

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA EKOLOGIE



Management šedých a dešťových vod v budově

Management of gray and rainwater in the building

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Martina Klejchová

Vedoucí práce: Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martina Klejchová

Aplikovaná ekologie

Název práce

Management šedých a dešťových vod v budově

Název anglicky

Management of gray and rainwater in the building

Cíle práce

Diplomová práce popisuje využití šedých a dešťových vod v nové budově fakulty životního prostředí v Praze. Jedná se o mezifakultní centrum oborových věd (MCEV III.). Budova je navržena v nízkoenergetickém standardu a využívá šedé a dešťové vody pro pěstování rostlin přímo na budově. Rešeršní část je zaměřena na řešení kvality šedé a dešťové vody pro znovuvyužití, úpravy a rozdělení vod. Hlavním cílem práce je zjistit kvalitativní a kvantitativní využití vod v MCEV III. Součástí práce je vyhodnocení vodního hospodářství budovy – porovnání odhadu roční bilance využití šedé a dešťové vody s reálným stavem.

Metodika

Jedná se o experimentální diplomovou práci, která je zpracována v nově vybudovaném mezifakultním centru oborových věd. Teoretická část bude zpracována formou rešerše. Čerpat bude ze zdrojů odborné literatury a dalších relevantních zdrojů týkajících se problematiky. V praktické části se porovná kvalita vod z odebraných vzorků se standarty ČR. Dále porovnání odhadu roční bilance vod s reálním stavem.

Doporučený rozsah práce

70 stran

Klíčová slova

znovuvyužití vod, mokřadní biotop, bilance vody, vodní management budovy

Doporučené zdroje informací

ČSN EN 16941-2: Zařízení pro využití nepitné vody na místě – Část 2: Zařízení pro využití čištěné šedé vody. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2021. 32 s.

ČSN 75 6780 (756780): Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2021. 40 s.

Minnesota Pollution Control Agency, © 2023: Overview for stormwater and rainwater harvest and use/reuse (online) [cit. 2023.04.19], dostupné z <https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=Overview_for_stormwater_and_rainwater_harvest_and_use

Raclavský, J. Bílá, R. Vrána, J. Hluštík, P. Raček, J. Bartoník, A. 2013: Greywater and Rainwater Management in Buildings. Advanced Materials Research. 649, 195-198.

Rashid, A. R. M., Bhuiyan, M. A., Pramanik, B., Jayasuriya, N. 2022: A comparison of environmental impacts between rainwater harvesting and rain garden scenarios. Process Safety and Environmental Protection. 159, 198-212.

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 18. 3. 2024

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 3. 2024

prof. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Management šedých a dešťových vod v budově vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze

Dne 28.3.2024

.....

(podpis autora práce)

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucí práce, Ing. Tereze Hnátkové, Ph.D. za vedení této práce, věcné rady a připomínky, trpělivost a motivující přístup. Dále poděkování konzultantovi Ing. Adamu Janu Sochackému Ph.D., mé rodině, blízkým a všem, kdo mě během práce podporovali.

Abstrakt

Problém tepelných ostrovů, plýtvání pitnou vodou, využití šedých a dešťových vod jsou témata, kterými se autorka v této diplomové práci zabývá. Jde primárně o znovuvyužití přečištěných šedých a dešťových vod typovou ČOV a uměle vytvořeným mokřadním biotopem v budově MCEV III.

Cílem bylo zjištění, zda jsou tyto vody vhodné pro další využívání v budově, konkrétně na závlahy střech a stěn, případě v budoucnu pro splachování toalet. Dalším z cílů bylo srovnání bilance vody a zda se využití vod opravdu vyplatí.

Dle laboratorních výsledků bylo zjištěno, že šedé vody produkované v budově jsou po vyčištění vhodné a stejně tak i dešťové vody. Při důkladném prozkoumání studií bylo autorkou zjištěno, že jsou nekompletní legislativní parametry ČR. Ohledně bilance vody v MCEV III. byly výsledky nerelevantní. Důvodem jsou data, která byla sbírána hned po zavedení budovy do provozu, a tudíž tyto výsledky nejdou porovnávat s výsledky v běžném provozu.

Klíčová slova

znovuvyužití vod, mokřadní biotop, bilance vody, vodní management budovy

Abstracts

The problem of heat islands, waste of drinking water, use of grey and rainwater are the topics that the author deals with in this thesis. It is primarily about the reuse of treated grey and rainwater by a standard wastewater treatment plant and an artificially created wetland habitat in the MCEV III building.

The objective was to determine if these waters are suitable for further use in the building specifically for roof and wall irrigation and if in the future for toilet flushing. Another objective was to compare the water balance and whether the use of the water is really worthwhile.

According to the laboratory results, it was found that the grey water produced in the building is suitable after treatment and so is the rainwater. When the author thoroughly examined the studies, she found that the legislative parameters of the Czech Republic were incomplete. Regarding the water balance in MCEV III, the results were irrelevant. This is because the data was collected immediately after the building was started and therefore these results cannot be compared with the results in normal operation.

Keywords

water reuse, wetland habitat, water balance, water management of the building

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Cíle práce	2
3.	Metodika	3
3.1	MCEV III.	4
3.2	Zelená střecha.....	5
3.2.1	Souvrství střechy	6
3.2.2	Seznam rostlin a péče.....	7
3.2.3	Závlahový systém.....	8
3.3	Zelená stěna.....	9
3.4	Kořenová čistírna	10
3.5	Mokřadní biotop.....	10
3.6	Popis procesu mokřadního biotopu a kořenové čistírny	12
3.7	ČOV	13
3.8	System vod.....	14
3.9	Odpady	14
3.10	Metodika – analytická část.....	15
3.11	Hodnocené parametry	20
3.11.1	Nasycení kyslíkem	20
3.11.2	Konduktivita a pH.....	21
3.11.3	Celkový fosfor.....	22
3.11.4	Amonné ionty (měřeno jako N-NH ₄).....	23
3.11.5	Určení TOC / TC.....	25
3.11.6	Určení DOC	26
3.11.7	<i>Escherichia coli</i>	26
3.11.8	Zákal.....	26
3.11.9	Anionty – iontová chromatografie	27
3.11.10	Aniontové povrchově aktivní látky	28
3.12	Bilance vody.....	30
4.	Literární rešerše.....	31
4.1	Systemy pro využití vod	31
4.1.1	Zelená střecha.....	32
4.1.2	Zelená stěna.....	34
4.1.3	Výhody a nevýhody zelených střech a zelených stěn	37

4.1.4	Kořenová čistírna	39
4.1.5	Mokřadní biotop	40
4.2	Systemy pro nakládání s vodami	41
4.2.1	Čištění odpadních vod	41
4.2.2	Šedá voda	43
4.2.2.1	Rozdělení šedé vody	44
4.2.2.2	Čištění šedé vody	44
4.2.3	Dešťová voda	45
4.2.3.1	Úprava vody	46
4.2.4	Zdravotní rizika – šedá voda	47
4.2.5	Zdravotní rizika – dešťová voda	48
4.2.6	Požadavky na kvalitu vody šedé vody	50
4.2.7	Požadavky na kvalitu dešťové vody	51
4.3	Příklady ze zahraničí	52
5.	Výsledky práce	53
5.1	Celková účinnost odstraňování živin	53
5.2	Shrnutí legislativních parametrů	56
5.3	Prezentace výsledků naměřených hodnot	57
5.4	Prezentace výsledků bilance vody	61
6.	Diskuse	62
7.	Závěr a přínos práce	65
8.	Použitá literatura	66
8.1	Odborné publikace	66
8.2	Ostatní zdroje	69
8.3	Internetové publikace	70
8.3	Legislativní zdroje	71
8.4	Projektová dokumentace	71
9.	Přílohy	72
10.	Seznam tabulek	76
11.	Seznam obrázků	77
12.	Seznam příloh	78

AJ	akumulační jímka
BOD ₅	biologická spotřeba kyslíku
Br ⁻	brom
BSK ₅	biochemická spotřeba kyslíku
Cd	kadmium
Cl ⁻	chlor
CHSK	chemická spotřeba kyslíku
Cu	měď
ČOV	čistírna odpadních vod
ČZU	Česká zemědělská univerzita
DČŠ	dešťová čerpací šachta
DOC	rozpuštěný organický uhlík
DŠ	dešťová šachta
EC	<i>Escherichia coli</i>
FŽP	fakulta životního prostředí
IC	anorganického uhlíku
KŠ	kontrolní šachta
MCEV III.	mezifakultní centrum oborových věd
MBR	membránové bioreaktory
N-NH ₄ ⁺	amoniakální dusík
O ₂	nasycení kyslíkem
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky
pH	
Pb	olovo

PO ₄ ⁺	fosforečnany
SO ₄ ⁻	sírany
TC	celkový uhlík
TDS	celkové rozpuštěné pevné látky
TN	celkový dusík
TOC	celkový organický uhlík
TSS	Celkový počet nerozpuštěných látek
VKF 1	vertikální kořenový filtr 1
VKF 2	vertikální kořenový filtr 2
Zn	zinek

1. Úvod

V diplomové práci se autorka zabývá především problematikou znovuvyužití šedých vod v rámci nově vybudované budovy MCEV III. Jedná se o budovu s nainstalovanou zelenou střechou a zelenou stěnou.

Mokřadní biotop je venkovní akumulace, úprava a distribuce šedých odpadních vod a vod dešťových. Zdrojem těchto vod je právě vybudovaná budova MCEV III. Akumulované vody se budou primárně vyžívat na závlahu intenzivní zelené střechy a vertikálních zahrad. V budoucnu je možné tyto vody využívat i pro splachování toalet (ČZU, 2024).

Celkové výhody problematiky zelených střech jsou v dnešní době prokazatelné. Tím myšleno, jak z hlediska ekologického, ekonomického i sociálního. Největšími přínosy jsou fakta, že pozitivně působí na klima měst i vnitřní klima budov. S tím souvisí i snížení tepelných ztrát a výkyvů. V dnešní době, při cenách energií to stojí za zvážení (Niachou et al., 2001).

Mezi další hlavní přínosy můžeme zařadit již zmíněné snížení tepelného ostrova, hospodaření se šedou a dešťovou vodou a také podpora biodiverzity (ISOVER,2023).

2. Cíle práce

Diplomová práce popisuje využití šedých a dešťových vod v nové budově fakulty životního prostředí v Praze. Jedná se o mezifakultní centrum oborových věd (MCEV III.).

Budova je navržena v nízkoenergetickém standardu a využívá šedé a dešťové vody pro pěstování rostlin přímo na budově. Rešeršní část je zaměřena na řešení kvality šedé a dešťové vody pro znovuvyužití, úpravy a rozdělení vod.

Hlavním cílem práce je zjistit kvalitativní a kvantitativní využití vod v MCEV III. Součástí práce je vyhodnocení vodního hospodářství budovy – porovnání odhadu roční bilance využití šedé a dešťové vody s reálným stavem.

3. Metodika

Experimentální část této diplomové práce probíhala v Praze na fakultě životního prostředí. Jedná se o mezifakultní centrum České zemědělské univerzity. V práci je nejprve detailně popsána technologie budovy a v analytické části je popsána metodika analýz vzorků. Teoretická část je následně zpracována formou rešerše ze zdrojů odborné literatury.



Obrázek 1: MCEV III.

3.1 MCEV III.

Zkoumané území je nově postavené mezifakultní centrum České zemědělské univerzity. Na této budově je vybudovaná zelená střecha i zelená stěna. Součástí je i mokřadní biotop a vertikální kořenový filtr. Navržené řešení využití počítá s více zdroji vody. Tím je myšlena šedá voda, která se přečistí čistírnou odpadních vod. Výkyvy, které jsou možné, jsou odstraněny za pomoci akumulací nádrže, která je součástí.

Šedá voda je voda z umyvadel, sprch a je oddělena od splaškové vody odděleným kanalizačním systémem. Voda z výlevků a toalet je samostatně vedena přímo do kanalizační sítě. Dalším typem vody je voda dešťová, která je zachycována jenom zelenou střechou. Voda, která bude přebytečná a nechytí ji substrát zelené střechy, bude odvedena do podzemní akumulací nádrže společně s bílou vodou (přečištěná šedá voda) (ČZU,2024).

Tabulka 1: Povrch funkčních ploch (ČZU,2024)

Objekt	Povrch
zelené střecha – celkem	371,97 m²
- intenzivní část	111,73 m ²
- extenzivní část	127,53 m ²
- super extenzivní část	132,71 m ²
zelená stěna – celkem	385,00 m²
mokřadní biotop – celkem	120,00 m²
- litorální pásmo	25,00 m ²
- vodní plocha	95,00 m ²
vertikální kořenový filtr – celkem	20,00 m²
- vertikální kořenový filtr 1	13,30 m ²
- vertikální kořenový filtr 2	6,70 m ²

3.2 Zelená střecha

Zelená střecha je umístěna na střeše 3. a 4. nadzemního podlaží nové budovy. Je rozdělena do tří částí. Hlavním rozdílem částí je mocnost substrátu a množství závlahy (ČZU,2024).

Na západní straně třetího nadzemního podlaží se nachází první část, a to intenzivní zelená střecha, která má mocnost substrátu 500 mm. V tomto místě je zavedena kapková intenzivní závlaha. V intenzivní části je vysazen sortiment trvalek, travin, cibulovin a keřů (ČZU,2024).

V druhé části, konkrétně na severní a východní straně třetího nadzemního podlaží je zavedena zelená střecha extenzivní s mocností substrátu 150 mm. Zde jsou vysázeny suchomilné trvalky, travina a cibuloviny. Závlaha je zde ve formě rotačních postřikovačů. Na tomto místě jsou pomoheny i pochozí betonové dlažby (ČZU,2024).

Poslední část, která se nachází na střeše čtvrtého nadzemního podlaží je zelená střecha super extenzivní. Mocnost substrátu je 80 mm. Jelikož se jedná o část bez zavedené závlahy, jsou zde vysázeny vytrvalé rostliny vhodná pro extrémně suchá stanoviště (ČZU,2024).

Celá zelená střecha má zabudované měření a regulaci závlahového systému, které je propojené s technickou místností v zázemí budovy (ČZU,2024).



Obrázek 2: Extenzivní část zelené střechy

3.2.1 Souvrství střechy

Každá ze tří částí zelené střechy je položena na dokončenou hydroizolaci.

Souvrství se skládá ze 4 vrstev:

- ochranná geotextílie
 - Ochranná vrstva sloužící proti prorůstání kořenů a poškození hydroizolace (ČZU,2024).
- hydroakumulační vrstva z nopové folie
 - Slouží k akumulaci dešťové vody nebo závlahové vody pro potřebu rostlin (ČZU,2024).
- filtrační vrstva z netkané textilie
 - Zabraňuje vyplavování drobných částic z vegetační a drenážní vrstvy do vrstev spodních (ČZU,2024).
- vegetační vrstva
 - Tato vrstva je tvořena substrátem, který je vhodný pro konkrétní část střechy a vhodná pro růst žádoucích rostlin (ČZU,2024).

Tyto vrstvy jsou pro každou část stejné s rozdílem mocností a velikostí uzpůsobené pro danou variantu (ČZU,2024).

Tabulka 2: Souvrství zelených střech budovy MCEV III. (ČZU,2024)

	INTENZIVNÍ ČÁST 111,73 m²	EXTENZIVNÍ ČÁST 127,52 m²	SUPER EXTENZIVNÍ ČÁST 132,71 m²
Ochranná geotextílie	500 g/m ²	500 g/m ²	500 g/m ²
Hydroakumulační vrstva z nopové folie	40 mm	25 mm	25 mm
Filtrační vrstva z netkané textilie	150 g/m ²	100 g/m ²	100 g/m ²
Vegetační vrstva	500 mm	150 mm	80 mm

3.2.2 Seznam rostlin a péče

V prvotní fázi bude důležitá i péče o rostliny. Na super extenzivní části je potřeba občasného hnojení, odstranění nežádoucí vegetace a kontroly 1-2x do roka. V případě extenzivní a intenzivní části bude důležitá zálaha a hnojení a zároveň zastřihnutí suchých částí rostlin, odstranění náletových rostlin. V prvních pár letech kontrola několikrát do roka a v dalších letech 2x ročně (ČZU,2024).

Tabulka 3: Seznam vegetace (ČZU,2024)

Rostliny pro super extenzivní část:	Rostliny pro extenzivní část:	Rostliny pro intenzivní část:	Rostliny pro extenzivní a intenzivní část:
<i>Festuca glauca</i>	<i>Agastache rugosa</i> 'After Eight'	<i>Cerastium tomentosum</i>	<i>Allium aflatunense</i> 'Mount Everest'
<i>Koeleria glauca</i>	<i>Achillea millefolium</i> 'Schneetaler'	<i>Dianthus carthusianorum</i>	<i>Allium sphaerocephalon</i>
<i>Sedum acre</i>	<i>Achnatherum calamagrostis</i>	<i>Echinaca purpurea</i> 'Alba'	<i>Galanthus nivalis</i>
<i>Sedum floriferum</i>	<i>Armeria maritima</i> 'Armada Pink'	<i>Echinaca purpurea</i> 'Magnus'	<i>Leucojum vernalis</i>
<i>Sedum hybridum</i> 'Chocolate Ball'	<i>Dianthus carthusianorum</i>	<i>Fragaria vesca</i>	<i>Scilla siberica</i>
<i>Sedum reflexum</i>	<i>Dianthus deltoides</i> 'Albus'	<i>Gaura lindheimeri</i> 'Ellura'	
<i>Sedum sexangulare</i>	<i>Gaura lindheimeri</i> 'Ellura'	<i>Gaura lindheimeri</i> 'Geyser Pink'	Keře pro intenzivní část
<i>Sedum spurium</i> 'Album superbum'	<i>Gaura lindheimeri</i> 'Geyser Pink'	<i>Hypericum polyphyllum</i>	<i>Amelanchier ovalis</i>
<i>Sedum spurium</i> 'Rose'	<i>Hyssopus officinalis</i>	<i>Lavandula angustifolia</i> 'Beate'	
<i>Sempervivum hybridum</i>	<i>Lavandula angustifolia</i> 'Beate'	<i>Lavandula angustifolia</i> 'Blue Cushion Schola'	
	<i>Lavandula angustifolia</i> 'Blue Cushion Schola'	<i>Leucanthemum maximum</i>	
	<i>Leucanthemum maximum</i>	<i>Melissa officinalis</i>	
	<i>Origanum vulgare</i>	<i>Mentha x piperita</i>	
	<i>Pennisetum alopecuroides</i> 'Black Beauty'	<i>Origanum vulgare</i>	
	<i>Pennisetum alopecuroides</i> 'Hameln'	<i>Pennisetum alopecuroides</i> 'Black Beauty'	
	<i>Santolina chamaecyparissus</i>	<i>Pennisetum alopecuroides</i> 'Hameln'	
	<i>Saxifraga paniculata</i>	<i>Rudbeckia missouriensis</i>	
	<i>Saxifraga x arendesii</i> 'Alpino Early Pink'	<i>Salvia nemorosa</i> 'Ostfriesland'	
	<i>Saxifraga x arendesii</i> 'Harder Zwerg'	<i>Salvia officinalis</i>	
	<i>Thymus x citriodorus</i> 'Aureus'	<i>Saxifraga paniculata</i>	
		<i>Thymus praecox</i> 'Coccineus'	
		<i>Thymus praecox</i> 'Red carpet'	

3.2.3 Závlahový systém

Závlahový systém je řešen pouze pro extenzivní a intenzivní zelenou střechu, tedy pro střechu třetího nadzemního podlaží. Zdroj závlahy je umístěn v místnosti P326, kde je umístěn rozvaděč. Z rozvaděče vedou 3 rozvody potrubní šachtou celou výškou budovy až na střechu třetího patra. Každý ze tří rozvodů je určený pro jeden z okruhů závlahy. Každý okruh má rozdílné parametry a požadavky (ČZU,2024).

