irska [63] provedla přezkoumání systému využití šedých a dešťových vod a vydala doporučení týkající se zejména kvality šedých vod a monitorování této kvality šedé vody.

Dle MTP je nezbytné, aby systémy využití šedých vod byly navrženy tak, aby byla zajištěna vhodná příprava bílé vody pro daný účel a aby nevzniklo žádné riziko, které by mohlo ohrozit zdraví lidí. Není nutné časté testování vzorků bílé vody, nicméně sledování kvality bílé vody by mělo být prováděno minimálně během údržby, aby byl ověřen výkon a spolehlivost systému využití šedých vod. Následně po vyhodnocení nedostatečné kvality bílé vody by mělo být provedeno testování za účelem zjištění příčin, proč systém nepracuje uspokojivě a musí být řešeny problémy spojené s rozvodem bílé vody ze systému k odběratelům. Dle britské normy *British Standard BS 8525-1 Greywater systems. Code of practice* (r. 2010) [5] a *British Standard BS 8525-2 Greywater systems. Domestic greywater treatment equipment. Requirements and test methods* (r. 2011) [6]. Kvalita bílé vody by měla být měřena ve vztahu k hodnotám uvedeným v tabulce Tab 3.4 [5] pro parametry týkající se zdravotního rizika a v tabulce Tab 3.5 [5] pro parametry poskytující údaje o jakosti vody a týkající se provozu systému. Výsledky bakteriologického monitorování by měly být vykládány s odkazem na tabulku Tab 3.6 [5] a výsledky obecného monitorování s odkazem na tabulku Tab 3.7 [5][6][62].

Tab 3.4 Orientační hodnoty (G) pro bakteriologické monitorování dle BS 8525-1 [5]

Parametr (ukazatel)	Postřikové aplikace	Bezpostřikové aplikace			Testování	
	Tlakové mytí, zahradní rozstříkovač ^{A)} , mytí vozidel	Splach. WC	Zavlažován í zahrady	Praní	Postřiková aplikace	Bez postřikové aplikace
Escherichia coli [KTJ.ml ⁻¹]	Negativní	250	250	Negativní	BS EN ISO 9308-1	BS EN ISO 9308-3
Enterokoky [KTJ.ml ⁻¹]	Negativní	100	100	Negativní	BS EN ISO 7899-1 nebo 7899-2	BS EN ISO 7899-1
Legionella pneumophila [KTJ.ml ⁻¹]	10	Nelze aplikovat	Nelze aplikovat	Nelze aplikovat	BS 6068 – 4.12	Nelze aplikovat
Celkové koliformy ^{B)} [KTJ.ml ⁻¹]	10	1000	1000	10	Blue Book 223, Method D [N2]	BS EN ISO 9308-3

Poznámka:

A) ... pokud ošetřené šedé vody byly použity v zelinářských zahradách, na domácí půdě, pak informace o růstu těchto plodin před spotřebou by měly být poskytovány pro uživatele v předávací dokumentaci.

B) ... „celkové koliformy“ jsou ukazatelem provozního parametru pro interpretaci. Bakteriologické orientační hodnoty uvedené pro upravené šedé vody odrážejí potřebu kontrolovat kvalitu vyčištěné bílé vody pro dodávky a použití.

Tab 3.5 Orientační hodnoty (G) pro monitorování obecného systému dle BS 8525-1 [5]

Parametr ^{A)} (ukazatel)	Postřikové aplikace	Bezpostřikové aplikace			Testování	Typ systému
	Tlakové mytí, zahradní rozstřikovač a mytí vozidel	Splachování WC	Zavlažování zahrad A)	Praní		
Zákal [NTU]	< 10	< 10	Nelze aplikovat	< 10	BS 1427	Všechny systémy
pH [-]	5,0 - 9,5	5,0 - 9,5	5-9,5	5-9,5	BS 1427	Všechny systémy
Zbytkový chlor [mg/l]	< 2,0	< 2,0	< 0,5	< 2,0	BS EN ISO 7393-2	Všechny systémy
Zbytkový brom [mg/l]	0,0	< 5,0	0,0	< 5,0	Blue Book 218, Method E10 [N3]	Všechny systémy

Poznámka:

A) ... kromě těchto parametrů by měly být všechny systémy kontrolovány na nerozpuštěné látky a na barvu. Upravené šedé vody by měly být vizuálně čisté, bez plovoucích nečistot. Ukazatel, parametr barvy je obzvláště důležitý pro automatické pračky.

Tab 3.6 Interpretace výsledků z bakteriologického monitorování dle BS 8525-1 [5]

Výsledek vzorku ^{A)}	Stav	Výklad
< G	Zelená	Systém pod kontrolou
od G do 10xG	Žlutá	Převzorkování potvrdí výsledek, prozkoumání činnosti systému
> 10xG ^{B)}	Červená	Pozastavit používání šedých vod dokud není problém vyřešen

Poznámka:

A) ... G = směrné hodnoty, viz orientační směrné hodnoty bakteriologického monitorování v tabulce Tab 3.4

B) ... v nepřítomnosti *Escherichia coli*, enterokoků a *Legionella pneumophila* není nutné zastavit využívání systému, pokud koncentrace celkových koliformních bakterií nepřekročí 10 násobek směrné hodnoty.

Tab 3.7 Vyhodnocení výsledků z monitorovacího systému ^{A)} dle BS 8525-1 [5]

Výsledek vzorku ^{B)}	Stav	Výklad
< G	Zelená	Systém pod kontrolou
> G	Žlutá	Převzorkování potvrdí výsledek, prozkoumání činnosti systému

Poznámka:

A) ... systém je pod kontrolou, pokud parametry jsou v úrovních, které uvádí tabulka pro orientační hodnoty. Pokud jsou hodnoty mimo uvedený rozsah, je nutné odebrat další vzorky. V případě přítomnosti barvy nebo NL v nevyhovujícím parametru (ukazatel) je nutné prozkoumat fungování systému a případný problém vyřešit.

B) ... G = směrné hodnoty, viz orientační směrné hodnoty bakteriologického monitorování v Tab 3.4.

Kvalita šedé vody je závislá na způsobu používání sprchy, vany a umyvadla konkrétní domácností. Významnou roli při posouzení šedých vod z těchto zařízovacích předmětů hrají povrchově aktivní látky, tedy tenzidy.

Sledování kvality šedé vody by mělo být provedeno před zahájením jakékoliv údržby na systému využití šedých vod ve vybraných objektech. Pokud je to možné, měl by být systém využití šedých vod vypuštěn a propláchnut čistou vodou, aby se snížilo riziko kontaminace osoby provádějící údržbu [62].

Požadavky na jakost vody pro závlahu odpadními vodami

V České republice se pro posuzování jakosti závlahové vody vychází z ukazatelů ČSN 75 7143 *Jakost vody pro závlahu* [12]. Při posuzování fyzikálních vlastností závlahové vody se sleduje především mechanické znečištění anorganickými a organickými částicemi, dále pak

teplota použité vody. Částice o průměru částice $d > 0,1$ mm zanášejí odběrné objekty, potrubí, kanály a musí být před vstupem do těchto objektů odstraněny.

Částice o průměru částice $d = 0,10$ až $0,005$ mm mohou mít příznivý vliv na vlastnosti lehkých půd, tj. půd písčitých a hlinitopísčitých. Závlahovou vodu obsahující tyto částice je možné použít ke gravitačním závlahám lehkých půd. Částice o průměru částice $d = 0,005$ až $0,001$ mm mají příznivý účinek na lehké půdy, u těžkých půd, tj. půd jílovitohlinitých nebo jílovitých, způsobují jejich zakolmatování, a také při postřiku tyto částice znečišťují rostlinu.

Maximální přípustná velikost splavenin závisí na použitém zařízení. Při závlaze postřikem běžným závlahovým zařízením činí maximální velikost částic 1 mm, výjimečně 2 mm; při bodové a kapkové závlaze a mikropostřiku maximální přípustná velikost tvrdých částic nemá přesáhnout $1/5$ až $1/10$ průměru výtokových otvorů strojního zařízení a u měkkých částic $1/6$ až $1/3$ průměru výtokových otvorů strojního zařízení.

Teplota závlahové vody by se měla pohybovat v jarních měsících mezi 10°C až 15°C a v létě mezi 15°C až 25°C . Přípustná teplota závisí také na rozdílu teploty půdy, ovzduší a použité vody pro závlahu. Nerozpuštěné látky se posuzují podle původu, složení, velikosti částic a charakteru půdy. Podle velikosti částic a druhu půdy mohou např. zhoršovat propustnost půd a jejich provzdušňování, zanášet strojní zařízení apod. [29]. Teplota šedé a dešťové vody v akumulaci nádrži bílé vody osazené vně budovy dosahuje teploty okolního prostředí. V případě osazení nádrže bílé vody v suterénu budovy je vhodné teplotu před spotřebou zkontrolovat.

Z chemických ukazatelů se vhodnost vody pro závlahu posuzuje vždy podle koncentrace rozpuštěných látek, chloridů, síranů a poměru koncentrací $\text{Na} : (\text{Ca} + \text{Mg})$. Pro vyhodnocení významu uvedeného poměru je rozhodující ve vodě převažující anion. Další ukazatele se volí s ohledem na původ vody určené pro závlahu a její znečištění [29]. Z chemických ukazatelů dešťové vody způsobujících problémy při závlaze rostlin můžeme zařadit soli z posypů zpevněných ploch v zimním období. Ovšem tyto vody zpravidla ani na samotnou závlahu rostlin z důvodu vysokého množství chloridů nevyužijeme.

Mezi biologické ukazatele a nutrienty, které ovlivňují závlahu dešťovou a šedou vodou, patří ukazatel jako BSK_5 , CHSK_{Cr} , N_{celk} , $\text{N}_{\text{NH}_4^+}$ a $\text{N}_{\text{NO}_3^-}$, P_{celk} . Pro zpětné užití je nezbytný mikrobiologický rozbor na celkové koliformy, termotolerantní koliformní bakterie, enterokoky, psychrofilní a mezofilní bakterie a případně i další ukazatele [12].

Požadavky na jakost vody pro závlahu jsou dány ČSN 75 7143 [12]. Z hlediska doplňkových závlah se vody dle ČSN 75 7143 [12] dělí na tři třídy:

- I. třída: vody vhodné k závlaze;
- II. třída: vody podmíněně vhodné k závlaze;
- III. třída: vody nevhodné k závlaze.

Obsah nežádoucích látek se hodnotí podle nejvýše přípustných ukazatelů jakosti vody, viz Tab 3.8. [12].

Tab 3.8 Nejvyšší přípustné hodnoty ukazatelů jakosti závlahové vody pro jednotlivé třídy podle ČSN 75 7143 [12]

Ukazatel	Jednotka	Třída		
		I	II	III
		Voda vhodná	Voda podmíněně vhodná	Voda nevhodná
A. Fyzikální ukazatele				
1. Teplota vody (t)	°C	35	40	> 40
B. Chemické ukazatele				
2. Reakce vody (pH)	-	5,0 až 8,5	4,5 až 9,0	< 4,5 a > 9,0
3. Rozpuštěné látky	mg.l ⁻¹	800	1 200	> 1 200
4. Chloridy (Cl-)	mg.l ⁻¹	300	400	> 400
5. Sírany (SO42+)	mg.l ⁻¹	250	300	> 300
6. Hliník (Al)	mg.l ⁻¹	10	20	> 20
7. Arsen (As)	mg.l ⁻¹	0,05	0,1	> 0,1
8. Bor (B)	mg.l ⁻¹	0,5	1	> 1
9. Kadmium (Cd)	mg.l ⁻¹	0,01	0,02	> 0,02
10. Kobalt (Co)	mg.l ⁻¹	0,5	1	> 1
11. Chrom veškerý (Cr)	mg.l ⁻¹	0,2	0,5	> 0,5
12. Měď (Cu)	mg.l ⁻¹	0,5	2	> 2
13. Mangan (Mn)	mg.l ⁻¹	3	5	> 5
14. Molybden (Mo)	mg.l ⁻¹	0,2	0,4	> 0,4
15. Nikl (Ni)	mg.l ⁻¹	0,1	0,2	> 0,2
16. Olovo (Pb)	mg.l ⁻¹	0,05	0,1	> 0,1
17. Rtuť (Hg)	mg.l ⁻¹	0,005	0,01	> 0,01
18. Selen (Se)	mg.l ⁻¹	0,02	0,05	> 0,05
19. Vanad (V)	mg.l ⁻¹	0,1	0,5	> 0,5
20. Zinek (Zn)	mg.l ⁻¹	1	2	> 2
21. Železo (Fe)	mg.l ⁻¹	10	100	> 100
22. Kyanidy (CN)	mg.l ⁻¹	0,4	0,5	> 0,5
23. Tenzidy aniontové	mg.l ⁻¹	2	4	> 4
24. Fenoly těkající s vod. parou	mg.l ⁻¹	0,2	0,5	> 0,5
25. Neph. extrahovatelné látky	mg.l ⁻¹	0,1	0,3	> 0,3
26. Polychlorované bifenylly	ng.l ⁻¹	50	100	> 100
C. Biologické ukazatele				
27. Koliformní bakterie	KTJ.ml ⁻¹	100	1000	> 1000
28. Fekální koliformní bakterie	KTJ.ml ⁻¹	10	100	> 100
29. Enterokoky	KTJ.ml ⁻¹	10	100	> 100
Patogenní mikroorganismy, salmonelly		neprokazatelné ve 500 ml	neprokazatelné ve 200 ml	prokazatelné ve 100 ml

Ukazatel	Jednotka	Třída		
		I	II	III
		Voda vhodná	Voda podmíněně vhodná	Voda nevhodná
Infekční stadia parazitů člověka a domácích zvířat		neprokazatelné v 1000 ml	neprokazatelné v 1000 ml	prokazatelné v 1000 ml
32. Kolifágy	PFU .l ⁻¹	102	104	> 104
33. Testy klíčivosti semen	h/k	1	1	> 1
D. Ukazatele radioaktivity				
Celková objemová aktivita beta mimo tritia	mBq.l ⁻¹	1500	-	> 1500
35. Radium 226	mBq.l ⁻¹	200	-	> 200
36. Uran	μg.l ⁻¹	50	-	> 50

Voda III. třídy je použitelná k závlaze jen po úpravě, nebo je použitelná v podmínkách dovolujících závlahu odpadními vodami. Do této třídy můžeme zařadit vyčištěné šedé odpadní vody, tj. vody bílé. Do tříd jakosti se zařazuje podle nejnepríznivějšího ukazatele. Četnost odběrů vzorků je dána normou ČSN 75 7143 [12], viz tabulka Tab 3.9 a Tab 3.10 [12].

Tab 3.9 Výběr základních anorganických chemických ukazatelů jakosti závlahové vody podle ČSN 75 7143[12]

Třída jakosti	Hodnota pH	Rozpuštěné látky [mg.l ⁻¹]	Chloridy [mg.l ⁻¹]	Sírany [mg.l ⁻¹]
I. voda vhodná	5,0 – 8,5	800	300	250
II. voda podmíněně vhodná	4,5 – 9,0	1200	400	300
III. voda nevhodná	< 4,5; > 9,0	> 1200	> 400	> 300

Tab 3.10 Klasifikace závlahové půdy podle poměru Na : (Ca+Mg) vyjádřeného v látkových koncentracích v mmol.l⁻¹ [12]

Třída jakosti	Převládající anion	Půdy těžké	Půdy středně těžké
I. voda vhodná	SO ₄ ²⁻	< 1,00 – 0,67	< 2,00
	Cl ⁻	< 0,50 – 0,33	< 1,00
	HCO ₃ ⁻	< 0,33 – 0,69	< 0,67
II. voda podmíněně vhodná	SO ₄ ²⁻	< 1,00 – 0,67	2,00
	Cl ⁻	< 0,50 – 0,33	1,00
	HCO ₃ ⁻	< 0,33 – 0,69	0,67
III. voda nevhodná	SO ₄ ²⁻	< 1,00 – 0,67	> 2,00
	Cl ⁻	< 0,50 – 0,33	> 1,00
	HCO ₃ ⁻	< 0,33 – 0,69	> 0,67

3.6 KVALITA DEŠŤOVÉ VODY

Systém využití šedých vod ve vybraných objektech je možné v některých případech doplnit o sběr dešťové vody. Již v atmosféře dochází ke kontaktu dešťové vody s různými chemickými látkami. Její kvalita v tomto prostředí je zřetelně ovlivněna znečištěním vzduchu. Po

průchodu zemskou atmosférou má dešťová voda hodnotu pH asi 5,5 (v některých lokalitách i pod 4,5 [29]). Je to proto, že se váže mimo jiné i s CO_2 obsaženým ve vzduchu.

Znečištění již zachycené dešťové vody je trojího původu:

- rozpuštěné a nerozpuštěné látky v atmosférických srážkách;
- znečištění, které se nahromadí na povrchu území během bezdeštného období a pak je odváděno s dešťovou vodou během dešťové události;
- znečištění, které vzniká při kontaktu dešťové vody s materiály na povrchu plochy, na kterou dešťová voda dopadá.

Při stanovení velikosti znečištění v dešťovém odtoku je významná délka bezdeštného období, množství a intenzita atmosférických srážek, dále pak objem dešťového odtoku. Téměř veškeré látkové znečištění, které se vyskytuje v dešťovém odtoku, vykazuje na začátku odtoku vyšší koncentrace než v jeho dalším průběhu (tzv. efekt prvního splachu). Je to dáno tím, že na začátku deště jsou vyplavována atmosférická znečištění, rovněž je mobilizována suchá depozice a od posledního deště vytvořené produkty koroze. Oddělení prvního splachu (asi 1-3 mm deště) vede zpravidla k podstatnému snížení látkového zatížení v zachycené dešťové vodě. Dešťová voda odráží, jak přirozené pozadí zemského povrchu (mořské soli, erozi půdy), tak i antropogenní znečištění především kouřovými plyny a dopravou. Jelikož látky obsažené v atmosféře mohou být přenášeny na velké vzdálenosti, projevuje se v dešťové vodě nejen vliv lokálního znečištění, ale i vlivy ze vzdálených oblastí. Kyselé látky pocházející z antropogenních zdrojů znečištění, jako například kyselina sírová, dusičná a chlorovodíková, převažují nad látkami zásaditými, jako jsou uhličitany vápenatý, hořečnatý či amoniakální dusík, jež pocházejí zejména z přirozeného prostředí. Zdrojem kyselin jsou především sloučeniny síry (hlavně SO_2 a H_2S) a sloučeniny dusíku (NO_2 , NO , N_2O) ze spalování fosilních paliv, z výfukových plynů motorových vozidel a mikrobiální denitrifikace v půdě i ve vodě. Ze spalování umělých hmot s obsahem PVC (městské a průmyslové spalovny) pak vznikají sloučeniny chloru. Zdrojem látek zásaditých je zemědělství (amonné ionty v hnojivech) a přirozené pozadí (uhličitany). K ostatním látkám vyskytujícím se v dešťové vodě patří těžké kovy (emise z průmyslu a spaloven), organické látky (zejména uhlovodíky z výfukových plynů motorových vozidel) a rostlinné živiny (např. fosfor a amonné ionty). V případech kvality dešťových vod jsou problémem bouřky, které kvalitu dešťové vody zhoršují. Nežádoucí chemické látky v dešťových vodách jsou ve větší míře v průmyslových aglomeracích [43][44].

3.6.1 Chemicko-fyzikální vlastnosti dešťových vod

Rozpuštěné a nerozpuštěné látky v atmosférických srážkách

Chemické složení srážek závisí na složení a znečištění ovzduší ve spodní a střední části atmosféry. V této oblasti může toto složení značně kolísat a to ve vztahu k úhrnu srážek, doby trvání a jejich intenzitě. Nejvíce jsou znečištěny atmosférické srážky v průmyslových oblastech, nejméně v horských oblastech.

Jejich základní chemické složení odpovídá z kvantitativního hlediska základnímu složení podzemních a povrchových vod. Jsou však určité rozdíly kvantitativní a rozdíly v poměrech mezi jednotlivými kationty a anionty [29].

Dlouhodobé sledování znečištění atmosférických vod v České republice ukazuje, že dochází k postupnému snižování znečištění těchto vod, viz Tab 3.11 [29]. Tomu odpovídají např. údaje ze Statistické ročenky životního prostředí České republiky z roku 2001, kde jsou pro

některé ukazatele jakosti uvedeny průměrné hodnoty zjištěné ve srážkových vodách na vybraných stanicích České republiky.

Tab 3.11 Průměrné složení srážkových vod v České republice v letech 2000, 2006, 2012 (výběr ukazatelů) [29] [30]

Ukazatel	Jednotka	2000	2006*	2012*
hodnota pH	-	4,65	4,57	4,91
NH ₄ ⁺	mg.l ⁻¹	0,94	0,82	0,81
NO ₃ ⁻	mg.l ⁻¹	2,74	3,80	2,11
SO ₄ ²⁻	mg.l ⁻¹	2,17	1,69	1,37
F ⁻	mg.l ⁻¹	0,02	0,01	0,02
Pb	μg.l ⁻¹	4,30	4,30	1,31
Cd	μg.l ⁻¹	0,22	0,13	0,04

Pozn.: *průměrné složení srážek pro srážkoměrnou stanici Praha 4-Libuš

Z kationtů obvykle podle látkové koncentrace dominují amoniakální dusík a vápník. Zpravidla převládající kation je amonný, na rozdíl od podzemních a povrchových vod. Pořadí ostatních kationtů (Mg, K, Na) se může lišit podle lokality, avšak hořčík bývá často na jednom z posledních míst. Z aniontů podle očekávání zpravidla převládají sírany, dusičnany, dále pak chloridy. Kromě výše uvedených základních látek se ve srážkách vyskytuje řada kovů. Od roku 1989 lze pozorovat klesající trend u Cu, Cd, Pb, As, Be, V, Fe, Mn a Al, naopak narůstající trend u Cr a Ni. Z kovů obvykle dominuje železo, hliník a zinek. Mangan obvykle není významnou složkou [29].

Celková mineralizace srážkových vod mimo antropogenní oblasti se obvykle pohybuje nejvýše v několika jednotkách mg.l⁻¹ (často bývá menší). Naopak v oblastech s antropogenní činností je celková mineralizace zpravidla vyšší jak 10 mg.l⁻¹, avšak v některých oblastech je mineralizace vyšší jak 100 mg.l⁻¹. Kation amonný se významně, na rozdíl od podzemních a povrchových vod, podílí na acidobazických reakcích ve srážkových vodách. Hydrogenuhličitany jsou vždy v minoritním zastoupení a nejsou vůbec analyticky dokazatelné, i když jsou přítomny v nepatrných rovnovážných koncentracích. Z hlediska opětovného využití dešťové vody je u atmosférických vod nejdůležitější jejich hodnota pH a tlumivá kapacita. Hodnota pH u atmosférických vod je ovlivněna převážně oxidem uhličitým a jeho iontovými formami. Dále hodnotu pH ovlivňují oxidy síry, dusíku a amoniakální dusík. V oblastech s neznečištěnou atmosférou se pohybuje hodnota pH srážek od 5,5 do 6,0. Z důvodu nadměrných exhalací ze spalování paliv obsahující oxidy síry a dusíku, které byly oxidovány na kyselinu sírovou a dusičnou, hodnota pH srážek se snížila v průměru na 4,0 až 4,5 [64]. V některých průmyslových oblastech byly naměřeny hodnoty pH i pod 3,5 a v tomto případě se hovoří o tzv. kyselých srážkách [29].

Znečištění vznikající při kontaktu s povrchem

V dešťových vodách sbíraných střešním odtokem mohou být přítomny patogeny přenosných nemocí, které se do vody dostávají z ptáčího trusu. Takové mikrobiální kontaminace samozřejmě do značné míry ovlivní míru mikrobiálního znečištění v nádržích a v potrubí, viz Tab 3.13 [67]. V závislosti na typu a síle znečištění se může objevit i zápach vody. V případě výskytu zápachu je nutné čištění a dezinfekce dešťové vody zpětným využitím. Z důvodu možné mikrobiální kontaminace se nedoporučuje používat dešťovou vodu bez čištění a dezinfekce ze střešního odtoku pro praní prádla [65].

Kvalita dešťové vody závisí i na druhu povrchu, ze kterého stéká. V případě střešního odtoku přichází voda do kontaktu se střešní krytinou, z níž se vlivem slunce, mrazu a deště uvolňují částice materiálu střechy, které tvoří část znečištění v dešťovém odtoku. Proto v případě jímání dešťové vody je třeba prověřit sběrnou plochu, neboť z některých druhů střešních krytin (např. eternit nebo lepenka) se mohou do vody uvolňovat nežádoucí látky. Určité množství nežádoucích částic se rovněž uvolňuje z nátěrů střech a okapů. Záleží samozřejmě na místních podmínkách, tedy stavu a stáří nátěru, použité nátěrové hmotě a technice provedení nátěru. Dešťové okapy a další kovové součásti střech korodují a uvolňují tak do vody toxické látky jako Cu, Cr nebo Zn [43][44].

3.6.2 Hygienické požadavky na kvalitu dešťových vod

Při využívání dešťové vody nesmí dojít z hlediska jejího složení:

- k ohrožení zdraví uživatelů;
- k ohrožení kvality pitné vody (v důsledku eventuálních chybných instalací);
- k omezení komfortu užívání vody;
- ke kontaminaci životního prostředí (především půdy a podzemní vody) [43].

Tab 3.12 Požadavky na látkové složení dešťové vody z hlediska jednotlivých způsobů užívání [43]

Druh znečištění	Požadavky na složení dešťové vody pro využití			
	Závlahy	Úklid	WC	Praní prádla
Nerozpuštěné látky	Inertní nerozpuštěné látky jsou neškodné	Při vyšších koncentracích je nevhodné	Zpravidla bez významu	Zpravidla nutná úprava (filtrace)
Organické látky	Inertní a lehce odbouratelné jsou neškodné	Zpravidla bez významu		V obvyklých koncentracích bez významu
Těžké kovy	Nebezpečí akumulace v půdní vrstvě			
Pesticidy	Ohrožení rostlin a půdních organismů			
Mikroorganismy	Zpravidla bez významného vlivu			
Barva				
Agresivita vody				
Celkové posouzení	Dešťová voda ze střech objektů je často mnohem vhodnější než pitná voda	Využití zpravidla bez omezení	Využití zpravidla bez omezení	V případě nadbytku dešťové vody a v kombinaci s pitnou vodou pro poslední fázi pracího procesu
Zápach	Závislé na uživatelském vnímání	Závislé na uživatelském vnímání	Závislé na uživatelském vnímání	Závislé na uživatelském vnímání

Pokud bychom používali dešťovou vodu především na zahradě na zalévání nebo na mytí auta, pak není potřeba zvláštní filtrace vody, je pouze vhodné zabezpečit, aby do akumulační nádrže nebylo splavováno listí a další větší nečistoty, které by nádrž zanášely. Využití dešťové vody např. na praní již vyžaduje kvalitní filtraci a dezinfekci, viz Tab 3.12 [43].

Dešťová voda je vhodná i na mytí oken a podlahovin, s ohledem na nízkou mineralizaci, nezanechává po vysušení povrchu bílé stopy. Nezanášá trysky zahradních rozprašovačů

a s ohledem na její měkkost se netvoří vodní kámen. Je tedy vhodná i na zalévání květin, zeleniny či trávníku [66].

Podle britské normy *BS 8515:2009 Rainwater harvesting system* [67] systémy využití dešťové vody by měly mít kvalitu dešťové vody měřenou ve vztahu k hodnotám uvedeným v tabulce Tab 3.13 pro parametry týkající se zdravotního rizika a v tabulce Tab 3.14 pro parametry poskytující údaje o jakosti vody a týkající se provozu systému. Výsledky bakteriologického monitorování by měly být vykládány s odkazem na tabulku Tab 3.15 a výsledky obecného monitorování s odkazem na tabulku Tab 3.16 [67].

Tab 3.13 Orientační hodnoty (G) pro bakteriologické monitorování dle BS 8515:2009 [67]

Parametr	Využití		Typ systému
	Tlakové mytí a zahradní rozstřikovače	Zavlažování zahrad a splachování WC	
Escherichia coli počet.100ml ⁻¹	1	250	Jedno místo a komunální domácí systémy
Střevní enterokoky počet.100 ml ⁻¹	1	100	Jedno místo a komunální domácí systémy
Legionella počet.litr ⁻¹	100	neuvedeno	Pokud analýza je nezbytná, jak je uvedeno v posouzení rizik
Kol. bak. celkem počet.100 ml ⁻¹	10	1000 pro zalévání zahrady a splachování WC	Jedno místo a komunální domácí systémy

Tab 3.14 Orientační hodnoty (G) pro monitorování obecného systému dle BS 8515:2009 [67]

Parametr	Orientační hodnoty	Typ systému
Rozpuštěný kyslík v uložené dešťové vodě	> 10% nasycení nebo > 1mg. ⁻¹ l O ₂ (podle toho, co je menší) pro všechna využití	Všechny systémy
Nerozpuštěné látky	vizuálně čirý a neobsahuje žádné plovoucí látky pro všechna využití	Všechny systémy
Barva	není závadný pro všechna využití	Všechny systémy
Zákal	< 10 NTU pro všechna využití (< 1 NTU jestliže je použito UV dezinfekce)	
pH	5 - 9 pro všechna využití	Jedno místo a komunální domácí systémy
Zbytkový chlor	< 0,5 mg.l ⁻¹ pro zalévání zahrady < 2 mg.l ⁻¹ pro všechna jiná využití	Všechny systémy, pokud jsou použity
Zbytkový brom	< 2 mg.l ⁻¹ pro všechna jiná využití	Všechny systémy, pokud jsou použity

Tab 3.15 Interpretace výsledků z bakteriologického sledování dle BS 8515:2009 [67]

Výsledek vzorku ^{A)}	Stav	Výklad
< G	Zelená	Systém pod kontrolou
od G do 10xG	Žlutá	Převzorkování potvrdí výsledek, prozkoumání činnosti systému
> 10 x G ^{B)}	Červená	Pozastavit používání dešťových vod dokud není problém vyřešen

Poznámka:

A) ... G = směrné hodnoty (viz Tab 3.13)

B) ... absence Escherichia coli, střevní enterokoky, Legionella, není nutné zastavit využívání systému, pokud koncentrace celkových koliformních bakterií nepřekročí 10 násobek směrné hodnoty

Tab 3.16 Vyhodnocení výsledků z monitorovacího systému ^{A)} dle BS 8515:2009 [67]

Výsledek vzorku ^{B)}	Stav	Výklad
< G	Zelená	Systém pod kontrolou
> G	Žlutá	Převzorkování potvrdí výsledek, prozkoumání činnosti systému

Poznámka:

A) ... systém je pod kontrolou, pokud parametry jsou v úrovních, které uvádí tabulka Tab 3.14. Pokud jsou hodnoty mimo uvedený rozsah, je nutné odebrat další vzorky. V případě přítomnosti barvy nebo nerozpuštěných látek na nežádoucí úrovni je nutné prozkoumat fungování systému a případný problém vyřešit.

B) ... G = směrné hodnoty (viz Tab 3.14).

3.7 SROVNÁNÍ KVALITY ŠEDÝCH A DEŠŤOVÝCH VOD

3.7.1 Srovnání chemických a mikrobiologických ukazatelů šedých a dešťových vod

Obecně lze říci, že dešťové vody jsou méně znečištěny než vody šedé. Šedé ani dešťové vody nedosahují kvality pitné vody a to ani po úpravě. Proto veškerá potrubí s šedou či dešťovou vodou musí být označena tak, aby bylo zřejmé, že se nejedná o vodu pitnou.

V Koreji byl v roce 2005 proveden experiment s využitím šedé a dešťové vody [68], kdy byla akumulována šedá voda z mytí podlah určité budovy a dešťová voda ze střechy, a to v poměru 1:1. Výsledky sledování kvality vody šedé, šedé + dešťové, a dešťové ukazuje tabulka Tab 3.17 [68].

Tab 3.17 Srovnání kvality vody šedé, šedé + dešťové, a dešťové [68]

Parametr	Šedá voda	Šedá + dešťová voda	Dešťová voda
pH	7,27	7,36	7,41
Konduktivita [$\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-2}$]	194,0	181,0	187,1
Zákal [NTU]	12,6	5,9	4,76
Barva [$\text{mg} \cdot \text{Pt}^{-1}$]	49	25	24
CHSK _{Cr} [$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$]	22,9	12,5	12,6
Počet částic [2-15 μm]	22 495	17 708	2 570
Koliformní bakterie celkem počet.100ml ⁻¹	0	0	> 2 419

Jak je patrné z této tabulky, pH všech tří typů odpadních vod (šedá voda x šedá a dešťová voda x dešťová voda) se příliš neliší, tyto odpadní vody jsou slabě zásadité. Rovněž konduktivita, která je měřítkem všech rozpuštěných solí ve vodě, nevykazuje velkých rozdílů mezi jednotlivými druhy vod. Je nutno říci, že čím vyšší je koncentrace solí a minerálů, tím

větší je nepříznivý dopad na půdu a rostliny. Pokud by se konduktivita ve vodě po delší dobu zvyšovala, mohly by některé citlivé rostliny zalévané touto vodou utrpět újmu [69].

Zákal je samozřejmě nejvyšší u vody šedé. Zajímavý je velký vliv ředění dešťovou vodou v poměru 1:1 na zákal vody, který tak v podstatě klesá na polovinu hodnoty zákalu vody šedé a již se moc neliší od zákalu dešťové vody. Totéž platí i pro barvu vody, která po smíchání šedé a dešťové vody klesá zhruba na polovinu hodnoty barvy šedé vody a je téměř shodná s barvou vody dešťové.

Chemická spotřeba kyslíku je nejvyšší u šedé vody, po zředění vodou dešťovou klesá téměř na poloviční hodnotu a je skoro shodná s $CHSK_{Cr}$ samotné vody dešťové. Počet částic velikosti 2 až 15 μm je u šedé vody nejvyšší, což je dáno znečištěním této vody z mytí podlah, po ředění dešťovou vodou počet částic ve vzorku klesá. Nejmenší počet částic je ve vodě dešťové.

Co se týká celkového počtu koliformních bakterií na 100 ml vzorku, nebyly ve vzorku šedé vody a vody vzniklé smícháním šedé a dešťové v poměru 1:1 zaznamenány koliformní bakterie, v dešťové vodě jich pak bylo naměřeno přes dva tisíce. Koliformní bakterie jsou významným mikrobiologickým ukazatelem a v pitné vodě se dle Vyhlášky č. 252/2004 Sb. [45] nesmí vyskytovat vůbec.

Je nutno říci, že v případě využití šedé či dešťové vody, případně kombinace obou typů těchto vod, je třeba se především vyvarovat zdravotních rizik. Je tedy nutné, aby při čištění těchto vod byla použita adekvátní technologie čištění s hygienickým zabezpečením systému využití šedých vod. Následně potom je možné využití této bílé vody bez zdravotních rizik pro uživatele např. pro splachování toalet či zavlažování zahrad.

3.7.2 Kvalita šedých a dešťových vod ve vztahu k materiálům rozvodných potrubí

Normativním podkladem, který se zabývá kvalitou vody ve vztahu k materiálům potrubí, je *TNV 75 7121 Požadavky na jakost vody* [70]. Jelikož šedé vody z praček a koupelen mívají teplotu i vyšší než 25°C, jak již bylo uvedeno v kapitole o chemicko-fyzikálních vlastnostech šedých vod, je potřeba se zaměřit na posouzení vhodnosti materiálu potrubí z hlediska hodnoty pH vody. Například u měděného potrubí se vyžaduje, aby protékající voda měla stabilní hodnotu pH v rozmezí 6,5 až 9,5. Užití tohoto druhu potrubí by nebylo pro šedé vody vhodné, neboť dle literatury [40] se hodnoty pH u šedých vod s podílem vod z praní pohybují v rozmezí 9,3 až 10,0 a hodnoty pH u šedých vod z koupelen a kuchyní v rozmezí 5,0 až 8,6. Pro vody z koupelen a kuchyní by nebylo vhodné ani pozinkované ocelové potrubí, neboť u tohoto potrubí je požadavek, aby hodnota pH vody byla větší nebo rovna 7,5. U potrubí s cementovou vystýlkou, betonových a azbestocementových potrubí je požadavek na pH vody větší nebo rovno 6,7. Tuto hodnotu by rovněž některé vody z kuchyní či koupelen zřejmě nesplnily. Jako vhodné se pak jeví potrubí z plastů a skla, u nichž se vzhledem k vysoké chemické odolnosti těchto materiálů nestanovují požadavky na jakost dopravované vody.

Místa využití systému využití šedých vod nebo dešťových vod (případně v kombinovaném systému využití šedých a dešťových vod) by měly být jasně označeny nápisem „Nepitná voda“ nebo zákazovou značkou dle obrázku Obr. 3.9 tak, aby uživatelé a zaměstnanci provozovatele systému využití šedých vod si byli vědomi, že se nejedná o pitnou vodu. Je možné zákazovou značku a popis u šedé vody doplnit popisem „Nepitná voda: ŠEDÁ VODA“ dle britské normy UK British Standard BS 8525-1 *Greywater systems – Part 1* [5].



Obr. 3.9 Značení na místech používání nepitné vody [5]

3.8 MOŽNOSTI ÚPRAVY ŠEDÉ VODY

3.8.1 Obecná charakteristika úpravy šedé vody

Zájem o úpravu a znovu užití šedých vod byl zaznamenán už v sedmdesátých letech minulého století [71][72]. 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 [71].

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 [5]. 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 čisticích 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).

Většina z těchto technologií čištění je provozována na začátku čistícího procesu se sedimentací, koncovou část tvoří většinou hygienické zabezpečení systému využití šedých vod. K dezinfekci vyčištěné šedé vody můžeme zařadit UV záření nebo ozón. Nejčastěji používaná technologie čištění šedých vod je biologická úprava, následuje fyzikální úprava a přírodní postupy čištění, viz Tab 3.18 [71].

Tab 3.18 Vybrané technologie na úpravu šedé vody [71]

Druh systému využití šedých vod	Technologie úpravy	Popis technologie	Proces, specifická vlastnost	Zhodnocení (výhody x nevýhody)
Systém s jednoduchou úpravou	Hrubá filtrace	Dezinfekce následuje po mechanickém předčištění, vhodné jsou pouze málo znečištěné šedé vody	Je-li řádně dezinfekce navržena a provozována, je zaručena vysoká účinnost odstranění mikrobiologického znečištění	Výhody: jednoduchost čistícího procesu; nízké provozní náklady Nevýhody: vzhledem k základním čistícím procesům může chlór a ozón tvořit toxické vedlejší produkty, ozón a ultrafialové záření může být dále nepříznivě ovlivněno obsahem organických složek šedé vody; vhodné jen pro málo znečištěné šedé vody; malá účinnost čištění
Systém s chemickou úpravou	Koagulace, elektrokoagulace, chemická oxidace hydroxylovými radikály	Chemická úprava spočívající v dávkování chemikálie na bázi železa nebo hliníku, hydroxylovými radikály	Spolehlivost a diskontinuitnost provozu způsobená řízeným dávkováním chemikálií	Výhody: metody je vhodné aplikovat ve specifických případech, v případě čištění šedé vody se tyto aplikace využívají při čištění průmyslových vod; vysoká účinnost ve specifických případech čištění Nevýhody: vysoké investiční náklady, vysoké provozní náklady
Systém s fyzikální úpravou	Filtrace na aktivním uhlí GAC	Absorpce nátek na granulovaném aktivním uhlí	Provoz systému s aktivním uhlím je jednoduchý, proces je mimořádně účinný v zachycení organických, ale i anorganických látek	Výhody: jednoduchý proces; účinný způsob čištění Nevýhody: vysoké investiční náklady, podstatné množství chemických látek není zachyceno na aktivním uhlí jako např. sodík a dusičnany - filtr s aktivním uhlím odstraní pouze jen některé znečištění
	Písková filtrace	Pískové lože (někdy i hrubá mulčovací kůra), na které ulpívají a absorbují nečistoty z protékající šedé vody	Jednoduchý provoz, jednoduchá údržba	Výhody: jednoduchý provoz; jednoduchá údržba; nízké investiční náklady Nevýhody: dochází ke snížení patogenů, ale nedochází k úplnému odstranění. Také může docházet k ucpávání a v tomto případě i k přetížení systému

Druh systému využití šedých vod	Technologie úpravy	Popis technologie	Proces, specifická vlastnost	Zhodnocení (výhody x nevýhody)
Systém s biologickou úpravou	Aerobní biologická úprava	Priváděný vzduch zajišťuje přenos kyslíku ze vzduchu do šedé vody. Přítomné bakterie spotřebovávají rozpustný kyslík a odbourávají organické látky za snížení koncentrace odpadních látek	Systém může pružně reagovat na množství a velikost znečištění šedé vody	Výhody: systém pružně reaguje na množství a objem znečištění; vysoká účinnost odstranění organických látek; Nevýhody: vysoké investiční náklady; vysoké provozní náklady; komplexní funkční požadavky při aerobní biologické úpravě nedojde k odstranění všech patogenů
	Membránový bioreaktor	Membránový bioreaktor využívá společně aerobní biologické čištění a následnou filtraci, zajistí odstranění org. znečištění a všech patogenů	Pokud technologie je správně navržena a provozována, je vysoce efektivní. Systém může pružně reagovat na množství velikost znečištění šedé vody	Výhody a nevýhody jsou popsány podrobně v kapitole 3.8.7
Přírodní postupy čištění	Mokřady, kořenové čistírny, rákosová pole	Přírodní metoda čištění odpadních vod	Odstranění pouze velkých částic unášených čistěnou vodou	Výhody: jednoduchý provoz; nízké investiční náklady Nevýhody: požadavek na velkou plochu; nemožnost řídit čistící proces; komplikovaný provoz v zimním období

3.8.2 Systémy s jednoduchou úpravou

Systémy s jednoduchou úpravou čištění šedých vod obvykle zahrnují základní čistící procesy spočívající v sedimentaci nebo v hrubé filtraci. Tyto systémy využití šedých vod je vzhledem k základním čistícím procesům vhodné doplnit o řádnou dezinfekci vody před samotným opětovným užitím v systému využití šedých vod.

Účinnost těchto systému využití šedých vod je značně omezena z hlediska organických a anorganických pevných látek. Tento typ systému je používán v malém rozsahu a to zejména u jednotlivých rodinných domů a všude tam, kde je šedá voda jen mírně znečištěna. Jedná se o vyčištěnou šedou vodu ze sprch, van a umyvadel na mytí rukou určenou pro zalévání zahrad, trávníků a případně pro splachování toalet. Tyto jednoduché systémy můžeme provozovat s nízkými provozními náklady, ovšem návratnost pořizovací investice, vzhledem k množství takto kultivované vody v případě rodinných domů, je příliš dlouhá.

Systémy s jednoduchou úpravou při návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech můžeme rozdělit následovně:

- sedimentace;
- hrubá filtrace;
- kombinované systémy s jednoduchou úpravou.

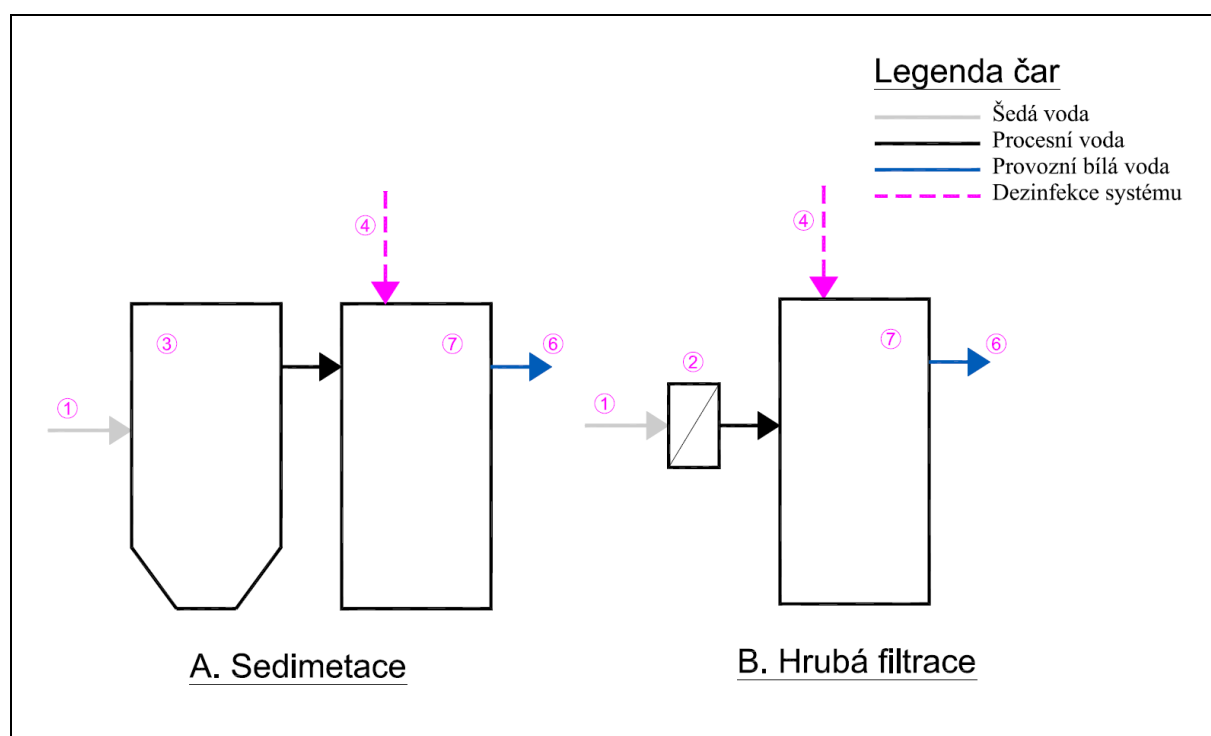
Sedimentace

Jedná se o základní přirozenou metodu separace pevných látek a kapalin, kdy samovolně klesají pevné částice na dno nádrže vlivem vyšší měrné molekulové hmotnosti. Sedimentační

nádrže na šedou vodu mohou být kruhového, obdélníkového nebo čtvercového tvaru. Je důležité, aby byla optimalizována sedimentační rychlost sedimentujících částic. Pokud by sedimentační rychlost byla příliš vysoká, docházelo by k vyplavování látek do takto připravované rekultivované bílé vody pro zpětné užití v systémech využití šedých vod. Pokud by ale byla rychlost příliš nízká, měla by tato skutečnost za následek neopodstatněné navyšování rozměrů sedimentační nádrže. Při návrhu sedimentační nádrže je potřeba eliminovat možný vznik turbulence, který by negativně ovlivňoval přímo sedimentační proces.

Hrubá filtrace

Hrubá filtrace zahrnuje základní fyzikální čistící proces založený na adsorpci nerozpuštěných látek na filtračním loži filtru, tj. v případě hrubé filtrace na štěrkové náplni.



Obr. 3.10 Jednoduchá úprava s dezinfekcí; (A) Sedimentace, (B) Hrubá filtrace

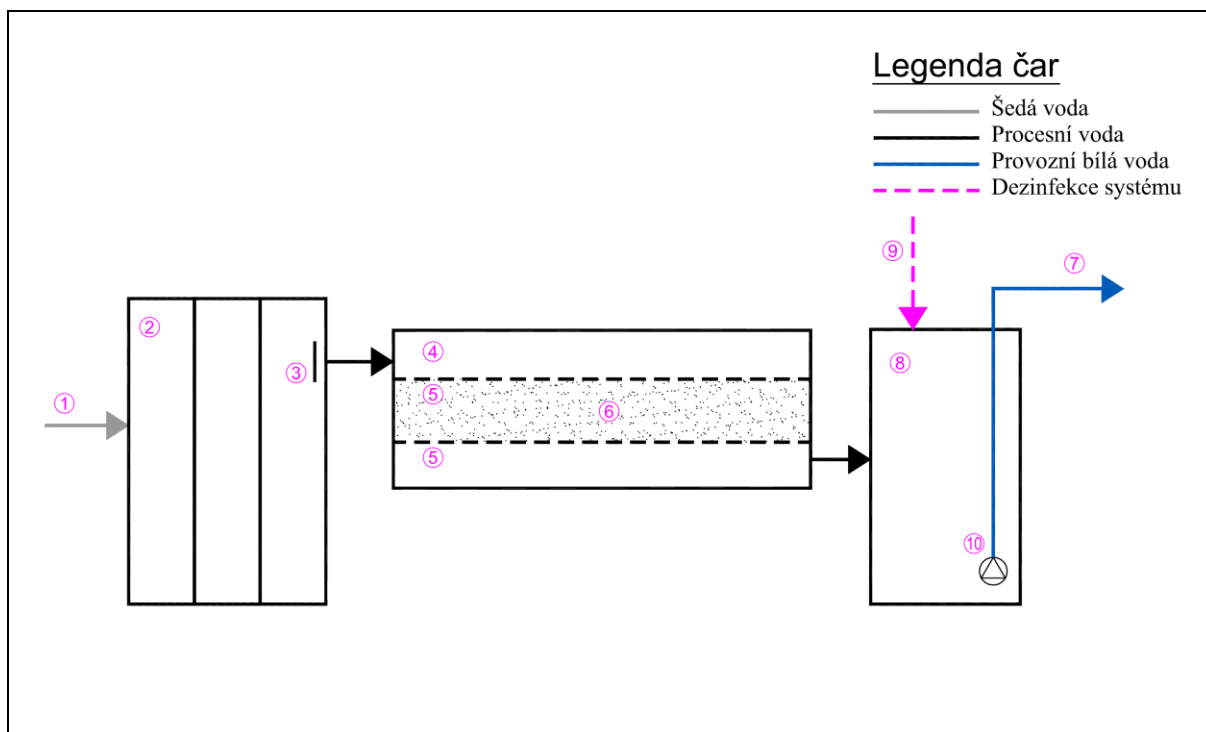
(legenda: 1-přítok šedé vody, 2-mechanické předčištění, 3-sedimentační nádrž, 4-dezinfekce, 5-hrubá filtrace, 6-bílá voda, 7-akumulační nádrž bílé vody)

Kombinované systémy s jednoduchou úpravou

Jestliže se do systému využití šedých vod s jednoduchou úpravou dostane výraznější množství biologického znečištění, např. z myčky na nádobí nebo kuchyňského dřezu, ve kterých jsou přítomny zbytky jídla (zejména lipidů), je potřeba navrhnout anaerobní systém čištění šedých vod. V tomto případě by systém jednoduché úpravy šedých vod mohl být složen z tří stupňového septiku, nádrže na kal a z lapáku tuku. Tato instalace se neliší od tradičního systému, ale takto kultivovaná voda je mnohem kvalitnější a nezatěžuje tolik životní prostředí. Takto odseparovaný kal může být odstraňován méně často, místo dvakrát ročně by stačilo jednou za čtyři roky [73].

Odpadní procesní voda odtékající ze septiku vykazuje parametry anaerobní odpadní vody. Za septikem je umístěn pískový filtr s vloženou geotextilií nebo variantně může být umístěna biologická jednotka pro znovuoobnovení aerobních podmínek. Konečná fáze úpravy takto

čištěné vody, zajišťující kvalitu kultivované, bílé vody je ukončena v půdním pískovém loži. Osazení biologické jednotky a půdního pískového lože se projeví v navýšení pořizovací investice čistícího systému využití šedých vod. I přes tento nedostatek se systém využití šedých vod jeví jako efektivní způsob úpravy šedé vody vzhledem ke své jednoduchosti a minimálním požadavkům pro pravidelnou údržbu.



Obr. 3.11 Tříkomorový septik a lapák tuku

(legenda: 1-přítok šedé vody, 2-tříkomorový septik, 3-norná stěna, lapák písku, 4-pískový filtr, 5-geotextilie, 6-písek, 7-bílá voda, 8-akumulační nádrž bílé vody, 9-dezinfekce, 10-čerpadlo)

Účinnost systému s jednoduchou úpravou

Je ovlivněna jednoduchostí čistící jednotky spočívající ve výše uvedených technologických postupech jako je hrubé předčištění, sedimentace nebo hrubá filtrace. Následující tabulka Tab 3.19 [71] podává přehled o účinnosti těchto systémů na zrealizovaných zahraničních projektech.

Tab 3.19 Příklady účinnosti systému s jednoduchou úpravou [71]

Použitá technologie čištění	Typ budovy/aplikace	Doba průtoku čištěním	Sledovaný ukazatel									
			CHSK _{Cr}		BSK ₅		Zákal		NL		Koliformní bakterie	
			[mg.l ⁻¹]		[mg.l ⁻¹]		[NTU]		[mg.l ⁻¹]		[KTJ/100ml]	
			vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup
Mech. předčištění + sedimentace + dezinfekce (1)	Hotel/splachování toalet	38 hod	171	78	-	-	20	17	44	19	-	-
Filtrace + dezinfekce (2)	Rodinný dům/splachování toalet	-	74	11	-	-	2	1	-	-	-	46
Filtrace + dezinfekce (2)	Rodinný dům/	-	157	47	-	-	21	7	-	-	2105	13

Použitá technologie čištění	Typ budovy/aplikace	Doba průtoku čištěním	Sledovaný ukazatel									
			CHSK _{Cr}		BSK ₅		Zákal		NL		Koliformní bakterie	
			[mg.l ⁻¹]		[mg.l ⁻¹]		[NTU]		[mg.l ⁻¹]		[KTJ/100ml]	
			vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup
	splachování toalet											
Hrubá filtrace + dezinfekce (3)	Rodinný dům/splachování toalet	-	-	166	-	40	-	40	-	35	-	-
Filtrace (4)	Rodinný dům/splachování toalet a zvlaha	-	-	-	-	-	21	7	19	8	2108	2106
Sedimentace + příkop (5)	Rodinný dům/zalévání zahrady	-	-	-	-	-	-	-	405	100	-	-
Sedimentace (5)	Rodinný dům/zalévání zahrady	-	-	-	-	-	-	-	310	195	-	-
Mech. předčištění + příkop (5)	Rodinný dům/zalévání zahrady	-	-	-	-	-	-	-	155	76	-	-

(1) ... Španělsko [74]

(2) ... Spojené království Velké Británie a Severního Irska [75]

(3) ... Spojené království Velké Británie a Severního Irska [76]

(4) ... USA [77]

(5) ... Austrálie [78]

3.8.3 Systémy s chemickou úpravou

Mezi systémy využití šedých vod s chemickou úpravou šedé vody můžeme zařadit procesy založené na koagulaci a elektrokoagulaci, kdy do šedé vody dávkuje chemikálie na bázi železa nebo hliníku. Mezi další metody patří čištění šedých vod hydroxylovými radikály. Tyto metody je možné aplikovat ve specifických případech, jako jsou šedé vody z prádelny. Tabulka Tab 3.20 reprezentuje přehled vybraných realizovaných zahraničních systémů s chemickou úpravou [71].

Systémy s chemickou úpravou při návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech můžeme rozdělit následovně:

- koagulace;
- elektrokoagulace;
- chemická oxidace šedých vod hydroxylovými radikály.

Koagulace

Jedná se o fyzikálně chemický proces, při kterém je do šedé odpadní vody dávkován koagulant, tedy látka nejčastěji na bázi železa nebo hliníku. Nejčastěji se jedná o FeCl₃, Fe₂(SO₄)₃, Al₂(SO₄)₃. Vlivem těchto látek dochází ke koagulaci a k flokulaci látek v odpadní

vodě. Koagulací se tedy odstraňují koloidní látky anorganického a organického původu. Následuje separace takto koagulovaných látek sedimentací nebo filtrací.

Koagulace je založena na dávkování solí železa nebo hliníku, tedy koagulantů. Na povrchu látek pak dochází k adsorpci iontů a vznikají tak kladně nabitě produkty částečné hydrolýzy železité či hlinité soli a sorbovaných iontů železa nebo hliníku. Tyto sorbované ionty reagují s nečistotami koloidní povahy v šedé odpadní vodě se záporným elektrickým nábojem. Produktem koagulace a flokulace jsou posléze separovatelné částice, tzv. vločky, které lze odstranit již zmíněnou sedimentací nebo filtrací. Pro zvýšení účinnosti koagulace je možné použít pomocný flokulant, kterým se zvýší účinnost tvoření vloček.

Koagulace dále může být úspěšně využita v kombinaci s pískovým filtrem nebo s granulovaným aktivním uhlím. Tento způsob chemické úpravy lze úspěšně aplikovat při čištění šedé vody z prádelen.

Elektrokoagulace

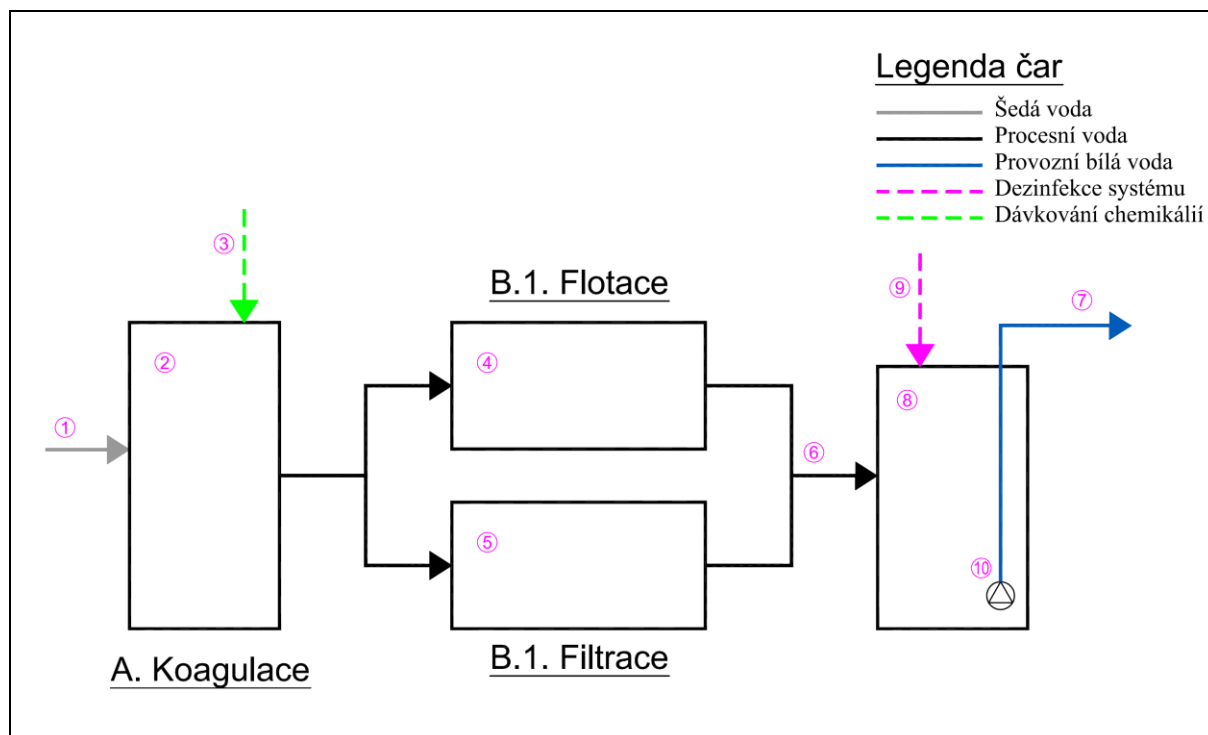
Jedná se o obdobný proces jako u výše zmiňované koagulace. Vlivem anodového rozpouštění železitých nebo hlinitých elektrod způsobené průchodem elektrického proudu nastává koagulační účinek. Při tomto procesu vznikají hydroxidy železa a hliníku, které působí na koloidní částice disperzního roztoku šedé odpadní vody, dochází ke koagulaci a vznikají tzv. vločky. Výhodou elektrokoagulace je vysoká spolehlivost, diskontinuálnost provozu čistírny a vysoké hodnoty odstranění kovů a fosfátů z šedé vody. Tyto systémy se využívají při čištění vybraných šedých vod z prádelen a všude tam, kde je šedá odpadní voda jen mírně znečištěná.

Chemická oxidace šedých vod hydroxylovými radikály

Fotokatalytická oxidace: Vývoj určitých oxidačních procesů vedl ke vzniku samostatné skupiny oxidačních technik označovaných jako oxidační procesy (AOP, advanced oxidation processes). Reakčním mechanismem jsou vysoce reaktivní hydroxylové radikály OH. Foto oxidační proces AOP se zářením $\lambda > 300$ nm. V současné době je patrný trend využívající fotokatalýzu založenou na systému $\text{TiO}_2/\text{UV}/\text{O}_2$. Jako katalyzátor zde vystupuje oxid kovu zvyšující účinek kyslíku. Z mnoha testovaných katalyzátorů se jeví jako nejvhodnější TiO_2 , vyznačující se při nízké ceně vysokou stabilitou a účinností. Katalyzátor produkuje elektrony, které redukují ve vodě rozpuštěné ionty kovů a kyslík, jenž se při této reakci mění na superoxidový radikál OH [79][79]. Značné množství prací studujících fotokatalytické procesy se zaměřuje na využití sluneční energie [80][81][82][83].

Fotolýza $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$: fotolýza za přítomnosti peroxidu vodíku představuje vysoce účinný oxidační proces, jsou-li splněny následující předpoklady: organické polutanty jsou ve vodě rozpustné, koncentrace peroxidu vodíku překračuje hodnotu cca 0,1 %, je použit zdroj UV záření s $\lambda < 280$ nm. Při splnění těchto podmínek dojde ke štěpení peroxidové vazby a vznikají dva molární ekvivalenty OH [79].

Tento způsob se využívá např. při čištění šedých odpadních vod z prádelen, kde se vyskytuje znečištěné prádlo ropnými látkami.



Obr. 3.12 Chemická úprava s oddělenou filtrací nebo flotací

(legenda: 1-přítok šedé vody, (A)koagulace: 2-koagulační nádrž, 3-dávkování chemikálií, 4-varianta (B.1)flotační nádrž, 5-varianta (B.2)filtrační nádrž, 6-procesní voda, 7-bílá voda, 8-akumulační nádrž bílé vody, 9- dezinfekce, 10-čerpadlo)

Tab 3.20 Příklady účinnosti systému s chemickou úpravou [71]

Použitá technologie čištění	Typ budovy/aplikace	Doba průtoku čištěním	Sledovaný ukazatel									
			CHSK _{Cr}		BSK ₅		Zákal		NL		Koliformní bakterie	
			[mg.l ⁻¹]		[mg.l ⁻¹]		[NTU]		[mg.l ⁻¹]		[KTJ/100ml]	
			vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup
Fotokatalytická oxidace TiO ₂ /UV (1)	Zkušební prototyp	< 30min	139	26	-	-	-	-	-	-	106	0
Koagulace + pískový filtr + GAC (2)	Zkušební prototyp	40 min	280	20	195,0	0,1	-	-	35	< 5	-	-
Elektrokoagulace + dezinfekce (3)	Zkušební prototyp	20 min	55	22	23	9	43	4	29	9	5100*	-*

*stanoveny pouze E coli

(1) ... Spojené království Velké Británie a Severního Irska [84]

(2) ... Slovinsko [85]

(3) ... Taiwan [86]

3.8.4 Systémy s fyzikální úpravou

Systémy s fyzikální úpravou mohou být rozděleny do dvou kategorií, a to písková filtrace a membránová filtrace. Tyto dva systémy je možné pro zvýšení efektivity čistícího procesu osadit v kombinaci a to následovně: pískový filtr použít pro předúpravu, jelikož je schopen odstranit hrubší částice a následně membránovou filtraci a dezinfekci. Tabulka Tab 3.21 udává přehled vybraných realizovaných zahraničních systému s fyzikální úpravou [71].

Systémy s fyzikální úpravou při návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech můžeme rozdělit následovně:

- písková filtrace;
- membránová filtrace.

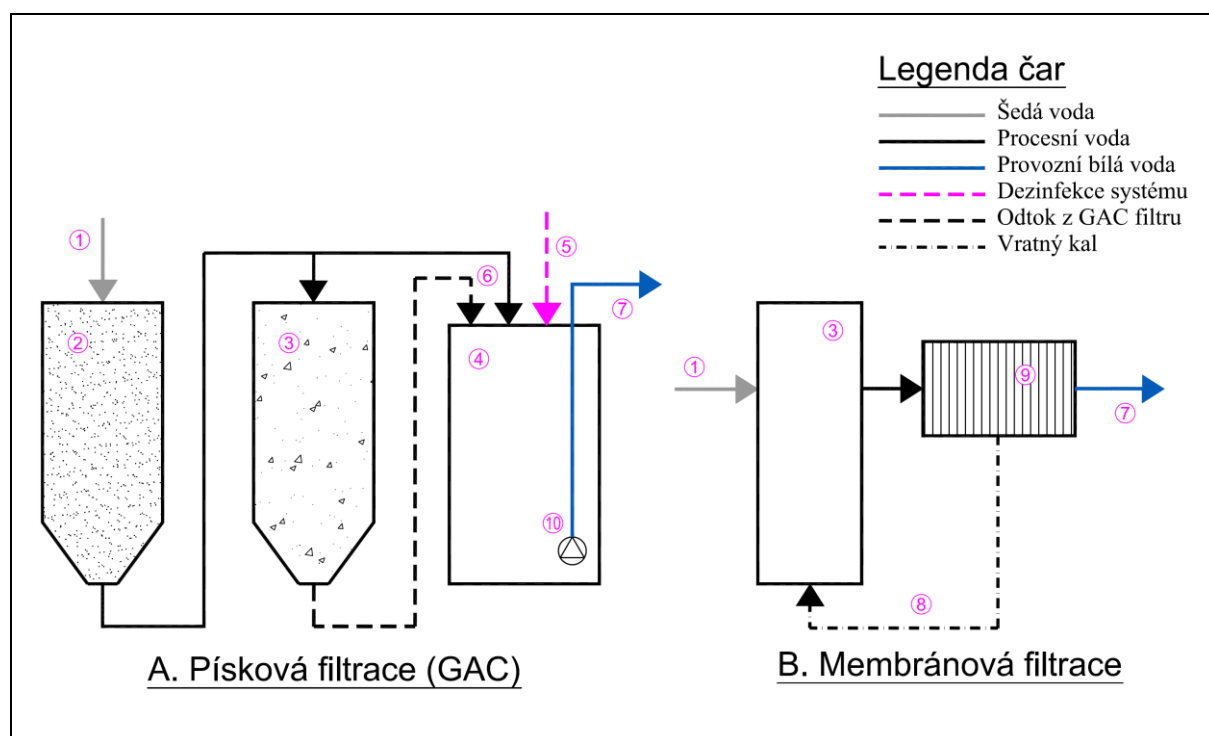
Písková filtrace

Písková filtrace zahrnuje základní fyzikální čistící proces založený na adsorpci nerozpuštěných látek na filtračním loži, tj. pískovém filtru. Jedná se o tzv. filtraci objemovou, tedy filtraci přes vrstvu zrnitého materiálu. Písková filtrace systému využití šedých vod může být použita samostatně nebo také v kombinaci s dezinfekcí anebo aktivním uhlím. Filtrační materiál může být z křemičitého písku, granulovaného aktivního uhlí GAC, antracitu a jeho volba a frakce je závislá na složení čištěné šedé vodě.

Prerušovaný pískový filtr s dodávaným vzduchem může podporovat růst mikroorganismů schopných absorbovat a odstranit patogenní látky i jemné koloidní částice. Při provozování čistící technologie systému využití šedých vod je potřeba sledovat vrstvu biofilmu vytvořenou na pískovém loži, dále je potřeba zajistit dostatečný přísun živin formou šedé vody a eliminovat nadměrné přítoky odpadní vody určené k čištění.

