

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra ekologie a životního prostředí



Udržitelné hospodaření s vodou na Univerzitě
Palackého a dalších univerzitách

Petra Geislerová

Bakalářská práce

předložená

na Katedře ekologie a životního prostředí

Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků

na získání titulu Bc. v oboru

Ekologie a ochrana životního prostředí

Vedoucí práce: Rulík Martin, doc. RNDr. Ph.D.

Olomouc 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Doc. RNDr. Martina Rulíka Ph.D. s použitím citované literatury.

V Olomouci 2. srpna 2022

.....

Podpis

Geislerová P. 2022. Udržitelné hospodaření s vodou na Univerzitě Palackého a dalších univerzitách [bakalářská práce]. Olomouc: Katedra ekologie a životního prostředí PřF UP v Olomouci. 54 s. 0 příloh. česky.

Abstrakt

Voda je nejrozšířenější látkou na naší planetě a hraje zásadní roli, jak v životním prostředí, tak v lidském životě. Největší význam má voda sladká. Dříve byl vliv člověka na vodní zdroje lokálního charakteru a byl tak zanedbatelný. V současné době však klimatické změny, růst populace a urbanizace a také nadměrná a nevědomá spotřeba vody, vedou k ohrožení vodních zdrojů. Udržitelné využívání a ochrana vodních zdrojů jsou proto důležité pro současný rozvoj a existenci budoucích generací. Při hledání alternativních zdrojů byla zvláštní pozornost věnována především dešťové vodě a recyklaci šedé vody. Tyto alternativy mohou vést k úsporám 10-20 % z celkové spotřeby vody. Předložená bakalářská práce se zabývá zhodnocením hospodaření s vodou na Univerzitě Palackého a dalších univerzitách. Ze získaných dat, tedy fakturovaných ročních objemů vody jsme přepočítali a vyjádřili trend spotřeby vody, porovnali ho s ostatními univerzitami a přepočítali jsme spotřebu vody na osobu v rámci UP a porovnali jsme výsledky s Univerzitou Pardubice. Z výsledků je zřejmý pokles spotřeby vody u všech hodnocených subjektů a v porovnání s Univerzitou Pardubice má Univerzita Palackého až 2× vyšší spotřebu vody na osobu. Výsledky bakalářské práce poslouží jako vstupní materiál pro možné budoucí opatření k šetření s pitnou vodou.

Klíčová slova: alternativní zdroje, voda, audit, zhodnocení, urbanizace, recyklace

Geislerová P. 2022. Sustainable water use at the Palacký University and other universities [bakalářská práce]. Olomouc: The Department of Ecology & Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacký University of Olomouc. 54 pp. 0 Appendices. Czech.

Abstract

Water is one of the most abundant substance on our planet and has a vital role in the environment and human life. Fresh water is the most important. In the past, human influence on water resources was local and thus negligible. Nowadays, however, climate change, population growth and urbanisation, as well as excessive and unconscious water consumption, are leading to threats to water resources. Sustainable use and protection of water resources are therefore important for the present development and existence of future generations. In the search for alternative sources, particular attention has been focused on rainwater and grey water recycling. These alternatives can lead to savings of 10-20 % of total water consumption. The presented bachelor thesis deals with the evaluation of water management at Palacký University and other universities. From the collected data, i.e. invoiced annual water volumes, we recalculated and expressed the trend of water consumption decrease, compared it with other universities and recalculated the water consumption per person within UP and compared the results with the University of Pardubice. The results show a clear decrease in water consumption for all evaluated subjects and compared to the University of Pardubice, Palacký University has up to 2 times higher water consumption per person. The results of the bachelor thesis will serve as input data for possible future measures to save drinking water at Palacký University.

Keywords: alternative sources, audit, evaluation, recycling, urbanization, water

Obsah

Seznam obrázků	vii
Seznam tabulek	viii
Poděkování	ix
1. Úvod	1
2. Cíle práce	3
3. Vodní zdroje	4
4. Klimatické změny a jejich vliv na vodní zdroje	7
4.1 Dopady změny klimatu na kvalitu a množství vody	7
5. Urbanizace a její vliv na vodní zdroje a hydrologický cyklus	9
5.1 Nepropustné povrchy měnící hydrologický cyklus	10
5.2 Nepropustné povrchy snižující kvalitu vody	11
5.3 Nepropustné povrchy ovlivňující podzemní vody	11
5.4 Znečištění vody	12
5.5 Poškození vodních ekosystémů	13
5.6 Úniky vody	13
6. Spotřeba vody v budovách a domácnostech	15
7. Alternativní zdroje vody	19
7.1 Sběr dešťové vody	19
7.1.1 Charakteristika dešťové vody	19
7.1.2 Technické aspekty využívání dešťové vody	21
7.2 Recyklace šedé vody	24
7.2.2 Systémy recyklace šedých vod	25
8. Materiály a metody	30
9. Výsledky	31
10. Diskuse	37
11. Závěr	40
12. Seznam použité literatury	41

Seznam obrázků

Obr. 1 Rozložení zásob vody na Zemi (Shiklomanov, 2004).....	4
Obr. 2 Koloběh vody na Zemi (USGS, 2019).....	5
Obr. 3 Vývoj urbanizace ve světě a prognóza jejího dalšího vývoje (1950-2030) (Zvonková, 2020).....	9
Obr. 4 Změny vodního cyklu spojené s urbanizací (FISRWG,2019).....	11
Obr. 5 Graf procentuální ztráty vody distribuční sítí v zemích EU (SOVAK, 2021)....	14
Obr. 6 Spotřeba vody v domácnosti (SČVK, 2022).....	16
Obr. 7 Pyramida spotřeby vody dle důležitosti (WHO, 2013).....	16
Obr. 8 Graf spotřeby vody v Evropě podle typu použití (EurEua, 2017)	17
Obr. 9 Schéma systému zachycování dešťové vody (Sly's 2013)	21
Obr. 10 Schéma společného využití vyčištěných šedých a srážkových vod se společnou retenční nádrží (BS 8525–1, 2010)	28
Obr. 11 Zelená střecha kampusu ČZU (ČZU, 2019)	29
Obr. 12 Trend spotřeby vody na Univerzitě Palackého	31
Obr. 13 Pokles spotřeby vody (%) na jednotlivých univerzitách za sledované období	34

Seznam tabulek

Tabulka 1 Limitní hodnoty pro mikrobiologické indikátory použité při monitorování bílé vody (BS 8252-1, 2010).....	26
Tabulka 2 Spotřeba vody v období 2011-2020 na jednotlivých fakultách UP.....	32
Tabulka 3 Spotřeba vody na vybraných univerzitách.....	33
Tabulka 4 Spotřeba vody na osobu na fakultách UP za rok 2020	35
Tabulka 5 Univerzita Palackého: Spotřeba vody na osobu za období 2016-2021	35
Tabulka 6 Univerzita Pardubice: spotřeba vody na osobu za období 2016-2020	36

Poděkování

Ze srdce bych chtěla poděkovat všem, kteří mi pomohli k dokončení mé bakalářské práce, zejména pak Doc. RNDr. Martinu Rulíkovi Ph.D. za veškerý čas, který mi věnoval.

