

Univerzita Hradec Králové

Přírodovědecká fakulta

Katedra biologie

**Oživení dešťových vod využívaných v budovách se
zaměřením na sinice a řasy**

Bakalářská práce

Autor:	Aneta Jirková
Studijní program:	B 1501 Biologie
Studijní obor:	Systematická biologie a ekologie
Vedoucí práce:	RNDr. Lenka Šejnohová, Ph.D.



Zadání bakalářské práce

Autor:	Aneta Jirková
Studium:	S19BI032BP
Studijní program:	B0511A030001 Biologie a ekologie
Studijní obor:	Biologie a ekologie
Název bakalářské práce:	Oživení dešťových vod využívaných v budovách se zaměřením na sinice a řasy
Název bakalářské práce AJ:	Rainwater used in buildings with a focus on cyanobacteria and algae

Cíl, metody, literatura, předpoklady:

Dešťová voda nepatří do kanálu - pro naši a budoucí generaci je a bude velice zásadní hospodaření s tímto cenným zdrojem. Z tohoto důvodu se tato práce věnuje kvalitě jímáných dešťových vod v rámci projektu Technologické agentury ČR "Stanovení hygienických požadavků na recyklovanou vodu využívanou v budovách a městských vodních prvcích", který běží na Státním zdravotním ústavu. Zaměřuji se konkrétně na oživení sinicemi a řasami před a po filtraci během jímání dešťových vod na budovách v závislosti na stáří a různých typů střechech.

Zásady pro vypracování

- 1) Úvod, motivace, hypotézy
- 2) Literární rešerše
 - a) dešťové vody jako cenný zdroj vod pro využívání v budovách
 - b) mikrobiologické oživení dešťových vod vč. legislativy
 - c) sinice a řasy v dešťových vodách
- 3) Praktická část
 - a) oběr dešťových vod z různých typů a stáří střechech před a po filtraci během jímání na budovách
 - b) rozbor a kultivace vzorků
 - c) determinace vzorků
- 4) Shrnutí výsledků a zhodnocení tématu jako náplně pro diplomovou práci.

ČSN EN 16941-1 (756781) (2018): Zařízení pro využití nepitné vody na místě - Část 1: Zařízení pro využití srážkových vod.

Dillon, K. et al. (2020): Cyanobacteria and Algae in Clouds and Rain in the Area of puy de Dôme, Central France. - Applied and Environmental Microbiology 2020, 86 (23), DOI: 10.1128/AEM.01850-20, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03033301/document>

Dvořáková, D. (2007): Využívání dešťové vody (I) - kvalita a čištění. Možnosti využívání dešťové vody k tomu potřebná technická zařízení. <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3902-vyuzivani-destove-vody-i-kvalita-a-cistení>

Ettl, H. (1978): Xanthophyceae 1. Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 3. - 530 pp., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart - Jena.

Ettl, H. (2009): Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 03: Xanthophyceae.

Kaštovský a kol. (2018): Atlas sinic a řas ČR 1. powerprint, Praha, 384 s.

Kaštovský a kol. (2018): Atlas sinic a řas ČR 2. powerprint, Praha, 480 s.

Komárek, J. (1999): Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 19/1: Cyanoprokaryota: Teil 1 / Part 1: Chroococcales (Suesswasserflora von Mitteleuropa).

Komárek, J. (2007): Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 19/2: Cyanoprokaryota – Oscillatoriales.

Plotěný, K. (2013): Využití šedých a dešťových vod v budovách. - <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/10121-vyuziti-sedych-a-destovych-vod-v-budovach>

Pouličková, A.; Lhotský, O. & Dřímlová, D. (2004): Prodrusus sinic a řas České Republiky. - Czech Phycology 4: 19-33.

Státní zdravotní ústav (2020): <http://www.szu.cz/centrum-hygieny-zivotniho-prostredi/stanoveni-hygienickych-pozadavku-na-recyklovanou-vodu>.

Wurthmann, K. (2020): Assessing storage requirements, water and energy savings, and costs associated with a residential rainwater harvesting system deployed across two counties in Southeast Florida. - JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT 252: DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109673.

Zadávající pracoviště: Katedra biologie,
Přírodovědecká fakulta

Vedoucí práce: RNDr. Lenka Šejnohová, Ph.D.

Oponent: Mgr. Michal Bílý, Ph.D.

Datum zadání závěrečné práce: 23.1.2020

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem v seznamu použité literatury uvedla všechny prameny, ze kterých jsem vycházela.

V Hradci Králové dne 28.5.2022

.....

Aneta Jirková

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych moc poděkovala své vedoucí práce, paní doktorce Lence Šejnohové za její vedení, rady, připomínky a trpělivost. Dále můj dík patří mým přátelům, kteří se aktivně zapojili do shromažďování dešťové vody pro mou praktickou část. V neposlední řadě děkuji mé rodině a přátelům, kteří mě podporovali jak při psaní bakalářské práce, tak při celém studiu.

ANOTACE

JIRKOVÁ, Aneta. Oživení dešťových vod využívaných v budovách se zaměřením na sinice a řasy. Hradec Králové, 2022. Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové. Vedoucí bakalářské práce RNDr. Lenka Šejnohová, Ph.D., 41 str.

Tato bakalářská práce shrnuje legislativu, která se týká definic užitkové vody. V roce 2022 je v ČR běžně využívána v rodinných domech, ale stále chybí legislativa pro veřejné budovy. Nejvíce propracované metodické pokyny z hlediska definic mikrobiologických i chemických má Austrálie z roku 2009 s názvem „National guidelines for water recycling: managing health and environmental risks“. České republice se již podařilo zakomponovat užitkovou vodu do legislativy od února roku 2022. Zaléváme a splachujeme pitnou vodou, což je třetina spotřeby pitné vody, kterou lze pokrýt dešťovou vodou. V tomto případě bude nutné splňovat hygienické požadavky pro veřejné budovy. V 10 vzorcích dešťové vody (DV) bylo pozorováno celkem 22 zástupců sinic a řas. Nejvíce zástupců bylo nalezeno ve vzorku z nádrže pod balkonovou střechou, nejméně zástupců v nádrži pod betonovou střechou. Dominovaly zelené řasy řádu Chlorococcales. Ve většině vzorcích se nacházel rod *Haematococcus sp.* Dále se v DV nacházeli zástupci sinic z řádu Oscillatoriales, řasy rodu *Euglena sp.*, zástupci třídy Bacillariophyceae, Xanthophyceae a Chlorophyceae. Nejčastěji se vyskytovala kokální stélka (50 %). Stěr z filtru byl charakteristický přítomností mikromycet. V podzemní nádrži po filtraci nebyly nalezeny žádné autotrofní organismy, ale pouze mikromycety a heterotrofní mikroorganismy.

Klíčová slova: srážková voda, užitková voda, sinice, řasy, veřejné budovy

ANNOTATION

JIRKOVA, Aneta. Rainwater used in buildings with a focus on cyanobacteria. Hradec Králové, 2022. Bachelor Thesis at Faculty of Science University of Hradec Králové. Thesis Supervisor RNDr. Lenka Šejnohová, Ph.D., 41 p.

This bachelor thesis summarises the legislation concerning the definition of recycled water including rainwater. In 2022, this water is commonly used in family houses in the Czech Republic but there is still not a legislation for public buildings. Australia has the most elaborate guidelines, which were published in 2009 entitled „National guidelines for water recycling; managing health and environmental risks“. The document includes definitions of microbiological and chemical parameters. The Czech Republic has already included this water in its legislation from February 2022. Drinking water is used for watering gardens and flushing our toilets. This consumption can be replaced by rainwater. In this case, it will be necessary to meet sanitary requirements for public buildings. A total of 22 genera of cyanobacteria and algae were observed in 10 rainwater samples. The highest number of genera was found in the sample from the tank under the balcony roof, the lowest number of genera in the tank under the concrete roof. Green algae of the order Chlorococcales dominated. The genus *Haematococcus sp.* was found in most samples. Other genera included cyanobacteria of the order Oscillatoriales, algae of the phylum Euglenophyta, of the class Bacillariophyceae, Xanthophyceae and Chlorophyceae. The most frequent stele was coccal (50 %). Micromycetes were present in the filter. No autotrophic organisms were found in the underground tank after filtration, but only micromycetes and heterotrophic microorganisms.

Keywords: rainwater, cyanobacteria, algae, public buildings

Obsah

1 Úvod	1
1.1 Obecný úvod do problematiky	1
1.2 Cíle práce	1
2 Literární rešerše	2
2.1 Vodohospodářská legislativa	2
2.1.1 Termíny	2
2.1.2 Světová zdravotnická organizace (WHO)	5
2.1.3 Biennial Collaborative Agreement (BCA)	5
2.2. Dešťová voda	6
2.2.1 Česká republika – klasifikace vod	6
2.2.2 OSN – definice dešťové/srážkové vody	7
2.2.3 Legislativa dešťových vod (DV)	7
2.2.4 Sběr a rizika užívání dešťové vody	10
2.3 Mikroorganismy v dešťových vodách	15
2.3.1 Heterotrofní bakterie	16
2.3.2 Autotrofní bakterie – sinice	16
2.3.3 Řasy	19
3 Metodika	22
3.1 Pomůcky, determinační literatura	22
3.2 Odběr vzorků	22
3.3 Laboratorní práce	23
3.4 Determinace taxonů	23
4 Výsledky	24
4.1. Nalezené sinice a řasy v dešťových vodách	24
4.2 Porovnání vzorků z hlediska typů střech	30
4.3 Porovnání druhů z hlediska typu stélky	31
4.4 Vzorek retenční podzemní nádrže po filtraci prvotních nečistot	33
5 Diskuse	34
Závěr	36
Literatura	37

1 Úvod

1.1 Obecný úvod do problematiky

Spotřeba pitné vody v roce 2022 je 80 až 120 litrů/den/osoba. Jedná se o vodu pitnou, přičemž v této kvalitě je potřeba pouze 1/3 množství, které musí zastupovat. Zbylý provoz v domácnosti je možné pokrýt vodou užitkovou, která zahrnuje právě vodu dešťovou (srážkovou). Voda dešťová dokáže pokrýt celou třetinu spotřeby vody na splachování či zalévání zahrad. Využívání srážkové vody už dnes celoplošně funguje v rodinných domcích, kde pro takové využívání není nutná legislativa a je vydána pouze ČSN norma. Svou prací bych chtěla přispět pro rozšíření využívání užitkové vody i ve veřejných budovách, kde nejsou stanoveny parametry pro hygienické zabezpečení lidského zdraví. Po zveřejnění těchto parametrů by mohlo dojít i k rozšíření využívání užitkové vody v rodinných domech například pro osobní hygienu, protože pro tento účel taktéž nejsou dostupné žádné normy ani vyhlášky. Práce je zaměřena na výskyt sinic a řas v dešťových vodách, které jsou pro využití v budovách nežádoucí.

1.2 Cíle práce

Hlavní cíle předložené práce:

(1) Vypracovat literární rešerši na témata:

1. vodohospodářská legislativa
2. obecná klasifikace vod
3. dešťové vody – sběr, rizika a oživení

(2) Determinovat sinice a řasy v dešťových vodách (DV) ve vzorcích z různých typů střech před a po filtraci.

(3) Poskytnout výsledky BP jako podklad pro novelizaci zákonů v roce 2023 s ohledem na výskyt sinic a řas.

2 Literární rešerše

2.1 Vodohospodářská legislativa

2.1.1 Termíny

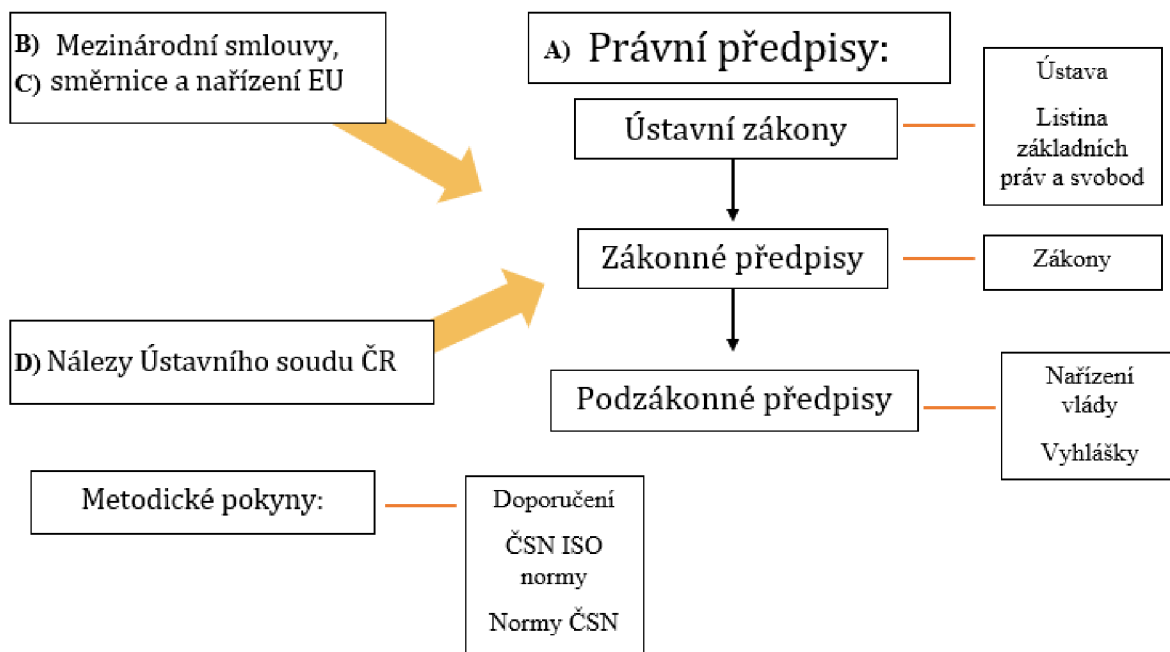
Při studiu dokumentů týkajících se sběru a recyklace vod je velmi podstatné pochopit, jaké hierarchické postavení mají jednotlivé předpisy, normy nebo doporučení.

S tím je spojen český termín legislativa, který zahrnuje (oproti původnímu termínu z latiny) tři významy: proces přijímání právního předpisu, zákonodárná moc (oprávnění vydávat zákony, *lat. potestas legislativa*) a právní řád. S legislativou je úzce spojen tzv. legislativní proces – příprava a schvalování zákonů vládou, parlamentem nebo prezidentem a jejich vydání ve Sbírce zákonů, čímž zákony vstupují v platnost (Šín, 2009).

V České republice máme základní prameny práva, které mají hierarchické postavení, které se určuje podle stupně právní síly.

Prameny práva se dělí na (Žáková, 2014) (Obr. 1):

- A) právní předpisy
- B) mezinárodní smlouvy
- C) směrnice a nařízení EU
- D) nálezy Ústavního soudu ČR



Obr. 1: Myšlenková mapa základních pramenů práva (vlastní zpracování)

A) Právní předpisy:

Ústavní zákony podle Žákovské (2014) (angl. constitutional law)

- zákony nejvyšší právní síly, ostatní zákony s nimi musí být v souladu
- všechny ústavní zákony si jsou rovny
- Ústava a Listina základních práv a svobod

Zákonné předpisy = zákony podle Plachého (2017) (angl. laws)

- vycházejí z legislativního procesu
- široký obsah, který konkretizují podzákonné předpisy
- např. Vodní zákon č. 254/2001 Sb.