Membránová filtrace

Membránová filtrace úspěšně odstraňuje rozpuštěné a nerozpuštěné látky, ale organické znečištění je schopna odstranit jen v omezené míře. Membránovou filtraci je vhodné doplnit o předřazenou filtraci s pískovou náplní nebo s granulovaným aktivním uhlím. Nutností se stává hygienické zabezpečení systému. O možnostech využití membránové filtrace je podrobně pojednáváno v následujících kapitolách.



Obr. 3.13 Systémy s fyzikální úpravou; (A) písková filtrace (GAC), (B) membránová filtrace
(legenda: 1-přítok šedé vody, 2-pískový filtr, 3-GAC filtr, 4-akumulační nádrž bílé vody, 5-dezinfekce, 6-procesní voda, 7-bílá voda, 8-vratný kal, 9-membránová filtrace, 10-čerpadlo)

Tab 3.21 Příklady účinnosti systému s fyzikální úpravou [71]

Použitá technologie čištění	Typ budovy/aplikace	Doba průtoku čištěním	Sledovaný ukazatel									
			CHSK _{Cr}		BSK ₅		Zákal		NL		Koliformní bakterie	
			[mg.l ⁻¹]		[mg.l ⁻¹]		[NTU]		[mg.l ⁻¹]		[KTJ/100ml]	
			vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup
Pískový filtr (1)	Rodinný dům/ zalévání zahrady	(0.086 m ³ .m ⁻² .den ⁻¹)	271	42	477	166	-	-	105	23	-	-
Zemní filtr + dezinfekce (2)	Zkušební prototyp	2 hod (0.32 m ³ .m ⁻² .den ⁻¹)	-	-	-	-	17	9	549	460	2.106	34
Zemní filtr + GAC + dezinfekce (2)	Zkušební prototyp	(0.24 m ³ .m ⁻² .den ⁻¹)	-	-	-	-	23	9	500	394	1.105	4
Zemní filtr + GAC + pískový filtr + dezinfekce (3)	mešita / závlaha	(1.3 m ³ .den ⁻¹)	51	35	-	-	13	6	9	4	> 200	0
Mech.předčištění + sedimentace + multimediální filtr + ozonizace (4)	Apartmán / splachová-ní toalet	(1.0 m ³ .den ⁻¹)	-	-	130	-	82	26	67	21	8870*	8*
Pískový filtr + membrána + dezinfekce (5)	Zkušební prototyp	(4.37 m ³ .den ⁻¹)	65	18	23	8	18	0	-	-	5.103*	0*
UF membrána (400kDa) (6)	Zkušební prototyp	-	146	80	-	-	18	1,4	-	-	-	-
UF membrána (200kDa) (6)	Zkušební prototyp	-	146	74	-	-	17	1	-	-	-	-
UF membrána (30kDa) (6)	Zkušební prototyp	-	165	51	-	-	24	0,8	-	-	-	-
NF membrána (7)	Zkušební prototyp	-	226	15	-	-	30	1	28	0	-	-
RO membrána (7)	Zkušební prototyp	-	130	3	86,0	2	-	-	18	8	-	-
UF membrána (7)	Zkušební prototyp	-	280	130	195,0	86	-	-	35	18	-	-
Membrány (8)	Hotel / splachová-ní toalet	-	64	10	-	-	10	0	-	-	-	-
Hrubá filtrace + RO + dezinfekce (9)	Zkušební prototyp	-	-	-	-	-	30	0	102	< 10	5.107	0
UF membrána (10)	Zkušební prototyp	-	451	117	274	53	-	-	-	-	-	-

*stanoveny pouze E coli

(1) ... Japonsko [87]

(2) ... USA [88]

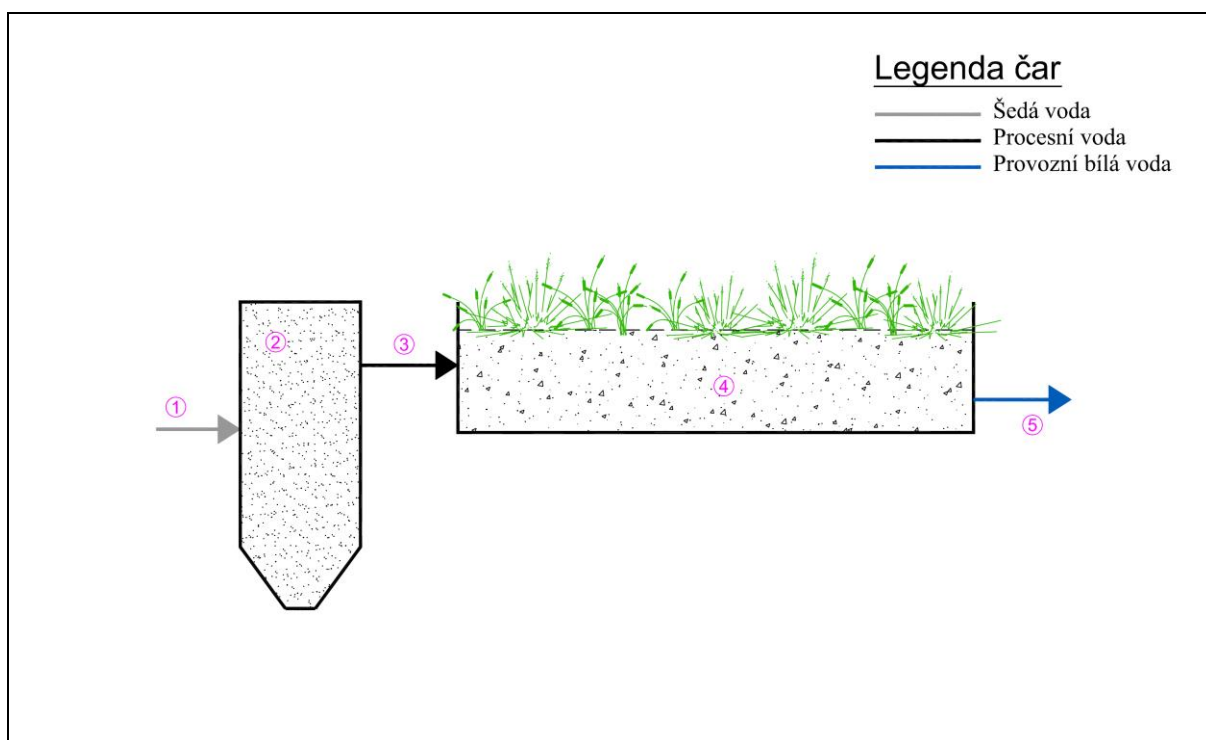
(3) ... Omán [89]

(4) ... Kanada [90]

- (5) ... Spojené království Velké Británie a Severního Irska [91]
- (6) ... Izrael [92]
- (7) ... Slovinsko [85]
- (8) ... Jižní Korea [93]
- (9) ... USA [94]
- (10) ... Spojené království Velké Británie a Severního Irska [95]

3.8.5 Přírodní postupy čištění

Přírodní čištění na úpravu šedé vody obvykle zahrnují umělé mokřady, rákosová pole a jezírka. Přírodnímu čištění obvykle předchází usazování za účelem odstranění velkých částic, následuje písková filtrace určená k odstranění částic unášených čištěnou vodou. Nejčastěji vyskytující se rostlina v rákosových polích je rákos obecný (*Phragmites australis*). Přírodní čištění odstraňuje mikrobiální znečištění jen v nepatrné míře. Kromě toho, že přírodní čištění je považováno za ekologicky šetrnou technologii a také je považována za finančně nenáročnou technologii na pořízení, tak i z hlediska následného provozu. Nevýhodou přírodního čištění je požadavek na poměrně velkou plochu, která je ve srovnání s jinými technologiemi výrazně větší.



Obr. 3.14 Přírodní metody čištění šedých odpadních vod
(legenda: 1-přítok šedých vod, 2-pískový filtr, 3-bílá voda, 4-rákosové pole, 5- bílá voda)

Tabulka Tab 3.22 poskytuje přehled vybraných realizovaných zahraničních systému s aplikací systémů přírodními postupy čištění [71].

Tab 3.22 Příklady účinnosti systému přírodními postupy čištění [71]

Použitá technologie čištění	Typ budovy/aplikace	Doba průtoku čištěním	Sledovaný ukazatel									
			CHSK _{Cr}		BSK ₅		Zákal		NL		Koliformní bakterie	
			[mg.l ⁻¹]		[mg.l ⁻¹]		[NTU]		[mg.l ⁻¹]		[KTJ/100ml]	
			vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup
Horizontálně průtočná KČOV (1)	Zkoušený prototyp	2,1 dní	452	111	151	51	63	12	87	31	6107	1104
Vertikálně průtočná KČOV (1)	Zkoušený prototyp	2 hod	452	27	151	5	63	2	87	9	6107	2104
Mokřad (1)	Zkoušený prototyp	2,1 dní	452	139	151	71	63	26	87	19	6107	2106
Sedimentace + vertikálně průtočný mokřad (2)	Dům / závlaha	8 - 24 hod	839	157	466	0,7	-	-	158	3	5107+	2105+
Akumulace ŠV + pískový filtr (3)	Dům / závlaha / splachování toalet	-	-	-	120	4	64	4	40	17	4107	5104
Akumulace ŠV + pískový filtr + dávkování mědi + dezinfekce (3)	Dům / závlaha / splachování toalet	-	-	-	-	-	79	4	36	5	2107	6105
Akumulace ŠV + pískový filtr + dávkování mědi a stříbra + dezinfekce (3)	Dům / závlaha / splachování toalet	-	-	-	-	-	15	3	19	7	6108	3104
2 KČOV + rybník (4)	Závlaha pro 3 domy	>10 dní (0.755 m3/den)	-	-	167,0	3	96	5	-	-	2108+	198+
Zasakovací příkop + vegetace (5)	Zkoušený prototyp	4-5 dní (0.01 m3/den)	-	-	254,0	13	103	-	-	-	8107+	2050+
Sedimentace + KČOV (6)	Dům / splachování toalet, závlaha, úklid	(0.5 m3/den)	411	29	200,0	5	-	-	98	3	-	-
Sedimentace + mokřady (7)	Domy	(70 l/obyt./den)	258-354	-	-	-	-	-	-	-	3105*	1104*
Sedimentace + pískový filtr + mokřad (8)	Výzkumné centrum / infiltrace	-	311	27	130,0	5	-	-	-	-	-	-

Použitá technologie čištění	Typ budovy/aplikace	Doba průtoku čištěním	Sledovaný ukazatel									
			CHSK _{Cr}		BSK ₅		Zákal		NL		Koliformní bakterie	
			[mg.l ⁻¹]		[mg.l ⁻¹]		[NTU]		[mg.l ⁻¹]		[KTJ/100ml]	
			vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup
KČOV (9)	Universita	7 dní (0.09 m3/den)	151	51	42,0	26	-	-	25	20	-	-
Sedimentace + KČOV + pískový filtr (10)	Chata / závlaha	4 dny	361	56	165*	< 5*	-	-	-	-	3106	< 20
Filtr s dolomitem + 3 rybníky + pískový filtr (11)	VŠ koleje / splachování toalet	1 rok	-	-	47*	0*	-	-	-	-	9104	172

*stanoveny jako E coli

+stanoveny pouze fekální koliformní bakterie

(1) ... Spojené království Velké Británie a Severního Irska [96]

(2) ... Izrael [97]

(3) ... USA [77]

(4) ... Kostarika [98]

(5) ... Kostarika [99]

(6) ... Nepál [100]

(7) ... Německo [101]

(8) ... Švýcarsko [102]

(9) ... Itálie [103]

(10) ... Švédsko [104]

(11) ... Švédsko [105]

3.8.6 Systémy s biologickou úpravou

Systémy s biologickou úpravou šedé odpadní vody zahrnují širokou škálu procesů, které je možné úspěšně aplikovat v čistících procesech. Obecně lze říci, že systémy s biologickou úpravou jsou doplněny o předúpravu spočívající v základních, většinou mechanických čistících procesech. Jedná se o hrubé předčištění na česlích nebo sítích při nátoce do sběrné nádrže. Může následovat sedimentační nádrž, filtrace (písková nebo na granulovaném aktivním uhlí) v kombinaci se samotnou biologickou úpravou, nejčastěji prostřednictvím aplikace aktivační nádrže. Do čistící jednotky šedé vody můžeme dále zakomponovat membránové technologie anebo doplnit systém využití šedých vod o dočištění na kořenové čistírně, či mokřadech.

Podstata aktivace biologického znečištění spočívá v provzdušňování aktivovaného kalu v aktivační nádrži. Aktivovaný kal je tvořen směsnou kulturou mikroorganismů, díky kterým probíhá systém čištění.

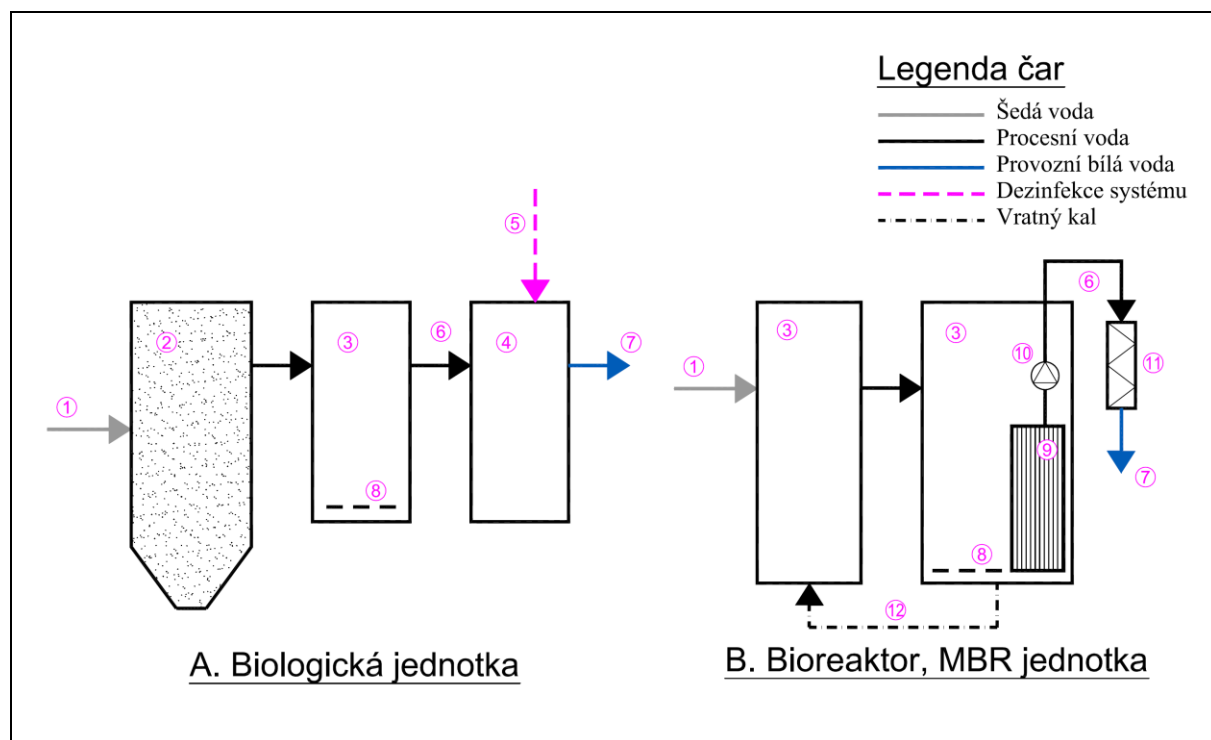
Systémy biologické úpravy jsou využívány především u objektů s vysokou produkcí a většího znečištění šedé odpadní vody. Jedná se např. o velké administrativní budovy, hotely, vícepodlažní budovy, ubytovny a vysokoškolské koleje.

Systémy využití šedých vod s biologickou úpravou čištění šedé vody dosahují vysokého stupně odstranění organických látek. Pro hygienické zabezpečení systému využití šedých vod je důležité čistící proces doplnit o UV lampu, chlorační nebo ozonizační jednotku. V případě doplnění systému využití šedých vod biologického čištění o membránovou technologii je

dosaženo takového odstranění mikroorganismů, že by teoreticky nebylo už potřeba systém dál hygienicky zabezpečovat.

Systémy s biologickou úpravou při návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech můžeme rozdělit následovně:

- biologická jednotka;
- bioreaktor, MBR jednotka.



Obr. 3.15 Systémy s biologickou úpravou; (a) biologická jednotka, (b) bioreaktor, MBR jednotka
(legenda: 1-přítok šedých vod, 2-pískový filtr, 3-biologická jednotka, 4-akumulační nádrž bílé vody, 5-hygienické zabezpečení, dezinfekce, 6-provozní voda, 7-bílá voda, 8-aktivace, 9-jednotka MBR, 10-čerpadlo, 11-hygienické zabezpečení, dezinfekce - teoreticky možné vynechat, 12-vratný kal)

Tab 3.23 Příklady účinnosti systému s biologickou úpravou [71]

Použitá technologie čištění	Typ budovy/aplikace	Doba průtoku čištěním	Sledovaný ukazatel									
			CHSK _{Cr}		BSK ₅		Zákal		NL		Koliformní bakterie	
			[mg.l ⁻¹]		[mg.l ⁻¹]		[NTU]		[mg.l ⁻¹]		[KTJ/100ml]	
			vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup
Česle + sed. + flotace + rot. filtry + pískový filtr + dez. (1)	Stadión / splachová ní toalet	(622 m ³ .den ⁻¹)	243	6	336	20	-	-	207	10	-	10
Anaerobní filtr + ponořený biofiltr + sedimentace + dezinfekce (2)	Dům	(1735 m ³ .den ⁻¹)	-	11	-	8	-	-	-	6	-	-
Sekvenční reaktor + MF na mamb. (3)	Zkoušený prototyp	13 hod (1,2 m ³ .den ⁻¹)	79	30	5	5	-	-	185	-	-	-
Česle + membránový bioreaktor (4)	Zkoušený prototyp	3,6 hod	130-322	< 40	99-212	<5	146 - 185	< 1	15-50	0	-	-

Použitá technologie čištění	Typ budovy/aplikace	Doba průtoku čištěním	Sledovaný ukazatel									
			CHSK _{Cr}		BSK ₅		Zákal		NL		Koliformní bakterie	
			[mg.l ⁻¹]		[mg.l ⁻¹]		[NTU]		[mg.l ⁻¹]		[KTJ/100ml]	
			vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup
Česle + rot. bio. reaktor + sed. + písk. filtr + dez. (5)	Studentské byty / splachováni toalet	18 hod	158	40	59	2	33	1	43	8	6105*	1*
Česle + membránový bioreaktor + dezinfekce (5)	Studentské byty / splachováni toalet	18 hod	206	47	95	1	80	0	10	13	3105*	27*
Sedimentace + anaerobní filtr (6)	Dům / závlaha	18 hod	-	-	300-1200	375	-	-	-	107	-	-
Membránový bioreaktor (7)	Průmyslová prádelna	2-2,5 dní (60 m ³ .den ⁻¹)	1700	50	645,0	2	-	-	-	-	-	-
Sedimentace + rot. biologický reaktor + UV (8)	Bytový dům / splachováni toalet	(2.1 m ³ .den ⁻¹)	100-200	-	43-85	< 4	-	-	-	-	104 - 105	< 104
Fluidní reaktor + UV dezinfekce (8)	Dům / splachováni toalet	(0.04 m ³ .den ⁻¹)	113-633	-	60-256	< 4	-	-	-	-	103 - 105	< 104
Aerační biofiltr + UV dezinfekce (9)	Bytový dům / splachováni toalet	-	8000	75	-	-	-	-	-	-	1106*	20*
Česle + biofilm + UV dezinfekce (10)	Dům / splachováni toalet, pračka, zalévání	-	-	-	-	9	-	6	-	9	-	0*
Septik + pískový filtr + UV dezinfekce (11)	Dům / splachováni toalet, jiná spotřeba	-	-	-	97,0	6	-	1	48	3	2105	9
Septik + aerační biofiltr + mokřad (12)	Dům / závlaha	-	-	62	-	< 10 (BSK ₇)	-	-	-	-	-	< 100
Membránový bioreaktor (13)	Zkoušený prototyp	10 hod	493	24	-	-	-	-	7	4	-	-
Česle + aerační biofiltr + hloubkový filtr + GAC (14)	VŠ koleje / splachováni toalet	-	-	-	-	9	-	1	-	6	-	995
Biologický aerační filtr (15)	Zkoušený prototyp	4 hod (0.4 m ³ .m ² .den ⁻¹)	363	80	1131,0	5	-	-	109	8	-	-
Bioreaktor + pískový filtr + GAC + dezinfekce (16)	VŠ koleje / splachováni toalet	(263 m ³ .den ⁻¹)	201	62	-	-	212	5	-	-	7105	3
Biologický aerační filtr (17)	Zkoušený prototyp	3.7 hod (0,328 m ³)	128	13	41,0	4	-	3	52	6	2106	2104

Použitá technologie čištění	Typ budovy/aplikace	Doba průtoku čištěním	Sledovaný ukazatel									
			CHSK _{Cr}		BSK ₅		Zákal		NL		Koliformní bakterie	
			[mg.l ⁻¹]		[mg.l ⁻¹]		[NTU]		[mg.l ⁻¹]		[KTJ/100ml]	
			vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup	vstup	výstup
		.den ⁻¹)										
Ponořený membránový bioreaktor (17)	Zkoušený prototyp	13.6 hod (0,071 m ³ .den ⁻¹)	128	7	41,0	1	-	4	52	4	2106	2
Membránový aerační bioreaktor (17)	Zkoušený prototyp	0.8 hod (0,225 m ³ .den ⁻¹)	128	17	41,0	9	-	7	52	13	2106	2104
Boční membránový bioreaktor (17)	Zkoušený prototyp	2.8 hod (0,137 m ³ .den ⁻¹)	273	2	181,0	1	-	1	58	4	3104	1
Biologický aerační filtr + UF membrána (18)	Zkoušený prototyp	1,2 hod	80	6	-	-	25	0	52	1	6105	< 1
Biologický reaktor + pískový filtr (19)	Zkoušený prototyp	(2,88 m ³ .den ⁻¹)	34	12	21,0	2	20	1	-	-	2102	< 1
Biologický aerační filtr (18)	Aréna / splachová ní toalet	1,25-5 hod (120 m ³ .den ⁻¹)	84	14	-	-	-	-	31	3	3105	3103

*stanoveny pouze fekální koliformní bakterie

- (1) ... Japonsko [106]
- (2) ... Japonsko [107]
- (3) ... Jižní Korea [108]
- (4) ... Čína [109]
- (5) ... Izrael [110]
- (6) ... Jordánsko [111]
- (7) ... Dánsko [112]
- (8) ... Německo [113]
- (9) ... Finsko [114]
- (10) ... Austrálie [115]
- (11) ... Austrálie [116]
- (12) ... Norsko [117]
- (13) ... Německo [118]
- (14) ... Spojené království Velké Británie a Severního Irska [119]
- (15) ... Spojené království Velké Británie a Severního Irska [95]
- (16) ... Spojené království Velké Británie a Severního Irska [75]
- (17) ... Spojené království Velké Británie a Severního Irska [120]
- (18) ... Spojené království Velké Británie a Severního Irska [121]
- (19) ... Spojené království Velké Británie a Severního Irska [122]

3.8.7 Membránový proces čištění šedých vod

Membránový proces separace šedých odpadních vod představuje jeden z možností moderního čištění odpadních vod. Membránová technologie čištění šedých odpadních vod je kombinací biologického čištění a velmi účinné separace pevné i tekuté fáze. Při zařazení membránové technologie přímo do aktivačního procesu nahrazuje membrána dosazovací nádrž. Jednou z hlavních výhod je, na rozdíl od dosazovacích nádrží, že kvalita odtoku není ovlivňována nedostatečnými sedimentačními vlastnostmi sekundárního kalu nebo nepříznivě vytvořené pěny na hladině. Membránové technologie mohou být provozovány i za vysoké koncentrace

biomasy, až 15 kg.m^{-3} [123]. Toto má za pozitivní následek snižování objemů nádrží a snižování produkce kalu.

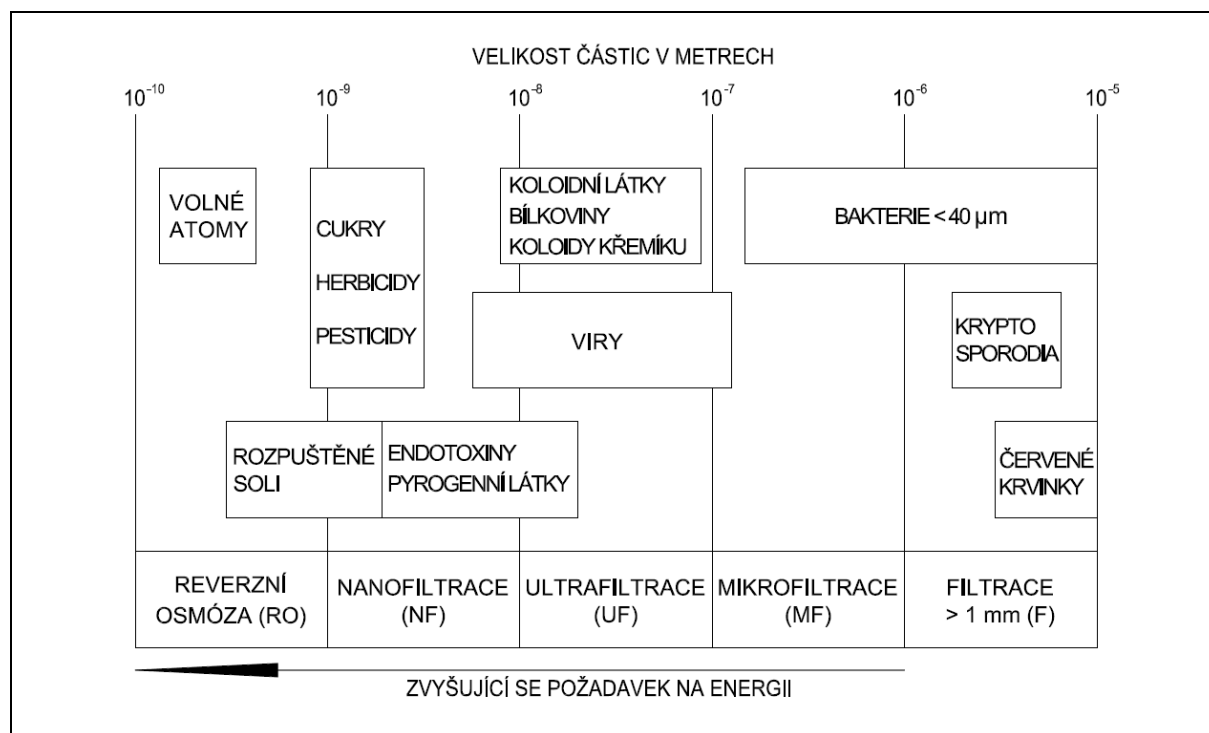
Princip membránového procesu čištění

Membrána je v čistícím procesu zařazena až za mechanické a biologické čištění. Takto předpřipravená voda je vedena přes membránu, kde se oddělí pevná složka od složky kapalné. Odpadní voda je tímto zbavena všech částic, které jsou větší než póry membrány. Tato separace na membráně probíhá bez toho, aby čistěná látka měnila své teplotní, biologické nebo chemické vlastnosti. Podle velikosti pórů můžeme membrány rozdělit do jednotlivých kategorií, viz Obr. 3.16 [124]. Lze konstatovat, že membránové technologie plnohodnotně nahradí dosazovací nádrž a je možné je použít i pro terciární dočištění a při vhodně zvoleném typu membrány odstraní tyto membrány v čistícím procesu i mikrobiologické znečištění.

Dělení membránových procesů

Membrány určené pro čištění odpadních vod můžeme rozdělit podle velikosti pórů, respektive podle velikosti částic, které se zachytí na povrchu membrány. Nejčastější dělení s přihlédnutím k obrázku Obr. 3.16 je následující:

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



Obr. 3.16 Přehled membránových procesů separace [124]

Nejčastěji používaným typem filtrace v oblasti čištění šedých odpadních vod s přihlédnutím k tabulce Tab 3.23 Příklady účinnosti systému s biologickou úpravou je mikrofiltrace a ultrafiltrace o dosaženém pracovním tlaku na membráně do 0,5 MPa. Velikost pórů umožní zachycení mikročástic, koloidních látek, bakterií a některých virů. Vláknina membrány mohou být polymerní (plochá nebo dutá) nebo anorganická (keramická, uhlíková).

Mikrofiltrační membrány mohou být ve spojitosti se směrem toku přiváděné filtrované suspenze rozděleny následovně:

- membrány s klasickou filtrací (v zahraniční literatuře označovány jako „Dead - end Filtration“) - směr toku filtrované suspenze je kolmý k povrchu membrán;
- membrány s filtrací s příčným tokem (v zahraniční literatuře označovány jako „Cross - Flow Filtration“) - suspenze je přiváděna tangenciálně k povrchu membrány, snižuje se tak tloušťka filtračního koláče vynaloženou silou [123].

Membránový modul je možné umístit:

- přímo do aktivační nádrže – označováno jako bioreaktor s membránovým separátorem kalu (MBR; Membrane Bio-Reactor). Pod modul je přiváděn provozní vzduch (jemnobublinná aerace) a současně také vzduch prací (hrubobublinné elementy), který snižuje zanášení membrán. Přebytný kal je odváděn přímo z aktivační nádrže;
- mimo prostor aktivační nádrže, do samostatné kontejnerové jednotky, do které se přečerpává aktivační směs z aktivační nádrže a zpět se vrací zkoncentrovaný aktivovaný kal;
- za dosazovací nádrž - slouží potom jako terciární dočištění odtoku z ČOV [123].

Výhody membránového procesu čištění ŠV

- omezené požadavky na prostor, malá zastavěná plocha – nahrazení prostorově náročných dosazovacích nádrží;
- možnost zpětného využívání permeátu (odtoku);
- do značné míry dochází k eliminaci vlivu kvality kalu na účinnost separace – vyhneme se tak problémům souvisejícím převážně s výskytem vláknitých mikroorganismů;
- membránové aktivační reaktory mohou být provozovány při vysoké koncentraci biomasy (až cca 15 kg.m^{-3}) – možnost výrazně snižovat potřebné objemy nádrží;
- s nižším zatížením kalu souvisí také snížení produkce přebytného kalu, který je navíc částečně aerobně stabilizován;
- vyšší stáří kalu a vyšší koncentrace kalu umožňují odstraňování i biologicky těžko rozložitelných látek;
- jednoduchost provozu – řízení provozu gravitačních dosazovacích nádrží je poměrně složité, zejména při nestabilních vlastnostech a složení aktivovaného kalu [123].

Nevýhody membránového procesu čištění ŠV

- vyšší investiční náklady;
- zvýšené nároky na kvalitu obsluhy a údržby;
- komplikované strojní vybavení a s tím spojené vyšší provozní náklady oproti separaci v relativně jednoduchých dosazovacích nádržích;
- při vyšších koncentracích aktivačního kalu než 15 kg.m^{-3} již může docházet k problémům s aerací, případně k tvorbě pěny;
- voda přitékající na membránu musí být řádně předčištěná, jinak hrozí nebezpečí zanášení membrán;

- nutnost poměrně vyrovnaného průtoku vzhledem k pomalejší reakci membrán na zvyšování průtoku;
- nutnost pravidelného čištění a regenerace membrán chemickými činidly [123].

3.9 MOŽNOSTI ÚPRAVY DEŠŤOVÉ VODY

3.9.1 Obecná charakteristika úpravy dešťové vody

Zájem o znovu užití dešťových vod je znám od nepaměti. V minulosti byla dešťová voda sbírána ze zpevněných povrchů, akumulována ve sběrných nádržích pro zalévání. Dešťová voda je i v dnešní době stále vnímána širokou veřejností jako málo znečištěný zdroj užitkové vody.

V případě využívání dešťové vody k zalévání zahrady, trávníku nebo mytí auta postačí základní čistící procesy spočívající ve filtraci a sedimentaci. Je nutné zabezpečit, aby se do sběrné nádrže nedostaly větší částice jako je listí a větve. Tyto nečistoty by způsobovaly provozní problémy jako je zanášení potrubí, sběrné nádrže a mohlo by dojít také k poškození čerpadla.

Pokud bychom chtěli dešťovou vodu využívat pro praní prádla, je potřeba systém doplnit o kvalitní filtraci. Nedostatečné vyčištění dešťové vody se projeví skvrnami na prádle. Tuto skutečnost můžeme eliminovat dvěma oddělenými přívody vody do pračky, jímž jsou moderní typy praček v převážné míře vybaveny. Při předpírce, hlavním praní a máchání je vhodné využívat dešťovou vodu, posléze při posledním máchání použít vodu pitnou z vodovodu.

Dle místa osazení mechanického filtru můžeme čištění dešťových vod rozdělit následovně:

- svodové a podokapové filtry;
- interní filtrační vložky;
- externí filtrační šachty.

3.9.2 Svodové a podokapové filtry

Jsou osazovány při využití dešťové vody pro zalévání zahrady. Tento typ filtrace odstraní pouze hrubé nečistoty, jako je listí, mech a větve stromů. Dle místa umístění můžeme filtry hrubých nečistot rozdělit:

- svodové filtry (okapový filtr, odlučovač listí);
- podokapové filtry (filtrační podokapový hrnec, podokapový lapač nečistot).

Okapový filtr se nasazuje na svod potrubí ze střechy nemovitosti. Filtrace probíhá přes filtrační síto s možností letního a zimního provozu. V letním provozu protéká cca 90% vody skrz sítko do akumulačního svodu. V zimním období se poloha síta změní (sítko se otočí) a veškerá voda je odváděna přímo do kanalizace. Filtry jsou samočisticí a není tedy potřebná pravidelná kontrola a údržba, stačí 2 krát do roka při měnění polohy letní/zimní provoz. Okapové filtry se dále dělí dle dimenze svodného potrubí a dle velikosti odvodňované plochy střechy.

Plastový odlučovač listí je bezesporu nejjednodušší forma filtrace dešťové vody před samotným znovu užitím. Odlučovač se napojuje na svodové okapové potrubí. Voda dopadá na šikmé sítko, protéká jím a hrubé nečistoty jsou vyplavovány ven z odlučovače. Nevýhoda

tohoto zařízení spočívá právě v nutnosti venkovního úklidu takto vyseparovaných nečistot. Jinak je odlučovač listů téměř bezúdržbový a nemá letní a zimní provoz.

Filtrační podokapové hrnce jsou určeny pro filtraci z jednoho svodného potrubí střechy nemovitosti. Při samotné instalaci se osazuje na šterkopískový polštář nebo přímo do betonu. Filtrace je zajištěna přes cca 50 mm vrstvu šterku umístěného nad sítím. Mezi kamenivem a filtračním sítím je umístěna filtrační vložka z netkané textilie. Tento typ filtrace je vhodný pro zalévání, doplňování zahradních rybníčků.

Podokapové lapače nečistot Geiger slouží k zachycení hrubých nečistot, jako je listů, mech a větve. Skládá se ze dvou komor oddělených klapkou, součástí je také lapač nečistot (košík) a inspekční poklop pro odstranění hrubých nečistot. Takto vyčištěná dešťová voda je vhodná k zalévání zahrady.

3.9.3 Interní filtrační vložky

Jsou osazovány do akumulčních nádrží dešťové vody tam, kde je možné zavedení nátokového vedení do prostoru revizní šachty, tj. do vstupních komínků. Filtrace vody probíhá prostřednictvím filtračního koše nebo samočisticí vložky. Podle typu konstrukce můžeme interní filtrační vložky rozdělit:

- interní filtr s košíčkovou filtrační vložkou;
- interní filtr se samočisticí filtrační vložkou;
- závěsný košíčkový filtr.

Interní filtr s košíčkovou filtrační vložkou zajistí maximální možný sběr dešťové vody, jelikož na rozdíl od samočisticích filtrů proteče veškerá voda skrz až do sběrné nádrže. Čisticí jednotka je tvořena filtračním tělem osazeným na přítokovém a přepadovém potrubí. Filtrační tělo se skládá z filtračního košíku se sítím a poutkem pro snadnou manipulaci, jelikož košík vyžaduje pravidelnou údržbu. Filtr je vhodné doplnit o přepadový sifon, který zabrání vniknutí případného zápachu z přepadu do kanalizace, dále pak ochrannou mřížkou proti hlodavcům.

Interní filtr se samočisticí filtrační vložkou zajistí cca 90 % výtěžnost přefiltrované vody [125], která proteče skrz filtr do nádrže. Zbývajících 10 % zajistí očištění filtrační plochy a odtok přepadem do kanalizace. Čisticí jednotka je tvořena filtračním tělem, které je uchyceno na přítokovém a odtokovém potrubí. Ve filtračním těle je osazena samočisticí filtrační vložka se sítím. Na filtrační tělo je možné osadit oplachovací sprchu, která v případě potřeby zajistí oplach nečistot usazených na síti. Filtr je vhodné doplnit o přepadový sifon, který zabrání vniknutí případného zápachu z přepadu do kanalizace, dále pak ochrannou mřížkou proti hlodavcům.

Závěsný košíčkový filtr představuje nejjednodušší konstrukci pro filtraci vody. Filtrační koš je osazen přes závěs na přítokovém potrubí do sběrné nádrže. Veškerá voda proteče tímto filtrem přímo do nádrže, z tohoto důvodu je nutné koš pravidelně kontrolovat a čistit.

3.9.4 Externí filtrační šachty

Vybudováním externí filtrační šachty dosáhneme samostatné filtrační jednotky nezávislé na sběrné nádrži. Jedná se o převážně kulaté šachty s přítokovým, odtokovým a dle potřeby i přepadovým potrubím do kanalizace. Šachty je možné doplnit o teleskopické prodloužení sloužící k vyrovnání výškových rozdílů, dále dle potřeby pochůzným nebo pojízdným poklopem. Dle konstrukce můžeme externí filtrační filtry rozdělit následovně:

- externí filtrační šachta s košíčkovou filtrační vložkou;
- externí filtrační šachta se samočisticí filtrační vložkou;
- externí filtrační šachta se sedimentační zónou.

Externí filtrační šachta s košíčkovou filtrační vložkou zajistí maximální možný sběr dešťové vody, jelikož na rozdíl od samočisticích filtrů proteče veškerá voda do sběrné nádrže. Filtrační koše je možné použít samostatně nebo jako součást filtrační šachty. Filtrační jednotka je tvořena sítím a poutkem pro snadnější manipulaci. Externí filtry mívají obvykle tři otvory, z toho jeden při nátoku a dva ve dně. Tyto dva otvory slouží jako nátok do sběrné nádrže a jako přepad do kanalizace. Filtrační šachta může být navíc vybavena sedimentačním dnem pro zachycení těžších nečistot při odvodnění komunikací nebo dvorů.

Externí filtrační šachta se samočisticí filtrační vložkou zajistí cca 90 % sběr dešťové vody, která proteče skrz filtr do sběrné nádrže [125]. Zbývajících 10 % vody opláchne filtrační plochu a odeče společně s nečistotami do kanalizace. Šachta má obvykle tři otvory, z toho jeden při nátoku a dva ve dně. Tyto dva otvory slouží jako nátok do sběrné nádrže a jako přepad do kanalizace. V plastovém těle je osazena samočisticí filtrační vložka se sítím. Na přítokové potrubí je možné osadit oplachovací sprchu, kterou je možné dle potřeby spláchnout přichycené nečistoty.

3.10 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ÚČINNOST ČIŠTĚNÍ

Mezi hlavní faktory ovlivňující samotný proces čištění šedých odpadních vod, jako obdobně u jiných systémů s biologickou jednotkou, patří:

- vliv nerozpustných látek NL, jejich množství a kvalita v přítoku odpadních vod přímo odpovídá následnému složení aktivovaného kalu, nerozpuštěné látky NL ovlivňují kvalitu kalu z dosazovací nádrže, kdy kal jde po přepojení do kanalizace;
- vliv mikrobiálních produktů čisticího procesu, což představuje přibližně 1–10 % odstraněného CHSK_{Cr} , jsou mimo jiné i hlavním důvodem proč nemůžeme dosáhnout nulové hodnoty BSK_5 a CHSK_{Cr} na odtoku;
- vliv doby zdržení se nejvíce projevuje při nízkých dobách zdržení;
- vliv teploty;
- vliv koncentrace rozpuštěného kyslíku;
- vliv pH;
- vliv nutrietů;
- vliv solnosti do 10 g.l^{-1} (v podobě NaCl) nemá výrazný vliv na biologické čištění. Zvýšená solnost může mít vliv na poměr oxidace a syntézy v prospěch syntézy;
- vliv těžkých kovů se projevuje toxicitou na mikroorganismy a vlivem na některé procesy (např. nitrifikace) [126].

Dešťová voda vyžaduje vzhledem ke svému stupni znečištění ve většině případu pouze hrubé mechanické předčištění spočívající v odstranění tuhých látek jako je listí apod. Vzhledem k možné fekální kontaminaci trusem ptactva a jiných živočichů je vhodné systém doplnit o hygienické zabezpečení.

3.11 ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA Z ODPADNÍ VODY

3.11.1 Úvod do problematiky rekuperace tepla z odpadních vod

Šedá odpadní voda vykazuje v místě svého odtoku ze zařizovacích předmětů poměrně vysokou teplotu, zejména z umyvadel, sprch a praček, kdy nese separovaná šedá voda dosahuje převážně hodnot v rozmezí 18 – 35 °C [127], teplota šedých vod z praček 28 – 32 °C, sprch a umyvadel mezi 18 až 38 °C [62]. Takovýto zdroj tepla je vypouštěn do veřejné kanalizace a to bez přímého využití v místě produkce, i když zvýšená teplota má pozitivní vliv na čisticí procesy v městské čistírně odpadních vod. Vzhledem k vysoké produkci šedých vod s vysokou teplotou, je vhodné systém využití šedých vod doplnit o rekuperaci tepla.

Samotný odběr tepla z šedé odpadní vody můžeme v rámci nemovitosti provádět dle místa rekuperace tepla následovně:

- lokální odběr tepla, vhodný pro menší provozy s okamžitou spotřebou energie, jako např. rodinné domy;
- centrální odběr tepla, vhodný pro velké provozy s možností akumulace odpadní šedé vody.

Takové teplo z šedé vody můžeme dále rozdělit dle místa spotřeby energie na ohřev:

- provozní teplé vody;
- teplé užitkové vody (dále TV);
- vytápění objektu.

Při současných cenách za energie je vhodné systém využití šedých vod doplnit o rekuperaci tepla, čímž se sníží náklady na ohřev teplé užitkové vody nebo náklady spojené s vytápěním objektu.

3.11.2 Lokální systémy rekuperace tepla

Lokální systémy rekuperace tepla zahrnují princip okamžitého využití energie ve formě tepla z odtékající šedé vody za zařizovacím předmětem, jako jsou umyvadla, sprchy, vany nebo pračky. Takto získané teplo je okamžitě využito k následující spotřebě:

- předehřev studené vody pro okamžitou spotřebu;
- předehřev studené vody zásobníku TV.

Obě řešení jsou vhodná pro objekty malé produkce šedé vody, tedy pro rodinné domy a menší provozy [127].

Lokální systém - předehřev vody pro okamžitou spotřebu

Výhodou tohoto zapojení je, že předehříváme vodu vždy, když je spotřeba. Časová prodleva, od které je předehřátá voda k dispozici, je závislá na délce potrubí a umístění tepelného výměníku. Teplota předehřáté vody se pohybuje kolem 20 °C. Tuto vodu lze přímo napojit do okruhu sprch nebo umyvadel. Toto opatření má za následek snížení spotřeby teplé užitkové vody. Ve směšovací baterii tak smícháváme menší poměr teplé vody ke studené vodě. Tento systém má větší účinnost než předehřívání vody do zásobníku TV, protože je umístěn blíže směšovací baterii a nedochází ke ztrátám [127].

Při využití tepelného výměníku na lokální předehřev studené vody ve sprchovém koutě se nainstalovaný systém stává aktivní již po 10 sekundách sprchování s účinností z 10 °C na

výsledných 20°C [128]. Zahraniční odborná literatura uvádí úsporu energie v řádu 51 % v případě přehřevu studené i teplé vody, 51 % v případě přehřevu vody studené a 35 % v případě přehřevu jen vody teplé [129][130]. Jiný zdroj uvádí dosažení hodnoty až 49 % úspory energie [131].

Lokální systém - přehřev vody pro zásobník TV

Druhou možností je přehřátou vodu vést do zásobníku teplé užitkové vody, kde se pak dohřívá na příslušnou požadovanou teplotu. Tady se dá s výhodou použít stratifikace vody do zásobníku, to znamená teplotu odvádět do místa ve výměníku, které má příslušnou teplotu. Tento systém je investičně náročnější a má menší účinnost než výše popsaný systém [127].

3.11.3 Centrální systémy rekuperace tepla

Centrální systémy jsou vhodné pro větší objekty, které produkují větší množství šedých vod. U těchto aplikací, kde je odběr vody kolísavý, se voda shromažďuje v akumulární jímce, která slouží jako zdroj tepla pro primární okruh tepelného čerpadla. Velkou výhodou tohoto uspořádání je velice jednoduchá konstrukce tepelného výměníku, který je možno řešit plastovými trubkami nebo hadicemi – nízké investiční náklady.

Úskalím tohoto řešení je, že nemůžeme vodu ochladit pod bod mrazu. Pokud bychom nechali tepelnému čerpadlu odebírat teplo z šedé vody bez kontroly teploty, tak se může stát, že jímka zamrzne. Teplo s jímky se tedy odebírá jen při požadovaném průtoku a při požadované „cílové“ teplotě. Při překročení limitní teploty musíme tepelnému čerpadlu umožnit odebírat teplo z jiného zdroje. Popřípadě kombinovat tepelné čerpadlo s jiným zdrojem tepla. Při využití tepelného čerpadla, je možno dodávat i teplo do rozvodné sítě teplovodního vytápění. Nespornou výhodou je možnost chlazení pomocí tepelného čerpadla v letních měsících. Dnešní tepelná čerpadla mají již v běžné výbavě i chladicí režim.

Centrální systémy jsou investičně náročnější, teploty, které lze dosáhnout, jsou však daleko vyšší a hodí se i pro provozní aplikace, jako jsou prádelny, bazény atd. Návrhy nádrží a výměníků jsou prováděny opět pomocí počítačového modelování a to především kvůli minimalizaci investičních nákladů a co největší účinnosti systému. [128].

3.12 STANOVENÍ MNOŽSTVÍ ŠEDÉ VODY

3.12.1 Úvod do problematiky stanovení množství šedé vody

Systém využití šedých vod ve vybraných objektech vyžaduje dvojí rozvod vody (přívod vody do ČJŠV a rozvod vody k zařizovacím předmětům) v řešených objektech. V případě vnitřní kanalizace se jedná o rozdělení potrubí na dvojí systém:

- vnitřní kanalizace černé vody – jedná se o odpadní vody hnědé, žluté a v některých případech také o odpadní vody šedé z kuchyňského dřezu a myčky nádobí;
- vnitřní kanalizace šedé vody – ze sprch, van, umyvadel na mytí rukou a praček.

V případě vnitřního vodovodu se jedná o rozdělení trubního systému:

- vnitřní vodovod pitné vody – pitná voda z veřejného distribučního systému zásobování obyvatelstva pitnou vodou nebo ze samostatného zdroje pitné vody za účelem potřeby např. v kuchyni, koupelně apod.;
- vnitřní vodovod bílé vody – vyčištěná šedá voda určená ke konkrétnímu způsobu potřeby, např. pro splachování toalet, závlahu zahrady nebo travnatých ploch.

Pro stanovení vhodnosti zpětného užití šedé vody pro návrh systému využití šedých vod ve vybraných objektech je nutné provést bilanční posouzení potřeby vody v řešené zájmové lokalitě. Vstupními parametry bilančního posouzení je množství produkované šedé vody v nemovitosti ve vztahu k zařizovacím předmětům. Dále pak posouzení této produkce šedých vod s potřebou vyčištěné šedé vody, tedy bílé vody ke konkrétnímu místu spotřeby. Bilanční výpočty jsou stanoveny v samostatné kapitole dizertační práce.

Přítok šedé vody do akumulární vyrovnávací nádrže šedé vody před čistící jednotkou systému využití šedých vod je závislý na druhu a množství výtokových armatur, zařizovacích předmětů a současnosti jejich využití. Vyrovnávací nádrž je nádrž na začátku čistícího procesu systému využití šedých vod, ve které je šedá voda sbírána, respektive akumulována a odváděna následně do procesu samotného čištění. Akumulační vyrovnávací nádrž je vhodné doplnit o bezpečnostní havarijní přepad šedé vody.

Současnost využití sociálního zařízení je rozdílná pro jednotlivé typy budov a je proměnná v čase. Jednotlivé typy zařizovacích předmětů mají, ve vztahu k dimenzi potrubí, odlišné hodnoty průtoku, které je možné upravit na jmenovité průtoky dle tabulky Tab 3.24, která porovnává jmenovité hodnoty výtoku z vybraných armatur jakožto zdrojů odpadní šedé vody dle vybraných norem ČSN EN 806-3 *Vnitřní vodovod pro rozvod vody určené k lidské potřebě* [136], *Návrh DIN 1988-300 Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen* [137], STN 73 6655 *Výpočet vodovodov v budovách* [138], ČSN 75 5455 *Výpočet vnitřních vodovodů* [139] a naměřených hodnot [133].

Tab 3.24 Jmenovité výtoky z vybraných armatur produkce šedé vody dle norem a změřených hodnot [132]

Výtoková armatura, zdroj šedé vody	Dimenze potrubí, DN [mm]	Jmenovitý výtok vody Q_A [l.s ⁻¹]					
		ČSN EN 806-3 [136]	Návrh DIN 1988-300 [137]		STN 73 6655 [138]	ČSN 75 5455 [139]	Změřené hodnoty průtoku z výtoku
			Jen studená nebo teplá voda	Z výtoku			
Výtokový ventil	15	0,50	0,30	0,30	0,20	0,20	0,20
Baterie u umyvadla	15	0,10	0,07	0,14	0,20	0,20 (0,13*)	0,10 - 0,14
Baterie vanová	15	0,40	0,15	0,30	0,30	0,30	0,40
Baterie sprchová	15	0,20	0,15	0,03	0,20	0,20	0,20
Automatická pračka	15	0,20	0,15	0,15	0,20	0,20	-

*jediná baterie

Pro stanovení výpočtového přítoku šedé vody do vyrovnávací nádrže před čistící jednotkou je možné použít dvě metody:

- metoda založená na teorii pravděpodobnosti;
- metoda založená na zpracování a vyhodnocení naměřených údajů.

Pro stanovení přesnějších údajů a verifikaci modelu je nutné provést kombinaci výše uvedených metod v tzv. kombinované metodě stanovení přítoků šedé vody.

3.12.2 Metoda založená na teorii pravděpodobnosti

Metodu podrobně zpracoval Roy B. Hunter a publikoval v USA, r. 1940 [135]. Výsledkem doporučeného výpočtu bylo stanovení počtu výtokových armatur, které jsou současně v provozu v závislosti na následující ukazatele:

- celkovému počtu výtokových armatur zásobovaných příslušným úsekem potrubí;
- době trvání jejich využití;
- době mezi jednotlivými využitími.

Na základě počtu výtokových armatur, které jsou současně v provozu, a jejich průtoku stanovil Hunter význam, jaký mají na „zatížení“ potrubí průtokem vyjádřený ve výtokových jednotkách, které označil FU (Fixture Units). Menší současnost využití výtokových armatur v obytných budovách, způsobené jejich umístěním v koupelnách používaných zpravidla jen jednou osobou, zohlednil Hunter stanovením hodnoty FU pro koupelnovou skupinu tvořenou např. záchodovou mísou, umyvadlem a vanou nebo sprchou. Hodnota FU pro koupelnovou skupinu je rovna součtu FU výtokových armatur, které se v ní nachází, dělenému dvěma.

Hodnoty FU byly v pozdější době přehodnocovány a upravovány [140] a jejich ukázka je uvedena v tabulce Tab 3.25 [133]. Nevýhodou pravděpodobnostních modelů je, že se křivky závislosti výpočtového průtoku na počtu výtokových armatur u většího počtu těchto výtokových armatur neshodují s výsledky měření špičkových průtoků [141].

Tab 3.25 Ukázka hodnot výtokových armatur podle Hunterovy metody a podle úpravy provedené ve Stevensově technologickém institutu [133]

Zařizovací předmět	Hodnoty výtokových jednotek FU				
	Hunter	Upravené ve Stevensově technologickém institutu			
		Rodinné domy	Bytové domy	Ostatní budovy	Budovy s velkou současností využití zařizovacích předmětů
Sprcha	4	2	2,0	2	-
Vana	4	4	3,5	-	-
Umyvadlo	2	1	0,5	1	1

Pozn: Při stanovování průtoku jen studené nebo teplé vody se hodnoty FU násobí součinitelem 0,75.

3.12.3 Metody založené na zpracování a vyhodnocení naměřených údajů

a) metoda založená na výsledcích měření

Založená na vyhodnocení měření spotřeby vody se používá v Německu od roku 1989. Tato metoda spočívá v systematickém měření průtoků v různých budovách (bytové domy, administrativní budovy, hotely, školy apod.). Změřená spotřeba vody (průtoky) v budovách s různým počtem zařizovacích předmětů zakreslené do grafu se potom prokládají regresní křivkou, která vyjadřuje závislost výpočtového průtoku na průtoku součtovém, znázornění vzorové křivky závislosti výpočtového průtoku na průtoku součtovém.[133].

Křivky závislosti výpočtového průtoku na součtovém průtoku mají rovnice, jejichž obecný tvar je:

$$Q_D = a \cdot (\sum Q_A)^b - c \quad (3.1)$$

kde Q_D ... je výpočtový průtok [l.s^{-1}];

Q_A ... jmenovitý výtok (průtok výtokovou armaturou) [l.s⁻¹];

a, b, c ... konstanty závislé na druhu budovy [-].

Konstanty a, b, c mají hodnoty uvedené v tabulce Tab 3.26 [133] zpracované podle návrhu *DIN 1988-300* [137] (revize *DIN 1988-3* [142]). Jmenovité výtoky jsou uvedeny v tabulce Tab 3.24 [133].

Tab 3.26 Konstanty a, b, c pro různé typy budov [133]

Druh budovy	Konstanty		
	a	b	c
Bytové domy	1,48	0,19	0,94
Hotely	0,70	0,48	0,13
Školy nebo administrativní budovy	0,91	0,31	0,38

b) odmocninová metoda.

Od počátku 60. let 20. století [143] se u nás pro stanovení výpočtového průtoku v přírodním potrubí vnitřních vodovodů v budovách s rovnoměrným odběrem vody používá „odmocninová metoda“, která vychází z výsledků a rozborů získaných empirickými a statickými metodami a zkušenostmi. Tato metoda vyjadřuje jednoduchými výpočtovými vztahy parabolickou závislost výpočtového průtoku na počtu výtokových armatur s určitými hodnotami jmenovitých výtoků.

Výpočtové vztahy mají v ČSN 75 5455 [139] tvar:

- pro rodinné domy, bytové domy, administrativní budovy, jednotlivé prodejny (s rovnoměrným odběrem vody pouze k osobní hygieně zaměstnanců a úklidu) a jednotlivé koupelny pro jeden hotelový pokoj:

$$Q_D = \sqrt{\sum_{i=1}^m (Q_{Ai}^2 \cdot n_i)} \quad (3.2) [139]$$

- pro ostatní budovy s převážně rovnoměrným odběrem vody, např. hotely, restaurace, obchodní domy apod., rovnice vychází ze staršího vztahu dle STN 73 6655 [138]:

$$Q_D = \sum_{i=1}^m f_i \cdot Q_{Ai} \cdot \sqrt{n_i} \quad (3.3) [139]$$

- pro ostatní budovy nebo skupiny zařizovacích předmětů, u kterých se předpokládá hromadné a nárazové využití výtokových armatur, např. hygienické zařízení průmyslových závodů, veřejné lázně:

$$Q_D = \sum_{i=1}^m \varphi_i \cdot Q_{Ai} \cdot n_i \quad (3.4) [139]$$

kde Q_D ... je výpočtový průtok [l.s⁻¹];

Q_A ... jmenovitý výtok, průtok výtokovou armaturou [l.s⁻¹] podle tabulky Tab 3.24;

f ... součinitel výtoku závislý na druhu výtokové armatury;

n ... počet výtokových armatur stejného druhu;

m ... počet druhů výtokových armatur;

φ součinitel současnosti odběru vody podle tabulky Tab 3.27 [145].

Tab 3.27 Součinitele výtoku a součinitelé současnosti odběru vody vybraných výtokových armatur zdroje šedé vody [145]

Odběrné místo	Součinitel výtoku* - f		Součinitel současnosti odběru vody φ
	Pro jeden zařizovací předmět	Pro dva a více zařizovacích předmětů	
Umyvadlo, umývatko, umývací žlab	0,65	1	0,8
Sprcha	1	1	1

* Pro zde neuvedené zařizovací předměty (kromě tlakových splachovačů) $f = 1$.

Vztah (3.3) předpokládá větší současnost využití zařizovacích předmětů a výpočtový průtok podle něho stanovený je dán součtem dílčích výpočtových průtoků pro různé druhy výtokových armatur. Z porovnání vztahu (3.2) se vztahem (3.3) je patrné, že při stanovení výpočtového průtoku pro výtokové armatury stejného druhu a při součiniteli výtoku $f = 1$ (častá hodnota) jsou hodnoty výpočtových průtoků podle vztahu (3.3) stejné jako podle vztahu (3.2), což může způsobit poddimenzování potrubí. Tento případ se může vyskytnout u potrubí oddílného vodovodu zásobujícího pouze nádržkové splachovače.

3.13 OBJEKTY VHODNÉ PRO INSTALACI SYSTÉMU VYUŽITÍ ŠEDÝCH VOD S UVEDENÍM KVALITY ŠV

3.13.1 Obecná charakteristika výběru objektů pro instalaci systému využití šedých vod

Při výběru vhodného místa pro sběr a využití šedých vod vstupuje řada faktorů, které ovlivňují návrh systému využití šedých vod ve vybraných objektech. Obecně platí, že systémy využití šedých vod jsou ekonomicky výhodné v areálech, kde je vysoká produkce šedých vod. Jedná se většinou o budovy s vysokou návštěvností osob, jako jsou hotely, administrativní objekty, ubytovny, apod. Dále pak objekty, ve kterých je nadměrná produkce šedých vod z provozu. V tomto případě se může jednat o prádelny.

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 uvažovat s následující potřebou bílé vody. V případě nadbytku bílé vody by se takto bílá voda připravená z šedé vody nespotebovala a čištění šedé vody by neúnosně navyšovalo provozní náklady. V opačném případě by nedostatek bílé vody šel vyřešit dodávkou vody z veřejného vodovodu nebo doplněním systému o sběr a čištění dešťové vody.

Dalším kritériem pro výběr vhodné lokality může být vlastnost vyšší teploty šedé vody, která by nám před čistící jednotkou systému využití šedých vod předávala teplo prostřednictvím výměníku tepla. Takto ušetřená energie by byla schopna zlepšit ekonomiku systému využití šedých vod.

Mezi další vhodné případy instalace systému využití šedých vod lze zařadit lokality, kde je nedostatek surové nebo pitné vody anebo, kde je cena za dodanou vodu vysoká.

V následujících kapitolách jsou popsány lokality, kde hospodaření s šedou vodou nemá jen ekologický efekt, ale kde je možné uvažovat i s finanční návratností prvotní pořizovací investice za dodávku a instalaci systému využití šedých vod ve vybraných objektech.

3.13.2 Hotel

Jedná se o objekt, ve kterém dochází k velké produkci šedých vod, jelikož cena za pokoj je fixní a spotřebovaná voda se neodráží do konečné platby zákazníka. Specifická potřeba pitné vody se může pohybovat přes 200 litrů osobu za den, kde větší část potřeby vody tvoří podíl šedé vody. Při výběru systému využití šedých vod je potřeba dále uvažovat s hodnocením kvality ubytování a poskytovaných služeb předmětného hotelu. Hotel s vyšší kvalitou ubytování a poskytovaných služeb vykazuje vyšší potřebu pitné vody a tím vyšší produkci vody šedé. Tato skutečnost je způsobena službami hotelu jako jsou wellness zařízení, sauny, bazény apod. Ve 3 hvězdičkovém hotelu může být specifická potřeba vody kolem 200 l.osobu⁻¹.den⁻¹, v případě 5 hvězdičkového hotelu se může jednat až o 1000 l.osobu⁻¹.den⁻¹ [159]. Ekonomika provozu systému využití šedých vod v hotelu s vyšším hodnocením se při velké produkci šedé vody a velké potřebě vody bílé výrazně ekonomicky zlepší. Nutností pro instalaci systému využití šedých vod je dvojitý systém vodovodních a kanalizačních potrubí vnitřní instalace. Šedá voda je odváděna do sběrné nádrže, kde se následně přes mechanický a biologický stupeň čistí. Poté je takto kultivovaná, bílá voda rozváděna dle potřeby na splachování WC nebo do kohoutků užitkové vody pro úklid hotelu. Dále je možnost využívat bílou vodu pro zalévání zelených ploch kolem hotelu. Přítok šedých vod je v průběhu dne nerovnoměrný, což lze řešit vyrovnávací nádrží v rámci technologie čištění šedé vody. Takto sbíraná šedá voda z hotelu vykazuje teploty vyšší jak 31°C [149]. Z důvodu vysoké teploty je ekonomicky zajímavé do čistící jednotky systému využití šedých vod zařadit výměník tepla. Výměník pracuje na principu odebrání tepla z šedé vody, která předeřívá studenou vodu do sprch nebo jiných zařízení. V podstatě se jedná o přehřev studené vody do zásobníku TV nebo přehřev k okamžité spotřebě.

Kvalita šedé vody z hotelu je závislá na svém zdroji, u kterého se předpokládá získání šedých vod z umyvadla, vany a sprchy. V případě podchycení bazénových vod nebo ze sauny se snižuje celkové znečištění a náklady na vyčištění 1 m³ takovéto šedé vody se značně snižují. S ohledem na vysoké biologické zatížení šedých odpadních vod se nedoporučuje napojení právě těchto šedých vod z kuchyně. Takto získaná šedá voda vykazuje značně vysoké hodnoty BSK₅, plovoucích látek, velké množství lipidů a tenzidů. Odstranění těchto látek v čistícím procesu systému využití šedých vod je ekonomicky nákladné, čímž by se návratnost pořizovací investice podstatně prodloužila.

3.13.3 Nemocnice

Nemocnice jsou dosti významným producentem šedých odpadních vod. Jejich produkce je až 700 l.osobu⁻¹.den⁻¹ [159][159]. Na rozdíl od hotelů je takto velká spotřeba vody způsobena převážně hygienickými důvody, jako je časté střídání pacientů, praní ložního prádla, ručníků apod. V případě sběru šedých vod z nemocnic je potřeba si uvědomit, že tato voda může obsahovat značné množství léčiv a látek ze zakrváceného prádla. Při návrhu systému je potřeba postupovat velice obezřetně a je nutné automaticky vyloučit infekční oddělení.

Kvalita šedé vody z nemocnic je ovlivněna řadou patogenních látek. Jedná se o různé bakteriální, virové látky, které mohou způsobit infekci při vdechnutí. Klíčovou cestou může být přenos prostřednictvím vytvořeného aerosolu při spláchnutí WC [160]. Bakterie a viry se mohou usadit ve formě aerosolu na sociálním zařízení. Výskyt tohoto aerosolu a následná simulace střevní infekce byla zaznamenána při spláchnutí WC ve vzdálenosti 830 mm od záchodové mísy [161]. Nezbytností při návrhu systému využití šedých vod v nemocnicích je 100 % hygienické zabezpečení např. UV lampou. Při selhání žárovky UV lampy musí být systém využití šedých vod nastaven tak, aby se šedá voda dostala automaticky do přepadu areálové kanalizace nemocnice.

3.13.4 Vysokoškolské koleje

Jedná se opět o objekt s vysokou produkcí a následnou spotřebou šedých vod. Spotřeba vody je výrazná a pohybuje se kolem $185 \text{ l.osobu}^{-1}.\text{den}^{-1}$ [162]. Tato skutečnost je způsobena, obdobně jako v případě hotelového pokoje, fixní platbou za jedno lůžko na pokoji. Neexistuje podružné měření přes vodoměr. Vysokoškolské koleje jsou efektivním velkým zdrojem šedých vod na relativně malé ploše. Významným nedostatkem je skutečnost rozkolísaného přítoku šedých vod, zejména o víkendech, kdy většina studentů je doma. Provoz přes léto je ve většině případů u vysokoškolských kolejí nulový.

Kvalita a složení šedých vod je obdobná jako u jiných systémů využití šedých vod. Výjimku může tvořit nižší podíl fosforu, pod 4 mg.l^{-1} [162]. Tato skutečnost může být způsobena absencí praček v budově vysokoškolských kolejí.

3.13.5 Lázně

Jedná se taktéž o objekt s velmi specifickou produkcí šedé vody a spotřebou bílé vody. Šedé vody tady můžeme rozdělit na dva zdroje znečištění a to na šedé vody z ubytovacích provozů, tedy standardní vody ze sprch, van a umyvadel, většinou jsou to samostatné objekty, které slouží jen pro ubytování lázeňských hostů a jejich produkce není tak výrazná, neboť očistný proces většinou proběhne v samotných balneoprovozech. Dalším zdrojem šedých vod jsou tedy vody z balneoprovozů, jsou to v převážné míře samostatné objekty, spotřeba vody je zde velmi výrazná a pohybuje se kolem $250\text{--}300 \text{ l.osobu}^{-1}.\text{den}^{-1}$ [132]. Velká spotřeba a zejména vysoká teplota (běžně kolem 36°C) předurčuje vody z balneoprovozů k využití odpadního tepla k energetickým ziskům. Výrazně se zvyšuje ekonomika takového provozu. Významným přínosem je skutečnost stabilního přítoku šedých vod, způsobeného pravidelným provozem balneologických procesů s časovým rozložením procedur. Lázně jsou efektivním velkým zdrojem šedých vod o vyšších teplotách s pravidelným provozem po celý rok. Další výhodou jsou většinou již samostatně vybudované odpadní trubní systémy.

Kvalita a složení šedých vod z balneoprovozů je odlišná od jiných systémů využití šedých vod. Její výhodou je větší čistota, kvalita šedé vody oproti jiným zdrojům šedé vody. Do balneoprovozu vstupuje pacient již po předchozí očištění. I v případech, kdy jsou šedé vody z balneoprovozu odkanalizované společně se šedými vodami ze sprch a umyvadel, je jejich relativní čistota díky ředění vyšší, než u ostatních šedých vod z jiných zdrojů znečištění.

3.13.6 Administrativní budovy

Mezi administrativní budovy můžeme zařadit kanceláře, office centra, výzkumné instituce, knihovny, úřady apod. Jedná se o objekty s vysokou návštěvností a frekvencí osob. Tyto objekty mají obecně větší spotřebu bílé vody na splachování toalet než produkci šedých vod. Jedná se o stav systému, kdy je vhodné kombinovat systém využití šedých vod se systémem vody dešťové. Rozkolísanost produkce šedé vody a spotřeby bílé vody je významná při porovnání bilancí průtoků v pracovní době a o víkendech, kdy většina institucí je zavřená.