- První okruh je okruh pro kapkovou závlahu intenzivní části (ČZU,2024).
- Druhý okruh pro kapkovou závlahu pro popínavé rostliny (ČZU,2024).
- Třetí okruh je pro závlahu pomocí postřikovačů v extenzivní části (ČZU,2024).

Kapková závlaha intenzivní části střechy, která je přivedena dvěma přívody je následně rozdělena na 3 větve (A, B a C). Dvě větve na plochu „zahrady“ a jedna na popínavé rostliny (ČZU,2024).

Délka větví je

- A – 143,551 m
- B – 148,297 m
- C – 76,038 m

Extenzivní střecha, která je zavlažována za pomoci rotačních postřikovačů má třetí okruh. Tento okruh je označen D (ČZU,2024).

Potrubí, které přivádí vodu pro závlahu je umístěno v intenzivní části zahrady. V tomto místě jsou vytaženy na povrch větve A a B. Zbylé větve C a D jsou vedeny substrátem do zadní straně budovy, kde je závlaha vedena po povrchu substrátu (C) nebo pod dlaždicemi (D) (ČZU,2024).

V tomto závlahovém systému je důležitá údržba. Systém je využíván přes vegetační období a pravidelně na zimní období je vypouštěn. Vypouštění probíhá proto, aby nedošlo k popraskání trubek při nízkých mrazivých teplotách. Na jaře je provoz opět spuštěn a současně s tím je provedena prohlídka správné funkčnosti. Následují případné opravy (ČZU,2024).

3.3 Zelená stěna

Pro porost vegetace jsou určeny 3 stěny budovy. Celá severní stěna a převážná část západní a východní stěny. Tyto strany budovy jsou obepnuty ocelovou konstrukcí připevněné na kontaktní zateplovací systém budovy. Tato ocelová konstrukce slouží k závěsnému systému košů zelené stěny. Vegetace je umístěna od úrovně prvního nadzemního podlaží až do třetího nadzemního podlaží mimo okenní výplně. Spodní část prvního podlaží a část čtvrtého nadzemního podlaží jsou opatřeny systémem lanek, upevněných na kontaktním zateplovacím systému. Lanka umožní pnutí popínavé vegetace (ČZU,2024).

Na celou budovu je počítáno s hustotou rostlin 50-80 rostlina na m². Osázeny jsou kazety s hydrofilní vlnou a ty následně uchovány ve skleníku na prokořenění. Ve skleníku byly kazety tři měsíce tzv. předpěstitelská doba. Tato doba byla nutná pro dostatečnou a vhodnou délku vegetace. Následně se na stěnu zasazoval plně zelený panel. Panely se namontovaly přes tenkou drenážní folii na deskovou konstrukci. Konstrukce je připevněna na nosný kovový provětrávací rošt (ČZU,2024).

Voda a živiny jsou do všech stěn vedeny pomocí hadiček kapkové závlahy. Systém je napojen na řídicí jednotku, která je plně automatizována a řízena dálkově, ale je zde možnost i osobní manipulace. Řídicí systém je společný jak pro zelené stěny, tak zelenou střechu. Nosné lišty, do kterých jsou zavěšeny kazety, slouží i pro upevnění plastovými úchytky závlahových hadic. Lišty s hadičkou jsou ukryty pohledovou lištou. Hadičky jsou vícevrstvé, s mechanismem rovnoměrné distribuce vody s minimálním průtokem 1,6 l/h (ČZU,2024).

Pro závlahu zelených stěn je počítáno s přečerpávací nádrží, která má kapacitu pro 24h provoz. Do této nádrže je svedena voda z venkovní dešťové nádrže. Z přečerpávací nádrže v místnosti P326 je vedena potrubím voda přímo do stěn. Na západní straně je vyústění. Sedm přívodů je odděleno a následně dovedeno v prostoru konstrukce až k západní stěně (ČZU,2024). Pro zachycení přebytečné vody ze závlah je pod okny umístěn okapní žlab. Tyto okapy jsou svedeny do systému drenážní folie. Taktéž ze spodních částí stěn je počítáno s okapem přebytečné vody, a proto je kolem budovy instalován kačírkový pás (ČZU,2024).



Obrázek 3: Zelená stěna – detail

3.4 Kořenová čistírna

Jedná se o hydroizolovanou přírodní nádrž. Tato nádrž je začleněna do okolního terénu. V obsahu nádrže nalezneme kameniva různých mocností a frakcí, zároveň je přírodního charakteru, avšak svými chemickými vlastnostmi splňuje požadavky na betonářské účely. Povrch je osázen mokřadní vegetací, která zahrnuje Kyprej vrbice, Kosatec žlutý, Kosatec sibiřský a Blatouch bahenní. Funkčně se jedná o nezatopený, skrápěný aerobní biofiltr (ČZU,2024).

3.5 Mokřadní biotop

Mokřadní biotop je součástí komplexního systému vod v celé budově MCEV III. Tato část řeší venkovní akumulaci vod, následně úpravu a distribuci dešťových a šedých odpadních vod. Jedná se o znovuvyužití vod vyprodukovaných v nově vybudované MCEV III. Vody se primárně využijí pro závlahu intenzivní zelené střechy a vertikálních zahrad. K mokřadnímu biotopu náleží akumulární jímka (AJ), vertikální kořenový filtr (VKF), dešťová šachta (DŠ), kontrolní šachta (KŠ) a dešťová čerpací šachta (DČŠ). Dalšími částmi jsou potrubní spojovací objekty a elektropřípojky. Celkové parametry mokřadního biotopu jsou sepsány v tabulce níže (ČZU,2024).

Tabulka 4: Technické parametry (ČZU,2024)

Celková plocha	120 m ²
Plocha litorálního pásma	25 m ²
Celkový maximální objem biotopu včetně retence	155 m ³
Minimální objem nadržení (min. hladina)	40 m ³
Zásobní objem (hladina stálého nadržení)	80 m ³
Retenční objem (max. hladina)	35 m ³

Mokřadní biotop

Biotop je řešen jako hydroizolovaná mokřadní přírodní tůň, kompletně vyhotovena v zářezu rostlého terénu. Mokřadní biotop je rozdělen na dvě části, a to na hlubokou akumulární část a litorální pásmo. V litorálním pásmu nalezneme tyto rostliny: Kyprej vrbice, Kosatec žlutý, Kosatec sibiřský, Blatouch bahenní, Skřípina jezerní. Na dně a na svazích biotopu lokálně nalezneme větší kameny, mrtvé dřevo pro vytvoření úkrytů pro živočichy. Z hluboké části biotopu směrem k litorální části je umístěna dřevěná fošna, která představuje rampu pro obojživelníky. Rampa slouží živočichům k možnosti, dostat se na zpevněný terén v případě snížené hladiny vody (ČZU,2024).

Dešťová šachta

Je usazena těsně před biotopem a obsahuje sedimentační prostor. Je zakrytována poklopem, který je pochozí a je možné ho uzamknout (ČZU,2024).

Kontrolní šachta

Tato šachta je samostatná šachta bez dna, která je posazena na dno litorální části mokřadu. Je opatřena poklopem a stejně jako dešťová šachta je pochozí a uzamykatelná (ČZU,2024).

Dešťová čerpací šachta

Tato šachta slouží k odběru vody z dešťové kanalizace. Tímto umožňuje doplnění akumulárního objemu systému v případě potřeby. Další možností, jak tuto šachtu využít je vsak dešťových vod. Dno šachty umožní vsak přebytečných a zbytkových dešťových vod (ČZU,2024).

Akumulační jímka

Jímka je vyhotovena jako skladné nádrž o rozměrech Š x V x D = 3600 x 2650 x 16970 mm. Akumulační objem jímky je 112 m³ (ČZU,2024).

3.6 Popis procesu mokřadního biotopu a kořenové čistírny

Mokřadní biotop a kořenová čistírna řeší venkovní akumulaci a distribuci šedých a dešťových vod. V případě šedých vod se jedná o vody vyprodukované v budově FŽP MCEV III. Vody jsou akumulovány pro využití na závlahu intenzivní zelené střechy a zelených stěn. Tato voda je využívána i pro splachování toalet (ČZU,2024).

Dešťové vody ze střech jsou svedeny potrubím do dešťové šachty, která je zaústěna do mokřadního biotopu. V dešťové šachtě je i sedimentační prostor a bezpečnostní přepad pro případ maximálního naplnění retenční nádrže. Přepad navazuje na dešťovou čerpací šachtu, kde je umožněn záložní odběr s konečným vyústěním potrubí do kanalizace areálu ČZU (ČZU,2024).

V mokřadním biotopu je voda předupravená za pomoci systému mokřadu. Při průtoku biotopem se v litorální zóně přebytečná voda začne vsakovat do sběrného perforovaného potrubí. Toto potrubí ústí do kontrolní šachty odkud je přepadem vedena do akumulací jímky. Z akumulací jímky je voda za pomoci čerpadla vedena potrubím do technické místnosti, kde se nachází tlaková nádoba a rozvody závlahy vedené na zelenou střechu (ČZU,2024).

Šedé vody jsou v technické místnosti P326 vyčištěny v typové ČOV. Po vyčištění jsou vody přečerpány na vertikální kořenový filtr 1. Tyto vody jsou v mokřadní biotopu smíchány s dešťovou vodou a přepadají do akumulací jímky. V případě naplnění maximální kapacity jímky jsou tyto vody přepadem odvedeny do splaškové kanalizace, a to bez dalšího přečištění (ČZU,2024).

Hlavní funkcí vertikálního kořenového filtru je zajištění trvalé vyhovující jakosti akumulovaných vod. Jedná se o vody jak v rámci mokřadního biotopu, tak i akumulací jímky. Určitá jakost vod je zajištěna jejich kontinuální recirkulací skrze vertikální filtr, ten je rozdělen na dvě části. Vody z mokřadního biotopu, dešťové vody a šedé vody čistí první část (VKF 1). V druhé části filtr čistí pouze akumulované vody v akumulací jímcě a v případě nutnosti je předčišťuje během přepouštění z biotopu do AJ (VKF 2). Recirkulace probíhá za pomoci dvou ponorných čerpadel (ČZU,2024).

Dešťová čerpací šachta má možnost v případě potřeby doplnit vodu do akumulací systému z dešťové kanalizace. Voda je čerpána ponorným čerpadlem. Přítok této šachty je ovládán elektrickým uzávěrem (ČZU,2024).

3.7 ČOV

Odpadní vody z hygienických zařízení, konkrétně sprch a umyvadel neboli šedé vody z celé budovy jsou svedeny do třetího podzemního podlaží. V místnosti P326 je umístěna čistírna šedých odpadních vod. Kapacita čistírny odpadních vod má kapacitu max. 1500 l/den šedé vody, velikost bioreaktoru je 1500 l a velikost nádrže na bílou – přečištěnou vodu je 1500 l. Vyčištěné vody jsou dále přečerpávány do mokřadního biotopu, kde jsou vody přečištěny a převážně následně využity na závlahu zelených střech a zelených stěn a doplnění biotopu. Mimo vegetační dobu lze využít přebytek vody na splachování toalet (ČZU,2024).

Čistírna odpadních vod je vybavena vyjímatelným síťovým filtrem, který slouží pro mechanické předčištění hrubých nečistot. Zpětnému toku odpadní vody a vniknutí drobných živočichů z kanalizace do nádrže zabraňuje integrovaný zpětný ventil. Přes sací ventil filtru jsou automaticky odstraňovány sedimenty, toto se děje vždy při větším průtoku. V případě, že ventil nestačí, voda přepadá do integrovaného sběrače. Tímto sběračem se odstraní plovoucí nečistoty jako jsou oleje a pěna. Pro prodloužení intervalu pravidelné kontroly a ručního čištění je filtr mechanických nečistot vybaven proplachem vodní tryskou pro automatické čištění (ČZU,2024).

Membránová stanice je vertikálně umístěna v biologickém reaktoru. Stanice je osázena maximálně 6 membránovými patronami a je k ní připojena hadice pro odtah vyčištěné bílé provozní vody. Dle počtu patron jsou umístěna závaží, pro udržení stability při provzdušňování. Na umístění patron také závisí rovnoměrný odtah vyčištěné vody do nádrže. Membrána je pravidelně čištěna proplachem a vzduchem, pro uvolnění vláken. Vzduch je rovnoměrně rozdělen a tímto je dodáván i kyslík pro biologické procesy (ČZU,2024).

3.8 Systém vod

Pro tento systém budovy jsou využívány jak šedé vody, tak dešťové vody. Splašková voda z kancelářských částí a z laboratoří je odváděna přímo do splaškové kanalizace. Do splaškové kanalizace mohou být odvedeny jen vody splňující požadavky kanalizačního řádu. Většina splaškové vody je odvedena do nové přípojky, odpadní voda mimo splaškové je odvedena do třetího podzemního podlaží do místnosti P326, kde je akumulována (ČZU,2024).

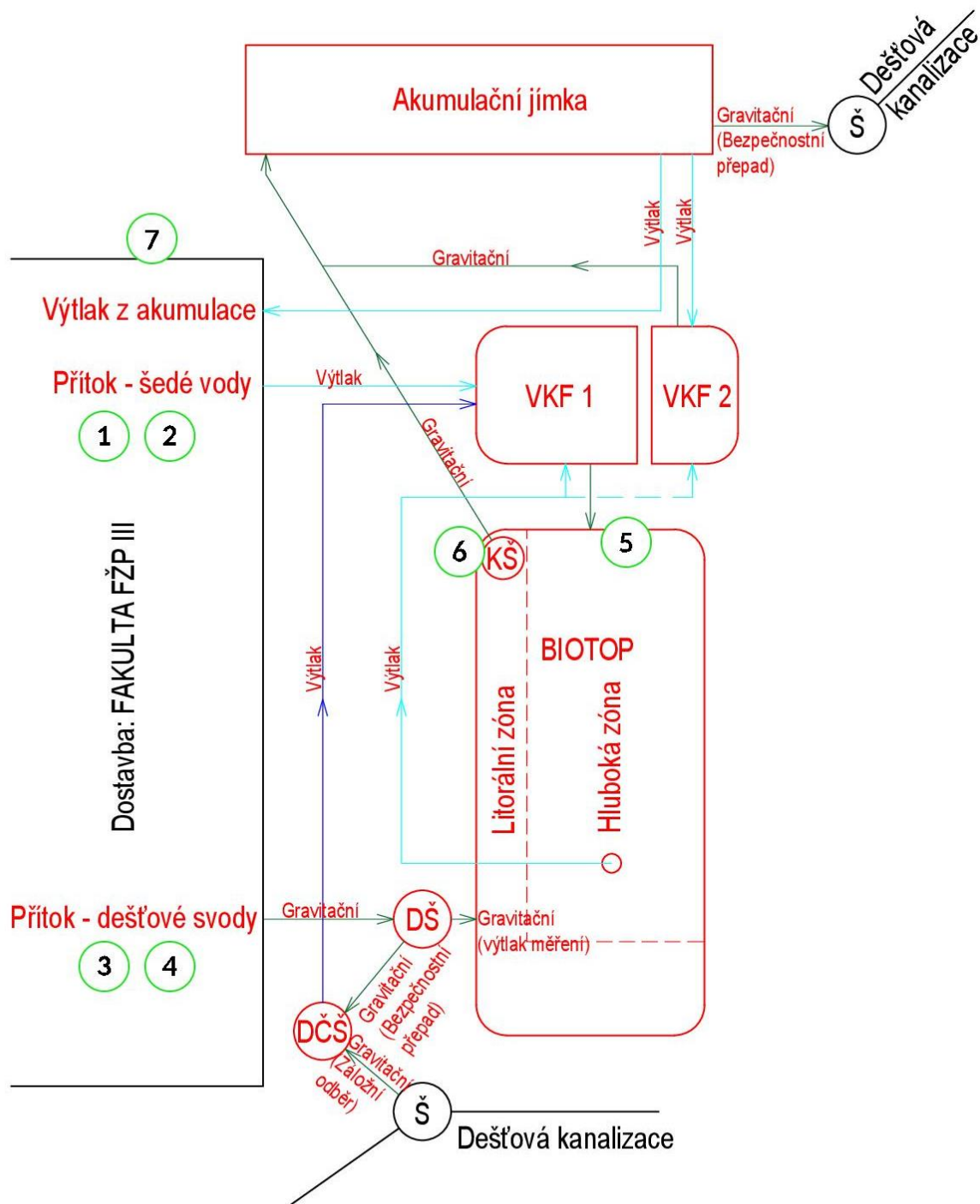
Šedé vody z budovy jsou odděleny a svedeny do čistírny odpadních vod. Přečištěné tzv. bílé vody jsou přečerpány do mokřadního biotopu. Tyto vody jsou následně dočištěny v biotopu a použity pro závlahy stejně jako na doplnění biotopu. V případě přebytku mimo vegetační dobu je vody využita pro splachování toalet. Při nedostatku vody z biotopu na splachování toalet je voda nahrazena pitnou vodou. Oddělení systému užitkové a pitné vody musí být v souladu s normou ČSN EN 1717: Ochrana proti znečištění pitné vody ve vnitřních vodovodech a všeobecné požadavky na zařízení na ochranu proti znečištění zpětným průtokem (ČZU,2024).