1. Úvod

Voda je nejrozšířenější látkou na naší planetě. Je dostupná všude, i když v různém množství, a hraje zásadní roli jak v životním prostředí, tak v lidském životě. Největší význam má však voda sladká, která byla odjakživa spotřebovávaná lidmi k celé řadě účelů. Dříve byl vliv člověka na vodní zdroje lokálního charakteru a byl tak zanedbatelný, že přirozené vlastnosti vodních zdrojů, tedy jejich obnova a čištění, umožnily udržení stavu relativní čistoty, kvality a množství po dlouhou dobu. Tato skutečnost vedla ke vzniku domněnky neměnnosti a nevyčerpatelnosti vodních zdrojů. V současné době se však svět potýká s vážnými environmentálními problémy, které jsou důsledkem klimatických změn, růstu populace a také urbanizace.

Početnost světové populace rychle stoupá a aktuálně se pohybuje kolem 7,5 miliard. V současné době žije ve městech asi 50 % světové populace a očekává se, že v roce 2050 se tato hodnota zvýší na 66 % (OSN, 2014). Zvýšená migrace obyvatelstva do měst však vyžaduje jejich rozšiřování, což způsobuje mimo jiné narušení přirozeného hydrologického cyklu. Nemalý význam pro stav vodních zdrojů má také nadměrná a nevědomá spotřeba vody, kdy je více než 50 % pitné vody v domácnostech využíváno k jiným činnostem než ke konzumaci. Podle některých prognóz by se poptávka po vodě měla do roku 2050 zvýšit přibližně o 55 %. (WWAP 2015). Udržitelné využívání a ochrana vodních zdrojů jsou proto důležité pro současný rozvoj a existenci budoucích generací.

Při hledání alternativních zdrojů byla zvláštní pozornost věnována především dešťové vodě. Dešťová voda sbíraná ze střech budov, se vyznačuje relativně nízkým znečištěním a nevyžaduje složitější procesy čištění. Kvalita vody je variabilní a rozhoduje o možnostech jejího využití. Dešťová voda je vhodná jak pro venkovní využívání (zalévání zeleně, mytí aut, čištění příjezdových cest atd.), tak i pro využití uvnitř budov. V domácnostech se vyčištěná dešťová voda používá především ke splachování toalet, praní prádla a k úklidovým pracím. Další možností, jak snížit spotřebu vody je využití šedé vody v budovách. Díky využívání systému recyklace šedé vody lze snížit zatížení čistíren odpadních vod a také náklady na zásobování pitnou vodou z vodovodu. Šedá voda je odpadní voda, a to především z koupelen (mytí, praní) a kuchyní. Koncentrace nečistot v šedých vodách závisí především na původu vody, životním stylu, sociálním a kulturním chování obyvatel, dostupností vody a její spotřebě (Jefferson et al. 2004).

Šedá voda se po procesech čištění využívá dle charakteru například k zalévání zahrad, mytí aut či splachování toalet. Opětovné využívání šedé vody může vést k úsporám v rozsahu 10-20% celkové spotřeby vody ve městech (Gross et al. 2015).

Univerzita Palackého si uvědomuje svou odpovědnost vůči životnímu prostředí a společnosti, proto se snaží zaměřit na udržitelný rozvoj a šířit jeho principy mezi veřejnost a vést k environmentálně odpovědnému chování své studenty i zaměstnance. Univerzita Palackého se snaží pomocí vědy a výzkumu hledat nová řešení a uvádět do svého chodu opatření směřující k reakci na klimatickou krizi a přispívat k plnění Cílů udržitelného rozvoje (SDGs) stanovených OSN. Cílů udržitelného rozvoje je stanovených 17 a patří mezi ně právě i hospodaření s pitnou vodou (Udržitelná univerzita, 2022). Výsledky bakalářské práce by tudíž měly sloužit jako prvotní materiál pro posouzení spotřeby vody na Univerzitě Palackého a pro možné budoucí opatření k šetření s pitnou vodou.

2. Cíle práce

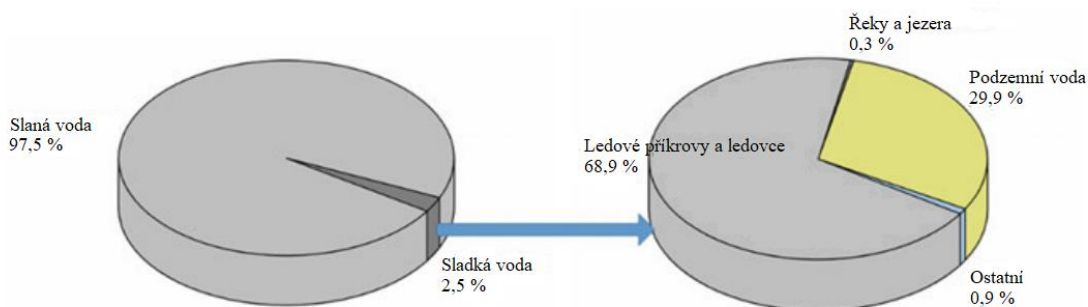
Bakalářská práce si klade tyto cíle:

1. Seznámit se s problematikou dostupnosti vodních zdrojů, urbanizace a jejího vlivu na vodní cyklus a zdroje.
2. Představit možné alternativní vodní zdroje v obytných budovách.
3. Ze získaných dat vyhodnotit spotřebu vody na Univerzitě Palackého a dalších univerzitách k nimž nám byla poskytnuta data.

3. Vodní zdroje

Voda je jednou z nejrozšířenějších látek v životním prostředí. Jedná se o přírodní zdroj, který je obzvláště důležitý, a to jak pro celé životní prostředí, tak pro člověka samotného. Největší význam má voda sladká. Voda se na planetě Zemi nachází ve třech skupenstvích, a to sice v pevném, kapalném a plynném. Voda je součástí oceánů, moří, řek i podzemních vod, které se nacházejí v svrchních vrstvách zemské kůry. V pevném skupenství se vyskytuje jako led a sněhová pokrývka v polárních a vysokohorských oblastech. Určité množství vody je obsaženo ve vzduchu jako vodní pára, vodní kapky a ledové krystalky. Obrovské množství vody je vázáno ve složení různých minerálů zemské kůry a jádra (Stec, 2020).