Podzákonné předpisy = nařízení vlády, vyhlášky ministerstev, nařízení krajů a obcí podle Žákovské (2014)

- nařízení (angl. government regulation) nebo vyhláška (angl. ministry decree) jsou vydávány vládou k provedení zákona jako obecná pravidla chování
- obsah se netýká konkrétních věcí ani adresátů, je abstraktní
- např. nařízení č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod (zkráceno), vyhláška

č. 252/2004 Sb. kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody

B) Mezinárodní smlouvy podle Žákovské (2014) (angl. international contracts)

- = sdružení států, plní trvalé úkoly
- univerzální/regionální, multilaterální/bilaterální
- mezinárodní konference, přednost před běžným zákonem

Metodické pokyny:

- nejsou hierarchicky postavené v pramenech práva
- pouze se doporučuje se jimi řídit

Doporučení = guidelines (Krutílek & Frízlová, 2015-2022; *World Health Organisation, 2022c*)

- obsahují metodologické pokyny (účinné návody), jak jednat v situacích
- nezávazné
- např. Australian Guidelines for Water Recycling (23): Managing Health and Environmental Risks (phase 2) - Stormwater Harvesting and Reuse

ČSN ISO normy (*The British Standards Institution, 2022*)

- = „International Organization for Standardization“, česky „mezinárodní organizace zabývající se tvorbou norem“
- normy = znalosti
- nástroje poskytnuté od odborníků, kteří vědí, co je potřeba a jak vykonávat části obchodu či výroby tak, aby výsledný produkt byl nejkvalitnějším
- např. ČSN ISO 16075-2 Směrnice pro využití čištěných odpadních vod pro projekty závlah – část 2: Vývoj projektu

Normy ČSN (Šebesta & Procházka, 2010)

- stanovují požadavky a podmínky na kvalitu produktů, které mohou mít potenciálně špatný vliv na zdraví
- vytvořeny pomocí odborníků v daném odvětví, výrobců, uživatelů, správních orgánů
- např. ČSN 75 6780 Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích

2.1.2 Světová zdravotnická organizace (WHO)

Hlavním orgánem, který dohlíží na dodržování legislativy ve vodohospodářství a zakomponování využívání užitkových vod, je Světová zdravotnická organizace (World Health Organisation – WHO). Organizace spadá pod Organizaci spojených národů (OSN). Vznikla již **v roce 1948** s její platnou Ústavou, aby zajišťovala zdraví ve světě. Ke konci roku 2004 byl založen projekt Global Health Histories, aby pomohl porozumět historii zdraví. S ohledem na tento projekt bylo a je lidstvo schopné lépe čelit výzvám současného života a připravit se na zdravější budoucnost pro všechny (World Health Organisation 2022).

WHO má hlavní sídlo ve švýcarském městě **Ženeva** a spolupracuje se **194 členskými státy**. Fungování je založeno na základních neměnných principech práva na zdraví, které jsou v ústavě WHO (*World Health Organisation, 2022b*). V čele celé organizace je generální ředitel, kterého jmenuje zdravotnické shromáždění (*World Health Organisation, 2022a*).

2.1.3 Biennial Collaborative Agreement (BCA)

OSN si stanovilo devět rozvojových cílů tisíciletí. Jeden z nich je zajištění environmentální udržitelnosti. V rámci závazku uzavírá následně členský stát OSN s WHO dohody o spolupráci s účelem zlepšit zdravotní podmínky v dané zemi a připravit se na budoucnost, kterou můžeme už nyní odhadnout podle aktuální situace. V letech **2020 - 2021** byla Česká republika spoluúčastníkem dohody Biennial Collaborative Agreement (BCA), během které probíhala analýza zdravotní situace (*World Health Organization regional office for Europe, 2020*). Realizace dílčích úkolů BCA byla svěřena Státnímu zdravotnímu ústavu Praha (SZÚ) s cílem postupně připravovat prostředí pro využití užitkové vody v praxi v České republice, jelikož Vodní zákon a zákon O ochraně veřejného zdraví (cit. 26.10.2021) definovaly pouze vodu pitnou a odpadní (viz. kap. 2.2.1). Výsledkem bylo rozšíření těchto zákonů o užitkovou vodu od února 2022.

2.2. Dešťová voda

2.2.1 Česká republika – klasifikace vod

Voda byla v ČR do února 2022 Vodním zákonem (254/2001 Sb.) a zákonem O ochraně veřejného zdraví (258/2000 Sb.) dělena (cit. 26.10.2021) pouze do dvou kategorií (Tab. 1) podle účelu využití: pitná (§ 3, odst. 1, 258/2000 Sb.) a odpadní (§38, odst. 1, 254/2001 Sb.). Voda užitková je definována od února 2022 takto: „Užitkovou vodou se rozumí srážková nebo šedá voda, která je upravena a hygienicky zabezpečena. Šedou vodou se rozumí odpadní voda z umyvadel, sprch a van. Užitkovou vodu lze využít pro splachování toalet a pisoárů, praní, úklid, mytí vozidel, závlahu, vodní prvky nebo kropení komunikací. Prováděcí právní předpis určí vyžadovanou míru úpravy a hygienického zabezpečení a způsob jeho prokázání.“ (zákon 258/2000 Sb., §3, cit. 23.04.2021). Ve vyhlášce č. 252/2004 Sb. jsou zahrnuty parametry pitné vody. Kvalita vody užitkové, dešťové či srážkové v těchto dokumentech definována není. Příslušná vyhláška o míře úpravy a hygienickém zabezpečení užitkové vody je teprve v procesu vzniku.

Tab. 1: Klasifikace vod na základě vybraných charakteristik z různých literárních zdrojů* (vlastní tabulka)

TYP VODY	definice	zdroj	znečištění	mikrobiologické ukazatele	chemické ukazatele
odpadní (Bartáček, 2021)	po využití má změněné složení a teplotu	budovy (wc), skládky, střechy, silnice	fekálie a moč	koliformní bakterie, <i>E. coli</i>	vysoké množství organických sloučenin (P, N)
pitná (Vyhláška č. 252/2004 Sb.)	zdravotně nezávadná	úprava povrchové vody nebo podzemní	žádné	ukazatele = 0 (<i>E.coli</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , koliformní bak., intestinální enterokoky)	Fe ≤ 0,20 mg/l Cu ≤ 1000 µg/l Al ≤ 0,20 mg/l Dusitany ≤ 0,50 mg/l Fosforečnany 0,8 mg/l pH = 6,5 - 9,5
užitková (z. 258/2000 Sb.)	DV, šedé a jiné	srážky (střecha, velké plochy – parkoviště), sprcha, pračka, umyvadlo		Nedefinováno	

* legislativa v tomto oboru je komplikovaná, každý literární zdroj uvádí vybrané charakteristiky typů vod (zákon O ochraně veřejného zdraví se nezaměřuje na vodu pitnou)

Odpadní vody se rozdělují na vody černé a šedé. Šedé vody mohou být využity po recyklaci jako vody užitkové. **Šedé vody** jsou odpadní vody, které **neodtékají ze záchodů** (černá voda). Dále se tyto vody dělí na **světlé** a **tmavé** šedé vody. Jelikož voda z kuchyně je výrazněji znečištěna než voda ze sprch a umyvadel v koupelně, řadí se mezi tmavé šedé vody. Tyto vody nejsou vhodné pro recyklaci. Nás ale více zajímají vody světlé šedé, které odchází z **praček, sprch**

nebo například **umyvadel** a nejsou výrazně znečištěny. Hlavním kritériem šedé vody je, že neobsahuje takové množství fekálií a moči jako vody černé. Název vznikl podle jejího zabarvení, které nastalo po delším skladování. Taková voda čítá největší procento odpadní vody **50 až 80 %** a je nejméně znečištěná, avšak i zde se nachází fekální bakterie, konkrétně koliformní. Kvalita a bezpečnost šedé vody se určuje podle několika hledisek: **barva, zákal, BSK, CHSK**, obsah **dusíku a fosforu** a obsah fekálních bakterií např. **E.Coli** (Bartáček et al., 2021). Kdyby se využívala v domácnostech pro splachování šedá voda, tak by se podle Penna et al. (2012) ušetřilo až 25 % pitné vody. Nejvíce šedých vod se využívá na zalévání a splachování. Můžeme se s tímto systémem setkat jak v rodinných domech, tak v hotelích či na letišti (Bartáček et al., 2021).

2.2.2 OSN – definice dešťové/srážkové vody

Vodní zákon ČR se zmiňuje o srážkových vodách pouze v souvislosti s jejím zadržováním a následném zasakováním nebo, že se stává vodou odpadní ve chvíli, kdy vstoupí do společné kanalizace s vodou odpadní (§5 odst. 3, §38 odst. 3). Přesto je voda srážková chápána například ve státech Německo, USA a Austrálie (Tab. 2) jako voda užitková.

Tab. 2: Dělení dešťových vod (Natural Resource Management Ministerial Council, 2009)

typ dv	zdroj	mikrobiologické ukazatele	chemické ukazatele	povolené využití
atmosférická (rainwater)	přímo zachycena z atmosféry			
střešní (roofwater)	střechy	<i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Salmonella</i> , <i>E.coli</i> , <i>Legionella</i> , termotolerantní koliformní bakterie, enterokokové	Ar, Cr, Cd, Ni, Cu, Fe, Zn, N, P, Pb, Sr	zalévání veřejných městských ploch (golfová hřiště, trávníky, park), splachování, praní, mytí aut, stavba silnic, regulace prachu, čištění silnic, hašení požáru
silniční /kanálová (stormwater)	silnice, parkoviště	Rotaviry, <i>Cryptosporidium</i> , <i>Campylobacter spp.</i> , <i>E.coli</i> , <i>Giardia</i> , <i>Clostridium perfringens</i> , enterokokové, fekální koliformní b., fekální streptokokové, somatické kolifágy	Al, Ar, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Hg, Ni, Zn, N, P	

2.2.3 Legislativa dešťových vod (DV)

Každá země má recyklaci a nakládání s recyklovanou vodou nastavenou jinak. Všeobecně se zaměřují hlavně na kvalitu recyklované vody, původ a následné použití. Důležité je vědět, zda může recyklovaná voda přijít do **přímého styku**

s člověkem. Podmínky jsou dány příslušnými normami a právními předpisy, které se liší v každé zemi (Bartáček et al., 2021). Česká republika se inspirovuje např. Austrálií, USA nebo Německem.

Německo

- Důvod: V Německu nebylo primárním důvodem zavedení systémů na sběr DV **soudobé sucho**, ale především **kontrola nad vodou**. Země se nachází v oblasti, kde během léta spadne nadprůměrné množství srážek, ale výhledově v roce 2080 by mohlo nastat sucho. Naopak v zimních měsících by mohlo docházet k záplavám. V regulaci odtoku dešťů vidí stát potenciální odolání těmto rizikům a záchranu ekosystémů (Schuetze, 2013).
- Legislativa: Německé systémy na sběr DV se řídí **Německými národními normami** (Deutsches Industrie-Norm). Norma z roku **1989** má celkem 4 části, týkají se plánování, filtrů, nádrží a komponentů pro monitoring (DIN, 1988).
- Využití: Podle této normy je možné **od roku 2013** využívat vodu **pro nepitné účely bez rizik**. Některé spolkové země jsou podporovateli decentralizovaných kanalizací, a proto dotují výstavbu oddělené kanalizace, aby zabránili kontaminaci povrchových vod vodami odpadními (Schuetze, 2013).

Austrálie

- Důvod: Země jižní polokoule začala řešit **sucho** sbíráním dešťové vody.
- Legislativa: V roce **2006** vznikl dokument s pokyny, kde je předepsáno, jak správně využívat odpadní, šedé a dešťové vody. Tento dokument se jmenuje **National guidelines for water recycling: managing health and environmental risks** a má dvě fáze.
- **Fáze 1** obsahuje kompletní pokyny, jak předejít případným zdravotním a environmentálním problémům, a také pokyny k používání recyklované šedé vody a odpadní vody v oblastech zalévání zahrad, mytí aut, praní, zemědělství, zalévání městských ploch nebo protipožární oblasti.

- **Fáze 2** obsahuje 3 moduly, které doplňují fázi 1. Modul 1 se zaměřuje na využívání recyklované vody ke zvýšení dodávek pitné vody. Zahrnuje taktéž zdroj vody, čištění a míchání pitné vody s recyklovanou. Modul 2 a 3 pojednává o využití recyklované vody k větší zásobě pitné vody, či použití dešťové vody pro závlahu zahrady (Bartáček et al., 2021).

USA

- Důvod: Ve spojených státech bylo zadržování dešťové vody zřízeno také kvůli **kontrole nad záplavami a erozemi** či **obnově mokřadů** a vodních ekosystémů.
- První využití: Floridské město **Cape Coral** disponuje již **od 80. let** programem pro sběr dešťové vody prostřednictvím kanálů po celém městě. Sběr takové dešťové „kanálové“ vody zabezpečuje až 75 % potřebné vody pro zavlažování města.
- Legislativa: U amerických států je legislativa **roztříštěna** kvůli odlišným **klimatickým podmínkám**, které určují nároky na sběr a recyklaci vod. Některé státy mají pouze doporučení, jiné zase naopak ukotvené podmínky v předpisech. Prvotní **dokument**, který shrnuje podmínky pro recyklaci i sběr DV, je **z roku 2012** a jmenuje se **Guidelines for water reuse**. V dokumentu jsou porovnány všechny státy USA. V roce, kdy dokument vyšel, neměly některé státy ani doporučení ani předpisy, pouze se věnovaly schvalování znovuvyužití recyklovaných či dešťových vod v konkrétních situacích za podmínky, že bude zabezpečeno zdraví.
- Příkladem může být stát New York, který má k dnešnímu datu vypracované **doporučení z roku 2018-2019** (*NYC Environmental Protection, 2019*)
- **Od roku 2012** již plně fungují **podle předpisů** regulujících využívání recyklované vody v oblasti městské, zemědělské, průmyslové a ekologické, např. státy **Arizona**, Kalifornie, **Florida** nebo Massachusetts.
- Ve státě Florida se navíc může voda opětovného využití použít na **míchání betonu** nebo **vytvoření ledového kluziště** (*United States Environmental Protection Agency, 2012*).

- Stát **Havaj** postupuje podle **doporučení od roku 1993**, kdy bylo poprvé přijato ministerstvem zdravotnictví. V roce 2002 byl tento dokument aktualizován, a během této doby se spotřeba recyklované vody zdvojnásobila. V následujících letech Havaj drží krok se státy jako je například Kalifornie či Florida (*Hawai State Department of Health Wastewater Branch, 2002*).
- Ve státě **Tennessee** se můžeme setkat s dešťovou vodou jako **primárním zdrojem vody**. University of Tennessee využívá DV ve svých ubytovacích zařízeních pro studenty (Rochat, 2020).

Česká republika

- Důvod: Nutnost sběru dešťových vod je dána **suchem** a klesáním hladiny spodních vod (Plotěný, 2018a).
- Legislativa: Vodní zákon (č. 254/2001 Sb.), obsahuje předpis týkající se **zadržování** a následného **zasáknutí** dešťové vody do země. Stavebník je povinen zakomponovat tuto povinnost do projektu nové stavby. Pokud zadržování není možné, může se využít odvod takové vody do vod povrchových. Pokud tyto podmínky nejsou splněny, stavba nemůže být povolena. Akumulaci a následné zasáknutí či odvod srážkových vod ujasňuje **vyhláška č. 501/2006 Sb.** o obecných požadavcích na využívání území.
- V zákoně č. **258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví** je užitková voda popsána jako voda srážková nebo šedá, která může být využita na splachování, praní, úklid, mytí aut nebo závlahu.
- Využití: Dalším důležitým dokumentem je **norma ČSN 75 6780**, která se zabývá využíváním vyčištěných dešťových a šedých vod. Povoluje využití takové vody jako náhrady např. pro splachování wc v rodinných domcích.