3.9 Odpady

Odpady jsou v této budově řešeny klasicky. Běžná komunální odpad je řešen sběrnými nádobami v každém patře. Černá voda vyprodukovaná v budově se svedena do areálové stoky. Šedá voda je vyčištěna za pomoci místní ČOV umístěné v místnosti P326 a následně dočištěna v mokřadním biotopu. Tato voda je následně znovuvyužita dle potřeb (ČZU,2024).

3.10 Metodika – analytická část

Pro výzkum se odebíraly vzorky jednou týdně po dobu čtyř měsíců, konkrétně od 16.10. 2023 do 14.2. 2024. Sběr vzorků probíhal vždy dle technologického schématu (obrázek 4). Celkem se odebíralo 6 ze 7 označených ve schématu vzorků. Vzorek číslo 4 nebyl odebírán, protože nebylo možné ho odebrat.



Obrázek 4: Grafický popis situace

Konkrétní místa odběru byla:

- 1) Vstup – šedá voda
- 2) Výstup – šedá voda = bílá voda
- 3) Svod dešťové vody – nehnojená dešťová voda, při nedostatku dešťové vody doplněna o vodu pitnou
- 4) Výstup dešťové vody – dešťová voda s hnojivem
- 5) Biotop – vstup vody do biotopu
- 6) Biotop – výstup vody
- 7) Přebytek vody ze zelené stěny – snaha o minimum vody v tomto místě, tato voda jde do kanalizace



Obrázek 5: Vstup – šedá voda



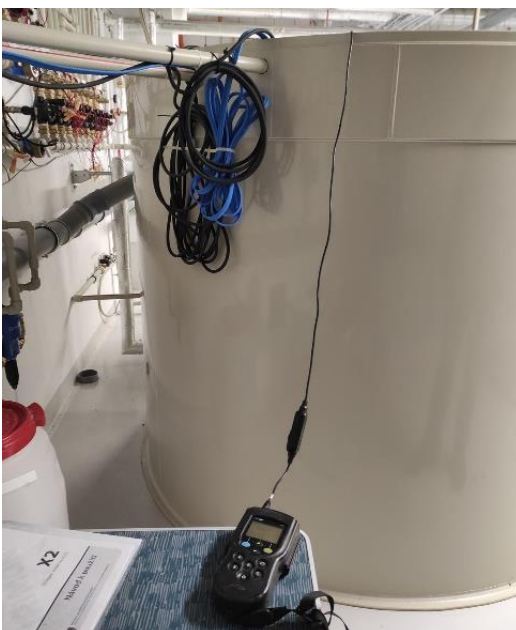
Obrázek 6: Výstup – šedá voda



Obrázek 7: Odběrná místa 1 a 2



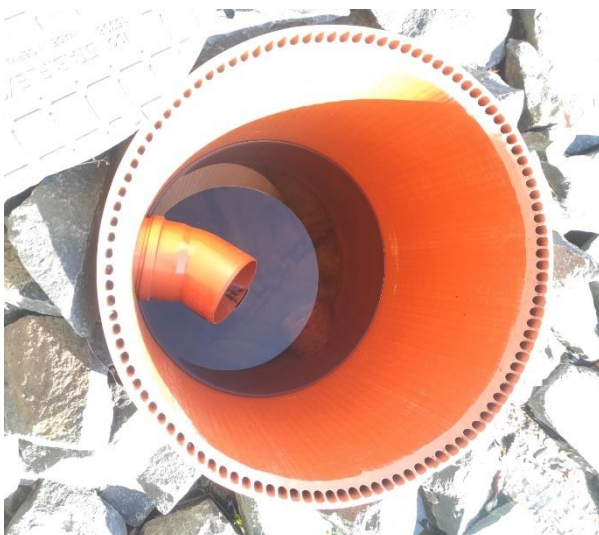
Obrázek 8: Svod dešťové vody



Obrázek 9: Výstup dešťové vody



Obrázek 10: Biotop – vstup vody do biotopu



Obrázek 11: Biotop – výstup vody



Obrázek 12: Přebytek vody ze zelené stěny

Odměrnou kádinkou se vždy odebral vzorek přímo u zdroje. Vzorek byl popsán číslem a datem odebrání. Následně se rovnou změřilo nasycení kyslíkem za pomoci multimetru HG30d od firmy HACH a zapsali se výsledky. Následovala práce v laboratoři. Na část analýz je potřeba přefiltrované vzorky, což se dělalo přes injekční filtr PES 0.22 μm . Filtr slouží ke sterilizaci biologických roztoků. Část vzorku se přes tento filtr za pomoci speciální injekční stříkačky přefiltrovala do zkumavky a následně se pracovalo s tímto vzorkem.



Obrázek 13: Filtrování vzorků

Tabulka 5: Měřené hodnoty

Filtrované vzorky – PES 0.22	Nefiltrovaný vzorky
Anionty -> 12 ml	TOC -> 12 ml
N-NH ₄ -> 4 ml	pH
Kovy -> 10 ml	Konduktivita
	Celkový fosfor

3.11 Hodnocené parametry

O ₂	nasycení kyslíkem
EC	<i>Escherichia coli</i>
N-NH ₄ ⁺	amoniakální dusík
SO ₄ ⁻	sírany
Cl ⁻	chlor
PO ₄ ⁺	fosforečnany
TOC	celkový organický uhlík
TN	celkový uhlík
DOC	rozpuštěný organický uhlík
Anionty	
pH	
Konduktivita	
Zákal	

3.11.1 Nasycení kyslíkem

Nasycení kyslíkem se měří za pomoci přístroje HG30d flexi od firmy HACH. Měření probíhalo přímo v místě odběru, kde se do odebraného vzorku vnořila sonda. Následně se výsledná hodnota zobrazila na displeji přístroje.



Obrázek 14: Měření nasycení kyslíkem

3.11.2 Konduktivita a pH

Měření konduktivity a hodnot pH probíhalo z nefiltrovaných vzorků, které se přelily do zkumavek o objemu 45 ml. Pro každou analýzu zvlášť. Měření probíhalo stolním konduktometrem WWT inoLab Cond 7110. Elektroda se vždy vložila do zkumavky a následně byl zapsán výsledek. Na podobném principu se vzorky měřily i pro hodnoty pH. Přístroj, který byl použit se jmenuje EutechTM pH 700 Meter.



Obrázek 15: konduktometr WWT inoLab Cond 7110



Obrázek 16: EutechTM pH 700 Meter



Obrázek 17: Měření konduktivity a pH

3.11.3 Celkový fosfor

Zjišťování celkového fosforu probíhalo spektrofotometrickou metodou. Na spektrofotometru WMR®M4 jsou nastaveny vlnové délky 880 nm. Ke stanovení celkového fosforu je dále potřeba skleněná kyveta a velikosti 1 cm, kyselinu askorbovou, kyselý roztok I – molybdenanu amonného, peroxidisíranu draselného, thiosíranu sodného a zásobní roztok.

K 40 ml konzervovaného vzorku se přidá 4 ml peroxidisíranu a 30 minut se vaří. Celkový objem při vaření se udržuje destilovanou vodou na 20-30 ml. Po vychladnutí se roztok přelije do 50 ml odměrných baněk a přidá se k tomu 1 ml kyseliny askorbové a 2 ml kyselého roztoku molybdenanu amonného. Roztok se promíchá a doplní po rysku. Tento postup se zopakuje u všech 6-ti vzorků, plus jeden „nulový“ vzorek s destilovanou vodou. Počkáme 15 minut a spektrofotometrem měříme za pomoci kyvety a nulového vzorku. Roztok se zbarví do modré barvy.



Obrázek 18: Vzorky po vaření



Obrázek 19: Vzorky po doplnění

3.11.4 Amonné ionty (měřeno jako N-NH₄)

Indofenolová metoda pro určování amonných iontů N-NH₄ se určuje za pomoci spektrofotometru (WMR®M4). Jedná se o metodu indofenolové modři (dle ČSN EN ISO 7150-1). Pro analýzu je potřeba spektrofotometr (nastavená vlnová délka 655nm, kyveta 1 cm, vybarvovací činidlo, alkalický roztok, destilovaná voda a analyzovaný vzorek.

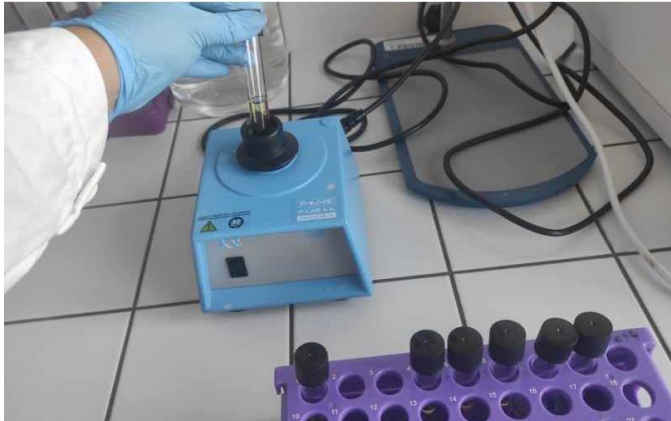
Do skleněných zkumavek se pomoci pipety odměří 4 ml vzorku. Do odměřeného vzorku se přidá 0,4 ml vybarvovacího činidla a promíchá se. Dále se do zkumavky přidá 0,4 ml alkalického roztoku a opět se směs promíchá a následně doplní 0,2 ml destilované vody. Tento roztok se zamíchá za pomoci vortexu a poté nechá nejméně 30 min ve tmě. Takto se připravilo všech 6 vzorků společně s jedním tzv. nulovým vzorkem, připraveným s destilovanou vodou a činidly.

Po uplynulé době se vzorky zbarvily do zelena. Každý vzorek se přelil do vyčištěné skleněné kyvety o velikosti 1 cm. Tyto kyvety jsou vhodné díky svým vlastnostem pro potřebnou vlnovou délku. Do spektrofotometru je nejprve vložena první kyveta s „nulovým“ vzorkem, která je změřena a následně vyndána. Tento vzorek je brán jako kontrolní, podle něho se vyhodnocují zbylé. Následně se do spektrofotometru postupně vkládají ostatní vzorky v kyvetách a přístroj je vyhodnotí, na obrazovce počítače je zobrazen výsledek.

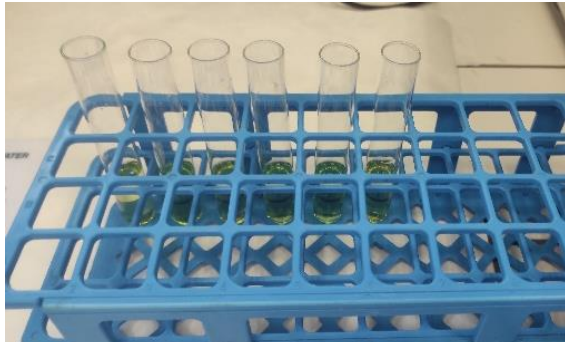


Obrázek 20: Připravené vzorky

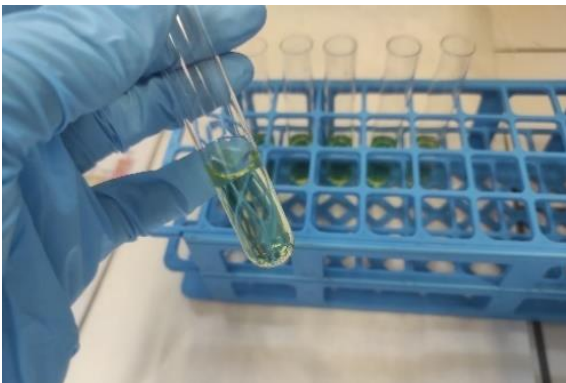
¹ Fotografie jsou pořízené v jiných dnech, proto jiné zkumavky na dvou prvních fotkách.



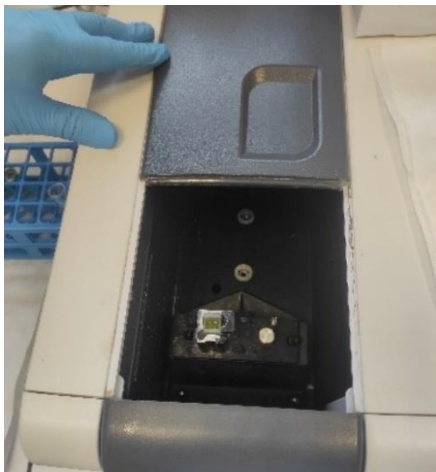
Obrázek 21: Připravené vzorky pro zamíchání – vortex



Obrázek 22: Vzorky k analýze



Obrázek 23: Vzorky k analýze – detail

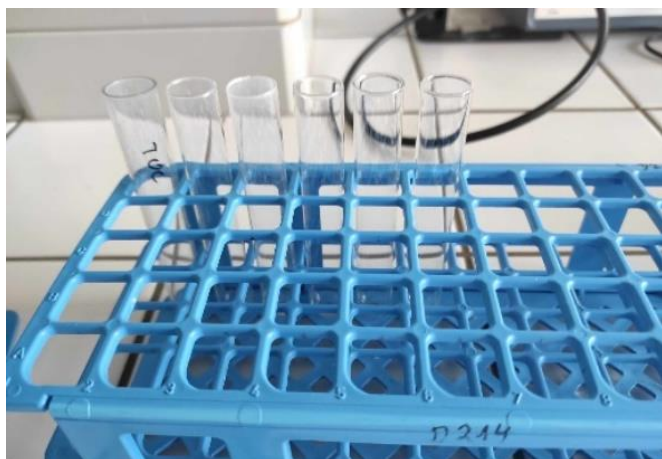


Obrázek 24: Spektrofotometr

3.11.5 Určení TOC / TC

Pro tuto analýzu je využíván analyzátor TOC/TN Skalar FormacsHT verze HTAccess 3.xx. Analyzátor pracuje na základě vysokoteplotního katalytického spalování. Tímto přístrojem lze změřit celkový organický uhlík (TOC), celkový dusík (TN) i celkový uhlík (TC). Pro analýzu TN jsou do přístroje vkládány vzorky – do otočného bezseptového injekčního portu. V reaktoru se při teplotě 900°C všechny organický a anorganický uhlík zoxiduje na plynný oxid uhličitý. Proces je automatizovaný

Pro stanovení anorganického uhlíku (IC) je proveden nástřik vzorku do IC reaktoru a následně se při kyselém prostředí anorganický uhlík převede na plynný oxid uhličitý. Poté proud kyslíku transportuje plynný oxid uhličitý do detektoru na měření. Celkový organický uhlík (TOC) je následně vypočítán z rozdílu výsledku hodnot.
$$\text{TOC} = \text{TC} - \text{IC}$$



Obrázek 25: Připravené zkumavky



Obrázek 26: Skalar FormacsHT verze HTAccess 3.xx

3.11.6 Určení DOC

DOC se stanoví stejným způsobem jako určení TOC / TC (kapitola 3.11.5) s rozdílem, že v této analýze využíváme přefiltrované vzorky přes injekční filtr PES 0.22 μm .

3.11.7 *Escherichia coli*

Analýzu vzorků na *Escherichia coli* prováděla biotechnologická laboratoř DEKONTA, a.s.

3.11.8 Zákaly

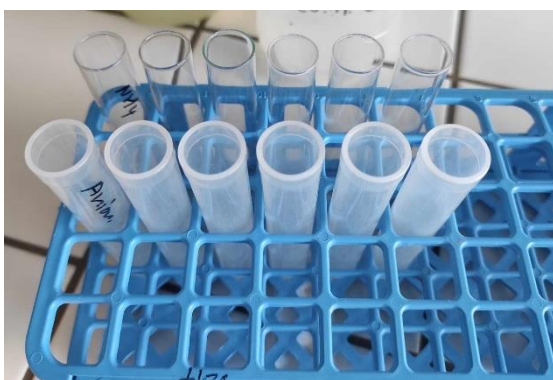
Zákaly se měří za pomoci přístroje HANNA instruments HI 93703. Jedná se o přenosný měřič turbidity (zákaly). Pracuje na principu světelného paprsku pronikajícího vzorkem do všech směrů. Do skleněné kyvety se odebere vzorek a následně se umístí do přístroje a poté je výsledná hodnota zobrazena na digitálním displeji.



Obrázek 27: HANNA instruments HI 93703

3.11.9 Anionty – iontová chromatografie

Analýza aniontů jako jsou bromidy, nitráty, nitrity, sírany a fosfáty je měřena pomocí iontového chromatografu 883 Basic IC Plus Metrohm. Mobilní fáze, která je použita se skládá z 3,2 mM uhličitanu sodného a 1,0 mM hydrogenuhličitanu sodného. Pro separaci aniontů byl použit sloupec Metrosep A Supp 5, 15 cm × 4 mm I.D., 5 μm částic (Metrohm 6.1006.520). Průtoková rychlost je 0,7 ml/min a vstříkovaný objem činí 20 μL. Do zkumavek se odměřilo 12ml filtrovaného vzorku a následně se zkumavky vložily do iontového chromatografu.



Obrázek 28: Připravené zkumavky



Obrázek 29: 883 Basic IC Plus Metrohm

3.11.10 Aniontové povrchově aktivní látky

Analýza aniontově povrchově aktivních látek se určuje za pomoci kyvetových testů LCK332. Nejprve si první dva vzorky – jedná se o šedou vodu, zředíme v poměru 1:10 s destilovanou vodou a promícháme. Následně pracujeme s řaděnými vzorky. Šedá voda je bohatá na saponáty a mýdla a pro tuto analýzu by v neředěné koncentraci přesáhla limity.