Vyhodnotit celkové zásoby vody je složité, jelikož voda dynamická a je v neustálém pohybu. Ustavičně mění své skupenství z kapalného do pevného nebo plynného fáze a zase zpět. Obvykle se odhaduje množství vody nacházející se v hydrosféře. To je veškerá volná voda existující v kapalném, pevném nebo plynném skupenství v atmosféře, na zemském povrchu a v zemské kůře až do hloubky 2000 metrů. Podle současných odhadů se v hydrosféře nachází obrovské množství vody, a to přibližně 1386 milionů km³. Z tohoto množství 97,5 % tvoří voda slaná a pouze 2,5 % je voda sladká. 68,7 % sladké vody je obsaženo ve formě ledu a trvalé sněhové pokrývky v Antarktidě, Arktidě a v horských oblastech. 29,9 % sladké vody se vyskytuje v podzemních vodách. Pouze 0,26 % sladkých vod se nachází v jezerech, nádržích a řekách, které jsou nejsnáze dostupné pro lidi a naše hospodářské potřeby (obr. 1) (Shiklomanov, 2004).



Obr. 1 Rozložení zásob vody na Zemi (Shiklomanov, 2004).

Podle vodohospodářského slovníku jsou vodní zdroje definovány jako vodní útvar povrchové nebo podzemní vody, kterou lze použít pro uspokojení potřeb člověka. (Vodohospodářský slovník, 2010). Stav vodních zdrojů se za poslední desítky let výrazně změnil. Příčinou je hlavně nárůst počtu obyvatelstva ve světě, urbanizace, výstavby

vodních nádrží a zvýšené využívání vody pro zemědělské, energetické a průmyslové činnosti. Tyto změny výrazně ovlivnily přirozený hydrologický cyklus, ale také kvalitu a množství vodních zdrojů. Celkové rozložení vodních zdrojů v čase a prostoru závisí na klimatu, a také na ekonomické aktivitě lidí v regionech. V současné době jsou vodní zdroje na mnoha místech světa natolik ochuzené a znečištěné, že nejsou schopny pokrýt rostoucí poptávku po vodě (Stec, 2020).

Vodní zdroje lze rozdělit na:

- slanou vodu v oceánech a mořích
- sladká voda v jezerech, řekách a dalších povrchových nádržích
- voda vyskytující se ve formě vodní páry a mraků
- voda v ledovcích a sněhové pokrývce
- voda podpovrchová ve svrchní vrstvě zemské kůry a v půdním pokryvu

V kratších časových intervalech, jako je například rok, nebo sezóna, se objem vody ve vodní sféře neustále mění v závislosti změn a pohybu vody mezi oceány. Tento proces se obecně nazývá koloběh vody na Zemi (obr. 2) (Stec, 2020).



Obr. 2 Koloběh vody na Zemi (USGS, 2019)

Topografie, geologie i samotné biomy silně ovlivňují kde se voda shromažďuje a kde naopak odtéká (Grant, 2016). Sluneční záření vypařuje vodu ze zemského povrchu, oceánů, moří, řek a jezer do atmosféry odkud se opět vrací ve formě srážek. Srážky jsou

pak hlavním zdrojem vod, které se nacházejí ve formě řek, jezer, podzemních vod a ledovců na pevnině. Část srážek se vypaří, část pronikne do podzemních vod a část se v podobě říčního toku vrací do oceánů, kde se opět odpaří. Část říčních toků se do oceánů ani nedostane, protože se vypaří v bezodtokých oblastech. Tento proces se neustále opakuje a za rok jim prochází cca 577 000 km³ vody. Rozdíl mezi srážkami a výparem z povrchu pevniny představuje celkový odtok řek a podzemních vod do oceánů. Jedná se o hlavní zdroje sladké vody pro ekonomické a životní potřeby člověka (Shiklomanov, 2004).

4. Klimatické změny a jejich vliv na vodní zdroje

Změna klimatu je stav klimatu, kterou lze statisticky identifikovat prostřednictvím změn jeho průměrných a/nebo variabilních vlastností. Tato změna přetrvává po delší časové období, obvykle po desetiletí, nebo i déle. Změna klimatu je způsobena přirozenými vnitřními procesy (například slunečními cykly) a antropogenními aktivitami, které mění složení atmosféry. Rámcová úmluva o změně klimatu (UNFCCC) v Článku 1 definuje změnu klimatu: „...taková změna klimatu, která je vázána přímo nebo nepřímo na lidskou činnost měnící složení globální atmosféry a která je vedle přirozené variability klimatu pozorována za srovnatelný časový úsek“ (Bechník, 2014).

V rámci třetí hodnotící zprávy IPPC pro posouzení rizik v souvislosti se změnou klimatu bylo vypracováno pět souhrnných důvodů k obavám (RFC), které ilustrují důsledky změny klimatu a adaptační limity pro lidi, ekonomiku, ekosystémy a také vodní zdroje (Bechník, 2014).

1. Jedinečné a ohrožené systémy: Počet druhů, které jsou ohroženy vážnými důsledky zvyšování teploty se výrazně zvyšuje, zejména když teploty vzrostou o 2 °C nad celkový průměr.
2. Extrémní klimatické události: Rizika spojená s extrémními výkyvy počasí souvisejícími se změnou klimatu včetně povodní, sucha a vln veder jsou vysoká již při zvýšení teploty o 1 °C.
3. Distribuce dopadů: V regionech, kde dochází ke snížení dostupnosti vody, budou čelit zvýšenému riziku při zvýšení teploty o 2 °C.
4. Globální agregované dopady: Panuje obecná shoda, že celkové ekonomické ztráty se budou s nárůstem teplot zrychlovat. Pokud se teploty zvýší o 3 °C, dojde pravděpodobně k rozsáhlému úbytku biologické rozmanitosti, což povede ke ztrátě ekosystémových služeb, které ohrožují nejen přírodu, ale i socioekonomický rozvoj.
5. Ojedinělé události velkého rozsahu: S nárůstem teplot mohou být fyzické systémy nebo ekosystémy ohroženy náhlou a nevratnou změnou, zejména při zvýšení teploty a 1-2 °C (Dodds, 2002).

4.1 Dopady změny klimatu na kvalitu a množství vody

Rizika změny klimatu související se sladkou vodou se výrazně zvyšují s rostoucí koncentrací skleníkových plynů, to znamená, že podíl světové populace, která se potýká

s nedostatkem vody a velkými povodněmi se bude s rostoucí teplotou zvyšovat. Předpokládá se, že změna klimatu ovlivní dostupnost obnovitelných povrchových zdrojů vody i podzemních vodních zdrojů (Davie, 2019).