2.2.4 Sběr a rizika užívání dešťové vody

Dle webináře, který je zaměřen na aktuální stav sucha, je sběr srážkové vody klíčový k řešení problému nedostatku vody. Česká republika je prameništěm tří velkých řek, které odvádí vodu do tří moří. Naše krajina se tak stává odtokovou oblastí. Dochází ke klesání spodní hladiny vody. Voda se nemá kde udržet a teče dále

řekou pryč ze země. Toto však není zdaleka jediný důvod nedostatku vody, ale je v souhře s několika dalšími faktory jako je např. plýtvání s vodou (P. Vacek, 2019).

Karel Plotěný ve svém webinaru zmiňuje, že v době socialismu měla srážková voda jiný preferovaný osud než dnes, a to aby odtékala rychle z území pryč. Dnes je tomu jinak a snažíme se minimalizovat odtok, protože předpokládáme, že bude nedostatek vody vlivem sucha a plýtvání. Jedním důvodem zadržování srážkové vody je již zmíněný nedostatek vody a dalším důvodem je zajištění obyvatelnosti měst. To se týká hlavně zeleně a její závlahy. Závlaha, kterou v dnešních dobách zajišťuje pitná voda, se jeví jako jakýsi luxus a dešťová voda by ji mohla nahradit, protože se jeví jako velmi kvalitní. Důležité je také udržet malý vodní cyklus a snažit se zkrátit období mezi jednotlivými srážkami tím, že voda bude zasakována do povrchu a následně více odpařována (Plotěný, 2018b)

Zachytáváním DV zamezíme vypouštění smíšených odpadních vod přímo do toků (Schuetze, 2013). Smíšenými vodami označujeme vodu odpadní ze záchodů a vodu dešťovou, které odtékají společně. Procesu, kde dochází k přímému vypouštění takové vody do toků, se říká odlehčování a spočívá v tom, že čistička odpadních vod nezvládne vyčistit takové množství vody, které přiteče společnou kanalizací jak z obydlí, tak ze silnic a střech, a proto se přebytky vypouští rovnou do toků a nečistí se. Skladováním DV tedy snížíme eutrofizaci způsobenou odlehčováním a zprostředkujeme vsak do země. Největším problémem je fosfor, který má až 6x větší emise při odlehčování než z ČOV za bezdeštných dní (Duras, 2021). Způsobem zachytávání srážkové vody dokážeme rozšířit útvary podzemních vod a ochránit mokřady a lesy (Schuetze, 2013).

Tlak na zachytávání dešťové vody je taktéž legislativního charakteru. Pokud vzniká nová zástavba, je povinna počítat se zachytáváním dešťové vody. Stávající budovy, ve kterých dochází ke změně využití nebo ke změně stavby, mají taktéž povinnost řídit se vyhláškou Vodního zákona. Pokud ale stávající budova neprochází žádnými změnami, není povinna tuto situaci řešit (Plotěný, 2018b). Je důležité zmínit, že rozdíl v tom, jestli srážkovou vodu využijí, nebo ji nechám zasáknout, není podstatný pro krajinu, v obou případech šetřím podzemní i povrchové zásoby vod.

Podle webináře Karla Plotěného voda, která steče ze střech nebo z pozemní komunikace, kde nehrozí velké znečištění, je vhodná pro přímý odvod do vod povrchových nebo pro zásak do půdy. Problém s čistotou nastává při akumulaci vody například z parkovacích ploch, kde se můžeme setkat s rizikem vzniku havárie, proto jsou označeny za potenciálně znečištěné a proto zde musí být objekty, které dokážou zajistit možná rizika, např. zachytit nerozpuštěné látky (kovy, aromatické uhlovodíky) (Plotěný, 2018a).

V rodinných domech se v roce 2022 stále využívá pitná voda pro všechny potřeby v domácnosti. Průměrná spotřeba vody v rodinném domě činí 80 až 120 litrů na osobu za den. Spotřeba se dělí na provozní potřeby a potřeby, které nelze nahradit jinou vodou než pitnou. Provozní voda zahrnuje vodu, která je potřeba k praní, mytí nádobí v myčce, sprchování, splachování wc, mytí aut a zavlažování zahrady (J. Vacek, 2019). Roční průměrný úhrn srážek v České republice je 680 mm, to znamená 680 l/m². Pokud rodina vlastní dům, jehož střecha má povrch 100 m², dokáže zachytit při nulových ztrátách 68 000 litrů dešťové vody. V roce 2021 je stále v platnosti, že užitkovou vodu můžeme využívat bez rizik na splachování a zalévání zahrad, což činí 30 % spotřeby pitné vody za den. Tuto spotřebu můžeme poklidně pokrýt z nádrže zachycené srážkové vody. Srážková voda ale ve většině případů nedokáže pokrýt celkovou spotřebu provozní vody, proto je nutné kombinovat zdroj užitkové vody jak z nádrže na dešťovou vodu, tak na vodu šedou (Perlík, 2019).

Dešťová voda není v žádném případě pitná, proto existují jisté normy a předpisy, jak s ní nakládat. Je důležité, aby se v potrubí neseskala s vodou pitnou, protože dešťová není nikdy čistá (P. Vacek, 2019), takže se může využít pro mytí rukou a sprchování pouze v určitých případech (J. Vacek, 2019). Obsahuje spláchnutý prach a pyl ze střechy, organické nečistoty a mikroorganismy (P. Vacek, 2019). Samotná střešní krytina také ovlivňuje kvalitu sbírané vody. Při splachu ze střechy se může část střešní krytiny vyluhovat a obarvit vodu (J. Vacek, 2019). Při špatném skladování se ve vodě mohou rozšířit bakterie a viry. Skladování, aby bylo kvalitní, musí obsahovat vhodné filtry, které se nachází přímo v okapu, před nebo v nádrži (P. Vacek, 2019). Systém jímání a skladování dešťové vody má 4 hlavní části: filtrace, akumulace, systém čerpání, systém doplňování.

Nejdříve je voda zbavena všech nečistot pomocí již zmíněných filtrů, kde se voda připraví pro skladování. Dešťová voda se akumuluje v nádržích, které mohou být zabudovány v zemi nebo v suterénu budovy. Podle místa umístění se zvolí vhodná konstrukce a materiál nádrže. Dále je v budově nainstalováno čerpadlo, které čerpá vodu z nádrže a pomocí něhož je voda rozváděna po domě. Poslední částí je systém doplňování. V případě, že bude veliké sucho, může být dešťová voda nahrazena vodou pitnou (J. Vacek, 2019).

Velmi podstatným krokem je správný výpočet velikosti nádrže (Obr. 2) skládající se ze tří částí. První část výpočtu se týká dostupného množství vody a druhá část potřebného množství vody. Obě části pak dají dohromady výsledný třetí výpočet akumulačního objemu. Je důležité přizpůsobit velikost nádrže, která akumuluje vodu z velké střechy rodiny, která má malou spotřebu vody, aby nedocházelo ke zbytečnému kažení dešťové vody (Vacek, 2018).

$$Q_d = (S \cdot \psi \cdot h \cdot \eta) / 1000 \text{ [m}^3\text{/rok]}$$

$$S = \text{plocha půdorysného průmětu střechy [m}^2\text{]}$$

$$\psi = \text{koeficient odtoku střechy [-]}$$

$$h = \text{průmětný roční úhrn srážek [mm/rok]}$$

$$\eta = \text{hydraulická účinnost filtru [-]}$$

$$Q_p = n \cdot q_i + A_{zal} \cdot q_{zal} \text{ [m}^3\text{/rok]}$$

$$n = \text{počet osob [-]}$$

$$q_i = \text{potřeba vody pro daný účel [m}^3\text{/os.rok]}$$

$$A_{zal} = \text{zavlažovací plocha [m}^2\text{]}$$

$$Q_{zal} = \text{potřeba vody pro závlahu [m}^3\text{/m}^2\text{.rok]}$$

$$V_a = \min (Q_d; Q_p) \cdot p/a \text{ [m}^3\text{]}$$

$$Q_d = \text{dostupné denní množství [m}^3\text{/rok]}$$

$$Q_p = \text{potřebné denní množství [m}^3\text{/rok]}$$

$$p = \text{předpokládaná bezdeštná doba cca 21 dní}$$

$$a = \text{provozní doba objektu 365 dní}$$

VÝPOČET VELIKOSTI AKUMULAČNÍ NÁDRŽE PRO VYUŽÍVÁNÍ DEŠŤOVÝCH VOD

Autor:	Ing. Kamila Chmelářová	Verze	1.1 (19.11.2020)
--------	------------------------	-------	------------------

<p>Zadání vstupních údajů Dimenzování zařízení pro využití srážkové vody</p> <p>Počet osob n = <input type="text" value="4"/> osob</p> <p>Počet provozních dní budovy d = <input type="text" value="365"/> dní</p> <p>Hydraulická účinnost mechanického čištění srážkové vody η = <input type="text" value="0.9"/></p> <p>Předpokládaná bezdeštná doba α = <input type="text" value="21"/> dní</p> <p>Potřeba provozní vody pro splachování Záchody v bytech a budovách pro trvalé bydlení - 30 l/os.den Q_{sp} = <input type="text" value="30"/> l/os.den</p> <p>Potřeba provozní vody pro praní Není uvažováno Q_{pr} = <input type="text" value="0"/> l/os.den</p> <p>Potřeba provozní vody pro závlahu Zalévání zahrady Q_{zav} = <input type="text" value="1"/> l/m²/den Q_{zav} = <input type="text" value="60"/> l/m²/rok Zalévaná plocha A_{zal} = <input type="text" value="100"/> m²</p>	<p>Výpočtová část Výpočet podle množství zachycené vody - varianta 1 Výpočet množství využitelné vody Odvodňovaná plocha</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Č.</th> <th>Typ střechy</th> <th>Ψ_{di} [-]</th> <th>A [m²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Šílená střecha - pálené tašky</td> <td>0,75</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Záclony</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Záclony</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Záclony</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Miscel</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Celková redukovaná sběrná plocha v m²</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table> <p>Roční úhrn srážek z období 2008 - 2018 Kraťovského deky h = <input type="text" value="742,9"/> mm</p> <p>Průměrný roční nátok srážkové vody V_d = Σ(A_i · Ψ_{di}) · h_{sr} · η V_d = <input type="text" value="50"/> m³/rok</p> <p>Objem akumulační nádrže dle množství využitelné vody V₀ = V_d/365 · α V₀ = <input type="text" value="2,89"/> m³</p> <p>Výpočet podle potřeby vody - varianta 2 Denní potřeba vody Q₂₄ = q_{sp} · n + q_{pr} · n + q_{zav} · A_{zal} Q₂₄ = <input type="text" value="220"/> l/den</p> <p>Objem akumulační nádrže dle potřeby vody V₀ = (Q₂₄ · α)/1000 V₀ = <input type="text" value="4,62"/> m³</p>	Č.	Typ střechy	Ψ _{di} [-]	A [m ²]	1	Šílená střecha - pálené tašky	0,75	100	2	Záclony	0		3	Záclony	0		4	Záclony	0		5	Miscel	0		Celková redukovaná sběrná plocha v m ²			75
Č.	Typ střechy	Ψ _{di} [-]	A [m ²]																										
1	Šílená střecha - pálené tašky	0,75	100																										
2	Záclony	0																											
3	Záclony	0																											
4	Záclony	0																											
5	Miscel	0																											
Celková redukovaná sběrná plocha v m ²			75																										

Optimalizace návrhu akumulační nádrže	
<p>Bilancní posouzení návrhu akumulačního objemu Roční potřeba provozní vody Q_p = Q₂₄ · d + Q_{zav} · A_{zal} Q_p = <input type="text" value="86,3"/> m³/rok</p> <p>V_d = <input type="text" value="50"/> m³/rok</p> <p>V_d ≥ Q_p Nevyhovuje Využití srážkové vody není optimální, doporučuje se upustit od některých způsobů využití, nebo je možná kombinace bílé vody s využitím srážkové vody tak, aby nerovnost byla splněna.</p>	<p>Rozdílové posouzení návrhu akumulačního objemu Objem dle velikosti střechy V₀ = <input type="text" value="2,89"/> m³ Objem dle potřeby V_v = <input type="text" value="4,62"/> m³ V_v - V₀ = <input type="text" value="38"/> %</p> <p>V₀ - V_v < 20 % Nevyhovuje Rozdíl mezi objemy není menší než 20 % a nevyhovuje rozdílovému posouzení.</p> <p>V₀ ≤ V_v Malá plocha střechy, předpoklad častého doplňování vody do systému.</p>

Navrhují ideální objem akumulační nádrže (voím mezi objemem dle potřeby V_v a objemem dle velikosti střechy V = m³)

Obr.2: Výpočet velikosti nádrže na DV (TZB-energie.cz)

V České republice existuje dotační program, který se nazývá Dešťovka. Lidé, kteří plánují využívat dešťovou vodu, mohou požádat o tuto dotaci, kde jim stát proplatí 50 % nákladů za nádrž a všechny ostatní potřebné komponenty. Majitelé domů mohou využít program na závlahu, na závlahu a splachování nebo na závlahu, splachování a využívání šedých vod (J. Vacek, 2019).

Vysoké riziko následného využívání srážkové vody představují fekální bakterie a prvoci z různých zdrojů (Evans et al., 2006)

- Znečištění v atmosféře: Výskyt a koncentrace těchto mikroorganismů závisí na meteorologických podmínkách, větru a suchu (Evans et al., 2006).
- Znečištění na střeše: Období sucha představuje nahromadění kontaminantů (tj. nečistot, prachu a fekálií) na střeše a následné spláchnutí

do nádrže po dešti. Do nádrže se pak mohou dostat organické látky, které podpoří množení bakterií (Göbel et al., 2007).

- **Znečištění v nádrži:** Problémem je také aerosol a plyny, které se mohou do nádrže dostat otvory, proto se otvory musí řádně zabezpečit (Natural Resource Management Ministerial Council, 2009), nebo se kapičky vody spojují s bioaerosem. Je pravděpodobné, že se *E.coli* dostává do nádrží i pomocí bioaerosolů (He & Balasubramanian, 2008).

V Bangladéši bylo během studie detekováno vysoké množství *E. coli* v nádržích, dosahovalo hodnoty 6000 CFU/100 ml (CFU = jednotka odpovídající počtu kolonií) (Ahmed et al., 2010; Ahmed et al., 2012; Islam et al., 2011). V Řecku se po dobu 3 let testovalo 156 vzorků, a z toho bylo 41 % pozitivních na *E. coli*. Ukázalo se, že nejvyšší koncentrace bakterie byla na podzim, v zimě byla minimální a během jara a léta se postupně zvyšovala. Hodnota dosahovala 0 – 250 CFU/100ml. Výsledkem studie kontaminace dešťových vod v nádržích bylo, že srážková voda nese menší riziko průjmových onemocnění než vody neupravené či z alternativních zdrojů (Hamilton et al., 2019).