Do připravené kapaliny umístěné v kyvetě se přidá 3,5 ml testovaného vzorku a poté se za pomoci pipety přidá 0,4 ml roztoku A. Dalším krokem je nepipetování 0,2 ml roztoku B. Kyveta se pevně uzavře a po dobu jedné minuty protřepává. Po protřepání necháme kyvetu 30 vteřin odstát, tím dojde k oddělení fází. Poté už přejdeme k měření. Kyvety postupně nejdříve dvakrát otočíme, zkontrolujeme, zda se v kyvetě nevyskytují bublinky (v případě, že ano, odstraníme pomalým otáčením v úhlu 90°), očistíme od případných nečistot a vložíme do laboratorního spektrofotometru DR 3900 (Hach). Dle čárového kódu na kyvetě spektrofotometr zvolí správnou analýzu. Výsledky jsou viděny téměř okamžitě na displeji. V případě prvních dvou vzorků je výsledek nutné přepočítat neboli vynásobit 10, pro správné hodnoty.



Obrázek 30: Kyvetový test LCK332



Obrázek 31: Příprava vzorků



Obrázek 32: Vzorky připravené k protřepání



Obrázek 33: Vzorek připravený k analýze



Obrázek 34: Spektrofotometr DR 3900

3.12 Bilance vody

Odhad bilance vody v budově MCEV III

- Roční množství zachycené dešťové vody:
 $520 \text{ m}^2 \text{ (střechy)} + 165 \text{ m}^2 \text{ (biotop)} * 590 \text{ mm/rok} =$ **404 m³/rok**
- Roční množství využitelné šedé vody:
 $261 \text{ pracovních dní} * 1,0 \text{ m}^3/\text{den} \text{ (průměrná denní produkce)} =$ **261 m³/rok**
- Roční potřeba dešťové vody na závlahy – zelená střecha:
 $(112 + 128) \text{ m}^2 * 4 \text{ l/m}^2 \text{ za den} * 5 \text{ měsíců} =$ **144 m³/rok**
- Roční potřeba dešťové vody na závlahy – zelené stěny:
 $385 \text{ m}^2 * 4 \text{ l/m}^2 \text{ za den} * 5 \text{ měsíců} =$ **156 m³/rok**
- Roční potřeba vody na pokrytí odparu z vodní plochy:
 $165 \text{ m}^2 * 641 \text{ mm/rok} =$ **106 m³/rok**
- Celková bilance
 $404 + 261 - 144 - 156 - 106 \text{ m}^3/\text{rok} =$ **259 m³/rok**
 ➔ přebytek využít na splachování WC

Celkový akumulací systém (200 m³) by měl mimo vegetační dobu zachytit všechny dešťové vody pro následující využití. Zádržný systém počítá s využitím všech zachycených vod a použití dešťové kanalizace je výjimečné (ČZU, 2024).

4. Literární rešerše

Rešeršní část práce se věnuje dvěma hlavním problematikám, a to systémům pro nakládání a systémům pro využití šedých a dešťových vod. Dále i problematice v zahraničí.

Voda je na Zemi jednou z nejvíce vznikajících látek. Prakticky všichni, včetně zvířat a rostlin, potřebujeme vodu k životu. Kvůli urbanizaci je voda čím dál více znečišťována a následně vypouštěna do životního prostředí. Mezi zdroje znečištění patří jak zemědělství, tak i průmysl a doprava. Je důležité, aby při produkci špinavé vody byla voda následně přečištěna a druhotně využita. Nově diskutované téma je čištění za pomoci biologických metod (Sathya et al., 2023).

V dnešní době je globální oteplování, tepelné ostrovy, plýtvání vodou a mnoho dalších témat k řešení na denním pořádku (Hauserová, 2022).

V českých domácnostech činí spotřeba vody na osobu cca 100 l za den. Z toho jen 3 litry spotřebujeme na pití. Obecně se v celkové spotřebě můžeme pohybovat v těchto číslech:

40 %	osobní hygiena
26 %	splachování toalet
15 %	úklid a praní
9 %	mytí nádobí a vaření
6 %	zalévání a další možná využití (Hauserová, 2022)

Jednou z možností, jak mírnit problematiku tepelných ostrovů a zároveň snížit plýtvání vodou je využití dešťové a šedé vody při instalaci zelených střech, vertikálních zahrad a mokřadních biotopů (Hauserová, 2022).

4.1 Systémy pro využití vod

V této kapitole je probírána témata jako jsou zelená střecha, zelená stěna, kořenová čistírna a mokřadní biotop.

4.1.1 Zelená střecha

Obecné označení pro zelenou střechu znamená úplné či částečné pokrytí střešní plochy vegetací. S tímto souvisí i správná konstrukční instalace. Zelené střechy se rozdělují na intenzivní, extenzivní a polointenzivní. Rozdíl mezi nimi je v jejich údržbě, zda jsou pochozí, volbě vegetace a celkovou konstrukcí. V této práci je jedním z hlavních témat právě intenzivní zelená střecha. Označením střechy tohoto typu se může říct laicky střešní zahrada, protože zde mohou být vysázeny dřeviny, křoviny i běžné travnaté plochy. Rostliny zde vyžadují větší péči, a to myšleno jak pletím i pravidelnou zálivkou. Také tato vegetace potřebuje větší mocnost zeminy. Vegetace a zemina je doplněna o technické instalační vrstvy, které musí být konstruovány tak, aby zvládly větší zatížení oproti extenzivní zelené střeše. Tento typ zelené střechy se většinou instaluje v případě plochých střech (Ekodotace, 2019).

Z průzkumu publikovaném odbornou Sekcí Zelené střechy při Svazu zakládání a údržby zeleně vyplývá, že v případě porovnání s rokem 2016 v tuzemsku se zájem o ozelenění budov zvýšil až trojnásobně. Tyto případy zaznamenali převážně soukromníci při novostavbách rodinných domů. Následně se zelené střechy objevují na objektech veřejných budov, komerčních objektech, bytových domech a v neposlední řadě i na budovách škol. Toto je varianta pro zlepšení klimatu, ale nejlepší by bylo technologii zelených střech instalovat i na již dokončených budovách. Dle předsedy Rady odborné Sekce Zelené střechy Pavla Dostála bylo od roku 1990 až ke konci roku 2022 v České republice odhadováno 2,5 – 3 miliony m² zelených střech. Toto měření je provedeno za pomoci množství substrátu na realizaci zelených střech (Inspirace, 2023).

Mezi trendy zelených střech jednoznačně patří jejich praktická stránka. Zadržení dešťové vody na pozemku a zároveň vyhovují legislativě. Následně zde musíme zahrnout i zelenou střechu, která umožňuje přístup na střešní plochu pro příležitostnou rekreaci. Využití luční vegetace pro přirozenou podporu biodiverzity (Inspirace, 2023).

Jedním ze začínajících trendů je kombinace fotovoltaických panelů a zelených střech bez toho, aby vegetace zabránila slunci, tzv. biosolární střecha. Při rekonstrukci brownfieldů můžeme také zaznamenat zelené střechy jako aktuální téma (Inspirace, 2023).

V roce 2023 probíhala analýza na problematiku kombinace zelených střech se systémem zadržování dešťové vody. V analýze se zkoumala tato variace na třech budovách s vysokou proměnlivostí spotřeby vody a zároveň v různých klimatických podmínkách. Pro tuto analýzu se počítalo s extenzivní zelenou střechou a záchytným systémem dešťové vody do společného svodu pro záchyt (Almeida et al., 2023).

Hodnocení probíhalo ve městech Boa Vista a Santa Maria v Brazílii a v Lisabonu v Portugalsku.

- Boa Vista – tropická savana se suchou zimou
- Santa Maria – vlhké subtropické pásmo
- Lisabon – středomořské horké léto

Při studii byly použity dvě budovy kampusu Federal University of Roraima (UFRR) jako srovnávací tedy referenční pro tři různé lokality. Komplex se skládá ze 4 poslucháren a 82 učeben a 10 koupelen. V koupelnách se dohromady nachází 40 toalet. Spotřeba užitkové vody v budovách je právě na splachování toalet. Střecha objektů je obdobná, plechová s vodorovnou střechou. Použitá data jsou průměrné měsíční srážky, průměrný počet deštivých dní a dlouhodobé časové řady ročních srážek pro každou lokalitu za 51 let. Celkem bylo analyzováno 12 scénářů (Almeida et al., 2023).

Kombinace těchto dvou technologií (záchytný systém dešťové vody a systém zelených střech) je vhodnou možností, ale je v literatuře málo prozkoumána. To, zda je tato kombinace realistická velmi závisí na klimatických podmínkách umístění. Je potřeba brát potaz na variabilitu srážek a vlastností systému zelených střech (Almeida et al., 2023).

V systému zachycování dešťových vod byla zjištěna nejvyšší účinnost v úsporách pitné vody města Santa Maria a Boa Vista, poněvadž vykazovala největší hloubku srážek. Největší efektivita při úspoře je, když je objem dostupné dešťové vody větší než poptávka za rok. V Lisabonu je kombinovaný systém doporučen jen v případě, je-li cílem hospodaření s dešťovou vodou (Almeida et al., 2023).

4.1.2 Zelená stěna

V dnešní době se zelené stěny nerealizují jen kvůli vzhledu a estetice. Zelené stěny či vertikální zahrady mají mnoho dalších předností. Technologie může maximalizovat funkční přínosy zařízení pro výkon budov. Zvýšení udržitelné strategie (Manso & Castro-Gomes, 2015).

Motivací pro využití systému zelených střech je převážně omezení ztráty půdy a vegetace při zastavování ploch. Systémy zelených střech poskytují některé ekosystémové služby jako je snížení hluku, zvýšení biologické rozmanitosti a čištění vzduchu. Díky tomu, že se zelené stěny společně se zelenými střechami projevují v rámci tématu udržitelnosti, je o tyto systémy čím dál větší zájem. Většinou jde o rezidentní i komerční uživatele jak v soukromém, tak i veřejném sektoru. Na místech, jako jsou knihovny, kavárny, školy, by tato technologie mohla sloužit i k navození lepší atmosféry a přilákat více návštěvníků díky estetice či funkci (Ogut et al., 2022).

Navzdory tomu, že zelené stěny mají mnoho výhod, které se projevují současně, je důležité přesvědčit finálního majitele o tom, že se investice do tohoto systému vyplatí. Ekonomické faktory bývají jedny z problematických kapitol. Při stavbě budovy je to samozřejmě nemalá investice navíc, ale v součtu se může vyplatit (Ogut et al., 2022).

Dalším problémem je komplexnost problematiky technologie. Je potřeba mnoho odborníků z architektury, stavebnictví, strojního inženýrství i botaniky a přírodních věd, aby se docílilo nejlepšího výsledku. Musí se dbát na orientaci nebo typ budovy, následně na údržbu a management před, v průběhu i po instalaci. Důležité jsou i klimatické podmínky lokality pro vhodný výběr rostlin. V neposlední řadě jsou důležité vlastnosti samotné budovy, konkrétně stěny, kde bude instalována stěna. Musí mít splněné podmínky, jako je dostatečná šířka a pevnost. Následné zajištění závlahy a péče o rostliny. Nejlepší variantou je instalace stěny na nových budovách, kdy se s technologií počítá už při tvorbě projektu (Ogut et al., 2022).

Je experimentálně dokázáno, že zelené stěny, které jsou v kampusu Nottinghamské univerzity, jsou schopny snížení teploty stěn. Zelené stěny byly porovnávány s holou stěnou. Teplotně regulační vlastnosti jsou ovlivněny typem vegetace, intenzitě i orientací rostlin. Výzkum dokázal, že i přes zataženou oblohu bylo snížení znatelné i když méně jak při slunečné obloze (Cuce, 2017).

Největší snížení bylo na místech blíže k zemi a zároveň kde byla vysázena Hedera helix silnější a intenzivnější (Cuce, 2017).

Negativní dopady urbanizace, tím myšleno znečištění, vysoká hustota obyvatel a přehřívání měst je velkým tématem, a proto vznikla studie a chování některých vytrvalých rostlin ve vertikálních systémech. Studie probíhala ve východoevropském klimatu konkrétně v severovýchodním Rumunsku. Klima této oblasti je specifické pro Moldavskou plošinu s výrazným mírným kontinentálním charakterem s nadměrným stínem. Toto klima se vyznačuje horkými léty (nad 35 °C) a mrazivým zimním obdobím (pod -18 °C). V měsících červen, červenec a srpen je zaznamenáváno i období sucha. Experiment započal v listopadu 2019 a studie probíhala po celý rok 2020 (Cojocariu et al., 2022).

Průměrné hodnoty za rok 2020 v místě experimentu:

Tabulka 6: Průměrné hodnoty (2020) (Cojocariu et al., 2022)

Průměrná roční teplota:	0,5 °C – 23,4 °C
Srážky v rozmezí:	1,6 mm – 130,5 mm
Průměrná vlhkost v rozmezí:	42 g–91 g
Intenzita větru mezi:	1,4 m/s–2 m/s

Pro tento experiment byly vytvořeny dvě konstrukce o základně 2,6 m a s výškou 2,4 m. Konstrukce simulovaly zateplenou a nevytápěnou konstrukci, a proto byly zevnitř zatepleny a z vrchu pokryty izolačními panely. Struktury experimentu byly vždy orientovány ke světlu. Do studie bylo zařazeno 10 druhů květin. Květiny byly vybírány dle jejich stálosti, estetičnosti, schopnosti žít ve vertikálních systémech, krátkých kořenech a malé náročnosti na údržbu (Cojocariu et al., 2022).

Na základě výsledků z experimentu je vyvozeno, že v klimatických podmínkách specifických pro severovýchodní Rumunsko se do systému vertikálních zahrad neboli zelených stěn hodí tyto rostliny: *Heuchera* x *hybrida* '*Fire Alarm*', *Heuchera* x *hybrida* '*Marmalade*' a *Festuca galuca*. Tyto rostliny z estetického hlediska nejlepší výsledky, bez ohledu na orientaci. Jedna z rostlin měla i 90% úspěšnost přežití a byla to *Festuca galuca*. Průměr a výšku rostlin nijak zvlášť neovlivnila světová orientace, ale počet listů se měnil. Průměr těchto hodnot však ovlivnil i kalendářní měsíc ve kterém byla data sbírána (Cojocariu et al., 2022).

4.1.3 Výhody a nevýhody zelených střech a zelených stěn

Mezi hlavní výhody jak zelených střech, tak zelených stěn můžeme zařadit sociální, enviromentální i ekonomické faktory. Tyto faktory navyšují výkonost budov i zlepšují městské prostředí (Manso et al., 2021).

Rostlinná vrstva na zelených střechách má mnoho funkcí, včetně hydrologické. Díky evapotranspiraci rostlin se voda odstraňuje ze substrátů mezi dešťovými událostmi, což obnovuje schopnost zelených střech zadržovat srážky (Lönnqvist et al., 2023).

Další příklady:

a) Snížení spotřeby energie a zlepšení kvality ovzduší

Je zjištěno, že intenzivní a extenzivní zelené střechy jsou schopny ochladit teplotu vzduchu, a to jak na úrovni chodníku i střech v případě instalace střech na nízkých objektech. Oba druhy těchto zelených střech vedou ke snížení energetické náročnosti chlazení nejvyšších pater budov. Tento fakt vede k redukci uhlíkových emisí, které vznikají při využití elektrické energie na chlazení (Zheng et al., 2023).

b) Zlepšení výkonu fotovoltaiky

V Lucembursku se kombinace zelených střech s fotovoltaickými panely ukázala vhodnou investicí (Torres et al., 2023). Kombinace fotovoltaických panelů zelených střech může zlepšit výkonnost panelů a zároveň podpořit biodiverzitu. Studie dokazují, že fotovoltaické panely, které se nachází nad zelenou střechou jsou výkonnější než nad jinými typy střech. Stín, který panely vytvářejí může být důležitý při klíčení sazenic a pro jejich přežití. Účinek stínu může záviset na klimatu a zavlažování (Schindler et al., 2016).

c) Redukce přenosu zvuku a městského hluku

Dle studií je dokázáno, že zelené stěny a střechy jsou vhodnou alternativou na veřejných místech (restaurace, hotely). Zelená stěna účinně pohlcuje zvuk a je tedy vhodná jako pasivní akustický izolační systém (Azkorra et al., 2015).

d) Snížení spotřeby pitné vody – využití šedé vody

Při vyčištění šedé vody je možné ji následně využívat a tím ji nahradit za vodu pitnou, například pro závlahu zelené střechy (Van de Walle et al., 2023).

- e) Vodní hospodářství – využití dešťové vody
Využití dešťové vody při závlahách zelených střech je dalším kladným přínosem. Studie z roku 2022, zjistila že celosvětová průměrná kapacita zadržení vody se pohybuje kolem 66.2 % (Alim et al., 2022).
- f) Větší životnost střechy
Životnost zelených střech i zelených stěn závisí na volbě materiálů a jejich životností a následně jejich opravách nebo výměnách (Manso et al., 2021).
Dle čisté současné hodnoty můžeme zjistit, že počáteční vyšší náklady na zelenou střechu se vyplatí v době, kdy musíme opravit konvenční střechu (Clark et al., 2008). Vegetace, která pokrývá zelenou střechu, chrání materiály před okolními vlivy i přímým slunečním zářením a díky tomu zvyšuje její životnost (Alim et al., 2022).
- g) Městský tepelný ostrov
Technologie zelených střech, a to jak intenzivních i extenzivních, instalovaných na vhodných objektech je účinnou strategií pro snížení efektu tepelných ostrovů ve městech. Důsledkem je snížení teploty vzduchu a snížení energie pro klimatizaci v letních měsících (Zheng et al., 2023).
- h) Rekreace a estetika
Zelené plochy jako jsou parky, zahrady i městské lesy ovlivňují duševní pohodu obyvatel. Takto fungují i zelené střechy v případě, kdy je na střechy povolen vstup a zelené stěny (Mamajonova et al., 2024).
- i) Zachování biodiverzity
Další z kladných faktorů zelených střech a zelených stěn je ovlivnění biologické rozmanitosti. V tomto případě jde o kladné ovlivnění. Na střechách mohou najít různí živočichové své útočiště. Zároveň nemůže zelená střecha ani stěna plně nahradit přírodní stanoviště (Wang et al., 2022).
- j) Náklady na provoz, údržbu a instalaci
Do kategorie záporných vlivů nepochybně zapadá počáteční investice pro tyto technologie. S tím spojené i náklady na provoz a případnou opravu. Tento fakt ovlivňuje většinu investorů přijme variantu konvekční střechy. Z dlouhodobého hlediska a při maximálním využití potenciálu se počáteční investice vyplatí (Teotónio et al., 2021).