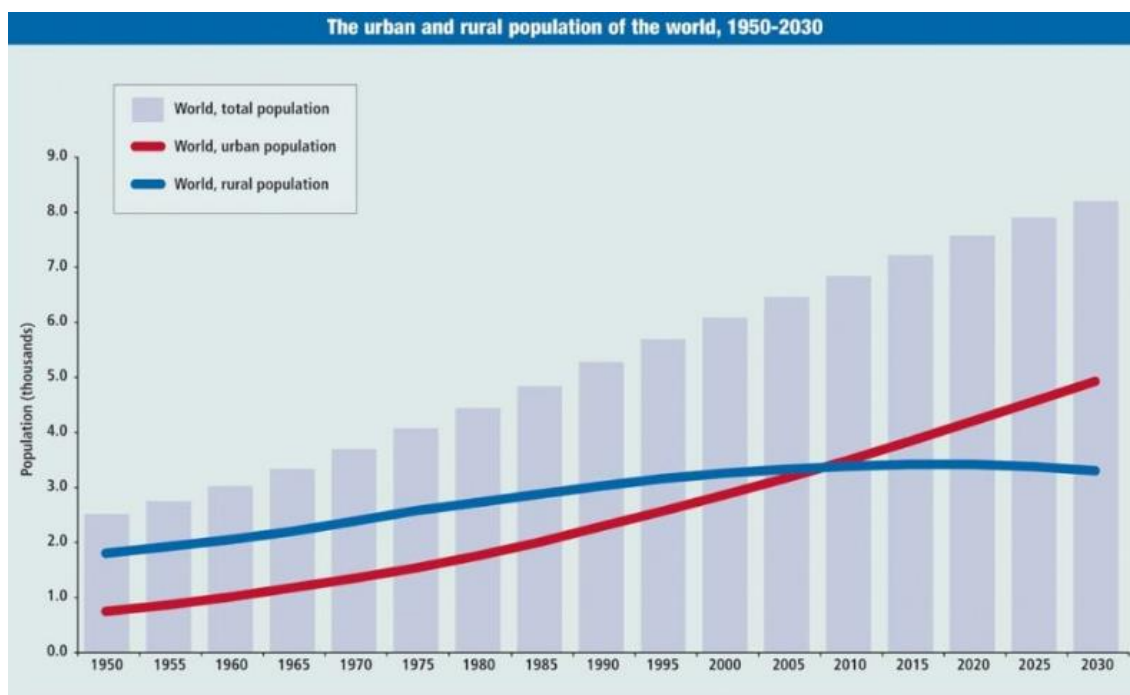
V současně suchých oblastech se pravděpodobně ještě více zvýší výskyt sucha a v oblastech vysokých zeměpisných šířek se předpokládá zvýšená četnost srážek. V důsledku extrémních klimatických jevů (povodně, sucho) se sníží dostupnost vody. Dojde k ohrožení kvality pitné vody, a to v důsledku vzájemně se ovlivňujících faktorů, jako je zvýšená teplota, zvýšené zatížení sedimenty z přívalových dešťů, zvýšené koncentrace znečišťujících látek během období sucha a narušení provozu čistících zařízení při povodních. V souvislosti se změnou klimatu budou vodárenské společnosti čelit následujícím dopadům (Cech, 2009):

- Zvýšená teplota: Snižující se množství sněhu/ledu a zvyšující se míra odpařování z jezer, nádrží a vodonosných vrstev povede ke snížení množství vody dostupné uživatelům. Zvýšené teploty navíc způsobí zvýšení poptávky po vodě.
- Změny v načasování průtoků v řekách: Častější a intenzivnější sucha zvýší potřebu umělého zadržování vody.
- Vyšší teploty vody: Vyšší teploty vody způsobí vyšší výskyt řas a přírodního organického materiálu. To povede k tomu, že bude potřeba pitnou vodu upravovat dalšími či novými procesy.
- Sušší podmínky: Zvyšující se koncentrace znečišťujících látek ohrozí kvalitu podzemních vod.
- Zvýšený odtok dešťové vody: Zvýšením odtoku dešťové vody dojde k nárstu množství patogenů, živin a suspendovaných sedimentů.
- Vzestup hladiny moře: Zvýšený vzestup hladiny moře způsobí vyšší slanost pobřežních vodonosných vrstev.

Řada klíčových rizik představuje specifické výzvy pro nejméně rozvinuté země a zranitelné komunity, vzhledem k jejich omezené schopnosti se s těmito riziky vyrovnat. Zvýšené úrovně oteplování zvyšují pravděpodobnost závažných, všudypřítomných a nevratných dopadů. Naopak omezením rychlosti a rozsahu změny klimatu lze celkové riziko dopadů změny klimatu snížit (Bechník, 2014).

5. Urbanizace a její vliv na vodní zdroje a hydrologický cyklus

Hodnota současné světové populace se pohybuje kolem 7,5 miliard, což představuje zdvojnásobení světové populace za méně než 50 let. Přibližně 50% celosvětové populace žije ve městech a asi 396 světových měst má více než 1 milion obyvatel. Podle OSN bude do roku 2030 podíl městské populace pravděpodobně až 60 %. Na celém světě tedy přibýlo ve městech od roku 1950 až do roku 2020 více než 3 miliardy lidí a dle prognóz má tento trend pokračovat (viz obr. 3) (World Population Prospects, 2022).



Obr. 3 Vývoj urbanizace ve světě a prognóza jejího dalšího vývoje (1950-2030) (Zvonková, 2020)

Kvůli trendu růstu světové populace, představuje rozšiřování měst význačnou hrozbu pro dostupnost zdrojů a kvalitu životního prostředí, ale také pro přírodní dynamiku. Prohlubování znalostí o hydrologických procesech ve městech se tak stává v rámci hydrologických věd prioritou (Niemiczynowicz 1999).

Obor městské hydrologie je relativně mladý, ale nabývá na významu. V rozvojových zemích dochází k růstu městských oblastí ve velkém měřítku, kdežto rozvoj měst v rozvinutých oblastech probíhá v menších, lokálních, měřítkách. Typické jsou pak jednotlivé budovy, nebo menší sídliště. (Ragab et al. 2003; Blocken et al. 2013). Šíření měst způsobuje nárůst nepropustné krajiny a tím i rozšiřování umělých odvodňovacích sítí. Vznikající dešťový odtok ze zpevněných povrchů v městských oblastech, může mít závažné dopady na narušení trofie, může způsobovat hydraulické