2.3 Mikroorganismy v dešťových vodách

V dešťových vodách jsou ve většině prací studovány mikroorganismy na úrovni heterotrofních zástupců skrz jejich případný patogenní charakter (kap. 2.3.1). Zaměření na sinice a řasy najdeme ve znatelně méně vědeckých pracích. Podle Kevin P Dillon et al. (2020) se v atmosféře nachází různorodé společenstvo řas a sinic. Některé jsou heterotrofní a jiné autotrofní. Autotrofním organismům nacházejícím se v oblacích není věnována velká pozornost. Na základě jeho výzkumu, kdy odběry vzorků dešťové vody probíhaly v letech 2010 až 2017 v okolí sopky puy de Dôme, a ty byly následně kultivovány v laboratořích, se zjistilo, že sinice či řasy mohou být přilepeny k vodním kapkám nebo dokonce tvořit kondenzační jádro nebo základ pro mrznutí vodních kapek. Mikroorganismy mohou ze země znovu stoupat do atmosféry a zakomponovat se zpět do mraků. Takto dále pokračuje koloběh kondenzace a vypařování společně s mikroorganismy. Dillonův výzkum byl zaměřen hlavně na aerobní fotoautotrofní mikroby. Zkoumána byla jejich aktivita, diverzita a početnost v atmosféře. Rychlost a směr větru výrazně

ovlivnili početnost jednotlivých skupin na určitých místech odběru vzorku (Kevin P. Dillon et al., 2020). Ve studii z roku 1937 byli objeveni v nádržích na DV zástupci shodní se zástupci, kteří se nacházeli ve spodní troposféře. Jednalo se hlavně o zástupce tříd Bacilariophyceae a Chlorophyceae (*Navicula minuskula*, *Chlorococcum sp.*, *Chlorella vulgaris*, *Pleurococcus vulgaris* a *Stichococcus*, *Hormidium flaccidum*) (Overeem, 1937). Podle Wiśniewské a kolektivu (2022) jsou zástupci v dešťových vodách splachování pomocí deště z aerosolů, tato studie je zaměřena na stav ovzduší před a po dešti, zda je vzduch deštěm čištěn od sinic a řas, a tím pádem snižováno zdravotní riziko po vdechnutí.

2.3.1 Heterotrofní bakterie

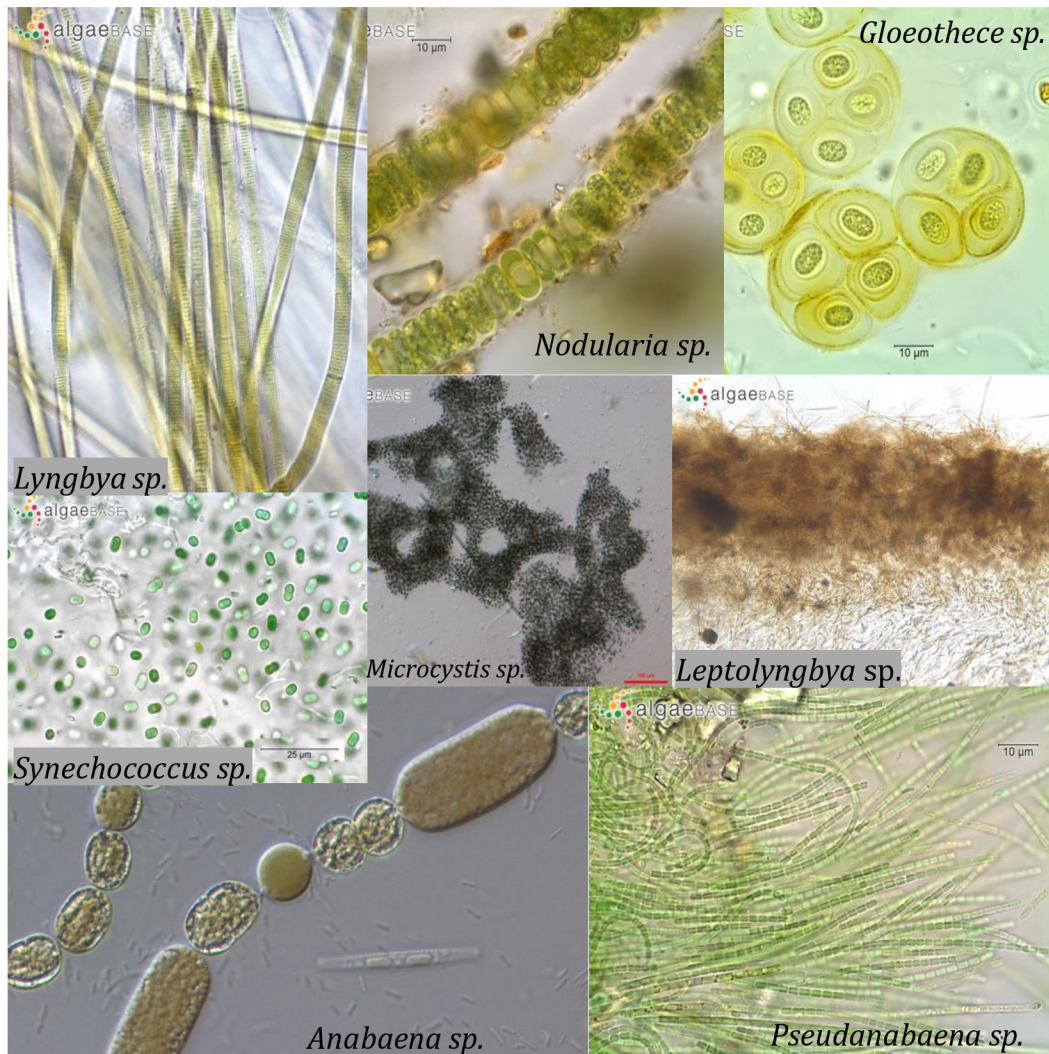
Tato práce je primárně zaměřena na autotrofní organismy, proto jsou zde uvedeny pouze tři publikace pro doplnění tématu. V roce 1899 publikoval výsledky výzkumu Dr. G. Lindner, který ve svých experimentech pozoroval rody *Trichomonas*, *Cercomonas*, *Vorticella*, *Paramaecium* (Lindner, 1899). Ve vzorcích z okolí sopky puy de Dôme dominovaly hlavně heterotrofní bakterie, jako například *Pseudomonas* a *Sphingomonas* (Kevin P. Dillon et al., 2020). Mezi heterotrofní bakterie vyskytující se v dešťové vodě, které představují rizika pro zdraví, patří především *E.coli* a koliformní bakterie, jejichž množství musí být eliminováno (Natural Resource Management Ministerial Council, 2009).

2.3.2 Autotrofní bakterie – sinice

Pro výskyt sinic v dešťových vodách byly dohledatelné pouze dva zdroje. Z okolí sopky byly v dešťové vodě nalezeny druhy zemského i mořského původu, ale ve většině to byl původ mořský. Nutno ale říct, že druhy suchozemského původu měly podobné výsledky v relativní početnosti jako ty původu mořského. Ze vzorků byli identifikováni zástupci mořských i terestrických sinic. V převažujícím procentuálním zastoupení byli determinováni tyto zástupci (Tab. 3, Obr. 3): *Lyngbya*, *Microcystis*, *Synechococcus*, *Gloeocapsa*, *Gloeotheca*, *Crocospaera*, *Pseudanabaena* (Kevin P. Dillon et al., 2020). Ve studii z roku 2022, kdy výzkum probíhal v roce 2019 na jižním pobřeží Baltského moře, byli zachyceni zástupci *Pseudanabaena*, *Leptolyngbya*, *Synechococcus*, *Synechocystis* (Wiśniewska et al., 2022).

Tab. 3: Sinice v dešťových vodách z různých literárních zdrojů doplněné o morfologické charakteristiky (algaebase.org, Kaštovský et al. 2018) – vlastní tabulka

řád	literární zdroj		morfologie podle Kaštovský et al. a algaebase.org			
	rod	výskyt v užitkových vodách	typ stélky	charakteristický determinační znak	barva	ekologie
Chroococcales	<i>Crocospaera</i>	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020)	kokální	buňky malého rozměru	modrozelená	tropické oceány s teplotou nad 24°C
	<i>Gloeocapsa</i>	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020)	kokální	slizový obal, makroskopické celky	barva podle míry osvětlení	terestrické, skalní substráty
	<i>Gloeothece</i>	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020)	kokální	slizový obal, makroskopické kolonie	bezbarvé až nažloutlé	terestrické
	<i>Microcystis</i>	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020)	kokální	aerotopy ano, v koloniích	modrozelená	plankton eutrofních stojatých vod
	<i>Rubidibacter</i>	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020)	kokální	tyčinkovité buňky, nerozlišitelné vrstvy pláště, tylakoidy umístěny periferně	modrozelená	mořské prostředí
Pleurocapsales	<i>Xenococcus</i>	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020)	kokální (kolonie)	kolonie obaleny slizem	našedivělá, modrozelená, načervenalá	na substrátech (kámen, vodní rostliny), sladká i slaná voda
Oscillatoriales	<i>Moorea (Moorena)</i>	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020)	trichální	nevětvená vlákna, polysacharidová pochva, nemají heterocyty	zelenohnědá	tropická moře
	<i>Lyngbya</i>	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020)	trichální	polysacharidová vrstva na povrchu, nemá aerotopy	tmavě modrá až černá barva, po zoxidování - žlutooranžová	sladké vody (povlak na kameni, na hladině)
	<i>Oscillatoria</i>	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020)	trichální	dlouhé rovné vlákno, tenké nebo žádné pochvy, koncové buňky zaoblené se ztlustlou BS	modrozelená	půdní, benthos stojatých vod, sekundárně plovoucí na hladině
	<i>Trichodesmium</i>	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020)	trichální (kolonie)	bezbarvý sliz, bez heterocyt a akinet	olivově zelená	sladkovodní i mořský plankton
Nostocales	<i>Anabaena sp.</i>	Gdaňský záliv (Wiśniewska, 2022)	trichální	heterocyty, slizová pochva, nemá aerotopy, kulovité koncové buňky	modrozelená až tmavě zelená	bentos a půda
	<i>Cylindrospermum</i>	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020)	trichální	kuželové heterocyty, akinety přilehlé k heterocytům	modrozelená až zelená	terestrické prostředí - půda, vodní neplanktonní
	<i>Nodularia</i>	Gdaňský záliv (Wiśniewska, 2022)	trichální	nevětvená vlákna, tenká slizová pochva, buňky kratší než široké a zřetelné zaškracené, heterocyty	modrozelená	perifyton v mokřadech, litorál stojatých vod
	<i>Richelia</i>	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020)	trichální	jednotlivá vlákna, heterocyty kulovité umístěny terminálně, akinety chybí	modrozelená	tropická moře, endofyt a epifyt rozsivek
	<i>Scytonema</i>	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020)	trichální	nepravé větvení, viditelné slizové pochvy, akinety chybí	tmavě zelená, černá, hnědá, šedozeleň	vlhká půda; skály; litorál čistých jezer, lesních tůní
Synechococcales	<i>Chamaesiphon</i>	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020)	kokální (kolonie)	slizový obal, až makroskopické	šedomodré až modrozelené	epifyt, epilít stojatých i tekoucích vod
	<i>Leptolyngbya</i>	Gdaňský záliv (Wiśniewska, 2022)	trichální	vlákna jednotlivě, v chomáčích, nárostech, tenká pochva	modrozelená, olivová, žlutozelená	aerofyticky, perifyton, litorál stojatých i tekoucích vod
	<i>Prochlorococcus</i>	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020)	kokální	kulovité/tyčinkovité, jednotlivě/ve dvojicích	zelená	mořské prostředí
	<i>Pseudanabaena</i>	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020), Gdaňský záliv (Wiśniewska, 2022)	trichální	buňky bez pochev propojeny hyalinními vlákny	modrozelená	vodní a terestrické - plankton, perifyton, bentos stojatých i tekoucích vod
	<i>Synechococcus</i>	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020), Gdaňský záliv (Wiśniewska, 2022)	kokální (pseudovlákna)	nená slizový obal	modrozelená, vyjimečně oranžová	plankton stojatých vod, vlhká půda (Kaštovský)
	<i>Synechocystis</i>	Gdaňský záliv (Wiśniewska, 2022)	kokální	bez slizových obalů	modrozelená	plankton a metafyton stojatých vod



Obr.3: Vybraní zástupci sinic dešťových vod z literární rešerše (zdroj fotografií Algaebase.org)

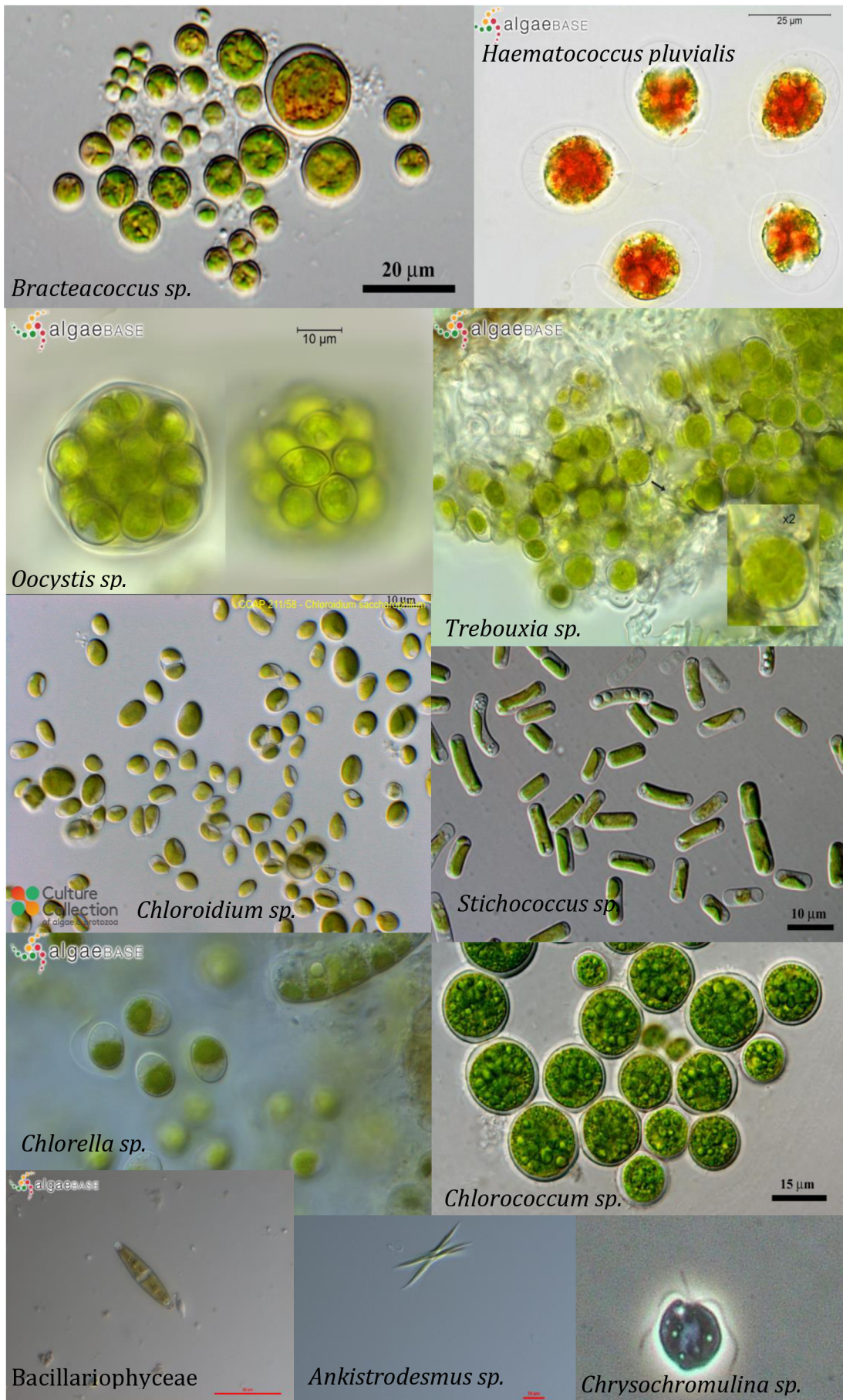
2.3.3 Řasy

Řasách se věnují stejné dvě práce jako sinicím, ale navíc je tu ještě jedna práce z roku 1937. Mezi řasy identifikované ve vzorcích dešťové vody odebrané z okolí sopky se řadí hlavně zástupci řádu Trebouxiales, kde byl dominantou rod *Trebouxia* (Kevin P. Dillon et al., 2020), který je nejvíce známý jako fykobiont lišejníků (Tab. 4) (Kaštovský et al., 2022), či aero-terestrický rod (Škaloud, 2009). Ve studii z roku 1937, kdy byla dešťová voda zachycena na střeších dvou budov, byly ve vzorcích nalezeni zástupci třídy Chlorophyceae a Bacillariophyceae (Overeem, 1937). K.A. Wiśniewska et al. (2022) objevili ve 20 vzorcích dešťové vody, které odebrali na střeše pozorovací stanice ve městě Gdynia (20 m n.m.), zástupce třídy Chlorophyceae a Trebouxiophyceae (Tab. 4, Obr. 4). Všechny vzorky byly sbírány do polyethylenové lahve, která byla předem vydesinfikována 1 M HCL, opláchnuta destilovanou a deionizovanou vodou a následně vysušena.