4.1.4 Kořenová čistírna

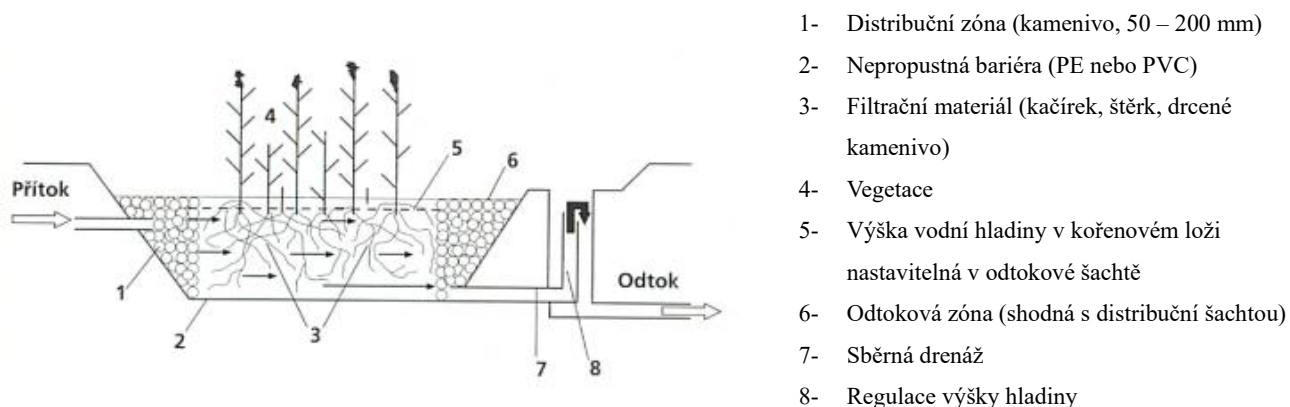
Kořenová čistírna odpadních vod je brána jako alternativa pro čištění odpadních vod. Technologie pracuje na principu přirozeného a pomalého čištění. Největším problémem je nedostatečné vyčištění, tudíž malá účinnost čistírny (neodstraní amoniakální dusík), kořenové filtry se ucpávají a nejde o nejlepší dostupnou technologii (Křiška & Němcová, 2021).

Na kořenové čistírny odpadních vod jsou dva rozdílné názorové tábory. Mezi jedny patří správcí toků a orgány životního prostředí s názorem o nefunkčnosti ČOV a na druhé straně stojí projektanti s novými ověřenými metodami. Je důležité, aby se vědecké a výzkumné výsledky převedli do praxe a tím ověřili funkčnost kořenových čistíren. Tuto problematiku je dobré rozšiřovat. Jednak kvůli ekonomické hodnotě, kdy kořenová čistírna nebude tolik náročná jako klasická čistírna odpadních vod, tak i z estetického či biologického pohledu (Křiška & Němcová, 2021).

Do zásadních nedostatků technologie kořenových čistíren zejména patří:

- problematika kalového hospodářství
- odstraňování $N-NH_4^+$
- problematika kolmatace (nežádoucí jev, který vede ke snížení porozity a propustnosti) a následné regenerace filtračního materiálu (Křiška & Němcová, 2021)

Základním principem technologie kořenové čistírny odpadních vod je horizontální průtok, který je osázen substrátem. Při průtoku vody dochází k odstranění znečištění za pomoci fyzikálních, biologických i chemických procesů. Je také důležité, aby bylo v technologii zařazeno mechanické přečištění v podobě např. lapáků písku či česlí, z důvodu možného zanešení (Masarykova univerzita, 2013).



Obrázek 35: Kořenová čistírna (Masarykova univerzita, 2013)

4.1.5 Mokřadní biotop

Od 50. let minulého století se v mnoha částech světa využívají mokřady k čištění odpadních vod. V České republice jsou využívány od roku 1991. Podměttem k této technologii byla nedostatečná funkce septiků a vysoké náklady na kanalizaci (Verhoeven & Meuleman, 1999) (Vymazal, 2023).

V České republice se v dnešní době využívá převážně vertikální proudění a hybridně vybudované mokřady s počtem cca 210 mokřadních biotopů. Tato technologie se většinou používá pro čištění odpadních vod malých obcí s průměrným počtem ekvivalentů obyvatel 235 a průměrnou plochou 1132 m². Z výsledků nejstaršího mokřadního biotopu v ČR je patrna konzistentní účinnost čištění bez oprav a zásahu více jak 30 let (Vymazal, 2023).

Nejčastějším materiálem pro filtraci je v zavedených mokřadech v ČR praný štěrk a drť. Dříve se využívala frakce 4–8 mm a nyní se častěji využívá frakce 8–16 mm. (Vymazal, 2023) Mezi rostliny, které v mokřadech můžeme vidět nejčastěji jsou *Phragmites australis* (rákos obecný) a *Phalaris arundinacea* (rákosních rákosový) (Vymazal, 2013). Následně mezi rostliny, které se objevují v mokřadech řadíme *Lythrum salicaria* (orobinec nachový), *Typha latifolia* (orobinec širokolistý) a *Glyceria maxima* (mannagra sladká) (Vymazal, 2023).

Mokřadní biotopy mohou být dobrou alternativou pro čištění odpadních vod v:

- rekreačních zařízení, využívány především v letním období
- odlehlých místech menších oblastí, kde chybí napojení na kanalizaci
- pro vyčištění odpadních vod z farem, existují příklady vyčištěné šedé vody za pomoci vybudovaných mokřadních systémů
- pro případ čistíren odpadních vod, jejich odtok vypouštěn do malých vodních toků, kvalitně navržený systém mokřadu je schopný ještě zlepšit kvalitu odtoku (Verhoeven & Meuleman, 1999)

4.2 Systémy pro nakládání s vodami

V této části je rozepsána problematika šedých a dešťových vod a jejich čištění, zdravotní rizika a požadavky na kvalitu vody.

4.2.1 Čištění odpadních vod

Obecně se využívají tři druhy čistících procesů a to fyzikálních, chemických a biologických. Využívá se vždy konkrétní metoda pro specifickou funkci a specifický výsledek čištění. Tyto procesy se mohou kombinovat i využívat zvlášť. Hlavní čistící metody spadají do kategorie fyzikálních procesů (KARIA et al., 2023).

Do této kategorie řadíme:

- a) třídění – odstranění pevných materiálů např. přes filtry
- b) míchání – promíchání obsahu
- c) flokulace – sloučení malých částic pomocí flokulantů
- d) sedimentace – proces usazování
- e) floatace – odstranění pevných látek plavením po kapalině
- f) elutriace – promývání kalu, díky tomu odstraníme alkalitu kalu
- g) filtrace – odstranění suspendovaných látek
- h) přenos tepla a sušení kalu (KARIA et al., 2023)

Mezi chemické procesy řadíme:

- a) chemická neutralizace – kontrola a případná úprava pH
- b) koagulace – odstranění koloidních částic
- c) chemické strážení – slouží k lepšímu odstranění nerozpuštěných látek, těžkých kovů, BSK či fosforu
- d) oxidace – pro odstranění například mastnoty, zápachu, CHSK, BSK a čpavku
- e) dezinfekce a chlorace – odstranění patogenů (KARIA et al., 2023)

V případě použití chemických procesů je třeba zmínit jejich vysokou cenu a speciální požadavky a při následném využití vyčištěné vody je důležité dbát na legislativní parametry (KARIA et al., 2023).

Při využití biologického čištění využíváme:

- a) pozastavený růstový proces – princip aktivovaného kalu, provzdušňování, oxidace anaerobní digesce (KARIA et al., 2023)
- b) připojený růstový proces – filtry s vyšším průtokem, skrápěcí filtr a další (KARIA et al., 2023)

Typická čistírna odpadních vod se skládá z vybraných částí všech tří procesů (KARIA et al., 2023).

Opětovné využití vody je, jak už bylo zmíněno, důležitý faktor v udržitelném hospodářství. Jelikož klasické postupy čištění odpadních vod v případě čištění šedé vody nedokázaly odstranit mikropolutanty, je potřeba do systému zařadit účinnější technologie, jako jsou oxidační procesy, membránové systémy, zlepšené elektrokoagulace či přírodní metody, jako jsou vybudované mokřady (Awasthi et al., 2023).

Problematika znovuvyužití šedé vody je probírána od 70. let 20. století, kdy probíhaly výzkumy na úpravu a recyklaci šedé vody. Většinou se jednalo o membrány s dezinfekcí a až v letech 1980-1990 byly biologické systémy zdokonaleny současně s fyzikálními separátory. Kolem 90. let 20. století se začali objevovat složitější membránové bioreaktory a jednoduché technologie v podobě rybníků a rákosovitých porostů (Awasthi et al., 2023).

Nejúčinnější technologie pro úpravu šedé vody jsou membránové technologie. Pokrok v technologii membrán zvýšil jejich udržitelnost. Hlavní nevýhodou této technologie je vysoká cena a složitá údržba (Awasthi et al., 2023).

4.2.2 Šedá voda

Šedá voda je voda z domácností mimo vod splaškových. Do této kategorie vod můžeme zahrnout vody z kuchyní, koupelen. Musíme vzít tedy fakt, že i tyto vody jsou znečištěné různými látkami ve formě saponátů, šamponu a mýdel. Šedá voda představuje 50 % spotřebované vody v domácnosti (Anuja et al., 2021). Když vezmeme v potaz tento fakt, byla by škoda šedou vodu nevyčistit a znovu nevyužít. Produkce těchto vod se vyznačuje nízkou organickou pevností a velkým objemem. Znovuvyužití šedých vod je skvělá strategie, může vést k vyšší odolnosti a lepší přizpůsobivosti vodních systémů, následně i možnému snížení nákladů za dopravu. Čištění šedé vody může být rozděleno do různých kategorií, podle preferencí, jakou metodou chceme vody čistit a následně, jaká kvalita vody by měla být po vyčištění. Můžeme využít přírodě bližší metody, a to biofilmové technologie či membránové bioreaktory (MBR). Tyto metody se většinou kombinují s fyzikálně-chemickými úpravami. Do této kategorie spadá membránová filtrace, sorpční a iontoměničové technologie (Van de Walle et al., 2023).

Po přečištění šedé vody nám vzniká takzvaná bílá voda. Tato voda je vhodná právě pro sekundární využití, a to v podobě splachování toalet a závlahu zahrad. V případě, že chceme bílou vodu používat na závlahu je potřeba mít povolení pro vypouštění vod do vod podzemních (ASIO, 2020).

Šedá voda z kuchyňských dřezů v závislosti na fyzikálně-chemických parametrech vykazují velké množství CHSK, TSS, TOC a zákal pocházející z tuků, částic potravin a detergentů (Halalsheh et al., 2008).

4.2.2.1 Rozdělení šedé vody

Základní rozdělení vody bráno z pohledu toho odkud voda pochází. Máme 4 základní dělení:

- šedé vody z praček
- šedé vody z kuchyní a myček
- šedé vody z umyvadel, sprch a van
- neseparované šedé vody – kombinace všech předchozích zmíněných (Biela, 2012)

Důležitost tohoto rozdělení je to, že vody z různých míst mají různé znečištění. Technologie čištění se následně připravuje pro konkrétní znečištění a jeho specifikace.

4.2.2.2 Čištění šedé vody

Norma ČSN 75 6780 uvádí, že šedá voda, které má být vyčištěna by měla být hygienicky nezávadná, na první pohled nejlépe bezbarvá a bez pevných částic a sedimentů, a i při delší akumulaci vody bez zápachu. Dle místa, kde odkud s vodou manipulujeme musíme přizpůsobit vhodnou technologii a vyčištění. Každé místo je specifické, zvláště šedé vody z kuchyní nebo kadeřnictví a další. Je důležité, aby vyčištěné šedá voda byla hygienicky nezávadná. Další faktorem je nutnost, aby do ČOV na čištění šedé vody přitékala opravdu je šedá voda a ne jiná. Technologie ČOV je ovlivněna právě strukturou vody a požadavky na kvalitu vyčištěné šedé vody (bílé vody). Při návrhu ČOV je nutný obtok celé čistírny zaústěný do kanalizace (ČSN 75 6780, 2021).

Technologie čištění se dle procesu dělí na pět způsobů čištění a to:

- mechanické čištění
- chemické čištění
- fyzikální čištění
- biologické čištění
- přírodní způsoby čištění (ČSN 75 6780, 2021)

4.2.3 Dešťová voda

Rostoucí poptávka vody je v dnešní době velkým tématem. Stejně jako znovuvyužití šedé vody je řešením využití vody dešťové. Dalšími výhodami zadržování dešťové vody je její využití jako zásobárna vody v městských oblastech a také vyrovnává extrémní odtok (Morales-Figueroa et al., 2023). Smysl využívání dešťové vody má větší potenciál v suchých a polosuchých oblastech a používá se zejména v obdobích sucha pro závlahu (Jantrania et al., 2023).

V současné době, při stavbě nové budovy, je dle stavebních předpisů (regulační plán, druh podloží) nutné počítat s dešťovou vodou. Vyžaduje se však přímo na pozemku nebo odvedení do podzemních nádrží, nikoli však odvod ven z pozemku. Dle způsobu využití dešťové vody je nutná filtrace. Při využití na splachování toalet a praček je nutný odlučovač jemných nečistot, aby se spotřebiče a trubky nezanášely (Hauserová, 2022).

Dle studie z roku 2023, která byla provedena v hydrografické pánvi ve městě Joinville v jižní Brazílii bylo zjištěno, že zadržování dešťové vody má potenciál snížit průtoky vody. Tyto závěry byly zjištěny v oblastech s vyšší hustotou zástavby. Souvisí to s větším množstvím obyvatel, kteří by vodu využívaly a také s velkým množstvím nepropustných ploch (Custódio & Ghisi, 2023).

Problémem je, že dešťová voda může obsahovat nečistoty, které mohou zahrnovat mikroby, těžké kovy, a i látky pevného charakteru. Toto závisí na sběrných systémech. Dle kvality sběrných nádrží lze zabránit hromadění částic a sedimentů. Částice a sedimenty mohou ovlivnit hodnotu pH, které vede k sedimentaci částic a srážení kovů. Je potřeba dbát na kvalitu vody. Při úpravě je potřeba dbát na kvalitu vody a potřebné legislativní standardy pro pitnou a nepitnou vodu. (Morales-Figueroa et al., 2023).

Dešťová voda má nízký obsah TDS (celkové rozpuštěné pevné látky). Tento fakt je výhodou, protože úprava TDS může být velmi nákladná (Morales-Figueroa et al., 2023).

Při využití dešťové vody pro závlahu zahrad není nutné vodu čistit. Při využití vody jako pitné, je důležité vodu správně vyčistit, aby hodnoty vody odpovídaly legislativním standardům (Morales-Figueroa et al., 2023).

Mezi nejúčinnější způsoby odstranění nečistot jako je zákal TDS a E. coli je dezinfekce a filtrace. Zároveň mezi nejúčinnější odstranění PO_4^{3-} , NH_4^+ , E. coli, TDS, CHSK a BOD_5 patří filtrace a adsorpce (Morales-Figueroa et al., 2023).

Od roku 2017 je možnost v České republice si zažádat o dotaci v programu Dešťovka. Tento program podporuje využití a však dešťové vody v rodinných a bytových domech. Dotace mají různou výši, dle rozdělení do 3 kategorií, avšak nejvyšší možná částka je 50 % z celkových nákladů (Hauserová, 2022)(MŽP, 2017). Mezi 3 kategorie spadá:

- 1- akumulace srážkové vody pro závlivku zahrady.
- 2- akumulace srážkové vody pro splachování toalet a závlivku zahrady.
- 3- využití přečištění odpadní vody s možným využitím srážkové vody (nutné doložit dokumentaci od autorizované osoby) (Hauserová, 2022)(MŽP, 2017)

4.2.3.1 Úprava vody

Při využití dešťových vod je opět důležité dbát na jejich čistotu. Může jít o kontaminaci prachem či zbytky nečistot ze sběrných ploch. Převážně v průmyslových oblastech a v oblastech se zvýšenou dopravou je kontaminace vyšší, a to kvůli vysoké prašnosti a emisím. V těchto oblastech se spíše vyskytnou i škodliviny, které jsou ve vodě rozpustné či nerozpustné. Při využití dešťových vod zpravidla postačí mechanické přečištění vody a případná dezinfekce. Při využití vody v budovách se dezinfekce navrhuje vždy (ČSN 75 6780, 2021).

4.2.4 Zdravotní rizika – šedá voda

Zdravotní rizika při využívání recyklovaných vod v budovách

I když spadá šedá voda mezi méně znečištěné vody v domácnostech, je po vyčištění/recyklaci zařazena mezi vody užitkové a tudíž nepitné. Při využívání šedé odpadní vody v budovách jsou potřeba dbát na legislativní požadavky na kvalitu vod (Kožíšek et al., 2022a).

Tabulka 7: Potenciální expoziční cesty přenosu infekčních agens při použití recyklovaných šedých vod v budovách (Kožíšek et al., 2022a)

Způsob užití vody	Expoziční cesty přenosu infekčních agens
Splachování WC	tvorba aerosolu (inhalace)
	ruční kontakt s vodou při opravě nádržky (kontaktní přenos na pokožku, popř. rukou do úst a požití)
Praní pádla	ruční kontakt s mokrým prádlem (kontaktní přenos na pokožku, popř. rukou do úst a požití)
	(Poznámka: Praní při teplotě 40 °C nezaručuje usmrcení mnoha termotolerantních patogenů. Použití pracího prášku s detergentem sice možnost přežití mikroorganismů snižuje, ale není spolehlivým dezinfekčním opatřením.)
Úklid	ruční kontakt uklízeče s vodou (kontaktní přenos na pokožku, popř. rukou do úst a požití)
	ruční kontakt malých dětí s vytřenou podlahou (kontaktní přenos na pokožku, popř. rukou do úst a požití)
	(Poznámka: Při běžném úklidu se do vody přidává saponát, ale ne dezinfekce. Saponát spolehlivě usmrtí obalené viry a do určité míry gram negativní bakterie, ale vůči jiným mikroorganismům dostatečně účinný není.)
Kropení a zálivka ve vnitřních prostorech	tvorba aerosolu (inhalace)
	kontakt s vodou (kontaktní přenos na pokožku, popř. rukou do úst a požití)
Obsluha technologie čištění	ruční kontakt s vodou při manipulaci s nádrží nebo filtry (kontaktní přenos na pokožku, popř. rukou do úst a požití)
	tvorba aerosolu (inhalace)

4.2.5 Zdravotní rizika – dešťová voda

Zdravotní rizika při využívání recyklovaných vod v budovách

V dnešní době se využívání dešťové vody dere do popředí a je nutné vyvrátit mýty, že dešťová voda je voda čistá a nemusí se čistit, přestože hygienické riziko není zvlášť vysoké. V budovách, kde se voda využívá, musíme dbát na správné zapojení vodovodní sítě. Problém by nastal neúmyslným propojením pitné a nepitné, v tomto případě srážkové vody. Následné požití dešťové vody by mohlo způsobit onemocnění (Kožíšek et al., 2022b).