Kvalita a složení šedých vod je obdobná jako u jiných systémů využití šedých vod. Výjimku může tvořit stejně jako u vysokoškolských kolejí nižší podíl fosforu, pod 4 mg.l^{-1} [162]. Tato skutečnost může být způsobena absencí praček v administrativních budovách. Vzhledem k absenci sprch je nutné počítat s nižším přítokem šedých vod do sběrné nádrže. Kombinace systému využití šedých vod se sběrem dešťových vod ovlivní celkové složení bílé vody. Dešťovou vodu je potřeba zbavit pevných částic jako jsou listy a jiné částice shromážděné při bezdeštném období na střeše budovy. Hygienické zabezpečení zamezí fekálnímu znečištění z trusu ptactva.

3.13.7 Prádelna

Jedná se o objekt s velkou produkcí šedých vod a spotřebou bílé vody. Lze říci, že prádelny se spotřebou nad 3 000 m³ za rok jsou už z hlediska návratnosti pořizovací investice, cca 8 let, ekonomicky velice zajímavé. Při zapojení MBR technologie čištění do čistícího cyklu systému využití šedých vod může tento systém aplikovat 75 až 80 % bílé vody [85]. Prádelny jsou efektivním zdrojem pro využití šedých odpadních vod. Teploty vody v prádelnách jsou různé, závislé na kvalitě a typu praček. Teploty 60°C lze dosáhnout jen u nových praček, které mají na výstupu odpadní vody dva ventily řízené vlastním programem a dokážou tedy oddělit první, nejteplejší prací vodu od ostatních máchacích vod. Většina prádelen to však nemá, dříve tato skutečnost nebyla podstatná a všechny vody z praček byly svedeny do společného žlabu, kde se smíchaly s ostatní odpadní vodou a jejich průměrná teplota by byla kolem 35°C. Při použitelném rozdílu teplot $\Delta t = 20^\circ\text{C}$ lze již získat velmi zajímavé tepelné zisky k ohřevu studené vody řádově kolem 10 - 12°C. Je potřeba ještě zmínit jednu skutečnost a to, že prádelny většinou mají větší počet praček, prakticky nikdy není jenom jedna, tudíž lze očekávat v prádelnách zajímavé stanovení bilancí průtoků šedé a bílé vody, dále pak uvažovat o rekuperaci tepla.

Kvalita a složení šedých vod z prádelen je silně závislá na původu praného prádla. Je potřeba z provozu vyloučit znečištěné prádlo obsahující minerální oleje, ropné a nebezpečné látky. Prádlo z nemocnic obsahuje zbytky potravin, kdy významnou roli v návrhu čistícího procesu systému využití šedé vody určuje přítomnost lipidů. Dále zde můžeme nalézt významné znečištění od krve a moči. Tato skutečnost může mít významný vliv ve vysoké CHSK_{Cr} šedých vod, které může dosahovat hodnot kolem 1200 – 20000 mg.l⁻¹ [163]. Praní prádla z hotelů a ubytoven může mít za následek hodnotu CHSK_{Cr} šedých vod v rozmezí 400 – 1200 mg.l⁻¹ [163].

3.13.8 Rodinný dům

Jedná se o objekt s malou produkcí šedé vody a malou spotřebou bílé vody. Ekonomika prvotní pořizovací investice a ekonomika samotného provozu nedosahuje reálných finančních úspor. Lze konstatovat, že systémy využití šedých vod v rodinném domě není otázkou přímých finančních úspor, ale otázkou samotného ekologického hospodaření s vodou a soběstačnosti obyvatelů rodinného domu. Při průměrné denní spotřebě pitné vody kolem 100 l.osobu⁻¹.den⁻¹ se stává systém využití šedých vod v rodinném domě neekonomický.

Kvalita a složení šedých vod je obdobná jako u jiných systémů využití šedých vod. Zdrojem šedých vod jsou zařizovací předměty domácnosti jako umyvadla, sprchy, vany a pračky.

3.14 KRITICKÁ REŠERŠE

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 [4] 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 [5] nebo DIN 1989 Regenwassernutzungsanlagen [7]. Regulaci zpětného užití šedých vod nejrozsáhleji zatím řeší Austrálie v NWQMS Australian Guidelines for Water Recycling [8], kde je v několika dílech

řešena problematika z hygienického i environmentálního hlediska a je také velmi podrobně posouzena a upravena [9].

Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), novela č. 350/2012 Sb. [10] 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.* [11] 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 [9].

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 [9].

Bílá voda v podmínkách České republiky má být posuzována podle odborných požadavků v ČSN 75 7143 [12]. 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 [13]. Hygienické aspekty mikrobiologického znečištění při využívání šedých odpadních vod mohou být dle rozdílného úhlu pohledu dosti rozdílné [9][14]. Z článku MUDr. F. Kožíška, CSc. „Šedé vody z pohledu hygienické legislativy“ [9] a „Epidemie (z) šedé vody“ [134] 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 [9] 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. [134] 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. [132] 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 [5][7][8] 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 schémat 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 schémat 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.

4.1 VYBRANÉ VÝSTUPY Z PROJEKTU TAČR

4.1.1 TAČR, stanovení bilančního množství šedých vod

Systémy využití šedých vod, jak již bylo prezentováno v předešlých kapitolách, je možné úspěšně aplikovat ve vybraných typech budov. Jedním z ukazatelů vhodnosti instalace systému využití šedých vod je porovnání přítoku šedé vody s průběhem spotřeby vody bílé určené k dalšímu užití. Bilanční posouzení produkce šedé vody a spotřeby bílé vody je řešeno v kapitole 3.12 a to na základě provedených měření v rámci projektu TAČR.

Měření přítoku šedé vody vychází z produkce těchto odpadních vod z vybraných zařizovacích předmětů, jako jsou umyvadla, sprchy, vany a pračky, kde pro daný objekt lze poměrově určit množství vyprodukované šedé vody a spotřebu bílé vody. Vstupem pro výpočet bilance vody je celková produkce veškeré odpadní vody z domácnosti, vycházející ze spotřeby pitné vody odebrané z vodovodu pro veřejnou potřebu nebo jiného zdroje. Měření odebrané pitné vody je hlavním ukazatelem měření průběhů špičkových průtoků prostřednictvím osazeného průtokoměru na přívodním potrubí do objektu.

V rámci projektu TAČR [132] byly měřeny špičkové průtoky v různých objektech. Měření se provádělo vždy po dobu 14 nebo více dnů a průtok byl snímán každou sekundu. Pro měření byl použit osový turbínový průtokoměr pro kapaliny AHLBORN typ FVA915VTH25, s rozsahem měření průtoků $2 - 160 \text{ l.s}^{-1}$, vložený do potrubí a napojený na měřicí ústřednu AHLBORN ALMEMO 5690 2M [133][146]. Místem měření špičkových průtoků byly 2 bytové domy v Brně s označením „J“ a „K“, dále pak administrativní budova s restaurací v Brně s označením „KN“, Měření a vyhodnocení průtoků na zařizovacích předmětech, stanovení špičkového průtoky prováděl Ing. Jakub Vrána, Ph.D. v rámci spolupráce na projektu TAČR.

Vybrané změřené přítoky vody do řešených nemovitostí v průběhu dne jsou uvedeny prostřednictvím grafu obrázku Obr. 4.1, kdy nulové průtoky byly z grafů vymazány. Následně z tabulky Tab 4.1 jsou patrné následující skutečnosti:

- v grafu podle ČSN EN 806-3 [136] a výpočtových vztahů pro stanovení výpočtového průtoky v ČSN 75 5455 [139] a STN 73 6660 [138] není uvažováno s oddílnými vodovody, kdy z měření vychází malý výpočtový průtok, což potvrzuje Kelting [144];
- výpočtový vztah podle návrhu normy DIN 1988-300 [137] poskytuje i u oddílného vodovodu srovnatelné hodnoty s měřením;
- potrubí v restauracích nelze dimenzovat podle ČSN EN 806-3 [136], kde ani podle národní předmluvy k ČSN EN 806-3 [136] to není přípustné;
- výpočtové průtoky podle zrušené normy ČSN 1099 Vodovodní řád [147], která platila v době, kdy se oddílné vodovody běžně zřizovaly, zřejmě zohledňují i specifika oddílných vodovodů, avšak uvedené hodnoty v normě jsou příliš vysoké oproti naměřeným údajům.

Tab 4.1 Tabulka změřených špičkových průtoků v zájmových lokalitách a jejich porovnání s průtoky návrhovými dle různých norem [132]

Budova	Druhy a počty zařizovacích předmětů	Max. změřený špičkový průtok [l.s^{-1}]	Výpočtové průtoky [l.s^{-1}] podle různých norem				
			ČSN EN 806-3 [136]	ČSN 75 5455 [139]	STN 73 6660 [138]	Zrušená ČSN 1099 [147]	Návrh DIN 1988-300 [137]
Bytový dům “J”	5 x VA 5 x DJ 5 x WCNS 5 x AP	0,61 ¹⁾	0,90	0,98	0,95	1,98	0,82
Bytový dům “Š”	6 x DJ	0,24 ²⁾	0,42	0,49	0,49	1,20	0,31
Bytový dům “K”	5 x WCNS	0,40	0,30	0,33	0,22	0,70	0,42
Administrativní budova s restaurací „KN“	15 x WCNS 8 x U 2 x UEO 9 DJEO 2 x PM	0,86	0,86 ⁴⁾	0,97	0,87	2,25 ³⁾	1,15
Restaurace (noční provoz) „KN“	3 x WCNS 3 x U 2 x PM	0,62	0,50	0,73	0,73	0,87 ³⁾	-

Poznámky:

1) ... Průtok studené vody (ústřední příprava teplé vody).

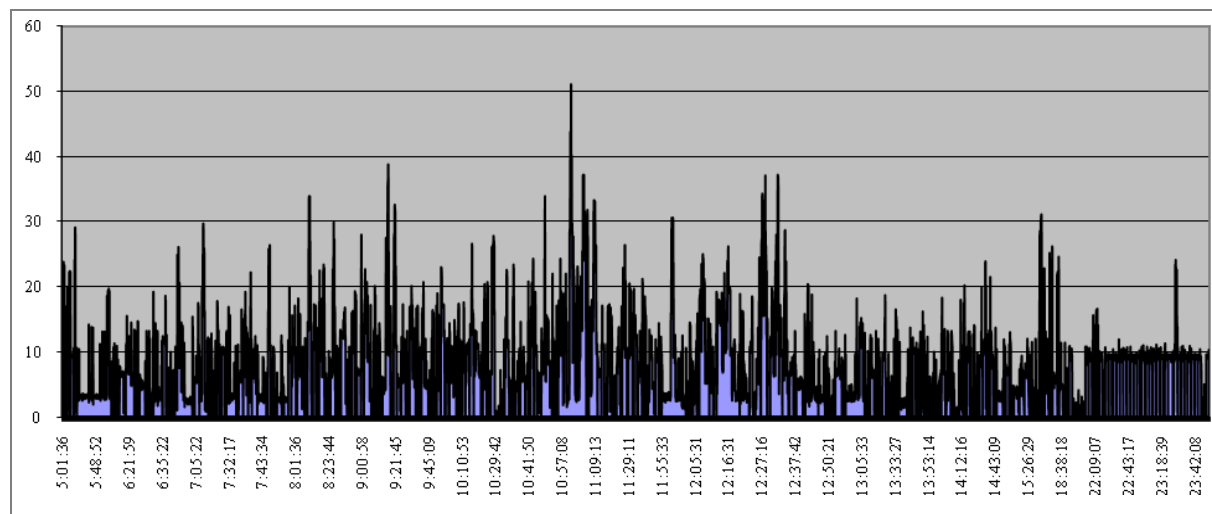
2) ... Průtok teplé vody (ústřední příprava teplé vody).

3) ... Metoda není určena pro jiné než obytné budovy.

4) ... Podle Opravy 1 ČSN EN 806-3 [136] činí výpočtový průtok 0,93 l/s.

Legenda zkratk:

AP – automatická pračka, DJ – dřez, DJEO – dřez s přepadovým elektrickým ohříváčem, PM – pisoárová mísa s ručně ovládaným tlakovým splachovačem, U – umyvadlo, UEO – umyvadlo s elektrickým přepadovým ohříváčem, VA – vana, WCNS – záchodová mísa s nádržkovým splachovačem.



Obr. 4.1 Ukázka průtoků ve stoupacím potrubí v bytovém domě „J“ v průběhu dne 26. 2. 2010 [132]
(legenda: osa x- čas v průběhu dne [h:m:s], osa y- průtok [l.s^{-1}])

V tabulce Tab 4.1 je uvedeno stanovení výpočtového průtoku s využitím Hunterovy metody, která je popsána v předešlé kapitole 3.12 Stanovení množství šedé vody. Z tabulky je patrné, že rovnice pro stanovení výpočtového průtoku uvedená v ČSN 75 5455 [139] je srovnatelná s Hunterovou metodou a pro tlakové splachovače poskytuje přijatelné výsledky i u jejich většího počtu, tedy pokud by se uvažoval průtok tlakovým splachovačem $1,0 \text{ l.s}^{-1}$. Otázkou zůstává, zda skutečná současnost využití tlakových splachovačů při jejich velkém počtu odpovídá Hunterovým předpokladům. Výpočtové průtoky stanovené různými metodami jsou zpravidla vyšší než změřené špičkové průtoky. Výjimkou jsou potrubí oddílných vodovodů zásobující nádržkové splachovače záchodových mís, kde odmocninová metoda podle ČSN 75 5455 [139] a metoda podle ČSN EN 806-3 [136] neposkytuje dobré výsledky. Proto by bylo vhodné provést ještě další měření a výpočtovou metodu upravit [132]. Bohužel v rámci projektu TAČR již nebyla z časových, ale hlavně z finančních důvodů provedena další měření. Autor dizertační práce prováděl měření průtoku samostatně na prototypu ČJŠV.

Stanovení množství šedé vody

Stanovení množství šedé vody vychází z celkové potřeby vody pitné, dodané do nemovitosti s porovnáním počtu zařizovacích předmětů produkce šedé odpadní vody, jako jsou umyvadla, sprchy, vany nebo pračky. Pro reprezentativní typy objektů je možné stanovit poměrové množství černé odpadní vody a šedé odpadní vody a to na základě následujících metod, které byly pro tento účel vybrány řešitelským týmem v rámci projektu TAČR a to:

- metody založené na počtu měrných jednotek a provedených činnostech;
- metoda založená na zpracování a vyhodnocení naměřených údajů. [132]

Metody založené na teorii počtu měrných jednotek a provedených činnostech

Hodnoty produkce šedé vody uvedené v následujících tabulkách byly stanoveny přepočtem z potřeby teplé vody uvedené v ČSN 06 0310 *Tepelné soustavy v budovách – Projektování a montáž* [150] a ČSN EN 15316-3-1 *Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinnosti soustavy* [151]. Dále byly využity údaje z publikace Hugo Feuricha „Sanitärtechnik“ [152] a z britské normy BS 8542-1:2011: *Calculating domestic water consumption in non-domestic building* [153]. U bytových domů byly hodnoty přepočteny ze změřené spotřeby vody $85 \text{ l.obyv}^{-1}.\text{den}^{-1}$ a u praní bylo využito také britské normy BS 8525-1 [5].

Metodika stanovení potřeby bílé vody byla převzata z britské normy BS 8542 [153]. Pro stanovení potřeby vody pro úklid bylo přihlédnuto také k ČSN 06 0310 [150], zrušené směrnici č. 9/1973 Sb. *MLVH ČSR a ministerstva zdravotnictví ČSR - hlavního hygienika ČSR pro výpočet potřeby vody při navrhování vodovodních a kanalizačních zařízení a posuzování vydatnosti vodních zdrojů* [154] a k německé normě DIN 1989 [7].

Mezi metody založené na teorii počtu měrných jednotek a provedených činnostech patří:

- metoda založená na počtu měrných jednotek stejného druhu;
- metoda založená na počtu provedených činností.

a) metoda založená na počtu měrných jednotek stejného druhu

$$Q_{\text{prod}} = \sum_{i=1}^m q_{\text{prod},i} \cdot n_{mj,i} \quad (4.1)$$

kde $Q_{\text{prod}} \dots$ je objem vyprodukované šedé vody [l.den^{-1}];
 $q_{\text{prod},i} \dots$ je produkce šedé vody na měrnou jednotku za den [l.den^{-1}] dle Tab 4.2;
 $n_{\text{mj},i} \dots$ je počet měrných jednotek stejného druhu [Ks] dle Tab 4.2;
 $m \dots$ je počet druhů měrných jednotek.

Tab 4.2 Produkce šedé vody v budovách, rozdělení dle počtu měrných jednotek stejného druhu [132]

Druh budovy	Vybavení	Produkce šedé vody	
		Měrná jednotka $n_{\text{mj},i}$ [Ks]	Produkce šedé vody na měrnou jednotku a den q_{prod} [l.den^{-1}]
Bytový dům, rodinný dům	Koupelny	obyvatel	31
	Kuchyně	obyvatel	11
	Praní	obyvatel	15
Internát	Sprchy, koupelny	lůžko	90
Hotel	Koupelny se sprchou	lůžko	90
	Koupelny s vanou	lůžko	150 ⁽¹⁾
	Prádelna	lůžko	14
Administrativní budova	Umyvadla	osoba	12
	Čajové kuchyňky	osoba	5
	Sprchy	osoba	2 ⁽²⁾
Maloobchodní prodejny - personál	Umyvadla	osoba	12
	Sprchy	osoba	2 ⁽²⁾
Maloobchodní prodejny – zákazníci (návštěvníci)	Umyvadla	osoba	3 ⁽³⁾

(1) ... Nutno uvážit, zda nebudou vany používány jako sprchy.

(2) ... Příležitostné sprchy.

(3) ... Pokud jsou v budově záchody pro zákazníky.

b) metoda založená na počtu provedených činností

Pokud není produkce šedé vody na měrnou jednotku a den Q_{prod} v l.den^{-1} známa, může se množství vyprodukované šedé vody stanovit podle vztahu:

$$q_{\text{prod}} = \sum_{i=1}^j q_{\check{c},i} \cdot n_{\check{c}} \quad (4.2)$$

kde $q_{\text{prod}} \dots$ je objem vyprodukované šedé vody [l.den^{-1}];
 $q_{\check{c},i} \dots$ je produkce šedé vody pro příslušnou činnost [l.den^{-1}] dle Tab 4.3;
 $n_{\check{c}} \dots$ je počet činností stejného druhu prováděných během dne [Ks] dle Tab 4.3;
 $j \dots$ je počet osob prováděných během dne danou činností [osob].

Tab 4.3 Produkce šedé vody v budovách, rozdělení dle počtu provedených činností [132]

Druh činnosti	Produkce šedé vody pro příslušnou činnost q_{e} [l.den ⁻¹]
Mytí rukou	3 ⁽¹⁾
Mytí těla v umyvadle	15
Sprchování (běžná sprcha)	40 až 50 ⁽¹⁾
Koupel ve vaně	120

(1) ... Platí pro běžné výtokové armatury. U výtokových armatur se samočinným uzavíráním se produkce šedé vody může stanovit podle počtu otevření při jedné činnosti, průtoku výtokovou armaturou (uvádí výrobce) a doby výtoku po jednom otevření.

Metoda založená na zpracování a vyhodnocení naměřených údajů

V návaznosti na měření potřeby pitné vody a produkce odpadní šedé vody z vybraných zařizovacích předmětů je možné pro daný objekt použít vztah pro výpočet produkce šedé vody:

$$Q_{\text{prod}} = \frac{N}{100} \cdot Q_p \quad (4.3)$$

kde N ... je část z denní produkce odpadních vod, kterou tvoří šedá voda [%];

Q_p ... je celková denní produkce odpadních vod [l.den⁻¹].

Vyhodnocení měření spotřeby vody, stanovení množství šedé vody

Měření spotřeby vody umožňuje získat údaje o spotřebě provozní vody a produkci šedé vody. V panelovém bytovém domě „J“ v Brně o celkovém počtu 150 bytů, ve kterých bydlí 278 obyvatel, vybaveném bytovými jádry B2 (koupelna s vanou, umyvadlem a většinou i pračkou, oddělené WC a kuchyň s dřezem) a ústřední přípravou teplé vody, kde jsou v každém bytě osazeny vodoměry teplé i studené vody, byly naměřeny roční spotřeby vody uvedené v tabulce Tab 4.4. Přepočtené denní průměrné potřeby vody na obyvatele a přepočtené rozdělení průměrné denní potřeby vody jsou uvedeny v tabulce Tab 4.5, ze které jsou patrné potřeby vody pro splachování WC a produkce šedé vody (teplá i studená voda bez WC). [132]

Kromě celodenní spotřeby vody byly zjišťovány také spotřeby vody hodinové, které jsou nutné pro stanovování produkce šedé vody pro navrhování čistíren šedé vody a pro stanovení režimu odběru provozní vody. Hodinové spotřeby byly převedeny na procentní vyjádření celodenní potřeby, viz tabulka Tab 4.6, aby bylo možné uplatnit výsledky měření rozdělení spotřeby vody během dne při stanovování produkce šedé vody a potřeby provozní vody, z různých celodenních hodnot. Hodnoty pro bytový dům „J“ uvedené v tabulce Tab 4.6 je možné použít pro stanovení průběhu produkce šedé vody a hodnoty pro bytový dům K uvedené rovněž v tabulce Tab 4.6 pro stanovení režimu odběru provozní vody během dne. Pro porovnání je v tabulce Tab 4.4 uveden také průběh spotřeby vody v administrativní budově s restaurací, který je rovněž možné využít při stanovení režimu odběru provozní vody. [132]

Tab 4.4 Naměřená roční spotřeba vody v bytovém domě „J“ [132]

Voda	Roční spotřeba vody v celém domě stanovena dle fakturace	Přepočtená průměrná roční spotřeba vody na jednoho obyvatele domu
[ozn.]	[m ³ .rok ⁻¹]	[m ³ .obyv ⁻¹ .rok ⁻¹]
Teplá i studená celkem	8574,2	30,842
Studená	5594,8	20,125
Teplá	2979,4	10,717

Tab 4.5 Přepočtena průměrná denní potřeba vody v bytovém domě a její rozdělení [132]

Voda podle použití a teploty	Potřeba vody	Rozdělení potřeby vody
[ozn.]	[l.obyv ⁻¹ .den ⁻¹]	[%]
Teplá i studená voda celkem	85	100
Studená voda celkem	55	65
Studená voda pouze pro WC	25 ⁽¹⁾	30
Studená voda bez WC	30	35
Teplá i studená voda bez WC	60	70
Teplá i studená voda bez WC a pračky	44	52
Teplá voda	30	35

(1) ... V bytovém domě „K“ byla naměřena hodnota potřeby vody pro WC 11 l.obyv⁻¹.den⁻¹

Tab 4.6 Přepočtena průměrná denní spotřeba vody v bytovém domě a její rozdělení [132]

Hodina	Průběh spotřeby vody v procentech spotřeby celodenní [%]				
	Bytový dům J,	Bytový dům J,	Bytový dům K,	Bytový dům K,	Administrativní budova s restaurací
[-]	všední den s max. spotřebou	sobota	všední den s max. spotřebou	sobota	všední den
0-1	0,61	0,48	0,83	0,97	0,00
1-2	0,00	0,77	0,88	1,00	0,00
2-3	0,07	0,03	0,06	0,00	0,00
3-4	0,79	1,70	1,43	0,03	0,00
4-5	1,86	0,03	2,89	9,89	2,16
5-6	0,60	2,58	0,52	0,02	1,98
6-7	10,67	7,55	6,76	7,87	5,15
7-8	9,61	18,77	12,96	5,27	10,8
8-9	8,38	10,29	6,97	8,76	9,10
9-10	9,86	4,20	0,00	9,05	7,24
10-11	1,64	1,38	4,27	0,05	6,88
11-12	1,22	2,95	5,4	2,08	9,32
12-13	1,43	7,19	1,92	3,06	6,83
13-14	4,77	7,12	0,00	3,38	7,07
14-15	3,51	5,36	1,99	7,11	5,85
15-16	4,46	1,02	10,77	3,06	7,65
16-17	6,01	5,46	8,6	4,33	12,72 ⁽¹⁾
17-18	4,28	3,93	0,79	5,24	4,12
18-19	7,00	2,53	2,45	6,94	1,23
19-20	5,47	3,38	5,68	5,43	0,72
20-21	7,09	4,06	8,97	5,59	0,00
21-22	6,40	2,56	7,39	4,53	0,02
22-23	3,04	4,87	5,90	3,83	0,23
23-24	1,20	1,78	2,58	2,51	0,95

(1) ... Doba úklidu

Následující tabulka Tab 4.7 udává přehled o rozdělení odpadních vod z domácností, provozů z vybraných demonstračních míst dizertační práce. Zájmové lokality jsou podrobně popsány a řešeny v dalších kapitolách dizertační práce.

Tab 4.7 Rozdělení produkce odpadních vod pro vybrané objekty

Vstupní údaje										Vypočtené hodnoty		
Černá / šedá voda	Černá voda				Šedá voda					Rekapitulace		
Typ vybraného objektu	kapacita	toaleta	pisár	výlevka	umyvadlo	vana	sprcha	pračka	kuch. dřez	Celková produkce odp. vod	Produkce černé vody	Produkce šedé vody
[ozn.]	[os.]	[ks]	[ks]	[ks]	[ks]	[ks]	[ks]	[ks]	[ks]	[l.den ⁻¹]	[l.den ⁻¹]	[l.den ⁻¹]
Rodinný dům "LnB" ⁽¹⁾	4	2	0	0	2	1	1	1	1	497	149	348
Hotel "MH"	256	123	-	-	123	-	123	-	-	87500	15360	72140
Hotel "AK" ⁽²⁾	114	-	-	-	-	-	-	-	-	33604	18354	15250
Prádelna Brno "K"	10 ^z	1	-	-	2	-	-	4	-	10500	500	10000
Prádelna Hodonín "H"	8 ^z	1	-	-	2	-	-	4	-	14450	400	14050
Lázně "R" ⁽³⁾	-	6	4	0	8	0	9	0	0	16009	6828	9181
Vysokoškolské koleje "4"	700	178	0	17	178	153	25	0	199	82000	29000	53000
Vícegenerační rodinný dům	n.	n.	n.	n.	2	n.	2	n.	1	n.	n.	326
Prádelna v lázních "H"	-	-	-	-	-	-	-	3	-	12100	0	12100
Technické pracoviště "Z"	10	2	0	1	2	0	2	1	0	242	122	120
Nemocnice	111	80	5	1	247	0	66	0	0	23692	4827	18865

Poznámka: ^z ... počet zaměstnanců provozu; st ... zpracována případová studie, viz samostatná kapitola dizertační práce, n. ve výpočtu neuvažováno.

(1) ... Lipník nad Bečvou [148]

(2) ... Německo [149]

(3) ... Brno [149]

(4) ... Břeclav, testování prototypu ČJŠV

Vyhodnocení provedených měření a způsobu stanovení množství šedé vody

Vyhodnocení provedených měření průtoků vody v potrubí vnitřního vodovodu potvrdilo, že oddílný vodovod má, z důvodu použití jednoho druhu odběrných míst (např. pouze nádržkových splachovačů) určité specifikum, které není v ČSN 75 5455 [139] a ČSN EN 806-3 [136] pro dimenzování potrubí dostatečně zohledněno. Výpočtový průtok stanovený podle ČSN 75 5455 [139] i ČSN EN 806-3 [136] vychází menší než změřený průtok skutečný. Z tohoto důvodu je nutné v měření pokračovat, aby mohla být navržena úprava vztahu pro stanovení výpočtového průtoky uvedeného v ČSN 75 5455 [139]. Případnou úpravu ČSN EN 806-3 [136] je možné provést pouze národní poznámkou formou změny normy ČSN EN.

Měření potřeb vody, které je využitelné i při stanovování produkce šedé vody (množství vody, která přiteče do zařizovacích předmětů, se rovná množství vody, která z nich odtéče) potvrdilo hodnoty, jež byly v bytových domech předpokládány. Překvapivá byla hodnota 11 l.obyv⁻¹.den⁻¹ v bytovém domě „K“. Tyto hodnoty jsou nižší než hodnota přepočítaná ze směrného čísla roční potřeby vody podle vyhlášky č. 428/2001 Sb. (novela 120/2011 Sb.) [155], která činí 96 až 100 l.obyv⁻¹.den⁻¹. Hodnota potřeby vody pro splachování WC l.obyv⁻¹.

$1.\text{den}^{-1}$ svědčí o snaze obyvatel bytů co nejvíce šetřit s pitnou vodou, která je v bytovém domě „K“ měřena podružnými vodoměry. Šetření je prováděno použitím nádržkových splachovačů s úsporným splachováním (dvoji dávkování vody – $3/6\text{ l}$ a možná i nedostatečným splachováním WC v některých bytech. Při využití „levné“ šedé nebo dešťové vody však musíme počítat s menším šetřením a s hodnotou cca $25\text{ l.obyv}^{-1}.\text{den}^{-1}$. Velký rozdíl v naměřených hodnotách spotřeby vody pro WC ($11\text{ l.obyv}^{-1}.\text{den}^{-1}$) je důvodem k provedení dalších měření. Bohužel vzhledem k omezeným finančním prostředkům nebyla již další měření provedena, s výjimkou testování prototypu ČJŠV v reálných podmínkách v objektu více generačního rodinného domu v Břeclavi, viz dílčí závěry v samostatné kapitole 6.1.9.

4.1.2 TAČR, stanovení kvality šedých vod

Opětovné využití vyčištěné odpadní vody v České republice pro konkrétní oblast využití by se posuzovalo z hlediska ukazatelů kvality pitné vody, tedy podle vyhlášky č.252/2004 Sb., změna vyhláškou č. 293/2006 Sb. [45]. V případě použití bílé vody pro závlahy by bylo možné postupovat dle ČSN 75 7143 [12]. K porovnání kvality šedé vody je možné použít britskou normu British Standard BS 8525-1 [5]. K těmto účelům byly v rámci projektu TAČR provedeny chemické a mikrobiologické rozborů vzorků šedé vody. Hodnoty chemických rozborů jsou uvedeny v tabulce Tab 4.8, mikrobiologických rozborů v tabulce Tab 4.11.

Vzorky šedé vody pro chemický a mikrobiologický rozbor byly odebrány ve vytypovaných objektech v následujícím rozsahu:

- rodinný dům „LnB“: reprezentativní vzorek byl vytvořen z neseparované šedé vody z domácnosti od umyvadla, vany, sprchy, pračky a kuchyňského dřezu, obsazenost 4 osoby, šedá voda byla odebrána z jednotlivých zařizovacích předmětů a přepočtem byl stanoven reprezentativní vzorek šedé vody;
- krytý bazén „R“: bodový vzorek byl odebrán v suterénu objektu na společném potrubí od 8 ks umyvadel a 9 ks sprch;
- automatická pračka „B“: bodový vzorek byl odebrán při druhém cyklu praní silně znečištěné směsi prádla 2 dospělých osob;
- prádelna, lázně „H“: bodový vzorek byl odebrán při druhém cyklu praní ložního prádla v lázních, průmyslová pračka Primus s kapacitou prádla 6 kg;
- prádelna „H“: bodový vzorek byl odebrán při prvním cyklu praní silně znečištěného koberce z automatické pračky při použití pracího prášku Hygenil future společnosti Ecolab;
- automyčka „K“: bodový vzorek odebrán z cyklu mytí auta;
- plavecký stadión „L I“: bodový vzorek byl odebrán ze sprch;
- plavecký stadión „L II“: bodový vzorek byl odebrán ze sprch;
- plavecký areál „KH“: bodový vzorek byl odebrán z dámských sprch.

Chemický rozbor šedých vod

Pro reprezentativní odběry vzorků šedé vody pro stanovení chemického rozboru byly použity plastové PET láhve od neochucené, nesycené pitné vody o objemu $1,5\text{ l}$. Všechny vzorky byly předány do 24 hodin na pracoviště Zdravotního ústavu v Brně, ulice Masná 3c. V rámci chemického rozboru vzorků byly sledovány ukazatele BSK_5 , CHSK_{Cr} , N_{celk} , P_{celk} , pH, NL, tenzidy. Při odběru některých vzorků byla změřena teplota šedé vody. Rekapitulace

provedených rozborů šedé vody v rámci projektu TAČR byla provedena pro šedou vodu z praní prádla, neseparovanou šedou vodu z rodinného domu, myčky osobních automobilů a šedou vodu ze sprch plaveckého areálu a stadionu.

Tab 4.8 Chemický rozbor šedých vod ve vybraných objektech

Lokalita odběru	Sledovaný ukazatel									
	pH	Teplota	Zákal	NL	Tenzidy	BSK ₅	CHSK _{Cr}	N _{NH4+}	N _{celk}	P _{celk}
	[-]	[°C]	[ZFt]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]
Rodinný dům "LnB" ⁽¹⁾	6,77	19,80	190,00	146,00	12,00	420	865	-	9,00	0,50
Krytý bazén "R" ⁽²⁾	7,37	-	0,70	11,00	0,45	12	30	0,80	9,00	1,00
Automatická pračka "B" ⁽³⁾	7,50	-	700,00	350,00	82,00	1340	2800	15,00	17,00	2,30
Prádelna v lázních "H" ^{(3) st}	8,80	-	110,00	140,00	65,00	370	800	0,08	4,50	2,00
Prádelna Hodonín "H" ^{(3) st}	11,20	-	160,00	98,00	55,00	950	2280	0,78	14,00	16,00
Automyčka "K" ⁽⁴⁾	7,67	-	5,00	18,00	-	18	40	5,00	-	0,60
Plavecký stadion "L I" ⁽⁵⁾	6,67	18,80	27,00	44,00	0,60	75	180	-	11,50	0,18
Plavecký stadion "L II" ⁽⁵⁾	6,22	-	35,00	56,00	16,00	92	190	4,50	12,50	0,07
Plavecký areál "KH" ⁽⁶⁾	7,29	-	28,00	60,00	140,00	380	800	0,10	11,50	0,05

Poznámka: st... zpracována případová studie, viz samostatná kapitola dizertační práce

(1) ... vzorek odebral Úterský

(2) ... vzorek odebrala Bogáňová

(3) ... vzorek odebral Raček

(4) ... navíc NEL=0,45 mg.l⁻¹, RAS=275 mg.l⁻¹, vzorek odebral tým TAČR

(5) ... vzorek odebrala Maková

(6) ... vzorek odebrala Běloušková

Vzhledem k různorodosti zdroje znečištění šedé vody je provedena úprava tabulky Tab 4.8 na dílčí dvě tabulky Tab 4.9 Tab 4.10 a je provedeno porovnání naměřených hodnot s odbornou literaturou dle hodnot v tabulkách Tab 3.1 a Tab 3.2 z rešeršní části dizertační práce.

Teplota nebyla stanovena ve všech řešených lokalitách, lze ale konstatovat, že vyšší teplota odpovídá šedým vodám z praní prádla a sprchování osob.

Tab 4.9 Porovnání vybraných ukazatelů chemického rozboru šedé vody ve vybraných objektech s praním prádla s hodnotami uváděnými v literatuře

Ozn.	Sledovaný ukazatel znečištění šedé vody	Jednotka	Naměřené hodnoty			Rekapitulace naměřených hodnot	Hodnoty v literatuře
			Automatická pračka "B" ⁽¹⁾	Prádelna v lázních "H" ^{(1) st}	Prádelna Hodonín "H" ^{(1) st}		
1	NL	[mg.l ⁻¹]	350,00	140,00	98,00	98,00 - 350,00	45,00 - 330,00*
2	BSK ₅	[mg.l ⁻¹]	1340,00	370,00	950,00	370,00 - 1340,00	48,00 - 682,00
3	CHSK _{Cr}	[mg.l ⁻¹]	2800,00	800,00	2280,00	800,00 - 2800,00	375,00
4	N _{NH4+}	[mg.l ⁻¹]	15,00	0,08	0,78	0,08 - 15,00	0,10 - 3,47
5	P _{celk}	[mg.l ⁻¹]	2,30	2,00	16,00	2,00 - 16,00	0,06 - 57,00
6	pH	[-]	7,50	8,80	11,20	7,50 - 11,20	9,30 - 10,00
7	zákal	[ZF(n)]	700,00	110,00	160,00	110,00 - 700,00	14,00 - 296,00

Poznámka: st... zpracována případová studie, viz samostatná kapitola dizertační práce; hodnoty platí pro šedou vodu z praček kromě *; *doplňkové hodnoty platí pro neseparovanou šedou vodu

(1) ... vzorek odebral Raček

Provedené chemické rozborů šedé vody v objektech s praním prádla dosahují ve většině sledovaných ukazatelů znečištění vyšších hodnot, s výjimkou P_{celk} , než je uváděno v literatuře v tabulce Tab 3.1 a Tab 3.2. Tuto skutečnost lze přisuzovat značně znečištěnému prádlu v případě automatické pračky „B“ a také způsobem odebrání vzorků, tj. všechny tři odebrané vzorky byly odebrány z prvního cyklu praní prádla, u kterého se dá konstatovat, že ze všech obvyklých pracích cyklů obsahuje nejvyšší znečištění. Zajímavostí je skutečnost, že poměr hodnot mezi BSK_5 a $CHSK_{Cr}$ se pro provedené rozborů blíží téměř hodnotě 2 [62], což je charakteristické pro splaškové odpadní vody, nikoli pro vody šedé s poměrem 4, jak uvádí literatura [47]. Dále je pak potřeba zmínit vysoké množství BSK_5 v rozmezí hodnot 370,00 mg.l^{-1} až 1340,00 mg.l^{-1} , které odpovídá svým znečištěním vodám splaškovým. Vyšší hodnoty ukazatelů pH, nerozpuštěných látek a tenzidů opět odpovídají znečištění pocházejícímu z šedých vod z praní prádla.

Tab 4.10 Porovnání vybraných ukazatelů chemického rozborů šedé vody ze sprch plaveckého areálu, stadionu s hodnotami uváděnými v literatuře

Ozn.	Sledovaný ukazatel znečištění šedé vody	Jednotka	Naměřené hodnoty			Rekapitulace naměřených hodnot	Hodnoty v literatuře
			Plavecký stadion "L I"(1)	Plavecký stadion "L II"(1)	Plavecký areál "KH"(2)		
1	NL	$[\text{mg.l}^{-1}]$	44,00	56,00	60,00	Šedá voda ze sprch plaveckého areálu a stadionu	45,00 - 330,00*
2	BSK_5	$[\text{mg.l}^{-1}]$	75,00	92,00	380,00		19,00 - 200,00
3	$CHSK_{Cr}$	$[\text{mg.l}^{-1}]$	180,00	190,00	800,00		64,00 - 8000,00
4	N_{NH4+}	$[\text{mg.l}^{-1}]$	-	4,50	0,10		0,10 - 25,00
5	P_{celk}	$[\text{mg.l}^{-1}]$	0,18	0,07	0,05		0,11 - 2,20
6	pH	[-]	6,67	6,22	7,29		5,00 - 8,60
7	zákal	$[ZF(n)]$	27,00	35,00	28,00		20,00 - 370,00

Poznámka: hodnoty platí pro šedou vodu ze sprch, umyvadel kromě *; *doplňkové hodnoty platí pro neseparovanou šedou vodu

(1) ... vzorek odebrala Maková

(2) ... vzorek odebrala Běloušková

Provedené chemické rozborů šedé vody ze sprch v plaveckém areálu a stadionu dosahují hodnot odpovídajících literatuře dle tabulky Tab 3.1 a Tab 3.2 s výjimkou hodnoty BSK_5 rozborů provedeného v plaveckém areálu „KH“, kde hodnota BSK_5 rovna 380,00 mg.l^{-1} odpovídá splaškovým odpadním vodám. Obdobně jako v případě šedých vod z praní prádla se poměr BSK_5 k $CHSK_{Cr}$ blíží spíše 2 [62], což odpovídá složení splaškových odpadních vod. Vyšší hodnoty dusíku jsou zaznamenány u šedých vod ze sprch plaveckého areálu a stadionu, kde došlo pravděpodobně ke znečištění prostřednictvím moči při sprchování osob.

Mikrobiologický rozbor šedých vod

Pro reprezentativní odběry vzorků šedé vody pro stanovení mikrobiologických ukazatelů byly použity sterilní skleněné láhve o objemu 0,5 l zapůjčené v akreditované laboratoři. Při odběru vzorků šedé vody byla ve skleněných nádobách ponechána vzduchová mezera 40 až 50 mm od zátky. Při odběru se nesundával alobal ze zátky ani nedošlo ke kontaktu vnitřní strany hrdla nebo vnější strany zátky s jiným cizím tělesem. Po naplnění se vzorkovnice uzavřela a alobal se přitiskl zpět k hrdlu vzorkovnice. Odebrané vzorky byly uschovány v chladu a temnu ledničky. Všechny vzorky byly předány do 24 hodin na pracoviště Zdravotního ústavu v Brně, ulice Masná 3c. V rámci mikrobiologického rozborů vzorků byly sledovány ukazatele

Escherichia coli, Enterokoky, Koliformní bakterie a Pseudomonas aeruginosa. Rekapitulace naměřených hodnot je zřejmá z tabulky Tab 4.11.

Tab 4.11 Mikrobiologický rozbor šedých vod ve vybraných objektech

Lokalita odběru	Sledovaný ukazatel			
	Escherichia coli	Enterokoky	Koliformní bakterie	Pseudomonas aeruginosa
	[KTJ.100ml ⁻¹]	[KTJ.ml ⁻¹]	[KTJ.100ml ⁻¹]	[KTJ.100ml ⁻¹]
Rodinný dům "LnB" (1)	2	10	0	0
Krytý bazén "R" (2)	0	0	35	0
Automatická pračka "B" (3)	0	50	50	0
Prádelna v lázních "H" (3) st	0	0	0	0
Prádelna Hodonín "H" (3) st	0	0	0	0
Plavecký stadion "L I" (4)	0	0	0	0
Plavecký stadion "L II" (4)	0	0	10	40
Plavecký areál "KH" (4)	0	4	24	10

Poznámka: st... zpracována případová studie, viz samostatná kapitola dizertační práce.

(1) ... vzorek odebral Úterský

(2) ... vzorek odebrala Bogáňová

(3) ... vzorek odebral Raček

(4) ... vzorek odebral pracovní tým TAČR

Pozn: v automyčce "K" nebyl proveden mikrobiologický rozbor

Vzhledem k různorodosti zdroje znečištění šedé vody je provedena úprava tabulky Tab 4.11 na dílčí dvě tabulky Tab 4.12 a Tab 4.13 a je provedeno porovnání naměřených hodnot s literaturou dle hodnot v tabulce Tab 3.3 rešeršní části dizertační práce.

Tab 4.12 Porovnání vybraných ukazatelů mikrobiologického rozboru šedé vody ve vybraných objektech s praním prádla s hodnotami uváděnými v literatuře

Ozn.	Sledovaný ukazatel znečištění šedé vody	Jednotka	Naměřené hodnoty			Hodnoty v literatuře
			Automatická pračka "B"(1)	Prádelna v lázních "H"(1) st	Prádelna Hodonín "H"(1) st	
1	Enterokoky	[KTJ.100ml ⁻¹]	50,00	0	0	1000 - 100000*
3	Koliformní bakterie	[KTJ.100ml ⁻¹]	50,00	0	0	10 - 10 ⁸
4	Escherichia coli	[KTJ.100ml ⁻¹]	0,00	0	0	10 - 10 ⁶
5	Pseudomonas aeruginosa	[KTJ.ml ⁻¹]	0	0	0	100 - 100000*

Poznámka: hodnoty platí pro šedou vodu z praček kromě *; *doplňkové hodnoty platí pro neseparovanou šedou vodu

(1) ... vzorek odebral Raček

Přestože zvýšené hodnoty chemického rozboru šedé vody ukazatele BSK₅ naznačovaly charakter splaškových odpadních vod pro šedé vody z praní prádla, hodnoty mikrobiologického rozboru šedé vody vybraných ukazatelů znečištění jsou v případě ukazatelů jako Enterokoky, Koliformní bakterie, Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa rovny nule. Tedy s výjimkou vzorku pro automatickou pračku Brno, kde mikrobiologické znečištění bylo dosaženo praním prádla zahrnující také kojenecké oblečení pravděpodobně obsahující zdroj mikrobiologického znečištění. Lze konstatovat, že šedé vody praní prádla mohou obsahovat mikrobiologické znečištění šedé vody.

Tab 4.13 Porovnání vybraných ukazatelů mikrobiologického rozboru šedé vody ze sprch plaveckého areálu, stadionu s hodnotami uváděnými v literatuře

Ozn.	Sledovaný ukazatel znečištění šedé vody	Jednotka	Naměřené hodnoty			Hodnoty v literatuře
			Plavecký stadion "L I"(1)	Plavecký stadion "L II"(1)	Plavecký areál "KH"(2)	Hodnoty v Tab. 3.3
1	Enterokoky	[KTJ.100ml ⁻¹]	0	0	4	1000 - 100000*
3	Koliformní bakterie	[KTJ.100ml ⁻¹]	0	10	24	10 - 10 ⁹
4	Escherichia coli	[KTJ.100ml ⁻¹]	0	0	0	10 - 10 ⁷
5	Pseudomonas aeruginosa	[KTJ.ml ⁻¹]	0	40	10	< 100

Poznámka: hodnoty platí pro šedou vodu ze sprch, umyvadel kromě *; *doplňkové hodnoty platí pro neseparovanou šedou vodu

(1) ... vzorek odebrala Maková

(2) ... vzorek odebrala Běloušková

Provedené rozborů mikrobiologického znečištění odpovídají při porovnání hodnotám uváděným v literatuře. Lze konstatovat, že šedé vody ze sprch obsahují mikrobiologické znečištění šedé vody.

Požadavky na kvalitu bílé vody

Systémy využití šedých vod ve vybraných objektech musí obsahovat technologická čistící zařízení pro čištění šedých odpadních vod, která zaručí požadovanou kvalitu dodané bílé vody k další potřebě bez jakéhokoli ohrožení zdravotního rizika, tj. musí být splněny legislativní požadavky na chemický a mikrobiologický rozbor bílé vody.

Mezi hlavní požadavky dle legislativy a norem v České republice na kvalitu dodané bílé vody lze zařadit:

- požadavek na zamezení výskytu organické a anorganické částice o průměru $d > 0,1$ mm dle ČSN 75 7143 [12], jelikož tyto částice způsobují zanášení strojních částí některých zařízení;
- požadavek na nízkou nebo žádnou koncentraci bakterií mikrobiologických ukazatelů a vybraných chemicko-fyzikálních ukazatelů znečištění dle vyhlášky č. 238/2011, o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch [156];
- požadavek na vodu dle Zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, v platném znění, novela č. 115/2012 [11] v případě, že např. bílá voda bude použita pro mytí podlahy a člověk může po této podlaze chodit bosý a dítě se jí může dotýkat ještě intenzivněji [9]

Dle zahraniční legislativy, norem a nařízení je možné zařadit následující požadavky:

- Velká Británie, nezjistitelných vybraných ukazatelů mikrobiologického znečištění a vybraných chemicko-fyzikálních ukazatelů dle BS 8525-1: 2010 [5] ve vztahu k tabulce Tab 3.4;
- Německo, bílá voda pro splachování toalety dle Service Water Reused for Toilet Flushing [166]
- WHO, bílá voda pro splachování toalety dle WHO Guidelines for Greywater Reuse for Different Purposes [167];

- Austrálie, bílá voda pro splachování toalety dle *Australian Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines* [168]
- Kanada, bílá voda pro splachování toalety dle *Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing* [169]
- další ukazatele mikrobiologického znečištění a obecných chemicko-fyzikálních ukazatelů jako zákal, pH, NL, BSK₅ apod. dle tabulky Tab 3.5, tj. dle *BS 8525-1: 2010* [5] a Tab 3.8, tj. dle *ČSN 75 7143* [12] a zahraniční literatury.

Požadavky na vybrané chemické ukazatele dle legislativy, norem a literatury v České republice a ve vybraných státech jsou zřejmé z následující tabulky Tab. 4.14.

Tab. 4.14 Požadavky na vybrané ukazatele chemického rozboru bílé vody s hodnotami uváděnými v legislativě, normách a literatuře

Ozn.	Sledovaný ukazatel znečištění bílé vody	Jednotka	Hodnoty v legislativě, normách a literatuře					
			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]	-	-	-	≤ 10,0	≤ 10,0	≤ 10,0
2	BSK ₅	[mg.l ⁻¹]	-	-	< 5,0 (BSK ₇)	≤ 10,0	≤ 10,0	≤ 10,0
3	CHSK _{Cr}	[mg.l ⁻¹]	-	-	-	-	-	-
4	NNH ₄ ⁺	[mg.l ⁻¹]	-	-	-	-	-	-
5	P _{celk}	[mg.l ⁻¹]	-	-	-	-	-	-
6	pH	[-]	6,50 - 7,60	5,00 - 9,50	-	-	-	-
7	zákal	[ZF(n)]	0,50	< 10,00	-	-	-	≤ 2,0

Literatura 1 ... bílá voda jako bazénová voda během provozu dle Vyhlášky č. 238/2011 Sb. [156]

Literatura 2 ... Velká Británie, bílá voda pro splachování toalety dle BS 8525-1:2010 [5]

Literatura 3 ... Německo, bílá voda pro splachování toalety dle Service Water Reused for Toilet Flushing [166]

Literatura 4 ... WHO, bílá voda pro splachování toalety dle WHO Guidelines for Greywater Reuse for Different Purposes [167]

Literatura 5 ... Austrálie, bílá voda pro splachování toalety dle Australian Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines [168]

Literatura 6 ... Kanada, bílá voda pro splachování toalety dle Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing [169]

Požadavky na vybrané mikrobiologické ukazatele dle legislativy, norem a literatury v České republice a ve vybraných státech jsou zřejmé z následující tabulky Tab. 4.15.

Tab. 4.15 Požadavky na vybrané ukazatele mikrobiologického rozboru bílé vody s hodnotami uváděnými v legislativě, normách a literatuře

Ozn.	Sledovaný ukazatel znečištění šedé vody	Jednotka	Hodnoty v literatuře					
			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]	-	100	-	-	-	-
2	Salmonella	[KTJ.ml ⁻¹]	-	-	-	-	-	-
3	Koliformní bakterie	[KTJ.100ml ⁻¹]	-	1000	< 100	≤ 10	≤ 10	negativní
4	Escherichia coli	[KTJ.100ml ⁻¹]	0	250	-	-	-	-
5	CPM 22	[KTJ.ml ⁻¹]	-	-	-	-	-	-
6	CPM 36	[KTJ.ml ⁻¹]	100	-	-	-	-	-
7	Pseudomonas aeruginosa	[KTJ.ml ⁻¹]	0	-	< 1	-	-	-

Literatura 1 ... bílá voda jako bazénová voda během provozu dle Vyhlášky č. 238/2011 Sb. [156]

Literatura 2 ... Velká Británie, bílá voda pro splachování toalety dle BS 8525-1:2010 [5]

Literatura 3 ... Německo, bílá voda pro splachování toalety dle Service Water Reused for Toilet Flushing [166]

Literatura 4 ... WHO, bílá voda pro splachování toalety dle WHO Guidelines for Greywater Reuse for Different Purposes [167]

Literatura 5 ... Austrálie, bílá voda pro splachování toalety dle Australian Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines [168]

Literatura 6 ... Kanada, bílá voda pro splachování toalety dle Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing [169]

CPM 22 a 36: celkový počet kultivovaných mikroorganismů pro 22°C a 36°C

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, instalací a provozováním 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 na konci řešené kapitoly 6.1, patří:

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

Na základě definovaných vstupních okrajových podmínek je možné provést návrh prototypu čistící jednotky systému využití šedých vod ČJŠV, následně je možné provést jeho realizaci a uskutečnit samotné odzkoušení v poloprovozních, tedy laboratorních a následně pak provozních, tedy reálných podmínkách.

Na základě odzkoušení prototypu čistící jednotky šedé vody ČJŠV ve vybraných objektech je přistoupeno k definování nedostatků zjištěných při návrhu, instalaci a provozování ČJŠV. Jsou definována opatření pro odstranění těchto nedostatků. Je provedena optimalizace potřeby vzduchu za účelem dosažení požadované účinnosti čištění šedých vod, tj. za účelem snížení energetické náročnosti prototypu ČJŠV.

Následně jsou provedeny závěry z vyhodnocení měření a stanovení okrajových podmínek pro návrh systému využití 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 kapitole 4.1.1.

6.1.2 Stanovení kvality šedých vod

Stanovení kvality šedých vod bylo provedeno v rámci projektu TAČR č. TA01020311, výstupy jsou popsány v kapitole 4.1.2

6.1.3 Stanovení způsobu čištění šedých vod

V návaznosti na předchozí zpracovanou kapitolu zabývající se požadavky na kvalitu bílé vody určené pro aplikaci v systému využití šedých vod ve vybraných objektech jsou zřejmé požadavky na kvalitu chemického a mikrobiologického rozboru bílé vody.

Z uvedeného je zřejmé, že v případě chemického rozboru bílé vody by kvalita vyčištěné šedé vody ke spotřebě definované v tabulce Tab. 4.14, tedy vody bílé, měla splnit požadavek $BSK_7 < 5,0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ [166] a pro BSK_5 a $NL < 10,0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ [167] [168] [169]. Hodnota zákalu by měla být do 0,5 ZF(n) [156].

Z uvedeného je zřejmé, že v případě mikrobiologického rozboru bílé vody by kvalita vyčištěné šedé vody ke spotřebě definované v tabulce Tab. 4.15, tedy vody bílé, měla splnit požadavky pro Enterokoky $< 100 \text{ KTJ} \cdot 100\text{ml}^{-1}$ [5], pro Koliformní bakterie by měl být

negativní vzorek [169], pro *Escherichia coli* rovno nule [156], pro CPM $36 < 100 \text{ KTJ} \cdot 100\text{ml}^{-1}$ [156], *Pseudomonas aeruginosa* rovno nule [156].

Z výše uvedených 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, zejména pak s ohledem na informace popsané v kapitole 3.14 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

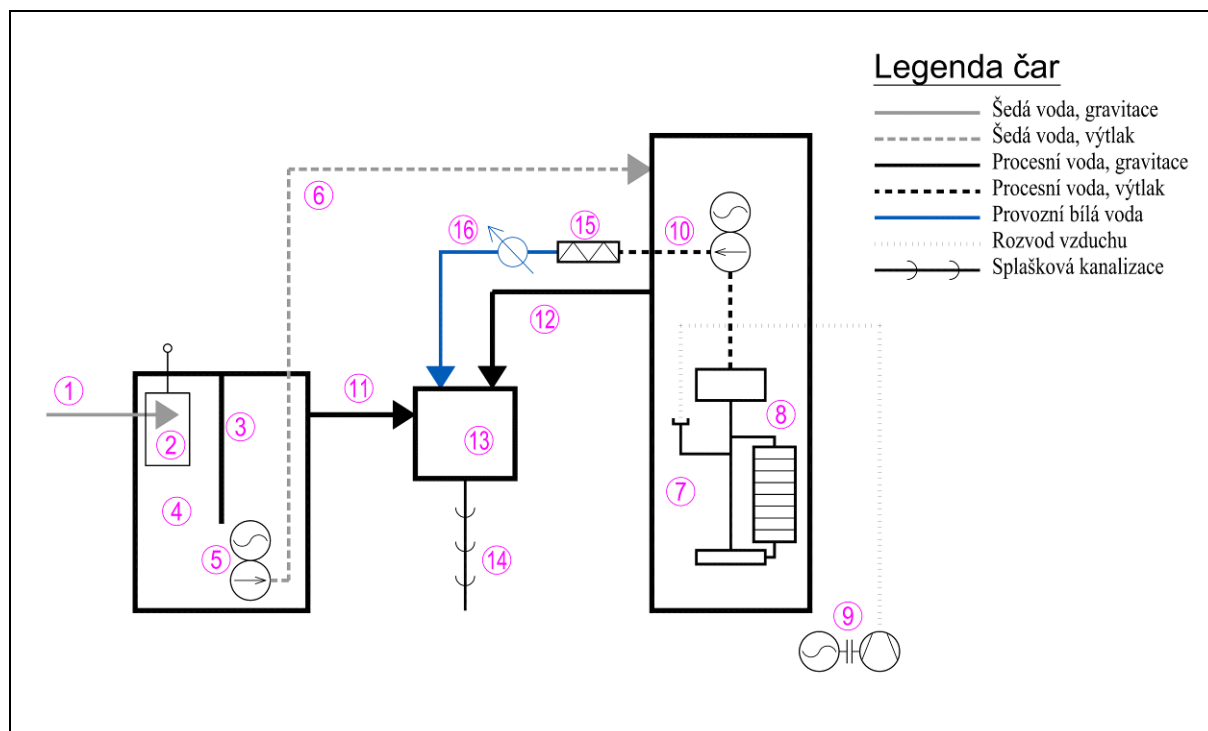
V návaznosti na zpracovanou rešerši dizertační práce a předchozí kapitoly dizertační práce týkající se stanovení okrajových podmínek pro návrh systému využití šedých vod jsem v roce 2012 provedl návrh prototypu čistící jednotky šedé vody ČJŠV, který byl dopracován do podrobností prostřednictvím dílenské 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“. Pro samotný návrh a odzkoušení prototypu ČJŠV jsem vyhotovil projektovou dokumentaci, jejíž výkres čistící jednotky sloužil pro realizaci prototypu ČJŠV.

Projektová dokumentace návrhu prototypu pro osazení v suterénu FAST

Předmětem projektové dokumentace prototypu čistící jednotky šedé vody ČJŠV bylo podchycení odpadů zařizovacích předmětů umyvadel v sociálním zařízení místnosti technických pracovníků Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně, budova „Z“.

Na přítoku do nádrže je na potrubí osazeno zařízení plnicí funkci mechanického předčištění, tedy síto, které zachytí hrubé nečistoty v přitékající šedé odpadní vodě. Síto v případě potřeby je možné vytáhnout a vyčistit od zachycených hrubých nečistot. Nádrž je dále vybavena přepážkou, která slouží jako norná stěna pro zachycení tuků nebo případných ropných látek. Při dně vyrovnávací nádrže je navrženo ponorné kalové čerpadlo řízené plovákem s předpokládaným výkonem max. $0,5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ (bude následně ověřeno výpočtem). Výtlak zaústěn do další nádrže, tj. nádrže čistící jednotky s osazenou membránovou technologií s navrženou mikrofiltrací. Vyrovnávací nádrž je dále vybavena bezpečnostním havarijním přepadem do stávající výlevky, který má své využití v případě výpadku čerpadla ve vyrovnávací nádrži, dále přepad z čistící jednotky s membránovou mikrofiltrací.

Do jednotky je přiveden vzduch z kompresoru, výtlak bílé vody z vrchní strany je veden přes víko do stávající výlevky. Pro zkušební provoz je možné na potrubí výtlačku osadit průtokoměr pro měření produkce bílé vody. Nádrž je vybavena bezpečnostním havarijním přepadem do stávající výlevky. Technologické vystrojení návrhu prototypu je zřejmé z Obr. 6.1 Technologické schéma zapojení prototypu .



Obr. 6.1 Technologické schéma zapojení prototypu ČJŠV v laboratorních podmínkách

(legenda: 1-přítok šedé vody; 2-mechanické předčištění, vyjímatelné síto; 3-norná stěna; 4-akumulační vyrovnávací nádrž šedé vody; 5-ponorné kalové čerpadlo s plovákem; 6-výtlač šedé vody do nádrže čištění šedé vody; 7-nádrž čištění šedé vody; 8-MBR jednotka, mikrofiltrace; 9-kompresor, přívod vzduchu do MBR jednotky; 10-výtlač bílé vody z MBR jednotky; 11-bezpečnostní přepad z akumulací vyrovnávací nádrže šedé vody; 12-bezpečnostní přepad z nádrže čištění šedé vody; 13-výlevka; 14-odtok do splaškové kanalizace; 15-dezinfekce; 16-průtokoměr)

Na základě výše stanovených okrajových podmínek v dizertační práci a v projektové dokumentaci je přistoupeno k výpočtu funkčních částí prototypu čistící jednotky šedé vody ČJŠV.

Stanovení výpočtu průměrné denní produkce pro návrh prototypu

Pro potřeby návrhu prototypu čistící jednotky šedých vod je proveden výpočet průměrné denní produkce a to na základě dvou metod výpočtu již uvedených a popsanych v kapitolách řešeršní části dizertační práce 6.1.1 Stanovení bilančního množství šedých vod.

a) Metoda založená na počtu měrných jednotek stejného druhu

Pro výpočet průměrné denní produkce vody dle metody založené na počtu měrných jednotek stejného druhu je použita rovnice uvedená v kapitole 6.1.1 v následujícím znění:

$$Q_{prod} = \sum_{i=1}^m q_{prod,i} \cdot n_{mj,i} \quad (4.1)$$

kde Q_{prod} ... je objem vyprodukované šedé vody [$l.den^{-1}$];

$q_{prod,i}$... je produkce šedé vody na měrnou jednotku za den [$l.den^{-1}$] dle Tab 4.2;

$n_{mj,i}$... je počet měrných jednotek stejného druhu [Ks] dle Tab 4.2;

m ... je počet druhů měrných jednotek;

po dosazení známých hodnot:

$$\begin{aligned} q_{\text{prod},i} &\dots 12 \text{ l.den}^{-1}; \\ n_{\text{mj},i} &\dots 10 \text{ Ks (osob)}; \\ m &\dots 1; \end{aligned}$$

$$Q_{\text{prod}} = \sum_{i=1}^m q_{\text{prod},i} \cdot n_{\text{mj},i} = 12 \cdot 10 = 120 \text{ l.den}^{-1}$$

b) Metoda založená na počtu provedených činností

Pokud není produkce šedé vody na měrnou jednotku za den Q_{prod} (l.den^{-1}) známa, lze objem vyprodukované vody stanovit dle metody založené na počtu provedených činností, dále je použita rovnice uvedená v kapitole 6.1.1 v následujícím znění:

$$q_{\text{prod}} = \sum_{i=1}^j q_{\text{č},i} \cdot n_{\text{č}} \quad (4.2)$$

kde $q_{\text{prod}} \dots$ je objem vyprodukované šedé vody [l.den^{-1}];
 $q_{\text{č},i} \dots$ je produkce šedé vody pro příslušnou činnost [l.den^{-1}] dle Tab 4.3;
 $n_{\text{č}} \dots$ je počet činností stejného druhu prováděných během [Ks] dne dle Tab 4.3;
 $j \dots$ je počet osob prováděných během dne danou činností [osob];

po dosazení známých hodnot:

$$\begin{aligned} q_{\text{č},i} &\dots 3 \text{ l.den}^{-1}; \\ n_{\text{č}} &\dots 3 \text{ Ks za den mytí rukou v umyvadle}; \\ j &\dots 10 \text{ osob}; \end{aligned}$$

$$q_{\text{prod}} = \sum_{i=1}^j q_{\text{č},i} \cdot n_{\text{č}} = 3 \cdot 3 \cdot 10 = 90 \text{ l.den}^{-1}$$

Výpočet pro čistící jednotku bude zpětně upraven na základě naměřených dat při testování prototypu čistící jednotky šedé vody ČJŠV.

Výběr technologie čištění šedé vody byl proveden na základě zpracované rešerše, provedených rozborů chemického a mikrobiologického znečištění šedých odpadních vod a potřeby kvality vody bílé pro splachování toalet. Dle výše uvedených skutečností byla navržena membránová technologie čištění založená na fyzikálním procesu mikrofiltrace s doplněním technologie čištění o hygienické zabezpečení prostřednictvím UV lampy.

Výpočet objemů a stanovení technologických prvků čistící jednotky prototypu

Dle nově zpracované normy ČSN 75 6780 [2] smí na čistící jednotku využití šedých vod (dále označení ČJVŠV) přivedeny pouze vody šedé. Technologické vybavení ČJVŠV je potřeba upravit dle zdroje šedé vody, viz kapitola 3.4.2, a norma ČSN 75 6780 [2] a to zejména u následujících dílčím prvků technologického vybavení:

- mechanické předčištění s akumulací vyrovnávací nádrží;
- nádrž čištění šedé vody;
- dezinfekce prototypu.

a) Mechanické předčištění s akumulací vyrovnávací nádrží

Pro mechanické předčištění je navrženo trychtýřovité nerezové vyjímatelné síto s průlinami kruhového půdorysu o průměru 3 mm. Toto síto je navrženo na gravitačním přítoku šedé vody v akumulací vyrovnávací nádrži šedé vody a je určeno pro zachycení hrubých nečistot v šedé vodě, jako jsou např. vlasy, tkaniny z praní prádla a jiné pevné částice, které se dostanou do vnitřní kanalizace zařizovacích předmětů šedé vody.

Akumulací vyrovnávací nádrž je navržena pro maximální denní průtok šedé vody Q_d a na dobu zdržení min. 10 minut dle následujících vztahů

$$Q_d = Q_{prod} \cdot k_d \quad (6.1)$$

kde $Q_d \dots$ je maximální denní průtok šedé vody [l.den^{-1}];

$Q_{prod} \dots$ je objem vyprodukované šedé vody [l.den^{-1}];

$k_d \dots$ koeficient denní nerovnoměrnosti dle ČSN 73 6101 *Stokové sítě a kanalizační přípojky* [158] [-];

po dosazení známých hodnot

$Q_{prod} \dots 120 \text{ l.den}^{-1}$;

$k_d \dots 1,5$;

$$Q_d = Q_{prod} \cdot k_d = 120 \cdot 1,5 = 180 \text{ l.den}^{-1}$$

$$V_{VN} = Q_d \cdot t_{zd} \quad (6.2)$$

kde $V_{VN} \dots$ je min. objem akumulací vyrovnávací nádrže [m^3 , l];

$t_{zd} \dots$ uvažovaná doba zdržení šedé vody v nádrži [min];

po dosazení známých hodnot

$t_{zd} \dots 10 \text{ min}$;

$$V_{VN} = Q_d \cdot t_{zd} = 180 / 24 / 60 \cdot 10 = 1,25 \text{ l}$$

Vzhledem k technickému řešení akumulací vyrovnávací nádrže, která je doplněna o kalové čerpadlo s plovákem pro přečerpávání do nádrže čištění šedé vody, je potřeba přistoupit k návrhu akumulací vyrovnávací nádrže jako k čerpací stanici odpadních vod dle ČSN 73 6701 (nahrazena normou ČSN 73 6101) [158] a to s ohledem na maximální hodinové přítokové množství dle následujících vztahů

$$Q_{hdim} = Q_{prod} \cdot k_h \quad (6.3)$$

kde $Q_{hdim} \dots$ je maximální přítokové hodinové množství šedé vody pro návrh čerpací stanice šedých vod [l.s^{-1}];

$k_h \dots$ součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti dle ČSN 73 6701 (nahrazena novou normou ČSN 73 6101) [158], viz tabulka Tab. 6.1 [-];

Tab. 6.1 Součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti dle ČSN 73 6701 [158]

Počet obyvatel	30	40	50	75	100	300	400	500	1000	2000	5000	10000
k_h	7,2	6,9	6,7	6,3	5,9	4,4	3,5	2,6	2,2	2,1	2,0	1,9

$$Q_{h\dim} = Q_{\text{prod}} \cdot k_h = 120 \cdot 7,2 / 24 = 36 \text{ l.hod}^{-1} = 0,01 \text{ l.s}^{-1}$$

Dle ČSN 73 6101 [158] musí být čerpané množství z čerpací stanice větší než maximální přítokové množství šedé vody

$$Q_{\text{čs}} > Q_{h\dim} \quad (6.4)$$

kde $Q_{\text{čs}} \dots$ je čerpané množství z čerpací stanice šedých vod [l.s^{-1}];

Vzhledem k vypočtenému maximálnímu přítokovému množství je vybráno ponorné kalové čerpadlo řízené plovákem s výkonem $Q_{\text{čs}} = 0,5 \text{ l.s}^{-1}$, tak aby byla dosažena rychlost ve výtlaku min. $0,8 \text{ m.s}^{-1}$.