Kromě vědeckých článků lze informace o výskyt sinic a řas v dešťových vodách čerpat např. z webové stránky www.algabase.org, která uvádí *Haematococcus pluvialis* (Guiry, 2022).

Tab. 4: Řasy v dešťových vodách z různých literárních zdrojů doplněné o morfologické charakteristiky (algaebase.org, Kaštovský et al. 2018) – vlastní tabulka

literární zdroj				morfologie podle Kaštovský et al. a algaebase.org			
oddělení	třída	druh/rod	výskyt v užítkových vodách	typ stélky	charakteristický determinační znak	barva	ekologie
Chlorophyta	Trebouxiophyceae	<i>Chlorella</i>	Nizozemsko - kultivace (Overeem, 1937), Gdaňský záliv (Wiśniewska, 2022)	kokální (kolonie/shluky)	1 členěný chloroplast s pyrenoidem ve škrobovém obalu, několik vakuol	zelená	povrchové vody, půdní, aerofytické (zdi, kameny), endosymbiont nálevníků
		<i>Chloroidium</i> (kultivován)	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020)	kokální	laločnatý či nástěnný chloroplast s pyrenoidem, autospory (rozm.)	zelená	vodní, aerofytický terestrický (kůra stromů, střechy domů), lichenismus (fotobiont)
		<i>Oocystis</i> sp.	Gdaňský záliv (Wiśniewska, 2022)	kokální (cenobia)	jeden až mnoho chloroplastů, pyrenoid ano i ne, autospory uvolněny protržením BS	zelená	plankton eutrofních stojatých vod
		<i>Stichococcus bacillaris</i>	Nizozemsko (Overeem, 1937), Gdaňský záliv (Wiśniewska, 2022)	trichální	žlábkovitý chloroplast, 1 pyrenoid, až 6,6 μm	zelená	půda, aerofytický substrát
		<i>Trebouxia</i>	v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020)	kokální (shluky)	centrální masivní chloroplast s pyrenoidy, zoospory a autospory (rozm.)	zelená	lichenismus (fotobiont), volně žijící
		<i>Desmococcus olivaceus</i> (<i>Pleurococcus vulgaris</i>)	Nizozemsko (Overeem, 1937)	kokální	jeden chloroplast a pyrenoid, tvoří sarcinoidní shluky	zelená	kosmopolitní - zdi, stromy
	Chlorophyceae	<i>Haematococcus pluvialis</i>	algaebase.org	monadoidní	masivní BS, 2 bičinky, chloroplast s několika pyrenoidy	zelená (červený karotenoid)	stojaté vody, kamenné/betonové nádrže
		<i>Ankistrodesmus</i> sp.	Gdaňský záliv (Wiśniewska, 2022)	kokální (kolonie)	vřetenovité buňky spojené/zkřížené svazky, nástěnný chloroplast bez pyrenoidu	zelená	plankton, metafyton i bentos stojatých vod, rašeliníště,
		<i>Bracteacoccus</i> sp.	Gdaňský záliv (Wiśniewska, 2022)	kokální	kulovité buňky, více nástěnných chloroplastů, bez pyrenoidu, autospory a zoospory (2 bičinky),	zelená	půda, aerofyticky
		<i>Coenochloris</i> sp.	Gdaňský záliv (Wiśniewska, 2022)	kokální (kolonie)	po 4-8 buňkách, nástěnný chloroplast s nebo bez pyrenoidu,	zelená	půda, plankton stojatých i tekoucích vod,
		<i>Chlorococcum</i> sp.	Nizozemsko - kultivace (Overeem, 1937), Gdaňský záliv (Wiśniewska, 2022)	kokální	nemá slizový obal, 1 a více jader, 1 a více pyrenoidů, nástěnný či pohárovitý chloroplast	zelená, starší buňky mohou být červené díky sekundárním metabolitům	půda
Haptophyta	Prymnesiophyceae	<i>Chrysochromulina</i>	Gdaňský záliv (Wiśniewska, 2022)	monadoidní	2 bičinky, extrémně dlouhé haptonema, 2 plastidy, pyrenoidy, drobn šupiny na povrchu,	žlutohnědá	stojaté, tekoucí vody, hojně v jarním planktonu
Chromophyta	Bacillariophyceae		v okolí sopky puy de Dôme (Dillon, 2020), Nizozemsko (Overeem, 1937)	kokální	křemičitá dvoudílná schránka, počet a tvar chloroplastů odlišný (Pouličková et al., 2015)	žlutá, zelená, olivově zelená, hnědá	plankton, bentos stojatých nebo tekoucích vod



Obr.4: Vybraní zástupci řas dešťových vod z literární rešerše (zdroj fotografií Algaebase.org, ccap.ac.uk, ccala.butbn.cas.cz)

3 Metodika

3.1 Pomůcky, determinační literatura

Odběr:

- planktonní síť s velikostí ok 20 µm
- odběrové nádoby 50 ml

Laboratorní práci:

- základní vybavení algologické laboratoře
 - o podložní a krycí skla, pipeta, kádinka
- binokulární optický mikroskop Olympus BX51

Determinační literatura:

Kaštovský, J., Hauer, T., Geriš, R., Chattová, B., Juráň, J., Lepšová-Skácelová, O., Pitelková, P., Puzstai, M., Škaloud, P., Šťastný, J., Čapková, K., Bohunická, M., & Mühlsteinová, R. (2018). *Atlas sinic a řas České republiky 2*. powerprint, Praha.

Kaštovský, J., Hauer, T., Geriš, R., Chattová, B., Juráň, J., Lepšová-Skácelová, O., Pitelková, P., Puzstai, M., Škaloud, P., Šťastný, J., Čapková, K., Bohunická, M., & Mühlsteinová, R. (2018). *Atlas sinic a řas České republiky 1*. powerprint, Praha.

3.2 Odběr vzorků

V rámci prvotního screeningu bylo odebráno 11 vzorků (Tab. 5). Odběry se uskutečnily na podzim v průběhu měsíce října a listopadu roku 2021 a na jaře od dubna do května roku 2022. Pět vzorků bylo odebráno na podzim, pět vzorků na jaře a jeden vzorek byl přímo stěrem z filtru z nekryté průsvitné nádrže o objemu 1000 l. Devět vzorků dešťové vody bylo odebráno před filtrací z nadzemních nádrží, jeden vzorek dešťové vody byl odebrán z podzemní nádrže po filtraci, která má objem 13 000 litrů. Byly vybrány nádrže, které shromažďují dešťovou vodu z různých typů střech – plech, beton, balkon a pálené tašky, které jsou průsvitné či neprůsvitné a rozdílného objemu a zakryté či nezakryté. Důležité bylo odebrat vzorky před velkým deštěm, kdy by po něm mohlo dojít k přetečení nádrže, a tím i k vyplavení mikroorganismů. Vzorky byly odebrány pomocí nádoby, když byl znatelný povlak na hladině. Pokud se voda jevila na první pohled průhledná a čistá,

byla použita planktonní síť, kterou byl proceděn celý vodní sloupec v nádrži, aby bylo zachyceno co nejvíce materiálu. Následně byly vzorky ponechány v otevřených nádobkách a ve stejné teplotě jako se nacházely dosud, aby nedošlo k úmrtí a rozkladu organismů (tzn. nejlépe venku) kvůli následné determinaci.

Tab. 5: Seznam vzorků dešťových vod odebraných od 28.10.2021 do 20.5.2022

období	odběr	místo	datum	typ nádrže	průsvitnost	objem	typ střechy	planktonní síť
podzim	1	Vyškovec	28.10.2021	nekrytá	ano	1000 l	balkon	ano
	2	Vyškovec	04.11.2021	nekrytá	ano	1000 l	balkon	ano
	3	Svinary	18.11.2021	krytá	ne	200 l	pálené tašky	ne
	4	Svinary	18.11.2021	nekrytá	ne	100 l	plech	ne
	5	Horka u Chrudimi	18.11.2021	nekrytá	ne	200 l	beton	ne
jaro	6	Hradec Králové	01.04.2022	nekrytá	ne	100 l	pálené tašky	ano
	7	Vyškovec	01.04.2022	nekrytá	ano	1000 l	balkon	ano
	8	Horka u Chrudimi	25.04.2022	nekrytá	ano	200 l	pálené tašky	ano
	9	Nechanice	04.05.2022	nekrytá	ne	50 l	plech	ano
	10	Vyškovec	20.05.2022	podzemní	ne	13 000 l	plech	ano
	11	Vyškovec	29.04.2022			1000 l	filtr	

3.3 Laboratorní práce

Odebrané živé vzorky byly dopraveny do laboratoře a byly zpracovány po 48 hodinách. Byly připraveny vzorky pro pozorování pod mikroskopem Olympus BX51. Nejprve byl preparát pozorován pod zvětšením 40x a později pro lepší viditelnost jednotlivých struktur potřebných k determinaci byl pozorován pod zvětšením 400x.

3.4 Determinace taxonů

K determinování jednotlivých zástupců, kteří byli nalezeni ve vzorcích dešťové vody, a k určení taxonomického zařazení byla použita odborná literatura, která je uvedena v kapitole 3.1.1 Pomůcky. Dále jsem využila k determinaci **vlastní tabulky (Tab. 3 a 4)** z literární rešerše.

4 Výsledky

4.1. Nalezené sinice a řasy v dešťových vodách

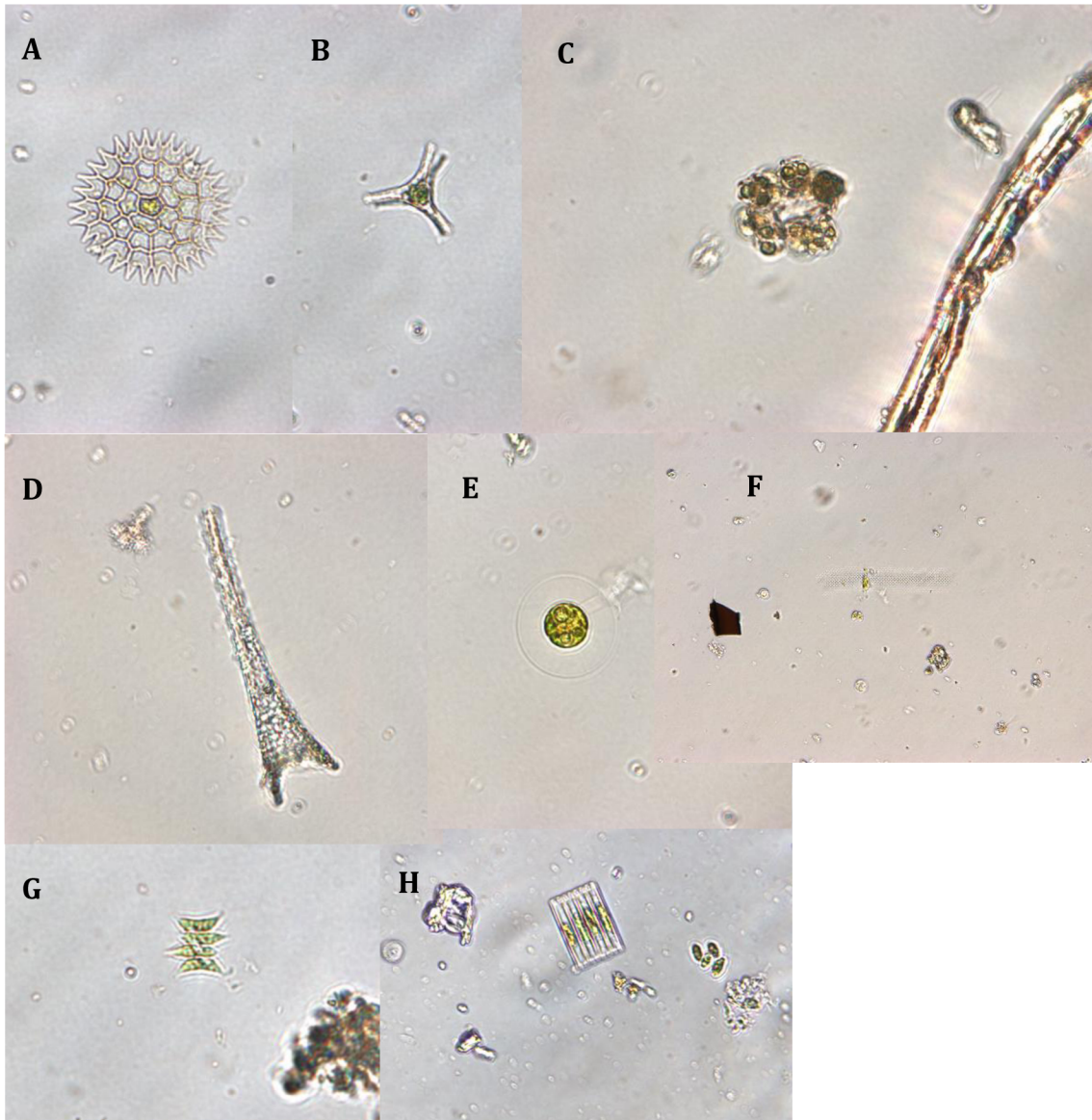
V 11 vzorcích, deset z dešťových vod a 1 z filtru, bylo nalezeno 22 autotrofních zástupců (Tab. 6), z nichž byli někteří ve špatném fyziologickém stavu nebo ve formě úlomků. Nejvíce zástupců (10) bylo nalezeno ve vzorku č. 1, který odpovídá odběru z data 28.10.2021 ve Vyškovci z otevřené průsvitné nádrže, kde byla voda zachycena z balkonu. Naopak nejméně zástupců se nacházelo ve vzorku č. 5. Vzorek č. 5 byl odebrán 17.11.2021 ve vesnici Horka z otevřené průsvitné nádrže, která shromažďuje dešťovou vodu z betonové střechy. Vzorek č. 11 byl stěrem z filtru, kde dominovalo mycelium vláknitých mikroskopických hub **Mikromycet** a jediným přítomným fotosyntetizujícím rodem byl *Haematococcus*.