Při zachytu dešťové vody ze střech či jiných ploch je možná kontaminace vody zvířaty, a to jejich exkrementy, moči a jinými tekutinami. V případě ptactva musíme zohlednit i peří, další možnosti jsou například části, které zůstaly na částech těla atd. Plochy, o kterých mluvíme, jsou nejvíce navštěvovány již zmíněným ptactvem, či kunami a hlodavci. V některých případech je možný výskyt psů, koček a divokých zvířat, pokud tyto plochy nejsou oploceny (Kožíšek et al., 2022b).

Tabulka 8: Možné vlivy sběrné plochy na kvalitu zachycené srážkové vody (upraveno podle ČSN EN 16941-1) (Kožíšek et al., 2022b)

Druh sběrné plochy (střechy)	Možné znečištění srážkové vody
Zelená (vegetační) střecha	zbarvení vody (např. huminovými látkami), zákal
Krytina z bitumenových materiálů (obsahujících asfalt)	zbarvení, látky typu PAU
Azbestocementová střešní krytina	azbestová vlákna
Měděné, olovené nebo pozinkované plechy	těžké kovy (Cu, Pb, Zn, Cd ad.)
Zvětralé drsné plochy	pevné látky, zákal

Tabulka 9: Potenciální expoziční cesty přenosu infekčních agens při použití recyklovaných srážkových vod v budovách (Kožíšek et al., 2022b)

Způsob užití vody	Expoziční cesty přenosu infekčních agens
Splachování WC	tvorba aerosolu (inhalace)
	ruční kontakt s vodou při opravě nádržky (kontaktní přenos na pokožku, popř. rukou do úst a požití)
Praní prádla	ruční kontakt s mokrým prádlem (kontaktní přenos na pokožku, popř. rukou do úst a požití) (Poznámka: Praní při teplotě 40 °C nezaručuje usmrcení mnoha termotolerantních patogenů. Použití pracího prášku s detergentem sice možnost přežití mikroorganismů snižuje, ale není spolehlivým dezinfekčním opatřením.)
Úklid	ruční kontakt uklízeče s vodou (kontaktní přenos na pokožku, popř. rukou do úst a požití)
	ruční kontakt malých dětí s vytřenou podlahou (kontaktní přenos na pokožku, popř. rukou do úst a požití) (Poznámka: Při běžném úklidu se do vody přidává saponát, ale ne dezinfekce. Saponát spolehlivě usmrtí obalené viry a do určité míry gramnegativní bakterie, ale vůči jiným mikroorganismům dostatečně účinný není.)
Kropení a zálivka ve vnitřních prostorách	tvorba aerosolu (inhalace)
	kontakt s vodou (kontaktní přenos na pokožku, popř. rukou do úst a požití)
Plnění domovních (zahradních) bazénů	kontakt s pokožkou
	neúmyslné požití při potápění či plavání
Osobní hygiena: mytí rukou, sprchování či oplach (bidet)	kontakt s pokožkou (a možná přenos ruka-ústa)
	požití při sprchování
	přímé požití vody, pokud někdo nerespektuje označení nepitná voda a použije užitkovou vodu určenou k mytí jako pitnou
Obsluha čistící technologie	ruční kontakt s vodou při manipulaci s nádrží nebo filtry (kontaktní přenos na pokožku, popř. rukou do úst a požití)
	tvorba aerosolu (inhalace)

4.2.6 Požadavky na kvalitu vody šedé vody

Požadavky na kvalitu čištěné šedé vody a na zařízení určené k jejímu čištění dle normy ČSN 75 6780(ČSN 75 6780, 2021).

Tabulka 10: Požadavky na kvalitu čištěné šedé vody a na zařízení k jejímu určení (ČSN 75 6780, 2021)

Druh šedých vod			
	Šedé vody z van, sprchy a umyvadla	Šedé vody z van, sprchy, umyvadla, pračky a/nebo kuchyně	
Způsob čištění			
	mechanické a biologické čištění včetně stabilizace kalu	Mechanické a biologické čištění a hygienizace	
Charakteristická sestava			
	Provzdušňovaná akumulární nádrž k čištění šedých vod na splachování záchodů v domácnostech	Akumulace a čištění šedých vod k použití v domácnostech i v zařízeních pro veřejnost	
Příklady použitých technologií čištění			
	System s pevným nosičem, systém s plovoucím nosičem, zemní filtr, stabilizace	System s pevným nosičem, systém s plovoucím nosičem, zemní filtr, membránový reaktor	
		UV ultrafyzice, reverzní osmóza	
		Hygienizace	
Kritéria		Požadavky na kvalitu a využití čištěných šedých vod	
Biochemické /chemicko-fyzikální parametry	Zákal		<2 NTU
	BSK ₅		<5 mg/l
	Nasycení O ₂	> 50 %	> 50 %
	pH	6,5 až 9,5	6,5 až 9,5
Hygienické parametry	Koliformní bakterie	Žádný požadavek	<10000/100 ml
	E. coli		<1000/100 ml
	P. aeruginosa		<100/100 ml
	vzorkování		.../...
Doporučené využití	Splachování WC	Vhodné	Vhodné
	Zavlažování trávníků, okrasných rostlin	Nevhodné	
	Zavlažování plodin		
	Praní ¹⁾		
	Splachování WC pro veřejnost		
¹⁾ UV – přenos > 60 %			

4.2.7 Požadavky na kvalitu dešťové vody

Obecně při využití dešťové vody nesmí dojít k ohrožení zdraví, ohrožení kvality pitné vody a kontaminaci okolního prostředí (Dvořáková, 2007).

Tabulka 11: Z hlediska jednotlivých způsobů užívání dešťové vody jsou požadavky na její látkové složení různé (Dvořáková, 2007)

Druh znečištění	Požadavky na složení dešťové vody ze střech			
	Závlahy	Úklid	WC	Praní prádla
Nerozpuštěné látky	Inertní NL jsou neškodné	Při vyšších koncentracích 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	Zpravidla bez významu	Zpravidla bez významného vlivu	
Barva		Zpravidla bez významu	Zpravidla bez významu	Nebezpečí obarvení
Zápach				Zpravidla bez významu
Agresivita vody				Podle složení vody a typu pračky
Celkové posouzení	Dešťová voda ze střech je často mnohem vhodnější než pitná voda	Použití zpravidla bez omezení	Použití zpravidla bez omezení	V případě nadbytku dešťové vody a v kombinaci s pitnou vodou pro poslední fázi pracího procesu

4.3 Příklady ze zahraničí

Zelené střechy jsou jednou z možností udržitelné technologie, a to jak skrze enviromentální výhody, tak i sociální. I výběr substrátu a drenážních materiálů ovlivní zadržování dešťové vody – jeden z faktorů udržitelného hospodaření, následně ovlivňuje i kvalitu prosáklé vody a přežití vegetace. Při zavlažování je důležité brát do úvahy jak a čím zaléváme (Shahmohammad et al., 2022).

Můžeme využít 3 varianty:

- 1- znovuvyužití přečištěné šedé vody nebo vody dešťové
- 2- využít technologii inteligentního zavlažování a monitorování
- 3- využití vody je vylepšeno díky adaptivním materiálům a přísadám (Shahmohammad et al., 2022)

Při udržitelném smýšlení rozvoje měst jsou při hospodaření s vodou důležité záchytné systémy dešťové vody. Ve městě Pchjongjang (Korejská lidová republika) udělali v roce 2023 studii proveditelnosti záchytného systému dešťových vod. Záchytný systém byl analyzován na zelených střechách se střešním skleníkem, a to jak pro nádrž ve skleníku, tak pod budovou (Kim et al., 2023).

Pchjongjangu se výrazně projevila všechna čtyři roční období, poněvadž leží v mírném pásmu. Suché jaro a horké, vlhké a deštivé léto. Plochy, které zachytávají dešťovou vodu jsou skleněné střechy skleníku, zelené extenzivní střechy a pochozí zóny. Vody ze střech skleníku jsou svedeny rovnou do nádrže umístěné ve skleníku a vody z ostatních ploch jsou svedeny dvěma potrubími do nádrže pod budovou. Svedené vody jsou využity jako užitkové pro závlahu skleníků, případné závlahy zelené střechy a splachování toalet (Kim et al., 2023).

Z výsledků studie vyplývá, že při zásobení vodou z nádrží do skleníků, kdy nádrž ve skleníku není stoprocentní, bude voda z nádrže pod budovou dostatečná. Závlaha zelené střechy dešťovou vodou z nádrže pod budovou bude pouze v období od března do listopadu, kdy je na tomto území méně dešťů, na rozdíl od července a srpna, kdy množství svedené vody převyšuje poptávku. Mírné navýšení objemů v nádrži je v období od září do listopadu. Při zásobení vody z nádrže pod objektem, při použití systému splachování toalet, není průměrná spotřeba vody nijak ovlivněna sezonními výkyvy. V tomto případě, kdy svody vody vždy převyšují poptávku je spolehlivost stoprocentní (Kim et al., 2023).

5. Výsledky práce

V následující kapitole jsou popsány výsledky laboratorní práce.

5.1 Celková účinnost odstraňování živin

Hodnoty v tabulce 12 a 13 jsou vypočítané průměrné hodnoty z výsledků z období od 16.10. 2023 do 14.2. 2024. Průměrné hodnoty jsou doplněné o minimální a maximální hodnoty.

V následujících tabulkách jsou uvedeny výsledky účinnosti vyčištěné vody ve čtyřech lokalitách. V případě prvních dvou lokalit (tabulka 12) se jedná o čištění šedých vod a ve zbylých lokalitách (tabulka 13) se jedná o systém uměle vytvořeného mokřadního biotopu. Hodnoty označené zeleně jsou kladné účinnosti, a naopak hodnoty označené červeně značí navýšení koncentrace.

Tabulka 12: Účinnost čištění PES 1 - PES 2

	Voda na vstupu do ČOV –Průměr	Min.	Max.	Voda na výstupu z ČOV – Průměr	Min.	Max.	Účinnost
TOC	6.257	4.562	8.082	5.223	3.979	6.958	16.52 %
TN	6.649	4.396	8.155	6.413	5.257	7.315	3.55 %
F ⁻	0.128	0.095	0.233	0.115	0.097	0.137	9.96 %
Cl ⁻	60.202	40.796	75.805	58.609	36.210	73.990	2.65 %
NO ₂ ⁻	0.022	0.010	0.044	0.020	0.010	0.032	10.37 %
NO ₃ ⁻	25.522	19.839	32.249	25.858	22.122	27.992	1.32 %
PO ₄ ³⁻	1.353	0.265	2.802	1.184	0.177	2.741	12.53 %
SO ₄ ²⁻	52.949	46.239	72.110	50.229	44.159	56.561	5.14 %
N-H ₄ ⁺	0.190	0.031	0.589	0.187	0.019	0.595	1.23 %
P _{celk.}	0.720	0.230	1.420	0.643	0.330	0.980	10.71 %
Zákal	24.300	14.600	36.010	1.625	1.380	2.140	93.21 %

Tabulka 13: Účinnost čištění PES 5 - PES 6

	Voda do biotopu – Průměr	Min.	Max.	Voda z biotopu – Průměr	Min.	Max.	Účinnost
TOC	13.243	8.512	17.585	10.855	8.750	14.103	18.03 %
TN	2.235	1.518	3.172	1.823	1.281	2.605	18.42 %
F ⁻	1.649	1.422	1.986	1.392	0.126	1.888	15.59 %
Cl ⁻	24.199	15.505	30.767	22.119	15.686	31.333	8.60 %
NO ₂ ⁻	0.058	0.010	0.240	0.073	0.010	0.307	24.18 %
NO ₃ ⁻	4.358	3.257	6.616	3.697	2.428	7.335	15.18 %
PO ₄ ³⁻	0.172	0.050	0.423	0.130	0.050	0.242	24.29 %
SO ₄ ²⁻	294.282	236.639	377.230	286.291	229.66	349.53	2.72 %
N-H ₄ ⁺	0.081	0.021	0.216	0.238	0.049	0.825	193.89 %
P _{celk.}	0.134	0.068	0.442	0.204	0.053	0.63	52,83 %
Zákal	1.720	1.720	1.720	2.813	1.340	4.170	63,75 %

V tabulce 12 je popsána první lokalita, která představuje hodnoty šedé vody na vstupu do čistírny odpadních vod a druhá lokalita vody už vyčištěné, tedy vody bílé. Jedná se o průměr hodnot z nasbíraných vzorků. Z výsledků vyplývá, že nejvyšší účinnost čištění použité ČOV je odstranění zákalu a TOC tedy celkový organický uhlík. Odstranění zákalu je 93.21 % a odstranění TOC je 16.52 %. Oproti kladné účinnosti je důležité zmínit i to, že v případě dusičnanů se hodnota nepatrně zvýšila. Tento fakt, ale neovlivnil celkovou myšlenku znovuvyžití vod.

V tabulce 13 se nachází i hodnoty z druhé lokality, a to z mokřadního biotopu, a to konkrétně opět průměrné hodnoty na vstupu do biotopu a na výstupu. Je vidět, že oproti šedé vodě jsou hodnoty účinnosti jiné a každý sledovaný parametr má jiné výsledky. V tomto případě je nejvyšší účinnost naměřena v případě PO₄³⁻. Účinnost činí 24.29 %. Oproti tomu výsledky amoniakálního dusíku, celkového fosforu, dusičnanů jsou po projití vody systémem uměle vybudovaného mokřadu zvýšené. Opět tyto výsledky nijak neovlivnily celkovou myšlenku znovuvyžití vod.

V tabulce 13 vidíme že nárůst zákalu je poměrně vysoký. Problém nastává i v tom, že hodnota zákalu 2.813 NTU je nad limitem přípustné hodnoty dle ČSN 75 6780. Takto vysokou hodnotu mohl ovlivnit výsledek ze dne 23.1.2024, kdy hodnota byla 4.17 NTU a zároveň to byla nejvyšší hodnota z celého období. Ostatní hodnoty se pohybovaly mnohem níže, a tudíž by se dalo předpokládat, že výslednou hodnotu ovlivnila právě tato vysoká hodnota.

Když porovnáme tyto dva čistící systémy můžeme dle tabulek vidět, že hodnoty účinností využití ČOV jsou výrazně vyšší. V potaz musíme vzít i to, že instalovaná ČOV je typová ČOV právě pro šedé vody a je tomu uzpůsobená technologie. V případě mokřadního biotopu mluvíme převážně o vodách dešťových, ale v kombinaci s vodami bílými (přečištěné šedé vody).

5.2 Shrnutí legislativních parametrů

V tabulce 14 jsou shrnuty limity pro čistotu vod. V případě nařízení vlády č. 401/2015 Sb. jsou v závorce uvedeny velikosti ČOV na počet EO a v případě ČSN 75 7221 jsou hodnoty uvedeny pro první třídu jakosti.

Tabulka 14: Legislativní parametry

	ČSN 75 6780 (ČSN 75 6780, 2021)	ČSN 75 7143 (ČSN 75 7143, 1992)	ČSN 75 7221 (ČSN 75 7221, 2017)	Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.	Vyhláška č. 83/2014 Sb.	BS 8525 (BS 8525, 2010)
TOC = TC – IC			<7 mg/l		5 mg/l	
TN			<3 mg/l	20 mg/l (> 100000)		
F⁻					1,5 mg/l	
Cl⁻	300 mg/l	300mg/l	<100 mg/l		100mg/l	<0,5 mg/l
NO₂⁻					0,5 mg/l	
Br⁻						0
NO₃⁻					50 mg/l	
SO₄²⁻	251 mg/l	250 mg/l	<80 mg/l		250 mg/l	
N-NH₄⁺			<0,2 mg/l	40 mg l ⁻¹ (500–2000)		
pH	6,5-9,5	5-8,5			6,5-9,5	5 – 9,5
P_{celek}			<0,05 mg/l	8 mg l ⁻¹ (2001–10000)		
Vodivost					125000 μS/cm	
Nasycení O₂	> 50 %					
Zákal	<2 NTU				5 NTU	
E. coli	<1 000/100 ml				0 / 100 ml	250 ml

5.3 Prezentace výsledků naměřených hodnot

V tabulce kapitoly 5.2: tabulka 14 jsou sepsány legislativní parametry ČR i jedna zahraniční. Jedná se o parametry jak pro šedou a dešťovou vodu, tak i parametry pro vypouštění čištěných odpadních vod do povrchových. V následujících tabulkách (tabulky 15–19) jsou výsledky naměřených hodnot v rámci laboratorní části práce. Jedná se o průměrné hodnoty všech analyzovaných vzorků doplněny o směrodatnou odchylku.

Jelikož v České republice nejsou přesně stanovené legislativní parametry pro tyto látky, je pro porovnání čerpáno z více zdrojů.

PES 1 = V tomto případě se jedná o vzorky šedé vody (vody z umyvadel, sprch) na vstupu do ČOV. Tyto vody jsou znečištěné převážně mýdly, šampony a saponáty.

PES 2 = Vody vyčištěné tzv. bílé vody na výstupu do ČOV. Tyto vody jsou připraveny pro další využití. Následně tyto vody putují přes vertikální kořenový filtr 1 do biotopu, kde jsou smíchány s dešťovou vodou.

PES 3 = Svod dešťové vody. Z nádrže na dešťovou vodu umístěné v místnosti P326 jsou vody automatizovaným systémem hnojeny a následně rozvody přivedeny k závlaze zelených střech a stěn.

PES 5 = Vstup do biotopu. Tady jsou šedé a dešťové vody svedeny do biotopu a následně dočištěny a použity opět na závlahu zelených střech a stěn.

PES 6 = Výstup do biotopu. Odběr v místě, kde jsou vody už dočištěny a připravené k dalšímu využití.