Po dosazení maximálního denního přítoku šedé vody do vztahu rovnice pro výpočet V_{VN} a s uvažováním doby zdržení 8 hodin pro čerpací stanice odpadních vod z důvodu možného výpadku elektrické energie je výpočet objemu nádrže

$$V_{VN} = Q_d \cdot t_{zd} = 120 / 24 \cdot 8 = 40 \text{ l}$$

Je přistoupeno k návrhu materiálu a tvaru akumulární vyrovnávací nádrže. Z hydraulického hlediska je upřednostněna nádrž kruhového půdorysného tvaru (před čtvercovým a obdélníkovým tvarem) z plastového materiálu polyetylen, který je vzhledem k levné a jednoduché výrobě, odolnosti vůči působení odpadních vod, vhodným materiálem.

Na základě vypočítaného objemu akumulární vyrovnávací nádrže byly stanoveny následující rozměry a stanoven skutečný objem akumulární vyrovnávací nádrže:

$$V_{VNskut} = a_{VN} \cdot h_{VN} \quad (6.5)$$

kde $V_{VNskut} \dots$ je skutečný objem akumulární vyrovnávací nádrže šedé vody [m^3 , l];

$a_{VN} \dots$ je průměr akumulární vyrovnávací nádrže šedé vody [m];

$h_{VN} \dots$ je výška akumulárního prostoru v akumulární vyrovnávací nádrži šedé vody [m];

po dosazení navržených hodnot

$$a_{VN} \dots 0,5 \text{ m};$$

$$h_{VN} \dots 0,4 \text{ m};$$

$$V_{VNskut} = a_{VN} \cdot h_{VN} = 3,14 \cdot 0,5 \cdot 0,4 / 4 \cdot 0,4 \cdot 1000 = 79 \text{ l}$$

Navržený skutečný objem akumulární vyrovnávací nádrže šedé vody má splnit následující podmínku

$$V_{VNskut} > V_{VN} \quad (6.6)$$

kdy po dosazení vypočítaných hodnot $79 > 40$ je podmínka splněna.

Pro případ nezajištění potřebné elektrické energie nebo zprovoznění technologie po 8. hodině výpadku čerpadel je navržen bezpečnostní havarijný přepad z akumulární vyrovnávací nádrže šedé vody do vnitřní kanalizace objektu se zaústěním přes kanalizační přípojku do veřejné kanalizace. Potrubí bezpečnostního havarijního přepadu prototypu ČJŠV musí mít stejnou nebo větší dimenzi potrubí a to v případě dodržení stejného nebo většího sklonu odtokového potrubí tak, aby nedošlo k překročení kapacity nádrže a tím k přetečení odpadní vody a k ohrožení zdraví uživatelů řešeného objektu nebo k ohrožení majetku.

b) Nádrž čištění šedé vody

Z mechanického předčištění akumulární vyrovnávací nádrže šedé vody je šedá voda prostřednictvím kalového čerpadla čerpána do nádrže čištění šedé vody s osazenou technologií, s fyzikální membránovou mikrofiltrací s velikostí pórů 0,1 až 0,3 μm .

Vybraná membránová mikrofiltrace systému C-MEM [157] využívá speciálních organických porézních dutých vláken membrány, což slouží jako filtrační médium, přes které je šedá voda filtrována. Vlákná mají vnější průměr menší než 1 mm, kdy stovky vláken jsou svázány dohromady a namotány v modulu, což vytváří dostatečnou plochu pro konstantní průtok membránou. Membrána je v rámci prototypu napojena k sacímu připojení filtrované vody a stlačeného vzduchu, což zajistí samotné čištění membrány. Specifikace vybraného typu membrány je následující:

- dodavatel membrány: INTEWA GmbH [157];
- typ membrány: mikrofiltrace, systém C-MEM, dutá porézní vlákna z PE;
- filtrační plocha jedné patrony membrány: 6 m^2 ;
- účinnost odstranění dle výrobce: 99,99 % bakterií a 99,70 % virů;
- průměr vlákna/množství/délka: 0,41 až 0,44 mm/1600 až 2000 ks/740 mm $\pm$ 15 mm
- velikost pórů 0,1 až 0,3 μm (10^{-8} až $3 \cdot 10^{-8}$);
- životnost modulu: 10 let;
- průtok membránou (flux): 30 až 600 l.hod^{-1} ;
- specifický průtok membránou (flux): 50 $\text{l.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$;
- dovolené rozmezí teplot: 0 – 55 $^{\circ}\text{C}$;
- max. tlak filtrace: 0,7 bar;
- max. tlak proplachu: 2,5 bar;
- kyselé čištění membrány: 2 % kyselina citrónová $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ (pH 2);
- alkalické čištění: 0,25 % chlornan sodný NaOCl (pH 10 až 11).

Dále v rámci návrhu nádrže čištění šedé vody jsou provedeny následující výpočty:

- výpočet objemu reaktoru nádrže čištění šedé vody;
- výpočet plochy membrány mikrofiltrace;
- stanovení množství vzduchu pro mikrofiltraci.

b1) Výpočet objemu reaktoru nádrže čištění šedé vody

Je přistoupeno k výpočtu objemu reaktoru nádrže čištění šedé vody dle následujícího vztahu:

$$V_{AN} = \frac{c_0 \cdot Q_{prod}}{B_x \cdot X} \quad (6.7)$$

kde V_{AN} ... je objem reaktoru nádrže čištění šedé vody [m^3 , l];
 c_0 ... je vstupní koncentrace substrátu v šedé vodě (BSK_5 , $CHSK_{Cr}$) [$kg \cdot m^{-3}$];
 B_x ... je látkové zatížení kalu v reaktoru nádrže čištění šedé vody dle ČSN 75 6780 [2] [$kg \cdot kg^{-1} \cdot den^{-3}$];
 X ... je koncentrace sušiny kalu v reaktoru nádrže čištění šedé vody [$kg \cdot m^{-3}$];

po dosazení navržených hodnot:

c_0 ... 300 $mg \cdot l^{-1} = 0,3 \text{ kg} \cdot m^{-3}$;
 B_x ... 0,05 $kg \cdot kg^{-1} \cdot den^{-3}$ pro membránové reaktory provozované s vysokým stářím kalu ($\theta_x > 50-70$ dní) a velmi nízkým látkovým zatížením kalu;
 X ... 10 $kg \cdot m^{-3}$;

$$V_{AN} = \frac{c_0 \cdot Q_{prod}}{B_x \cdot X} = \frac{0,3 \cdot 0,12}{0,05 \cdot 10} = 0,072 m^3 = 72l$$

Je přistoupeno k návrhu materiálu a tvaru reaktoru nádrže čištění šedé vody. Z hydraulického hlediska je, stejně jako u akumulární vyrovnávací nádrže, vybrán kruhový půdorysný tvar. Nádrž je z plastového materiálu polyetylen, který je vzhledem k levné a jednoduché výrobě, odolnosti vůči působení odpadních vod, vhodným materiálem.

Na základě vypočítaného objemu reaktoru nádrže čištění šedé vody byly stanoveny následující rozměry a stanoven skutečný objem reaktoru nádrže čištění šedé vody:

$$V_{ANskut} = a_{AN} \cdot h_{AN} \quad (6.8)$$

kde V_{ANskut} ... je skutečný objem reaktoru nádrže čištění šedé vody [m^3 , l];
 a_{AN} ... je průměr reaktoru nádrže čištění šedé vody [m];
 h_{AN} ... je výška reaktoru nádrže čištění šedé vody [m];

po dosazení navržených hodnot:

a_{AN} ... 0,65 m;
 h_{AN} ... 1,25 m;

$$V_{ANskut} = a_{AN} \cdot h_{AN} = 3,14 \cdot 0,65 \cdot 0,65 / 4 \cdot 1,25 \cdot 1000 = 415l$$

Navržený skutečný objem reaktoru nádrže čištění šedé vody je navržen větší, než je požadováno dle V_{AN} a to z důvodu plánované další instalace v rodinném domě, kde je vyšší produkce šedých vod. Skutečný objem nádrže musí splnit následující podmínku

$$V_{ANskut} > V_{AN} \quad (6.9)$$

po dosazení vypočítaných hodnot $415 > 72$ je podmínka splněna.

b2) Výpočet plochy membrány mikrofiltrace

Následuje výpočet plochy membrány fyzikálního procesu mikrofiltrace dle následujícího vztahu:

$$A_{MBR} = \frac{Q_d}{flux} \quad (6.10)$$

kde A_{MBR} ... je plocha membrány mikrofiltrace [m^2];

$flux$... je průtok membránou mikrofiltrace [$l \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$];

po dosazení navržených hodnot:

$flux$... 12 $l \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$;

$$A_{MBR} = \frac{Q_d}{flux} = \frac{180/24}{12} = 0,625 m^2$$

Je zvolen membránový modul mikrofiltrace C-MEM, INTEWA [157] se skutečnou návrhovou plochou membrán $A_{MBRskut} = 6 m^2$ jedné membránové patrony definované výrobcem membrány, tj. musí platit podmínka $A_{MBR} \leq A_{MBRskut}$.

b3) Stanovení množství vzduchu pro mikrofiltraci

$$Q_{VZD} = A_{MBR} \cdot k_{fm} \quad (6.11)$$

kde Q_{VZD} ... je potřeba vzduchu pro membránu, dostačuje i pro nitrifikaci [$m^3 \cdot h^{-1}$];

k_{fm} ... je koeficient přestupu kyslíku k membráně mikrofiltrace dle ČSN 75 6780 [2] [$m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$];

po dosazení navržených hodnot:

k_{fm} ... 0,7 [$m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$];

$$Q_{VZD} = A_{MBR} \cdot k_{fm} = 6 \cdot 0,7 = 4,2 m^3 \cdot h^{-1}$$

Dodávka vzduchu je zajištěna dmýchadlem osazeným na suchém místě při prototypu čistící jednotky s vyvedením do nádrže čištění šedé vody.

c) Dezinfekce

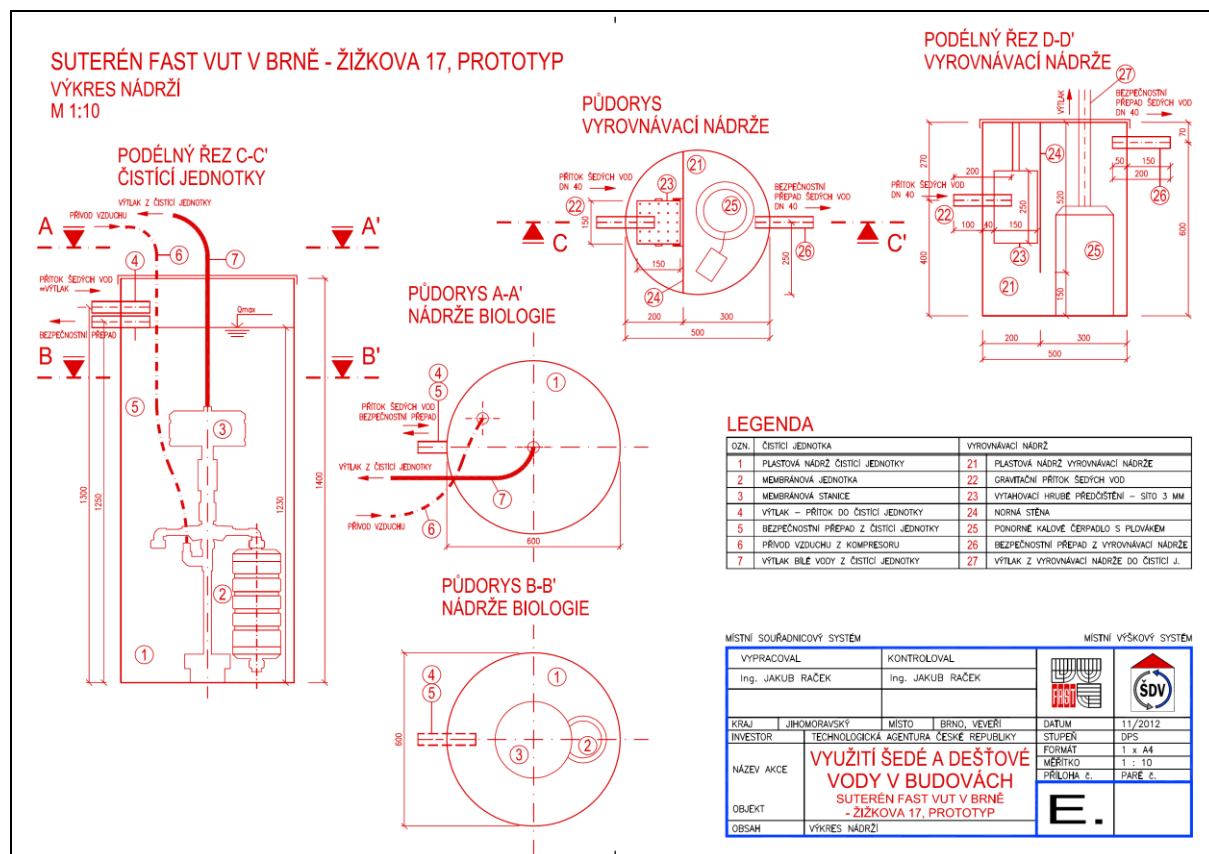
Na základě hygienických požadavků ve věci nezávadnosti bílé vody a s přihlédnutím k normě ČSN 75 6780 [2] a dalším legislativním podkladům a literatury [5][166] [167] [168] [169] je potřeba na konec čistícího procesu osadit zařízení pro eliminaci patogenních organismů. Z dostupných dezinfekčních metod byla vybrána metoda fyzikální a to ultrafialovým zářičem UV lampou, který na rozdíl od chemických prostředků neovlivňuje kvalitu bílé vody ve vztahu k technologii membránové filtrace. Předpokladem pro maximální účinnost dezinfekce je odstranění nerozpustných látek přes membránu, což by měla splnit mikrofiltrační membrána.

Výroba čistící jednotky prototypu

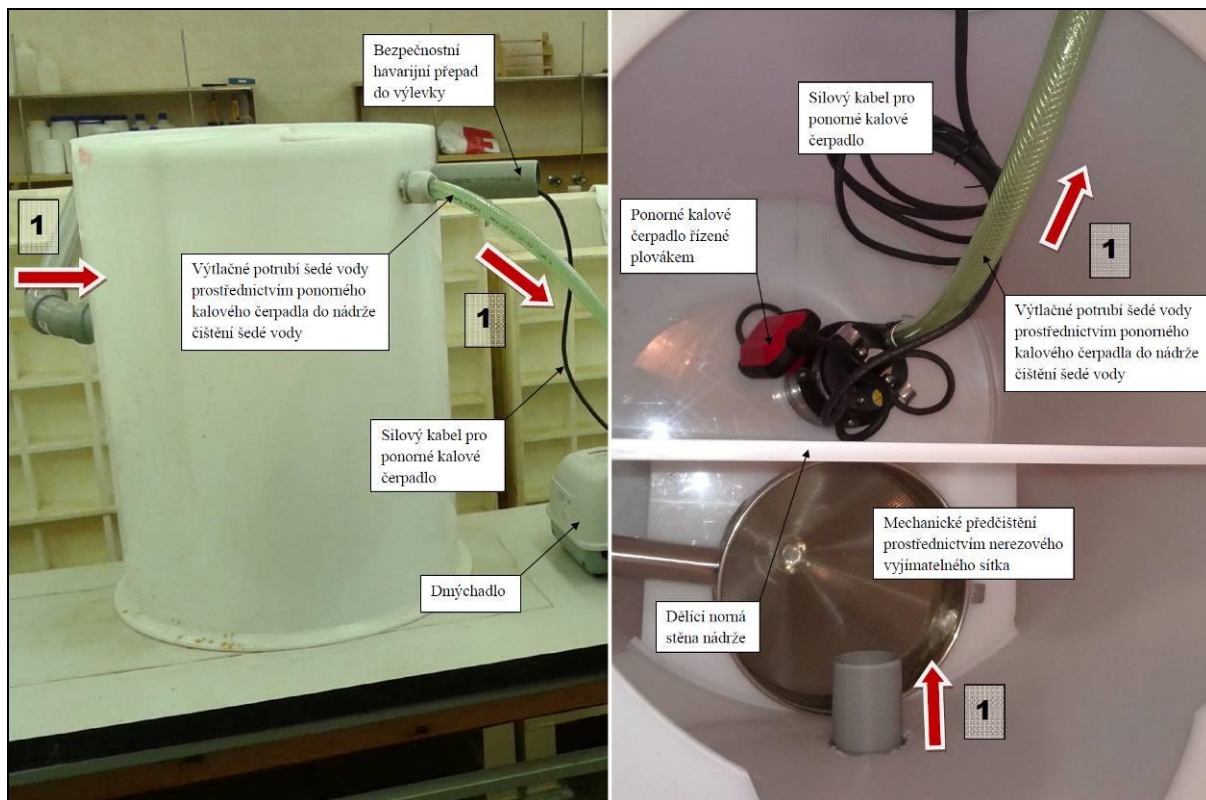
Na základě výpočtů objemů nádrží jsem provedl výkres nádrží, viz Obr. 6.2, který jsem s dokumentací předal dne 13. 11. 2012 vedoucímu projektu TAČR do výroby. Výrobu

prototypu zajistil partner projektu TAČR, firma ASIO, spol. s r.o. Prototyp byl zhotoven ke dni 10. 12. 2012 s požadavkem na doplnění prototypu čerpadla k membránové jednotce, které nebylo možné v termínu do 13. 11. 2012 dodat. Jednotka byla kompletní, bez UV lampy, v druhé polovině ledna 2013, viz Obr. 6.3 a Obr. 6.4. Bylo naplánováno, že dezinfekce UV lampou bude instalována až po odzkoušení prototypu v laboratorních podmínkách.

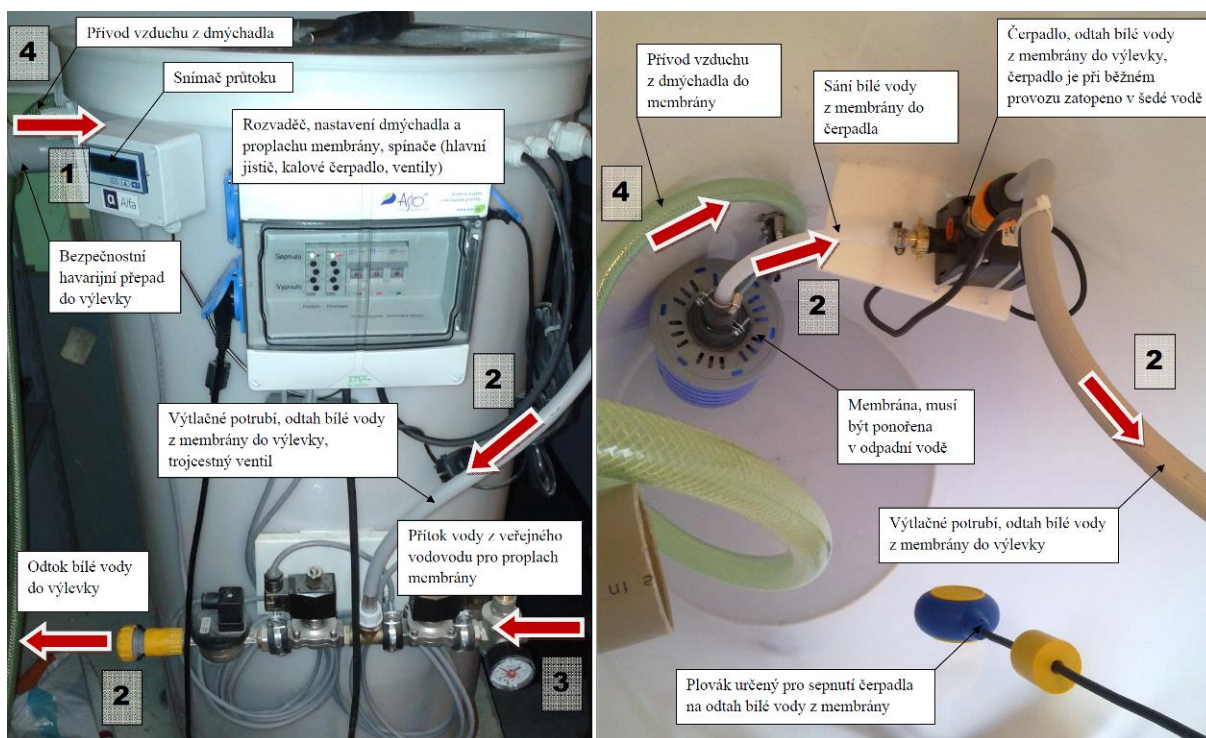
Instalace a odzkoušení prototypu ČJŠV nakonec proběhlo v laboratořích Ústavu vodního hospodářství obcí (dále označení ÚVHO).



Obr. 6.2 Výkres nádrží, výřez z projektové dokumentace



Obr. 6.3 Prototyp, akumulční vyrovnávací nádrž (vlevo pohled vně, vpravo pohled dovnitř)
(legenda rozvodů: 1-potrubí šedé vody)



Obr. 6.4 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)

Instalace prototypu čistící jednotky v laboratořích ÚVHO proběhla dne 5. 2. 2013 za přítomnosti: Ing. Raček, Ing. Hlušík Ph.D. (ÚVHO), Ing. Bartoník (ASIO, spol. s r.o.).

Podrobnosti k instalaci a odzkoušení prototypu ČJŠV jsou popsány v následujících kapitolách.

Návrh prototypu čistící jednotky je proveden dle zpracované normy ČSN 75 6780 *Využití vyčištěných šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích* [2], která byla zpracována v rámci řešeného projektu TAČR a na které se autor dizertační práce aktivně podílel.

6.1.5 Odzkoušení prototypu čistící jednotky v laboratorních podmínkách

Dle poskytnutých informací v předchozí kapitole byla provedena instalace prototypu ČJŠV v suterénních prostorách budovy „Z“ Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně a to v laboratoři ÚVHO. Předpokladem bylo odzkoušení prototypu ČJŠV v laboratořích doplňováním pitné vody z veřejného vodovodu a to po dobu 4 týdnů, od 5. 2. do 6. 3. 2013.



Obr. 6.5 Odzkoušení prototypu v laboratořích, medium pitná voda

(legenda: vlevo akumulční vyrovnávací nádrž šedé vody, vpravo nádrž čištění šedé vody, na stole barely na vodu a dmýchadlo)

Doplňování pitné vody z veřejného vodovodu jsem prováděl hadicí napojenou na baterii umyvadla v laboratoři 1 krát denně mimo víkendy v množství cca 40 litrů nalitých do akumulční vyrovnávací nádrže šedé vody. Po dosažení spínací hladiny v akumulční vyrovnávací nádrži šedé vody došlo k sepnutí ponorného kalového čerpadla, které přečerpalo vodu do nádrže čištění šedé vody. Čerpadlo se vypnulo, jakmile plovák čerpadla dosáhl úrovně vypínací hladiny. Tímto bylo provedeno ověření funkčnosti čerpacího zařízení osazeného v akumulční vyrovnávací nádrži šedé vody. Po dosažení plovákem nastavené hladiny v nádrži čištění šedé vody bylo sepnuto čerpadlo membrány, které zajistilo filtraci vody a následně odtah vyčištěné vody prostřednictvím flexibilní hadice do odpadu vnitřní kanalizace. Byla provedena instalace tlakového potrubí prostřednictvím flexibilní hadice k vývodu vnitřního vodovodu, tedy baterii pitné vody nad laboratorním dřezem.

I před odbornou instalací technickým pracovníkem Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně došlo k selhání spoje mezi baterií a hadicí. Náprava tohoto spoje nebyla možná vzhledem k absenci tlakového vývodu vnitřní instalace pitné vody v laboratoři ÚVHO, jak je tomu např. v domácnostech u automatických praček. Pro potřeby laboratorního odzkoušení prototypu ČJŠV, respektive nádrže čištění šedé vody nebylo z tohoto důvodu provedeno napojení potrubí pitné vody z vnitřního vodovodu objektu pro zpětný proplach.

Jednotka prototypu ČJŠV byla nastavena v režimu 10 minut provzdušňování reaktoru nádrže čištění šedé vody, následně 10 minut bylo dmýchadlo v klidovém stavu. Proplach membrány, z důvodu absence instalace potrubí zpětného proplachu z veřejného vodovodu, nebyl přednastaven. Kromě nemožnosti napojení potrubí zpětného proplachu pitnou vodou nebyly, v rámci testování prototypu ČJŠV v období použití média pitné vody, shledány další jiné nedostatky a mohlo se tedy přistoupit k dalšímu bodu testování prototypu ČJŠV.



Obr. 6.6 Odzkoušení prototypu v laboratořích, medium šedá voda

(legenda: vlevo akumulční vyrovnávací nádrž šedé vody, vpravo nádrž čištění šedé vody)

Na základě úspěšného odzkoušení prototypu ČJŠV pitnou vodou proběhlo naočkování reaktoru nádrže čištění šedé vody aktivovaným kalem v množství 40 litrů z komunální ČOV Letonice (1150 EO) dne 6. 3. 2013. Vzhledem k osazení prototypu v laboratorních podmínkách Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně je zjevný nedostatek přirozeného zdroje šedé vody. Podchycení odpadů z umyvadel bylo z technického hlediska komplikované. Varianta umělého vytvoření šedé vody dle receptů zahraniční literatury [164] se jevila jako ekonomicky nevhodná a varianta značně pracná. Z těchto důvodů bylo přistoupeno k jinému zdroji šedé vody a to z praní prádla.

Od data naočkování nádrže čištění šedé vody do 20. 4. 2013 dochází k testování prototypu ČJŠV při doplňování média šedé vody viz fotografie na Obr. 6.6. po dobu 2 týdnů, každý týden v pondělí, středu a pátek, probíhalo pravidelné umělé doplňování prototypu šedou vodou. Ve dnech neděle, úterý a čtvrtek je podchyceno odpadní potrubí z automatické pračky praní prádla v bytové jednotce v Brně. Sítko zachytilo nepatrné množství hrubých nečistot z šedé vody v podobě vláken praného prádla. Po nalití šedé vody do akumulční vyrovnávací nádrže šedé vody proběhlo doplnění této nádrže o dalších 20 litrů pitné vody z vnitřního vodovodu flexibilní mobilní hadicí, kdy při dosažení cca 30 litrů v nádrži se přes plovák sepnulo instalované kalové čerpadlo a naředěná šedá voda v poměru 50 : 50 (šedá voda : pitná voda) byla přečerpána do nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV. Čerpadlo membránové technologie mikrofiltrace je sepnuto při impulzu plováku v nádrži čištění šedé vody. Provzdušňování reaktoru nádrže čištění šedé vody je ponecháno v nastavení dle testování prototypu v případě pitné vody (10 minut provzdušňování a 10 minut bez provzdušňování). Po 14 denním testování prototypu ČJŠV médiem šedé vody mělo dojít k přemístění prototypu

do původně plánových prostor sociálního zařízení místnosti technických pracovníků Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně.

Bohužel vzhledem k rekonstrukci elektroinstalace v místnostech technických pracovníků byl termín posunut po termínu ukončení rekonstrukce k datu 30. 3. 2013. Prototyp byl tedy pravidelně doplňován o šedou vodu a testován dalších 14 dnů. Dne 26. 3. 2013 byl proveden odběr vzorku šedé vody a bílé vody z prototypu ČJŠV. Výsledky tohoto rozboru jsou uvedeny v tabulce Tab. 6.2 a Tab. 6.3. Z mikrobiologického rozboru bílé vody je zřejmé mikrobiologické znečištění a tudíž nutnost osazení dezinfekce bílé vody vystupující z prototypu ČJŠV.

Tab. 6.2 Chemický rozbor šedé a bílé vody z testování prototypu v laboratorních podmínkách

Popis testovaného vzorku	Sledovaný ukazatel								
	pH	Zákal	NL	BSK ₅	CHSK _{Cr}	N _{celk}	P _{celk}	NO ₃	NO ₂
	[-]	[ZFt]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]
Prototyp laboratoř, ŠV	7,44	51,30	39,40	56,40	177,00	10,10	0,39	24,40	1,49
Prototyp laboratoř, BV	7,96	<1,00	<2,00	2,20	16,00	5,00	0,68	16,50	0,31

Pozn: vzorky odebral Raček, Hlušík

Tab. 6.3 Mikrobiologický rozbor šedé a bílé vody z testování prototypu v laboratorních podmínkách

Popis testovaného vzorku	Sledovaný ukazatel					
	Enterokoky		Koliformní bakterie		Legionella Species	
	[KTJ.100ml ⁻¹]	[KTJ.10ml ⁻¹]	[KTJ.100ml ⁻¹]	[KTJ.10ml ⁻¹]	[KTJ.100ml ⁻¹]	[KTJ.10ml ⁻¹]
Prototyp laboratoř, ŠV	-	53	-	1200	-	0
Prototyp laboratoř, BV	0	-	32	-	0	-

Pozn: vzorky odebral Raček, Hlušík

I přes ověření funkčnosti a minimální zápach prototypu ČJŠV nebyla instalace technologického zařízení do prostor sociálního zařízení technických pracovníků Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně vnímána některými zaměstnanci kladně a nebylo tedy umožněno instalování prototypu ČJŠV do původně zamýšlených prostor. Dále po zjištění nutnosti prodloužení termínu dokončení rekonstrukce elektroinstalace v místnostech technických pracovníků fakulty ke dni 12. 4. 2013 nebyla již další snaha o přesvědčování některých zaměstnanců a samotné testování prototypu médiem šedé vody z praní prádla a bylo ke dni 3. 4. 2013 v laboratorních podmínkách ukončeno. Šedá voda byla nahrazena vodou pitnou z vodovodu a doplňování čistícího procesu probíhalo v pondělí, středu a pátek doplněním systému o cca 40 l pitné vody přímo do nádrže čištění šedé vody tak, aby byl zachován technologický cyklus čištění přes membránu prototypu ČJŠV.

Bylo přistoupeno k hledání nového místa pro testování prototypu ČJŠV. Po neúspěšných několika demonstračních místech v Brně byl prototyp ČJŠV ke dni 8. 8. 2013 přemístěn do suterénního prostoru více generačního domu v Břeclavi, tj. nemovitosti vedoucího projektu TAČR (školitele autora dizertační práce), kde se šedá voda sbírala z vybraných zařízovacích předmětů z 3 bytových jednotek, více informací a podrobností je obsaženo v následující kapitole 6.1.6.

Před samotným přemístěním prototypu ČJŠV jsem provedl ověření návrhu prototypu pro instalaci v reálných podmínkách více generačního domu v Břeclavi. Ověření návrhu je provedeno na základě porovnání výpočtu průměrné denní produkce šedých vod, výpočtu

objemů nádrží v reálných podmínkách s návrhovými parametry vyrobeného prototypu ČJŠV a to s ohledem na kapitulu 6.1.4.

Ověření návrhu prototypu ČJŠV je provedeno v následujících krocích:

- stanovení výpočtu průměrné denní produkce šedé vody;
- výpočet objemu nádrže čištění šedé vody.

Do prototypu ČJŠV budou svedeny šedé vody od jednoho stoupacího potrubí vnitřní kanalizace tří bytových jednotek a od následujících vybraných zařizovacích předmětů:

- 2 ks umyvadlo;
- 2 ks sprcha;
- 1 ks myčka na nádobí;
- 1 ks kuchyňský dřez.

Obsazenost bytových jednotek a rozdělení zařizovacích předmětů zaústěných do prototypu ČJŠV je následující:

- byt 1. NP: 2 dospělé osoby; 1 ks myčka na nádobí a 1 ks kuchyňský dřez;
- byt 2. NP: 2 dospělé osoby a 2 děti; 1 ks umyvadlo a 1 ks sprcha;
- byt 3. NP: 2 dospělé osoby a 2 děti; 1 ks umyvadlo a 1 ks sprcha.

Stanovení výpočtu průměrné denní produkce šedé vody

Pro výpočet průměrné denní produkce šedé vody Q_{prod} , dle metody založené na počtu měrných jednotek stejného druhu dle kapitoly 6.1.1, je možné použít rovnici:

$$Q_{\text{prod}} = \sum_{i=1}^m q_{\text{prod},i} \cdot n_{mj,i} \quad (4.1)$$

po dosazení hodnot s ohledem na tabulku Tab 4.2:

$q_{\text{prod},1}$...	11 l.den ⁻¹ ; myčka na nádobí a kuchyňský dřez v 1. NP;
$n_{mj,1}$...	2 Ks (osob);
m_1 ...	1;
$q_{\text{prod},2}$...	31 l.den ⁻¹ ; koupelny s umyvadlem a sprchou v 2. NP;
$n_{mj,2}$...	4 Ks (osob); koupelny;
m_2 ...	1;
$q_{\text{prod},3}$...	31 l.den ⁻¹ ; koupelny s umyvadlem a sprchou v 3. NP;
$n_{mj,3}$...	4 Ks (osob); koupelny;
m_3 ...	1.

$$Q_{\text{prod}} = \sum_{i=1}^m q_{\text{prod},i} \cdot n_{mj,i} = q_{\text{prod},1} \cdot n_{m1,1} + q_{\text{prod},2} \cdot n_{m2,2} + q_{\text{prod},3} \cdot n_{m3,3} = 11 \cdot 2 + 31 \cdot 4 + 31 \cdot 4 = 270 \text{ l.den}^{-1}$$

Vypočtenou hodnotu průměrné denní produkce šedé vody Q_{prod} stanovenou dle metody založené na počtu měrných jednotek stejného druhu je možné porovnat následně s výpočtem

průměrné denní produkce šedé vody metodou založenou na počtu provedených činností dle kapitoly 6.1.1 s ohledem na rovnici:

$$q_{prod} = \sum_{i=1}^j q_{\check{c},i} \cdot n_{\check{c}} \quad (4.2)$$

po dosažení známých hodnot s ohledem na tabulku Tab 4.3 a zdroj [165]:

$q_{\check{c},1} \dots$	15 l.den ⁻¹ ; myčka na nádobí v 1. NP;
$n_{\check{c}1} \dots$	0,67 ks za den mytí v myčce na nádobí, tj. 2 dny ze 3 dnů užití;
$j_1 \dots$	1 rodina;
$q_{\check{c},2} \dots$	20 l.den ⁻¹ ; mytí nádobí v 1. NP pod tekoucí vodou;
$n_{\check{c}2} \dots$	1 ks za den mytí nádobí pod tekoucí vodou;
$j_2 \dots$	1 rodina;
$q_{\check{c},3} \dots$	3 l.den ⁻¹ ; mytí rukou v umyvadle v 2. a 3. NP;
$n_{\check{c}3} \dots$	4 ks mytí rukou v umyvadle v 2. a 3. NP;
$j_3 \dots$	8 osob;
$q_{\check{c},4} \dots$	40 l.den ⁻¹ ; sprchování v 2. NP a 3. NP;
$n_{\check{c}4} \dots$	1 ks sprchování v 2. NP a 3. NP;
$j_4 \dots$	4 dospělé osoby;
$q_{\check{c},5} \dots$	10 l.den ⁻¹ ; sprchování v 2. NP a 3. NP;
$n_{\check{c}5} \dots$	1 ks sprchování v 2. NP a 3. NP;
$j_5 \dots$	4 děti.

$$q_{prod} = \sum_{i=1}^j q_{\check{c},i} \cdot n_{\check{c}} = q_{\check{c},1} \cdot n_{\check{c}1} + q_{\check{c},2} \cdot n_{\check{c}2} + q_{\check{c},3} \cdot n_{\check{c}3} + q_{\check{c},4} \cdot n_{\check{c}4} + q_{\check{c},5} \cdot n_{\check{c}5} =$$

$$= 15 \cdot 0,67 + 20 \cdot 1 + 3 \cdot 4 \cdot 8 + 40 \cdot 1 \cdot 4 + 10 \cdot 1 \cdot 4 = 326 \text{ l.den}^{-1}$$

Výpočet objemu nádrže čištění šedé vody

Vzhledem ke gravitačnímu svedení šedé vody přímo do nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV není potřeba posuzovat dimenzování a není tudíž potřeba uvažovat s osazením akumulací vyrovnávací nádrže šedé vody. Je tedy přistoupeno rovnou k výpočtu objemu reaktoru nádrže čištění šedé vody s ohledem na kapitolu 6.1.4 dle rovnice:

$$V_{AN} = \frac{c_0 \cdot Q_{prod}}{B_x \cdot X} \quad (6.12)$$

po dosažení navržených hodnot s ohledem na ČSN 75 6780 [2]:

$c_0 \dots$	300 mg.l ⁻¹ =0,3 kg.m ⁻³ ;
$B_x \dots$	0,05 kg.kg ⁻¹ .den ⁻³ pro membránové reaktory provozované s vysokým stářím kalu ($\theta_x > 50-70$ dní) a velmi nízkým látkovým zatížením kalu;
$X \dots$	10 kg.m ⁻³ ;

Q_{prod} ... průměrná denní produkce šedé vody, je uvažováno s vyšší vypočtenou hodnotou dle metody založené na počtu provedených činností tj. 326 l.den⁻¹.

$$V_{\text{AN}} = \frac{c_0 \cdot Q_{\text{prod}}}{B_x \cdot X} = \frac{0,3 \cdot 0,326}{0,05 \cdot 10} = 0,196 \text{ m}^3 = 196 \text{ l}$$

Následně je potřeba porovnat vypočtený objem reaktoru nádrže čištění šedé vody V_{AN} se skutečným objemem reaktoru nádrže čištění šedé vody V_{ANskut} , musí tedy platit podmínka dle rovnice (5.12), tedy $V_{\text{ANskut}} > V_{\text{AN}}$, tj. 415 l > 196 l podmínka je splněna.

V prototypu ČJŠV je osazen membránový modul mikrofiltrace C-MEM, INTEWA [157] se skutečnou návrhovou plochou membrán $A_{\text{MBR}} = 6 \text{ m}^2$ při aplikaci jedné membránové patrony. Dodávka vzduchu je zajištěna dmýchadlem, dezinfekce je řešena prostřednictvím UV lampy osazené na výtlaku bílé vody.

6.1.6 Odzkoušení prototypu ČJŠV v reálných podmínkách

Prototyp ČJŠV byl 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). Nádrž čištění šedých vod byla naplněna pitnou vodou z vodovodu prostřednictvím flexibilní hadice přes vzduchovou mezeru. Odtok z prototypu ČJŠV byl přes flexibilní hadici zaústěn do výlevky ve vedlejší místnosti. Prototyp ČJŠV byl zapojen ke zdroji elektrické energie, bylo nastaveno provzdušňování pitné vody vzduchem z dmýchadla 10 minut, následujících 10 minut bez provzdušňování (dále označení 10+10).



Obr. 6.7 Odzkoušení prototypu ČJŠV v reálných podmínkách, medium šedá voda

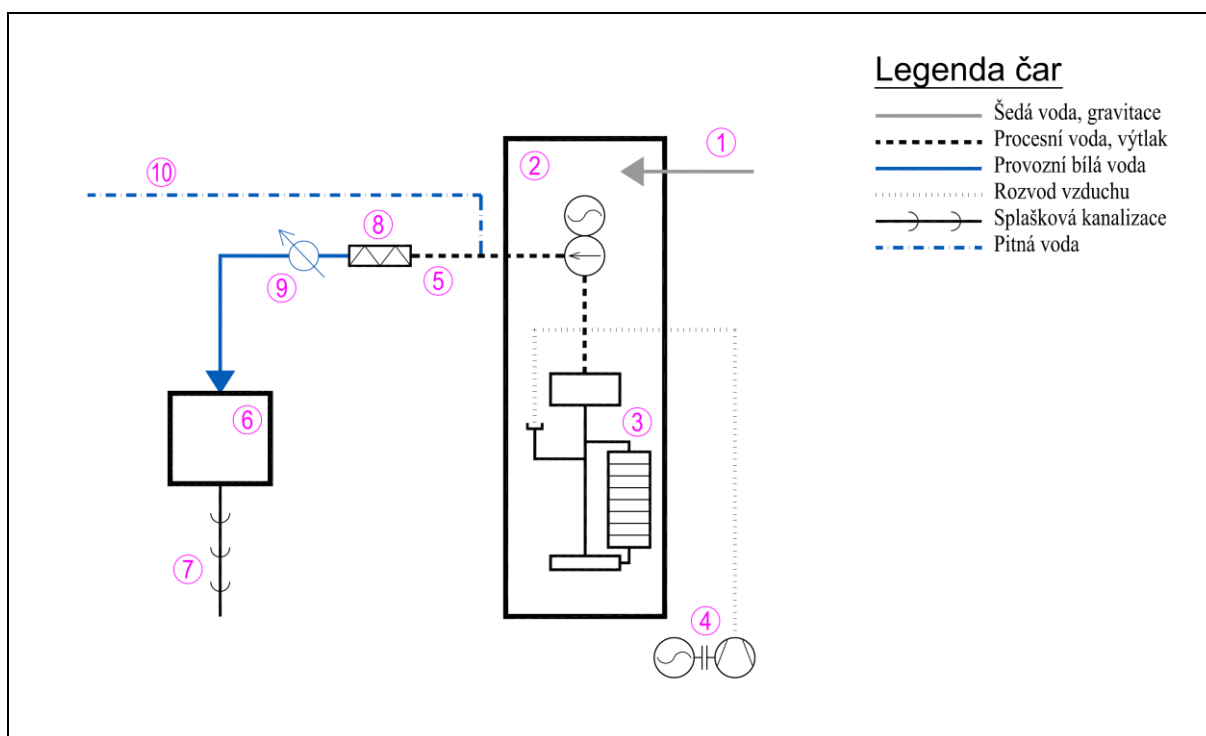
(legenda: vlevo nádrž čištění šedé vody, vpravo zaústění šedé vody do výlevky a napojení na vodovod pro proplach membrány)

Vzhledem k uvažovanému gravitačnímu přítoku šedých vod nebyla instalována akumulací vyrovňovací nádrž šedé vody. Dále nebylo provedeno podchycení havarijního přepadu

z čistící jednotky prototypu ČJŠV, což se posléze při testování prototypu ČJŠV ukázalo jako chybné rozhodnutí.

Následovaly dílčí stavební úpravy na instalaci vnitřní kanalizace tak, aby bylo možné šedé vody zaústit přímo do prototypu ČJŠV. Stavební úpravy na vnitřní kanalizaci včetně odtahu bílé vody do výlevky a provedení vnitřního vodovodu pro proplach membrány provedla odborná osoba, instalatér, dne 14. 8. 2013. Od tohoto dne bylo zahájeno testování prototypu ČJŠV v reálných podmínkách viz Obr. 6.7. a Obr. 6.8. 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. 6.8 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-výtlak 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)

I. etapa testování prototypu ČJŠV v reálných podmínkách, přirozený přítok šedé vody

Prototyp ČJŠV nebyl v I. etapě naočkován aktivovaným kalem (je uvažováno až v II. etapě testování prototypu ČJŠV), ale prototyp ČJŠV byl zprovozněn na základě přirozeného nátoků šedé vody z dílčích zařizovacích předmětů více generačního rodinného domu. Při testování prototypu ČJŠV došlo na výtlaku bílé vody k selhání ventilu, který se přehříval. Bezprostředně po selhání ventilu dne 4. 9. 2014 následovala výměna tohoto funkčního prvku za nový, výměnu ventilu provedla firma ASIO, spol. s r.o. Proplach membrány z vnitřního vodovodu pitné vody více generačního rodinného domu bylo nastaveno v prototypu ČJŠV čtyři krát 15 sekund za den dle pokynů výrobce membrány. Regenerace membrány po dobu testování v průběhu I. etapy nebyla vzhledem ke krátké testovací době, srpen až prosinec 2013, provedena.

V I. etapě testování prototypu ČJŠV bylo prováděno následující měření:

- chemický rozbor šedé a bílé vody, viz Tab. 6.4;
- mikrobiologický rozbor šedé a bílé vody, viz Tab. 6.5;
- měření množství rozpuštěného kyslíku kyslíkovou sondou a měření teploty v reaktoru nádrže čištění šedé vody v průběhu dne 3. 11. 2013 a 4. 11. 2013 při neustálém chodu dmýchadla, viz Obr. 6.9;
- měření kyslíku kyslíkovou sondou a teploty v reaktoru nádrže čištění šedé vody v průběhu dne při nastavení: 10 minut provzdušňování reaktoru nádrže čištění šedé vody a 10 minut bez provzdušňování nádrže čištění šedé vody, viz Obr. 6.10.

Tab. 6.4 Chemický rozbor šedé a bílé vody z testování prototypu v reálných podmínkách v roce 2013 (I. etapa)

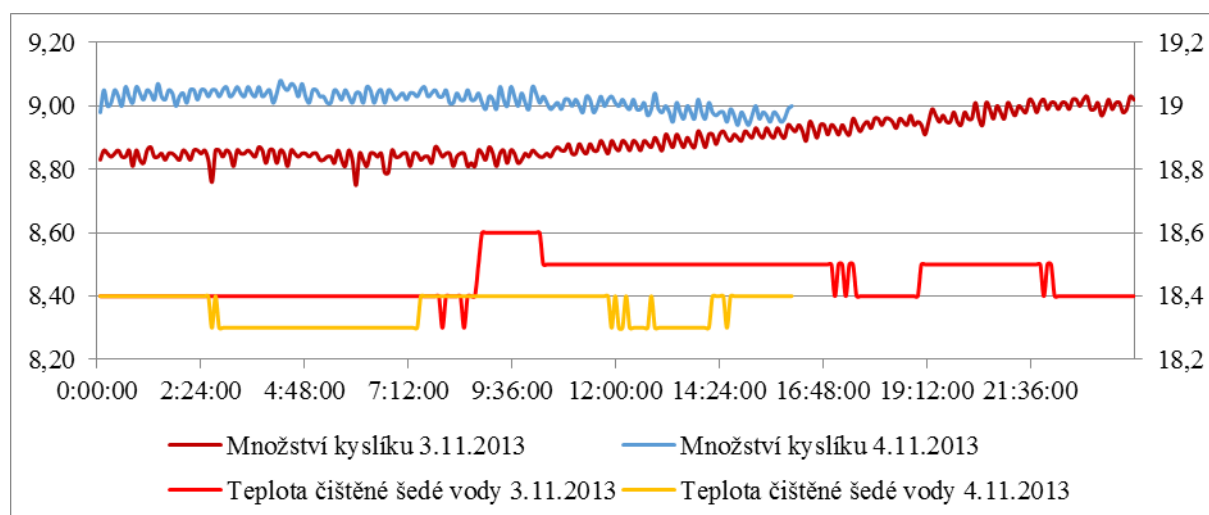
Popis testovaného vzorku	Sledovaný ukazatel					
	NL	BSK ₅	CHSK _{Cr}	N _{NH4+}	P _{celk}	P _{orto}
	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]
Prototyp RD, ŠV, 30.10.* (neust.)	68,33	30,00	131,00	0,10	0,52	0,23
Prototyp RD, BV, 30.10.* (neust.)	10,50	10,00	22,20	0,03	0,08	0,05
Prototyp RD, ŠV, 19.11. (10+10)	34,20	103,00	338,00	< 0,04	1,41	0,17
Prototyp RD, BV, 19.11. (10+10)	2,00	5,80	23,00	< 0,04	0,02	0,04
Prototyp RD, ŠV, 26.11. (10+10)	95,80	51,10	248,00	0,18	1,10	< 0,04
Prototyp RD, BV, 26.11. (10+10)	2,00	3,80	25,00	0,04	0,07	< 0,04

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

Tab. 6.5 Mikrobiologický rozbor šedé a bílé vody z testování prototypu v reálných podm. v roce 2013 (I. etapa)

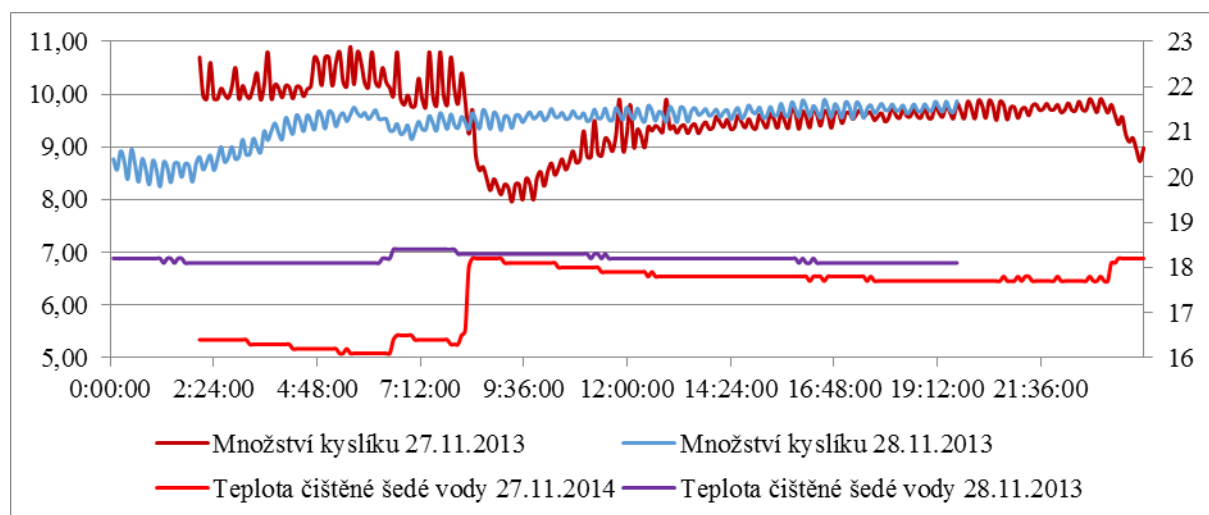
Popis testovaného vzorku	Sledovaný ukazatel					
	Enterokoky	Salmonella	Koliformní bakterie	Escherichia coli	CPM 22	CPM 36
	[KTJ.ml ⁻¹]	[KTJ.ml ⁻¹]	[KTJ.ml ⁻¹]	[KTJ.ml ⁻¹]	[KTJ.ml ⁻¹]	[KTJ.ml ⁻¹]
Prototyp RD, ŠV, 30.10.* (neust.)	73	-	10133	-	3309091	71167
Prototyp RD, BV, 30.10.* (neust.)	1	-	30	-	4364	21364
Prototyp RD, ŠV, 19.11. (10+10)	0	negativní	240	200	-	-
Prototyp RD, BV, 19.11. (10+10)	0	negativní	30	30	-	-
Prototyp RD, ŠV, 26.11. (10+10)	0	negativní	50	0	-	-
Prototyp RD, BV, 26.11. (10+10)	0	negativní	0	0	-	-

Pozn: vzorky odebral Raclavský, dopravil k rozboru Raček kromě *) vzorky odebral a dopravil k rozboru Bartoník; označení číselných hodnot např. (10+10) označuje 10 minut provzdušňování a 10 minut bez provzdušňování nádrže a označení neust. označuje neustálý chod dmýchadla; CPM 22 a 36: celkový počet kultivovaných mikroorganismů pro 22°C a 36°C



Obr. 6.9 Množství rozpuštěného kyslíku a teplota v reaktoru nádrže čištění šedé vody při neustálém chodu dmýchadla v průběhu dne 3. 11. a 4. 11. 2013 (I. etapa)

(legenda: osa x-čas v průběhu test. dne, osa y (vlevo)-množství kyslíku v mg.l⁻¹ a osa y (vpravo)-teplota v °C)



Obr. 6.10 Množství rozpuštěného kyslíku a teplota v reaktoru nádrže čištění šedé vody v nastavení dmýchadla 10+10 v průběhu dne 27. 11. a 28. 11. 2013 (I. etapa)

(legenda: osa x-čas v průběhu test. dne, osa y (vlevo)-množství kyslíku v mg.l⁻¹ a osa y (vpravo)-teplota v °C)

Bohužel dne 5. 12. 2013 došlo k selhání čerpadla membrány a vzhledem ke skutečnosti, že k prototypu ČJŠV nebyl proveden bezpečnostní havarijní přepad do kanalizace a nebyla nainstalována ani světelná signalizace, došlo k havárii přetečení šedé vody přes vrchní líc nádrže čištění šedé vody na podlahu suterénu objektu více generačního rodinného domu. Náhradní čerpadlo bylo objednáno, ale bohužel k několikátýdenní dodací lhůtě nebyla provedena oprava a nemohla být v roce 2013 zahájena II. etapa testování.

II. etapa testování prototypu ČJŠV v reálných podmínkách, naočkování aktivovaným kalem

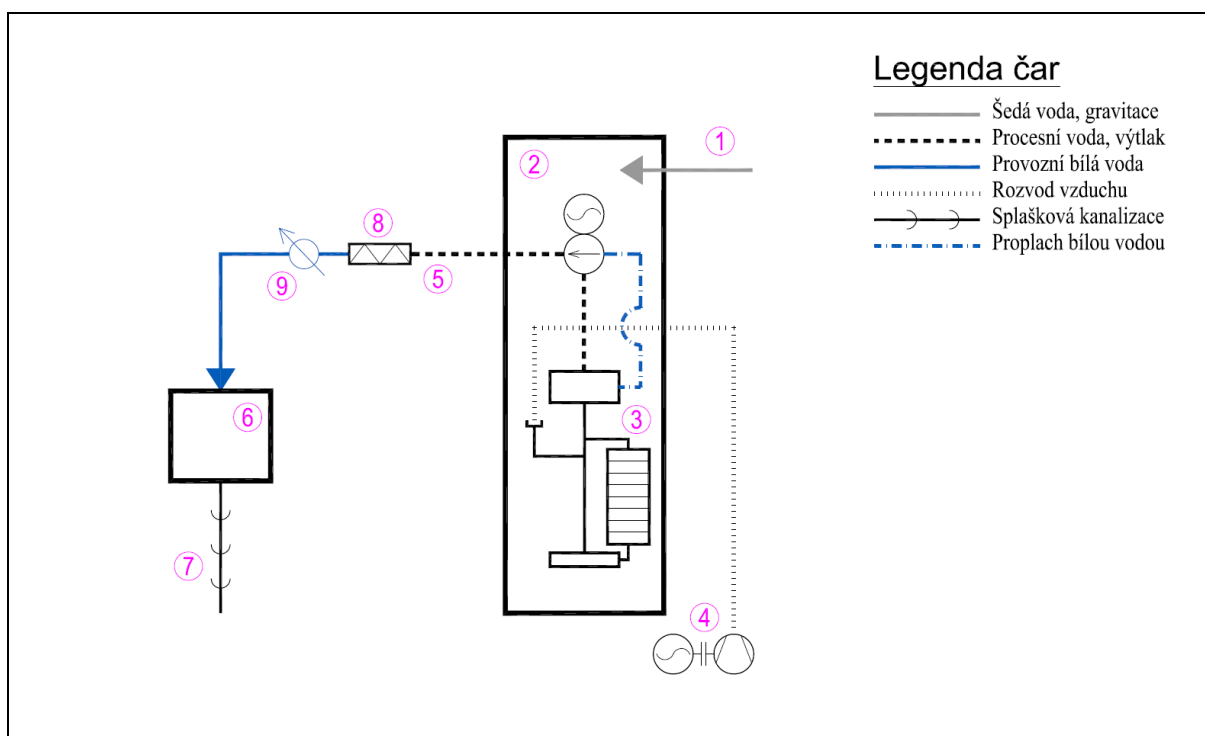
Prototyp ČJŠV nebyl v I. etapě naočkován aktivovaným kalem. Dříve než byla zahájena plánovaná II. etapa v lednu 2014, došlo v prosinci k selhání čerpadla pro odtah bílé vody z membrány a musela být provedena výměna tohoto funkčního prvku. Z důvodu zdlouhavé a špatně řešitelné reklamace čerpadla byl prototyp ČJŠV kompletní až na začátku srpna 2014.

Došlo k zapojení původní membrány C-MEM, INTEWA [157] s novým typem čerpadla a novým technologickým rozvaděčem dne 6. 8. 2014 (Bartoník, Raček), viz obrázek Obr. 6.11.



Obr. 6.11 Zapojení původní membrány s novým typem čerpadla dne 6. 8. 2014

(legenda: vlevo prázdná nádrž čištění šedé vody před instalací membrány s čerpadlem, vpravo membrána s novou svrchní částí s osazeným čerpadlem)



Obr. 6.12 Technologické schéma zapojení prototypu ČJŠV v reálných podmínkách v rámci II. etapy

(legenda: 1-přítok šedé vody, 2-nádrž čištění šedé vody, 3-MBR jednotka, mikrofiltrace, 4-kompresor, přívod vzduchu do MBR jednotky, 5-výtlač bílé vody z MBR jednotky, 6-výlevka, 7-odtok do splaškové kanalizace, 8-dezinfekce, 9-průtokoměr)

Nový typ čerpadla s nově dodaným technologickým rozvaděčem od výrobce nyní umožňuje již provedení zpětného proplachu membrány bílou vodou vyrobenou přímo v prototypu ČJŠV, není tedy již potřeba na dodávku pitné vody z vnitřního vodovodu, viz upravené technologické schéma dle obrázku Obr. 6.12.

Při zapojení původní membrány s novým typem čerpadla se nepodařilo zprovoznit nově dodaný technologický rozvaděč a tudíž celý prototyp ČJŠV uvést do chodu. Tato další reklamace byla úspěšně vyřízena a výměna technologického rozvaděče za funkční proběhla dne 20. 8. 2014 (Bartoník, Raček). Ve stejný den byl na potrubí výtlaku bílé vody osazen nový snímač průtoku FVA645GVxQT napojený na sběrnici dat 2590-2/-3S/-4S Almemo výrobce Ahlborn, dále byla do reaktoru nádrže čištění šedé vody opětovně osazena kyslíková sonda výrobce HACH s měřením teploty a nově do reaktoru nádrže čištění šedé vody byla osazena sonda MTC101 výrobce HACH pro měření Redox potenciálu.

Dne 5. 9. 2014 jsem provedl naočkování prototypu ČJŠV aktivovaným kalem o množství 80 l z komunální ČOV Letonice. Od tohoto dne je prototyp ČJŠV kompletní a funkční, je zahájena II. etapa testování.

V druhé etapě testování prototypu ČJŠV je prováděno následující měření:

- chemický rozbor šedé a bílé vody, viz Tab. 6.6;
- mikrobiologický rozbor šedé a bílé vody, viz Tab. 6.7;
- měření rozpuštěného kyslíku a teploty kyslíkovou sondou, měření Redox potenciálu sondou v reaktoru nádrže čištění šedé vody v průběhu dne při nastavení: 5 minut s provzdušňováním a 10 minut bez provzdušňování, označení dále v textu jako (5+10), dále nastavení (4+9), (2+15), viz Obr. 6.13 a Obr. 6.14;
- měření průtoku bílé vody na výtlaku z prototypu ČJŠV;
- měření spotřeby elektrické energie.

Tab. 6.6 Chemický rozbor šedé a bílé vody z testování prototypu v reálných podmínkách v roce 2014-2015 (II. etapa)

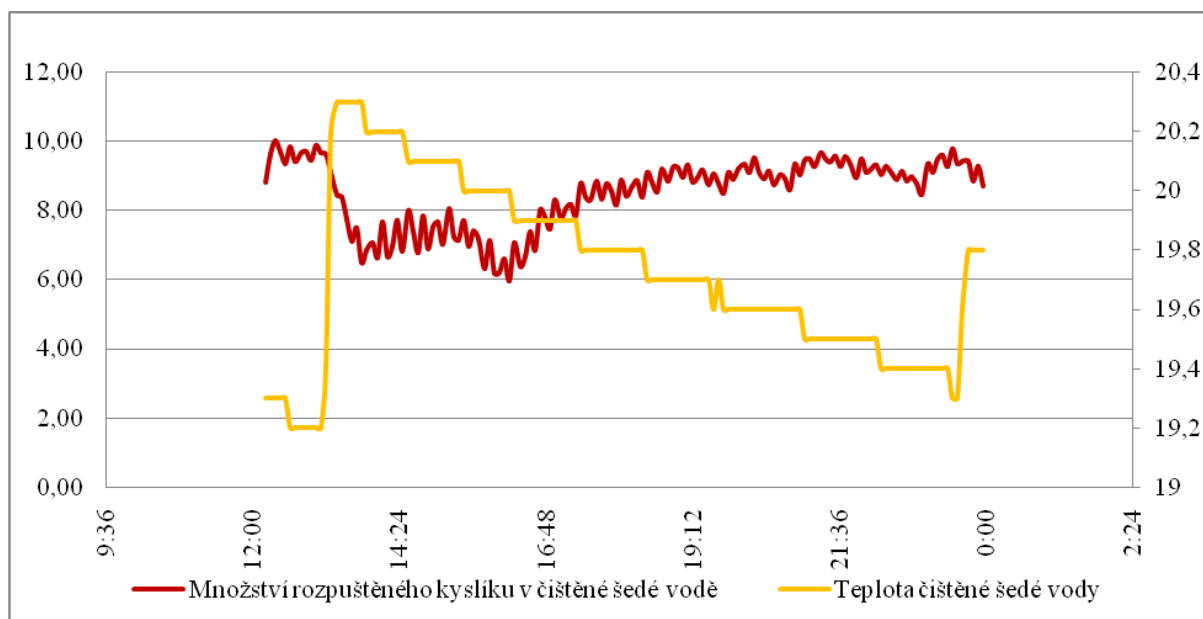
Popis testovaného vzorku	Sledovaný ukazatel					
	NL	BSK ₅	CHSK _{Cr}	N _{celk}	N _{NH4+}	P _{celk}
	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]	[mg.l ⁻¹]
Prototyp RD, ŠV, 28.10.2014 (5+10)	110,00	72,00	147,00	5,00	0,07	5,00
Prototyp RD, BV, 28.10.2014 (5+10)	2,00	24,00	24,00	2,70	0,06	0,10
Prototyp RD, ŠV, 5.11.2014 (5+10)	210,00	92,00	233,00	8,90	1,60	6,70
Prototyp RD, BV, 5.11.2014 (5+10)	2,00	18,00	39,00	6,60	0,05	0,18
Prototyp RD, BV, 9.12.2014 (2+15)	< 2,00	10,00	30,00	< 2,00	-	0,17
Prototyp RD, BV, 10.12.2014 (2+15)	< 2,00	15,00	42,00	< 2,00	-	0,32
Prototyp RD, ŠV, 25.2.2015 (2+15)	190,00	170,00	354,00	5,90	0,78	2,00
Prototyp RD, BV, 25.2.2015 (2+15)	2,00	8,60	23,00	2,00	0,04	0,08
Prototyp RD, ŠV, 26.2.2015 (2+15)	130,00	120,00	248,00	6,60	0,39	1,40
Prototyp RD, BV, 26.2.2015 (2+15)	2,00	45,00	95,00	2,00	0,04	0,11
Prototyp RD, BV, 30.11.2015 (5+10)	2,00	20,00	31,00	-	-	0,12
Prototyp RD, BV, 1.12.2015 (4+9)	2,00	25,00	42,00	-	-	0,13
Prototyp RD, BV, 7.12.2015 (5+10)	2,00	22,00	38,00	-	-	0,09
Prototyp RD, BV, 8.12.2015 (4+9)	2,00	28,00	48,00	-	-	0,16
Prototyp RD, BV, 14.12.2015 (2+15)	2,00	38,00	55,00	-	-	0,22

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

Tab. 6.7 Mikrobiologický rozbor šedé a bílé vody z testování prototypu v reálných podm. v roce 2014 (II. etapa)

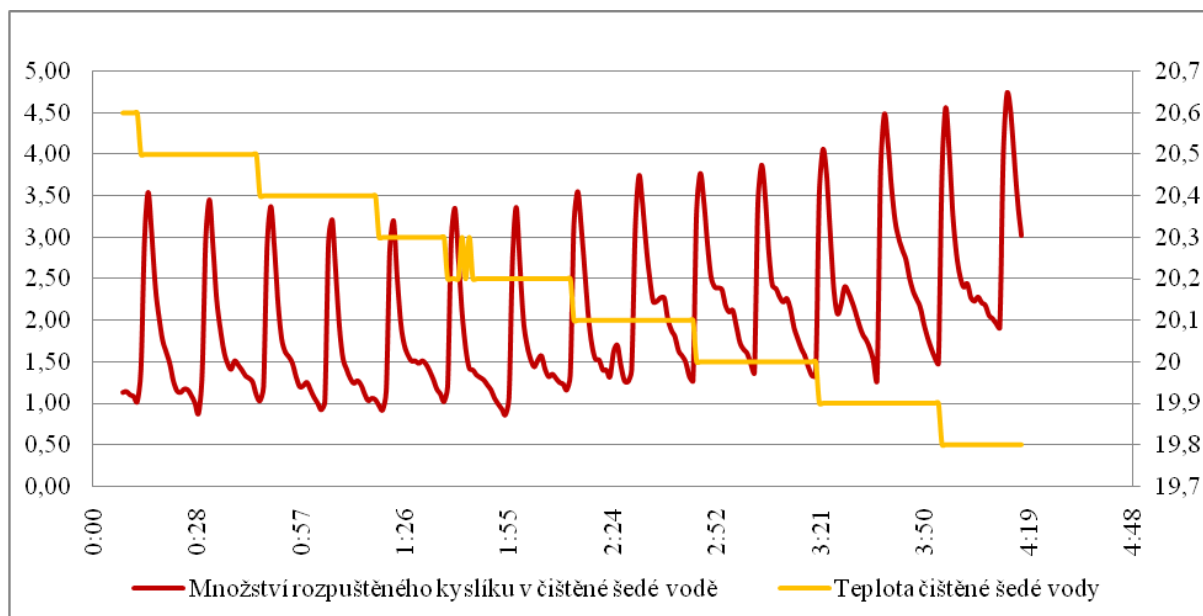
Popis testovaného vzorku	Sledovaný ukazatel			
	Intestinální enterokoky	Pseudomonas aeruginosa	Koliformní bakterie	Escherichia coli
	[KTJ.ml ⁻¹]	[KTJ.ml ⁻¹]	[KTJ.ml ⁻¹]	[KTJ.ml ⁻¹]
Prototyp RD, ŠV, 28.10.2014 (5+10)	1	0	16	0
Prototyp RD, BV, s UV, 28.10.2014 (5+10)	0	0	22	0
Prototyp RD, ŠV, 5.11.2014 (4+9)	14	15	20	0
Prototyp RD, BV, s UV, 5.11.2014 (4+9)	0	0	0	0
Prototyp RD, BV, 5.11.2014 (4+9)	0	0	0	0
Prototyp RD, BV, 9.12.2014 (2+15)	0	0	50	0
Prototyp RD, BV, 10.12.2014 (2+15)	8	0	30	0

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



Obr. 6.13 Množství rozpuštěného kyslíku a teplota v reaktoru nádrže čištění šedé vody při nastavení chodu dmýchadla (4+9) v průběhu dne 21. 11. 2014 (II. etapa)

(legenda: osa x-čas v průběhu test. dne, osa y (vlevo)-množství kyslíku v mg.l⁻¹ a osa y (vpravo)-teplota v °C)



Obr. 6.14 Množství rozpuštěného kyslíku a teplota v reaktoru nádrže čištění šedé vody při nastavení chodu dmýchadla (2+15) v průběhu dne 30. 11. 2014 (II. etapa)

(legenda: osa x-čas v průběhu test. dne, osa y (vlevo)-množství kyslíku v mg.l^{-1} a osa y (vpravo)-teplota v $^{\circ}\text{C}$)

6.1.7 Vyhodnocení měření z I. etapy testování prototypu ČJŠV

Na základě provedených měření v I. etapě testování prototypu ČJŠV je možné přistoupit k vyhodnocení měření pro tuto etapu.