Ve všech vzorcích před filtrací (Tab. 6) byly vždy nalezeny zelené řasy, které tvořily hlavní procento oživení dešťových vod. Jednalo se především o zelenou řasu z řádu **Chlamydomonales** druhu *Haematococcus pluvialis*, který byl přítomen jak v pohyblivé životní fázi, tak ve fázi cysty (Obr. 6E), která byla zbarvena do červena díky karotenoidům. Dalším hojně se vyskytujícím řádem byl řád **Chlorococcales**, u kterých je pro detailnější určování nutná kultivace. Druhým nejčastěji vyskytujícím se oddělením byla **Chromophyta**, a to třída **Bacillariophyceae**, která je mezi vzorky zastoupena hned čtyřmi rody (*Navicula*, *Nitzschia*, *Pinnularia*, *Fragilaria*), a třída **Xanthophyceae**. Jen v jednom jediném vzorku byl nalezen rod *Euglena sp.* Ve vzorku č. 1 se vyskytla schránka zástupce oddělení **Dinophyta** rodu *Ceratium sp.* Dále se ve vzorcích vyskytovaly sinice řádu **Oscillatoriales** a řasy z oddělení **Streptophyta**.

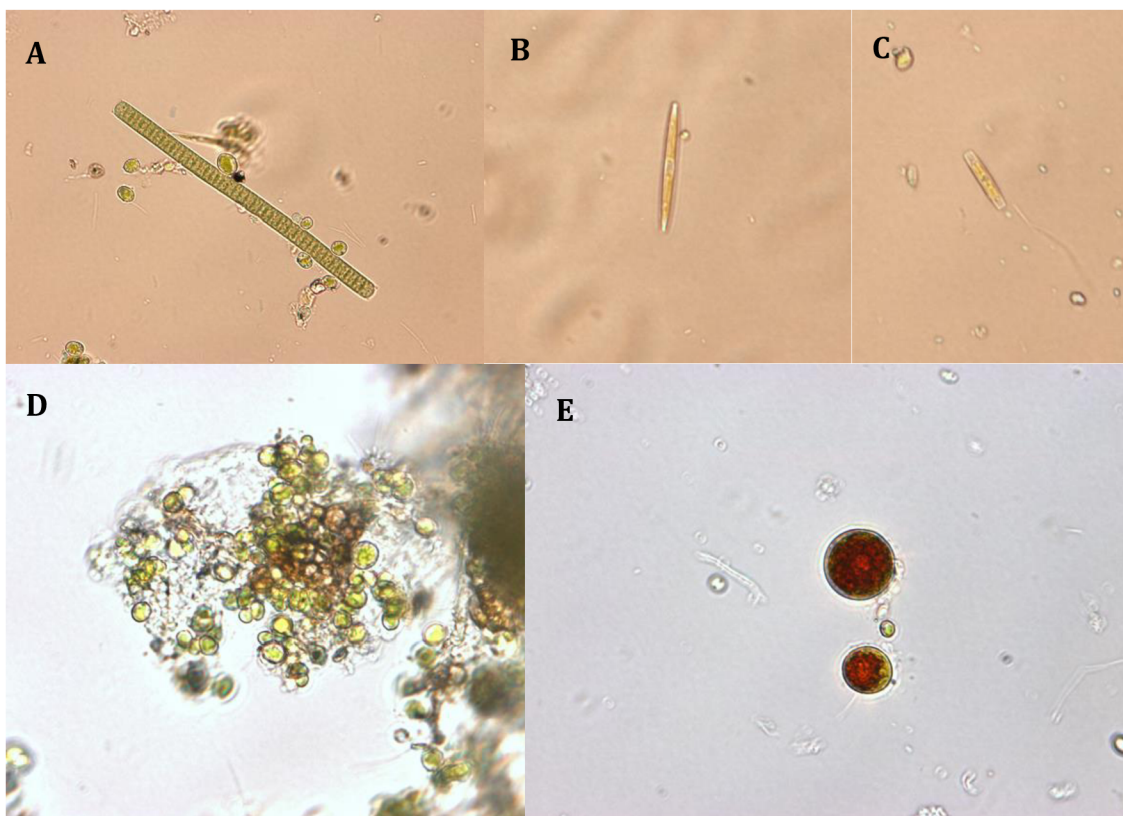
Tab. 6: Pozorované organismy ve vzorcích odebrané dešťové vody

skupina/oddělení/ třída	zástupce / číslo odběru *	podzim					jaro					filtr	obr. č.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Cyanobacteria	<i>Oscillatoriales</i>									x			13A,C
	<i>Oscillatoria sp.</i>		x										6A
Euglenophyta	<i>Euglena sp.</i>				x								8B
Dinophyta	<i>Ceratium sp.</i> - úlomek	x											5D
Chromophyta/ Bacillariophyceae	<i>Fragilaria sp.</i>	x											5H
	<i>Navicula sp.</i>		x				x	x					10C
	<i>Nitzschia sp.</i>							x					11B
	<i>Pinnularia sp.</i>		x										6C
Chromophyta/ Xantophyceae	<i>Tribonema aequale</i>				x								8A
	<i>Tribonema sp.</i> - v rozkladu						x	x					10B
	<i>Xantonema sp.</i>								x				12B
Chlorophyta/ Chlorophyceae	<i>Eudorina sp.</i>								x				12A
	<i>Haematococcus pluvialis</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	11A
	<i>Chlorococcales sensu lato</i>	x	x	x	x	x	x	x					6D
	<i>Oocystis sp.</i>	x											
	<i>Pandorina sp.</i>								x				12D
	<i>Pediastrum spp.</i>	x											5A
	<i>Desmodesmus sp.</i>	x		x	x								5G
Streptophyta	<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>	x											5C
	<i>Staurastrum spp.</i>	x											5B
	<i>Closterium sp.</i>	x											
Fungi	<i>Klebsormidium nitens</i>						x			x			13B
	micromycety									x	x		14A
heterotrofní org.										x			
celkem autotrofních zástupců												22	

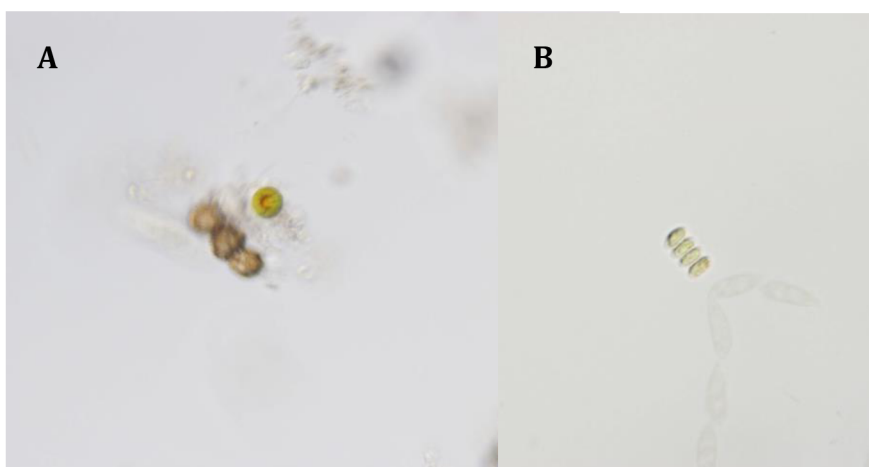
* Vzorek č. 1–5 je z podzimního odběru, č. 6–10 je z jarního odběru (viz. Tab. 5), č. 11 je stěr z filtru



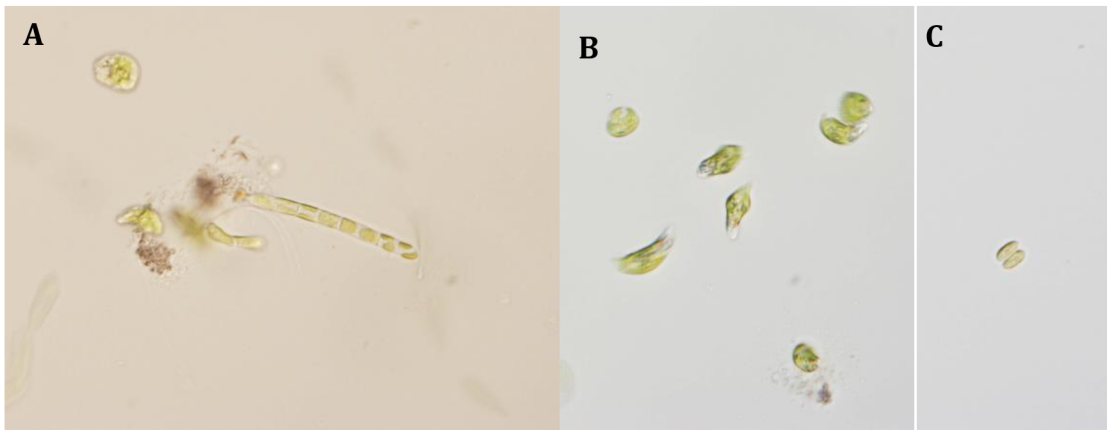
Obr. 5: Vzorek č. 1 – Vyškovec 28. 10. 21 (balkon): A – *Pedastrum* sp., B – *Staurastrum* sp., C – *Planktosphaeria gelatinosa*, D – *Ceratium* sp., E – *Haematococcus pluvialis*, F – *Chlorococcales sensu lato*, G – *Desmodesmus* sp., H – *Fragilaria* sp.



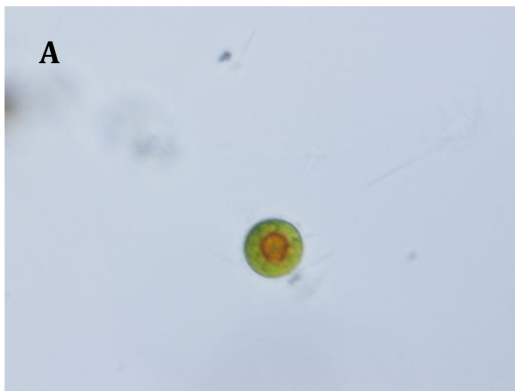
Obr. 6: Vzorek č. 2 – Vyškovec 4. 11. 21 (balkon): A – *Oscillatoria* sp., B – *Navicula* sp., C – *Pinnularia* sp., D – *Chlorococcales sensu lato*, E – *Haematococcus pluvialis*



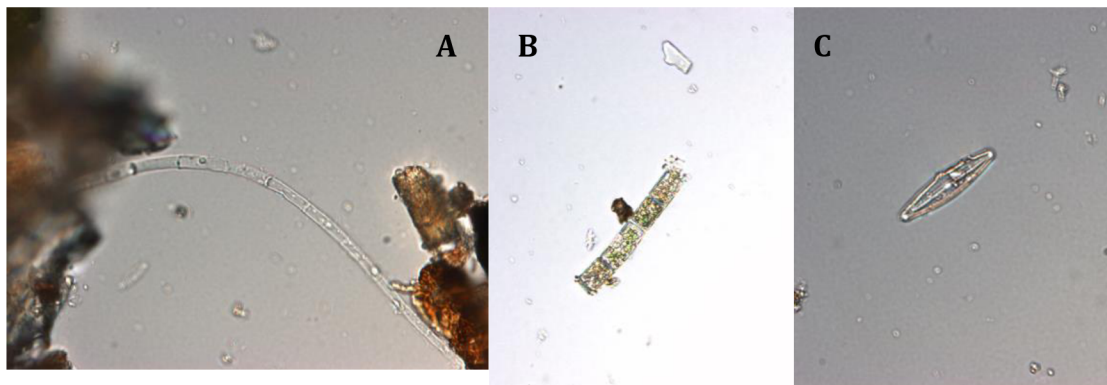
Obr.7: Vzorek č. 3 – Svinary 18. 11. 21 (pálené tašky): A – *Haematococcus pluvialis*, B – *Desmodesmus* sp.



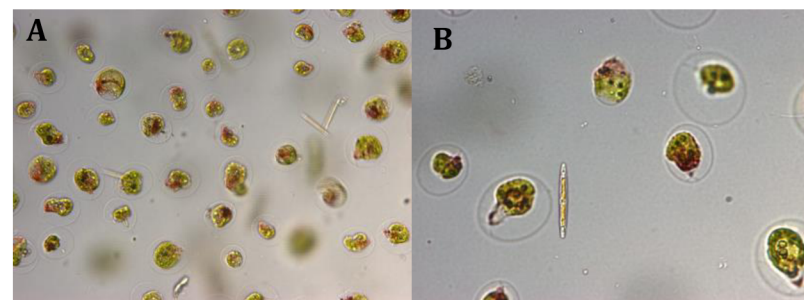
Obr. 8: Vzorek č. 4 – Svinary 18. 11. 21 (plech): A – *Tribonema aequale*, B – *Euglena* sp., C – *Desmodesmus* sp.



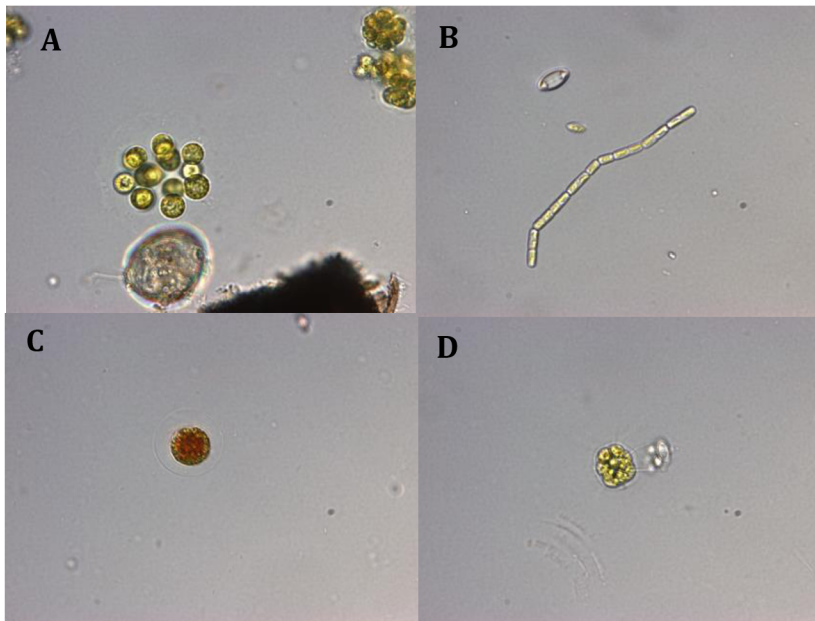
Obr. 9: Vzorek č. 5 – Horka 18. 11. 21 (beton): A – *Haematococcus pluvialis*



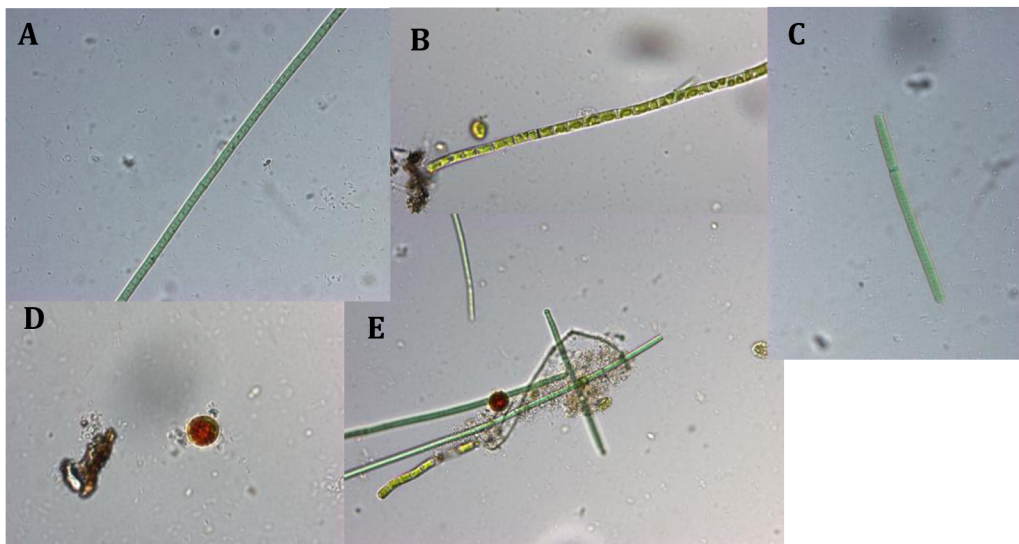
Obr. 10: Vzorek č. 6 – Hradec Králové 1. 4. 22 (pálené tašky): A – *Klebsormidium nitens*, B – *Tribonema* sp., C – *Navicula* sp.