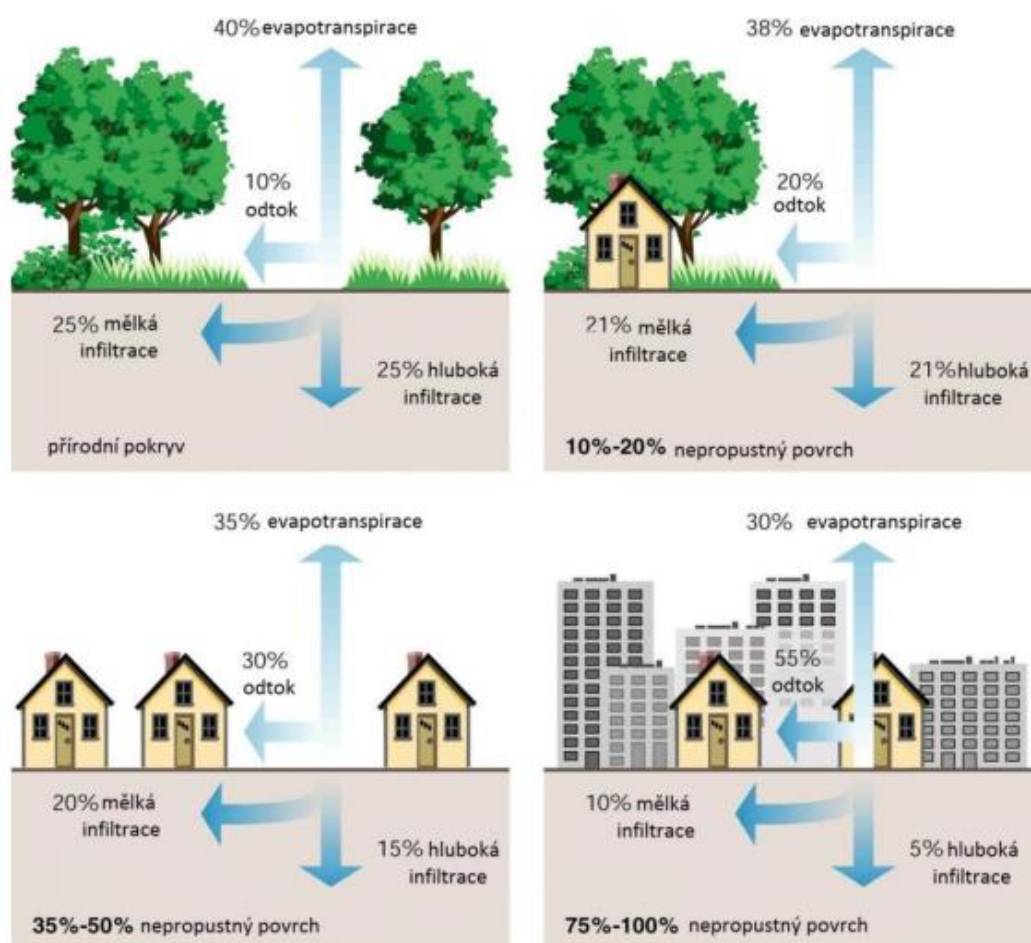
narušení, a navíc může být kontaminovaný například těžkými kovy, odpadky, pesticidy, léčivy a jinými nečistotami. Kromě toho systém kanalizací neumožňuje další užívání dešťové vody pro zlepšení městské krajiny, pro snížení tepelné expozice měst. Dešťovou vodu díky tomu nelze využít ani v budovách. Ve vyspělých zemích se projevuje snaha o to, aby se se srážkovou vodou zacházelo jako s obnovitelným zdrojem. Zavádějí se postupy udržitelného hospodaření s vodou, s cílem snížit dopady fluviálních jevů v městských oblastech a zároveň poskytnout komfort obyvatelům měst. Tyto strategie se uplatňují jak v nových městských zástavbách, tak v měřítku jednotlivých budov (Brears, 2016).

Městské oblasti jsou typické vysokým podílem nepropustných ploch, který v centrech měst dosahuje až 70 % a více (např. silnice, střechy budov apod.). Většina objemu dešťové vody stéká po zpevněném povrchu a je odváděna z městských částí systémem kanalizačních sítí. Ty se zaměřují především na rychlé a přímé odvádění odpadních a dešťových vod a tím je v důsledku zaručen vysoký standard bezpečnosti a komfortu pro obyvatele měst, ovšem s mnoha vodohospodářskými nevýhodami (Hanzlík et al. 2020). Urbanizace povodí může dále vést k znečištění řek, jezer a mokřadů z bodových či nebodových zdrojů (Brears, 2016).

5.1 Nepropustné povrchy mění hydrologický cyklus

Urbanizace výrazně mění přirozený koloběh vody, a to jak z hlediska kvantity, tak i kvality (Hanzlík et al. 2020). Když se srážky dostanou na povrch, část se vypaří, část pronikne půdou a stane se vodou podzemní a zbytek zůstane jako voda povrchová. Nepropustné povrchy v urbanizovaných oblastech však mění přirozené množství vody, které se dostává do hydrologického cyklu. V městských oblastech dochází kvůli nepropustným povrchům ke zvýšení objemu a rychlosti povrchového odtoku do vodních toků či kanalizací. Úroveň evapotranspirace je oproti přírodním podmínkám výrazně snížena (viz obr. 4). Odhaduje se, že v oblastech s přirozeným půdním pokryvem asi čtvrtina srážek infiltruje do půdy a stává se tak podzemní vodou, zatímco pouze 10 % končí jako povrchový odtok. S nárůstem nepropustných ploch se 20 % srážek stává vodou povrchovou a ve vysoce urbanizovaných oblastech tato hodnota činí až 55 % (obr. 4). Takto zvýšené množství povrchové vody způsobuje silnou erozi břehů potoků a řek, transport sedimentů, ucpávání koryt toků atd. Kvůli zvýšenému povrchovému odtoku v urbanizovaných oblastech hrozí větší riziko povodní, a tak se z mnoha vodních toků

stávají odvodňovací kanály, které jsou často obloženy kameny a betonem. Výsledkem je úbytek břehových porostů a stanovišť pro vodní živočichy (Brears, 2016).



Obr. 4 Změny vodního cyklu spojené s urbanizací (FISRWG,2019)

5.2 Nepropustné povrchy snižující kvalitu vody

Zvýšený obsah nepropustných vrstev má za následek také snížení kvality vody ve vodních tocích. Znečišťující látky, které se hromadí na nepropustných plochách jsou často splachovány do vodních toků. V povodích s méně než 10 % nepropustných ploch zůstávají vodní toky zdravé. Nad 10 % nepropustných ploch již dochází k zhoršování stavů vodních toků. Kromě toho může kontaminovaná povrchová voda pronikat pod povrch a vážně zhoršovat kvalitu podzemních vod (Foster, 2001).