Vyhodnocení měření z I. etapy testování prototypu ČJŠV v reálných podmínkách s přirozeným přítokem šedé vody přímo do reaktoru nádrže čištění šedé vody je provedeno dle následujícího rozdělení:

- vyhodnocení chemického rozboru šedé a bílé vody;
- vyhodnocení mikrobiologického rozboru šedé a bílé vody;
- vyhodnocení měření množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění;
- vyhodnocení měření teploty šedé vody v reaktoru nádrže čištění.

Vyhodnocení chemického rozboru šedé a bílé vody z I. etapy testování

Na základě tabulky Tab. 6.6 s uvedenými hodnotami chemického rozboru vybraných ukazatelů kvality šedé a bílé vody z testování prototypu ČJŠV v I. etapě v reálných podmínkách s přirozeným přítokem šedé vody lze vypočítat účinnost čištění šedé vody prototypu ČJŠV.

Účinnost čištění je vyjádřena procentuálně v tabulce Tab. 6.8, ze které jsou zřejmé účinnosti čištění pro odstranění nerozpuštěných látek NL s účinností 84,6 až 97,9 %, biochemické spotřeby kyslíku BSK_5 s účinností 66,7 až 94,4 %, chemické spotřeby kyslíku CHSK_{Cr} s účinností 83,1 až 89,9 % a celkového fosforu P_{celk} s účinností 84,2 až 98,3 %. Sledované ukazatele míry znečištění $\text{N}_{\text{NH}_4^+}$ a P_{orto} vykazují hodnoty účinnosti 72,9 až 78,0 % a 76,9 až 77,8 %, kdy vždy po jednom vzorku není uváděna účinnost. V této souvislosti je potřeba konstatovat, že výsledky chemického rozboru pro sledované ukazatele míry znečištění $\text{N}_{\text{NH}_4^+}$ a P_{orto} v nízkých hodnotách pod $0,04 \text{ mg.l}^{-1}$ pro $\text{N}_{\text{NH}_4^+}$ a P_{orto} je obtížné stanovit chemickým rozbohem a není možné adekvátně z těchto vzorků určit účinnost odstranění sledovaných ukazatelů znečištění. Bohužel z finančních důvodů nebylo možné provést více chemických a

mikrobiologických rozborů za dosažením statisticky hodnotnějších výsledků účinnosti čištění prototypu ČJŠV.

Tab. 6.8 Porovnání účinnosti čistícího procesu z testování prototypu v reálných podmínkách na základě chemického rozboru v roce 2013 (I. etapa)

Popis testovaného vzorku	Sledovaný ukazatel a určení účinnosti čistícího procesu					
	NL	BSK ₅	CHSK _{Cr}	N _{NH4+}	P _{celk}	P _{orto}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Prototyp RD, 30.10.* (neust.)	84,6	66,7	83,1	72,9	84,2	77,8
Prototyp RD, 19.11. (10+10)	94,2	94,4	93,2	-	98,3	76,9
Prototyp RD, 26.11. (10+10)	97,9	92,6	89,9	78,0	93,6	-

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

Vyhodnocení mikrobiologického rozboru šedé a bílé vody z I. etapy testování

Na základě tabulky Tab. 6.6 s uvedenými hodnotami mikrobiologického rozboru bez použití hygienického zabezpečení, tj. bez instalace UV lampy na výtlačku bílé vody, vybraných ukazatelů kvality šedé a bílé vody z testování prototypu ČJŠV v I. etapě v reálných podmínkách s přirozeným přítokem šedé vody lze vypočítat účinnost čištění šedé vody prototypu ČJŠV. Účinnost odstranění sledovaných ukazatelů mikrobiologického znečištění šedých vod je vyjádřena v procentech v tabulce Tab. 6.9, ze které jsou zřejmé účinnosti čištění pro odstranění mikrobiologického znečištění sledovaných ukazatelů pro Enterokoky, Salmonella, Koliformní bakterie, Escherichia coli, celkový počet kultivovaných mikroorganismů pro 22°C a 36°C s účinnostmi odstranění znečištění nad 70 %.

Vzhledem ke skutečnosti, že mikrobiologický rozbor šedé a ani bílé vody bez použití hygienického zabezpečení, tj. bez instalace UV lampy, nezahrnuje veškeré hodnoty sledovaných ukazatelů mikrobiologického znečištění, není možné účinnost odstranění mikrobiologického znečištění stanovit u sledovaných ukazatelů s výjimkou koliformních bakterií, u kterých bylo zjištěno znečištění u všech tří testovaných vzorků s účinností odstranění znečištění mezi 87,5 až 100,0 %.

Bohužel z finančních důvodů nebylo možné provést více chemických a mikrobiologických rozborů za dosažením statisticky hodnotnějších výsledků účinnosti čištění prototypu ČJŠV.

Tab. 6.9 Porovnání účinnosti čistícího procesu z testování prototypu v reálných podmínkách na základě mikrobiologického rozboru v roce 2013 (I. etapa)

Popis testovaného vzorku	Sledovaný ukazatel a určení účinnosti čistícího procesu bez UV lampy					
	Enterokoky	Salmonella	Koliformní bakterie	Escherichia coli	CPM 22	CPM 36
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Prototyp RD, 30.10.* (neust.)	98,6	-	99,7	-	99,9	70,0
Prototyp RD, 19.11. (10+10)	-	-	87,5	85,0	-	-
Prototyp RD, 26.11. (10+10)	-	-	100,0	-	-	-

Pozn: vzorky odebral Raclavský, dopravil k rozboru Raček kromě *) vzorky odebral a dopravil k rozboru Bartoník; CPM 22 a 36: celkový počet kultivovaných mikroorganismů pro 22°C a 36°C; označení číselných hodnot např. (10+10) označuje 10 minut provzdušňování a 10 minut bez provzdušňování nádrže a označení neust. označuje neustálý chod dmýchadla

Výrobce membrány [157] uvádí účinnost odstranění mikrobiologického znečištění 99,99 % bakterií a 99,70 % virů. S ohledem na dosažené výsledky z I. etapy testování bez aplikace UV lampy v rozmezí hodnot 70 až 100 % lze konstatovat, že těchto výsledků nebylo dosaženo.

Vyhodnocení množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění z I. etapy testování

Z grafu v obrázku Obr. 6.9 pro stanovení množství rozpuštěného kyslíku při neustálém chodu dmýchadla je patrný rovnoměrný průběh křivek v testovacích dnech prototypu ČJŠV, kdy hodnoty rozpuštěného kyslíku v nádrži čištění se pohybují v rozmezí od 8,7 do 9,1 mg.l⁻¹, tj. s rozdílem hodnot pouze 0,4 mg.l⁻¹. Dále je zřejmý malý interval mezi minimální a maximální hodnotou množství rozpuštěného kyslíku v navazujícím časovém kroku, kde se interval pohybuje do 0,1 mg.l⁻¹.

Z grafu v obrázku Obr. 6.10 pro stanovení množství rozpuštěného kyslíku při nastavení dmýchadla 10+10, tj. 10 minut probíhá provzdušňování reaktoru nádrže čištění šedé vody a následně 10 minut neprobíhá provzdušňování reaktoru nádrže čištění šedé vody, je patrný nerovnoměrný průběh křivek v testovaných dnech, kdy hodnoty rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody se pohybují v rozmezí hodnot 8,0 do 11,0 mg.l⁻¹. Dále je zřejmý interval mezi minimální a maximální hodnotou množství rozpuštěného kyslíku v navazujícím časovém kroku, kde interval se pohybuje do 1,2 mg.l⁻¹. Z grafu Obr. 6.10 pro množství rozpuštěného kyslíku dne 27. 11. 2013 je patrný pokles hodnot rozpuštěného kyslíku kolem osmé hodiny ranní z hodnoty 10,5 mg.l⁻¹ na 8,0 mg.l⁻¹, tento pokles je doprovázen zvýšením teploty z 16,5 °C na 18,0 °C. Tato skutečnost je pravděpodobně způsobena náhlým přítokem nového množství organicky více znečištěné šedé vody v ranních hodinách. Pravděpodobně se jedná o šedé vody z kuchyňského dřezu nebo myčky na nádobí. Ovšem tento předpoklad se nepodařilo ověřit u obyvatel více generačního domu, obyvatelé si zpětně po tři denní časové prodlevě už nevzpomněli. Z totožného grafu, ale pro den 28. 11. 2013 je zřejmý pravidelný průběh množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody, kdy nižší hodnoty charakterizují noční hodiny mezi 0:00 až 5:00, vyšší hodnoty jsou dosahovány během dne.

Vyhodnocení teploty v reaktoru nádrže čištění z I. etapy testování

Z grafu v obrázku Obr. 6.9 pro stanovení teploty při neustálém chodu dmýchadla je patrný rovnoměrný průběh křivek v testovaných dnech, kdy hodnoty teploty v nádrži čištění se pohybují v rozmezí od 18,3 do 18,6 °C, tj. s rozdílem hodnot pouze 0,3 °C.

Z grafu v obrázku Obr. 6.10 pro stanovení teploty při nastavení dmýchadla 10+10, tj. 10 minut probíhá provzdušňování nádrže čištění a následně 10 minut neprobíhá provzdušňování je patrný nerovnoměrný průběh křivek v testovaných dnech, kdy hodnoty teploty v nádrži čištění se pohybují v rozmezí od 16,0 do 18,5 °C, tj. s rozdílem hodnot 2,5 °C. Výrazný nárůst teploty ve dne 27. 11. 2014 kolem osmé hodiny ranní je popsán v souvislosti s množstvím rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění v předchozí dílčí kapitole vyhodnocení množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění.

6.1.8 Vyhodnocení měření z II. etapy testování prototypu ČJŠV

Na základě vyhodnocení měření v I. etapě testování prototypu ČJŠV s přirozeným přítokem šedé vody do reaktoru nádrže čištění šedé vody je možné přistoupit k vyhodnocení měření z II. etapy testování prototypu ČJŠV.

Vyhodnocení měření z II. etapy testování prototypu ČJŠV v reálných podmínkách s naočkováním reaktoru čištění šedé vody aktivovaným kalem z komunální ČOV Letonice je provedeno v následujícím rozdělení:

- vyhodnocení chemického rozboru šedé a bílé vody;
- vyhodnocení mikrobiologického rozboru šedé a bílé vody;
- vyhodnocení měření množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění;
- vyhodnocení Redox potenciálu v reaktoru nádrže čištění;
- vyhodnocení teploty v reaktoru nádrže čištění;
- vyhodnocení průtoku bílé vody na výtlaku;
- vyhodnocení spotřeby elektrické energie.

Vyhodnocení chemického rozboru šedé a bílé vody z II. etapy testování

Na základě tabulky Tab. 6.6 s uvedenými hodnotami chemického rozboru vybraných ukazatelů kvality šedé a bílé vody z testování prototypu ČJŠV v II. etapě v reálných podmínkách s naočkováním reaktoru nádrže čištění šedé vody aktivovaným kalem z komunální ČOV Letonice lze vypočítat účinnost čištění šedé vody prototypu ČJŠV. Účinnost je vyjádřena v procentech v tabulce Tab. 6.10, ze které jsou zřejmé účinnosti čištění pro odstranění nerozpuštěných látek NL s účinností 98,2 až 99,0 %, biochemické spotřeby kyslíku BSK₅ s účinností 62,5 až 94,9 %, chemické spotřeby kyslíku CHSK_{Cr} s účinností 61,7 až 93,5 %, celkového dusíku N_{celk} s účinností 25,8 až 69,7 %, amoniakálního dusíku N_{NH4+} s účinností 14,3 až 96,9 % a celkového fosforu P_{celk} s účinností 92,1 až 98,0 %.

Bohužel z finančních důvodů nebylo možné provést více chemických a mikrobiologických rozborů za dosažením statisticky hodnotnějších výsledků účinnosti čištění prototypu ČJŠV.

Tab. 6.10 Porovnání účinnosti čistícího procesu z testování prototypu v reálných podmínkách na základě chemického rozboru v roce 2014-2015 (II. etapa)

Popis testovaného vzorku	Sledovaný ukazatel a určení účinnosti čistícího procesu					
	NL	BSK ₅	CHSK _{Cr}	N _{celk}	N _{NH4+}	P _{celk}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Prototyp RD, 28.10.2014 (5+10)	98,2	66,7	83,7	46,0	14,3	98,0
Prototyp RD, 5.11.2014 (4+9)	99,0	80,4	83,3	25,8	96,9	97,3
Prototyp RD, 25.2.2015 (2+15)	98,9	94,9	93,5	66,1	94,9	96,0
Prototyp RD, 26.2.2015 (2+15)	98,5	62,5	61,7	69,7	89,7	92,1

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

Vyhodnocení mikrobiologického rozboru šedé a bílé vody z II. etapy testování

Na základě tabulky Tab. 6.6 s uvedenými hodnotami mikrobiologického rozboru bez použití hygienického zabezpečení, tj. bez instalace UV lampy s výjimkou testovacích dnů 28. 10. 2014 a 5. 11. 2014 s použitím UV lampy, vybraných ukazatelů kvality šedé a bílé vody z testování prototypu ČJŠV v II. etapě v reálných podmínkách s naočkováním reaktoru nádrže čištění aktivovaným kalem z komunální ČOV lze vypočítat účinnost čištění šedé vody v prototypu ČJŠV. U všech tří testovaných vzorků s účinností odstranění znečištění je mezi 100,0 % pro intestinální enterokoky, *Pseudomonas aeruginosa*, viz tabulka Tab. 6.11.

Bohužel z finančních důvodů nebylo možné provést více chemických a mikrobiologických rozborů za dosažením statisticky hodnotnějších výsledků účinnosti čištění prototypu ČJŠV.

U koliformních bakterií v testovacím dni 28. 10. 2014 s UV lampou muselo dojít k chybnému odběru vzorku. Pravděpodobně při odběru testovacího vzorku nebylo dostatečně propláchnuto, vyčištěno potrubí výtlaču bílé vody z prototypu ČJŠV a zjištěné mikrobiologické znečištění koliformními bakteriemi s použitím UV lampy nebylo zahrnuto do výsledné tabulky Tab. 6.11 s označením hodnoty výrazem „x“.

Tab. 6.11 Porovnání účinnosti čistícího procesu z testování prototypu v reálných podmínkách na základě mikrobiologického rozboru v roce 2014 (II. etapa)

Popis testovaného vzorku	Sledovaný ukazatel a určení účinnosti čistícího procesu bez a s UV lampou			
	Intestinální enterokoky	Pseudomonas aeruginosa	Koliformní bakterie	Escherichia coli
	[%]	[%]	[%]	[%]
Prototyp RD, s UV, 28.10. (5+10)	100,0	-	x	-
Prototyp RD, s UV, 5.11. (4+9)	100,0	100,0	100,0	-
Prototyp RD, bez UV, 5.11. (4+9)	100,0	100,0	100,0	-

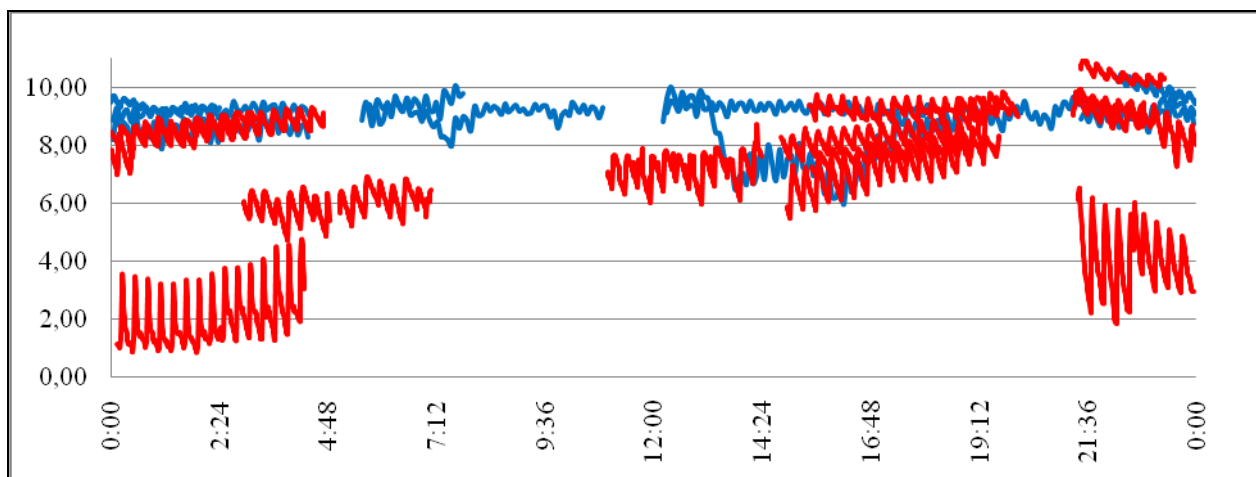
Pozn: vzorky odebral Raclavský, dopravil k rozboru Raček kromě *) vzorky odebral a dopravil k rozboru Bartoník; označení číselných hodnot např. (5+10) označuje 5 minut provzdušňování a 10 minut bez provzdušňování nádrže

Výrobce membrány [157] uvádí účinnost odstranění mikrobiologického znečištění 99,99 % bakterií a 99,70 % virů. S ohledem na dosažené výsledky z II. etapy testování bez aplikace UV lampy a s aplikací UV lampy s účinností 100 % lze konstatovat, že těchto výsledků bylo dosaženo.

Vyhodnocení množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění z II. etapy testování

Z grafu v obrázku Obr. 6.15 pro stanovení množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody při nastavení dmýchadla 4+9, tj. 4 minuty probíhá provzdušňování reaktoru nádrže čištění šedé vody a následně 9 minut neprobíhá provzdušňování reaktoru nádrže čištění šedé vody je průběh hodnot množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody nerovnoměrný a pohybuje se v charakteristický testovací den 21. 11. 2014 v odpoledních hodinách mezi 12:00 až 0:00 od 6,0 do 10,0 mg.l⁻¹, tj. s rozdílem hodnot 4,0 mg.l⁻¹. Dále je zřejmý interval mezi minimální a maximální hodnotou množství rozpuštěného kyslíku v navazujícím časovém kroku, kde interval se pohybuje kolem 1,3 mg.l⁻¹.

Z grafu v obrázku Obr. 6.15 pro stanovení množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody při nastavení dmýchadla 2+15, tj. 2 minuty probíhá provzdušňování reaktoru nádrže čištění šedé vody a následně 15 minut neprobíhá provzdušňování reaktoru nádrže čištění šedé vody je patrný nerovnoměrný průběh křivek v charakteristický testovací den 30. 11. 2014 ve večerních hodinách 0:00 až 4:19, kdy hodnoty rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody se pohybují v rozmezí hodnot 0,8 do 4,9 mg.l⁻¹. Dále je zřejmý interval mezi minimální a maximální hodnotou množství rozpuštěného kyslíku v navazujícím časovém kroku, kde interval se pohybuje s rozdílem hodnot až 3,3 mg.l⁻¹.



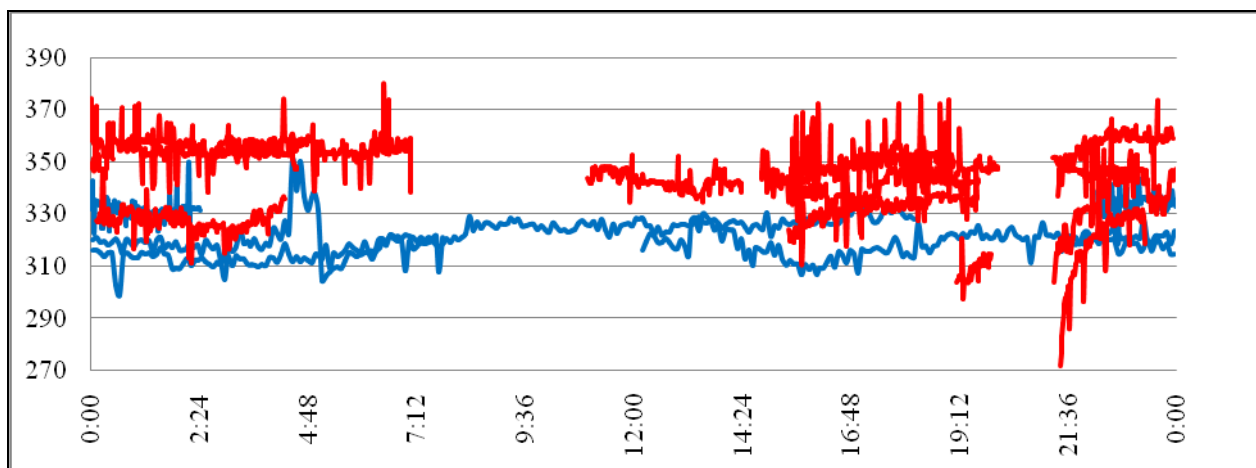
Obr. 6.15 Množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody při nastavení chodu dmýchadla 4+9 a 2+15, listopad a prosinec 2014, leden 2015 (II. etapa)

(legenda: osa x-čas v průběhu test. dne, osa y (vlevo)-množství kyslíku v mg.l^{-1} , modrá čára- nastavení chodu dmýchadla 4+9, červená čára- nastavení chodu dmýchadla 2+15)

Kromě vybraných charakteristických grafů pro časové období ve vybraných testovacích dnech je potřeba přihlídnout k ostatním provedeným měřením v nastavení provzdušňování reaktoru nádrže čištění šedé vody 4+9 a 2+15 viz grafy Obr. 6.15. Množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody se v nastavení 4+9 pohybuje převážně v rozmezí hodnot mezi cca 8,0 až 10,0 mg.l^{-1} s výjimkou testovacího dne 21. 11. 2014, kdy kolem 13:00 je zřejmý pokles hodnot rozpuštěného kyslíku z 10,0 na 6,5 mg.l^{-1} . Pro nastavení provzdušňování 4+9 je patrný nižší interval mezi minimální a maximální hodnotou množství rozpuštěného kyslíku, s výjimkou uvedeného testovacího dne 21. 11. 2014, než u nastavení provzdušňování 2+15.

Vyhodnocení Redox potenciálu v reaktoru nádrže čištění z II. etapy testování

Doprovodným parametrem měření prototypu ČJŠV je Redox potenciál měřený sondou v reaktoru nádrže čištění šedé vody. Redox potenciál je vyhodnocen pro nastavení provzdušňování reaktoru nádrže čištění šedé vody v nastavení 4+9 a 2+15, výsledky měření jsou zřejmé z grafů Obr. 6.16. Hodnoty Redox potenciálu se pro nastavení provzdušňování 4+9 pohybují v rozmezí hodnot mezi cca 300 až 350 mV. V nastavení provzdušňování 2+15 se hodnoty Redox potenciálu pohybují ve vyšších hodnotách než u nastavení 4+9 a to v rozmezí cca 310 až 370 mV. Pro nastavení 4+9 je patrný nižší interval mezi minimální a maximální hodnotou Redox potenciálu než u nastavení provzdušňování 2+15.

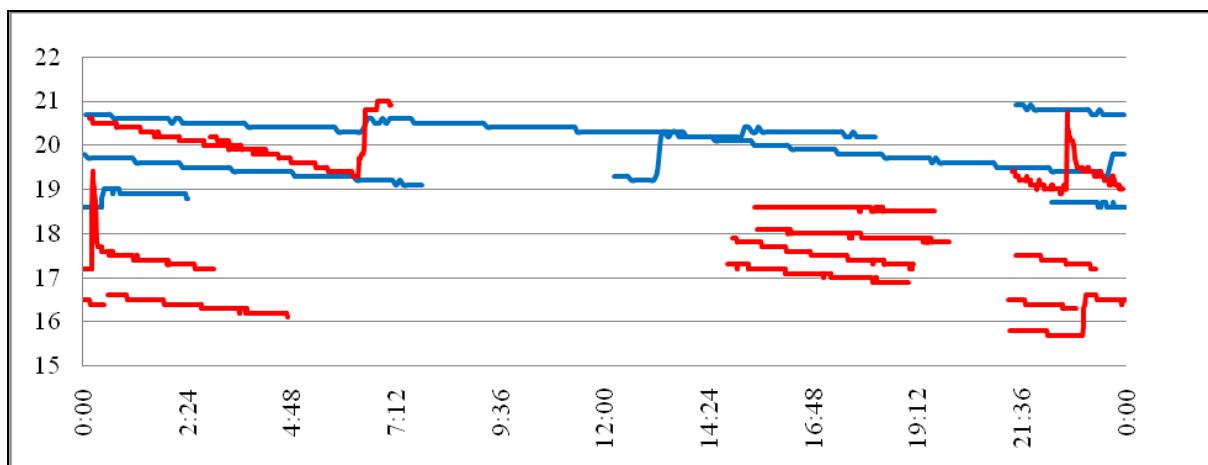


Obr. 6.16 Měření Redox potenciálu v reaktoru nádrže čištění šedé vody při nastavení chodu dmýchadla 4+9 a 2+15, listopad a prosinec 2014, leden 2015 (II. etapa)

(legenda: osa x-čas v průběhu test. dne, osa y (vlevo)-Redox potenciál v mV, modrá čára- nastavení chodu dmýchadla 4+9, červená čára- nastavení chodu dmýchadla 2+15)

Vyhodnocení teploty v reaktoru nádrže čištění z II. etapy testování

Průběh teploty šedé vody v reaktoru nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV je zřejmý z grafů Obr. 6.17. V nastavení provzdušňování 4+9 se hodnoty teploty pohybují v hodnotách v rozmezí cca 18,5, až 21,0 °C v nastavení provzdušňování se hodnoty pohybují v rozmezí nepatrně nižších hodnot cca 17,7 až 21,0 °C.



Obr. 6.17 Měření teploty potenciálu v reaktoru nádrže čištění šedé vody při nastavení chodu dmýchadla 4+9 a 2+15, listopad a prosinec 2014, leden 2015 (II. etapa)

(legenda: osa x-čas v průběhu test. dne, osa y (vlevo)-teplota v °C modrá čára- nastavení chodu dmýchadla 4+9, červená čára- nastavení chodu dmýchadla 2+15)

Vyhodnocení průtoku bílé vody na výtlaku z II. etapy testování

Doprovodným parametrem měření prototypu ČJŠV je provedení měření bílé vody na výtlacném potrubí. Bohužel z finančních důvodů nebylo možné k osazenému průtokoměru DN 20 ALMEMO FVA645GVxQT dokoupit měřicí stanici, která by zaznamenávala hodnoty průtoků v reálném čase. Okamžité hodnoty průtoku se pohybovaly v rozmezí 0,10 – 0,20 l.s⁻¹.

Pro potřeby dizertační práce je důležité ověřit denní produkci šedé vody, která se v případě osazené ČJŠV v reálných podmínkách vícegeneračního rodinného domu rovná potřebě bílé vody. Pro stanovení těchto průtoků byla zvolena metoda přímého odečtu vyprodukované šedé

vody v jednotce. Školitel ve večerních hodinách v týdnu 11. 10. – 17. 10. 2015 (neděle do neděle) provedl v 19:00 každého sledovaného dne odčerpání šedé vody téměř celého objemu prototypu ČJŠV, respektive do spodní části ponořené membrány. Technologie v prototypu ČJŠV byla odstavena z provozu. Fixem zaznamenal na vnější plášť úroveň hladiny a druhého dne, za 24 hodin, provedl odečet výšky rozdílů dvou hladin, následně přečerpál kalovým čerpadlem odpadní vodu do výlevky. Předané informace ze 7 měřených dní jsem zapracoval do přehledné tabulky a přepočtl objem vyprodukované šedé vody pro uvedené dny.

Tab. 6.12 Měření množství šedé vody od 11. 10. – 17. 10. 2015

Měřený den, zahájení měření	Průměr ČJŠV	Výška vodního sloupce	Objem technologického zařízení v prototypu ČJŠV	Vypočtený objem
	[m]	[m]	[l]	[l]
11.10.2015, zahájení v 19:00	0,65	0,86	24,5	260,70
12.10.2015, zahájení v 19:00	0,65	0,77	24,5	230,85
13.10.2015, zahájení v 19:00	0,65	0,82	24,5	247,43
14.10.2015, zahájení v 19:00	0,65	0,79	24,5	237,48
15.10.2015, zahájení v 19:00	0,65	0,88	24,5	267,33
16.10.2015, zahájení v 19:00	0,65	1,03	24,5	317,08
17.10.2015, zahájení v 19:00	0,65	0,99	24,5	303,81
Výpočet průměrné produkce šedé vody [l]				266,38

Průměrná denní produkce změřená v týdnu od 11. 10. 2015 do 17. 10. 2015 vychází $266,38 \text{ l.den}^{-1}$, což se blíží vypočtené hodnotě 270 l.den^{-1} stanovené na základě metody založené na počtu měrných jednotek stejného druhu. Dle metody založené na počtu měrných jednotek stejného druhu je změřená hodnota oproti hodnotě vypočtené 326 l.den^{-1} a vychází s větším rozdílem.

Vyhodnocení spotřeby elektrické energie z II. etapy testování

Na přívodním silovém kabelu 230 V jsem osadil měřič spotřeby elektrické energie EMF-1, který zaznamenává maximální příkon a spotřebu elektrické energie. Tento měřič je určen pro změření orientační spotřeby elektrické energie pro prototyp ČJŠV, respektive spotřebu dmýchadla, čerpadla k membránové jednotce a rozvaděče elektrické energie.

Měření spotřeby elektrické energie jsem provedl pro nastavení dmýchadla 10+10, následně 5+10, 4+9 a 2+15 minuty. Měření bylo provedeno vždy po dobu 7 dnů pro jednotlivé měření v září a říjnu roku 2015, stažení dat provedl školitel, vyhodnocení hodnot následně autor dizertační práce. Dílčí výsledky z měření a vyhodnocení elektrické energie z II. etapy testování jsou následující:

- průměrná spotřeba elektrické energie za 1 den provozu v nastavení provzdušňování 10+10 minuty je 0,43 kW, při uvažování 4 Kč bez DPH za rok je cena za elektrickou energii cca 628 Kč bez DPH;

- průměrná spotřeba elektrické energie za 1 den provozu v nastavení provzdušňování 5+10 minuty je 0,32 kW, při uvažování 4 Kč bez DPH za rok je cena za elektrickou energii cca 467 Kč bez DPH;
- průměrná spotřeba elektrické energie za 1 den provozu v nastavení provzdušňování 4+9 minuty je 0,28 kW, při uvažování 4 Kč bez DPH za rok je cena za elektrickou energii cca 408 Kč bez DPH;
- průměrná spotřeba elektrické energie za 1 den provozu v nastavení provzdušňování 2+15 minuty je 0,15 kW, při uvažování 4 Kč bez DPH za rok je cena za elektrickou energii cca 219 Kč bez DPH.

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

Na základě provedených měření a následného vyhodnocení těchto měření pro I. etapu testování prototypu ČJŠV v reálných podmínkách s přirozeným přítokem šedé vody přímo do reaktoru nádrže čištění šedé vody a na základě provedených měření a následného vyhodnocení měření pro II. etapu testování prototypu ČJŠV v reálných podmínkách a naočkováním reaktoru čištění šedé vody aktivovaným kalem z komunální ČOV 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 rozpuštěného 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 výtlaku;
- závěry z vyhodnocení měření spotřeby elektrické energie.

Závěry z vyhodnocení měření chemického rozboru šedé vody

Z provedených měření a vyhodnocení těchto měření pro I. a II. etapu testování prototypu ČJŠV je možné shrnout výsledky chemického rozboru šedé vody do přehledné tabulky Tab. 6.13 s hodnotami uváděnými v odborné literatuře.

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 z odborných literatur shrnutými v tabulce Tab 3.1 a Tab 3.2 řešeršní části dizertační práce.

Hodnoty NL, BSK₅, CHSK_{Cr}, P_{celk}, pH odpovídají hodnotám uváděným v literatuře pro neseparovanou šedou vodu s výjimkou P_{celk} pro testování v I. etapě měření v roce 2013, kdy naměřené hodnoty 0,52 až 1,41 mg.l⁻¹ jsou nižší než 3,30 mg.l⁻¹ uvedené v tabulce Tab 3.1 a Tab 3.2, což bylo při rozboru šedé vody způsobeno absencí šedé vody z praček a pravděpodobně absencí šedé vody z myček na nádobí bez použití mycího přípravku s obsahem fosfátů. Dále v I. etapě byla jedna nižší hodnota NL 34,20 mg.l⁻¹ než uvádí

literatura 45,00 mg.l⁻¹. Naměřené hodnoty pH 7,52 až 8,12 jsou oproti hodnotám uváděných v literatuře 6,10 až 8,40 spíše při vyšších hodnotách intervalu a lze tyto šedé odpadní vody hodnotit jako spíše zásadité. Původ zásaditosti je opodstatněn napojením umyvadel a sprch do prototypu ČJŠV, kde pH zvyšují mýdla a šampóny.

Pro ukazatel N_{NH4+} a zákal, z důvodu absence v kategorii pro neseparovanou šedou vodu v tabulce Tab 3.2, je pro porovnání hodnot použita kategorie pro šedou vodu z van, sprch a umyvadel. Naměřené hodnoty z testování prototypu ČJŠV odpovídají hodnotám v literatuře s výjimkou nízkých hodnot pro N_{NH4+}, u kterého s ohledem na tabulku Tab. 6.13 byly naměřeny hodnoty 0,04 a 0,07 mg.l⁻¹. Tyto nízké hodnoty jsou způsobeny absencí znečištění od splaškových odpadních vod pocházejících zejména z moči.

Pro porovnání poměru CHSK_{Cr} k BSK₅ je potřeba přihlídnout k tabulce Tab. 6.14. V klasických komunálních splaškových odpadních vodách je obvyklý poměr okolo hodnoty 2:1 [62]. Z naměřených hodnot dle tabulky Tab. 6.14 vychází poměr v I. etapě testování prototypu ČJŠV s přirozeným přítokem šedé vody od 3,3:1 až 4,9:1. Předpoklad poměru 4:1 pro šedé vody, jak uvádí literatura [47], je v případě testování prototypu ČJŠV v I. etapě splněn. V II. etapě testování prototypu ČJŠV vychází poměr od 2:1 k 2,5:1, s přihlédnutím ke skutečnosti, že prototyp ČJŠV byl naočkován aktivovaným kalem z komunální ČOV je zřejmá nízká hodnota poměru srovnatelná s poměrem pro klasické komunální splaškové odpadní vody. Z tabulky Tab. 6.14 je dále zřejmé, že poměr se s časem navyšuje, což je způsobeno nedostatečným přítokem živin pro biologický proces a postupným přechodem z biologického čištění odpadních vod s membránovou technologií na fyzikální způsob mikrofiltrace membránou. Lze konstatovat, že v prototypu ČJŠV v 11/2014 není aplikován aktivovaný proces čištění.

Tab. 6.13 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. 6.14 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

Z provedených měření a vyhodnocení těchto měření pro I. a II. etapu testování prototypu ČJŠV je možné shrnout výsledky chemického rozboru bílé vody do přehledné tabulky Tab. 6.13 s hodnotami uváděnými v odborné literatuře.

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 tabulce Tab. 6.15.

Porovnání naměřených hodnot z testování v I. a II. etapě vybraných chemicko-fyzikálních ukazatelů znečištění je možné provést s vyhláškou Ministerstva zdravotnictví č. 238/2011 Sb. o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity pisku v pískovištích venkovních hracích ploch [156]. Naměřená hodnota pH 7,10 až 7,90 je mírně zásaditá a odpovídá téměř hodnotám 6,50 až 7,60 uváděným jako mezní hodnota bazénové vody během provozu ve vyhlášce č. 238/2011 Sb. [156] v tabulce s názvem „Požadavky na mikrobiologické a fyzikálně-chemické ukazatele jakosti vod v umělých koupalištích“ v příloze č. 8. Pouze v I. etapě testování je pH hodnotou 7,90 překročeno, v II. etapě testování byly zjištěny hodnoty pH od 7,10 do 7,50. Vyšší hodnota pH je většinou v bazénových vodách doprovázena vznikem zákalu, který sníží účinnost dezinfekčních prostředků. Pro snížení pH bazénové vody je možné použít přípravků pro snížení pH bazénové vody, např. použitím hydrogensíranu sodného NaHSO₄. Jak uvádí vysvětlivka č. 7 k tabulce přílohy č. 8 k vyhlášce č. 238/2011 Sb. [156] „V odůvodněných případech je možno připustit širší rozmezí pH, ne však vyšší než pH = 9,5 a nižší než pH = 6; rozmezí hodnot je 6,5 – 7,6 je optimální pro efektivní působení dezinfekce“. Výrazným nedostatkem při použití bílé vody v balneotechnice je zákal související s vyššími hodnotami pH. Povolená hodnota zákalu dle Vyhlášky č. 238/2011 Sb. [156] je 0,50 ZF(n), kdežto výsledky měření ověřily vyšší zákal od 1,20 do 2,50 ZF(n). Jak již bylo popsáno výše, zákal snižuje účinnost dezinfekce a může způsobit ucpání filtru bazénové technologie. Lze konstatovat, že bílá voda z vybraných chemicko-fyzikálních ukazatelů nesplnila dle Vyhlášky č. 238/2011 Sb. [156] částečně limit pro pH a zcela pro hodnoty zákalu. Toto konstatování by platilo v případě, kdy veškeré množství bazénové vody by pocházelo ze zdroje bílé vody. Pokud by se jednalo o částečné

doplňování bazénové vody, s původem pitné vody z vodovodního řadu dle Vyhlášky č. 252/2004 Sb. v platném znění [45], vodou bílou, musel by být stanoven poměr objemu pitné a bílé vody v bazénu, který by se musel ověřit rozbořem všech potřebných ukazatelů dle Vyhlášky č. 238/2011 Sb. [156].

Další porovnání naměřených hodnot chemicko-fyzikálních ukazatelů bílé vody pro zpětné užití s legislativou nebo normou v České republice, s výjimkou Vyhlášky č. 252/2004 Sb. v platném znění [45] a ČSN 75 7143 [12], není možné aplikovat. Je možné přistoupit ale k porovnání se zahraniční literaturou. Můžeme provést porovnání naměřených hodnot vybraných chemicko-fyzikálních ukazatelů s britskou normou BS 8525-1:2010 [5] za účelem využití bílé vody pro splachování toalety. Naměřené hodnoty pH během testování 7,10 až 7,90 jsou v intervalu hodnot uváděných pro využití bílé vody pro splachování toalety 5,00 až 9,50 dle tabulky Table 3 s názvem „Guideline values (G) for general system monitoring“ BS 8525-1:2010 [5]. Naměřené hodnoty zákalu 1,20 až 2,50 ZF(n) jsou nižší, než uvádí stejná tabulka britské normy 10,00 ZF(n). Kromě splachování toalet je bílá voda z testování prototypu ČJŠV s ohledem na hodnoty z tabulky britské normy použitelná pro praní prádla a pro postřikové aplikace jako je tlakové mytí, postřik zahrady a mytí auta.

Pokud bychom porovnali naměřené hodnoty s německou literaturou, konkrétně se Service Water Reused for Toilet Flushing (dále NSWRTF) [166], ve které je stanovena hodnota pro biochemickou spotřebu kyslíku BSK₇ menší než 5,0 mg.l⁻¹. Pro srovnání stejných parametrů BSK pro 5 a pro 7 dní je možné použít orientační přepočítání BSK₇ na BSK₅ [170] dle následující rovnice:

$$BSK_5 = BSK_7 \cdot (1 - 10^{-0,5}) / (1 - 10^{-0,7}) \quad (6.13)$$

Přepočítaná hodnota BSK₅ z BSK₇ z německé literatury, dle výše uvedeného vzorce, je z 5,0 mg.l⁻¹ rovna 4,27 mg.l⁻¹. Naměřené hodnoty 3,80 až 45,00 mg.l⁻¹ z testování prototypu ČJŠV, s přihlédnutím k tabulce Tab. 6.15 zřetelně překračují přepočítanou hodnotu BSK₅ 4,27 mg.l⁻¹. Vyšší hodnoty BSK mohou vést k estetickým problémům, zejména ke tvorbě zápachu a nevhodnému zbarvení bílé vody, dále pak ke snížení účinnosti hygienického zabezpečení bílé vody dezinfekčními prostředky. Lze konstatovat, že v případě německé literatury Service water reused for toilet flushing [166] není prototypem ČJŠV připravená bílá voda použitelná pro splachování toalety.

Naměřené hodnoty biochemické spotřeby kyslíku BSK₅ a nerozpuštěných látek NL je možné porovnat s hodnotami těchto vybraných ukazatelů znečištění bílé vody pro splachování toalet dle Světové zdravotnické organizace WHO literatury Guidelines for Greywater Reuse for Different Purposes (dále GGRDP) [167]. Naměřené hodnoty BSK₅ 3,80 až 45,00 mg.l⁻¹ částečně převyšují povolenou hodnotu 10,00 mg.l⁻¹. S přihlédnutím k hodnotám BSK₅ uvedených v tabulce Tab. 6.15, tj. 10,00; 5,80; 3,80; 24,00; 18,00; 10,00; 15,00; 8,60 a 45,00 mg.l⁻¹ jsou z celkem 9 hodnot překročeny ve 4 případech rozborů. Obdobné porovnání je možné provést u NL uvedených v tabulce Tab. 6.15, tj. 10,50; 2,00; 2,00; 2,00; 2,00; < 2,00; < 2,00; < 2,00 a < 2,00 mg.l⁻¹ je nepatrně překročena pouze 1 krát hodnota z provedených rozborů. Lze konstatovat, že v případě chemického rozboru bílé vody je dle literatury WHO [167] téměř dodržen parametr znečištění NL, ale není dodržen parametr znečištění BSK₅ pro splachování toalety. V případě těchto dvou vybraných ukazatelů NL a BSK₅ je možné dle literatury WHO [167] aplikovat bílou vodu k jiným účelům, než splachování toalety a to pro vybrané ukazatele BSK₅ ≤ 20 mg.l⁻¹ a NL ≤ 20 mg.l⁻¹ pro závlahu rostlin, které by v případě konzumace vyžadovaly tepelnou úpravu a pro BSK₅ ≤ 240 mg.l⁻¹ a NL ≤ 140 mg.l⁻¹ pro závlahu okrasných, ovocných stromů a krmných plodin. Pro tyto dvě další užití bílé vody je možné systém využití šedé vody ve vybraných objektech úspěšně aplikovat.

Pokud bychom porovnali naměřené hodnoty BSK₅ a NL s australskou literaturou, konkrétně s Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines (dále ADGTSAG) [168], tak v případě naměřených hodnot BSK₅ 3,80 až 45,00 mg.l⁻¹ by měly být hodnoty pro splachování toalety a praní prádla v 90 % odebraných vzorků nižší nebo rovny 10,0 mg.l⁻¹ a žádný vzorek by neměl převyšovat hodnotu 20,0 mg.l⁻¹. I když téměř všechny, s výjimkou dvou rozborů s hodnotou BSK₅ rovnou 24,0 mg.l⁻¹ a 45,0 mg.l⁻¹, provedené rozborů vykazují hodnoty BSK₅ nižší než maximální hodnotu 20,0 mg.l⁻¹, tak z celkem těchto 9 provedených rozborů, s ohledem na hodnoty uvedené v tabulce Tab. 6.15, nesplňuje první pravidlo BSK₅ ≤ 10,0 mg.l⁻¹ celkem 4 krát, tj. 24,00; 18,00; 15,00 a 45,00 mg.l⁻¹. Lze konstatovat, že v případě porovnání výsledků z I. a II. etapy testování prototypu ČJŠV s ohledem na požadované hodnoty přípustných ukazatelů BSK₅ a NL dle australské literatury ADGTSAG [168] není možné bílou vodu aplikovat pro splachování toalet ani pro praní prádla. Je ovšem možné přihlédnout k možnosti povrchového zavlažování bez aplikace rozprašování při dodržení parametrů pro BSK₅ ≤ 20 mg.l⁻¹ při 90 % testovaných vzorků s maximální přípustnou hodnotou 30 mg.l⁻¹, dále pak NL ≤ 30 mg.l⁻¹ při 90 % testovaných vzorků s maximální přípustnou hodnotou 45 mg.l⁻¹. Z naměřených hodnot sledovaného ukazatele znečištění bílé vody je pro NL dosaženo všech hodnot pod 10,0 mg.l⁻¹, u BSK₅ není dosažena hodnota 24,00 a 45,00 mg.l⁻¹ z celkem 9 testovaných vzorcích bílé vody. Za předpokladu, že by následující 4 rozborů bílé vody měly hodnotu BSK₅ nižší než 20,0 mg.l⁻¹, bylo by možné systém aplikovat pro povrchové zavlažování.

Obdobným způsobem porovnání naměřených hodnot BSK₅ a NL jako s australskou literaturou je možné provést porovnání s literaturou kanadskou Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing (dále CGDRWUTUF) [169], ve které je možné bílou vodu použít pro splachování toalety. Pokud bychom porovnali průměrnou hodnotu z naměřeného sledovaného ukazatele BSK₅ pro interval 3,80 až 45,00 mg.l⁻¹, tj. s přihlédnutím k hodnotám BSK₅ uvedených v tabulce Tab. 6.15, tj. 10,00; 5,80; 3,80; 24,00; 18,00; 10,00; 15,00; 8,60 a 45,00 mg.l⁻¹, je průměrná hodnota 15,58 mg.l⁻¹, kde tato průměrná hodnota není nižší, než uvádí CGDRWUTUF [169] ≤ 10 mg.l⁻¹. Nicméně dle tabulky č.1 kanadské literatury je přípustná maximální hodnota ≤ 20,0 mg.l⁻¹. Pokud bychom porovnali naměřené hodnoty pro NL 2,00 až 10,50 s průměrnou hodnotou uvedenou v literatuře CGDRWUTUF [169] ≤ 10 mg.l⁻¹, tabulce č.1 pak neodpovídá pouze 1 z celkem 9 naměřených hodnot a to naměřená hodnota NL 10,50 mg.l⁻¹, ovšem tabulka č. 1 v CGDRWUTUF [169] připouští maximální možnou hodnotu NL ≤ 20 mg.l⁻¹, podmínka pro ukazatel NL je splněn. Literatura CGDRWUTUF [169] dále uvádí přípustnou průměrnou hodnotu pro zákal ≤ 2 ZF(n) a přípustnou maximální hodnotu zákalu ≤ 5 ZF(n), kdy ze 4 provedených rozborů bílé vody, tj. pro hodnoty 1,20; 2,50; 2,30; 2,00 ZF(n), vychází průměrná hodnota rovna 2,00 ZF(n) a maximální naměřená hodnota 2,50 ZF(n) je nižší než uvádí CGDRWUTUF [169], podmínka pro zákal je tedy splněna. Lze konstatovat, že při porovnání naměřených hodnot BSK₅, NL a zákalu s hodnotami uvedenými v kanadské literatuře CGDRWUTUF [169] jsou splněny veškeré předmětné sledované ukazatele s výjimkou hodnoty pro NL 10,50 mg.l⁻¹ hodnoty pro BSK₅ 24,00 a 45,00 mg.l⁻¹, které jsou vyšší než maximální přípustná hodnota.

Tab. 6.15 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. [156]

Literatura 2 ... Velká Británie, bílá voda pro splachování toalety dle BS 8525-1:2010 [5]

Literatura 3 ... Německo, bílá voda pro splachování toalety dle Service Water Reused for Toilet Flushing [166]

Literatura 4 ... WHO, bílá voda pro splachování toalety dle WHO Guidelines for Greywater Reuse for Different Purposes [167]

Literatura 5 ... Austrálie, bílá voda pro splachování toalety dle Australian Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines [168]

Literatura 6 ... Kanada, bílá voda pro splachování toalety dle Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing [169]

Pokud bychom vypočetli z průměrných hodnot chemického rozboru šedé a bílé vody pro I. a II. etapu testování prototypu ČJŠV a porovnali tyto hodnoty s účinností vypočítanou z průměrných hodnot chemického rozboru šedé a bílé vody z údajů stanovených dodavatelem membrány INTEWA GmbH C-MEM System [157], získali bychom účinnosti zobrazené v tabulce Tab. 6.16.

Tab. 6.16 Porovnání vybraných ukazatelů chemického rozboru bílé vody v roce 2013-2015 s hodnotami uváděnými dodavatelem membrány

Ozn.	Sledovaný ukazatel znečištění bílé vody	Jednotka	Naměřené hodnoty z testování I. a II. etapy			Hodnoty membrány AquaLoop MEM System		
			Šedá voda - I. + II. etapa měření, průměrná hodnota	Bílá voda - I. + II. etapa měření, průměrná hodnota	Účinnost čištění [%]	Šedá voda - průměrná hodnota	Bílá voda - průměrná hodnota	Účinnost čištění [%]
1	BSK ₅	[mg.l ⁻¹]	91,16	19,51	78,60	136,00	25,00	81,6
2	CHSK _{Cr}	[mg.l ⁻¹]	242,71	38,37	84,20	242,00	73,00	69,8
3	P _{celk}	[mg.l ⁻¹]	2,59	0,13	95,1	1,10	0,40	63,6

Hodnoty membrány AquaLoop MEM System ... Test report – No. PIA2012-GW-1203-1020 [172]

Pozn: naměřené hodnoty z testování I. a II. etapy vycházejí celkem ze 7 provedených rozborů pro jednotlivé ukazatele znečištění BSK₅, CHSK_{Cr}, P_{celk}.

Na základě výše uvedeného shrnutí a zhodnocení zjištěných skutečností z hlediska chemicko-fyzikálních ukazatelů znečištění při použití bílé vody pro zpětné využití ve vybraných objektech dle odborné literatury, lze definovat následující závěry:

- pro použití 100 % bílé vody jako vody bazénové nejsou splněny vybrané ukazatele znečištění dle Vyhlášky č. 238/2011 Sb. v platném znění [156], řešením by bylo

doplňovat pitnou bazénovou vodu vodou bílou v poměru, který by umožňoval splnit veškeré požadované ukazatele během provozu stanovené v příloze č. 8 Vyhlášky č. 238/2011 Sb. v platném znění [156];

- dle britské normy BS 8525-1:2010 [5] jsou splněny vybrané chemicko-fyzikální ukazatele znečištění pro splachování toalety; kromě využití bílé vody pro splachování toalet je bílá voda použitelná pro praní prádla a pro postřikové aplikace jako je plakové mytí, postřik zahrady a mytí auta;
- s přihlédnutím k německé literatuře NSWRTF [166] není bílá voda použitelná pro splachování toalety;
- v případě porovnání naměřených hodnot s údaji stanovenými WHO GGRDP [167] není bílá voda použitelná pro splachování toalety, ale bílou vodu lze aplikovat pro závlahu rostlin, které by v případě konzumace vyžadovaly tepelnou úpravu a pro závlahu okrasných, ovocných stromů a krmných plodin;
- s přihlédnutím k australské literatuře ADGTSAG [168] není možné bílou vodu aplikovat pro splachování toalet ani pro praní prádla, podmíněně by bylo možné bílou vodu použít, pokud by následující 3 rozbory bílé vody měly hodnotu BSK₅ nižší než 20,0 mg.l⁻¹, pak by bylo možné systém aplikovat pro povrchové zavlažování;
- při porovnání naměřených hodnot s kanadskou literaturou CGDRWUTUF [169] jsou splněny veškeré předmětné sledované ukazatele s výjimkou jedné hodnoty pro NL 24,00 mg.l⁻¹, která je vyšší než maximální přípustná hodnota 20,0 mg.l⁻¹;
- při porovnání účinnosti čištění z vypočtených průměrných hodnot vybraných ukazatelů BSK₅, CHSK_{Cr}, P_{celk} zjištěných z testování prototypu ČJŠV v rámci I a II. etapy s vypočítanou účinností čištění z průměrných hodnot stejných sledovaných ukazatelů, při 11 rozborech vody (z celkového počtu 14) jednotlivého sledovaného ukazatele, vychází účinnost z testování prototypu ČJŠV vyšší, než uvádí dodavatel membrány AquaLoop MEM System [172]. Nicméně je potřeba poukázat na skutečnost, že dodavatel této membrány uvádí hodnoty pro sledovaný ukazatel BSK₅ šedé vody 136,00 mg.l⁻¹ výrazně vyšší, než je stanovená průměrná hodnota stejného ukazatele 91,16 mg.l⁻¹ z testování prototypu ČJŠV; z této skutečnosti lze předpokládat, že dodavatel membrány pravděpodobně v čistícím procesu s hodnotou BSK₅ nad 100 mg.l⁻¹ pravděpodobně docílil biologického procesu čištění a zvýšil účinnost čištění právě v tomto ukazateli znečištění.

Závěry z vyhodnocení měření mikrobiologického rozboru šedé vody

Z provedených měření a vyhodnocení těchto měření pro I. a II. etapu testování prototypu ČJŠV je možné shrnout výsledky mikrobiologického rozboru šedé vody do přehledné tabulky Tab. 6.17 s hodnotami uváděnými v odborné literatuře.

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 tabulce Tab 3.3 rešeršní části dizertační práce.

Pro Enterokoky, Escherichia coli a Pseudomonas aeruginosa byly naměřeny hodnoty rovné nule, tedy bez přítomnosti mikrobiologického znečištění, dále pak hodnoty odpovídající již hodnotám uváděným v odborné literatuře dle tabulky Tab 3.3. Pro ukazatel znečištění Salmonella byl testovaný vzorek negativní a naměřená hodnota ukazatele Koliformní bakterie

s výsledky 1600 až 1013300 KTJ.100ml⁻¹ odpovídá hodnotám uvedeným v odborné literatuře dle tabulky Tab 3.3. Na základě výše uvedených porovnání naměřených hodnot s hodnotami uváděnými v odborné literatuře dle srovnávací tabulky Tab. 6.17 lze konstatovat, s výjimkou hodnot rovných nulovému znečištění vybraných ukazatelů znečištění, že naměřené hodnoty odpovídají hodnotám z literatury uvedeným v tabulce Tab 3.3 rešeršní části dizertační práce.

Tab. 6.17 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 neseparovanou šedou vodu

Závěry z vyhodnocení měření mikrobiologického rozboru bílé vody

Z provedených měření a vyhodnocení těchto měření pro I. a II. etapu testování prototypu ČJŠV je možné shrnout výsledky mikrobiologického rozboru bílé vody do přehledné tabulky Tab. 6.18 s hodnotami uváděnými v odborné literatuře.

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 vyčištěné šedé vody, tedy vody bílé, je uvažováno využití pro splachování WC, praní prádla, pro koupání a závlahu rostlin. Toto porovnání je provedeno v tabulce Tab. 6.18.

Porovnání naměřených hodnot z testování v I. a II. etapě vybraných mikrobiologických ukazatelů znečištění je možné provést s vyhláškou Ministerstva zdravotnictví č. 238/2011 Sb. o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch [156], konkrétněji s přílohou č. 8 této vyhlášky s tabulkou s názvem „Požadavky na mikrobiologické a fyzikálně-chemické ukazatele jakosti vod v umělých koupalištích“. Z měřených hodnot je možné porovnat vybrané ukazatele mikrobiologického znečištění a to Escherichia coli, celkový počet kultivovaných mikroorganismů při 36°C (dále CPM 36), Pseudomonas aeruginosa. V případě Escherichia coli je v bazénové vodě během provozu požadovaná hodnota tohoto sledovaného ukazatele rovna 0 KTJ.100ml⁻¹, což s ohledem na výsledky měření 0 až 3000 KTJ.100ml⁻¹, tj. výsledky z I. testování bez UV jsou 3000 a 0 KTJ.100ml⁻¹ a pro II. etapu testování bez UV jsou 0; 0; 0 KTJ.100ml⁻¹ a s UV lampou jsou 0 a 0 KTJ.100ml⁻¹ dle tabulky Tab. 6.18. Pro sledovaný ukazatel CPM 36 je ve vyhlášce stanovena hodnota 100 KTJ.ml⁻¹, jediná naměřená hodnota pro bílou vodu bez UV byla zjištěna 21364 KTJ.ml⁻¹. V případě sledovaného ukazatele Pseudomonas aeruginosa je ve vyhlášce stanovena hodnota 0 KTJ.ml⁻¹, naměřené hodnoty z testování I. a II. etapy jsou rovny 0 KTJ.ml⁻¹. Lze konstatovat, že bílá voda bez UV z vybraných mikrobiologických ukazatelů znečištění nesplnila dle Vyhlášky č. 238/2011 Sb.

[156] parametry *Escherichia coli* a CPM 36, je tedy potřeba bílou vodu před užitím hygienicky zabezpečit např. aplikací UV záření UV lampou, což bylo potvrzeno měřením dne 28. 10. a 5. 11. 2014, kdy byly dosaženy hodnoty pro *Escherichia coli* rovny 0 KTJ.ml⁻¹. Kromě výše uvedených požadavků pro sledované ukazatele znečištění bazénové vody během provozu jsou ve Vyhlášce č. 238/2011 Sb. [156] stanoveny požadavky na vybrané ukazatele znečištění *Escherichia coli* rovny 0 KTJ.100ml⁻¹, CPM 36 rovny 20 KTJ.ml⁻¹, *Pseudomonas aeruginosa* rovny 0 KTJ.100ml⁻¹. Lze konstatovat, že v případě použití bílé vody bez UV jako upravené vody před vstupem do bazénu jednoznačně nesplňuje vybrané ukazatele mikrobiologického znečištění, což potvrzuje požadavek hygienického zabezpečení bílé vody UV lampou.

Obdobně jako u závěrů z vyhodnocení měření chemického rozboru bílé vody další porovnání naměřených hodnot mikrobiologických ukazatelů bílé vody pro zpětné užití s legislativou nebo normou v České republice, s výjimkou Vyhlášky č. 252/2004 Sb. v platném znění [45] a ČSN 75 7143 [12], není možné aplikovat. Je možné přistoupit k porovnání se zahraniční literaturou. Můžeme provést porovnání naměřených hodnot vybraných mikrobiologických ukazatelů s britskou normou BS 8525-1:2010 [5] za účelem použití bílé vody pro splachování toalety. Naměřené hodnoty, viz tabulka Tab. 6.18, pro ukazatele mikrobiologického znečištění Enterokoky, Koliformní bakterie, *Escherichia coli* bez použití UV v rámci I. a II. etapy testování prototypu ČJŠV byly překročeny v porovnání s tabulkou Table 2 s názvem „Guideline values (G) for bacteriological monitoring“ BS 8525-1:2010 [5]. Při použití UV lampy nebylo rozbořem zjištěno mikrobiologické znečištění, s výjimkou rozboru ze dne 28. 10. 2013 s pozitivní hodnotou pro Koliformní bakterie 2200 KTJ.100ml⁻¹, ale jak již bylo zmíněno v kapitole vyhodnocení mikrobiologického rozboru šedé a bílé vody, muselo v daný testovací den dojít k chybnému odběru vzorku a to pravděpodobně příčinou nedostatečně propláchnutého potrubí výtlačku bílé vody z prototypu ČJŠV. Lze konstatovat, že hygienické zabezpečení bílé vody má své opodstatnění a v případě aplikace UV lampy je ověřeno splnění vybraných ukazatelů mikrobiologického znečištění s ohledem na britskou normu [5] pro zpětné užití, tj. pro splachování toalety, ale také pro praní prádla a pro postřikové aplikace jako je tlakové mytí, postřik zahrady a mytí auta.

Pokud bychom porovnali naměřené hodnoty s německou literaturou, konkrétně se Service Water Reused for Toilet Flushing (dále NSWRTF) [166], ve které jsou stanoveny hodnoty pro Koliformní bakterie < 100 KTJ.100ml⁻¹ a *Pseudomonas aeruginosa* < 1 KTJ.ml⁻¹. Naměřené hodnoty z I. a II. etapy testování bez UV jsou pro Koliformní bakterie vyšší 0 až 5000 KTJ.100ml⁻¹ než uvádí německá literatura [166]. Naměřené hodnoty bez a s UV pro *Pseudomonas aeruginosa* jsou nulové a odpovídají požadavkům stanoveným v německé literatuře [166]. S UV lampou jsou dosaženy limity stanovené v německé literatuře [166] také pro Koliformní bakterie, s výjimkou dne 28. 10. 2013. Lze konstatovat, že v případě německé literatury NSWRTF [166] je z mikrobiologického hlediska vybraných ukazatelů znečištění prototypem ČJŠV připravená bílá voda použitelná s aplikací UV pro splachování toalety.

Naměřenou hodnotu Koliformních bakterií je možné porovnat s hodnotou těchto vybraných ukazatelů znečištění bílé vody pro splachování toalet dle Světové zdravotnické organizace WHO literatury Guidelines for Greywater Reuse for Different Purposes (dále GGRDP) [167]. Naměřené hodnoty bez UV pro Koliformní bakterie 0 až 5000 KTJ.100ml⁻¹ jsou vyšší, než uvádí limity dle GGRDP [167] ≤ 10 KTJ.100ml⁻¹ pro splachování toalety, ≤ 200 KTJ.100ml⁻¹ pro závlahu rostlin, které by v případě konzumace vyžadovaly tepelnou úpravu a pro ≤ 1000 KTJ.100ml⁻¹ pro závlahu okrasných, ovocných stromů a krmných plodin. S UV lampou jsou dosaženy limity stanovené v GGRDP [167] pro Koliformní bakterie, s výjimkou dne 28. 10. 2013. Lze konstatovat, že v případě literatury WHO GGRDP [167] je z mikrobiologického

hlediska vybraných ukazatelů znečištění prototypem ČJŠV připravená bílá voda použitelná pro splachování toalety, pro závlahu rostlin, které by v případě konzumace vyžadovaly tepelnou úpravu, a pro závlahu okrasných, ovocných stromů a krmných plodin.

Pokud bychom porovnali naměřené hodnoty Koliformních bakterií s australskou literaturou, konkrétně s Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines (dále ADGTSAG) [168], tak v případě naměřených hodnot pro Koliformní bakterie 0 až 5000 KTJ.100ml⁻¹ by měly být hodnoty pro splachování toalety a praní prádla v 90 % odebraných vzorků nižší nebo rovny 10 KTJ.100ml⁻¹ a v žádný vzorek by neměl převyšovat hodnotu 20 KTJ.100ml⁻¹. V případě porovnání 6 naměřených hodnot bez UV, tj. 3000; 3000; 0; 0; 5000 a 3000 KTJ.100ml⁻¹, je zřejmé nesplnění první a druhé podmínky uvedené v literatuře ADGTSAG [168]. S UV lampou jsou dosaženy limity stanovené v ADGTSAG [168] pro Koliformní bakterie, s výjimkou dne 28. 10. 2013. Lze konstatovat, že v případě literatury ADGTSAG [168] je z mikrobiologického hlediska vybraných ukazatelů znečištění prototypem ČJŠV připravená bílá voda použitelná pro splachování toalety, praní prádla, povrchové zavlažování bez a s aplikací rozprašování.

Obdobným způsobem porovnání naměřených hodnot mikrobiologického znečištění Koliformních bakterií jako s australskou literaturou je možné provést porovnání s literaturou kanadskou Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing (dále CGDRWUTUF) [169], ve které je možné bílou vodu použít pro splachování toalety. Pokud bychom porovnali průměrnou hodnotu z naměřeného sledovaného ukazatele bez UV intervalu 0 až 5000 KTJ.100ml⁻¹ s hodnotou uvedenou v literatuře CGDRWUTUF [169], kde vzorek má být negativní, nedodržíme předepsaný limit. S UV lampou jsou dosaženy limity stanovené v CGDRWUTUF [169] pro Koliformní bakterie, s výjimkou dne 28. 10. 2013. Lze konstatovat, že v případě literatury CGDRWUTUF [169] je z mikrobiologického hlediska vybraných ukazatelů znečištění prototypem ČJŠV připravená bílá voda použitelná pro splachování toalety.

Tab. 6.18 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. [156]

Literatura 2 ... Velká Británie, bílá voda pro splachování toalety dle BS 8525-1:2010 [5]

Literatura 3 ... Německo, bílá voda pro splachování toalety dle Service Water Reused for Toilet Flushing [166]

Literatura 4 ... WHO, bílá voda pro splachování toalety dle WHO Guidelines for Greywater Reuse for Different Purposes [167]

Literatura 5 ... Austrálie, bílá voda pro splachování toalety dle Australian Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines [168]

Literatura 6 ... Kanada, bílá voda pro splachování toalety dle Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing [169]

Pokud bychom vypočetli z průměrných hodnot mikrobiologického rozboru šedé a bílé vody pro I. a II. etapu testování prototypu ČJŠV a porovnali tyto hodnoty s účinností vypočítanou z průměrných hodnot mikrobiologického rozboru šedé a bílé vody z údajů stanovených dodavatelem membrány AquaLoop MEM System, získali bychom účinnosti zobrazené v tabulce Tab. 6.19.

Tab. 6.19 Porovnání vybraných ukazatelů mikrobiologického rozboru bílé vody v roce 2013 a 2014 s hodnotami uváděnými dodavatelem membrány

Ozn.	Sledovaný ukazatel znečištění bílé vody	Jednotka	Naměřené hodnoty z testování I. a II. etapy			Hodnoty membrány AquaLoop MEM System		
			Šedá voda - I. + II. etapa měření, interval	Bílá voda - I. + II. etapa měření, interval	Účinnost čištění [%]	Šedá voda - průměrná hodnota	Bílá voda - průměrná hodnota	Účinnost čištění [%]
1	Koliformní bakterie	[KTJ.100ml ⁻¹]	1600-1013300	0 - 5000	97,4	299 - 24000	72 - 2400	75,9 - 90,0
2	Escherichia coli	[KTJ.100ml ⁻¹]	0 - 20000	0 - 3000	85,0	58	1	98,3

Hodnoty membrány AquaLoop MEM System ... Test report – No. PIA2012-GW-1203-1020 [172]

Pozn: naměřené hodnoty z testování I. a II. etapy vycházejí celkem ze 6 provedených rozborů pro jednotlivé ukazatele znečištění Koliformní bakterie a Escherichia coli.

Na základě výše uvedeného shrnutí a zhodnocení zjištěných skutečností použití bílé vody z hlediska mikrobiologických ukazatelů znečištění pro zpětné využití dle vybrané odborné literatury, lze definovat následující závěry:

- dle Vyhlášky č. 238/2011 Sb. v platném znění [156] v případě použití bílé vody bez UV jako upravené vody před vstupem do bazénu, ale také jako bazénová voda během provozu, nesplňuje legislativní požadavky, což potvrzuje požadavek hygienického zabezpečení bílé vody UV lampou;
- dle britské normy BS 8525-1:2010 [5] jsou obdobným způsobem v případě použití bílé vody bez UV nedodrženy sledované ukazatele mikrobiologického znečištění;
- při aplikaci UV je bílá voda použitelná ke splachování toalety, praní prádla a pro postříkové aplikace jako je tlakové mytí, postřik zahrady a mytí auta;
- s přihlédnutím k německé literatuře NSWRTF [166] není bílá voda bez UV použitelná pro splachování toalety, s použitím UV pak je použitelná;
- v případě porovnání naměřených hodnot s údaji stanovenými WHO GGRDP [167] není bílá voda bez UV použitelná pro splachování toalety, ani pro závlahu rostlin, které by v případě konzumace vyžadovaly tepelnou úpravu a ani pro závlahu okrasných, ovocných stromů a krmných plodin, v případě aplikace hygienického zabezpečení UV lampou jsou dodrženy vybrané sledované ukazatele mikrobiologického znečištění pro všechny tři případy použití;

- s přihlédnutím k australské literatuře ADGTSAG [168] není možné bílou vodu bez UV aplikovat pro splachování toalet ani pro praní prádla, v případě užití UV je možné bílou vodu použít pro obě uvedené případy použití;
- při porovnání naměřených hodnot s kanadskou literaturou CGDRWUTUF [169] není možné bílou vodu bez UV aplikovat pro splachování toalet, v případě užití UV je možné bílou vodu použít;
- při porovnání účinnosti čištění z vypočtených intervalových hodnot vybraných ukazatelů Koliformní bakterie a *Escherichia coli* zjištěných z testování prototypu ČJŠV v rámci I a II. etapy s vypočítanou účinností čištění z intervalových hodnot stejných sledovaných ukazatelů vychází účinnost v případě Koliformních bakterií z testování prototypu ČJŠV vyšší, a u sledovaného ukazatele mikrobiologického znečištění *Escherichia coli* nižší, než uvádí dodavatel membrány AquaLoop MEM System [172].