PES 7 = Přebytek vody ze zelené stěny. Tady je snaha o minimum vody v tomto místě. Přebytečná voda ze střech jde do kanalizace. V tomto případě je počet odběrů nižší než u předchozích odběrných míst.

Kohoutková voda = Pro porovnání se 2x odebrala i kohoutková voda.

Tabulka 15: Výsledky PES 1 a PES 2

	PES 1 průměrná hodnota	SD	PES 2 průměrná hodnota	SD
TOC	6.257	1.220	5.223	0.890
TC	20.297	1.692	18.973	1.768
IC	14.040	0.906	13.750	1.103
TN	6.649	0.896	6.413	0.644
F⁻	0.128	0.031	0.115	0.009
Cl⁻	60.202	10.902	58.609	13.613
NO₂⁻	0.022	0.013	0.020	0.010
Br⁻	0.182	0.056	0.185	0.078
NO₃⁻	25.522	3.239	25.858	1.736
PO₄³⁻	1.353	0.714	1.184	0.797
SO₄²⁻	52.949	5.950	50.229	3.688
N-NH₄	0.190	0.209	0.187	0.220
pH	7.695	0.22	7.613	0.659
P celk.	0.720	0.427	0.643	0.219
Nasycení O₂	9.776	0.225	7.286	2.968
Zákal	24.300	7.924	1.625	0.305
Vodivost, μs/cm	606.273	216.494	617.909	208.095

Tabulka 16: Výsledky PES 3 a PES 4

	PES 3 průměrná hodnota	SD	PES 5 průměrná hodnota	SD
TOC	7.534	1.662	13.243	2.533
TC	21.979	3.236	26.000	2.652
IC	14.445	1.887	12.757	4.341
TN	3.097	1.212	2.235	0.496
F⁻	1.154	0.411	1.649	0.156
Cl⁻	25.195	4.768	24.199	5.175
NO₂⁻	0.020	0.010	0.058	0.091
Br⁻	0.107	0.165	0.025	0.007
NO₃⁻	12.033	6.676	4.358	1.058
PO₄³⁻	0.196	0.110	0.172	0.132
SO₄²⁻	270.828	105.538	294.282	38.950
N-NH₄	0.094	0.059	0.081	0.056
pH	7.750	0.443	8.254	0.484
P celk.	0.160	0.207	0.134	0.111
Nasycení O₂	8.403	0.479	11.955	1.252
Zákal	1.720	1.720	1.720	0.000
Vodivost, μs /cm	1138.667	34.184	1186.75	83.719

Tabulka 17: Výsledky PES 6 a PES 7

	PES 6 průměrná hodnota	SD	PES 7 průměrná hodnota	SD
TOC	10.855	1.637	18.685	18.098
TC	26.563	3.449	36.537	26.149
IC	15.707	4.149	17.852	8.927
TN	1.823	0.424	3.218	1.104
F⁻	1.392	0.439	1.109	0.808
Cl⁻	22.119	5.573	54.370	42.355
NO₂⁻	0.073	0.088	0.213	0.161
Br⁻	0.058	0.088	0.020	0.000
NO₃⁻	3.697	1.302	8.760	6.729
PO₄³⁻	0.130	0.085	0.430	0.252
SO₄²⁻	286.291	29.378	205.226	124.966
N-NH₄	0.238	0.240	0.504	0.295
pH	8.044	0.640	8.105	0.167
P celk.	0.204	0.210	0.275	0.247
Nasycení O₂	5.348	3.218	0.000	0.000
Zákal	2.813	1.158	0.000	0.000
Vodivost, μs /cm	1185.000	77.692	984.000	257.544

Tabulka 18: Výsledky kohoutkové vody

	Kohoutková voda – průměrná hodnota	SD
TOC	3.419	0.025
TC	14.391	0.492
IC	10.973	0.468
TN	6.054	0.069
F⁻	0.204	0.089
Cl⁻	23.764	1.384
NO₂⁻	0.000	0.000
Br⁻	0.000	0.000
NO₃⁻	23.324	1.363
PO₄³⁻	0.129	0.000
SO₄²⁻	68.333	26.742
N-NH₄	0.024	0.004
pH	7.925	0.195
P celk.	0.024	0.000
Nasycení O₂	0.000	0.000
Zákal	0.740	0.000
Vodivost, μs /cm	330.500	0.500

Tabulka 19: Výsledky EC

datum odběru	EC
18.10.2023	0
20.11.2023	0

Z předcházejících výsledků zahnutých v tabulkách vyplývá.

Hodnoty pH pro šedou vodu ve zkoumaném území konkrétně hodnot PES 1 jsou v rozsahu 7.29 až 8.02 s průměrnou hodnotou 7.695 a pro hodnoty PES 2 jsou v rozsahu 6.25 až 8.84 s průměrnou hodnotou 7.613. V tomto případě mají vzorkované šedé vody mírně zásaditý charakter. Mezi další důležité parametry řadíme zákal, nasycení O₂, E. coli a chlor. Hodnoty zákalu jsou pro PES 1 a PES 2 jsou 24.3 a 1.625 v tomto pořadí. Zde je vidět 93.21% účinnost odstranění. Nasycení O₂ je pro PES 1 = 9.776 se směrodatnou odchylkou 0.225 a pro PES2 = 7.286 se směrodatnou odchylkou 2.968. E. coli nebyla zjištěna v žádném testovaných vzorků.

Pro další odběrná místa, kde je odebírána dešťová voda nebo dešťová voda sloučena se šedou, patří tyto důležité parametry: pH, zákal, TOC, množství živin jako je dusík, fosfor. Celkově lze říci, že pH je u dešťových vod vyšší než u vod šedých. Oproti tomu je zákal, který je nejvyšší právě u nevyčištěné šedé vody a u vod dešťových, jsou hodnoty nízké, krom již zmíněného výkyvu průměrné hodnoty PES 6. Hodnoty zákalu dešťových vod jsou srovnatelné s bílou vodou, ale s kohoutkovou už ne. Z tabulek je patrné, že hodnoty celkového dusíku a fosforu u hodnot PES 3, PES 5, PES 6 jsou nižší oproti hodnotám šedé vody. Látky jako fosfor a dusík způsobují eutrofizaci a je dobrým výsledkem nízké hodnoty právě u vzorku odebraných v biotopu.

Pro porovnání byla odebrána i voda kohoutková a jak můžeme vidět, jsou ve vzorcích značné rozdíly například u vodivosti, kdy je rozdíl u dešťových vod skoro čtyřnásobný, ale u šedých vod takový rozdíl není.

5.4 Prezentace výsledků bilance vody

Vypočtená roční bilance vody v budově MCEV III z konkrétních hodnot srážek a vyčištěné šedé vody.

Roční množství zachycené dešťové vody:

$$520 \text{ m}^2 \text{ (střechy)} + 165 \text{ m}^2 \text{ (biotop)} * 568.18 \text{ mm/rok} = 389,2 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Roční množství využitelné šedé vody:

$$261 \text{ pracovních dní} * 0,0284 \text{ m}^3/\text{den} \text{ (průměrná denní produkce)} = 3,35 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Roční potřeba dešťové vody na závlahy – zelená střecha:

$$(112 + 128) \text{ m}^2 * 4 \text{ l/m}^2 \text{ za den} * 5 \text{ měsíců} = 144 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Roční potřeba dešťové vody na závlahy – zelené stěny:

$$385 \text{ m}^2 * 4 \text{ l/m}^2 \text{ za den} * 5 \text{ měsíců} = 156 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Roční potřeba vody na pokrytí odparu z vodní plochy:

$$165 \text{ m}^2 * 641 \text{ mm/rok} = 106 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Celková bilance

$$389,2 + 3,35 - 144 - 156 - 106 \text{ m}^3/\text{rok} = -13.45 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Dle výsledků a přepočtu můžeme vidět, že celková bilance je nižší, než se očekávalo. Je jasné, že pokud by provoz probíhal v tomto režimu dále, bylo by potřeba přičerpat do celého systému 13.45 m³/rok. Časový interval měření je v tomto případě od 31.7.2023 do 31.1.2024. Jedná se o začátek školního roku a zároveň spuštění provozu budovy. Proto nejsou výsledky relevantní. V září v budově nebyli žádní lidé, a tudíž se neprodukovala žádná šedá voda. Zároveň ve zkušebním provozu nebyla vždy čidla plně funkční. Data použita při výpočtu současné bilance jsou denní sumy srážek a objem vyprodukovaných šedých vod v budově MCEV III. (označené modrým písmem).

6. Diskuse

Tato diplomová práce se zabývá kvalitou a celkovým managementem znovuvyužití šedých a dešťových vod v budově MCEV III.

Jak už bylo několikrát zmíněno, tak rostoucí problém nedostatku pitné vody je celosvětovým problémem. Odsolování za účelem vzniku sladké vody a následně přeprava přispívají ke znečištění planety. V návaznosti na tento fakt se začalo přemýšlet o znovuvyužívání některých zdrojů vody jako je např. šedá voda. Stavební odvětví tímto může snížit spotřebu vody pro nepitné účely. Toalety v budově samy o sobě spotřebují přibližně jednu čtvrtinu celkové spotřeby vody v domácnosti. Navíc lze považovat 50 % - 80 % odpadních vod jako šedých a tudíž znovuvyužitelných. Existuje mnoho metod pro čištění těchto vod, a to jak fyzikální, chemické i biologické. V současné době je pouze jen několik zemí, které stanovují limity pro kvalitu šedé vody. Většina z nich se ale spíše řídí obecnými limity pro kvalitu čištění odpadních vod (Yoonus & Al-Ghamdi, 2020).

Tato práce porovnává výsledky s limity ČR. Dle normy ČSN 75 6780: Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích vyplývá, že kvalita vyčištěné šedé vody splňuje požadavky na znovuvyužití. Problémem je již zmíněný zákal v lokalitě PES 6, u kterého byla analyzována zvýšená hodnota. Nicméně je patrné, že jde pouze o výjimku. Zbylé hodnoty z analýzy byly vždy pod stanoveným limitem 2 NTU. Hodnoty Cl^- , SO_4^{2-} , pH, nasycení O_2 , E. coli splňují horní limity. Jelikož nejsou v české legislativě ukotveny parametry hodnot celkového dusíku, celkového fosforu a N-NH_4^+ pro šedou vodu bylo využito nařízení vlády č. 401/2015 Sb. nařízení vlády 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, v platném znění. Dle tohoto nařízení byly i u těchto látek splněny mezní hodnoty parametrů.

Dle ČSN 75 7143: Jakost vod. Jakost vody pro závlahu je patrné, že limitní hodnoty dešťových vod, jež jsou v tomto systému vod určené pro závlahy jsou splněny. Jedná se o mezní hodnoty pro Cl^- , SO_4^{2-} a pH.

Voda kohoutková, která byla měřena pro další porovnání, také splňuje požadavky na kvalitu. Tentokrát je využita vyhláška č. 83/2014 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, ve znění pozdějších předpisů. Všechny parametry (TOC, F⁻, Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, pH, vodivost, nasycení O₂, zákal, E. coli) pro kvalitu pitné vody splňuje. Kohoutková voda splňuje (krom TN) i parametry dle ČSN 75 7221 Jakost vod. Klasifikace jakosti povrchových vod, konkrétně pro I. třídu jakosti.

Britská norma BS 8525-1 poskytuje limitní parametry pro Cl⁻, Br⁻, pH a E. coli. Tyto limitní hodnoty jsou u všech hodnot splněny až na hodnoty pro chlor.

Koroxenidis & Theodosiou (2021) provedli analýzu enviromentálního a ekologického faktoru zelených střech v porovnání s konvenčními střechami, a to preferovanou plochou střechou. Uvedli, že zelené střechy mají významně nižší spotřebu energie, emisí CO₂ a produkci odpadu. Tím pádem je tato střecha považována za ekologičtější alternativu. Z hlediska ochrany přírody a nakládání s vodami jsou zelené střechy negativním faktorem. V tomto případě vzniká prostor pro využití dešťové a šedé vody. Šedá voda je samozřejmě přečištěná. Tato technologie minimalizuje požadavky na množství pitné vody. Celkově lze říci, že zelené střechy mají velký ekologický potenciál v případě, že zkombinují technologii pro závlahu například šedou vodou a tím sníží spotřebu pitné vody a zároveň využítí podpory či dotací na velkou počáteční investici. Dotace tohoto typu ale nejsou všude poskytovány.

Budova MCEV III v porovnání s touto studií vychází ve všech bodech kladně. Vysoké náklady na závlahu zelené střechy a zelené stěny jsou zabezpečeny dešťovou vodou společně s přečištěnou šedou vodou. Šedá voda je čištěna přímo v budově tudíž nejsou potřeba další náklady. Budova je dokonce připravena i pro případ nadbytku nepitných vod, a to k úschově v akumulární jímce pro případ dalšího využití, a to ke splachování toalet.

Je známé, že proces urbanizace snižuje počet zelených ploch v důsledku zvyšování zastavěných ploch. Jednou z možností je ozelenění budov, a to jak zelenou střechou i zelenou stěnou. Zelená stěna může přinést jak slibné designové varianty pro stavebnictví, tak již zmíněné zlepšení či obnovu prostředí města a zlepšení tepelného výkonu. Celkovým cílem je zvýšení podílu zeleně a zároveň snížit zátěž škodlivých uhlíkových stop ve městech. Výzvou je však najít rovnováhu mezi cílem dosáhnout maximální přínosy ekologických variant staveb a zároveň zohlednění ekonomických aspektů. Ekonomické aspekty totiž mohou být velkou překážkou pro realizace (Menshawy et al., 2022).

V červenci 2022 byla provedena studie v kampusu South Valley AASTMT (Arabská akademie pro vědu, technologii a námořní dopravu) v Egyptě. Předmětem studie byla pětipodlažní budova s podzemním suterénem v areálu, který je ze severu ohraničen budovami a následně z východu a z jihu prázdnou pouští a rozptýlenými plochami zeleně. Cílem bylo napodobit množství zeleně jako na nezastavěném pozemku, a to se podařilo. Celková plocha zeleně na vertikálních stěnách byla 4765 m² a tím se překročila plocha pozemku 3250 m². Závlaha byla formou časově řízené kapkové závlahy a sekundárním zavlažovacím potrubím. Potrubí prochází bočními otvory secího boxu, který je umístěn na stěně. Aby systém správně fungoval byl vymyšlen komplexní plán údržby. Plán předpokládá pravidelné inspekce – pevnosti konstrukce budovy a plotu, efektivity zavlažovacího systému a vývoje a vitality rostlin (Menshawy et al., 2022).

Uměle vybudované mokřadní systémy jsou vhodnou variantou pro dočištění odpadních vod založených na přírodních principech. Uměle vytvořený biotop napodobuje funkce přirozených mokřadů a k tomu patří i zachycování dešťové vody či snížení zátěže živinami a v neposlední řadě i vytváří nové prostředí pro živočichy. Nepřímým benefitem jsou i kulturní služby formou rekreace, biologická rozmanitost či forma vzdělávání nebo výzkumu. Využití těchto biotopů pro čištění odpadních vod pro následné znovuvyužití je čím dál běžnější, avšak prospěšné ekosystémové služby jsou opomíjeny (Bulgariu et al., 2023)

Mokřadní biotop u budovy MCEV III. slouží primárně k dočištění šedých a dešťových vod. Tyto vody jsou následně znovuvyužité v budově k závlaze a splachování toalet.

7. Závěr a přínos práce

Nedostatek vody a její znečištění se v dnešní době stává jedním z rozsáhlých problémů. Možnost, jak tomuto zamezit nebo alespoň snížit spotřebu pitné vody, je její nahrazení za vodu šedou či dešťovou. Budova MCEV III. která je popisována v této práci je zaměřena na celkový management vod.

Bohužel, jak už bylo autorkou zmínáno, jedním z nedostatků je nedostatečný rozsah legislativních parametrů pro šedou a dešťovou vodu. V ČR v tomto případě disponuje normou ČSN 75 6780 Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích. Norma je nedostatečná a mnoho parametrů pro hodnocení kvality zde chybí.

Jestliže si ale položíme otázku, zda je tato budova vhodná a technologicky funkční, tak ano, je. Vody, které cirkulují systémem budovy, mokřadního biotopu, zelené střechy i stěny jsou dle laboratorní části, i přes nedostačující standardy ČR, vyhovující.

V problematice bilance vody v budově byl vypočítán odhad a porovnán se skutečným stavem bilance za 6 měsíců provozu. V tomto případě odhad bilance vody neseď, voda nedostačuje a musela by se doplnit pitnou vodou. Ovšem toto má jednoduché vysvětlení. V době prvních 6-ti měsíců provozu budovy nebyl systém plně dokonalý a některá čidla nefungovala a taktéž v období září a října měli studenti stále letní prázdniny a v budově nebyli žádné osoby. V případě výpočtu bilance až po začátečním šestiměsíčním provozu by mohla být vypočtena bilance vody relevantní.

Vypočtena účinnost čištění za pomoci čistírny odpadních vod umístěné přímo v budově a systému uměle vytvořeného mokřadního biotopu je kladná. Nikdy nebylo docíleno úplného odstranění chemických látek, ale vždy výsledné hodnoty splňovali parametry pro znovuvyužití šedé i dešťové vody v budově.

Celková problematika managementu šedých a dešťových vod v budově MCEV III. je přínosná jak pro problematiku nedostatku vody a plýtvání, tak pro snížení tepelného ostrova, vytvoření bioty pro drobné živočichy, poskytnutí duševní pohody pro studenty a pedagogy zapříčiněnou vhodnou volbou zelených stěn a zelené střechy. Sice hlavní negativní stránkou zelených střech a stěn je jejich nákladná závlaha, ale právě toto řeší využití přečištěných šedých a dešťových vod, které jsou následně využity na závlahu.

8. Použitá literatura

8.1 Odborné publikace

Alim, M. A., Rahman, A., Tao, Z., Garner, B., Griffith, R., & Liebman, M., 2022: Green roof as an effective tool for sustainable urban development: An Australian perspective in relation to stormwater and building energy management. *Journal of Cleaner Production* 362, 132561.

Almeida, A. P., Liberalesso, T., Silva, C. M., & Sousa, V., 2023: Combining green roofs and rainwater harvesting systems in university buildings under different climate conditions. *Science of The Total Environment* 887, 163719.