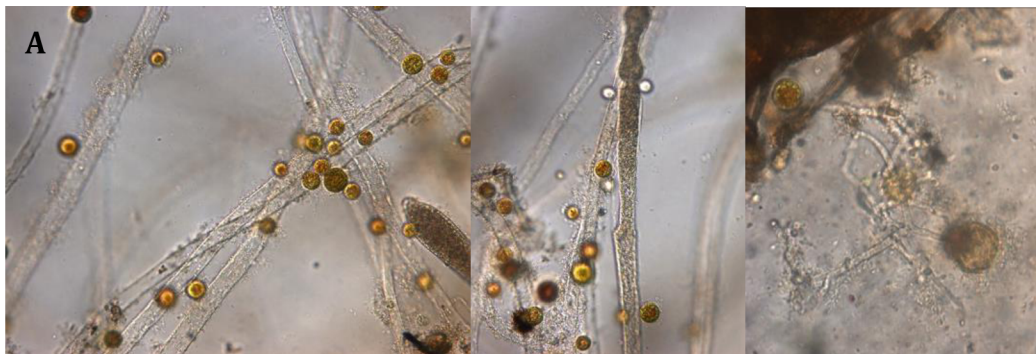
Obr. 11: Vzorek č. 7 – Vyškovec 1. 4. 22 (balkon): A – *Haematococcus pluvialis*, B – *Nitzschia* sp.



Obr. 12: Vzorek č. 8 – Horka 25. 4. 22 (pálené tašky): A – *Eudorina* sp., B – *Xanthonema* sp., C – *Haematococcus pluvialis*, D – *Pandorina* sp.



Obr. 13: Vzorek č. 9 – Nechanice 4. 5. 22 (plech): A – Oscillatoriales, B – *Klebsormidium nitens*, C – Oscillatoriales, D – *Haematococcus pluvialis*, E – Oscillatoriales, *Klebsormidium nitens*, *Haematococcus pluvialis*



Obr. 14: Filtr – Vyškovec 29. 4. 22: A – *Haematococcus pluvialis*, mikromycety

4.2 Porovnání vzorků z hlediska typů střech

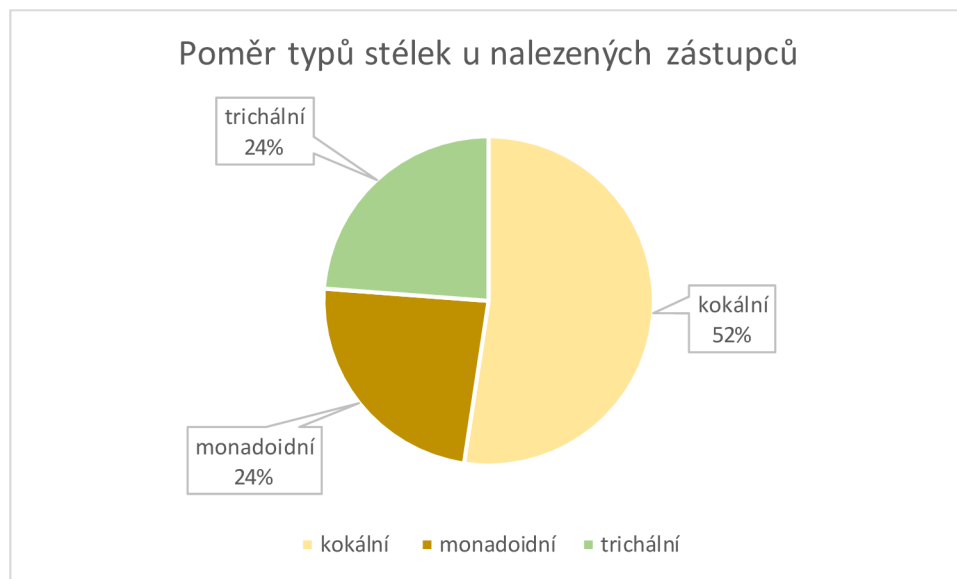
Dle prvního prescreeningu se jeví druhové složení typu balkon (vzorek č. 1,2,7) jako nejbohatší (14 zástupců). Srovnání je založeno na třech vzorcích. Naopak druhové složení z betonové střechy (vzorek č. 5) je nejchudší na sinice a řasy, ale toto pozorování bylo vyhodnoceno pouze z jednoho vzorku. Vzorek z betonové střechy v porovnání s jedním vzorkem z balkonu z podzimního odběru je druhově chudší.

Ve vzorcích z balkonové střechy (1,2,7) dominovali zástupci oddělení Chlorophyta ze třídy Chlorophyceae. Dešťová voda z betonové střechy (vzorek č. 5) obsahovala pouze jeden fotosyntetizující druh *Haematococcus pluvialis*. Tento druh se vyskytoval ve vzorcích ze všech typů střech. Nádrž pod betonovou střechou obsahovala převážně heterotrofní organismy. Vzorkům z pálených tašek dominovali zástupci třídy Bacillariophyceae a Chlorophyceae. Plechová střecha obsahovala zástupce napříč oddělení Cyanophyta, Euglenophyta, Chromophyta, Chlorophyta i Streptophyta

4.3 Porovnání druhů z hlediska typu stélky

Stélky byly porovnány ve výsledcích, protože Dillon et al. (2020) zmiňuje kokální typy stélek jako potenciální kondenzační jádra v mracích. Proto jsem se zaměřila na jejich procentuální výskyt. U determinovaných zástupců ve vzorcích převažovala kokální stélka, která je charakteristická u více než 50 % nalezených zástupců (Graf 1). Dalšími přítomnými typy stélek byly monadoidní a trichální, které byly zastoupeny ve stejném poměru (Tab. 7)

Graf 1: Poměr typů stélek u nalezených zástupců



Tab. 7: Zástupci seřazeni podle typů stélek doplnění o morfologické charakteristiky (algaebase.org, Kaštovský et al. 2018)

typ stélky	oddělení	třída	řád	druh/rod	charakteristický determinační znak	ekologie	obr. č.	
kokální	Chromophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	<i>Pinnularia sp.</i>	strie umístěny v komorových liniích, 2 chloroplasty nebo 1 chloroplast ve tvaru H	půda, bentos	6C	
			Bacillariales	<i>Nitzschia sp.</i>	lineární až sigmoidní schránky, variabilní konce, strie variabilní, některý rod výrazně ztenčený	organicky znečištěné vody (bentos i plankton)	11B	
			Fragilariales	<i>Fragilaria sp.</i>	valvy rovné až lanceolátní, středové sternum, tvoří pásovité kolonie	plankton a bentos	5H	
			Naviculales	<i>Navicula sp.</i>	2 chloroplasty, eliptický tvar buňky, variabilní konce buněk, lineolátní areoly	bentos se širokou ekologickou valencí	10C	
	Chlorophyta	Chlorophyceae	Chlorococcales sensu lato			mikroskopické kokální řasy, těžko určitelné		6D
			Sphaeropleales	<i>Pediastrum spp.</i>	8-64 buněk, perforace cenobia, okrajové buňky se 2 výběžky	plankton, perifyton stojatých vod	5A	
			Sphaeropleales	<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>	kulovité buňky ve slizu, chloroplast nejdříve jeden, později více chloroplastů s pyrenoídem	plankton mezotrofních stojatých vod	5C	
			Sphaeropleales	<i>Desmodesmus sp.</i>	na BS žebra, ostny, bradavičky; cenobium 4-16 buněk, lineární	plankton eutrofních vod	5G	
	Streptophyta	Zygnemophyceae	Chlorellales	<i>Oocystis sp.</i>	jeden až mnoho chloroplastů, pyrenoid ano i ne, autospory uvolněny protřezním BS	plankton eutrofních stojatých vod		
			Desmidiales	<i>Staurastrum spp.</i>	jednotlivé buňky se sinem, půlbuňky víceúhelníkové, dlouhá ramena - ostny, 1 hvězdicovitý chloroplast + 1 pyrenoid v každé půlbuňce	plankton, tychoplankton, bentos	5B	
		Desmidiales	<i>Closterium sp.</i>	vřetenovité buňky, chloroplasty pohybující se Brownovým pohybem, opasky	plankton a bentos eutrofních vod			
monadoidní	Euglenophyta	Euglenoidea	Euglenales	<i>Euglena sp.</i>	chloroplast s pyrenoídem, pelikula na povrchu, stigma, bičík	eutrofní stojaté vody	8B	
	Dinophyta	Dinophyceae	Gonyaulacales	<i>Ceratium sp.</i>	epithéka vybíhá do 1 rohu, hypothéka vybíhá do 3 rohů, početné chloroplasty, tlačný a stabilizační bičík	oligo- až eutrofní nádrže	5D	
	Chlorophyta	Chlorophyceae	Chlamydomonadales	<i>Eudorina sp.</i>	elipsoidní cenobium, 16 nebo 32 buněk, buňky od sebe oddáleny, mezi buňkami sliz	plankton stojatých vod	12A	
	Chlorophyta	Chlorophyceae	Chlamydomonadales	<i>Haematococcus pluvialis</i>	masivní BS, 2 bičíky, chloroplast s několika pyrenoidy	stojaté vody, kamenné/betónové nádrže	11A	
	Chlorophyta	Chlorophyceae	Chlamydomonadales	<i>Pandorina sp.</i>	elipsoidní cenobium, 16 kulovitých nahloučených buněk, objemný chloroplast	plankton mezo- až eutrofních stojatých vod	12D	
trichální	Cyanophyta		Oscillatoriales	<i>Oscillatoria sp.</i>	dlouhé rovné vlákno, tenké nebo žádné pochvy, koncové buňky zaoblené se ztlustlou BS	půdní, bentos stojatých vod	6A	
	Chromophyta	Xanthophyceae	Tribonematales	<i>Tribonema sp.</i>	jednoduchá vlákna, přisedlá k substrátu diferencovanou buňkou se stopkou, zaškrčení na přepážce, 1 nebo 2-4 chloroplastů	perifyton a bentos stojatých vod, vlhká půda	10B	
	Chromophyta	Xanthophyceae	Tribonematales	<i>Tribonema aequale</i>	(viz <i>Tribonema sp.</i>), dlouhá rovná vlákna, nezaškrčené buňky, buňky 2,5 - 3x delší než široké, šířka = 5-7 μm, 2 chloroplasty	perifyton a bentos stojatých vod	8A	
	Chromophyta	Xanthophyceae	Tribonematales	<i>Xantonema sp.</i>	jednoduchá vlákna, rozpadavá, 1 až několik chloroplastů	půda, kaluže, perifyton a bentos stojatých vod	12B	
	Streptophyta	Klebsormiophyceae	Klebsormidiales	<i>Klebsormidium nitens</i>	nevětvená vlákna, uchycená/neuchycená k podkladu, na buněčných přepážkách H-kusy, nástěnný chloroplast + 1-2 pyrenoidy, 2bičíkaté zoospory	stojaté vody, aerofytické prostředí, terestrické prostředí	13B	

4.4 Vzorek retenční podzemní nádrže po filtraci prvotních nečistot

Po filtraci byl odebrán pouze jeden vzorek č. 10 (Tab. 6), který neobsahoval žádného autotrofního zástupce. Nacházeli se zde pouze heterotrofní organismy a mycelium mikromycet.

5 Diskuse

Austrálie byla jednou z prvních zemí, která začala aktivně řešit sucho pomocí využívání užitkové vody. Již v roce 2009 vydala propracované metodické pokyny. Českou republiku v roce 2018 postihlo velké sucho, ale až v roce 2022 se podařilo začlenit užitkovou vodu do legislativy. To je hlavním krokem k tomu využívat užitkovou vodu ve veřejných budovách na provozní potřeby.

K výskytu autotrofních organismů jsem dohledala pouze tři práce, což značí, že je problematika málo prostudovaná. Obecně lze říct, že oba nejaktuálnější výzkumy z roku 2020 a 2022 se zaměřují na oživení dešťové vody, která je přímo zachycována při pádu z atmosféry. Lze ji tedy nazvat přímo atmosférickou vodou podle australských metodických pokynů (kap. 2.2.2).

Nejčastěji vyskytujícím se oddělením bylo odd. Chlorophyta, konkrétně řád Chlorococcales, což jsou malé kokální řasy, u kterých je k determinaci potřeba kultivace. Kultivace však nebyla součástí mé praktické části, protože nám šlo pouze o jejich přítomnost z hlediska velikosti, která hraje významnou roli při výrobě kvalitního filtru, který by měl eliminovat i takto malé organismy. Na střeše, v okapech či před vstupem do nádrže jsou aplikovány pouze filtry na makroskopické znečištění, tzn. listy, větvičky, mech atd. Filtry v nádrži na mikroorganismy jsou jakýsi nadstandard. Dále se v nádrži vyskytoval zbytek schránky zástupce z oddělení Dinophyta, což mohlo být způsobeno vnosem z planktonní sítě při odběru vzorku. Stejně jako Dillon et al. (2020) jsem našla ve vzorcích zástupce třídy Bacillariophyceae, ale tito zástupci jsou pouze jedinou shodou. *Oocystis sp.* jsem zaznamenala stejně jako Wiśniewska et al. 2022. Tato malá shoda s předešlými výzkumy je pravděpodobně zapříčiněna tím, že se moje práce zaměřila na vodu, kterou zachytáváme ze střech, kde dochází ke splachu, a toto prostředí rozhodně není sterilní. Určité čištění takové střešní dešťové vody mají zajišťovat dodatečné filtry v okapech a nádržích (P. Vacek, 2019), které mají eliminovat skupinu organismů a nečistot s jasně danou velikostí. Ve svých vzorcích zachycených před filtrací jsem nacházela organismy různých velikostí od vláken sinic/řas po kokální řasy.

Nádrž z balkonu, která byla nejbohatší na sinice a řasy, je stará 4 roky a doposud nebyla vypuštěna. Tento fakt může být důvodem, proč se zde nacházelo nejvíce druhů. Nádrž pod betonovou střechou se prokázala jako nejchudší na druhovou diverzitu, avšak voda byla odebrána pouze jednou, proto je nutné ověřit skutečnost více odběry.

Dillon et al. (2020) tvrdí, že druhy s kokální stélkou mohou tvořit kondenzační jádra pro dešťové kapky. V mém výzkumu má 50 % nalezených druhů kokální stélku, a k tomu ještě dalších 24 % stélku monadoidní, která se ve svém klidovém stadiu stává kokální. Příkladem může být rod *Haematococcus*, který se ve formě cysty šíří vzduchem. Vzhledem k tomu, že je ve většině mých vzorků zastoupen řád Chlorococcales, který se svou malou velikostí a lehkostí může odpařovat společně s vodní parou, může být taktéž jednoduše součástí mraků a následně pršet společně s dešťovými kapkami. Tito malí zástupci snadno cirkulují mezi zemí a atmosférou.