5.3 Nepropustné povrchy ovlivňující podzemní vody

Vzhledem k relativně nízkým nákladům a obecně vysoké kvalitě je podzemní voda často preferovaným zdrojem pro síťové veřejné zásobování vodou a je také široce využívána pro domácí a průmyslové účely. Ve většině případů kvůli urbanizaci dochází k radikální změně charakteru a rychlosti doplňování podzemních vod. V městských oblastech, kde

je odběr podzemní vody velký a převyšuje rychlost doplňování, může hladina vodonosných vrstev neustále klesat, a to až po desetiletí. Tato skutečnost může vést až k poklesu půdy, což může mít za následek fyzické poškození budov a podzemních inženýrských staveb, jako jsou tunely a kanalizace (Foster, 2001). Zatímco nepropustné povrchy snižují běžnou infiltraci vody do půdy, parkoviště a jiné málo propustné povrchy, které nejsou napojeny na dešťovou kanalizaci, mohou naopak doplňovat městské podzemní vody. Kromě toho mohou vodovody propouštět až 25 % přepravované vody a spolu s nadměrným zavlažováním parků a zahrad to může vést ke zvýšenému doplňování podzemních vod (Lerner, 2002). Zvýšené doplňování podzemních vod může způsobovat hydrostatické zvedání povrchu, což vede opět k poškozování a zaplavování podpovrchové infrastruktury, jako jsou sklepy a základy budov (Foster, 2001).

5.4 Znečištění vody

Zdroje znečištění mohou být bodového či nebodového charakteru. Znečištění pocházející z bodového zdroje je způsobeno prostřednictvím potrubí, nebo jiného jasně identifikovaného místa a lze jej snadno měřit a vyhodnocovat jeho dopady. Mezi nejběžnější zdroje znečištění tohoto typu patří: továrny, čistírny odpadních vod, skládky a podzemní i nadzemní skladovací nádrže s palivy, rozpouštědly a dalšími průmyslovými kapalinami. Odpadní vody z průmyslových činností mohou obsahovat řadu znečišťujících látek jako mikrobiologické kontaminanty, chemické látky, organické či anorganické chemikálie a těžké kovy (Boyd, 2019).

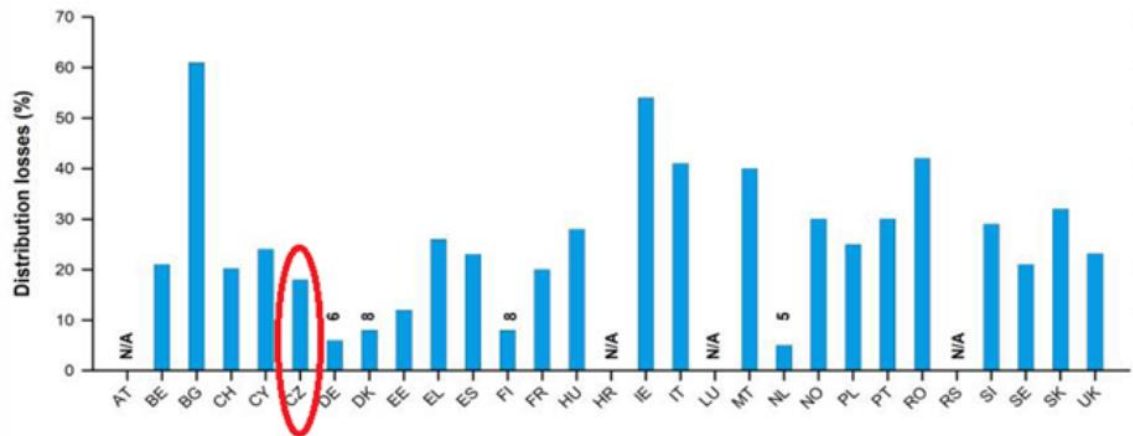
Znečištění pocházející z nebodových zdrojů vzniká z mnoha zdrojů a je tedy obtížné určit jeho původ. Mezi běžný zdroj nebodového znečištění patří: splachy hnojiv ze zahrad a ze zemědělské činnosti. Dusičnany, které se běžně používají jako hnojivo, jsou dobře rozpustné. Díky této vlastnosti jsou pak snadno splachovány z půd do řek a potoků, což vede k eutrofizaci vodních toků (ibid.). V městských oblastech srážky splachují velké množství znečišťujících látek a dochází také k znečištění podzemních vod. Mezi zdroje znečištění podzemních vod patří třeba septiky, skládky, těžba, ropné produkty, splachy ze silnic apod. Podzemní voda je významným zdrojem pitné vody a její znečištění představuje značný problém, a to i v případě, že je zdroj znečištění odstraněn. Vzhledem k vysoké době zadržení podzemních vod mohou zůstat kontaminované i desítky let (Spellman, 2020). Sedimenty, které se splachem dostanou do vodních toků pak mohou ovlivňovat míru fotosyntézy vodních rostlin, mohou také poškozovat žábry ryb, způsobovat jejich onemocnění či úhyn (Brears, 2016).

5.5 Poškození vodních ekosystémů

Dalším negativním dopadem urbanizace je poškození vodních ekosystémů. Říční ekosystémy jsou závislé na rozsáhlých sladkovodních mokřadech, záplavových územích, na březích, prameništích a celkově na přirozené podobě vodního toku. To vše se ale během urbanizace ztrácí. Nepropustné povrchy spolu s dešťovými kanalizacemi mohou způsobit nižší průtoky v tocích, a naopak rychlejší odtok při bouřkách a přivalových deštích. Voda stékající z nepropustných povrchů má mnohdy vyšší teplotu než voda v tocích, což je způsobeno delší dobou zadržení na zpevněných površích. Intenzivní urbanizace může zvýšit teplotu vody v tocích až o 10 °C v důsledku ztráty stínění břehovými porosty a nižší hladiny vody. Urbanizace obvykle vede i ke změně zdrojů energie. V přirozených vodních tocích je ekosystém poháněn zdrojem energie, který se skládá z rozkládající se vegetace, dřevní hmoty a padajícího hmyzu, což se urbanizací ztrácí. V městských vodních tocích vede snížení počtu korun stromů vedle akumulace živin k nárůstu vodních rostlin a řas, což výrazně snižuje celkový ekologický stav vodního ekosystému. Dochází také ke snížení biologické rozmanitosti, neboť v městských vodních tocích žije pouze zlomek ryb a vodních bezobratlých, kteří by se vyskytovali ve vodních tocích nezastavěných území (Council, 2003).

5.6 Úniky vody

Úniky vody jsou významnou příčinou plýtvání vody v městských vodovodních systémech. Úniky vznikají v důsledku koroze, netěsněných spojů, poškození ventilů a vadných systémů. Opravy jsou nákladné a často je vnímáno jako levnější zvýšit dodávku vody, aby se kompenzovaly ztráty. Tento přístup se však již mění. Většina dodavatelů má nyní programy na testování a monitoring úniků a začínají si uvědomovat výhody zavádění oprav v raných stádiích. Poškozené vodovodní potrubí může kromě ovlivnění dodávek způsobit také zaplavení nemovitostí a následné uzavírání ulic kvůli potřebným opravám. To však může vést k problémům s dopravou a dalším nepříjemnostem (Grant, 2016). V České republice se ztráty vody v rámci distribuční sítě momentálně pohybují kolem 14 %. Z hlediska porovnání v rámci Evropské unie se Česká republika v procentuálním porovnání řadí mezi lepší průměr. Nejhůře si naopak stojí Bulharsko s 60 %, nebo Irsko s 50 % (obr. 5) (Vojtěchovská a Žák, 2021).