Závěry z vyhodnocení měření množství rozpuštěného kyslíku 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 rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění s ohledem na vyhodnocení měření a grafy v obrázcích Obr. 6.9, Obr. 6.10 pro I. etapu testování bez naočkování aktivovaným kalem, následně grafy v obrázcích Obr. 6.13, Obr. 6.14 v rámci II. etapy při naočkování aktivovaným kalem, následně pak graf v obrázku Obr. 6.15 při vyhodnocení množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění z II. etapy testování. Tyto údaje o množství rozpuštěného kyslíku jsou následně zapracovány do následující přehledné tabulky Tab. 6.20.

Tab. 6.20 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 této tabulce Tab. 6.20 je provedena rekapitulace naměřených hodnot množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody pro I. etapu a II. etapu testování prototypu ČJŠV.

V I. etapě v roce 2013 bylo nastaveno dmýchadlo v režimu 10+10, tj. 10 minut dmýchadlo přivádělo vzduch do reaktoru nádrže čištění šedé vody a 10 minut následně nebylo v chodu, tj. nebyl dodáván do reaktoru nádrže čištění šedé vody vzduch. Poměr mezi časem provzdušňování a časem bez provzdušňování byl vysoký a to 1,0. Měření bylo provedeno v celkem v pěti dnech. Pro tento režim 10+10 byla kyslíkovou sondou v reaktoru nádrže čištění šedé vody naměřena minimální průměrná hodnota rozpuštěného kyslíku 7,96 mg.l⁻¹ a maximální průměrná hodnota 10,90 mg.l⁻¹ s celkovou průměrnou hodnotou 9,51 mg.l⁻¹.

V II. etapě v roce 2014 bylo nastaveno dmýchadlo v režimu 5+10, tj. tj. 5 minut dmýchadlo přivádělo vzduch do reaktoru nádrže čištění šedé vody a 10 minut následně nebylo v chodu, tj. nebyl dodáván do reaktoru nádrže čištění šedé vody vzduch. Tento poměr nastavení doporučuje dodavatel membrány INTEWA GmbH C-MEM System [157] [172]. Poměr mezi časem provzdušňování a časem bez provzdušňování byl 0,5. Měření bylo provedeno v pěti dnech. Pro tento režim 5+10 byla kyslíkovou sondou v reaktoru nádrže čištění šedé vody naměřena minimální průměrná hodnota rozpuštěného kyslíku $8,30 \text{ mg.l}^{-1}$ a maximální průměrná hodnota $9,48 \text{ mg.l}^{-1}$ s celkovou průměrnou hodnotou $9,48 \text{ mg.l}^{-1}$.

V II. etapě v roce 2014 bylo nastaveno dmýchadlo v režimu 4+9, tj. tj. 4 minut dmýchadlo přivádělo vzduch do reaktoru nádrže čištění šedé vody a 9 minut následně nebylo v chodu, tj. nebyl dodáván do reaktoru nádrže čištění šedé vody vzduch. Poměr mezi časem provzdušňování a časem bez provzdušňování byl 0,4. Měření bylo provedeno v pěti dnech. Pro tento režim 4+9 byla kyslíkovou sondou v reaktoru nádrže čištění šedé vody naměřena minimální průměrná hodnota rozpuštěného kyslíku $8,08 \text{ mg.l}^{-1}$ a maximální průměrná hodnota $10,05 \text{ mg.l}^{-1}$ s celkovou průměrnou hodnotou $10,05 \text{ mg.l}^{-1}$.

V II. etapě v roce 2014 bylo nastaveno dmýchadlo v režimu 2+15, tj. tj. 2 minut dmýchadlo přivádělo vzduch do reaktoru nádrže čištění šedé vody a 15 minut následně nebylo v chodu, tj. nebyl dodáván do reaktoru nádrže čištění šedé vody vzduch. Poměr mezi časem provzdušňování a časem bez provzdušňování byl 0,1, což představuje minimální možnou hodnotu nastavitelnou v rozvaděči řídicí jednotky prototypu ČJŠV. Měření bylo provedeno v devíti dnech. Pro tento režim 2+15 byla kyslíkovou sondou v reaktoru nádrže čištění šedé vody naměřena minimální průměrná hodnota rozpuštěného kyslíku $6,30 \text{ mg.l}^{-1}$ a maximální průměrná hodnota $8,58 \text{ mg.l}^{-1}$ s celkovou průměrnou hodnotou $7,47 \text{ mg.l}^{-1}$.

V tabulce Tab. 6.21 je provedeno porovnání průměrných hodnot rozpuštěného kyslíku s intervaly hodnot vybraných ukazatelů chemického rozboru bílé vody.

Tab. 6.21 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}.

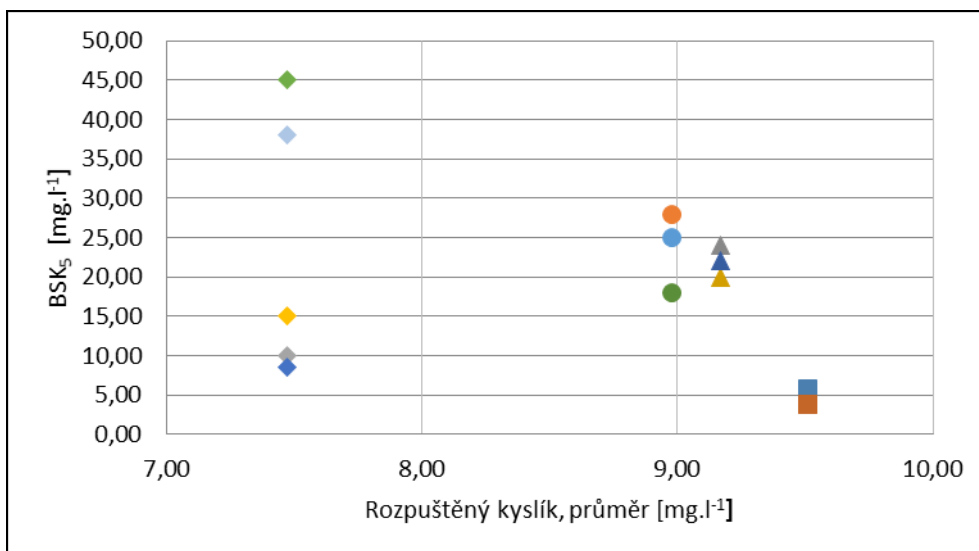
Tab. 6.22 Porovnání průměrných hodnot rozpuštěného kyslíku s konkrétními hodnotami vybraných ukazatelů chemického rozboru bílé vody v roce 2013-2015

Ozn.	Popis testovaného vzorku	Poměr mezi provzdušňováním a bez provzdušňování	Počet provedených měření	Průměrná hodnota	Počet provedených rozborů	Sledovaný ukazatel [hodnota]		
						BSK ₅	CHSK _{Cr}	P _{celk}
		např. 4/9	[den]	[mg.l ⁻¹]	[ks]	[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

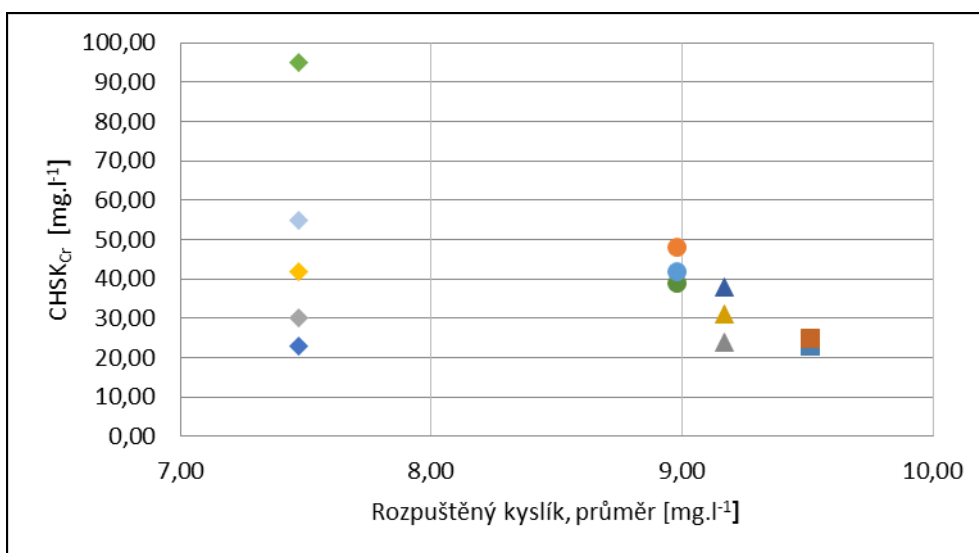
V rámci vlastního řešení dizertační práce je provedeno porovnání průměrných hodnot rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV s hodnotami vybraných ukazatelů znečištění chemického rozboru bílé vody v tabulce a v následujících grafech obrázků Obr. 6.18, Obr. 6.19 a Obr. 6.20, které zobrazují výsledky provedených měření.

V rámci vlastního řešení dizertační práce není provedeno porovnání hodnot rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV s hodnotami mikrobiologického znečištění a to z důvodu nutnosti aplikace hygienického zabezpečení systému využití šedých vod splňující maximální požadavky na odstranění mikrobiologického znečištění. Tyto skutečnosti jsou popsány již v předchozí kapitole 6.1.3, zejména pak v závěrech kapitoly 6.1.9.



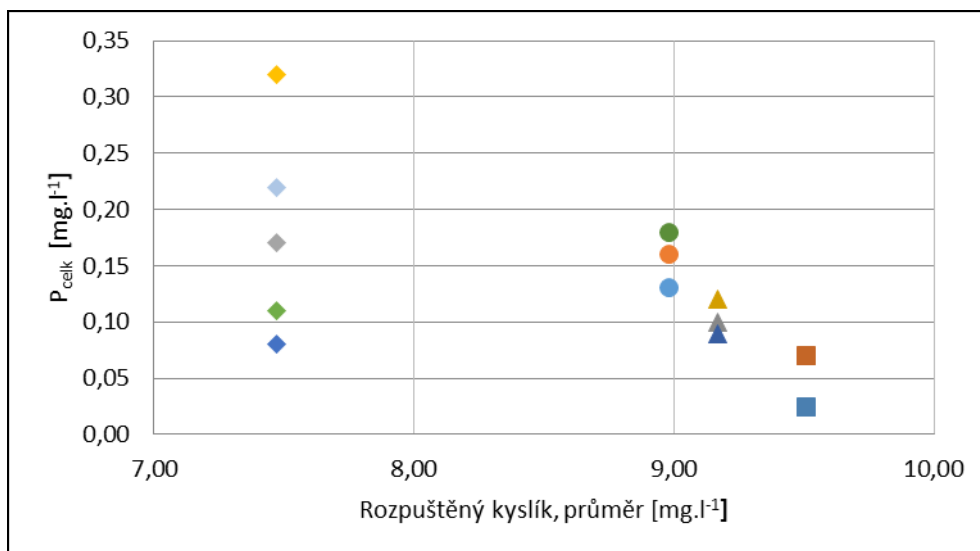
Obr. 6.18 Porovnání průměrných hodnot rozpuštěného kyslíku s hodnotami sledovaného ukazatele znečištění BSK₅

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



Obr. 6.19 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. 6.20 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})

Na základě výše uvedených zjištění lze ve věci porovnání hodnot rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV s hodnotami sledovaných ukazatelů znečištění bílé vody za účelem zjištění účinnosti membránové technologie systému využití šedé vody definovat následující závěry:

- dle výše uvedených měření s ohledem na grafy v obrázcích Obr. 6.18, Obr. 6.19 a Obr. 6.20 lze konstatovat, že vyšší hodnotě rozpuštěného kyslíku odpovídají nižší hodnoty sledovaných ukazatelů znečištění BSK_5 , $CHSK_{Cr}$ a P_{celk} , respektive stoupá účinnost čištění šedé vody osazenou membránovou technologií INTEWA GmbH C-MEM System [157] [172];
- s ohledem na minimální průměrnou hodnotu rozpuštěného kyslíku $6,30 \text{ mg.l}^{-1}$ a minimální medián hodnotu rozpuštěného kyslíku $7,13 \text{ mg.l}^{-1}$ pro režim dmýchadla 2+15 dle tabulky Tab. 6.20 je zřejmá vysoká hodnota rozpuštěného kyslíku srovnatelná s obvyklou hodnotou rozpuštěného kyslíku ve vodě při 100 % nasycení a 20°C je $8,84 \text{ mg.l}^{-1}$ [173], respektive přitékající šedá voda do reaktoru nádrže čištění šedé vody je v ukazateli rozpuštěného kyslíku srovnatelná s pitnou vodou z vodovodního řádu, lze tedy předpokládat, že v reaktoru čištění šedé vody prototypu čištění šedé vody nejsou aplikovány biologické procesy čištění odpadních vod, ale čištění je založeno zcela na principu fyzikální mikrofiltrace na membráně a množství rozpuštěného kyslíku nemá z hlediska biologického čištění šedých vod podstatný vliv na účinnost čistícího procesu;
- s klesajícím množstvím rozpuštěného kyslíku v nádrži čištění šedé vody prototypu ČJŠV se zvyšuje hodnota znečištění vybraných ukazatelů, respektive se snižuje účinnost čištění šedé vody osazenou membránovou technologií [157][172]; lze usuzovat, že snížením množství rozpuštěného kyslíku, respektive změnou režimu nastavení dmýchadla 4+9 a následně 2+15 se pravděpodobně zanášá nečistotami membrána v prototypu ČJŠV a snižuje se tímto zákonitě účinnost čistícího procesu.

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 v grafu Obr. 6.16 do následující tabulky Tab. 6.23.

Tab. 6.23 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

Na základě výše uvedených zjištění lze ve věci rekapitulace naměřených hodnot Redox potenciálu v reaktoru nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV definovat následující závěry:

- s ohledem na graf obrázku Obr. 6.16 a tabulku Tab. 6.23 je možné konstatovat, že se snižujícím se množstvím rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV stoupá hodnota Redox potenciálu;
- s ohledem na předchozí kapitulu „Závěry z vyhodnocení měření množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění“ a s ohledem na tabulku Tab. 6.23 lze konstatovat, že 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.

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 uvedené v grafu Obr. 6.17 do následující tabulky Tab. 6.24.

Tab. 6.24 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

Na základě výše uvedených zjištění lze ve věci rekapitulace naměřených hodnot teploty v reaktoru nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV definovat následující závěry:

- s ohledem na graf obrázku Obr. 6.17 a tabulku Tab. 6.24 je možné konstatovat, že nejvyšších teplot je dosaženo při nastavení režimu dmýchadla 5+10, tj. 5 minut je do reaktoru nádrže čištění šedé vody dodáván vzduch přes dmýchadlo, který dmýchadlo svou funkcí ohřívá a vzduch tudíž otepluje šedou vodu v reaktoru nádrže šedé vody; lze konstatovat, že při snížení doby provzdušňování a prodloužení doby bez provzdušňování, tj. při režimech dmýchadla 4+9 a 2+15 se snižuje teplota v reaktoru nádrže čištění šedé vody;
- výjimkou je režim dmýchadla 10+10 při měření ze dne 27. 7. a 28. 11. 2013, kdy naměřená teplota byla nižší, lze ale předpokládat, že v případě těchto dvou měření mohl být přítok odpadní vody do reaktoru nádrže čištění šedé vody s nižší teplotou šedé vody, než v následujícím měření v roce 2014-2015;
- s ohledem na absenci biologického čištění šedé vody definované v předchozí kapitole nemá ukazatel teploty podstatný vliv na proces fyzikálního čištění prostřednictvím osazené membránové technologie v prototypu ČJŠV;
- teplo v reaktoru nádrže čištění šedé vody by bylo možné s ohledem na absenci biologického procesu v prototypu ČJŠV možné využít a to prostřednictvím instalace zařízení přímo do reaktoru nádrže čištění šedé vody pro rekuperaci tepla; zařízení pro rekuperaci tepla by nemělo mít podstatný vliv na fyzikální proces čištění šedé vody v prototypu ČJŠV;
- místnost, ve které byl umístěn prototyp ČJŠV byl temperován na konstantní teplotu, nicméně tato teplota místnosti nebyla měřena a výsledky naměřených hodnot teploty v reaktoru nádrže čištění šedé vody tyto skutečnosti neuvažovaly.

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:

- 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.

6.1.10 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 6.1.9 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

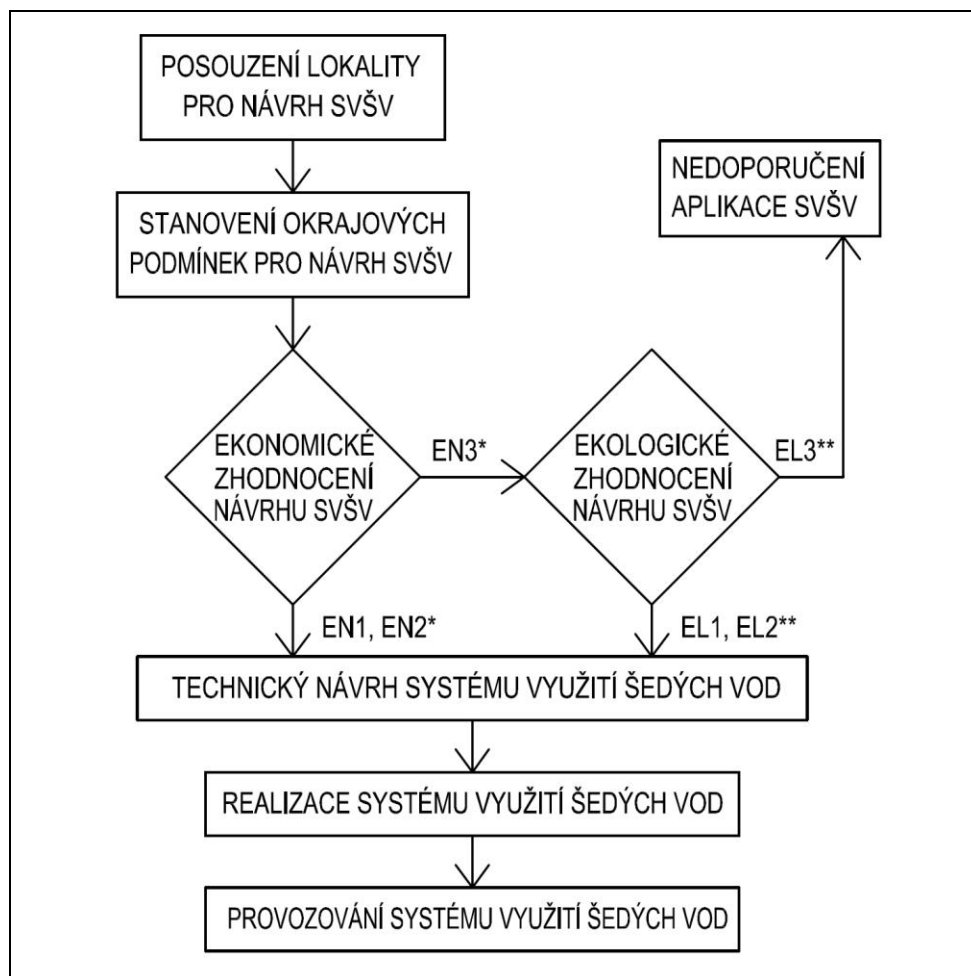
Metodický postup návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech navazuje na zpracovanou rešeršní část dizertační práce a na realizovaná měření provedená v rámci projektu TAČR s vlastním dopracováním dílčích částí autorem dizertační práce. Metodický postup návrhu systému využití šedých vod navazuje 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. 6.21 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 [132]. 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. 6.21 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

Jak již bylo popsáno v rešeršní části dizertační práce, konkrétně v kapitole 3.13 Objekty vhodné pro instalaci systému využití šedých vod s uvedením kvality ŠV obecně platí, že systémy využití šedých vod jsou ekonomicky výhodné v areálech, kde je vysoká produkce šedých vod. Jedná se většinou o budovy s vysokou návštěvností osob, jako jsou hotely, administrativní objekty, ubytovny, apod. Dále pak objekty, ve kterých je nadměrná produkce šedých vod z provozu. V tomto případě se může jednat např. o prádelny.

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 uvažovat s následující potřebou bílé vody. V případě nadbytku bílé vody by se takto bílá voda připravená z šedé vody nespotebovala a čištění šedé vody by neúnosně navyšovalo provozní náklady. V opačném případě by nedostatek bílé vody šel vyřešit dodávkou vody z veřejného vodovodu nebo doplněním systému o sběr a čištění dešťové vody.

Dalším kritériem pro posouzení (výběr) vhodné lokality může být vlastnost vyšší teploty šedé vody, která by nám před čistící jednotkou systému využití šedých vod předávala teplo prostřednictvím výměníku tepla. Takto ušetřená energie by byla schopna zlepšit ekonomiku systému využití šedých vod.

Mezi další vhodné případy instalace systému využití šedých vod lze zařadit lokality, kde je nedostatek surové nebo pitné vody anebo, kde je cena za dodanou vodu vysoká.

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.

Na základě posouzení, výběru lokality v rámci dizertační práce a softwaru navrhuji přistoupit k následujícím kapitolám, zejména je potřeba stanovit okrajové podmínky pro návrh systému využití šedých vod, ekonomicky a ekologicky zhodnotit návrh systému využití šedých vod. Teprve na základě tohoto posouzení navrhuji provést samotný návrh systému využití šedých vod.

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 [132].

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.

Stanovení bilančního množství šedé vody

Systémy využití šedých vod, jak již bylo prezentováno v předešlých kapitolách, je možné úspěšně aplikovat ve vybraných typech budov. Jedním z ukazatelů vhodnosti instalace systému využití šedých vod je porovnání přítoku šedé vody s průběhem spotřeby vody bílé určené k dalšímu užití. Bilanční posouzení produkce šedé vody a spotřeby bílé vody je řešeno v kapitole 3.12 a kapitole 6.1.1.

Jak již bylo definováno v předešlé kapitole 6.1.1 měření přítoku šedé vody vychází z produkce těchto odpadních vod z vybraných zařizovacích předmětů, jako jsou umyvadla, sprchy, vany a pračky, kde pro daný objekt lze poměrově určit množství vyprodukované šedé vody a spotřebu bílé vody. Vstupem pro výpočet bilance vody je celková produkce veškeré odpadní vody z domácnosti, vycházející ze spotřeby pitné vody odebrané z vodovodu nebo jiného zdroje. Měření odebrané pitné vody je hlavním ukazatelem měření průběhů špičkových průtoků prostřednictvím osazeného průtokoměru na přívodním potrubí do objektu.

Jak již bylo definováno v předešlé kapitole 6.1.1 stanovení množství šedé vody vychází z celkové potřeby vody pitné, dodané do nemovitosti s porovnáním počtu zařizovacích předmětů produkce šedé odpadní vody, jako jsou umyvadla, sprchy, vany nebo pračky. Pro reprezentativní typy objektů je možné stanovit poměrové množství černé odpadní vody a šedé odpadní vody a to na základě následujících metod, které byly pro tento účel vybrány řešitelským týmem v rámci projektu TAČR a to:

- metody založené na počtu měrných jednotek a prov. činností, viz kapitola 6.1.1;
- metoda založená na zpracování a vyhodnocení naměř. údajů, viz kapitola 6.1.1. [132]

Před návrhem zařízení pro využití šedých vod ve vybraných objektech musí být stanoveno předpokládané množství vyprodukovaných šedých vod formou stanovení bilančního množství šedých vod. Při dimenzování zařízení pro kombinované využití šedých a srážkových povrchových vod navrhuji postupovat individuálně a je možné navrhnout systém pro doplňování nádrže bílé vody dešťovou vodou v případě nedostatku šedé vody. Dimenzování kombinovaného systému využití šedé vody s doplněním systému využití dešťové vody překračuje zadání dizertační práce a s ohledem na rozsáhlou problematiku využití dešťové vody není součástí dizertační práce.

Uživatel softwaru zvolí jednu nebo kombinaci výše uvedených metod na základě jím dostupných údajů z vybrané lokality pro návrh systému využití šedých vod. V případě aplikace metody založené na počtu měrných jednotek a provedených činnostech může výpočet provést prostřednictvím dvou metod, jež jsou také podrobně popsány v kapitole 6.1.1 dizertační práce:

- metoda založená na počtu měrných jednotek stejného druhu;
- metoda založená na počtu provedených činnostech.

V případě aplikace metody založené na počtu měrných jednotek stejného druhu uživatel softwaru vyplní žlutou barvou vyplněné buňky softwaru v tabulce Tab 1 softwaru s ohledem na řešenou lokalitu, viz příloha č. 1 dizertační práce. Tato metoda je založena na výpočtu dle rovnice (6.1) z kapitoly dizertační práce 6.1.1.

V případě aplikace metody založené na počtu provedených činností uživatel softwaru vyplní žlutou barvou vyplněné buňky softwaru v tabulce Tab 2 softwaru s ohledem na řešenou lokalitu, viz příloha č. 1 dizertační práce. Tato metoda je založena na výpočtu dle rovnice (6.2) z kapitoly dizertační práce 6.1.1.

Dílčí výsledek výpočtu celkové denní množství vyprodukované šedé vody stanovené metodami založenými na počtu měrných jednotek a provedených činností je pak uveden v zeleně vybarvené buňce, viz příloha č. 1 dizertační práce.

V případě aplikace metody založené na zpracování a vyhodnocení naměřených údajů uživatel softwaru vyplní žlutou barvou vyplněné buňky softwaru v tabulce Tab 3 softwaru s ohledem na řešenou lokalitu, viz příloha č. 1 dizertační práce. Tato metoda je založena na výpočtu dle rovnice (6.3) z kapitoly dizertační práce 6.1.1.

Dílčí výsledek výpočtu celkové denní množství vyprodukované šedé vody stanovené metodou založenou na zpracování a vyhodnocení naměřených údajů je pak uveden v zeleně vybarvené buňce, viz příloha č. 1 dizertační práce.

Vypočtené celkové denní množství vyprodukované šedé vody jsem navrhl stanovit na závěr první ucelené části softwaru, viz příloha č. 1 dizertační práce. Uživatel softwaru by měl sám na základě zjištěných vstupních podkladů k stanovení množství šedé vody v řešené lokalitě zhodnotit, která metoda bude pro stanovení celkového denního množství vyprodukované šedé vody přesnější. Usuzuji, že na základě případného měření šedé vody přímo na zařizovacích předmětech řešené lokality s ohledem např. na údaje zjištěné z vodoměru na vnitřním vodovodu, bude přesnější metoda založená na zpracování a vyhodnocení takto naměřených údajů.

Stanovení bilančního množství bílé vody

Po stanovení celkového denního množství vyprodukované šedé vody v řešené lokalitě navrhuji přistoupit ke stanovení potřeby bílé vody v softwarovém rozhraní.

Pro návrh zařízení systému využití šedé vody je potřeba definovat potřebu bílé vody. Při dimenzování zařízení pro kombinované využití šedých a srážkových povrchových vod se postupuje individuálně a navrhuje se doplňování nádrže bílé vody dešťovou vodou v případě nedostatku šedé vody.

V rámci projektu TAČR č. TA01020311 [132] byly společně řešitelským týmem stanoveny rovnice pro výpočet potřeby bílé vody, jež jsou uvedeny v následujícím textu.

- Stanovení denní potřeby bílé vody Q_{24} v l.den^{-1} navrhuji stanovit ze vztahu:

$$Q_{24} = Q_{wc} + Q_{tech} + Q_{zal} \quad (6.14)$$

kde Q_{24} ... je denní potřeba bílé vody [l.den^{-1}];

Q_{wc} ... denní potřeba bílé vody pro splachování záchodových mís [$\text{l.osoba}^{-1}.\text{den}^{-1}$];

Q_{tech} ... je denní potřeba bílé vody pro technologické procesy, stanovená individuálně [l.den^{-1}];

Q_{zal} ... je denní potřeba bílé vody pro zalévání nebo kropení [l.den^{-1}].

- Stanovení denní potřeby bílé vody pro splachování záchodových mís Q_{wc} v $l.den^{-1}$ navrhuji stanovit ze vztahu:

$$Q_{wc} = q_o \cdot p \cdot n + q_{pis} \cdot n \quad (6.15)$$

kde Q_{wc} ... denní potřeba bílé vody pro splachování záchodových mís [$l.osoba^{-1}.den^{-1}$];
 q_o a q_{pis} ... splachovací objem, podle navržených splachovačů nebo podle tabulky Tab 5 v příloze č. 1 dizertační práce [l];
 p ... počet použití splachovačů jednou osobou během dne dle tabulky Tab 4 uvedené v příloze č. 1 dizertační práce [kus];
 n ... počet měrných jednotek [počet osob, obyvatel, lůžek].

Dílčí výsledek výpočtu množství bílé vody pro splachování toalet a pisoárů Q_{wc} je zobrazen v tabulce softwaru s názvem „Výpočet množství bílé vody pro splachování toalet a pisoárů Q_{wc} “, viz příloha č. 1 dizertační práce.

Stanovení denní potřeby bílé vody pro technologické procesy Q_{tech} se stanovuje individuálně, viz příloha č. 1 dizertační práce.

- Stanovení denní potřeby bílé vody Q_{zal} v $l.den^{-1}$ navrhuji stanovit ze vztahu:

$$Q_{zal.} = q_{zal.} \cdot A_{zal} \quad (6.16)$$

kde Q_{zal} ... denní potřeba bílé vody pro zalévání nebo kropení [$l.den^{-1}$];
 q_{zal} ... potřeba bílé vody pro zalévání nebo kropení dle tabulky Tab 6 uvedené v příloze č. 1 dizertační práce [$l.m^{-2}.den^{-1}$];
 A_{zal} ... plocha, která se zalévá nebo kropí bílou vodou [m^2].

Vypočtenou celkovou denní potřebu bílé vody jsem uvedl na závěr druhé ucelené části softwaru, viz tabulka s názvem „Celková denní potřeba bílé vody Q_{24} v $l.den^{-1}$ “, viz příloha č. 1 dizertační práce.

Srovnání bilančního množství šedé a bílé vody

Ke stanovení okrajových podmínek pro návrh SVŠV, respektive pro stanovení bilančního množství šedých vod, je v softwarovém prostředí ucelené části provedeno porovnání celkové denní produkce šedé vody Q_{prod} a celkové denní potřeby bílé vody Q_{24} . Pokud platí podmínka, že $Q_{prod} \geq Q_{24}$ není potřeba SVŠV doplňovat vodou dešťovou nebo z vodovodního řadu, pokud ovšem $Q_{prod} < Q_{24}$ je potřeba zvážit doplnění SVŠV o vodu dešťovou nebo z vodovodního řadu.

Využití šedých vod v SVŠV je optimální pokud platí vztah:

$$Q_{prod.} \geq Q_{24} \quad (6.17)$$

kde Q_{prod} ... je objem vyprodukované šedé vody [$l.den^{-1}$];
 Q_{24} ... je celková denní potřeba bílé vody [$l.den^{-1}$].

Software vytvořený pracovním týmem TAČR č. TA01020311 [132] specifikuje v rámci třetí ucelené části 3 technické posouzení SVŠV:

- nutnost doplňování dešťovou nebo pitnou vodou v případě podmínky $Q_{prod} < Q_{24}$;
- specifikuje množství doplňované vody v případě podmínky $Q_{prod} < Q_{24}$;

- v buňce softwaru s názvem „Doporučení“ v případě podmínky $Q_{\text{prod}} < Q_{24}$ se zobrazí popis „potřeba navrhnout zařízení pro doplnění SVŠV další vodou“, v případě opačné podmínky se zobrazí popis „aplikovat pouze SVŠV, čistit jen ŠV, kterou využiji jako bílou“;

Stanovení kvality šedé a bílé vody

Mezi okrajové podmínky návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech jsem v rámci dizertační práce navrhl zařadit stanovení kvality šedé vody s rozdělením do následujících částí:

- vybrané ukazatele chemického rozboru šedé vody;
- vybrané ukazatele mikrobiologického rozboru šedé vody;
- vybrané ukazatele chemického rozboru bílé vody;
- vybrané ukazatele mikrobiologického rozboru bílé vody.

V rámci vybraných ukazatelů chemického rozboru šedé vody, respektive pro vybranou lokalitu pro návrh SVŠV je možné s přihlédnutím k tabulce Tab 3.1 řešeršní části dizertační práce stanovit orientační vybrané chemicko-fyzikální vlastnosti šedých vod. Pro uvedenou tabulku Tab 3.1 je v rámci dizertační práce provedeno doplnění vybraných chemicko-fyzikálních vlastností šedých vod pro neseparovanou šedou vodu z testování prototypu ČJŠV v I. a II. etapě testování. Doplněné hodnoty vybraných chemicko-fyzikálních vlastností pro neseparovanou šedou vodu jsou pak zobrazeny v aktualizované tabulce Tab 6.25. Obdobným způsobem je přistoupeno k doplnění koncentrace nutrientů v šedých vodách pro neseparovanou šedou vodu z testování prototypu ČJŠV v I. a II. etapě testování. Doplněné hodnoty koncentrací nutrientů pro neseparovanou šedou vodu jsou pak zobrazeny v aktualizované tabulce Tab 6.26. Uvedené dvě tabulky Tab 6.25 a Tab 6.26 jsou v rámci dizertační práce ještě doplněny o provedené chemické rozboru šedých vod z praček s přihlédnutím k tabulce Tab 4.9 a provedené chemické rozboru šedých vod ze sprch plaveckého areálu s přihlédnutím k tabulce Tab 4.10.

Tab 6.25 Vybrané chemicko-fyzikální vlastnosti šedých vod doplněné o hodnoty z testování prototypu ČJŠV z I. a II. etapy testování, rozborů z praček, sprch plaveckého areálu

Chemicko-fyzikální ukazatel	Jednotka chem.-fyz. ukazatele	Pračky	Vany, sprchy a umyvadla	Kuchyňský dřez a myčky na nádobí	Neseparovaná šedá voda
pH	-	9,3 – 11,2	5,0 - 8,6	6,3 - 7,4	6,1 - 8,4
Teplota	°C	28 - 32	18 - 38	-	-
Barva	Pt.C ⁻¹	50 -70	60 - 100	-	-
Zákal	NTU	14 - 700	20 - 370	-	85,00 – 110,00
Plovoucí látky	mg.l ⁻¹	79 - 280	7 - 120	134 - 1 300	-
NL	mg.l ⁻¹	98 – 350	44 – 60	-	34,2 - 330
BSK ₅	mg.l ⁻¹	48 - 1340	19 - 380	669 - 756	30 - 194
CHSK _{Cr}	mg.l ⁻¹	375 - 2800	64 - 8 000	26 - 1 600	131 - 623

Pozn: hodnoty použity z literatury [47][48][49][50][51][52][53][54][55][56][57][58][59][60][61][169], testování prototypu ČJŠV, z rozborů z praček, sprch plaveckého areálu v rámci dizertační práce

Tab 6.26 Koncentrace nutrientů v šedých vodách doplněné o hodnoty z testování prototypu ČJŠV z I. a II. etapy testování, rozborů z praček, sprch plaveckého areálu

Chemicko-fyzikální ukazatel	Jednotka chem.fyz. ukazatele	Pračky	Vany, sprchy, umyvadla	Kuchyňský dřez a myčky na nádobí	Neseparovaná šedá voda
N_{NH4+}	mg.l ⁻¹	< 0,1 – 15,0	< 0,1 – 25,0	0,2 – 23,0	0,07 – 0,18
N_{NO2-}	mg.l ⁻¹	0,10 - 0,31	< 0,05 - 0,20	-	-
N_{NO3-}	mg.l ⁻¹	0,4 - 0,6	0 - 4,9	-	-
P_{PO43-}	mg.l ⁻¹	4,3	0,3 – 35,0	0,4 – 14,0	0,6 - 7,4
N_{celk}	mg.l ⁻¹	6,2	0,6 - 46,4	13,0 – 60,0	5,0 – 8,9
P_{celk}	mg.l ⁻¹	0,06 – 57,0	0,05 - 2,20	3,1 – 10,0	0,52 – 11,0

Pozn: hodnoty použity z literatury [47][49][51][52][53][54][55][56][57][58][59][60][61], testování prototypu ČJŠV, z rozborů z praček, sprch plaveckého areálu v rámci dizertační práce

V rámci vybraných ukazatelů mikrobiologického rozboru šedé vody, respektive pro vybranou lokalitu pro návrh SVŠV je možné s přihlédnutím k tabulce Tab 3.3 řešeršní části dizertační práce stanovit orientační vybrané mikrobiologické vlastnosti šedých vod. Pro uvedenou tabulku Tab 3.3 je v rámci dizertační práce provedeno doplnění vybraných mikrobiologických vlastností šedých vod pro neseparovanou šedou vodu z testování prototypu ČJŠV v I. a II. etapě testování. Doplněné hodnoty vybraných chemicko-fyzikálních vlastností pro neseparovanou šedou vodu jsou pak zobrazeny v aktualizované tabulce Tab 6.27. Uvedená tabulka Tab 6.27 je v rámci dizertační práce ještě doplněna o provedené mikrobiologické rozborů šedých vod z praček s přihlédnutím k tabulce Tab 4.12 a provedené mikrobiologické rozborů šedých vod ze sprch plaveckého areálu s přihlédnutím k tabulce Tab 4.10.

Tab 6.27 Mikrobiologické znečištění šedých vod doplněné o hodnoty z testování prototypu ČJŠV z I. a II. etapy testování, rozborů z praček, sprch plaveckého areálu

Mikrobiologický ukazatel	Jednotka mikrobiolog. ukazatele	Pračky	Vany, sprchy, umyvadla	Kuchyňský dřez a myčky na nádobí	Neseparovaná šedá voda
Fekální koliformy	KTJ.100ml ⁻¹	10 ¹ - 10 ⁴	10 ¹ - 10 ⁶	-	10 ² - 10 ⁶
Celkové koliformy	KTJ.100ml ⁻¹	10 ¹ - 10 ⁸	10 ¹ - 10 ⁹	-	10 ⁵ - 10 ⁸
Escherichia coli	KTJ.100ml ⁻¹	10 ¹ - 10 ⁶	0 - 10 ⁷	10 ⁵ - 10 ⁸	10 ¹ – 200
Streptokoky	KTJ.100ml ⁻¹	10 ¹ - 10 ⁷	10 ¹ - 10 ⁶	10 ³ - 10 ⁸	10 ²
Celkový počet kolonií	KTJ.100ml ⁻¹	-	10 ² - 10 ⁸	-	-
Pseudomonas aeruginosa	KTJ.100ml ⁻¹	N	0 - 10 ³	-	0 - 10 ⁵
Salmonella	KTJ.100ml ⁻¹	N	N	-	N
Cryptosporidium	KTJ.100ml ⁻¹	N	N	-	N
Giardia intestinalis	KTJ.100ml ⁻¹	N	N	-	-
Enterokoky	KTJ.100ml ⁻¹	0 - 50	0 - 4	-	0 - 10 ⁵

Pozn: N... nezjištěno; hodnoty použity z literatury [47][48][50][51][52][53][54][55][58][61][171], testování prototypu ČJŠV, z rozborů z praček, sprch plaveckého areálu v rámci dizertační práce

V rámci vybraných ukazatelů chemického rozboru bílé vody, respektive pro vybranou lokalitu pro návrh SVŠV je možné s přihlédnutím k tabulce Tab. 4.14 stanovit orientační vybrané chemické ukazatele znečištění bílé vody. Pro uvedenou tabulku Tab. 4.14 je v rámci dizertační práce provedeno doplnění vybraných chemických ukazatelů znečištění bílé vody do tabulky Tab. 6.15 s podrobným komentářem v rámci vlastního řešení dizertační práce. V rámci dizertační práce je přistoupeno ke shrnutí požadavků na kvalitu vybraných chemických ukazatelů znečištění pro bílou vodu do přehledné tabulky Tab 6.28, jež představují definování okrajových podmínek.

Tab 6.28 Okrajové podmínky, požadavky na kvalitu vybraných chemických ukazatelů znečištění pro bílou vodu

Ozn.	Sledovaný ukazatel znečištění bílé vody	Jednotka	Požadavky na kvalitu vybraných chemických ukazatelů znečištění pro bílou vodu		
			Bílá voda jako bazénová voda (1)	Bílá voda pro splachování toalety (2), (3), (5)	Bílá voda pro splachování toalety a praní prádla (4)
1	NL	[mg.l ⁻¹]	-	< 10,00	< 10,00
2	BSK ₅	[mg.l ⁻¹]	-	< 10,00	< 10,00
3	pH	[-]	6,50 - 7,60	5,00 - 9,50	-
4	zákal	[ZF(n)]	0,50	< 10,00	-

(1)... bílá voda jako bazénová voda během provozu dle Vyhlášky č. 238/2011 Sb. [156]

(2)... Velká Británie, bílá voda pro splachování toalety dle BS 8525-1:2010 [5]

(3)... WHO, bílá voda pro splachování toalety dle WHO Guidelines for Greywater Reuse for Different Purposes [167]

(4)... Austrálie, bílá voda pro splachování toalety dle Australian Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines [168]

(5)... Kanada, bílá voda pro splachování toalety dle Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing [169]

V rámci vybraných ukazatelů mikrobiologického rozboru bílé vody, respektive pro vybranou lokalitu pro návrh SVŠV je možné s přihlédnutím k tabulce Tab. 4.15 stanovit orientační vybrané mikrobiologické ukazatele znečištění bílé vody. Pro uvedenou tabulku Tab. 4.15 je v rámci dizertační práce provedeno doplnění vybraných mikrobiologických ukazatelů znečištění bílé vody do tabulky Tab. 6.18 s podrobným komentářem v rámci vlastního řešení dizertační práce. V rámci dizertační práce je přistoupeno ke shrnutí požadavků na kvalitu vybraných mikrobiologických ukazatelů znečištění pro bílou vodu do přehledné tabulky Tab 6.29, jež představují definování okrajových podmínek.

Tab 6.29 Okrajové podmínky, požadavky na kvalitu vybraných mikrobiologických ukazatelů znečištění pro bílou vodu

Ozn.	Sledovaný ukazatel znečištění bílé vody	Jednotka	Požadavky na kvalitu vybraných mikrobiol. ukazatelů znečištění pro bílou vodu		
			Bílá voda jako bazénová voda (1)	Bílá voda pro splachování toalety (2), (3)	Bílá voda pro splachování toalety a praní prádla (4)
1	Enterokoky	[KTJ.100ml ⁻¹]	-	100	-
2	Koliformní bakterie	[KTJ.100ml ⁻¹]	-	≤ 10	≤ 10
3	Escherichia coli	[KTJ.100ml ⁻¹]	0	250	-
4	CPM 36	[KTJ.ml ⁻¹]	100	-	-
5	Pseudomonas aeruginosa	[KTJ.ml ⁻¹]	0	-	-

(1)... bílá voda jako bazénová voda během provozu dle Vyhlášky č. 238/2011 Sb. [156]

(2)... Velká Británie, bílá voda pro splachování toalety dle BS 8525-1:2010 [5]

(3)... WHO, bílá voda pro splachování toalety dle WHO Guidelines for Greywater Reuse for Different Purposes [167]

(4)... Austrálie, bílá voda pro splachování toalety dle Australian Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines [168]

Lze konstatovat, že při výběru lokality pro návrh SVŠV je možné, při stanovení okrajových podmínek, respektive pro orientační stanovení kvality šedé vody, použít výše uvedené a v rámci dizertační práce doplněné tabulky Tab 6.25, Tab 6.26 a Tab 6.27. Z těchto tabulek je možné určit pro vybranou lokalitu, respektive pro určitý zdroj šedé vody orientační hodnoty chemického a mikrobiologického ukazatele znečištění šedé vody. Tyto hodnoty chemického a mikrobiologického znečištění jsou podkladem pro návrh technologie čištění odpadních vod SVŠV ve vybraných objektech.

Lze konstatovat, že při výběru lokality pro návrh SVŠV je možné, při stanovení okrajových podmínek, respektive pro požadovanou kvalitu bílé vody k určitému druhu potřeby, použít výše uvedené a v rámci dizertační práce doplněné tabulky Tab 6.28 a Tab 6.29. Tyto požadované hodnoty chemického a mikrobiologického znečištění bílé vody jsou podkladem pro návrh technologie čištění odpadních vod SVŠV ve vybraných objektech.

Stanovení způsobu čištění šedé vody

S ohledem na zpracovanou kapitolu 4.1.2 a s ohledem na výše uvedené požadavky 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, zejména pak s ohledem na informace popsané v kapitole 3.14 Kritická rešerše pozorují zřejmý požadavek na účinný způsob čištění šedých vod doplněný o hygienické zabezpečení. Z popsanych technologií na úpravu šedé vody v rešeršní části dizertační práce jsem pro testování prototypu ČJŠV vybral metodu čištění šedé vody založené na principu membránové fyzikální mikrofiltrace s hygienickým zabezpečením prostřednictvím UV lampy na výtlačném potrubí bílé vody.

Na základě testování prototypu ČJŠV s ohledem na zjištěné hodnoty chemického a mikrobiologického rozboru vybraných sledovaných ukazatelů znečištění bílé vody a dle stanovených požadavků na kvalitu vybraných chemických ukazatelů znečištění bílé vody dle tabulky Tab 6.28 a dle stanovených požadavků na kvalitu vybraných mikrobiologických ukazatelů znečištění bílé vody dle tabulky Tab 6.29 jsem v rámci dizertační práce stanovil způsob čištění šedé vody prostřednictvím membránové technologie čištění, tj. mikrofiltrace (případně ultrafiltrace). Jak již bylo zjištěno při testování prototypu ČJŠV, viz kapitola 6.1.9, není možné automaticky uvažovat s biologickým procesem čištění v systémech využití šedých vod ve vybraných objektech a to z důvodu nízkého biologického zatížení, tj. zejména nízkého sledovaného ukazatele znečištění BSK₅ ve většině případů pod 100 mg.l⁻¹. Nicméně biologického způsobu čištění s doplněním membránové technologie čištění a po provedení naočkování reaktoru nádrže čištění šedé vody aktivovaným kalem z komunální ČOV, jsme pravděpodobně schopni dosáhnout u větších systémů využití šedých vod s hodnotami sledovaného ukazatele znečištění BSK₅ nad 100 mg.l⁻¹. Na základě těchto zjištění v dizertační práci lze konstatovat, že systémy využití šedých vod mohou být z hlediska technologie čištění šedých vod založeny na principu:

- biologický proces čištění šedých vod prostřednictvím membránové technologie;
- fyzikální proces čištění šedých vod prostřednictvím membránové technologie.

Pro návrh a zhodnocení biologického procesu čištění šedých vod nemám k dispozici potřebné informace a v rámci dizertační práce se nebudu biologickým procesem čištění šedých vod dále zabývat. Nicméně s ohledem na provedené testování prototypu ČJŠV pouze na principu fyzikálního procesu se budu v dalších částech dizertační práce zabývat jen fyzikálním

procesem čištění šedých vod prostřednictvím membránové technologie čištění šedých vod na principu mikrofiltrace.

V rámci projektu TAČR č. TA01020311 [132] byly společně řešitelským týmem a partnerem projektu společností ASIO, spol. s r.o. připraveny dva typy výrobku pro čištění šedých vod:

- fyzikální a také biologický proces čištění šedých vod prostřednictvím membránové technologie s použitím deskových membrán SiClaro [174];
- fyzikální proces čištění šedých vod prostřednictvím membránové technologie s použitím vláknitých membrán INTEWA GmbH C-MEM System [157].

Pro návrh a zhodnocení fyzikálního a biologického procesu čištění šedých vod prostřednictvím membránové technologie s použitím deskových membrán SiClaro [174] nemám k dispozici potřebné informace (v reálných podmínkách nebyla prozatím zprovozněna nebo testována) a v rámci dizertační práce se nebudu membránovou technologií s použitím deskových membrán SiClaro [174] zabývat.

S ohledem na provedené testování prototypu ČJŠV na principu fyzikálního procesu s použitím vláknitých membrán INTEWA GmbH C-MEM System [157] se budu v dalších částech dizertační práce zabývat právě touto membránovou technologií čištění.

Stanovení způsobu čištění šedé vody je provedeno s ohledem na předchozí dvě okrajové podmínky, tj. na stanovení bilančního množství šedé a bílé vody, dále pak stanovení kvality šedé a bílé vody. První okrajová podmínka ve věci stanovení bilančního množství šedé a bílé vody byla zapracována do softwaru. V samostatné části softwarového rozhraní „3 Technické posouzení SVŠV“ je uvedena buňka s popisem „Doporučená velikost čistírny“. V případě vyplnění údajů za účelem stanovení bilančního množství šedých vod a stanovení potřeby bílé vody je provedeno posouzení celkové denní produkce šedé vody a celkové denní potřeby bílé vody. Po vyplnění potřebných zeleně vybarvených buněk softwaru je vyhodnocen doporučený typ a velikost čistírny SVŠV. Typy čistíren SVŠV byly popsány již výše, pro potřeby softwarového rozhraní byl zkrácen název popisu čistíren SVŠV následovně:

- MBR technologie SiClaro;
- INTEWA GmbH C-MEM System.

V software rozhraní, viz příloha č. 1 dizertační práce, jsem aplikoval tabulku s názvem „Návrh objemu nádrží a doporučení typu a velikosti čistírny SVŠV“, kde:

- software určí minimální objemy nádrží vycházející z celkové produkce šedé vody Q_{prod} ;
- software na konci ucelené třetí části doporučí velikost čistírny odpadních vody SVŠV.

Dle zpracovaného návrhu normy ČSN 75 6780 [2] zdržení šedé vody nebo bílé vody v nádržích nemá být delší než jeden den, tj. 24 hodin. Proto je nutné navrhnout objem nádrže na tyto vody na denní potřebu provozní vody. Doba zdržení nejvíce 24 hodin platí také u nádrží na bílou vodu doplňovaných srážkovou, dešťovou vodou.

Modelová řada čistíren SVŠV pro MBR technologie SiClaro je členěna na 6 modelů rozdělených podle celkového denního množství vyprodukované šedé vody Q_{prod} , objemu akumulace šedé a bílé vody, viz tabulka Tab 6.30.

Tab 6.30 Modelová řada čistíren SVŠV pro MBR technologie SiClaro

Typ čistírny SVŠV	Celková denní produkce šedé vody Q_{prod}	Objem reaktoru nádrže čištění šedé vody	Objem bílé vody v akumulární nádrži
	[l.den ⁻¹]	[l]	[l]
MBR technologie SiClaro - 1	1000	1000	1000
MBR technologie SiClaro - 2	2000	2000	2000
MBR technologie SiClaro - 5	5000	5000	5000
MBR technologie SiClaro - 10	10000	10000	10000
MBR technologie SiClaro - 15	20000	20000	20000
MBR technologie SiClaro - 20	30000	30000	30000

Modelová řada čistíren SVŠV pro MBR technologie INTEWA GmbH C-MEM System je členěna na 7 modelů rozdělených podle celkového denního množství vyprodukované šedé vody Q_{prod} , objemu akumulace šedé a bílé vody, viz tabulka Tab 6.31.

Tab 6.31 Modelová řada čistíren SVŠV pro INTEWA GmbH C-MEM System

Typ čistírny SVŠV	Celková denní produkce šedé vody Q_{prod}	Objem reaktoru nádrže čištění šedé vody	Objem bílé vody v akumulární nádrži
	[l.den ⁻¹]	[l]	[l]
INTEWA GmbH C-MEM System - 6	300	300	300
INTEWA GmbH C-MEM System - 12	600	600	600
INTEWA GmbH C-MEM System - 18	900	900	900
INTEWA GmbH C-MEM System - 24	1200	1200	1200
INTEWA GmbH C-MEM System - 30	1500	1500	1500
INTEWA GmbH C-MEM System - 36	1800	1800	1800
INTEWA GmbH C-MEM System - 48	2400	2400	2400

Metodický návrh systému využití šedých vod SVŠV zahrnuje požadavky na návrh technologie čištění šedé vody. Tyto požadavky vycházejí ze zpracované řešeršní části dizertační práce a jsou obecně popsány v normě ČSN 75 6780 *Využití šedých a dešťových vod v budovách a na přilehlých pozemcích* [2].

V normě jsou popsány obecně způsoby čištění šedých a srážkových vod s rozdělením podle typu procesu:

- mechanické čištění,
- chemické čištění,
- fyzikální čištění,
- biologické,
- přírodní způsoby čištění.

Toto rozdělení čištění šedých vod odpovídá řešeršní části dizertační práce, která řeší tuto problematiku podrobněji. Autor dizertační práce, jak již bylo popsáno v kapitole 4, samostatně zpracoval kapitolu normy ČSN 75 6780 [2] s názvem „Způsoby čištění šedých a srážkových povrchových vod“. Tato kapitola normy ČSN 75 6780 [2] je zahrnuta v příloze č.1 a č.2 dizertační práce.

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.

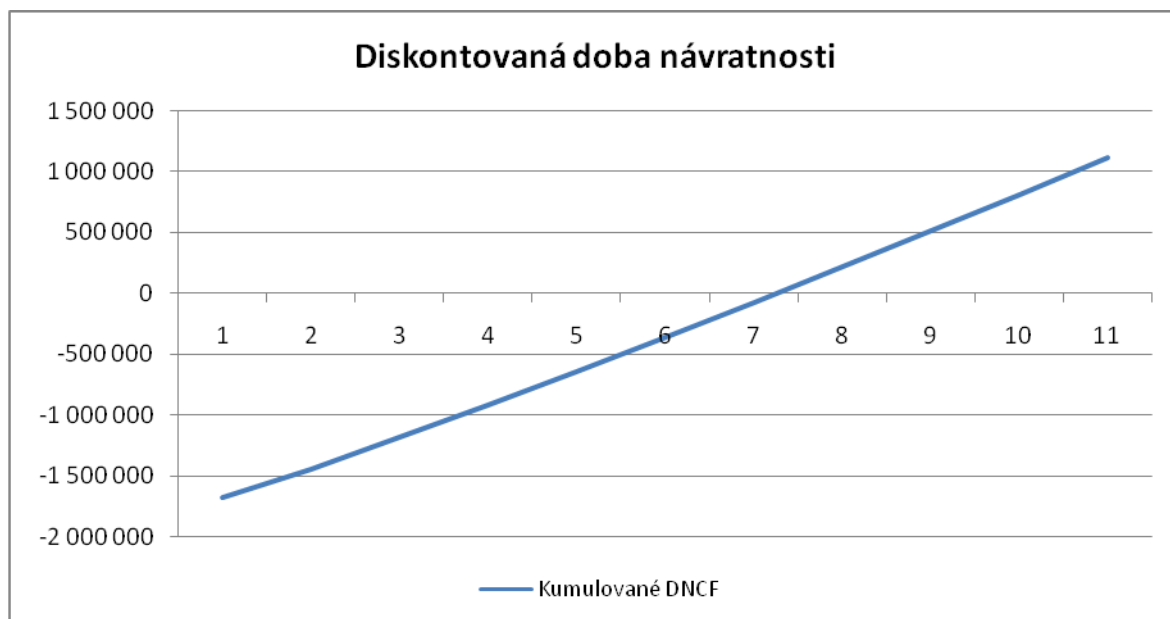
Posouzení ekonomické návratnosti je provedeno v ucelené části softwaru, ve které jsou definovány vstupní údaje, investiční náklady, provozní náklady, stanovení průměrného růstu cen vody pro vybranou lokalitu, úvěry, přehledy nákladů, přínosy, analýza peněžních toků a diskontovaná doba návratnosti. Ucelená 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 [132]. Autor dizertační práce samostatně definoval postup ekonomického zhodnocení návrhu SVŠV s návrhem kategorií EN1, EN2 a EN3.

Posouzení ekonomické návratnosti SVŠV – vzorový příklad

Pro potřeby dizertační práce je však potřeba definovat základní principy ucelené části softwaru. V následujících částech, s ohledem na přílohu č. 2 dizertační práce, je popsán vzorový příklad za účelem posouzení ekonomické návratnosti. Jako vzorový příklad je vybrán SVŠV z případové studie vysokoškolských kolejí v Brně.

V ucelené části softwaru s názvem „3. Ekonomické zhodnocení návrhu systému využití šedých vod“ se vychází z údajů celkové denní produkce šedé vody Q_{prod} a celkové denní potřeby bílé vody Q_{24} stanovené v první a druhé ucelené části softwaru. Ze strany uživatele softwaru je potřeba vyplnit žlutě vybarvené buňky pro investiční náklady na stavební část a na technologickou část SVŠV. Následně ze strany uživatele softwaru, po konzultaci s dodavatelem technologie SVŠV, je potřeba vyplnit žlutě vybarvenou buňku provozního nákladu na 1 m³ šedé vody určené k čištění. Pro potřeby vzorového příkladu bylo partnerem projektu TAČR firmou ASIO, spol. s r.o. doporučeno aplikovat 21 Kč bez DPH pro čištění 1 m³ šedé vody prostřednictvím technologie SVŠV na membránách typu SiClaro. Software na základě těchto vstupních dat stanoví celkové provozní náklady čištění šedé vody SVŠV za 1 rok provozu v Kč bez DPH a to pro veškerou produkovanou šedou vodu. Autor dizertační práce není tvůrcem čtvrté ucelené části softwaru, proto neprovedl programové úpravy v této části softwaru, nicméně musí poukázat na skutečnost, že ze strany uživatele softwaru je potřeba si uvědomit, že ekonomická návratnost se počítá za předpokladu využití veškeré vyprodukované šedé vody, respektive uživatel softwaru musí sám zhodnotit, jestli je schopen veškerou vyčištěnou šedou vodu, tj. vodu bílou spotřebovat. V tabulce s názvem „Stanovení průměrného nárůstu cen vody pro vybranou lokalitu“ musí uživatel softwaru vyplnit žlutě vybarvené buňky pro vodné a stočné celkem vč. DPH a vodné vč. DPH pro řešenou lokalitu pro roky 2006 až 2015. Ve vzorovém příkladu byly vloženy údaje o vodném a stočném pro Brno. Software si přepočítá na základě DPH sazby pro konkrétní rok vodné a stočné bez DPH. Software spočítá průměrný růst cen a průměrný růst inflace pro roky 2006 až 2015.

Následně je v rámci posouzení ekonomické návratnosti SVŠV přistoupeno k definování ukazatelů pro případný úvěr pro realizaci SVŠV. Jedná se o žlutě vybarvené buňky softwaru pro definování úvěru na financování, úroková sazba a splatnost úvěru. Na základě těchto údajů je vypočtena v softwaru roční anuita splátkového kalendáře. Následně jsou spotřeby v tabulkách přehledy nákladů provozní fáze pro 10 let provozu SVŠV, dále pak přínosy a v závěru čtvrté ucelené části je provedena analýza peněžních toků, viz tabulky v příloze č. 2 dizertační práce a graf na obrázku Obr. 6.22.



Obr. 6.22 Výřez ze softwaru, graf diskontované doby návratnosti
(legenda: osa x- roky, osa y- kumulované DNCF)

V rámci čtvrté ucelené části softwaru je potřeba ještě definovat aplikované skutečnosti [132]:

- Diskontní sazba představuje požadovanou výnosnost investice ze strany investora. Dolní hranici tvoří výnosnost „bezrizikové“ investice, např. státních dluhopisů. U soukromé právnické osoby závisí i na představách vlastníků společnosti, toto je možné odvodit od nákladů kapitálu, v analýze softwaru není toto řešeno. Diskontní sazba je nastavena v softwaru pro hodnotu 5 %.
- Hodnoty úvěru jsou nastaveny pouze modelově, úroky spoluvytváří daňovou úsporu, respektive úroky jsou daňově uznatelné náklady, snižují tedy základ daně i výslednou daň z příjmu. Doba splatnosti úvěru je předpokládána pro hodnocené období projektu, tedy 10 let provozu. V softwaru je možné nastavit úrokovou sazbu a podíl úvěru na financování projektu, což má vliv na výslednou efektivnost SVŠV. Možné je také změnit dobu splatnosti.
- Hodnocené období projektu pro aplikaci SVŠV vybrané lokality, v dizertační práci jsem stanovil dobu 10 let, což vychází z doby odepisování dlouhodobého majetku, investice, technologické části SVŠV.
- Přínosy aplikace SVŠV pro investora jsou vnímány jako úspory nákladů na vodu odebíranou z vodovodního řadu. Cena vody je odvozena od dosavadního vývoje cen vody v Brně, vývoj ceny vody vychází z průměrného nárůstu cen za posledních 9 let. V ucelené části softwaru je možné pro 10 let změnit vodné a stočné v návaznosti na řešenou lokalitu. Dalšími přínosy jsou daňové úspory vycházející z „daňového štítu“ odpisů a daňové úspory spojené s provozními náklady a úroky.

Čistá současná hodnota projektu NPV (Net Present Value) pro vzorový příklad vychází pro 10 let provozu SVŠV 1.112.406,- Kč bez DPH. S ohledem na graf v obrázku Obr. 6.22 lze konstatovat, že v rámci analýzy peněžních toků je diskontovaná doba návratnosti mezi 6 a 7 rokem provozu SVŠV.

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. 6.32.

Tab. 6.32 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. 6.32 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 „**e**kon**o**mické“.

- 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, viz podrobněji specifikováno v kapitole 3.14. V případě ekonomického zhodnocení návrhu kategorií EN2 lze podmíněčně 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 řádu.

Metodický postup ekologického zhodnocení návrhu SVŠV

Metodický postup ekologického zhodnocení návrhu SVŠV je popsán v následující přehledné tabulce Tab. 6.33.

Tab. 6.33 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. 6.33 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 „**e**kologické“.

- 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 podmínečně 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.

Norma ČSN 75 6780 [2] reaguje na současné trendy v úsporách vody a zabývá se využitím přečištěných šedých anebo srážkových povrchových vod. Provozní vodou, která vznikne čištěním šedých nebo srážkových povrchových vod, je možné nahradit pitnou vodu pro využití v budovách a okolí, pro které není voda o jakosti pitné vody nutná. [2]

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 a srážkových vod“, na ostatních kapitolách se spolupodílel nebo prováděl připomínkování.

Cílem této kapitoly dizertační práce není přepokopování nebo prezentování pokynů pro návrh systému využití šedých a dešťových vod v budovách z ČSN 75 6780 [2], jež jsou v normě popsány na 42 stranách formátu ISO A4, ale cílem je shrnutí základního přehledu pro návrh systému využití šedých vod SVŠV. Pro potřeby dizertační práce jsou tedy vybrány některé kapitoly z normy ČSN 75 6780 [2], dále jsou doplněny související vlastní kapitoly související s návrhem systému využití šedých vod.

Před samotným návrhem systému využití šedých vod SVŠV je potřeba přistoupit k definování požadavků právních předpisů a norem pro podmínky České republiky. Při návrhu systému využití šedých vod SVŠV, mimo 5. návrh normy ČSN 75 6780 *Využití šedých a dešťových vod v budovách a na přilehlých pozemcích* [2], je potřeba přihlídnout k normám, které jsou specifikovány v příloze č.1 a č.2 dizertační práce.

Samotná metodika návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech je uvažována jako pokyn pro tvorbu projektové dokumentace návrhu systému využití šedých vod ve smyslu Vyhlášky č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb se změnami 62/2013 Sb. [181].

V normě ČSN 75 6780 *Využití šedých a dešťových vod v budovách a na přilehlých pozemcích* [2] je popsána také možnost využití tepla z šedých vod. Aplikování zařízení pro využití tepla z šedé vody by mohlo znamenat finanční úsporu a zlepšení ekonomického zhodnocení SVŠV.

V rámci metodického návrhu systému využití šedé vody SVŠV ve věci návrhu technologie čištění je potřeba vycházet ze stanovení bilančního množství šedých vod a stanovení potřeby bílé vody, což bylo řešeno v kapitole 6.2.2 dizertační práce. Návrh systému využití šedých vod vychází tedy z normy ČSN 75 6780 *Využití šedých a dešťových vod v budovách a na přilehlých pozemcích* [2], na které se autor dizertační práce spolupodílel.

Metodický postup zhodnocení návrhu technologie čištění SVŠV

Metodický postup zhodnocení návrhu technologie SVŠV je popsán v následující přehledné tabulce Tab 6.34.

Tab 6.34 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 6.34 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 „**t**echnologie“.

- 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 navrhujeme bez aplikace biologického způsobu čištění (např. systémy s jednoduchou úpravou, chemickou úpravou, fyzikální úpravou, 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 navrhujeme s aplikací biologického způsobu čištění (např. systémy s biologickou úpravou, biologická úprava v kombinaci s membránovým procesem čištění). Při zprovoznění technologie čištění SVŠV provádíme očkování aktivovaným kalem z komunální ČOV.

Technický návrh systému využití šedých vod - úvod

Při návrhu systému využití šedých vod je potřeba postupovat v následujícím pořadí:

- návrh vnitřní kanalizace šedé vody;
- návrh vnitřního vodovodu bílé vody;
- návrh nádrží šedé a bílé vody;
- návrh čerpacího zařízení bílé vody;
- návrh zařízení pro doplňování pitné nebo užitkové vody;
- požadavky na vypouštění šedé a bílé vody do kanalizace pro veřejnou potřebu.

Dle normy ČSN 75 6780 [2] se při dimenzování zařízení pro kombinované využití šedých a srážkových, dešťových povrchových vod postupuje individuálně a navrhuje se doplňování nádrže provozní vody srážkovou povrchovou vodou v případě nedostatku šedé vody.

Návrh vnitřní kanalizace šedé vody

Metodický návrh systému využití šedých vod SVŠV zahrnuje specifické požadavky na vnitřní kanalizaci, které vycházejí ze zpracované rešeršní části dizertační práce a které jsou popsány v normě ČSN 75 6780 [2] následovně:

- Oddělení šedé a černé vody předpokládá systém vnitřní kanalizace IV podle ČSN EN 12056-2 [33]. Tento systém předpokládá použití dvou potrubí, kdy jedno potrubí odvádí černou vodu ze záchodových mís a pisoárů a druhé odpadní potrubí odvádí šedou vodu ze všech ostatních zařizovacích předmětů.
- Odděleně, pro další využití, se zpravidla odvádí pouze šedé vody ze sprch, van a umyvadel, protože jsou nejméně znečištěné. Využívání dalších šedých vod, např. ze dřezů a praček klade větší nároky na čištění šedých vod. Z hlediska mikrobiologie vykazuje šedá voda z koupelen horší parametry než šedá voda z kuchyní.
- Vnitřní kanalizace odvádí šedé vody do nádrže, která bývá součástí zařízení pro čištění šedých vod.