Anuja, J., Darshan, B., Saraswathi, G., & Meyyappan, N., 2021: Study on reuse of grey water – A Review. *Journal of Physics: Conference Series* 1979(1), 012004.

Awasthi, A., Gandhi, K., & Rayalu, S., 2023: Greywater treatment technologies: a comprehensive review. *International Journal of Environmental Science and Technology* 21(1), 1053–1082.

Azkorra, Z., Pérez, G., Coma, J., Cabeza, L. F., Bures, S., Álvaro, J. E., Erkoreka, A., & Urrestarazu, M., 2015: Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. *Applied Acoustics* 89, 46–56.

Biela R., 2012: Šedé vody, jejich kvalita a možnost využití. *Slovak* 1, 11–13.

Bulgariu, L., Agaton, C. B., Marie, P., & Guila, C., 2023: Ecosystem Services Valuation of Constructed Wetland as a Nature-Based Solution to Wastewater Treatment. *Earth* 4(1), 78–92.

Clark, C., Adriaens, P., & Talbot, F. B., 2008: Green roof valuation: A probabilistic economic analysis of environmental benefits. *Environmental Science and Technology* 42(6), 2155–2161.

Cojocariu, M., Chelariu, E. L., & Chiruță, C., 2022: Study on Behavior of Some Perennial Flowering Species Used in Vertical Systems for Green Facades in Eastern European Climate. *Applied Sciences* 12(1), 474.

Cuce, E., 2017: Thermal regulation impact of green walls: An experimental and numerical investigation. *Applied Energy* 194, 247–254.

Custódio, D. A., & Ghisi, E., 2023: Impact of residential rainwater harvesting on stormwater runoff. *Journal of Environmental Management* 326, 116814.

Halalsheh, M., Dalahmeh, S., Sayed, M., Suleiman, W., Shareef, M., Mansour, M., & Safi, M., 2008: Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan. *Bioresource Technology* 99(14), 6635–6641.

Jantrania, A., & Wolfe, J., 2023: Enhancing water security at small-scale by integrating rainwater harvesting, wastewater reuse and point-of-use water treatment technologies. *Journal of the ASABE* 1.

Kim, C. U., Ryu, Y. H., O, N. C., & Ri, J. N., 2023: A rainwater harvesting system in buildings with green roofs and a rooftop greenhouse in Pyongyang. *International Journal of Environmental Science and Technology* 20(11), 12295–12306.

Koroxenidis, E., & Theodosiou, T., 2021: Comparative environmental and economic evaluation of green roofs under Mediterranean climate conditions – Extensive green roofs a potentially preferable solution. *Journal of Cleaner Production* 311, 127563.

Kožíšek F, Rödlová S, Šašek J, Bobková Š, Baudišová D, & Jeligová H., 2022: HEALTH RISKS FROM NON-POTABLE USE OF RECYCLED WATER IN BUILDINGS. PART 1 - RAINWATER. *Hygiena* 67(3), 92–100.

Kožíšek František, Bobková, Š., Baudišová, D., & Jeligová, H., 2022: HEALTH RISKS FROM NON-POTABLE USE OF RECYCLED WATER IN BUILDINGS. PART 2 - GREYWATER. *Hygiena* 67, 125–133.

Lönnqvist, J., Farrell, C., Schrieke, D., Viklander, M., & Blecken, G. T., 2023: Plant water use related to leaf traits and CSR strategies of 10 common European green roof species. *Science of The Total Environment* 890, 164044.

Manso, M., & Castro-Gomes, J., 2015: Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41, 863–871.

Manso, M., Teotónio, I., Silva, C. M., & Cruz, C. O., 2021: Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 135, 110111.

Menshaw, A. S., Mohamed, A. F., & Fathy, N. M., 2022: A comparative study on green wall construction systems, case study: South valley campus of AASTMT. *Case Studies in Construction Materials* 16.

Morales-Figueroa, C., Castillo-Suárez, L. A., Linares-Hernández, I., Martínez-Miranda, V., & Teutli-Sequeira, E. A., 2023: Treatment processes and analysis of rainwater quality for human use and consumption regulations, treatment systems and quality of rainwater. *International Journal of Environmental Science and Technology* 2023 20(8), 9369–9392.

Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A., & Mihalakakou, G., 2001: Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings* 33(7), 719–729.

Mamajonova, N., Mamajonova, O., Toshmatov, U., Abduraxmonov, O., Ashuraliyeva, M., Madumarova, M., 2024: The Role of Green Spaces in Urban Planning Enhancing Sustainability and Quality of Life. *HOLDERS OF REASON* 2(1), 346–358.

Ogut, O., Tzortzi, N. J., & Bertolin, C., 2022: Vertical Green Structures to Establish Sustainable Built Environment: A Systematic Market Review. *Sustainability* 14(19), 12349.

Sathya, R., Arasu, M. V., Al-Dhabi, N. A., Vijayaraghavan, P., Ilavenil, S., & Rejiniemon, T. S., 2023: Towards sustainable wastewater treatment by biological methods – A challenges and advantages of recent technologies. *Urban Climate* 47, 101378.

Schindler, B. Y., Blank, L., Levy, S., Kadas, G., Pearlmutter, D., & Blaustein, L., 2016: Integration of photovoltaic panels and green roofs: review and predictions of effects on electricity production and plant communities. *Israel Journal of Ecology and Evolution* 62(1–2), 68–73.

Shahmohammad, M., Hosseinzadeh, M., Dvorak, B., Bordbar, F., Shahmohammadmirab, H., & Aghamohammadi, N., 2022: Sustainable green roofs: a comprehensive review of influential factors. *Environmental Science and Pollution Research* 29(52), 78228–78254.

Teotónio, I., Silva, C. M., & Cruz, C. O., 2021: Economics of green roofs and green walls: A literature review. *Sustainable Cities and Society* 69, 102781.

Torres, F. C., Almenar, J. B., & Rugani, B., 2023: Photovoltaic-green roof energy communities can uphold the European Green Deal: Probabilistic cost-benefit analyses help discern economically convenient scenarios. *Journal of Cleaner Production* 414, 137428.

Van de Walle, A., Kim, M., Alam, M. K., Wang, X., Wu, D., Dash, S. R., Rabaey, K., & Kim, J., 2023: Greywater reuse as a key enabler for improving urban wastewater management. *Environmental Science and Ecotechnology* 16, 100277.

Verhoeven, J. T. A., & Meuleman, A. F. M., 1999: Wetlands for wastewater treatment: Opportunities and limitations. *Ecological Engineering* 12(1–2), 5–12.

Vymazal, J., 2013: Vegetation development in subsurface flow constructed wetlands in the Czech Republic. *Ecological Engineering* 61, 575–581.

Vymazal, J., 2023: Thirty years of constructed wetlands for municipal wastewater treatment in the Czech Republic. *Ecological Engineering* 194, 107054.

Wang, L., Wang, H., Wang, Y., Che, Y., Ge, Z., & Mao, L., 2022: The relationship between green roofs and urban biodiversity: a systematic review. *Biodiversity and Conservation* 31(7), 1771–1796.

Yoonus, H., & Al-Ghamdi, S. G., 2020: Environmental performance of building integrated grey water reuse systems based on Life-Cycle Assessment: A systematic and bibliographic analysis. *Science of The Total Environment* 712, 136535.

Zheng, X., Kong, F., Yin, H., Middel, A., Yang, S., Liu, H., & Huang, J., 2023: Green roof cooling and carbon mitigation benefits in a subtropical city. *Urban Forestry & Urban Greening* 86, 128018.

8.2 Ostatní zdroje

Hauserová E. [ed.], 2022: Encyklopedie soběstačnosti pro 21. století 3. Nakladatelství TRITON, Praha, 385s.

Karia, G. L., Chrustian, R. A., & Jariwala, N. D., 2023: WASTEWATER TREATMENT: CONCEPTS AND DESIGN APPROACH. PHI Learning Pvt. Ltd., 474 s.

8.3 Internetové publikace

ASIO, ©2020: Co je to šedá voda, jak s ní nakládat a jak ji recyklovat? (online) [cit.2024.02.27], dostupné z < <https://www.asio.cz/cz/news/co-je-to-seda-voda-jak-s-ni-nakladat-a-jak-ji-recyklovat.1081>>.

Dotace Dešťovka, ©2024: Dešťovka (online) [cit.2024.02.27], dostupné z < <https://www.dotacedestovka.cz/> >

Dvořáková D, ©2007: Využívání dešťové vody (I) - kvalita a čištění (online) [cit.2024.02.27], dostupné z < <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3902-vyuzivani-destove-vody-i-kvalita-a-cisteni> >

Ekodotace, ©2019: CO JE TO ZELENÁ STŘECHA? (online) [cit.2024.02.27], dostupné z < <https://ekodotace.brno.cz/wp-content/uploads/2019/05/Odborn%C3%A1-metodika-zelen%C3%A9-st%C5%99echy.pdf> >

Inspirace, ©2023: Nová zelená úsporám pokračuje (online) [cit.2024.02.27], dostupné z < <https://www.casopisinspirace.cz/zelene-strechy/>>

Isover,, ©2023: Vegetační střechy, Hydrofilní minerální vlna (online) [cit.2024.02.27], dostupné z < <https://www.isover.cz/dokumenty/katalogy-prospekty/isover-vegetacni-strechy-katalog.pdf> >

Křiška M., & Němcová M., ©2021: Kořenové čistírny – rekapitulace a budoucnost v České republice (online) [cit.2024.02.27], dostupné z < <https://vodnihospodarstvi.cz/korenove-cistirny/>>

Masarykova univerzita, ©2013: Kořenová čistírna odpadních vod. (online) [cit.2024.02.27], dostupné z < https://is.muni.cz/el/1423/podzim2013/ENS101/um/44783250/Korenove_cistirny.PDF >

8.3 Legislativní zdroje

ČSN 75 6780: Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2021. 40 s.

ČSN 75 7143: Jakost vod. Jakost vody pro závlahu. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 1992. 24 s.

ČSN 75 7221: Kvalita vod – Klasifikace kvality povrchových vod. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2017. 20 s.

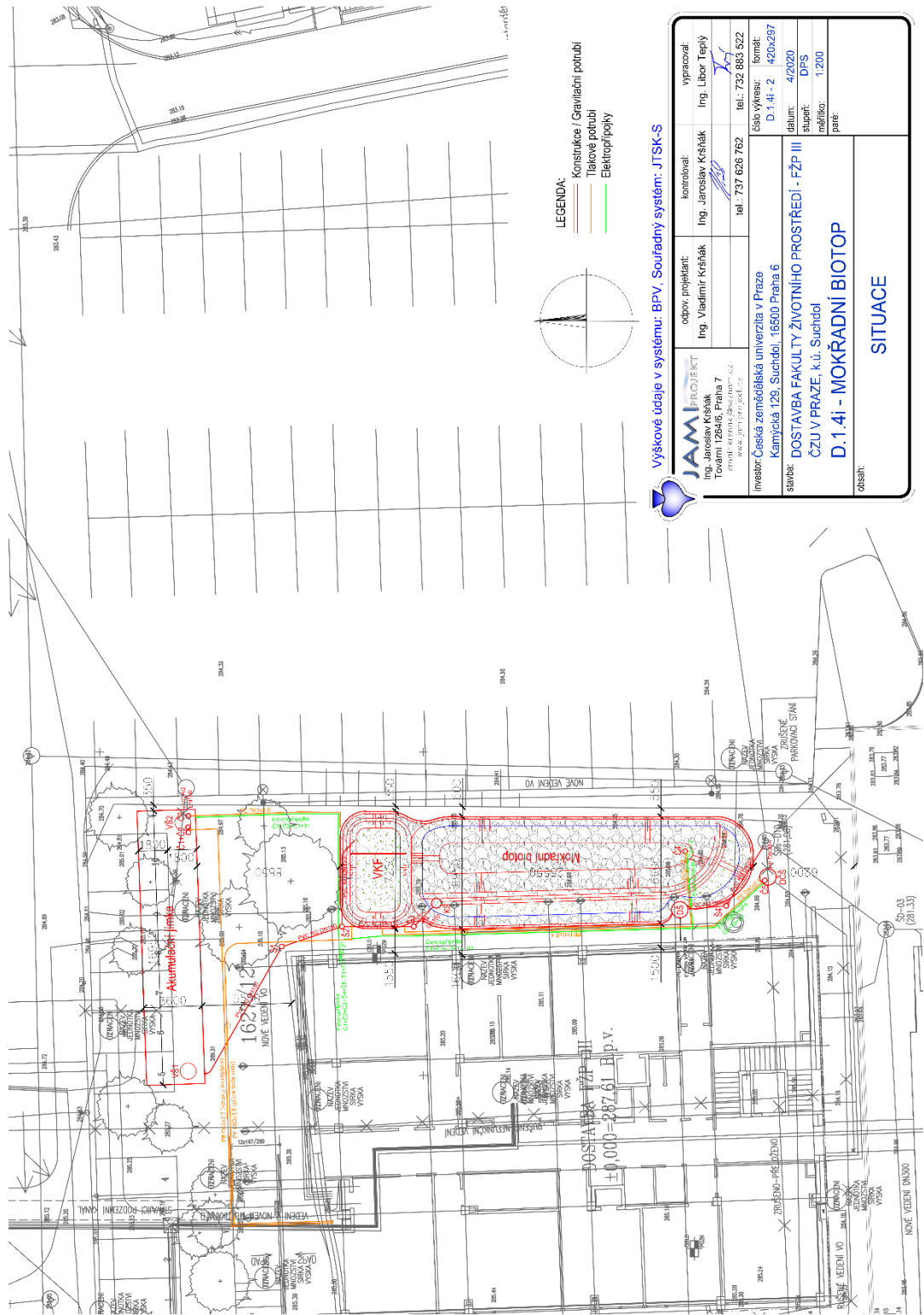
BS 8525: Greywater systems Code of practice. British Standards Institution, 2010. 54s.

Vyhláška č. 83/2014 Sb., Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, ve znění pozdějších předpisů.

Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Nařízení vlády 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, v platné znění.

8.4 Projektová dokumentace

ČZU., 2024: Dostavba Fakulty životního prostředí – FŽP III., průvodní a souhrnná technická zpráva. 81 „nepublikováno“. Dep.: FŽP ČZU.



Príloha 4: Mokřadní biotop – situace (ČZU, 2024)

10. Seznam tabulek

Tabulka 1: Povrch funkčních ploch (ČZU, 2024)	4
Tabulka 2: Souvrství zelených střech budovy MCEV III. (ČZU, 2024)	6
Tabulka 3: Seznam vegetace (ČZU, 2024)	7
Tabulka 4: Technické parametry (ČZU, 2024)	10
Tabulka 5: Měřené hodnoty	19
Tabulka 6: Průměrné hodnoty (2020) (Cojocariu et al., 2022)	35
Tabulka 7: Potenciální expoziční cesty přenosu infekčních agens při použití recyklovaných šedých vod v budovách (Kožíšek et al., 2022a)	47
Tabulka 8: Možné vlivy sběrné plochy na kvalitu zachycené srážkové vody (upraveno podle ČSN EN 16941-1) (Kožíšek et al., 2022b)	48
Tabulka 9: Potenciální expoziční cesty přenosu infekčních agens při použití recyklovaných srážkových vod v budovách (Kožíšek et al., 2022b)	49
Tabulka 10: Požadavky na kvalitu čištění šedé vody a na zařízení k jejímu určení (ČSN 75 6780, 2021)	50
Tabulka 11: Z hlediska jednotlivých způsobů užívání dešťové vody jsou požadavky na její látkové složení různé (Dvořáková, 2007)	51
Tabulka 12: Účinnost čištění PES 1 - PES 2	53
Tabulka 13: Účinnost čištění PES 5 - PES 6	54
Tabulka 14: Legislativní parametry	56
Tabulka 15: Výsledky PES 1 a PES 2	58
Tabulka 16: Výsledky PES 3 a PES 4	58
Tabulka 17: Výsledky PES 6 a PES 7	59
Tabulka 18: Výsledky kohoutkové vody	59
Tabulka 19: Výsledky EC	59

11. Seznam obrázků

Obrázek 1: MCEV III.....	3
Obrázek 2: Extensivní část zelené střechy	5
Obrázek 3: Zelená stěna – detail	10
Obrázek 4: Grafický popis situace	15
Obrázek 5: Vstup – šedá voda.....	16
Obrázek 6: Výstup – šedá voda.....	16
Obrázek 7: Odběrná místa 1 a 2	17
Obrázek 8: Svod dešťové vody	17
Obrázek 9: Výstup dešťové vody.....	17
Obrázek 10: Biotop – vstup vody do biotopu	18
Obrázek 11: Biotop – výstup vody.....	18
Obrázek 12: Přebytek vody ze zelené stěny.....	18
Obrázek 13: Filtrování vzorků	19
Obrázek 14: Měření nasycení kyslíkem.....	20
Obrázek 15: konduktometr WWT inoLab Cond 7110.....	21
Obrázek 16: Eutech TM pH 700 Meter.....	21
Obrázek 17: Měření konduktivity a pH	21
Obrázek 18: Vzorky po vaření	22
Obrázek 19: Vzorky po doplnění	22
Obrázek 20: Připravené vzorky.....	23
Obrázek 21: Připravené vzorky pro zamíchání – vortex.....	24
Obrázek 22: Vzorky k analýze	24
Obrázek 23: Vzorky k analýze – detail	24
Obrázek 24: Spektrofotometr.....	24
Obrázek 25: Připravené zkumavky	25
Obrázek 26: Skalar FormacsHT verze HTAccess 3.xx.....	25
Obrázek 27: HANNA instruments HI 93703	26
Obrázek 28: Připravené zkumavky	27
Obrázek 29: 883 Basic IC Plus Metrohm	27
Obrázek 30: Kyvetový test LCK332.....	28
Obrázek 31: Příprava vzorků	29
Obrázek 32: Vzorky připravené k protřepání.....	29

Obrázek 33: Vzorek připravený k analýze	29
Obrázek 34: Spektrofotometr DR 3900	30
Obrázek 35: Kořenová čistírna (Masarykova univerzita, 2013)	39

12. Seznam příloh

Příloha 1: Poloha a počty fasádních truhlíků – pohled severní (ČZU,2024)	72
Příloha 2: Poloha a počty fasádních truhlíků – pohled východní (ČZU,2024).....	73
Příloha 3: Zelená střecha (ČZU,2024)	74
Příloha 4: Mokřadní biotop – situace (ČZU,2024)	75