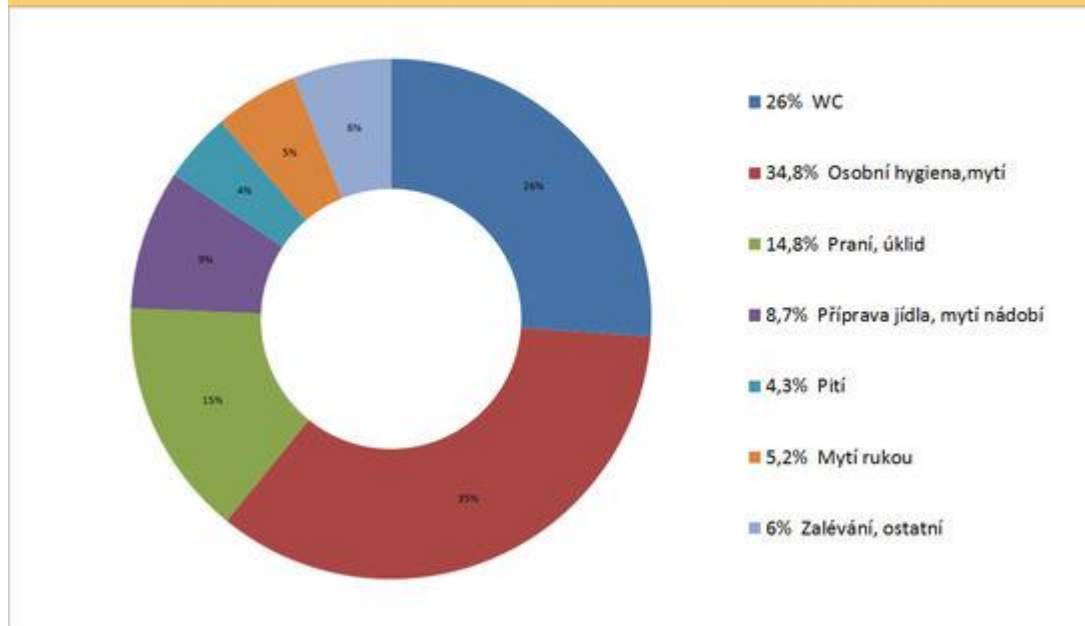
Obr. 5 Graf procentuální ztráty vody distribuční sítí v zemích EU (SOVAK, 2021)

6. Spotřeba vody v budovách a domácnostech

V průběhu let se spotřeba vody, její struktura a velikost neustále měnily. Od zprovoznění prvních vodovodů odběr vody rostl až do 80. let 20. století, to ale vyplývá především z absence jejího měření a také z nízkého povědomí odběratelů o ekologii. V Evropě se 90. léta 20. století vyznačovala menším nárůstem odběrů vody. Na tuto skutečnost měl vliv především rozvoj instalatérských technologií, zvýšení cen vody, zavedení povinnosti měřit spotřebu vody a také změny návyků uživatelů (EEA, 2018). Kvůli současným i předpokládaným omezením dostupnosti vodních zdrojů je nutností šetřit vodou (Stec, 2020). Je tedy kladen stále větší důraz na zavádění opatření pro řízení poptávky, opětovné využívání vody a také lepší pochopení našeho chování v oblasti spotřeby vody a faktorů, které ovlivňují, nebo přispívají ke spotřebě vody v domácnostech (Hussien et al. 2016). Lze tedy předpokládat, že se vývoj instalatérských technologií zaměří na hledání technických řešení, která nejen zajistí vysoký komfort pro uživatele, ale také přispějí k snížení spotřeby vody (Stec, 2020).

Obecně se voda v domácnostech používá především k mytí těla, splachování toalet, ke stravování, provádění úklidových prací jak uvnitř, tak venku a k zalévání zahrad. Denní spotřeba pak závisí především na klimatu, vodních zdrojích, úrovni hygienického vybavení v budovách, ceně vody a individuálních zvyklostech uživatelů i na jejich věku (Butler a Memon 2006; Justes et al. 2014; Hussien et al. 2016; Dias et al. 2018). Hlavním úkolem vody, která je dodávána do budov je uspokojit základní potřeby jejich obyvatel. Hodnota, která by měla uspokojit základní lidské potřeby (tj. voda na pití, osobní hygienu, přípravu pokrmů a hygienické služby) se pohybuje okolo 50 l/osobu/den (Gleick, 1996). Ve většině zemí světa je však denní spotřeba vody v domácnostech na osobu mnohem vyšší a dosahuje až 380 l v USA (Ramulongo et al. 2017). Průměrná hodnota v Evropě se pohybuje kolem 128 l/osobu/den (Stec, 2020). V České republice se současná průměrná denní spotřeba vody na osobu pohybuje kolem 100 litrů, ale hodnoty se v různých krajích značně liší. Nejvyšší spotřeba vody v domácnostech je v Praze a převyšuje 107 l/osobu/den. Nejnižší je naopak ve Zlínském kraji, kde se pohybuje kolem 75 l/osobu/den (obr. 6) (Český statistický úřad).

Spotřeba vody v domácnosti



Obr. 6 Spotřeba vody v domácnosti (SČVK, 2022)

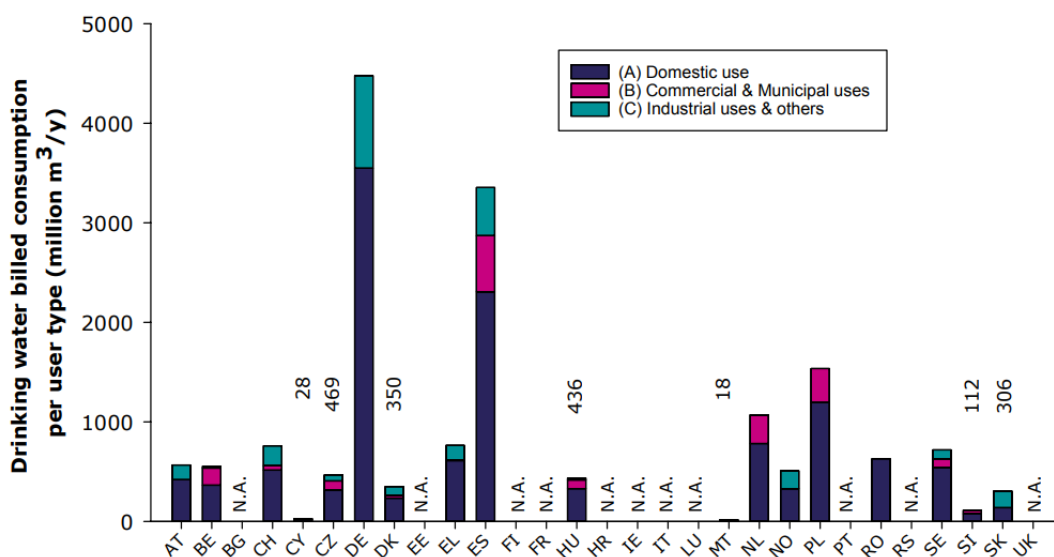
Vzhledem k tomu, že lidé používají vodu k různým činnostem a některé z nich jsou méně důležité než jiné, stanovila Světová zdravotnická organizace tzv. pyramidu spotřeby vody dle jejich důležitosti (obr. 7).