Sinice a řasy v dešťových vodách byly do druhé dekády 21.stol. primárně studovány v souvislosti se znečištěním vzduchu a atmosféry. Požadavek využití dešťové vody jako užitkové v domácnostech a veřejných budovách tuto situaci ale mění. Důkazem znečištění ovzduší je výzkum Wiśniewska et al. (2022), který se zabývá výzkumu aerosoly, kde se vyskytují sinice a řasy, které mohou být potenciálně toxické a škodlivé pro zdraví lidí. Během mého pozorování jsem narazila na rody, které mohou být taktéž součástí aerosolu neboli aerofytické řasy. Druhem aerofytickým, který jsem našla ve svých vzorcích, je *Klebsormidium nitens*.

Důkazem, že je nutné studovat oživení dešťových vod přitékajících ze střech, je moje práce, protože jsem identifikovala 22 autotrofních zástupců, kteří by mohli potenciálně prostřednictvím aerosolů vytvářet riziko pro lidské zdraví (splachování, zalévání). Ideální by bylo, kdyby byly instalovány filtry, které by vodu ze střech filtrovaly již před vstupem do akumulární nádrže, aby se tak zamezilo následnému vývoji těchto organismů. Dle mého názoru by se ušetřil čas i náklady spojené s dalším dočištěváním.

Závěr

Tato bakalářská práce shrnuje legislativu, která se týká definic užitkové vody. V roce 2022 je v ČR běžně využívána v rodinných domech, ale stále chybí legislativa pro veřejné budovy. Nejvíce propracované metodické pokyny z hlediska definic mikrobiologických i chemických má Austrálie, která je vydala v roce 2009 s názvem „National guidelines for water recycling: managing health and environmental risks“. Německo bylo jednou z prvních zemí Evropy využívající užitkovou vodu podle svých Německých národních norem z roku 1989. V USA je od roku 2012 vydán dokument, který shrnuje podmínky pro recyklaci a sběr DV a jmenuje se „Guidelines for water reuse“. České republice se již podařilo zakomponovat užitkovou vodu do legislativy. Respektive v únoru roku 2022 byla užitková voda definována ve verzi č. 61 zákona č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví: „Užitkovou vodou se rozumí srážková nebo šedá voda, která je upravena a hygienicky zabezpečena“. Do roku 2023 je očekávána vyhláška s parametry pro hygienické zabezpečení užitkové vody pro její následné využití ve veřejných budovách.

Zaléváme a splachujeme pitnou vodou, což je třetina spotřeby pitné vody, kterou lze pokrýt dešťovou vodou. V tomto případě bude nutné splňovat hygienické požadavky pro veřejné budovy. Výzkumy dešťových vod prokázaly sinice rodů např.: *Lyngbya*, *Synechococcus*, *Pseudanabaena*; řasy např. rodů *Trebouxia*, *Chlorella*, *Haematococcus*, a také třídy Bacillariophyceae. Po boku sinic a řas ve vodě ze splachu jsou problematické fekální bakterie a prvoci.

V 10 vzorcích dešťové vody bylo pozorováno celkem 22 zástupců sinic a řas. Nejvíce zástupců bylo nalezeno ve vzorku z nádrže pod balkonovou střechou, nejméně zástupců v nádrži pod betonovou střechou. Dominovaly zelené řasy řádu Chlorococcales. Ve většině vzorcích se nacházel rod *Haematococcus sp.* Dále se v DV nacházeli zástupci sinic z řádu Oscillatoriales, řasy rodu *Euglena sp.*, zástupci třídy Bacillariophyceae a Xanthophyceae. Z oddělení Chlorophyta to byly rody *Eudorina sp.*, *Pandorina sp.*, *Oocystis sp.*, *Pediastrum sp.*, *Desmodesmus sp.* Z oddělení Streptophyta to byly rody *Staurastrum spp.*, *Klebsormidium nitens*. Nejčastěji zastoupená byla kokální stélka zástupců (50 %). Stěr z filtru byl charakteristický přítomností mikromycet. V podzemní nádrži po filtraci nebyly nalezeny žádné autotrofní organismy, ale pouze mikromycety a heterotrofní mikroorganismy.

Literatura

1. Ahmed, W., Goonetilleke, A., & Gardner, T. (2010). Implications of faecal indicator bacteria for the microbiological assessment of roof-harvested rainwater quality in Southeast Queensland, Australia. *Canadian Journal of Microbiology*, 56(6), 471-479.
2. Ahmed, W., Richardson, K., Sidhu, J. P., & Toze, S. (2012). *Escherichia coli* and *Enterococcus spp.* in rainwater tank samples: comparison of culture-based methods and 23S rRNA gene quantitative PCR assays. *Environmental science & technology*, 46(20), 11370-11376.
3. Bartáček, J., Dolejš, P., Kabelková, I., Matějů, L., Stránský, D., & Šátková, B. (2021). Studie problematiky recyklace šedých vod v sídlech ČR. In (pp. 103).
4. The British Standards Institution. (2022). <https://www.bsigroup.com/cs-CZ/Normy/Informace-o-normach/Co-to-je-norma/>
5. Dillon, K. P., Correa, F., Judon, C., Sancelme, M., Fennell, D. E., Delort, A.-M., & Amato, P. (2020). Cyanobacteria and algae in clouds and rain in the area of puy de Dôme, Central France. *Applied and Environmental Microbiology*, 87(1), e01850-01820.
6. DIN, D. I. f. N. e. V. (1988). *Drinking Water Supply Systems*. Berlin
7. Duras, J. (2021). Omezení růstu řas a sinic 2 [prezentace].
8. Evans, C., Coombes, P. J., & Dunstan, R. (2006). Wind, rain and bacteria: The effect of weather on the microbial composition of roof-harvested rainwater. *Water research*, 40(1), 37-44.
9. Göbel, P., Dierkes, C., & Coldewey, W. (2007). Storm water runoff concentration matrix for urban areas. *Journal of contaminant hydrology*, 91(1-2), 26-42.
10. Guiry, M. D. (2022). *Haematococcus pluvialis* Flotoe 1844. National University of Ireland, Galway. https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=qfed195e5691114f4
11. Hamilton, K., Reyneke, B., Waso, M., Clements, T., Ndlovu, T., Khan, W., DiGiovanni, K., Rakestraw, E., Montalto, F., & Haas, C. N. (2019). A global review of the microbiological quality and potential health risks associated with roof-harvested rainwater tanks. *NPJ Clean Water*, 2(1), 1-18.
12. Hawaii State Department of Health
13. Wastewater Branch. (2002). Retrieved from <https://health.hawaii.gov/wastewater/files/2013/06/reuse-final.pdf>
14. He, J., & Balasubramanian, R. (2008). Rain-aerosol coupling in the tropical atmosphere of Southeast Asia: distribution and scavenging ratios of major ionic species. *Journal of atmospheric chemistry*, 60(3), 205-220.
15. Islam, M. A., Sakakibara, H., Karim, M. R., Sekine, M., & Mahmud, Z. H. (2011). Bacteriological assessment of drinking water supply options in coastal areas of Bangladesh. *Journal of water and health*, 9(2), 415-428.

16. Kaštovský, J., Hauer, T., Juráň, J., & Kubín, J. (2022). Třída Trebouxiophyceae. Přírodovědecká fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích <https://www.sinicearasy.cz/skripta/fykologie/chlorophyta/trebouxiophyceae>
17. Krutílek, O., & Frízlová, I. (2015-2022). Fáze legislativního procesu v EU. <https://www.euroskop.cz/8898/sekce/faze-legislativniho-procesu-v-eu/>
18. Lindner, G. (1899). Die Protozoen-Keime im Regenwasser https://www.zobodat.at/pdf/Biologisches-Centralblatt_19_0421-0432.pdf
19. Natural Resource Management Ministerial Council, t. E. P. a. H. C., and the National Health and Medical Research Council. (2009). Australian Guidelines for Water Recycling (National Water Quality Management Strategy, Document No. 23): Managing Health and Environmental Risks (phase 2) - Stormwater Harvesting and Reuse. Canberra: Biotext
20. NYC Environmental Protection. (2019). Retrieved from <https://www1.nyc.gov/assets/dep/downloads/pdf/water/drinking-water/onsite-water-reuse-guide.pdf>
21. Overeem, M. A. v. (1937). On green organisms occurring in the lower troposphere. *Recueil des travaux botaniques néerlandais*, 34(1), 388-442.
22. Penn, R., Hadari, M., & Friedler, E. (2012). Evaluation of the effects of greywater reuse on domestic wastewater quality and quantity. *Urban Water Journal*, 9(3), 137-148.
23. Perlík, M. (2019). Jak využít dešťovou a recyklovanou vodu v rodinném domě. <https://www.perlikprojekce.cz/2019/03/jak-vyuzit-destovou-a-recyklovanou-vodu-v-rodinnem-dome/>
24. Plachý, J. (2017). Tvorba právních předpisů ústředních orgánů státní správy [disertační práce, Masarykova univerzita]. Brno. https://is.muni.cz/th/rru21/J._Plachy_Disertacni_prace.pdf
26. Plotěný, K. (2018a). Srážkové vody a HDV. <https://www.youtube.com/watch?v=9OdHQ22f6bk>
27. Plotěný, K. (2018b). Srážkové vody a možnosti řešení jejich využití v malém i velkém + Pozvánka na jarní semináře. <https://www.youtube.com/watch?v=bR5s0giOe18&list=WL&index=4>
28. Rochat, E. (2020). The History of Rainwater Harvesting. <https://4perfectwater.com/blog/history-of-rainwater-harvesting>
29. Sazakli, E., Alexopoulos, A., & Leotsinidis, M. (2007). Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. *Water research*, 41(9), 2039-2047.
30. Schuetze, T. (2013). Rainwater harvesting and management–policy and regulations in Germany. *Water Science and Technology: Water Supply*, 13(2), 376-385.
31. Šebesta, K., & Procházka, J. (2010). Technické normy a jejich využívání v praxi. <https://www.epravo.cz/top/clanky/technicke-normy-a-jejich-vyuziti-v-praxi-67931.html>

32. Šín, Z. (2009). Tvorba práva. Pravidla, metodika, technika, 2. vydání. Nakladatelství CH Beck.
33. Škaloud, P. (2009). Species composition and diversity of aero-terrestrial algae and cyanobacteria of the Boreč Hill ventaroles. *Fottea*, 9(1), 65-80.
34. United States Environmental Protection Agency. (2012). Washington, D. C. Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/2012-guidelines-water-reuse.pdf>
35. Vacek, J. (2018). Webinář: Srážkové vody a možnosti řešení jejich využití v malém i velkém. <https://www.youtube.com/watch?v=VRNr-LGj61g&list=WL&index=6>
36. Vacek, J. (2019). Srážkové vody a jejich využití pro RD i veřejné stavby. <https://www.youtube.com/watch?v=yanQKUVLvPg>
37. Vacek, P. (2019). Využití dešťové vody - webinář. https://www.youtube.com/watch?v=7fcAXtq_hSk
38. Wiśniewska, K. A., Śliwińska-Wilczewska, S., & Lewandowska, A. U. (2022). Airborne microalgal and cyanobacterial diversity and composition during rain events in the southern Baltic Sea region. *Scientific reports*, 12(1), 1-9.
39. World Health Organisation. (2022a). <https://www.who.int/about/governance>
40. World Health Organisation. (2022b). <https://www.who.int/about>
41. World Health Organisation (2022). <https://www.who.int/about/who-we-are/history>
42. World Health Organisation. (2022c). <https://www.who.int/publications/who-guidelines>
43. World Health Organization regional office for Europe. (2020). <https://www.euro.who.int/en/countries/czechia/areas-of-work/biennial-plan-of-cooperation-2020-2021>
44. Žáková, K. (2014). Základy práva pro studenty právnických fakult. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí.

Obrázky:

Obr. 1: Myšlenková mapa základních pramenů práva (vlastní zpracování).....	3
Obr. 2: Výpočet velikosti nádrže na DV (TZB-energie.cz)	14
Obr. 3: Vybraní zástupci sinic dešťových vod z literární rešerše (zdroj fotografií Algaebase.org).....	18
Obr. 4: Vybraní zástupci řas dešťových vod z literární rešerše (zdroj fotografií Algaebase.org, ccap.ac.uk, ccala.butbn.cas.cz)	21
Obr. 5: Vzorek č. 1 – Vyškovec 28. 10. 21 (balkon): A – <i>Pediastrum</i> sp., B – <i>Staurastrum</i> sp., C – <i>Planktosphaeria gelatinosa</i> , D – <i>Ceratium</i> sp., E – <i>Haematococcus pluvialis</i> , F – <i>Chlorococcales sensu lato</i> , G – <i>Desmodesmus</i> sp., H – <i>Fragilaria</i> sp.....	26
Obr. 6: Vzorek č. 2 – Vyškovec 4. 11. 21 (balkon): A – <i>Oscillatoria</i> sp., B – <i>Navicula</i> sp., C – <i>Pinnularia</i> sp., D – <i>Chlorococcales sensu lato</i> , E – <i>Haematococcus pluvialis</i>	27
Obr. 7: Vzorek č. 3 – Svinary 18. 11. 21 (pálené tašky): A – <i>Haematococcus pluvialis</i> , B – <i>Desmodesmus</i> sp.	27
Obr. 8: Vzorek č. 4 – Svinary 18. 11. 21 (plech): A – <i>Tribonema aequale</i> , B – <i>Euglena</i> sp., C – <i>Desmodesmus</i> sp.....	28
Obr. 9: Vzorek č. 5 – Horka 18. 11. 21 (beton): A – <i>Haematococcus pluvialis</i>	28
Obr. 10: Vzorek č. 6 – Hradec Králové 1. 4. 22 (pálené tašky): A – <i>Klebsormidium nitens</i> , B – <i>Tribonema</i> sp., C – <i>Navicula</i> sp.	28
Obr. 11: Vzorek č. 7 – Vyškovec 1. 4. 22 (balkon): A – <i>Haematococcus pluvialis</i> , B – <i>Nitzschia</i> sp.....	28
Obr. 12: Vzorek č.8 – Horka 25. 4. 22 (pálené tašky): A – <i>Eudorina</i> sp., B – <i>Xanthonema</i> sp., C – <i>Haematococcus pluvialis</i> , D – <i>Pandorina</i> sp.....	29
Obr. 13: Vzorek č. 9 – Nechanice 4. 5. 22 (plech): A – <i>Oscillatoriales</i> , B – <i>Klebsormidium nitens</i> , C – <i>Oscillatoriales</i> , D – <i>Haematococcus pluvialis</i> , E – <i>Oscillatoriales</i> , <i>Klebsormidium nitens</i> , <i>Haematococcus pluvialis</i>	29
Obr. 14: Filtr – Vyškovec 29. 4. 22: A – <i>Haematococcus pluvialis</i> , mikromycety	29

Tabulky:

Tab. 1: Klasifikace vod na základě vybraných charakteristik z různých literárních zdrojů* (vlastní tabulka)	6
Tab. 2: Dělení dešťových vod (Natural Resource Management Ministerial Council, 2009).....	7
Tab. 3: Sinice v dešťových vodách z různých literárních zdrojů doplněné o morfologické charakteristiky (algaebase.org, Kaštovský et al. 2018) – vlastní tabulka	17
Tab. 4: Řasy v dešťových vodách z různých literárních zdrojů doplněné o morfologické charakteristiky (algaebase.org, Kaštovský et al. 2018) – vlastní tabulka	20
Tab. 5: Seznam vzorků dešťových vod odebraných od 28.10.2021 do 20.5.2022 ..	23
Tab. 6: Pozorované organismy ve vzorcích odebrané dešťové vody.....	25
Tab. 7: Zástupci seřazeni podle typů stélek doplněni o morfologické charakteristiky (algaebase.org, Kaštovský et al. 2018).....	32

Grafy:

Graf 1: Poměr typů stélek u nalezených zástupců.....	31
--	----