- Vnitřní kanalizace pro odvádění šedých vod i přebytečné vody z jímky musí být odvětrávána. Rovněž nádrže na šedou vodu musejí být odvětrávány. Odvětrání se provádí hlavním větracím potrubím navazujícím na splaškové odpadní potrubí a větracím potrubím vyvedeným z nádrží. Pokud je vnitřní kanalizace odvětrávána alespoň jedním větracím potrubím, může být v odůvodněných případech některé splaškové odpadní potrubí ukončeno přívzdušňovacím ventilem.
- Navrhování, a dimenzování vnitřní kanalizace pro odvádění šedých vod se provádí běžným způsobem podle ČSN EN 12056-1, 2 [33], ČSN EN 752 [203] a ČSN 75 6760 [210]. Aby byl při proudění vody odpadních vod potrubím omezen vznik pěny, je vhodné, aby kolena na odpadním a svodném potrubí neměla ani dohromady úhel větší než 45°. Při stanovení průtoku odpadních vod se používají výpočtové odtoky podle ČSN EN 12056-2 [33] pro systém stanovený v ČSN 75 6760 [210].
- Všechny bezpečnostní přelivy a odtoky z nádrží, které se nacházejí pod hladinou zpětného vzduť ve stoce, na kterou je nemovitost připojena, musí být zabezpečeny proti vniknutí vzduť vody ze stokové sítě zpětnou armaturou nebo čerpací stanicí odpadních vod s výtlačným potrubím opatřeným smyčkou vyvedenou 0,5 m nad hladinu vzduť vody. Zabezpečení bezpečnostních přelivů a odtoků z nádrží proti vniknutí vzduť vody z dešťové kanalizace napojené na vsakovací zařízení srážkových vod se provádí v souladu s ČSN 75 9010 [211].
- Využití srážkových, dešťových povrchových vod vyžaduje oddělené odvádění málo znečištěných srážkových povrchových vod ze střech přes jednoduchá čistící zařízení do nádrže na srážkovou vodu. Sekundární využití ostatní znečištěné srážkové povrchové vody, např. z komunikací, se využívat nedoporučuje.
- Navrhování, a dimenzování vnitřní kanalizace pro odvádění srážkových povrchových vod do nádrže se provádí běžným způsobem podle ČSN EN 12056-3 [33] a ČSN 75 6760 [210].
- Nádrž na srážkovou povrchovou vodu/provozní vodu musí být odvětrávána potrubím, poklopem s otvory apod.

Návrh vnitřního vodovodu bílé vody

Metodický návrh systému využití šedých vod SVŠV zahrnuje také specifické požadavky na vnitřní vodovod bílé vody. Tyto požadavky vycházejí ze zpracované řešební části dizertační práce a jsou popsány v normě ČSN 75 6780 [2] následovně:

- Vodovod provozní, bílé vody je zpravidla součástí oddílného vnitřního vodovodu a navrhuje se podle ČSN EN 806-1, 2, 3 [192] a ČSN 75 5409 [197].
- Při využití provozní, bílé vody pro splachování záchodů se doporučuje osadit před automatickou tlakovou čerpací stanicí mechanický filtr.
- Potrubí, armatury a výtokové armatury pro provozní, bílou vodu se označují podle ČSN EN 806-2 a 4 [192] a ČSN 75 5409 [197].
- Potrubí provozní vody se musí tepelně izolovat izolací o tloušťce alespoň 4 mm. Nástěnné tvarovky tepelně izolovány být nemusí. U kovových potrubí musí tepelná izolace zabránit kondenzaci vlhkosti na vnějších stěnách trubek a tvarovek.
- Dimenzování potrubí vodovodu provozní, bílé vody se provádí podle ČSN EN 806-3 [192] nebo podle ČSN 75 5455 [139]. Při stanovení počtu výtokových jednotek nebo

výpočtového průtoku se přihlíží k větší současnosti provozu nádržkových splachovačů.

Návrh nádrží šedé a bílé vody

Metodický návrh systému využití šedých vod SVŠV zahrnuje také specifické požadavky na nádrže šedé a bílé vody. Tyto požadavky vycházejí ze zpracované rešeršní části dizertační práce a jsou popsány v normě ČSN 75 6780 [2] následovně:

- Nádrže šedé a bílé vody musí být vodotěsné, nádrže musí být odolné proti korozi a jiným možným chemickým nebo fyzikálním vlivům akumulované vody, nádrže musí být čistitelné a přístupné pro údržbu a opravy.
- Nádrže šedé a bílé vody musí být označeny symbolem „Nepitná voda“ podle ČSN EN 806-2 [192], ke kterému musí být doplněn text s uvedením, o jakou vodu se jedná, např. „Provozní, bílá voda“, aby bylo vždy zřejmé, jaká voda je v nádrži akumulována.
- Vypouštěcí potrubí a bezpečnostní přelivy nádrží napojených přímo na kanalizaci musí být opatřeny zápachovou uzávěrkou a zpětnou armaturou. Tam, kde je nebezpečí vniknutí hmyzu nebo hlodavců, musí být zařízení chráněno uzávěrkou, bránící jejich vniknutí do zařízení. Výjimku tvoří bezpečnostní přelivy a vypouštěcí potrubí nádrží na srážkovou povrchovou vodu napojené na vsakovací zařízení, u kterých nemusí být zápachová uzávěrka osazena.
- Pokud se za účelem získání navrženého objemu instaluje více propojených nádrží, musí být zabráněno stagnaci vody, např. propojením nádrží do série s přítokem a odběrem vody z od sebe nejvzdálenějších nádrží.
- Nádrže šedé a bílé vody umístěné pod terénem, jejichž dno se nachází pod hladinou podzemní vody, musí být zajištěny proti účinkům vztlaku podzemní vody.
- Pokud výrobce nestanoví jinak, musí být nádrž na šedou vodu umístěná uvnitř budovy opatřena těsně uzavíratelným vstupním otvorem, přívodním potrubím šedé vody, bezpečnostním přelivem a vypouštěcím potrubím s uzavírací armaturou napojenými přímo na splaškovou nebo jednotnou vnitřní kanalizaci, odběrem vody do čistírny šedých vod, větracím potrubím, a popř. sledováním hladiny. U menších nádrží do 5 m³ je možné vypouštět obsah nádrže do kanalizace přes podlahovou vpusť.
- Pokud výrobce nestanoví jinak, musí být nádrž na šedou vodu umístěná pod terénem vně budovy opatřena uzavíratelným vstupním otvorem, přívodním potrubím šedé vody, bezpečnostním přelivem napojeným přímo na splaškovou nebo jednotnou vnitřní kanalizaci, odběrem vody do čistírny šedých vod, větracím potrubím, a popř. vypouštěcím potrubím s uzavírací armaturou napojeným přímo na splaškovou nebo jednotnou vnitřní kanalizaci a sledováním hladiny.
- Potrubí vedená do/z nádrží na šedou vodu nesmí umožňovat únik nebo rozstřík vody do okolního prostoru vně nádrží.
- Nádrž na šedou vodu musí být opatřena obtokem, který v případě odstávky nádrže umožní odtok šedé vody přímo do splaškové nebo jednotné vnitřní kanalizace.
- Pokud výrobce nestanoví jinak, musí být nádrž na bílou vodu umístěná uvnitř budovy opatřena uzavíratelným vstupním otvorem, bezpečnostním přelivem a vypouštěcím potrubím s uzavírací armaturou napojenou přímo na splaškovou nebo jednotnou

vnitřní kanalizaci, odběrným potrubím, větracím potrubím, a popř. sledováním hladiny.

Návrh čerpacího zařízení bílé vody

Metodický návrh systému využití šedých vod SVŠV zahrnuje také specifické požadavky na návrh čerpacího zařízení bílé vody. Tyto požadavky vycházejí ze zpracované rešeršní části dizertační práce a jsou popsány v normě ČSN 75 6780 [2] následovně:

- Požadavky na automatické tlakové čerpací stanice jsou stejné jako požadavky na zvyšovací tlakové stanice s nepřímým připojením uvedené v ČSN EN 806-2 [192], a ČSN 75 5409 [197], protože automatická tlaková čerpací stanice čerpá provozní, bílou vodu z nádrže. Náhradní čerpadlo se však požaduje jen v případech, kdy je to z provozních důvodů nutné. Další požadavky jsou uvedeny v následujících odstavcích.
- Sací výška čerpadel uvedená jejich výrobcem nesmí být menší než součet svislé vzdálenosti mezi nejnižší hladinou vody v nádrži a vtokem čerpadla se ztrátovou výškou způsobenou tlakovými ztrátami třením a místními odpory v potrubí.
- Tlakové ztráty v sacím potrubí je možné stanovit podle ČSN 75 5455 [139].
- Čerpadla musí být opatřena zpětnou armaturou, která může být jejich součástí nebo může být instalována na potrubí.
- Odběrné potrubí se v akumulární nádrži na dešťovou vodu doporučuje ukončit sacím (vtokovým) košem zavěšeným na plováku, aby se nenasávaly nečistoty ze dna a hladiny nádrže.
- Čerpadla automatické tlakové čerpací stanice musí být při nedostatku vody v nádrži automaticky vypnuta.

Návrh zařízení pro doplňování pitné nebo užitkové vody

Metodický návrh systému využití šedých vod SVŠV zahrnuje také specifické požadavky na návrh zařízení pro doplňování pitné nebo užitkové vody. Tyto požadavky vycházejí ze zpracované rešeršní části dizertační práce a jsou popsány v normě ČSN 75 6780 [2] následovně:

- Doplňování pitné nebo užitkové vody má být prováděno automaticky.
- Doplňování pitné nebo užitkové vody do vodovodu provozní vody musí být řešeno v souladu s ČSN EN 1717 [202] a ČSN 75 5409 [197]. Dešťové, šedé a provozní, bílé vody patří do třídy tekutiny 5 podle ČSN EN 1717 [202]. Vnitřní vodovod pitné nebo užitkové vody musí být chráněn volným výtokem typu AA, AB nebo AD, popř. přerušovačem průtoku s trvalým zavzdušněním z ovzduší DC.
- Doplňování pitné nebo užitkové vody do vodovodu provozní vody se provádí v souladu s ČSN EN 1717 [202] buď přes přerušovací nádrž spojenou se sacím potrubím automatické tlakové čerpací stanice, nebo přímo do nádrže provozní vody.
- Při přímém doplňování pitné nebo užitkové vody do nádrže srážkové povrchové vody/provozní vody smí být doplňování provedeno přes přítokové potrubí dešťové vnitřní kanalizace, pokud je v místě doplňování pitné nebo užitkové vody do kanalizačního potrubí osazena ochranná jednotka typu AA, AB, AD nebo DC podle ČSN EN 1717 [202].

- Pokud se doplňování pitné nebo užitkové vody provádí přímo do nádrže provozní vody, musí být volný výtok typu AA, AB nebo AD, popř. přerušovač průtoku s trvalým zavzdušněním z ovzduší DC umístěn mimo nádrž provozní vody v prostorách, které nemohou být zaplaveny.
- V potrubí pro doplňování pitné nebo užitkové vody může docházet ke stagnaci vody, proto je nutné jeho oddělení od ostatního rozvodu ochrannou jednotkou pro třídu tekutiny 2 podle ČSN EN 1717 [202] a ČSN 75 5409 [197].

Poznámka:

Třídy tekutin dle ČSN EN 1717 [202]:

- třída 1: voda určená k lidské spotřebě odebíraná přímo z rozvodné sítě pitné vody;
- třída 2: tekutina, která nepředstavuje žádné ohrožení lidského zdraví. Tekutina uznaná jako vhodná k lidské spotřebě, včetně vody odebírané z rozvodné sítě pitné vody, u které případně došlo ke změně chuti, pachu, barvy nebo teploty;
- třída 3: tekutina, která představuje určité nebezpečí pro lidské zdraví, vzhledem k přítomnosti jedné nebo více toxických látek;
- třída 4: tekutina, která představuje nebezpečí pro lidské zdraví, vzhledem k přítomnosti jedné nebo více toxických nebo velmi toxických látek nebo jedné či více radioaktivních, mutagenních, nebo karcinogenních látek.
- třída 5: tekutina, která představuje nebezpečí pro lidské zdraví, vzhledem k přítomnosti mikrobiologických látek a virů.

Požadavky na vypouštění šedé a bílé vody do kanalizace pro veřejnou potřebu

Metodický návrh systému využití šedých vod SVŠV zahrnuje také specifické požadavky na vypouštění šedé a bílé vody do kanalizace pro veřejnou potřebu. Tyto požadavky vycházejí ze zpracované rešeršní části dizertační práce a jsou popsány v normě ČSN 75 6780 [2] následovně:

- Vody z bezpečnostního přelivu nádrže na šedou vodu a jejího obtoku se odvádí do splaškové nebo jednotné kanalizace.
- Vody z bezpečnostního přelivu nádrže na bílou vodu a jejího obtoku se odvádí do splaškové nebo jednotné kanalizace.

6.2.6 Realizace systému využití šedých vod

Požadavky na realizaci systému využití šedých vod SVŠV ve vybraných objektech je možné rozdělit, s ohledem na normu ČSN 75 6780 [2], na dvě kategorie:

- provádění systému využití šedých vod;
- zkoušení systému využití šedých vod.

Provádění systému využití šedých vod

Metodický návrh systému využití šedých vod SVŠV zahrnuje požadavky na realizace systémů využití šedých vod, jež jsou popsány v normě ČSN 75 6780 [2] následovně:

- Montáž vnitřní kanalizace pro odvádění šedých vod se provádí podle návodů výrobců jejich součástí a podle ČSN EN 1610 [204] a ČSN 75 6760 [210].

- Montáž vnitřního vodovodu provozní, bílé vody se provádí podle návodů výrobců jejich součástí a podle ČSN EN 806-4 [192] a ČSN 75 5409 [197].
- Zařízení pro čištění šedých vod musí být umístěno tak, aby nemohlo dojít k jejich poškození mrazem.
- Pokud jsou nádrže pro čištění šedých vod umístěny ve vnitřních prostorách, mají být tyto prostory větrané.
- Připojování vodovodního potrubí na nádrže provozní, bílé vody umístěné uvnitř budov se provádí podle ČSN EN 806-4 [192].

Zkoušení systému využití šedých vod

Metodický návrh systému využití šedých vod SVŠV zahrnuje požadavky na zkoušení systémů využití šedých vod, jež jsou popsány v normě ČSN 75 6780 [2] následovně:

- Vnitřní kanalizace pro odvádění šedých se zkouší podle ČSN 75 6760 [210].
- Vnitřní vodovod se zkouší podle ČSN EN 806-4 [192] a ČSN 75 5409 [197]. Zakázané propojení vodovodu provozní vody s vodovodem pitné nebo užitkové vody se prověřuje podle ČSN 75 5409 [197].
- Těsnost nádrží, které jsou typovými výrobky, zkouší výrobce. Nádrže, které nejsou typovými výrobky, se zkouší podle ČSN 75 0905 [194].
- Požadavky na výrobky na zařízení pro čištění šedých vod vychází z požadavků ČSN EN 12566-3 [208].
- V případě zakázaného propojení, pokud je součástí výrobku zařízení pro doplňování pitnou nebo užitkovou vodou, musí toto zařízení odpovídat ČSN EN 13076 [201] nebo ČSN EN 13077 [199] nebo ČSN EN 13079 [198] nebo ČSN EN 14453 [200], podle kterých se zařízení pro doplňování pitnou nebo užitkovou vodou také zkouší.
- Požadavky pro hodnocení shody, respektive prohlášení o vlastnostech se provádí podle Kapitoly 9 ČSN EN 12566-3 [208].
- Pro zkoušky výrobku se použije zkouška vodotěsnosti dle Přílohy A z ČSN EN 12566-3 [208].
- Při zkoušce funkčnosti výrobku musí výrobek splňovat technická data uvedená výrobcem v dokumentaci výrobku zejména minimální denní množství zpracované vody - prokazuje se jednodenním testem s použitím pitné vody a kontrolou technických dat komponentů, ze kterých je zařízení vyrobeno. Pokud nejsou data k dispozici, provede se ověření na reálném zařízení.
- Výpočty a zkušební metody pro reakce (chování) stavební konstrukce dle Přílohy C z ČSN EN 12566-3 [208].

6.2.7 Provozování systému využití šedých vod

Požadavky na provozování systému využití šedých vod SVŠV ve vybraných objektech je možné rozdělit, s ohledem na normu ČSN 75 6780 [2], na dvě kategorie:

- provoz a údržba kanalizace šedé a bílé vody;
- provoz a údržba zařízení pro čištění šedé vody.

Provoz a údržba kanalizace šedé a bílé vody

Metodický návrh systému využití šedých vod SVŠV zahrnuje požadavky na provoz a údržbu kanalizace šedé a bílé vody systémů využití šedých vod, jež jsou popsány v normě ČSN 75 6780 [2] následovně:

- Provoz a údržba vnitřní kanalizace se provádí podle ČSN EN 12056-5 [33] a ČSN 75 6760 [210].
- Provoz a údržba vnitřního vodovodu se provádí podle ČSN EN 806-5 [192] a ČSN 75 5409 [197].

Provoz a údržba zařízení pro čištění šedé vody

Metodický návrh systému využití šedých vod SVŠV zahrnuje požadavky na provoz a údržbu zařízení pro čištění šedé vody systémů využití šedých vod, jež jsou popsány v normě ČSN 75 6780 [2] následovně:

- Pro provoz a údržbu zařízení pro využití šedé vody má být zpracován provozní řád. Jeho zpracování zajistí provozovatel zařízení čištění šedé vody systému využití šedých vod.
- O provozu zařízení se vede provozní deník, do kterého se zaznamenávají všechny úkony spojené s kontrolou provozu, servisem a údržbou zařízení pro čištění šedé vody.
- Všechna zařízení pro čištění šedé vody, nádrže, čerpací zařízení a armatury musí být přístupné pro údržbu a opravy.
- Při překročení maximální doby zdržení šedé vody a bílé vody (obvykle překročení doby zdržení 24 h) mají být tyto vody vypuštěny do kanalizace.
- Před vstupem obsluhy do nádrže musí být šedá voda z nádrže vypuštěna a nádrž vypláchnuta pitnou, užitkovou nebo provozní vodou.
- Pracovník vstupující do nádrže musí používat osobní ochranné pracovní prostředky stejné jako při vstupu do kanalizace podle příslušných předpisů.
- Při provozu a údržbě zařízení pro využití šedé vody je třeba se řídit návodem výrobce. Pokud výrobce neuvede jinak, má se údržba provádět způsobem a nejméně v intervalech uvedených v tabulce 16 přílohy č.1 a č.2 dizertační práce.

6.2.8 Závěr, metodický postup návrhu systému využití šedých vod

Metodický postup návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech navazuje na zpracovanou řešeršní 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. 6.21 a je přehledně popsán v předcházejícím textu a v přílohách č. 1 a č. 2 dizertační práce.

6.3 STUDIE VYUŽITELNOSTI NA VYBRANÝCH LOKALITÁCH

6.3.1 Výběr vhodné lokality pro aplikaci systému využití šedých vod

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.

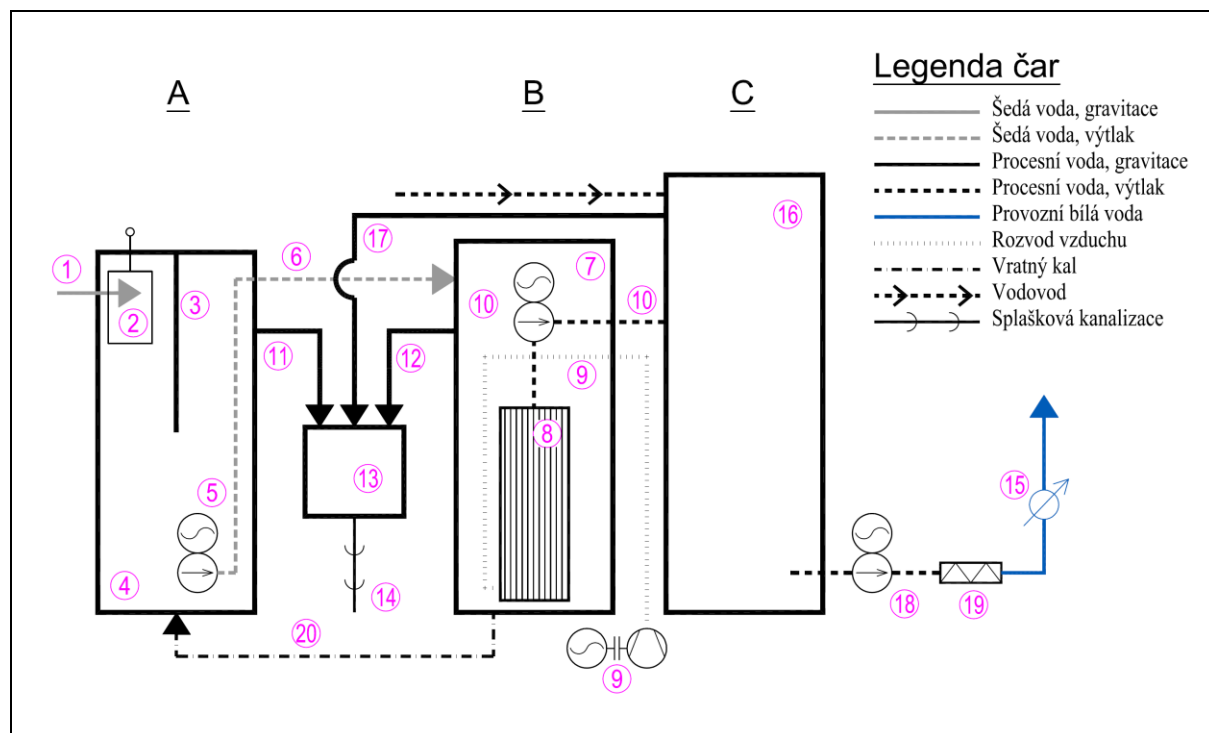
V této kapitole dizertační práce nejsou, z důvodu značného rozsahu řešených studií, uvedeny veškeré informace, respektive technické popisy, výpočty a výkresy k řešeným lokalitám. V této kapitole dizertační práce jsou tedy zpracovány podstatné skutečnosti a závěry z řešených studií, jež zpracovatel dizertační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

Ve výše uvedených případových studiích, s výjimkou více generačního rodinného domu v Břeclavi viz 6.1.4, je uvažováno s totožným složením zařízení čištění šedých vod, viz Obr. 6.23 Technologické schéma zařízení čištění šedých vod s využitím membránové mikrofiltrace, případové studie. Zařízení pro čištění šedých vod systému využití šedých vod, které bylo navrženo v souladu s kapitolou dizertační práce 6.2.5, se skládá ze tří hlavních technologických nádrží a to:

- akumulární vyrovnávací nádrž šedé vody;
- nádrž čištění šedé vody;
- akumulární nádrž bílé vody.

Šedá voda je přivedena vnitřní kanalizací šedé vody do akumulární vyrovnávací nádrže, ve které je na přítokovém potrubí osazeno vyjímatelné síto jako součást mechanického předčištění. Toto síto zamezí vniknutí větších nečistot, jako jsou vlasy, nitě, kusy látky do čistícího procesu zařízení čištění šedé vody. Akumulární vyrovnávací nádrž je opatřena nornou stěnou pro zamezení vniknutí lipidů do procesu čištění odpadních vod. Akumulární vyrovnávací nádrž je také vybavena bezpečnostním havarijním přepadem zaústěným do kanalizace pro veřejnou potřebu v případě možného selhání systému využití šedých vod.

Z akumulární vyrovnávací nádrže šedé vody je takto akumulovaná šedá voda čerpána do nádrže čištění šedé vody s osazenou membránovou technologií s aplikací mikrofiltrace, tj. aplikace MBR technologie SiClaro nebo INTEWA GmbH C-MEM System. Nádrž čištění šedých vod je také opatřena bezpečnostním havarijním přepadem zaústěným do kanalizace pro veřejnou potřebu.



Obr. 6.23 Technologické schéma zařízení čištění šedých vod s využitím membránové mikrofiltrace, případové studie

(legenda: A-akumulační vyrovnávací nádrž šedé vody, B-nádrž čištění šedé vody, C-akumulační nádrž bílé vody; 1-přítok šedé vody, 2-mechanické předčištění, vyjímatelné síto, 3-norná stěna, 4-akumulační vyrovnávací nádrž šedé vody, 5-ponorné kalové čerpadlo s plovákem, 6-výtlač šedé vody do nádrže čištění šedé vody, 7-nádrž čištění šedé vody, 8-MBR jednotka, mikrofiltrace, 9-kompresor, přívod vzduchu do MBR jednotky, 10-výtlač bílé vody z MBR jednotky, 11-bezpečnostní přepad z akumulací vyrovnávací nádrže šedé vody, 12-bezpečnostní přepad z nádrže čištění šedé vody, 13-kanalizační objekt, 14-odtok do splaškové kanalizace, 15-průtokoměr, 16-akumulační nádrž bílé vody, 17-bezpečnostní přepad z nádrže čištění šedé vody, 18-čerpadlo s tlakovou nádobou, výtlač do spotřebiště, 19-dezinfekce, 20-vratný kal)

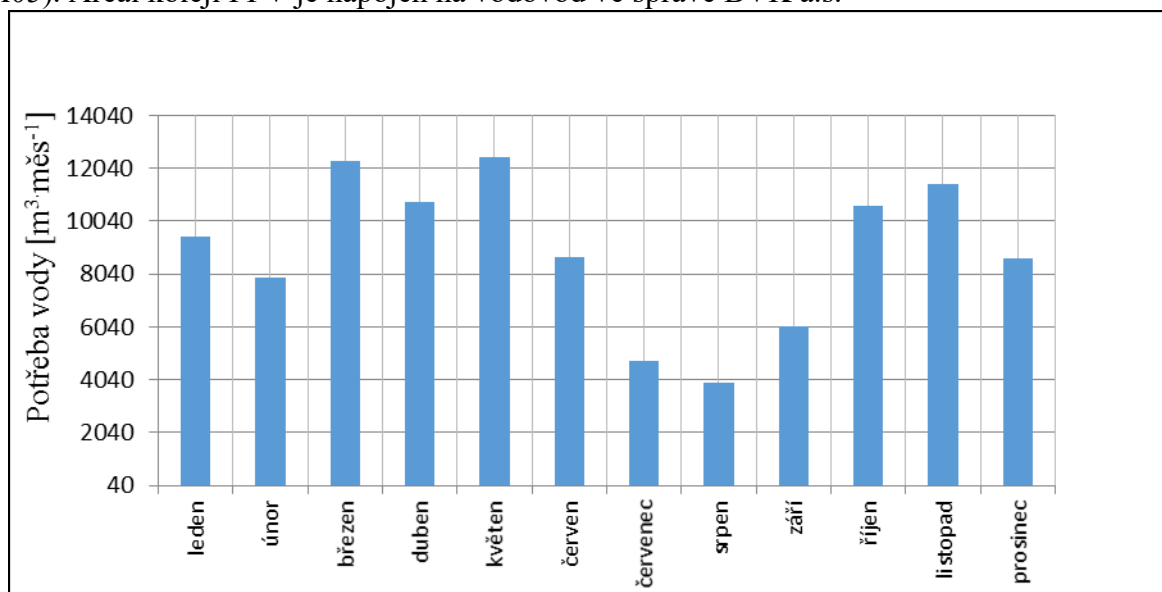
Z nádrže čištění šedé vody je vyčištěná šedá voda, tedy bílá voda transportována do akumulací nádrže bílé vody za účelem dalšího využití. Tato akumulací nádrž je opět opatřena bezpečnostním havarijním přepadem do kanalizace pro veřejnou potřebu. Pro využití bílé vody je potřeba osadit k akumulací nádrži čerpadlo s tlakovou nádobou. Hygienické zabezpečení nezávadnosti bílé vody zajišťuje osazená UV lampa na výtlačku bílé vody. V případě nedostatku vyčištěné bílé vody je možné systém doplnit vodou z veřejného vodovodu a to prostřednictvím vzduchové mezery nebo trojcestného ventilu zaústěného přímo do akumulací nádrže bílé vody. Rozvod vnitřního vodovodu bílé vody nesmí být propojen s jiným zdrojem nebo rozvodem vody v objektu, viz metodický pokyn pro technický návrh systému využití šedých vod v kapitole 6.2.5 dizertační práce.

6.3.2 Vysokoškolské koleje v Brně s potřebou bílé vody 510 m³ a 1650 m³ za měsíc

Případovou studií jsou vysokoškolské koleje v Brně, areálu Pod Palackého vrchem (dále označen jako PPV), kampus Vysokého učení technického v Brně nacházející se v části Královo Pole, k.ú. Královo Pole (611484), v blízkosti Palackého vrchu (322 m n.m., součást přírodní památky Medláneckého kopce). V areálu kampusu sídlí čtyři fakulty a areál kolejí Pod Palackého Vrchem (PPV).

PPV je největší areál kolejí v Brně s kapacitou 3200 lůžek s třílůžkovými pokoji s vlastním sociálním zařízením a kuchyňkou společnou pro dva pokoje (blok A02, A03) a

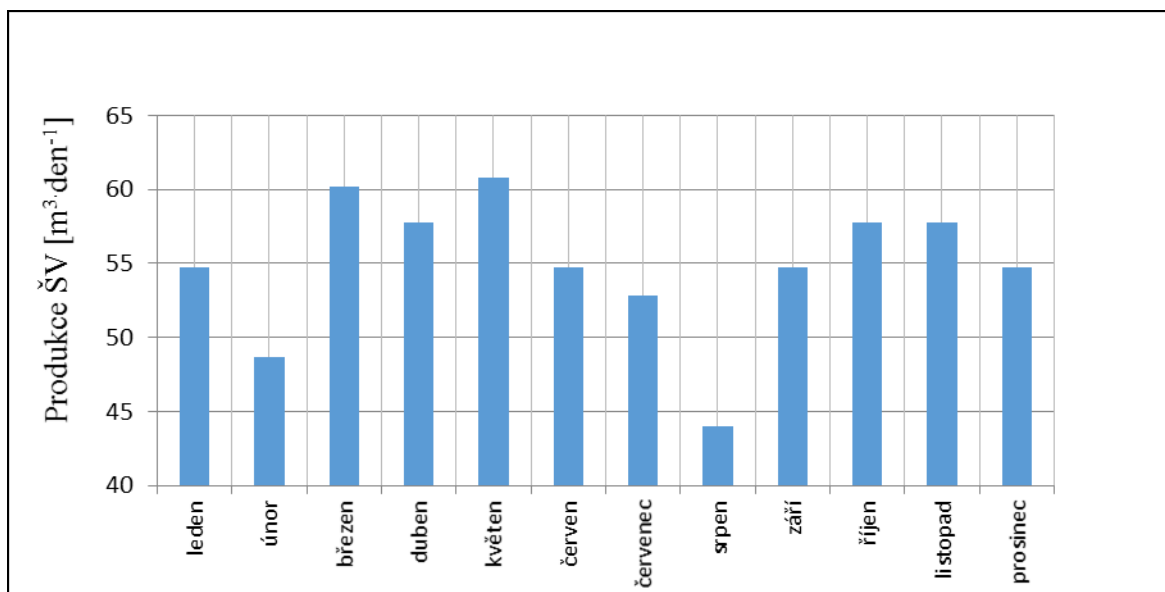
dvojlůžkových pokojů se sociálním zařízením a kuchyňkou společnou pro dva pokoje (A04 a A05). Areál kolejí PPV je napojen na vodovod ve správě BVK a.s.



Obr. 6.24 Průběh potřeby pitné vody v průběhu roku 2011, blok A04

Pro potřeby studie byly správou kolejí a menz předány hodnoty odběrů pitné vody z veřejného vodovodu, kdy maximální potřeba pitné vody, odebraná v roce 2011, byla $12\,447 \text{ m}^3 \cdot \text{měs}^{-1}$, průměrná $8\,914 \text{ m}^3 \cdot \text{měs}^{-1}$, průběh potřeby je zřejmý z Obr. 6.24 Průběh potřeby pitné vody v průběhu roku 2011, blok A04, průběh produkce šedé vody z Obr. 6.25 Průběh produkce šedé vody v průběhu roku 2011, blok A04. Další informace jsou uvedeny v tabulce Tab. 6.35 Produkce šedé vody v jednotlivých blocích PPV. Vstupní parametry pro návrh systému využití šedých vod:

- počet lůžek areálu: 3200 ks (celý areál kolejí PPV);
- počet lůžek bloku A04: 700 ks;
- max. potřeba vody areálu při 100 % obsazenosti: $12\,447 \text{ m}^3 \cdot \text{měs}^{-1}$ (2011);
- průměrná potřeba vody areálu za rok: $8\,914 \text{ m}^3 \cdot \text{měs}^{-1}$ (2011);
- dopočítaná průměrná potřeba vody bloku A04: $82 \text{ m}^3 \cdot \text{měs}^{-1}$ (2011);
- dopočítaný procentuální podíl produkované šedé vody bloku A04: 65 %;
- dopočítaný procentuální podíl potřeby bílé vody bloku A04: 30 %;
- dopočítaná specifická potřeba vody na ubyt. studenta bloku A04: $130 \text{ l.os.den}^{-1}$.



Obr. 6.25 Průběh produkce šedé vody v průběhu roku 2011, blok A04

Tab. 6.35 Produkce šedé vody v jednotlivých blocích PPV

Měsíc	Potřeba vody*	Průměrná obsazenost PPV	Počet osob celý PPV	Počet osob na blok A02 + A03**	Počet osob na blok A04	Počet osob na blok A05	Potřeba vody - blok A04	Produkce šedé vody - blok A04
[-]	[m³.měs⁻¹]	[%]	[osob]	[osob]	[osob]	[osob]	[m³.den⁻¹]	[m³.den⁻¹]
leden	9443	76	2428	1168	630	630	82	53
únor	7925	64	2037	917	560	560	73	47
březen	12327	99	3169	1783	693	693	90	58
duben	10760	86	2766	1436	665	665	86	56
květen	12447	100	3200	1800	700	700	91	59
červen	8660	70	2226	966	630	630	82	53
červenec	4732	38	1217	0	608	609	79	51
srpen	3940	32	1013	0	507	506	66	43
září	6064	49	1559	299	630	630	82	53
říjen	10609	85	2727	1397	665	665	86	56
listopad	11433	92	2939	1609	665	665	86	56
prosinec	8627	69	2218	958	630	630	82	53
Celkem	106967	72	2292	1028	632	632	82	53

Pozn: *údaje poskytnuty vedením kolejí a menz VUT v Brně za rok 2011 pro veškeré ubytování PPV; **přes prázdniny funguje pouze blok A04 a A05, ostatní bloky jsou prázdné

Předmětem případové studie systému využití šedých vod je blok kolejí A04, situovaný v severovýchodní části areálu PPV. Jedná se o devíti podlažní panelový objekt s kapacitou 700 lůžek. Potřeba vody v průběhu roku kolísá, což je způsobeno nerovnoměrnou obsazeností kolejí. Nižších hodnot dosahuje o prázdninách a víkendech, kdy většina studentů se vrací do míst svého trvalého bydliště. Šedé vody z umyvadel, ze sprch a van, které nejsou nadměrně znečištěny a vyžadují základní čistící procesy, jsou v bloku A04 sbírány a čištěny v suterénních prostorách budovy. Vyčištěnou šedou vodu můžeme využít jako vodu provozní „bílou“ pro splachování toalet a k závlaze travnatých ploch v přilehlém areálu kolejí.

Pro stanovení využitelnosti šedých vod v bloku A04 byl proveden návrh systému využití šedých vod spočívající v případové studii dvou variant:

- varianta 1, využití části šedé vody z části bloku A04 jen pro splachování toalet bílou vodou pro celý blok A04;
- varianta 2, využití veškeré vyprodukované šedé vody z bloku A04 pro splachování toalet bílou vodou v celém bloku A04 a ve vedlejším bloku A05, přebytek bílé vody je použit pro závlahu travnaté plochy v areálu kolejí PPV.

V rámci případové studie byl proveden návrh systému vnitřní kanalizace šedé vody, zaústěný do čisticí jednotky systému využití šedé vody v suterénním prostoru budovy, dále pak samostatný rozvod vnitřního vodovodu bílé vody k dalšímu užití, tj. pro splachování toalet. Vzhledem ke stísněným prostorovým podmínkám stávajícího uspořádání potrubí ve stoupacích šachtách vnitřní instalace zdravotnické není možné uvažovat s pouhým doplněním vnitřní kanalizace šedé vody a vnitřního vodovodu bílé vody. Je nutné provést rekonstrukci stoupacích potrubí s novým dispozičním rozmístěním potrubí. Náklady na rekonstrukci stoupacích potrubí nejsou v investičních nákladech zohledněny, předpokládá se rekonstrukce celé budovy ve výhledu do 5 roků.

Pro posouzení ekonomické návratnosti SVŠV, respektive pro stanovení diskontované doby návratnosti byla zpracována regresní křivka vývoje cen vodného a stočného v Brně, vycházející s aktuálních cen pro roky 2006 až 2015. Dále byly navrženy dimenze potrubí na základě normových výpočtových odtoků ze zařizovacích předmětů v jednotlivých podlažích, viz tabulka Tab. 6.36 Počet zařizovacích předmětů v bloku A04, dle druhu a rozmístění zařizovacích předmětů jednotlivých pokojů, viz Obr. 6.26 Dispoziční uspořádání zařizovacích předmětů, blok A04. Byl proveden návrh dvojitého rozvodu potrubí, tj. návrh pro vnitřní kanalizaci a vnitřního vodovodu, tj. svislého a ležatého trubního vedení, viz Obr. 6.28 Výřez výkresu půdorysu suterénu s návrhem dvojího rozvodu vnitřní kanalizace a vodovodu, blok A04.

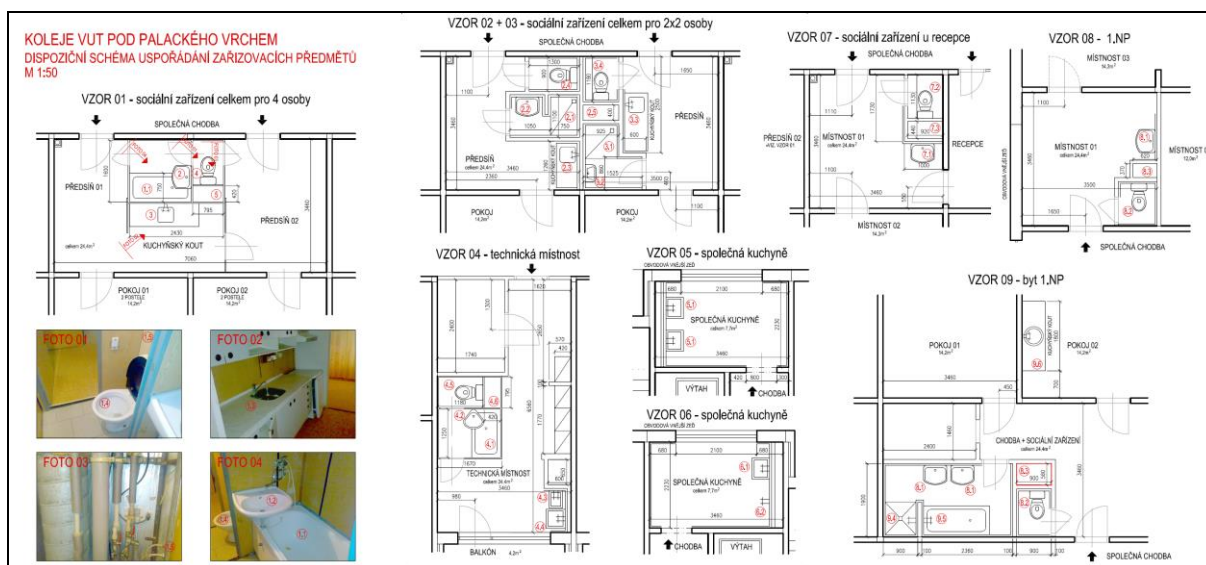
Tab. 6.36 Počet zařizovacích předmětů v bloku A04

Podlaží	Zařizovací předmět [druh/počet]							
	WC pro 4 osoby	WC nerozliš. (2+ osob)	vana pro 4 osoby	umyvadlo pro 4 osoby	umyvadlo nerozliš. (2+ osob)	dřez pro 4 osoby	dřez nerozliš. (2+ osob)	vana/sprchovací kout+ umyvadlo
08	20	2	20	20	2	20	5	2
07	20	2	20	20	2	20	5	2
06	20	2	20	20	2	20	5	2
05	20	2	20	20	2	20	5	2
04	20	2	20	20	2	20	5	2
03	20	2	20	20	2	20	5	2
02	20	2	20	20	2	20	5	2
01	13	11	13	13	3	13	11	11
Celkem	153	25	153	153	17	153	46	25

Pro hydraulický výpočet dimenze potrubí byly definovány následující podmínky:

- na odpadní potrubí DN 60 nesmějí být napojovány žádné pisoáry;
- na odpadní potrubí DN 70 nesmějí být napojovány žádné záchodové mísy ani keramické výlevky s napojením DN 100;
- odpadním potrubím DN 60, DN 70 a DN 90 nesmějí být odváděny splašky s tuky od velkokuchyňských zařízení;
- možno napojovat pouze záchodové mísy s nádržkovým splachovačem o objemu menším než 6 l, nesmí se napojovat žádné výlevky s napojením DN 100.

Šedá voda sbírána z umyvadel na mytí rukou, van a sprch celkem z osmi stoupacích šachet, bude svedena novým potrubím šedé vody z PP HT 60, 70, 80, 90, 100, 125 do čistící jednotky systému využití šedých vod situované ve sklepních prostorách budovy bloku A04. V rámci této stavby dojde k propojení vybraných zařízovacích předmětů do takto navrženého potrubí, v suterénních prostorách bude potrubí zavěšeno pod stropem. Provedou se prostupy přes zdi, které budou po skončení stavebních prací zabetonovány. Je navržena čistící jednotka sestávající se z 3 nádrží, viz popis v úvodní kapitole 6.3.1 této části dizertační práce. Vyčištěná šedá voda, tedy bílá voda je dopravována samostatným potrubím vnitřního vodovodu bílé vody přes stoupací šachty, až do jednotlivých místností sociálního zařízení pro splachování toalet.

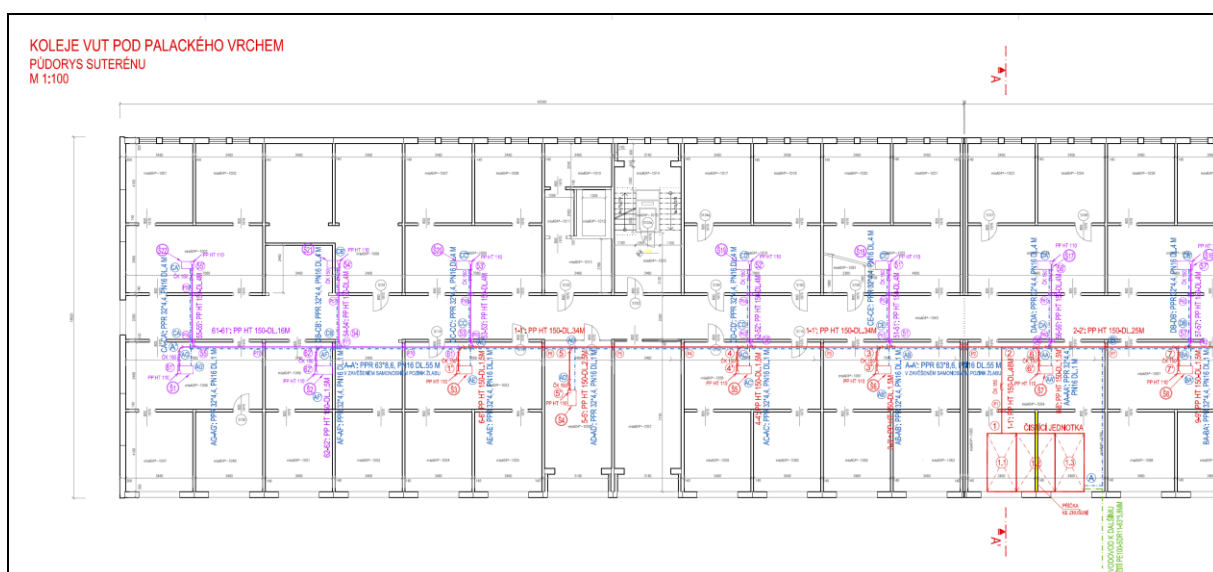


Obr. 6.26 Dispoziční uspořádání zařízovacích předmětů, blok A04

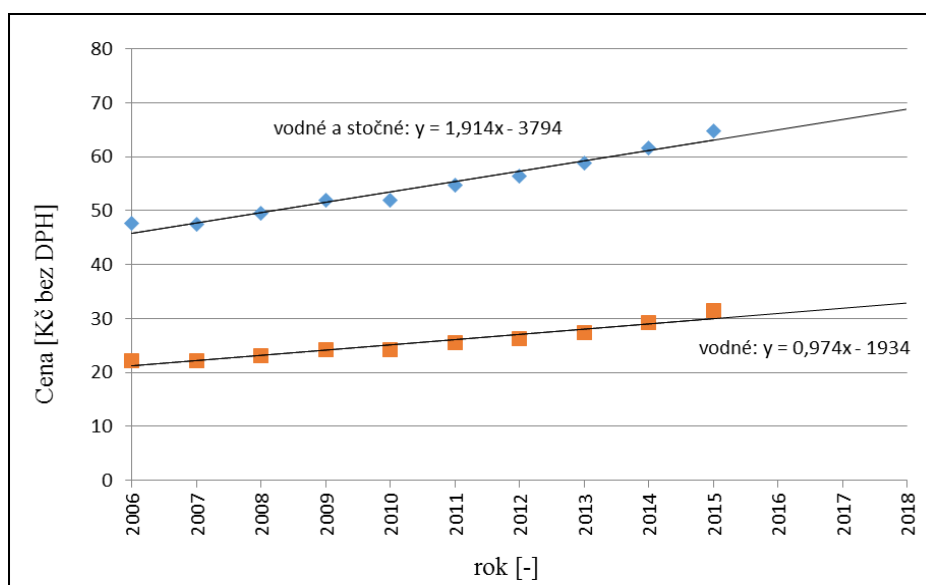
Ve výpočtu obou variant je uvažováno s vývojem ceny vodného a stočného v městě Brno, viz Obr. 6.29 Vývoj ceny vodného a stočného v Brně stanoveného z porovnání vodného a stočeného bez DPH a samostatně vodného bez DPH pro roky 2006 až 2015. Dále jsou započítány provozní náklady na elektrickou energii, výměnu zářiče UV lampy 1 krát za 2 roky, dále pak s regenerací membrány 2 krát ročně, výměna aktivovaného kalu 1 krát ročně. Investiční náklady jsou stanoveny na základě propočtu nákladů na materiál, práci a režie, cena stavby včetně nákladů na technologii. Investiční náklady stavby autor dizertační práce zpracoval samostatně podle rozpočtového programu RTS stavitel. Investiční náklady na technologii čistící jednotky systému využití šedých vod a provozní náklady projednal s partnerem projektu TAČR s firmou ASIO, spol. s r.o.



Obr. 6.27 Pohled do suterénu bloku A04 určeného k osazení čistící jednotky systému využití šedých vod



Obr. 6.28 Výřez výkresu půdorysu suterénu s návrhem dvojího rozvodu vnitřní kanalizace a vodovodu, blok A04



Obr. 6.29 Vývoj ceny vodného a stočného v Brně

Pro dvě varianty jsou vypočteny investiční náklady na stavební část a technologickou část s následujícími hodnotami:

- varianta 1, stavební část: 1,50 mil. Kč bez DPH, technologie: 1,10 mil. Kč bez DPH;
- varianta 2, stavební část: 1,90 mil. Kč bez DPH, technologie: 1,45 mil. Kč bez DPH;

Při použití softwaru, respektive dílčí části aplikace s názvem 4 Posouzení ekonomické návratnosti SVŠV, v případě vyčištění šedé vody a využití bílé vody v množství $17 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$, tj. $530 \text{ m}^3 \cdot \text{měsíc}^{-1}$, varianty 1, tj. pouze pro splachování toalet, je předpokládaná návratnost pořizovací investice se započítáním investičních nákladů při podílu úvěru na financování ve výši 10,0 % z celkových investičních nákladů a diskontní sazby 5,0 % vypočtena mezi 12. a 13. rokem provozu.

Při použití softwaru, respektive dílčí části aplikace s názvem 4 Posouzení ekonomické návratnosti SVŠV, v případě vyčištění veškeré šedé vody z bloku A04 a využití bílé vody v množství $55 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$, tj. $1650 \text{ m}^3 \cdot \text{měsíc}^{-1}$, varianty 2, pro splachování toalet v bloku A04 a mimo areál, je předpokládaná návratnost pořizovací investice se započítáním investičních nákladů při podílu úvěru na financování ve výši 10,0 % z celkových investičních nákladů a diskontní sazby 5,0 % vypočtena mezi 6. a 7. rokem provozu.

6.3.3 Prádelna v Brně s potřebou bílé vody 240 m^3 za měsíc

Stávající objekt je součástí řadové zástavby na ulici Křenová v Brně. V přízemí objektu je umístěna řešená sběrna a provozovna čištění textilu. Jedná se o chemickou čistírnu, ve které se perou oděvy na nízké teploty praní prádla a to 30 až 40 °C, kde voda je přehřívána z chlazení chemických strojů na cca 20 až 30 °C. Provoz sběrný a praní prádla probíhá ve všední dny. Potřeba vody je z veřejného vodovodního řádu ve správě BVK, a.s., kdy průměrná potřeba vody pro provoz sběrný a provozovny textilu je cca 240 m^3 za měsíc. Provozovna funguje pouze ve všední dny.

Předmětem případové studie využitelnosti šedých vod v této vybrané lokalitě je koncepční řešení podchycení šedé vody z praní prádla, čištění a zpětné využití vyčištěné bílé vody pro opětovné použití praní prádla. Pro stanovení využitelnosti šedých vod ze sběrný a provozovny čištění textilu pro opětovné využití vyčištěné vody k technologickým účelům praní prádla je uvažováno s novým technologickým sběrným potrubím vnitřní kanalizace šedé vody z praček a zařizovacích předmětů sociálního zařízení. Je potřeba provést nové technologické potrubí vnitřní kanalizace šedé vody podchycující odpad z praček a svedení do sběrné akumulací vyrovnávací nádrže čistící jednotky SVŠV. Čistící jednotka SVŠV vod se skládá ze tří hlavních technologických nádrží a odpovídá popisu v obrázku Obr. 6.23 Technologické schéma zařízení čištění šedých vod s využitím membránové mikrofiltrace, případové studie.

Vzhledem ke stísněným prostorovým možnostem stávajícího uspořádání technologického vybavení sběrný a provozovny čištění textilu je potřeba uvažovat s dílčím vymezením půdorysného prostoru cca $3,0 \times 1,5 \text{ m}$ pro osazení čistící jednotky SVŠV. Dále je potřeba uvažovat se zapuštěním akumulací vyrovnávací nádrže šedé vody na přítoku šedých vod a to pod úroveň sběrného potrubí vnitřní kanalizace šedé vody z praček a sociálního zařízení, což vzhledem k dispozici v objektu je značně komplikované.

Je uvažováno s rozvedem vnitřního vodovodu bílé vody po stěnách místností až k místu potřeby, tedy k přívodům vody do praček a toalety sociálního zařízení provozovny. Je uvažováno s průměrnou produkcí šedé vody $12 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ a potřebou bílé provozní vody $12 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$. Vstupní parametry:

- průměrná potřeba vody prádelny za měsíc: $240 \text{ m}^3 \cdot \text{měs}^{-1}$ (2013);
- dopočítaná průměrná potřeba vody prádelny za den ve všední dny: $12 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$;
- dopočítaný procentuální podíl produkované šedé vody: 100 %;
- dopočítaná potřeba bílé vody pro praní prádla ve všední dny: $12 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$.

Ve výpočtu obou variant je uvažováno s vývojem ceny vodného a stočného v městě Brno, viz Obr. 6.29 Vývoj ceny vodného a stočného v Brně. Dále jsou započítány provozní náklady na elektrickou energii, výměnu zářiče UV lampy 1 krát za 2 roky, dále pak s regenerací membrány 2 krát ročně, výměna aktivovaného kalu 1 krát ročně. Investiční náklady stavby autor dizertační práce zpracoval samostatně podle rozpočtového programu RTS stavitel, tj. stavební část: 0,13 mil. Kč bez DPH, technologie: 0,80 mil. Kč bez DPH. Investiční náklady na technologii čisticí jednotky systému využití šedých vod a provozní náklady projednal s partnerem projektu TAČR s firmou ASIO, spol. s r.o.



Obr. 6.30 Stávající technologie praní prádla v prádelně Brno

Při použití softwaru, respektive dílčí části aplikace s názvem 4 Posouzení ekonomické návratnosti SVŠV, vyčištění šedé vody v množství $12 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ a využití bílé vody v totožném množství $12 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ pro praní prádla a splachování toalet je předpokládána návratnost pořizovací investice se započítáním investičních nákladů při podílu úvěru na financování ve výši 10,0 % z celkových investičních nákladů a diskontní sazby 5,0 % vypočtena mezi 7. a 8. rokem provozu.

6.3.4 Prádelna v Hodoníně s potřebou bílé vody 500 m^3 za měsíc

Stávající objekt je součástí bývalého průmyslového areálu elektrárny v Hodoníně. Jedná se o přízemní objekt, ve kterém je umístěna provozovna čištění průmyslového textilu. Potřeba vody je prováděna z řeky, malá část z vodovodního řádu ve správě společnosti Vodovody a kanalizace Hodonín, a.s., kdy průměrná potřeba vody pro provoz sběrný a provozovny textilu je cca 500 m^3 za měsíc, provozovna funguje pouze ve všední dny.

Předmětem studie využitelnosti šedých vod je koncepční řešení podchycení šedé vody z praní prádla, čištění a zpětné využití vyčištěné bílé vody pro opětovné použití k praní prádla.

Pro stanovení využitelnosti šedých vod z průmyslové provozovny čištění textilu pro opětovné využití vyčištěné vody k technologickým účelům praní prádla je uvažováno s novým potrubím vnitřní kanalizace šedé vody z praček. Je potřeba provést nové potrubí šedé vody podchycující odpad z praček, svedení do akumulární vyrovnávací nádrže čištění šedé vody čisticí jednotky SVŠV. Čisticí jednotka SVŠV se skládá ze tří hlavních technologických

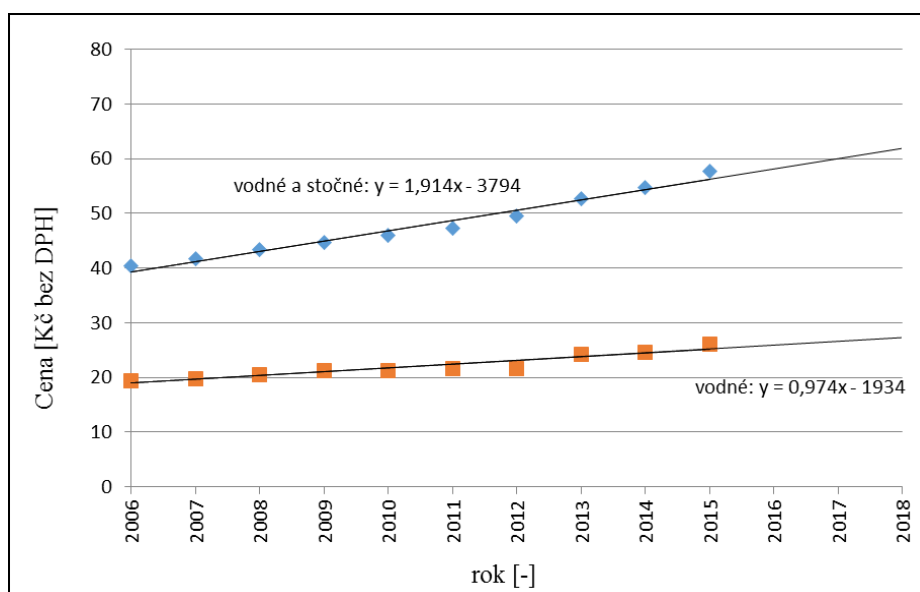
nádrží a odpovídá popisu v obrázku Obr. 6.23 Technologické schéma zařízení čištění šedých vod s využitím membránové mikrofiltrace, případové studie.

Vzhledem ke stísněným prostorovým možnostem stávajícího uspořádání technologického vybavení sběrný a provozovny čištění textilu je potřeba uvažovat s dílčím vymezením půdorysného prostoru cca 3,0*1,5 m pro osazení čistící jednotky SVŠV v rohu místnosti nebo vně objektu s řešením jako podzemní nádrž. Dále je potřeba uvažovat se zapuštěním akumulární vyrovnávací nádrže na přítoku šedých vod a to pod úroveň sběrného potrubí z praček, tj. pod stávající podlahu nebo vně objektu pod terénem.

Je uvažováno s dopravou vnitřního vodovodu bílé vody samostatným rozvodem po stěnách místností až k místu potřeby, tedy k přívodům vody do praček a případně do toalety.

Je uvažováno s průměrnou produkcí šedé vody $25 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ a potřebou bílé provozní vody $25 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$. Vodné pro odběr z řeky pro rok 2013 bylo 5 Kč.m⁻³ vč. DPH, vývoj ceny vodného a stočného v Hodoníně odpovídá grafu obrázku Obr. 6.31 Vývoj ceny vodného a stočného v Hodoníně. Vstupní parametry:

- průměrná potřeba vody prádelny za měsíc: $500 \text{ m}^3 \cdot \text{měs}^{-1}$ (2013);
- dopočítaná průměrná potřeba vody prádelny za den ve všední dny: $25 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$;
- dopočítaná potřeba bílé vody pro praní prádla ve všední dny: $25 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$.



Obr. 6.31 Vývoj ceny vodného a stočného v Hodoníně

Ve výpočtu obou variant je uvažováno s vývojem ceny vodného a stočného v městě Hodonín. Dále jsou započítány provozní náklady na elektrickou energii, výměnu zářiče UV lampy 1 krát za 2 roky, dále pak s regenerací membrány 2 krát ročně, výměna aktivovaného kalu 1 krát ročně. Investiční náklady stavby autor dizertační práce zpracoval samostatně podle rozpočtového programu RTS stavitel, tj. stavební část: 0,09 mil. Kč bez DPH, technologie: 1,26 mil. Kč bez DPH. Investiční náklady na technologii čistící jednotky systému využití šedých vod a provozní náklady projednal s partnerem projektu TAČR s firmou ASIO, spol. s r.o.



Obr. 6.32 Stávající technologie praní prádla v prádelně Hodonín

V případě vyčištění šedé vody v množství $25 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ a využití bílé vody v ideálním využití $25 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ pro praní prádla a splachování toalet při uvažovaném odběru vody z řeky varianty 1, není možné uvažovat návratnost pořizovací investice.

Při použití softwaru, respektive dílčí části aplikace s názvem 4 Posouzení ekonomické návratnosti SVŠV, v případě vyčištění veškeré šedé vody v množství $25 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ a využití bílé vody v ideálním využití $25 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ pro praní prádla a splachování toalet při uvažovaném odběru vody z vodovodu pro veřejnou potřebu je předpokládána návratnost pořizovací investice se započítáním investičních nákladů při podílu úvěru na financování ve výši 10,0 % z celkových investičních nákladů a diskontní sazby 5,0 % vypočtena až po 11 roce provozu a to z důvodu nízké ceny vodného pro město Hodonín, tj. pokud by se jednalo o ceny vodného a stočného ve výši cen jako v Brně, byla by pak návratnost pořizovací investice mezi 5. a 6. rokem provozu.

6.3.5 Prádelna v lázních s potřebou bílé vody 363 m^3 za měsíc

Stávající objekt prádelny je součástí areálu lázní na jižní Moravě. V přízemí objektu budovy je umístěna řešená prádelna textilu. Jedná se o čistírnu, ve které se perou oděvy z provozu lázní. Praní prádla probíhá ve všední dny. Potřeba vody je uspokojována z veřejného vodovodního řádu ve správě Vodovody a kanalizace Hodonín, a.s., kdy průměrná potřeba vody pro provoz prádelny je cca 363 m^3 za měsíc, viz tabulka Tab. 6.37 Produkce šedé vody, prádelna v lázních a graf v obrázku Obr. 6.33 Prádelna v lázních, průběh produkce šedé vody, leden až červenec 2012. Prádelna funguje pouze ve všední dny.

Předmětem případové studie využitelnosti šedých vod je koncepční řešení podchycení šedé vody z praní prádla, čištění a zpětné využití vyčištěné bílé vody pro opětovné použití praní prádla. Pro stanovení využitelnosti šedých vod pro opětovné využití vyčištěné vody k technologickým účelům praní prádla je uvažováno s novým potrubím vnitřní kanalizace šedé vody z praček. Je potřeba provést nové potrubí vnitřní kanalizace šedé vody podchycující odpad z praček se svedením do akumulární vyrovnávací nádrže čistící jednotky SVŠV. Čistící jednotka SVŠV se skládá ze tří hlavních technologických nádrží a odpovídá popisu v obrázku Obr. 6.23 Technologické schéma zařízení čištění šedých vod s využitím membránové mikrofiltrace, případové studie.

Vzhledem ke stísněným prostorovým možnostem stávajícího uspořádání technologického vybavení sběrný a provozovny čištění textilu je potřeba uvažovat s dílčím vymezením půdorysného prostoru cca $3,0 \times 1,5 \text{ m}$ pro osazení čistící jednotky SVŠV. Dále je potřeba uvažovat se zapuštěním akumulární vyrovnávací nádrže na přítoku šedých vod a to pod

úroveň sběrného potrubí z praček a sociálního zařízení, což vzhledem k dispozici v objektu je značně komplikované.

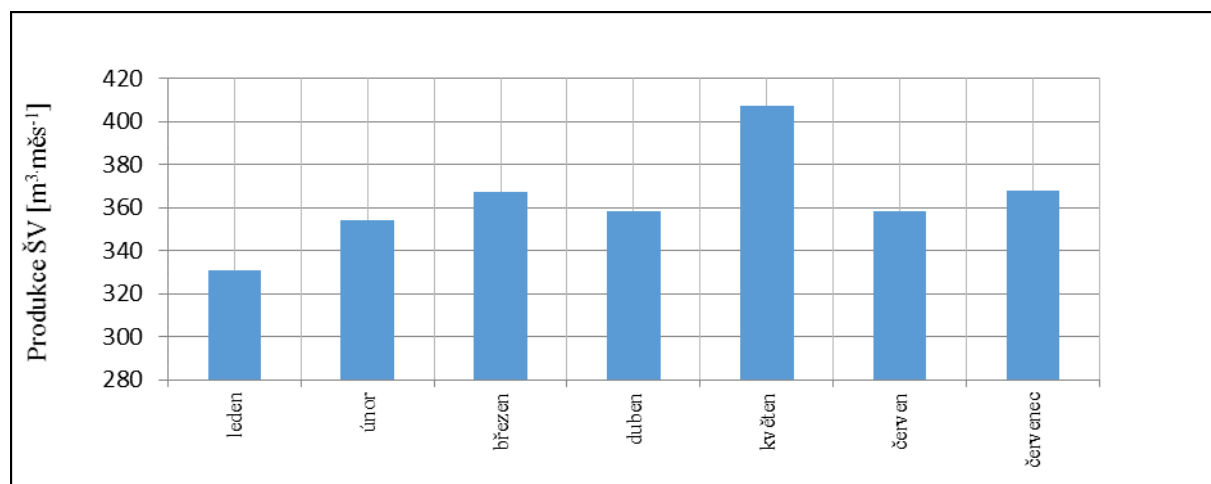
Je uvažováno s dopravou vnitřního vodovodu bílé vody samostatným rozvodem po stěnách místností až k místu potřeby, tedy k přívodům vody do praček. Je uvažováno s průměrnou produkcí šedé vody $18 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ a potřebou bílé provozní vody $18 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$. Vstupní parametry:

- průměrná potřeba vody prádelny v lázních za měsíc: $363 \text{ m}^3 \cdot \text{měs}^{-1}$ (2012);
- dopočítaná průměrná potřeba vody prádelny za den ve všední dny: $18 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$;
- dopočítaná potřeba bílé vody pro praní prádla ve všední dny: $18 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$.

Tab. 6.37 Produkce šedé vody, prádelna v lázních

Měsíc	Potřeba studené vody*	Potřeba teplé vody*	Ohřev teplé vody*	Pára*	El. Energie*	Celková produkce šedé vody	Cena za vodné +stočné	Cena celková bez DPH
[-]	[$\text{m}^3 \cdot \text{měs}^{-1}$]	[$\text{m}^3 \cdot \text{měs}^{-1}$]	[$\text{m}^3 \cdot \text{měs}^{-1}$]	[GJ]	[kWh]	[$\text{m}^3 \cdot \text{měs}^{-1}$]	[Kč. měs ⁻¹]	[Kč. měs ⁻¹]
leden	234	97	97	109	1575	331	16391	65321
únor	259	95	95	110	1619	354	17530	66777
březen	272	95	95	118	1806	367	18174	70683
duben	265	93	93	106	1905	358	17728	66211
květen	302	105	105	120	2833	407	20155	76827
červen	265	93	93	108	2902	358	17728	69564
červenec	272	96	96	107	3233	368	18223	70817
suma	1869	674	674	778	15873	2543	125929	486199
průměr	267	96	96	111	2268	363	17990	69457

Pozn: *údaje poskytnuty provozovatelem lázní za rok 2012



Obr. 6.33 Prádelna v lázních, průběh produkce šedé vody, leden až červenec 2012

V ekonomické návratnosti pořizovací investice je uvažováno s vývojem ceny vodného a stočného v městě Hodonín, viz graf v obrázku Obr. 6.31. Dále jsou započítány provozní náklady na elektrickou energii, výměnu zářivky UV lampy 1 krát za 2 roky, dále pak s regenerací membrány 2 krát ročně, výměna aktivovaného kalu 1 krát ročně. Investiční náklady stavby autor dizertační práce zpracoval samostatně podle rozpočtového programu RTS stavitel, tj. stavební část: 0,12 mil. Kč bez DPH, technologie: 1,10 mil. Kč bez DPH.

Investiční náklady na technologii čisticí jednotky systému využití šedých vod a provozní náklady projednal s partnerem projektu TAČR s firmou ASIO, spol. s r.o.



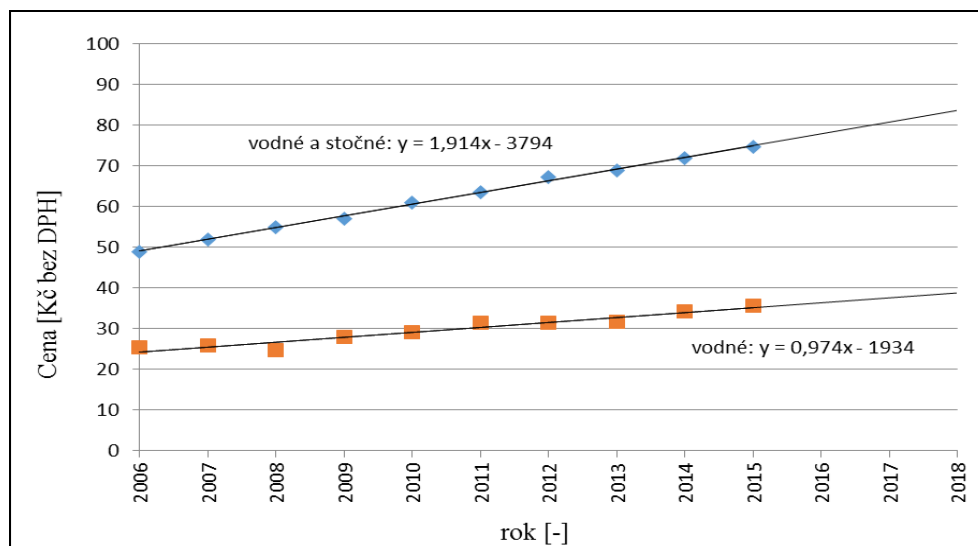
Obr. 6.34 Stávající technologie praní prádla, prádelna v lázních

Při použití softwaru, respektive dílčí části aplikace s názvem 4 Posouzení ekonomické návratnosti SVŠV, v případě vyčištění veškeré šedé vody v množství $18 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ a využití bílé vody v ideálním využití $18 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ pro praní prádla při uvažovaném odběru vody z vodovodu pro veřejnou potřebu je předpokládaná návratnost pořizovací investice se započítáním investičních nákladů při podílu úvěru na financování ve výši 10,0 % z celkových investičních nákladů a diskontní sazby 5,0 % vypočtena mezi 12. a 13. rokem provozu.

6.3.6 Více generační rodinný dům v Břeclavi

Pro potřeby dizertační práce byl proveden návrh a ověření funkčnosti prototypu ČJŠV v reálných podmínkách více generačního domu v Břeclavi. Výpočet produkce šedé vody a potřeby vody bílé je provedeno v kapitole 6.1 se stanovením produkce šedé vody a potřeby bílé vody $326 \text{ l} \cdot \text{den}^{-1}$. Investiční náklad je 10 tis. Kč bez DPH a cena za technologii čištění šedé vody 70 tis. Kč bez DPH. Vývoj ceny vodného a stočného v Břeclavi je zřejmý z grafu obrázku Obr. 6.35.

Při použití softwaru, respektive dílčí části aplikace s názvem 4 Posouzení ekonomické návratnosti SVŠV, vyčištění šedé vody v množství $326 \text{ l} \cdot \text{den}^{-1}$ a využití bílé vody v totožném množství $326 \text{ l} \cdot \text{den}^{-1}$ pro praní prádla, splachování toalet a zalévání zahrady a úklidu v domě je předpokládaná návratnost pořizovací investice se započítáním investičních nákladů při podílu úvěru na financování ve výši 10,0 % z celkových investičních nákladů a diskontní sazby 5,0 % vypočtena mezi 13. a 14. rokem provozu.



Obr. 6.35 Vývoj ceny vodného a stočného v Břeclavi

6.3.7 Závěr, zhodnocení vhodnosti využitelnosti systému využití šedé vody

Z výše uvedených výsledků případových studií s přihlédnutím k tabulce Tab. 6.38 lze konstatovat, že systémy využití šedých vod jsou z hlediska návratnosti pořizovací investice zajímavé u objektů nejen s vysokou produkcí šedých vod a s vysokou potřebou vody bílé, ale také u objektů, respektive lokalit, kde cena vodného a stočného je poměrně vysoká. Mezi zajímavé objekty s vysokou produkcí šedé vody a potřebou vody bílé můžeme zařadit ubytovací budovy vysokoškolských kolejí, kdy v případě využití jen části bílé vody pro splachování toalet vychází doba návratnosti pořizovací investice mezi 12. a 13. rokem provozování systému využití šedých vod. V případě vyčištění veškeré vyprodukované šedé vody a následné využití takto připravené bílé vody k potřebě v rámci areálu vysokoškolských kolejí, vychází doba návratnosti pořizovací investice mezi 6. a 7. rokem provozu. Je potřeba však podotknout, že uvedený propočet návratnosti pořizovací investice systému využití šedých vod platí v případě plánované rekonstrukce sociálního zařízení ubytování. Obdobná návratnost pořizovací investice by vycházela v případě uvažování systému využití šedých vod v novém objektu ubytovacího zařízení vysokoškolských kolejí.

Dalším zajímavým příkladem, co se týče návratnosti pořizovací investice za aplikaci systému využití šedých vod v prádelnách, u kterých při odběru vody z vodovodního řadu, a s tím spojené průměrné produkci šedých vod $240 \text{ m}^3 \cdot \text{měs}^{-1}$ až $500 \text{ m}^3 \cdot \text{měs}^{-1}$, vychází se vzrůstající produkcí šedých vod doba návratnosti pořizovací investice mezi 11. až 13. rokem provozu.

U prádelen je potřeba poukázat na skutečnost týkající se ceny za vodu, tj. cena za vodné a stočné pro rok 2015 v Břeclavi je 74,80 Kč bez DPH, oproti tomu v Hodoníně je pro stejný rok cena vodného a stočného 57,75 Kč bez DPH. Tento výrazný rozdíl cen ovlivňuje ekonomické posouzení návratnosti SVŠV. Příkladem takového srovnání je porovnání diskontované doby návratnosti pro prádelnu v Hodoníně s potřebou bílé vody 500 m^3 za měsíc pro ceny vodného a stočného pro Hodonín s diskontovanou dobou návratnosti při uvažování fiktivních cen vodného a stočného pro Břeclav, v prvním případě vychází návratnost mezi 11. a 12. rokem, kdežto při uvažování vyšší ceny vodného a stočného je doba návratnosti mezi 3. a 4. rokem s čistou současnou hodnotou projektu v období 10 let 2,55 mil. Kč bez DPH.

V případě doplnění systému využití šedých vod o výměník tepla by se vzhledem k vysoké teplotě šedé vody z pracího procesu dala snížit doba návratnosti pořizovací investice. Takto

získané teplo z šedé vody by se dalo využít pro predehřev bílé vody k praní prádla nebo k predehřevu TV v rámci prádelny nebo jiného objektu.

Tab. 6.38 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 SHRNUÍ A PŘÍNOSY DIZERTAČNÍ PRÁCE

7.1 SHRNUÍ

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. Vydutnosti 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 zlepšují 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] SHOMERA FOR A BETTER ENVIROMENT, Raanana, Israel 43100. *Greywater Recycling Overview* [online]. Dostupné z <http://www.shomera.org/engreywater-general.htm>
- [4] Česká republika. In: *Sbírka zákonů České republiky: Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby*. Ministerstvo pro místní rozvoj, 2009.
- [5] UK. British Standard BS 8525-1:2010: *Greywater systems – Part 1: Code of practice*. BSI British Standards. 2010, 46 s.
- [6] UK. British Standard BS 8525-2:2011: *Greywater systems – Part 2: Domestic greywater treatment equipment. Requirements and test methods*. BSI British Standards. 2011, 32 s.
- [7] DIN 1989 *Regenwassernutzungsanlagen - Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung* (Rainwater harvesting systems - Part 1: Planning, installation, operation and maintenance).
- [8] *National Water Quality Management Strategy, Australian Guidelines For Water Recycling Managing Health and Enviromental Risks*, 2006, Natural Resource Management Ministerial Council Environment Protection and Heritage Council Australian Health Ministers Conference.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] ČSN 75 7143 (757143): *Jakost vod. Jakost vody pro závlahu*. Praha: Český normalizační institut, 1992. 24 s.
- [13] ASERSA, Spanish Association for Sustainable Water Reuse: *Spanish Regulations for Water Reuse, Royal Decree 1620/2007 of 7 December*. Universitat Politecnica de Catalunya, UPC. 2011, 29 s.
- [14] 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.
- [15] 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.

- [16] MAURI: Nejvice vody spotřebují v USA nejvíce zaplatí v Danske. *Vodarenstvi.cz* [online]. 4.12. [cit. 2012-12-31]. Dostupné z: <http://www.vodarenstvi.cz/clanky/nejvice-vody-spotrebuji-v-usa-nejvice-zaplaci-v-dansku>
- [17] WEBSTER SYSTEMS, LLC dba Data360: Average Water Use Per Person Per Day. *Data360.org* [online]. 4.15.2010 [cit. 2012-12-31]. Dostupné z: http://www.data360.org/dsg.aspx?Data_Set_Group_Id=757
- [18] WATER FOOTPRINT NETWORK: National Water Footprints – United Kingdom. *waterfootprint.org* [online]. 2008 Chapagain ©2012 Water Footprint Network [cit. 2012-12-31]. Dostupné z: <http://www.waterfootprint.org/?page=files/UnitedKingdom>
- [19] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY: Water pricing and household water use in Spain Water pricing and household water use in Estonia. *eea.europa.eu* [online]. 2011 Jan 12 [cit. 2012-12-31]. Dostupné z: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/water-pricing-and-household-water>
- [20] TOPINFO: Voda v ČR v roce 2013 podraží v průměru o 6 až 7,5 %. *tzb-info.cz* [online]. 2012 Kopačková D. [cit. 2012-12-31]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/9313-voda-v-cr-v-roce-2013-podrazi-v-prumeru-o-6-az-7-5>
- [21] Český statistický úřad: Vodovody, kanalizace a vodní toky – 2014. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/29185479/28002115kc.pdf/e0f77e90-c68c-4721-a5b3-bb4c976478d9?version=1.1>
- [22] Český statistický úřad: Vodovody, kanalizace a vodní toky – 2014. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/20543719/w200313kc.pdf/c9077ba0-f9bd-43ca-a3bc-7cbaaa865088?version=1.0>
- [23] Český statistický úřad: Vodovody, kanalizace a vodní toky – 2014. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/20543723/e28002114kcj.pdf/5bda1a51-b485-4ef6-af38-016c76644aba?version=1.0>
- [24] Český statistický úřad: Vodovody, kanalizace a vodní toky – 2014. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/20543715/w200312kc.pdf/a44c7315-8c7c-41e7-9bbc-a355c0c39752?version=1.0>
- [25] Český statistický úřad: Vodovody, kanalizace a vodní toky – 2014. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/20543711/w200311kc.pdf/01df4c10-8234-4edd-bcfe-cf39f82e4f1c?version=1.0>
- [26] GLOBAL WATER INTELLIGENCE: Global Water Tariffs Continue Upward Trend – Vol 12, Issue 9 (September 2011). *globalwaterintel.com* [online]. ©2011 [cit. 2012-12-31]. Dostupné z: <http://www.globalwaterintel.com/archive/12/9/market-profile/global-water-tariffs-continue-upward-trend.html>
- [27] GLOBAL WATER INTELLIGENCE: *globalwaterintel.com* [online]. ©2011 [cit. 2013-01-01]. Dostupné z: <http://www.globalwaterintel.com>
- [28] MAURI: Cena vody ve světě stále roste. *Vodarenstvi.cz* [online]. 4.12. [cit. 2013-01-01]. Dostupné z: <http://www.vodarenstvi.cz/clanky/cena-vody-ve-svete-stale-roste>
- [29] PITTER, P.: *Hydrochemie*, Místo vydání: VŠCHT, Vydavatelství: UNITISK, s.r.o., Rok vydání: 1999, 568 stran, ISBN 80-7080-340-1.

- [30] CENIA, česká informační agentura životního prostředí: *Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2013*, Vydalo: Ministerstvo životního prostředí, Rok vydání: 2013, 414 stran.
- [31] KHALAPHALLAH, Rafat: *Greywater treatment for reuse by slow sand filtration: study of pathogenic microorganisms and vage survival*, 2012, These de Doctorat. Nantes Ecole des Mines, dans le cadre de Sciences pour l'ingénieur, géosciences, architecture. Yves Andres.
- [32] 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>
- [33] 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.
- [34] DIN 4045: *Abwassertechnik – Grundbegriffe* (Wastewater engineering), 2003. 44 s.
- [35] TOPINFO: Odpadní vody jako zdroj surovin. *tzb-info.cz* [online]. 2008 Plotěný K. [cit. 2012-09-07]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4955-odpadni-vody-jako-zdroj-surovin>
- [36] IMPEA: Decentralizované odvádění a opětovné využití odpadních vod v praxi. *e-voda.cz* [online]. 2010 Mifková Tatiana a Petr Hlavínek [cit. 2012-09-07]. Dostupné z: <http://www.e-voda.cz/clanek/69/decentralizovane-odvadeni-a-opetovne-vyuziti-odpadnich-vod-v-praxi>
- [37] ASB-PORTAL: Nové metody nakládání s odpadními vodami. *asb-portal.cz* [online]. 2011 Mifková Tatiana, ©2013 [cit. 2013-01-01]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/tzb/zdravotni-technika/nove-metody-nakladani-s-odpadnimi-vodami-2687.html>
- [38] 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.
- [39] BIELA, R.: Šedé vody, jejich kvalita a možnost využití. *SOVAK*, 2012, roč. 21., č. 2, s. 11-13. ISSN: 1210- 3039.
- [40] 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>
- [41] MAUNSELL, F.: *Greywater Recycling & Rainwater Harvesting Feasibility Study Sustainable Eastside*, Groundwork Birmingham, 2004. 36 s.
- [42] WIKIMEDIA FOUNDATION: Znečištění ovzduší v Česku. *cs.wikipedia.org* [online]. 2012. [cit. 2013-01-01]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Zne%C4%8Di%C5%A1t%C4%9Bn%C3%AD_ovzdu%C5%A1%C3%AD_v_%C4%8Cesk%C3%A9_republice
- [43] TOPINFO: Využívání dešťové vody (I) - kvalita a čištění: Možnosti využívání dešťové vody a k tomu potřebná technická zařízení. *tzb-info.cz* [online]. 2007 Dvořáková D. [cit. 2013-01-01]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3902-vyuzivani-destove-vody-i-kvalita-a-cisteni>

- [44] TOPINFO: Využívání dešťové vody (II) - Možnosti využití dešťové vody a části zařízení, Kvalita dešťové vody a její čištění. *tzb-info.cz* [online]. 2007 Dvořáková D. [cit. 2013-01-01]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3962-vyuzivani-destove-vody-ii-moznosti-pouziti-destove-vody-a-casti-zarizeni>
- [45] 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.
- [46] 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.
- [47] BARTONÍK, Adam; HOLBA, Marek; VRÁNA, Jakub; OŠLEJŠKOVÁ, Monika; PLOTĚNÝ, Karel: Šedé vody – možnosti využití jejich energetického potenciálu a způsoby jejich čištění a znovuvyužití. *Vodní hospodářství*, 2012, roč. 62., č. 2, s. 60-65. ISSN: 1211- 0760.
- [48] Burrows, W. D.; Schmidt, M. O.; Carnevale, R. M.; Schaub, S. A. (1991): Non-potable reuse: Development of health criteria and technologies for shower water recycle. *Wat. Sci. Tech.*, 29(9), pp. 2169–2184.
- [49] Butler, D.; Friedler, E.; Gatt, K. (1995): Characterising the quantity and quality of domestic wastewater inflows. *Wat. Sci. Tech.*, 31(7), pp. 13-20.
- [50] Casanova, L. M.; Gerba, Ch. P.; Karpiscak, M. (2001): Chemical and microbial characterization of household greywater. *J. Env. Sci. Health A*, 36(4), pp. 395-401.
- [51] Christova-Boal, D.; Eden, R. E.; McFarlane, S. (1996): An investigation into grey water reuse for urban residential properties. *Desalination* 106, pp. 391-397.
- [52] Elmitwalli, T.; Mahmoud, N.; Soons, J.; Zeeman, G. (2003): Characteristics of grey water: Polderdrift, the Netherlands. *2nd international symposium on ecological sanitation*, Melbourne.
- [53] Eriksson, E.; Auffarth, K.; Menze, M.; Ledin, A. (2002): Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, 4(1), pp. 85-104.
- [54] Hargelius, K.; Holmstrand, O.; Karlsson, L. (1995): Hushallspillvatten. Framtagande av nya schablonvärden för BDT-vatten. Vad innehåller avlopp från hushall? Näring och metaller i urin och fekalier samt i disk-, tvätt, bad- & duschvatten; Stockholm. in: Ledin, A.; Erikson, E.; Henze, M. (2001): *Aspects of groundwater recharge using grey water*.
- [55] Jefferson, B.; Judd S.; Diaper, C. (2001): Treatment methods for grey water. In: *Decentralised Sanitation and Reuse*. Lens, P.; Zeemann, G.; Lettinga, G., IWA Verlag, London.
- [56] Oldenburg, M., Otterpohl, R. (2005): Untersuchungen zur anaeroben Behandlung von Fäkalabwasser mit Bioabfällen und weiteren Cosubstraten sowie der Grauwasserreinigung am Pilotprojekt Lübeck-Flintenbreite. *Abschlussbericht Deutsche Bundesstiftung Umwelt*.
- [57] Palmquist, H., Hanaeus, J. (2005): Hazardous substances in separately collected grey-and blackwater from ordinary Swedish households. *Sci. Tot. Env.*, 348, pp. 151-163.

- [58] Rose, J. B.; Sun, G.; Gerba, C. P.; Sinclair, N. A. (1991): Microbial quality and persistence of enteric pathogens in grey water from various household sources. *Wat. Res.*, 25(1) pp. 37-42.
- [59] Santala, E.; Uotila, J.; Zaitsev, G.; Alasiurua, R.; Tikka, R.; Tengvall, J. (1998): Microbiological greywater treatment and recycling in a apartment building. In: *Advanced Wastewater Treatment, Recycling and Reuse: Selected Proceedings of the 6th International Conference on Advanced Wastewater Treatment, Recycling and reuse*, Held in Milan, Italy, 14-16 September.
- [60] Shin, H. S.; Lee, S. M.; Seo, I. S.; Kim, G. O.; Lim, K. H.; Song, J. S. (1998): Pilot scale SBR and MF operation for the removal of organic and nitrogen compounds from grey water. *Wat. Sci. Tech.*, 38(6), pp. 79-88.
- [61] Siegrist, R.; Witt, M.; Boyle, W.C. (1976): Characteristics of rural household wastewater. *J. Env. Eng. Div.*, 102 pp. 533-548.
- [62] TOPINFO: Kvalita šedých vod a možnost jejich využití. *tzb-info.cz* [online]. 2011 Biela R. [cit. 2013-01-01]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/8097-kvalita-sedych-vod-a-moznost-jejich-vyuziti>
- [63] ENVIRONMENT AGENCY: *Greywater: an information guide*. Rio House, Water Drive, Aztec West. 2008, 25 s.
- [64] BUDSKÁ, E.: *Atmosférická depozice látek*, VTEI 37, 431. 1995.
- [65] KLEIN: *Aspekte der leitungsgebundenen Regenwassernutzung*, Wasserversorgungsverband Euskirchen-Swisttal, 10 s, Dostupné z: <http://www.wasser-eu-sw.de/pdf/regenwasser.pdf>
- [66] ASB-PORTAL: Dešťová voda jako šetrná alternativa. *asb-portal.cz* [online]. 2010 Poliak Milan, ©2013 [cit. 2013-01-01]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/tzb/energie/destova-voda-jako-setrna-alternativa-2125.html>
- [67] UK. British Standard *BS 8515:2009: Rainwater harvesting system: Code of practice*. BSI British Standards. 2009, 46 s.
- [68] REE-HO, Kim, SANGHO, Lee, JINWOO, Jeong, JUNG-HUN, Lee, YEONG-KWAN, Kim: Reuse of greywater and rainwater using fiber filter media and metal membrane, Sborník konference *Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability*. Organized by the International Water Association (IWA) 2005, Jeju, Korea, s. 326-332.
- [69] CSBE Centre for the Study of the Built Environment: *Greywater Reuse in Other Countries and its Applicability to Jordan*. Project funded by Ministry of Planning Enhanced Productivity Program. 2003, 43 s.
- [70] TNV 75 7121: *Požadavky na jakost vody dopravované potrubím při teplotě do 25 °C*. Odvětvová technická norma vodního hospodářství. Ministerstvo zemědělství České republiky. 2010, 18 s.
- [71] 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.
- [72] 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>

- [73] Návrh projektu TA01020311 *Využití šedé a dešťové vody v budovách*. TAČR, Vysoké učení technické v Brně, ASIO. 2010.
- [74] MARCH, J. G., GUAL, M. and OROZCO, F.: *Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel* (Mallorca Island, Spain). *Desalination*, 2004, 164, 241-247.
- [75] BREWER, D., BROWN, R. and STRANFIELD, G.: *Rainwater and greywater in buildings: project report and case studies*. Report 13285/1, BSRIA Ltd., Bracknell, UK. 2000.
- [76] LAZAROVA, V., HILLS, S. and BIRKS, R.: *Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing*. *Water Science and Technology: Water Supply*, 3(4), 2003. s. 69-77.
- [77] GERBA, C. P., STRAUB, T. M., ROSE, J. B., KARPISCAK, M. M., FOSTER, K. E. and BRITTAIN, R. G.: *Water quality study of greywater treatment systems*. *Water Resources Journal*, 18, 1995. s. 78-84.
- [78] MARS, R.: *Case studies of greywater recycling in Western Australia*. IN: *Proceedings of the 1st International Conference on Onsite Wastewater Treatment & Recycling*, 11th-13th February, Fremantle, Western Australia. 2004.
- [79] DUŠEK, L.: Čištění odpadních vod chemickou oxidací hydroxylovými radikály, *Chemické listy* 104, 846-854. 2010.
- [80] ALATON I. A., BALCIOGLU I. A., BAHNEMANN D. W.: Advanced oxidation of a reactive dye bath effluent: comparison of O₃, H₂O₂/UV-C and TiO₂/UV-A processes, *Water Research* 36, No:5, 1143-1154. 2002.
- [81] MURUGANANDHAM M., SWAMINATHAN M.: Advanced oxidative decolourisation of Reactive Yellow 14 azo dye by UV/TiO₂, UV/H₂O₂, UV/H₂O₂/Fe²⁺ processes comparative study *Separation and Purification Technology* 48, 297-303. 2006.
- [82] DURAN A., MONTEAGUDO J.M.: Solar photocatalytic degradation of reactive blue 4 using a Fresnel lens. *Water Research* 41, 690-8. 2007.
- [83] PETERNEL I., KOPRIVANAC N., KUSIC H.: UV Based Processes for Reactive Azo Dye Mineralization. *Water Research* 40, 525-532. 2006.
- [84] PATSONS S. A., BEDEL, C. and JEFFERSON, B.: Chemical vs. Biological Treatment of Domestic Greywater. In: *Proceedings of the 9th Intl. Gothenburg Symposium on Chemical Treatment*, 2000. Istanbul, Turkey.
- [85] SOSTAR-TURK, S., PETRINIC, I. and SIMONIC, M.: Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. *Resources Conservation and Recycling*, 44(2), 2005. s. 185-196.
- [86] LIN, C.-J., LO, S.-L., KUO, C.-Y. and WU, C.-H. (2005) Pilot-scale electrocoagulation with bipolar aluminium electrodes for on-site domestic greywater reuse. *Journal of environmental engineering*, 2005. s. 491-495.
- [87] ITAYAMA, T., KIJ, M., SUETSUGU, A., TANAKA, N., SAITO, T., IWAMI, N., MIZUOCHI, M. and INAMORI, Y.: On site experiments of the slanted soil treatment systems for domestic gray water. *Water Science and Technology*, 53(9), 193-201. 2004.

- [88] HYPES, W., BATTEN, C. E. and WILKINS, J. R.: Processing of combined domestic bath and laundry waste waters for reuse as commode flushing water. *Report NASA TN D-7937*, Langley research centre, Hampton, USA. 1975.
- [89] PRATHAPAR, S. A., AHMED, M., AL ADAWI, S. and AL SIDIARI, S.: Design, construction and evaluation of an ablution water treatment unit in Oman: a case study. *International Journal of Environmental Studies*, 63(3), 283-292. 2006.
- [90] CMHC (Canada Mortgage and Housing Corporation): *Final assessment of conservation Co-op's greywater system*. Technocal series 02-100, CHMC, Ottawa, Canada. 2002.
- [91] WARD, M.: *Treatment of domestic greywater using biological and membrane separation techniques*. MPhil thesis, Cranfield University, UK. 2000.
- [92] RAMON, G., GREEN, M., SEMIAT, R. and DOSORETZ, C.: Low strength greywater haracterization and treatment by direct membrane filtration. *Desalination*, 170, 241- 250. 2004.
- [93] AHN, K.-H., SONG, J.-H. and CHA, H.-Y.: Application of tubular ceramic membranes for reuse of wastewater from buildings. *Water Science and Technology*, 38(4-5), 373-382. 1998.
- [94] HALL, J. B., BATTEN, C. E. and WILKINS, J. R.: Domestic wash water reclamation for reuse as commode water supply using a filtration – reverse osmosis technique. *NASA Technical Note D-7600*, USA. 1974.
- [95] BIRKS, R.: *Biological aerated filters and membranes for greywater treatment*. MSc Thesis, Cranfield University. 1998.
- [96] FRAZER-WILLIAMS, R., AVERY, L., JEFFREY, P., SHIRLEY-SMIRLEY, C., LIU, S. and JEFFERSON, B.: Constructed wetlands for urban greywater recycling. IN: *Proceedings of the First conference on sustainable urban wastewater treatment and reuse*, 15th-16th September, Nicosia, Cyprus. 2005.
- [97] GROSS, A., SHMUELI, O., RONEN, Z. and RAVEH, E.: Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW) – a novel method of recycling greywater for irrigation in small communities and households. *Chemosphere*, In Press. 2006.
- [98] DALLAS, S., SCHEFFE, B. and HO, G.: Reedbeds for greywater treatment – case study in Santa Elena-Monteverde, Costa Rica, Central America. *Ecological Engineering*, 23, 55-61. 2004.
- [99] DALLAS, S. and HO, G.: Subsurface flow reedbeds using alternative media for the treatment of domestic greywater in Monteverde, Costa Rica, Central America. *Water Science and Technology*, 51(10), 119-128. 2004.
- [100] SHRESTHA, R. R., HABERL, R., LABER, J., MANANDHAR, R. and MADER, J.: Application of constructed wetlands for wastewater treatment in Nepal. *Water Science and Technology*, 44(11-12), 381-386. 2001.
- [101] LI, Z., GUYLAS, H., JAHN, M., GAJUREL, D. R. and OTTEPORHL, R.: Greywater treatment by constructed wetlands in combination with TiO₂-based photocatalytic oxidation for suburban and rural areas without sewer system. *Water Science and Technology*, 48(11-12), 101-106. 2003.

- [102] SCHONBORN, A., ZUST, B. and Underwood, E.: Long term performance of the sand-plant-filter Schattweid (Switzerland). *Water Science and Technology*, 35(5), 307-314. 1997.
- [103] BORIN, M., COSSU, R., LAVAGNOLO, M. C. and GANDINI, M.: Phytotreatment of greywater with yellow water addition from an aesthetic approach. IN: *Proceedings of the International Conference On-Site wastewater treatment and recycling*, 12th-14th February, Murdoch University, Western Australia. 2004.
- [104] FITTSCHEN, I. and NIEMCZYNOWICZ, J.: Experiences with dry sanitation and greywater treatment in the ecovillage Toarp. *Water Science and Technology*, 35(9), 161-170. 1997.
- [105] GRUNTHER, F.: Wastewater treatment by greywater separation: outline for a biologically based greywater purification plant in Sweden. *Ecological Engineering*, 15, 139-146. 2000.
- [106] International Technology Service: Water reuse and recycling in Japan. *Report of Overseas Mission of Science and Technology Experts in Japan*, 16th-20th October. 2000.
- [107] IMURA, M., SATO, Y., INAMORI, Y. and SUDO R.: Development of a high efficiency household biofilm reactor. *Water Science and Technology*, 31(9), 163-171. 1995.
- [108] SHIN, H.-S., LEE, S.-M., SEO, I.-S., KIM G.-O., LIM, K.-H. and SONG, J.-S.: Pilot-scale SBR and MF operation for the removal of organic and nitrogen compounds from greywater. *Water Science and Technology*, 39(1), 128-137. 1998.
- [109] LIU, R., HUANG, H., CHEN, L., WEN, X. and QIAN, Y.: Operational performance of a submerged membrane bioreactor for reclamation of bath wastewater. *Process Biochemistry*, 40(1), 125-130. 2005.
- [110] FRIEDLER, E.: *Quality of individual domestic greywater streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities*, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Technion, Haifa 32000 Israel, 2004.
- [111] BINO, M. J.: Greywater reuse for sustainable water demand management. IN: *Proceedings of the International Water Demand Management Conference*, 30th May- 3rd June, Amman, Jordan. 2004.
- [112] ANDERSEN, M., KRINSTENSEN, G. H., BRYNJOLF, M. And GRUTTNER, H.: Pilot-scale testing membrane bioreactor for wastewater in industrial laundry. *Water Science and Technology*, 46(4-5), 67-76. 2001.
- [113] NOLDE, E.: Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings - over ten years experience in Berlin. *Urban Water*, 1(4), 275-284. 1999.
- [114] SANTALA, E., UOTILA, J., ZAITSEV, G., ALASIURUA, R., TIKKA, R. and TENGVALL J.: Microbiological grey water treatment and recycling in an apartment building. In: *Proceedings of the 2nd International Advanced Wastewater Treatment, Recycling and Reuse*, 14th-16th September, Milan, Italy. 1998.
- [115] MCQUIRE, S.: *West Brunswick sustainable house water systems retrofit*. Final project report. Dostupné z: www.greenmakeover.com.au. 2006.

- [116] GARDNER, T. and MILLAR, G.: The performance of a greywater system at the healthy home in South East Queensland – three years of data. IN: *Proceedings of the Onsite '03 Conference*, 30th September-2nd October, Armidale, Australia. 2003.
- [117] JENSSEN, P. D., MOEHLUM, T., KROGSTAD, T. and VRALE, L.: High performance constructed wetlands for cold climates. *Journal of Environmental Science and Health*, 40, 1343-1353. 2005.
- [118] LESJEAN, B. and GNIRSS, R.: Grey water treatment with a membrane bioreactor operated at low SRT and low HRT. *Desalination*, 199, 432-434. 2006.
- [119] SURENDRAN, S. and WHEATLEY, A. D.: Greywater reclamation for non-potable reuse. *Journal of Chartered Institution of Water and Environment Management*, 12, 406-413. 1998.
- [120] LAINE, A. T.: *Technologies for greywater recycling in buildings*. PhD Thesis, Cranfield University, UK. 2001.
- [121] LODGE, B.: *Membrane fouling during domestic water recycling*. EngD thesis, Cranfield University, UK. 2003.
- [122] WARD, M.: *Treatment of domestic greywater using biological and membrane separation techniques*. MPhil thesis, Cranfield University, UK. 2000.
- [123] CHORVÁTOVÁ, M., *Biologické čištění odpadních vod – studijní materiál*, VSCHT.
- [124] JUDD, S., JUDD, C., *The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*, 2006, ISBN: 978-1-85617-481-7.
- [125] UNISORT: Svodové a podokapní filtry. *belis.cz* [online]. © 2013. [cit. 2013-02-01]. Dostupné z: <http://www.belis.cz/podokapove-filtry>
- [126] RAČEK, Jakub: *Biologický stupeň čistíren odpadních vod*, 2008, Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Petr Hlušík.
- [127] ASIO, spol. s r.o.: Recyklace tepla v budovách – šedé vody. *Asio.cz* [online]. 27.1.2012 [cit. 2013-04-01]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/61.recyklace-tepla-v-budovach-sede-vody>
- [128] EKOWATT: Zpětné získávání tepla z odpadní vody, Rekuperační výměník tepla na svodném potrubí. *panelovedomy.ekowatt.cz* [online]. 18. leden 2010 [cit. 2013-01-04]. Dostupné z: <http://panelovedomy.ekowatt.cz/tepla-voda/52-zpetne-ziskavani-tepla-z-odpadni-vody>
- [129] PARHAM ESLAMI-NEJAD a Michael BERNIER: Impact of Greywater Heat Recovery on the Electrical Demand of Domestic Hoot Water Heaters. *Bouilding Simulation 2009*, Eleventh International IBPSA Conference, Glasgoq, Scotland. 2009. s. 681 – 687.
- [130] Zaloum, C., Gusdorf, J., and Parekh, A.: *Performance evaluation of drain water heat Recovery technology at the Canadian centre for housing technology*. Sustainable Buildings and Communities Natural Resources Canada, Ottawa. 2007. 32 s.
- [131] Picard, D., Delisle, V., Bernier, M., Kummert, M.: On the combined effect of wastewater heat recovery and solar domestic hot water heating. *Canadian Solar*

- Building Research Network Conference*, Concordia University, Montreal, QC, paper M06-M1A-2. 2006. 10 s.
- [132] 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.
- [133] VRÁNA, J.; OŠLEJŠKOVÁ, M., Výpočtový průtok ve vnitřních vodovodech – specifika oddílných vodovodů, příspěvek na konferenci IX. *International Scientific Conference FCE TUKE*, ISBN 978-80-553-0905-7, TU v Košiciach, Košice. 2012
- [134] KOŽÍŠEK, F. (2012). *Epidemie (z) šedé vody*. SOVAK – Časopis oboru vodovodů a kanalizací, 21(6): 193-194.
- [135] Hunter, R. B. Methods of Estimating Loads in Plumbing Systems. *Building Materials and Structures*, report BMS 65. NBS, Washington. 1940.
- [136] ČSN EN 806-3: *Vnitřní vodovod pro rozvod vody určené k lidské potřebě – Část 3: Dimenzování potrubí – Zjednodušená metoda*. Praha: Český normalizační institut, 2006. 20 s.
- [137] Entwurf DIN 1988-300:2011 *Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen – Teil 300: Ermittlung der Rohrdurchmesser*; Technische Regel des DVGW
- [138] STN 73 6655: *Výpočet vodovodov v budovách*. 2008. 19 s.
- [139] ČSN 75 5455: *Výpočet vnitřních vodovodů*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 49 s.
- [140] Editorial & Advertising offices of MyPlumbingPortal.com: Back To Basics: Water Pipe Sizing. *myplumbingportal.com* [online]. 2007 Bullanco, J, [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: http://www.myplumbingportal.com/Articles/PME_Back_To_Basics/BNP_GUID_9-5-2006_A_10000000000000205193
- [141] Rudat, K. Künftige Regeln für die Bemessung von Trinkwasser-Installationen. *Moderne Gebäudetechnik*. tga-praxis.de. SBZ 2010. s. 60 – 67.
- [142] DIN 1988-3 Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen (TRWI) Ermittlung der Rohrrinnendurchmesser. Technische Regel des DVGW
- [143] MUSIL, V., ONDROUŠEK, K., NEVAN, T. *Technická zařízení budov I – vodovody*. SNTL/ALFA, Praha, Bratislava. 1987.
- [144] KELTING, O. Richtlinien für die Berechnung der Kaltwasserleitungen in Hausanlagen. *Das Gas und Wasserfach*. Jahrg. 83, 1940, Heft 29, s. 345-351.
- [145] VRÁNA, J. Dimenzování oddílných vodovodů. In *17. vedecko - odborná medzinárodná konferencia SANHYGA 2012. Zborník prednášok*. Bratislava: SSTP, 2012. s. 57-64. ISBN: 978-80-89216-50- 5.
- [146] AHLBORN měřicí a regulační technika, *ahlborn.cz* [online]. [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.ahlborn.cz/cs/produkt/souprava-pro-mereni-tepla-almemo/>
- [147] ČSN 1099: *Vodovodní řád*. 1933.

- [148] ÚTERSKÝ, Michal: *Využití šedých a dešťových vod v budovách*. Brno, 2011. 76 s., 4 s. příloh. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Petr Hlušík.
- [149] BOGÁŇOVÁ, Ida: *Možnosti využití šedých vod*. Brno, 2012. 106 s., 6 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.
- [150] ČSN 06 0310: *Tepelné soustavy v budovách – Projektování a montáž*. Praha: Český normalizační institut, 2006. 19 s.
- [151] ČSN EN 15316-3-1: *Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinnosti soustavy – Část 3-1: Soustavy teplé vody, charakteristiky potřeb (požadavky na odběr vody)*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 17 s.
- [152] FEURICH, Hugo: *Sanitärtechnik: Grundlagen der Sanitärtechnik*. Karlheinz Luh und Heinz Wagner von Krammer. 2005.
- [153] UK. British Standard BS 8542-1:2011: *Calculating domestic water consumption in non-domestic building. Code of practice*. BSI British Standards. 2011.
- [154] Směrnice 9/1973 Ú.v. MLVH ČSR a ministerstva zdravotnictví ČSR - hlavního hygienika ČSR pro výpočet potřeby vody při navrhování vodovodních a kanalizačních zařízení a posuzování vydatnosti vodních zdrojů. 1973.
- [155] Česká republika. In: *Sbírka zákonů České republiky: Vyhláška č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (novela 120/2011 Sb.)*. Ministerstvo zemědělství, 2001 (2011).
- [156] 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.
- [157] INTEWA GmbH Aachen: Aqualoop. intewa.de [online]. 2013, ©2013 [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: <http://www.intewa.de>.
- [158] ČSN 75 6101: *Stokové sítě a kanalizační přípojky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. 44 s.
- [159] Intaqua.com [online]. [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.intaqua.com/loesungen/anwendungen>
- [160] WINWARD, G.P., *Disinfection of grey water*, Dissertation, Cranfield University, School of Applied Sciences, October 2007, Supervisor Prof. Tom Stephensen
- [161] BARKER, J. and JONES, M.V. (2005) *The potential spread of infection caused by aerosol contamination of surfaces after flushing a domestic toilet*. Journal of Applied Microbiology 99, 339–347
- [162] BIRKS, R., HILLS, S., *Characterisation of Indicator Organisms and Pathogens in Domestic Greywater for Recycling*, July 2005, Springer Science
- [163] CIABATTI I., CESARO F., FARALLI L., FATARELLA E., TOGNOTTI F.: *Demonstration of treatment system for purification and reuse of laundry wastewater*, Desilention 245 (2009) 451 – 459.
- [164] DIAPER C., TOIFL M., STOREY M.: *Greywater technology testing protocol*, CSIRO: Water for a Healthy National Research Flagships (2008) s. 45.

- [165] <http://www.cenyenergie.cz> [online]. [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/spotreba-vody-v-domacnosti-tipy-jak-setrit/>
- [166] *Service water reused for toilet flushing*, Berlin Senate Department for Urban Development, 1995 & 2003.
- [167] *WHO guidelines for greywater reuse for different purposes*, WHO/CEHA, 2006.
- [168] *Australian Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines*, Part 4, Clause 43(1), Local Government (Approvals) Regulation, 1999, February 2005.
- [169] *Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing*, January 2010.
- [170] CHUDOBA, Jan, DOHÁNYOS, Michal, WANNER, Jiří. *Biologické čištění odpadních vod*. Praha : SNTL, 1991. 468 s. 1. ISBN 80-03-00611-2.
- [171] OTTOSSON, Jakob, *Hygiene Aspects of Greywater and Greywater Reuse*, 2003, Royal Institute of Technology (KTH), ISBN 91-7283-436-6.
- [172] DEGRAIN, M, MOOSDORF, U., *Test report – No. PIA2012-GW-1203-1020, 2012, Report on the Functional Test of the AquaLoop MEM System for Greywater Treatment*, Prüfinstitut für Abwassertechnik GmbH, Prüfeinrichtung des Prüf- und Entwicklungsinstituts für Abwassertechnik an der RWTH Aachen.
- [173] Hydrobiologie. Dostupné z: <http://rum.prf.jcu.cz/public/brandl/hydrobiologie/a-Hydrobiologie-tema-1-az-23/Hyd-7-4F2-graf.pdf>
- [174] ASIO, spol. s r.o., SiClaro. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/as-gw-siclaro>
- [175] ČSN 75 0150: *Vodní hospodářství – Terminologie vodárenství*. Praha: Český normalizační institut, 2008. 48 s.
- [176] ČSN EN 805: *Vodárenství – Požadavky na vnější sítě a jejich součásti*. Praha: Český normalizační institut, 2001. 56 s.
- [177] ČSN EN 14812 +A1 (75 5204) *Zařízení na úpravu vody vnitřních vodovodů – Dávkovací zařízení chemikálií s předvolbou – Požadavky na provoz, bezpečnost a zkoušení*. Praha: Český normalizační institut, 2008. 24 s.
- [178] ČSN 75 5411: *Vodovodní přípojky*. Praha: Český normalizační institut, 2006. 8 s.
- [179] ČSN 75 5490: *Stavby pro hospodářská zvířata – Vnitřní stájový vodovod*. Praha: Český normalizační institut, 2001. 20 s.
- [180] ČSN 75 6261: *Dešťové nádrže*. Praha: Český normalizační institut, 2004. 24 s.
- [181] Česká republika. In: *Sbírka zákonů České republiky: Vyhláška č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb se změnami 62/2013 Sb.*. Ministerstvo pro místní rozvoj, 2006, 2013.
- [182] ČSN 75 6402: *Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel*. Praha: Český normalizační institut, 1998. 28 s.
- [183] ČSN EN 12050-2 (75 6762): *Čerpací stanice odpadních vod na vnitřní kanalizaci – Konstrukční zásady a zkoušení – Část 2: Čerpací stanice odpadních vod bez fekálií*. Praha: Český normalizační institut, 2002. 20 s.

- [184] ČSN EN 12050-4 (75 6762): *Čerpací stanice odpadních vod na vnitřní kanalizaci – Konstrukční zásady a zkoušení – Část 4: Zpětná armatura pro odpadní vody s fekáliemi i bez fekálií*. Praha: Český normalizační institut, 2002. 16 s.
- [185] ČSN EN ISO 19458 (75 7801): *Jakost vod – Odběr vzorků pro mikrobiologickou analýzu*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 24 s.
- [186] Česká republika. In: *Sbírka zákonů České republiky: Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů*. 1997.
- [187] Česká republika. In: *Sbírka zákonů České republiky: Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů, novela 120/2010 Sb.*. Strana 1930 – 1962.
- [188] Česká republika. In: *Sbírka zákonů České republiky: Nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění pozdějších předpisů č. 229/2007 Sb.* 2007.
- [189] Česká republika. In: *Sbírka zákonů České republiky: Vyhláška č. 409/2005 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody, ve znění pozdějších předpisů*. 2005.
- [190] Česká republika. In: *Sbírka zákonů České republiky: Vyhláška č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území, ve znění pozdějších předpisů*. Ministerstvo pro místní rozvoj. 2006.
- [191] ČSN EN 14154-2+A2 (25 7811): *Vodoměry – Část 2: Instalace a podmínky použití*. Praha: Český normalizační institut, 2011. 80 s.
- [192] ČSN EN 806-1 (73 6660): *Vnitřní vodovod pro rozvod vody určené k lidské spotřebě – Část 1: Všeobecně*. Praha: Český normalizační institut, 2002. 11 s.
- [193] ČSN EN 1085 (75 0160): *Čištění odpadních vod – Slovník*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 68 s.
- [194] ČSN 75 0905: *Zkoušky vodotěsnosti vodárenských a kanalizačních nádrží*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 68 s.
- [195] ČSN 75 0905: *Zkoušky vodotěsnosti vodárenských a kanalizačních nádrží*. Praha: Český normalizační institut, 2014. 16 s.
- [196] ČSN 75 5115: *Jímání podzemní vody*. Praha: Český normalizační institut, 2010. 32 s.
- [197] ČSN 75 5409: *Vnitřní vodovody*. Praha: Český normalizační institut, 2013. 44 s.
- [198] ČSN EN 13079 (75 5417): *Zařízení na ochranu proti znečištění pitné vody zpětným průtokem – Volný výtok z injektoru přes vzduchovou mezeru – Skupina A – Druh D*. Praha: Český normalizační institut, 2004. 12 s.
- [199] ČSN EN 13077 (75 5418): *Zařízení na ochranu proti znečištění pitné vody zpětným průtokem – Volný výtok s nekruhovým přepadem (neomezený) – Skupina A – druh B*. Praha: Český normalizační institut, 2009. 16 s.
- [200] ČSN EN 14453 (75 5421): *Zařízení na ochranu proti znečištění pitné vody zpětným průtokem – Přerušovač průtoku s trvalým zavzdušněním z ovzduší DN 10 až DN 20 včetně – Skupina D – Druh C*. Praha: Český normalizační institut, 2014. 24 s.

- [201] ČSN EN 13076 (75 5461): *Zařízení na ochranu proti znečištění pitné vody zpětným průtokem – Neomezený volný výtok – Skupina A – Druh A*. Praha: Český normalizační institut, 2003. 12 s.
- [202] ČSN EN 1717 (75 5462): *Ochrana proti znečištění pitné vody ve vnitřních vodovodech a všeobecné požadavky na zařízení na ochranu proti znečištění zpětným průtokem*. Praha: Český normalizační institut, 2002. 52 s.
- [203] ČSN EN 752 (75 6110): *Odvodňovací systémy vně budov*. Praha: Český normalizační institut, 2008. 94 s.
- [204] ČSN EN 1610 (75 6114): *Provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení*. Praha: Český normalizační institut, 2005. 24 s.
- [205] ČSN EN 12255-6 (75 6403): *Čistírny odpadních vod – Část 6: Aktivace*. Praha: Český normalizační institut, 2003. 16 s.
- [206] ČSN EN 12255-7 (75 6403): *Čistírny odpadních vod – Část 7: Biofilmové reaktory*. Praha: Český normalizační institut, 2003. 16 s.
- [207] ČSN EN 12255-11 (75 6403): *Čistírny odpadních vod – Část 11: Všeobecné návrhové údaje*. Praha: Český normalizační institut, 2002. 16 s.
- [208] ČSN EN 12566-3+A1 (75 6404): *Malé čistírny odpadních vod do 50 ekvivalentních obyvatel – Část 3: Balení a/nebo na místě montované domovní čistírny odpadních vod*. Praha: Český normalizační institut, 2006. 44 s.
- [209] ČSN 75 6551: *Odvádění a čištění odpadních vod s obsahem ropných látek*. Praha: Český normalizační institut, 2008. 20 s.
- [210] ČSN 75 6760: *Vnitřní kanalizace*. Praha: Český normalizační institut, 2003. 28 s.
- [211] ČSN 75 9010: *Vsakovací zařízení srážkových vod*. Praha: Český normalizační institut, 2012. 44 s.
- [212] *Ústav vodního hospodářství obcí* [online]. 2010 [cit. 2010-11-08]. Dostupné z WWW: <water.fce.vutbr.cz>.
- [213] PLOTĚNÝ, Karel: *Dělení vod, bílé a šedé vody – nové poznatky a možnosti využití*. Sborník semináře Vodohospodářské chuťovky. 2011, s. 21 – 27.
- [214] BREWER, D., BROWN, R., STANFIELD, G.: *Rainwater and greywater in buildings: Project report and care studies, Technical Note TN 7/2001, BSRIA, Old Bracknell Lane West*, s. 86.
- [215] ČSN ISO 690. *Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 01 0197.f
- [216] BĚLOUŠKOVÁ, Pavla. *Návrh využití šedých vod v plaveckém areálu Kraví hora s ohledem na dostavbu wellness centra*. Brno, 2012. 100s. *Diplomová práce*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.
- [217] BIERNÁTOVÁ, Olga a Jan SKŮPA: *Bibliografické odkazy a citace dokumentů dle ČSN ISO 690 (01 0197) platné od 1. Dubna 2011*. Knihovna Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a Vysoké učení technické v Brně, Ústřední knihovna, 2011. 27 s.

- [218] *HILLS, S., BIRKS, R., DIAPER, C. and JEFFERY, P.: An evaluation of single-house greywater recycling systems. IN: Proceedings of the IWA 4th International Symposium on Wastewater Reclamation & Reuse, November 12-14th, Mexico City, Mexico. 2003.*
- [219] *ENVIRONMENT AGENCY: Greywater for domestic users: an information guide. Horizon House, Deanery Road, Bristol BS1 5AH. 2011, 30 s.*
- [220] *MAKOVÁ, Petra. Hospodaření s vodou na plaveckém stadionu Lužánky. Brno, 2013. 126 s., 7 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.*
- [221] *RÁČEK, 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.*
- [222] *RÁČEK, 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.*

SEZNAM TABULEK

Tab 3.1 Vybrané chemicko-fyzikální vlastnosti šedých vod	17
Tab 3.2 Koncentrace nutrientů v šedých vodách	19
Tab 3.3 Mikrobiologické znečištění šedých vod.....	19
Tab 3.4 Orientační hodnoty (G) pro bakteriologické monitorování dle BS 8525-1 [5]	20
Tab 3.5 Orientační hodnoty (G) pro monitorování obecného systému dle BS 8525-1 [5]	21
Tab 3.6 Interpretace výsledků z bakteriologického monitorování dle BS 8525-1 [5].....	21
Tab 3.7 Vyhodnocení výsledků z monitorovacího systému ^{A)} dle BS 8525-1 [5]	21
Tab 3.8 Nejvýše přípustné hodnoty ukazatelů jakosti závlahové vody pro jednotlivé třídy podle ČSN 75 7143 [12]	23
Tab 3.9 Výběr základních anorganických chemických ukazatelů jakosti závlahové vody podle ČSN 75 7143[12].....	24
Tab 3.10 Klasifikace závlahové půdy podle poměru Na : (Ca+Mg) vyjádřeného v látkových koncentracích v mmol.l ⁻¹ [12]	24
Tab 3.11 Průměrné složení srážkových vod v České republice v letech 2000, 2006, 2012 (výběr ukazatelů) [29] [30]	26
Tab 3.12 Požadavky na látkové složení dešťové vody z hlediska jednotlivých způsobů užívání [43]	27
Tab 3.13 Orientační hodnoty (G) pro bakteriologické monitorování dle BS 8515:2009 [67].	28
Tab 3.14 Orientační hodnoty (G) pro monitorování obecného systému dle BS 8515:2009 [67]	28
Tab 3.15 Interpretace výsledků z bakteriologického sledování dle BS 8515:2009 [67].....	29
Tab 3.16 Vyhodnocení výsledků z monitorovacího systému ^{A)} dle BS 8515:2009 [67].....	29
Tab 3.17 Srovnání kvality vody šedé, šedé + dešťové, a dešťové [68].....	29
Tab 3.18 Vybrané technologie na úpravu šedé vody [71].....	32
Tab 3.19 Příklady účinnosti systému s jednoduchou úpravou [71]	35
Tab 3.20 Příklady účinnosti systému s chemickou úpravou [71]	38
Tab 3.21 Příklady účinnosti systému s fyzikální úpravou [71].....	40
Tab 3.22 Příklady účinnosti systému přírodními postupy čištění [71]	42
Tab 3.23 Příklady účinnosti systému s biologickou úpravou [71].....	44
Tab 3.24 Jmenovité výtoky z vybraných armatur produkce šedé vody dle norem a změřených hodnot [132]	54
Tab 3.25 Ukázka hodnot výtokových armatur podle Hunterovy metody a podle úpravy provedené ve Stevensově technologickém institutu [133]	55
Tab 3.26 Konstanty a, b, c pro různé typy budov [133].....	56
Tab 3.27 Součinitele výtoku a součinitelé současnosti odběru vody vybraných výtokových armatur zdroje šedé vody [145].....	57

Tab 4.1 Tabulka změřených špičkových průtoků v zájmových lokalitách a jejich porovnání s průtoky návrhovými dle různých norem [132].....	66
Tab 4.2 Produkce šedé vody v budovách, rozdělení dle počtu měrných jednotek stejného druhu [132].....	68
Tab 4.3 Produkce šedé vody v budovách, rozdělení dle počtu provedených činností [132] ...	69
Tab 4.4 Naměřená roční spotřeba vody v bytovém domě „J“ [132].....	70
Tab 4.5 Přepočtena průměrná denní potřeba vody v bytovém domě a její rozdělení [132]	70
Tab 4.6 Přepočtena průměrná denní spotřeba vody v bytovém domě a její rozdělení [132]...	71
Tab 4.7 Rozdělení produkce odpadních vod pro vybrané objekty.....	72
Tab 4.8 Chemický rozbor šedých vod ve vybraných objektech	74
Tab 4.9 Porovnání vybraných ukazatelů chemického rozboru šedé vody ve vybraných objektech s práním prádla s hodnotami uváděnými v literatuře.....	74
Tab 4.10 Porovnání vybraných ukazatelů chemického rozboru šedé vody ze sprch plaveckého areálu, stadionu s hodnotami uváděnými v literatuře.....	75
Tab 4.11 Mikrobiologický rozbor šedých vod ve vybraných objektech.....	76
Tab 4.12 Porovnání vybraných ukazatelů mikrobiologického rozboru šedé vody ve vybraných objektech s práním prádla s hodnotami uváděnými v literatuře.....	76
Tab 4.13 Porovnání vybraných ukazatelů mikrobiologického rozboru šedé vody ze sprch plaveckého areálu, stadionu s hodnotami uváděnými v literatuře	77
Tab. 4.14 Požadavky na vybrané ukazatele chemického rozboru bílé vody s hodnotami uváděnými v legislativě, normách a literatuře	78
Tab. 4.15 Požadavky na vybrané ukazatele mikrobiologického rozboru bílé vody s hodnotami uváděnými v legislativě, normách a literatuře	79
Tab. 6.1 Součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti dle ČSN 73 6701 [158].....	86
Tab. 6.2 Chemický rozbor šedé a bílé vody z testování prototypu v laboratorních podmínkách	94
Tab. 6.3 Mikrobiologický rozbor šedé a bílé vody z testování prototypu v laboratorních podmínkách	94
Tab. 6.4 Chemický rozbor šedé a bílé vody z testování prototypu v reálných podmínkách v roce 2013 (I. etapa).....	99
Tab. 6.5 Mikrobiologický rozbor šedé a bílé vody z testování prototypu v reálných podm. v roce 2013 (I. etapa).....	99
Tab. 6.6 Chemický rozbor šedé a bílé vody z testování prototypu v reálných podmínkách v roce 2014-2015 (II. etapa).....	102
Tab. 6.7 Mikrobiologický rozbor šedé a bílé vody z testování prototypu v reálných podm. v roce 2014 (II. etapa)	103
Tab. 6.8 Porovnání účinnosti čistícího procesu z testování prototypu v reálných podmínkách na základě chemického rozboru v roce 2013 (I. etapa).....	105
Tab. 6.9 Porovnání účinnosti čistícího procesu z testování prototypu v reálných podmínkách na základě mikrobiologického rozboru v roce 2013 (I. etapa).....	105

Tab. 6.10 Porovnání účinnosti čistícího procesu z testování prototypu v reálných podmínkách na základě chemického rozboru v roce 2014-2015 (II. etapa)	107
Tab. 6.11 Porovnání účinnosti čistícího procesu z testování prototypu v reálných podmínkách na základě mikrobiologického rozboru v roce 2014 (II. etapa)	108
Tab. 6.12 Měření množství šedé vody od 11. 10. – 17. 10. 2015	111
Tab. 6.13 Porovnání vybraných ukazatelů chemického rozboru šedé vody v roce 2013-2015 s hodnotami uváděnými v literatuře	113
Tab. 6.14 Poměr $CHSK_{Cr}$ a BSK_5 v šedých vodách při měření v roce 2013-2015.....	114
Tab. 6.15 Porovnání vybraných ukazatelů chemického rozboru bílé vody v roce 2013-2015 s hodnotami uváděnými v literatuře	117
Tab. 6.16 Porovnání vybraných ukazatelů chemického rozboru bílé vody v roce 2013-2015 s hodnotami uváděnými dodavatelem membrány	117
Tab. 6.17 Porovnání vybraných ukazatelů mikrobiologického rozboru šedé vody v roce 2013 a 2014 s hodnotami uváděnými v literatuře	119
Tab. 6.18 Porovnání vybraných ukazatelů mikrobiologického rozboru bílé vody v roce 2013 a 2014 s hodnotami uváděnými v literatuře	121
Tab. 6.19 Porovnání vybraných ukazatelů mikrobiologického rozboru bílé vody v roce 2013 a 2014 s hodnotami uváděnými dodavatelem membrány	122
Tab. 6.20 Rekapitulace množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV v roce 2013-2015.....	123
Tab. 6.21 Porovnání průměrných hodnot rozpuštěného kyslíku s intervaly hodnot vybraných ukazatelů chemického rozboru bílé vody v roce 2013-2015.....	124
Tab. 6.22 Porovnání průměrných hodnot rozpuštěného kyslíku s konkrétními hodnotami vybraných ukazatelů chemického rozboru bílé vody v roce 2013-2015.....	125
Tab. 6.23 Rekapitulace naměřených hodnot Redox potenciálu v reaktoru nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV v roce 2013-2015.....	128
Tab. 6.24 Rekapitulace naměřených hodnot teploty v reaktoru nádrže čištění šedé vody prototypu ČJŠV v roce 2013-2015.....	128
Tab 6.25 Vybrané chemicko-fyzikální vlastnosti šedých vod doplněné o hodnoty z testování prototypu ČJŠV z I. a II. etapy testování, rozborů z praček, sprch plaveckého areálu.....	137
Tab 6.26 Koncentrace nutrientů v šedých vodách doplněné o hodnoty z testování prototypu ČJŠV z I. a II. etapy testování, rozborů z praček, sprch plaveckého areálu	138
Tab 6.27 Mikrobiologické znečištění šedých vod doplněné o hodnoty z testování prototypu ČJŠV z I. a II. etapy testování, rozborů z praček, sprch plaveckého areálu	138
Tab 6.28 Okrajové podmínky, požadavky na kvalitu vybraných chemických ukazatelů znečištění pro bílou vodu	139
Tab 6.29 Okrajové podmínky, požadavky na kvalitu vybraných mikrobiologických ukazatelů znečištění pro bílou vodu	139
Tab 6.30 Modelová řada čistíren SVŠV pro MBR technologie SiClaro	142
Tab 6.31 Modelová řada čistíren SVŠV pro INTEWA GmbH C-MEM System	142

Tab. 6.32 Kategorie ekonomického zhodnocení návrhu SVŠV	145
Tab. 6.33 Kategorie ekologického zhodnocení návrhu SVŠV	146
Tab. 6.34 Kategorie zhodnocení návrhu technologie čištění SVŠV	147
Tab. 6.35 Produkce šedé vody v jednotlivých blocích PPV	158
Tab. 6.36 Počet zařizovacích předmětů v bloku A04	159
Tab. 6.37 Produkce šedé vody, prádelna v lázních	166
Tab. 6.38 Srovnání diskontované doby návratnosti investice SVŠV pro vybrané lokality ...	169

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1 Průměrná spotřeba vody domácností ve světě a v České republice (průměr z let 2006 – 2014) [17][18][19][21].....	7
Obr. 3.2 Vývoj cen vodného a stočného v České republice v letech 2010 – 2014 [21][22][23][24][25].....	8
Obr. 3.3 Porovnání ceny vodného a stočného ve vybraných zemích v roce 2011[24][25][26].	9
Obr. 3.4 Porovnání množství a ceny vodného ve vybraných zemích v roce 2011 [26].....	9
Obr. 3.5 Porovnání produkce šedé a černé vody z provozu domácnosti [31].....	11
Obr. 3.6 Podrobné rozdělení průměrné denní potřeby vody z provozu domácnosti [32].....	11
Obr. 3.7 Porovnání nutrientů N, P, K ve žluté, hnědé a šedé odpadní vodě (dělení podle barvy) [37].....	13
Obr. 3.8 Koloběh vody v budově [38]	15
Obr. 3.9 Značení na místech používání nepitné vody [5]	31
Obr. 3.10 Jednoduchá úprava s dezinfekcí; (A) Sedimentace, (B) Hrubá filtrace	34
Obr. 3.11 Tříkomorový septik a lapák tuku	35
Obr. 3.12 Chemická úprava s oddělenou filtrací nebo flotací.....	38
Obr. 3.13 Systémy s fyzikální úpravou; (A) písková filtrace (GAC), (B) membránová filtrace	39
Obr. 3.14 Přírodní metody čištění šedých odpadních vod	41
Obr. 3.15 Systémy s biologickou úpravou; (a) biologická jednotka, (b) bioreaktor, MBR jednotka	44
Obr. 3.16 Přehled membránových procesů separace [124].....	47
Obr. 4.1 Ukázka průtoků ve stoupacím potrubí v bytovém domě „J“ v průběhu dne 26. 2. 2010 [132]	66
Obr. 6.1 Technologické schéma zapojení prototypu ČJŠV v laboratorních podmínkách	83
Obr. 6.2 Výkres nádrží, výřez z projektové dokumentace	90
Obr. 6.3 Prototyp, akumulární vyrovnávací nádrž (vlevo pohled vně, vpravo pohled dovnitř)	91
Obr. 6.4 Prototyp, nádrž čištění šedých vod (vlevo pohled vně, vpravo pohled dovnitř).....	91
Obr. 6.5 Odzkoušení prototypu v laboratořích, medium pitná voda.....	92
Obr. 6.6 Odzkoušení prototypu v laboratořích, medium šedá voda.....	93
Obr. 6.7 Odzkoušení prototypu ČJŠV v reálných podmínkách, medium šedá voda	97
Obr. 6.8 Technologické schéma zapojení prototypu ČJŠV v reálných podmínkách.....	98
Obr. 6.9 Množství rozpuštěného kyslíku a teplota v reaktoru nádrže čištění šedé vody při neustálém chodu dmýchadla v průběhu dne 3. 11. a 4. 11. 2013 (I. etapa)	100
Obr. 6.10 Množství rozpuštěného kyslíku a teplota v reaktoru nádrže čištění šedé vody v nastavení dmýchadla 10+10 v průběhu dne 27. 11. a 28. 11. 2013 (I. etapa).....	100

Obr. 6.11 Zapojení původní membrány s novým typem čerpadla dne 6. 8. 2014	101
Obr. 6.12 Technologické schéma zapojení prototypu ČJŠV v reálných podmínkách v rámci II. etapy	101
Obr. 6.13 Množství rozpuštěného kyslíku a teplota v reaktoru nádrže čištění šedé vody při na nastavení chodu dmýchadla (4+9) v průběhu dne 21. 11. 2014 (II. etapa).....	103
Obr. 6.14 Množství rozpuštěného kyslíku a teplota v reaktoru nádrže čištění šedé vody při na nastavení chodu dmýchadla (2+15) v průběhu dne 30. 11. 2014 (II. etapa).....	104
Obr. 6.15 Množství rozpuštěného kyslíku v reaktoru nádrže čištění šedé vody při na nastavení chodu dmýchadla 4+9 a 2+15, listopad a prosinec 2014, leden 2015 (II. etapa).....	109
Obr. 6.16 Měření Redox potenciálu v reaktoru nádrže čištění šedé vody při na nastavení chodu dmýchadla 4+9 a 2+15, listopad a prosinec 2014, leden 2015 (II. etapa).....	110
Obr. 6.17 Měření teploty potenciálu v reaktoru nádrže čištění šedé vody při na nastavení chodu dmýchadla 4+9 a 2+15, listopad a prosinec 2014, leden 2015 (II. etapa).....	110
Obr. 6.18 Porovnání průměrných hodnot rozpuštěného kyslíku s hodnotami sledovaného ukazatele znečištění BSK ₅	126
Obr. 6.19 Porovnání průměrných hodnot rozpuštěného kyslíku s hodnotami sledovaného ukazatele znečištění CHSK _{Cr}	126
Obr. 6.20 Porovnání průměrných hodnot rozpuštěného kyslíku s hodnotami sledovaného ukazatele znečištění P _{celk}	127
Obr. 6.21 Metodický postup návrhu systému využití šedých vod, *) viz kapitola „Ekonomické zhodnocení návrhu SVŠV“, **) viz kapitola „Ekologické zhodnocení návrhu SVŠV“	132
Obr. 6.22 Výřez ze softwaru, graf diskontované doby návratnosti.....	144
Obr. 6.23 Technologické schéma zařízení čištění šedých vod s využitím membránové mikrofiltrace, případové studie	156
Obr. 6.24 Průběh potřeby pitné vody v průběhu roku 2011, blok A04.....	157
Obr. 6.25 Průběh produkce šedé vody v průběhu roku 2011, blok A04.....	158
Obr. 6.26 Dispoziční uspořádání zařizovacích předmětů, blok A04	160
Obr. 6.27 Pohled do suterénu bloku A04 určeného k osazení čistící jednotky systému využití šedých vod.....	161
Obr. 6.28 Výřez výkresu půdorysu suterénu s návrhem dvojího rozvodu vnitřní kanalizace a vodovodu, blok A04.....	161
Obr. 6.29 Vývoj ceny vodného a stočného v Brně.....	161
Obr. 6.30 Stávající technologie praní prádla v prádelně Brno	163
Obr. 6.31 Vývoj ceny vodného a stočného v Hodoníně.....	164
Obr. 6.32 Stávající technologie praní prádla v prádelně Hodonín	165
Obr. 6.33 Prádelna v lázních, průběh produkce šedé vody, leden až červenec 2012.....	166
Obr. 6.34 Stávající technologie praní prádla, prádelna v lázních	167
Obr. 6.35 Vývoj ceny vodného a stočného v Břeclavi.....	168

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A ...	plocha [m ²]
ADGTSAG ..	Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines
BS ...	British Standard
BSK ₅ ...	biochemická spotřeba kyslíku po 5 dnech
BV ...	bílá voda
BVK, a.s. ...	Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.
CGDRWUTUF ...	Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing
CPM 22 ...	celkový počet kultivovaných mikroorganismů při 22°C
CPM 36 ...	celkový počet kultivovaných mikroorganismů při 36°C
ČJŠV ...	čistící jednotka šedé vody
ČOV ...	čistírna odpadních vod
DČOV ...	domovní čistírna odpadních vod
EL1 – 3...	ekologické zhodnocení návrhu SVŠV
EN1 – 3...	ekonomické zhodnocení návrhu SVŠV
EU ...	Evropská unie
FAST ...	Fakulta stavební
FU ...	Fixture Units
GAC ...	Granular Activated Carbon
GGRDP ...	Guidelines for Greywater Reuse for Different Purposes
GWI ...	Global Water Intelligence
CHSK _{Cr} ...	chemická spotřeba kyslíku
KTJ ...	kolonie tvořící jednotky
MBR ...	membrána
MF ...	mikrofiltrace
MTP ...	Market Transformation Programme
NPV ...	Net Present Value
NF ...	nanofiltrace
NL ...	nerozpuštěné látky
NSWRTF ...	Service Water Reused for Toilet Flushing
PET ...	polyethylentereftalát
PP ...	polypropylen
PPV ...	Pod Palackého vrchem

PVC ...	polyvinylchlorid
Q ...	průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
RO ...	reverzní osmóza
SVŠV ...	systém využití šedých vod
ŠV ...	šedá voda
TACR ...	Technologická agentura České republiky
TV ...	teplá užitková voda
UF ...	ultrafiltrace
ÚVHO ...	Ústav vodního hospodářství obcí, FAST VUT v Brně
USA ...	United States of America
V ...	objem [m^3]
v ...	rychlost proudění [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
VUT ...	Vysoké učení technické v Brně
WHO ...	World Health Organization

SUMMARY

The concept of reusing wastewater in buildings has recently become more important. This is due to changing 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 conception is based on use of alternative water sources which don't need strict parameters of drinking water. In the experiments of dissertation theses greywater from basins, showers and wash machines was collected separately from the other more polluted domestic wastewater at the university dorms, the laundry machines, the hotels, the detached houses, the swimming pools, the office buildings and other buildings. The research showed how to manage water ecologically and economically in buildings. There is still a lack of experience and documentation for such system of operation in this country. In my dissertation theses I defined boundary conditions for system of reusing greywater. It has defined the quality greywater and white water, grey water flow. Prototype treatment of greywater using microfiltration was tested, prototype testing has been verified. Secondly there was defined the methodology of use greywater in selected objects in my dissertation. Finally, it has defined usability studies of demonstration locations. The research showed that membrane filtrations meet all applicable water quality standards and these systems may be used as service white water for toilet flushing and the irrigation system of gardens or green areas.

PŘÍLOHY

Příloha č. 1 dizertační práce:

Software, metodický postup návrhu systému využití šedých vod;

Příloha č. 2 dizertační práce:

Software, metodický postup návrhu systému využití šedých vod – vzorový příklad.