Obr. 7 Pyramida spotřeby vody dle důležitosti (WHO, 2013)

Z obrázku vyplývá, že člověku stačí k přežití jen 10 až 20l vody, to však platí jen pro kratší časové období. Pro udržení dostatečné hygieny je pak potřeba přibližně 70 l/obyvatele/den (WHO, 2013).

V Evropě je hlavním zdrojem vody pro budovy v současné době vodovodní sítě o celkové délce 4 225 527 km (EurEua, 2017). Délka vodovodní sítě je v České republice 80 197 km a počet obyvatel zásobených vodou z vodovodu je 10 075 895 (Český statistický úřad, 2022). Délka vodovodních sítí je v různých zemích odlišná a tyto rozdíly vyplývají z hustoty obyvatelstva v jednotlivých zemích. 95 % obyvatel Evropy je zásobováno čistou pitnou vodou. Voda z vodovodní sítě je dodávána do obytných i průmyslových budov. Z obrázku 8 vyplývá, že největší spotřeba vody připadá na domácnosti a činí 65 až 80 % celkového prodeje vody (EurEua, 2017). Z hlediska ochrany vodních zdrojů je proto velmi důležité omezit spotřebu vody dodávané z vodovodní sítě v obytných budovách.



Obr. 8 Graf spotřeby vody v Evropě podle typu použití (EurEua, 2017)

Množství vody spotřebované v obytných budovách je ovlivněno nejen klimatem, dostupností vodních zdrojů, ročním obdobím, nebo počtem obyvatel, ale také typem domácností (byt, rodinný dům, dvojdomek). Počet osob žijících v domácnosti má přímý vliv na spotřebu vody a je zřejmé, že s růstem počtu obyvatel roste i celková spotřeba vody (Butler, 1991). Spotřeba vody je vyšší v rodinných domech než v bytech, což může být způsobeno spotřebou vody na zalévání zahrady nebo větším rozměrem domácnosti (Russac et al. 1991).

Mimo spotřebu vody uvnitř budov se tedy voda využívá také pro vnější práce jako je zalévání zahrady, mytí aut, nebo mytí příjezdových cest. Spotřeba vody pro tyto účely pak závisí na regionu, klimatu, ročním období, chování obyvatel a právních předpisech v dané zemi. Velká poptávka po vodě pro účely vnějšího používání je pozorována

v zemích se suchým klimatem a v regionech, kde se často vyskytují dlouhodobá období sucha. Například v jihoafrických zemích se v typické domácnosti spotřebuje 35 % vody na zalévání zahrady a tento podíl na celkové denní potřebě vody je největší (Stec, 2020).

Nejjednodušším způsobem, jak snížit spotřebu vody v budovách, je zavedení zařízení pro úsporu vody, včetně úsporných sprchových hlavice, praček a duálního splachování WC. Výměna tradičních domácích spotřebičů za spotřebiče s vysokou účinností může snížit spotřebu vody v domácnostech téměř o 50 % (ibid.) a nejlepších výsledků lze dosáhnout v kombinaci se změnou chování obyvatel, například zastavením vody při čištění zubů (Mallet a Melchiori 2016) a využíváním dešťové vody (Willis et al. 2013).

7. Alternativní zdroje vody

Vodní zdroje na Zemi jsou obrovské a byly by schopny uspokojit potřeby celého lidstva. Jejich nerovnoměrné rozdělení a neracionální hospodaření člověka však způsobuje, že v mnoha zemích, je zásobování vodou velkým problémem. Podle četných prognóz, týkajících se především klimatických změn, se nedostatek vody může v příštích letech ještě zhoršit. Aby se tomu dalo čelit, je třeba mimo jiné zavést udržitelnou strategii hospodaření s vodou, která bude zohledňovat alternativní zdroje vody. Při jejich hledání byla zvláštní pozornost věnována dešťové vodě, která se vyznačuje malým stupněm znečištění, a šedé vodě, která je v budově k dispozici bez ohledu na klimatické a povětrnostní podmínky (Stec, 2020).

7.1 Sběr dešťové vody

7.1.1 Charakteristika dešťové vody

Atmosférické srážky neboli hydrometeory jsou vodní částice vzniklé následkem kondenzace vodní páry v ovzduší a vyskytující se v atmosféře nebo na povrchu Země (Králová, 2010). Množství a stav závisí na teplotních a vlhkostních podmínkách vzduchu. Srážky se vyskytují v různých formách a v různé intenzitě. Jejich klasifikaci pak provedla Světová meteorologická organizace a navrhla základní rozdělení na pevné a kapalné srážky. Množství srážek závisí na mnoha faktorech, z nichž nejdůležitější jsou: nadmořská výška oblasti, zeměpisná šířka, směry větrů, blízkost pohoří a moří. Dešťovou vodu lze charakterizovat nejen z hlediska množství, ale také z hlediska kvality. Dešťová voda, která se pohybuje vrstvami vzduchu, je znečištěná, protože se v ní usazuje značné množství prachu a aerosolů suspendovaných ve vzduchu. Dále je také znečišťována při odtoku z různých typů povrchů (Stec, 2020).

Kvalita dešťové vody se vyznačuje velkou prostorovou a časovou variabilitou a její složení závisí na mnoha faktorech, z nichž nejdůležitější jsou (Zdeb et al. 2018):

- atmosférické znečištění,
- typ povodí,
- využívání půdy a
- místní mikroklima.

Nejvíce znečištěná dešťová voda se vyskytuje v urbanizovaných oblastech, což souvisí především s emisemi ze spalování fosilních paliv, průmyslových podniků

a dopravy. Obecně se však má za to, že dešťová voda pocházející ze střech je relativně čistá. Proto jsou tyto vody vnímány jako potenciální alternativní zdroj. Kvalita dešťové vody pak rozhoduje o možnostech a účelech jejího využití. Kvalita zachycené dešťové vody ze střech závisí jak na typu střešní krytiny a její konstrukci, tak na podmínkách prostředí, především na místním klimatu a znečištění ovzduší v dané oblasti (Lee et al. 2010). Potenciální zdroje znečištění vody ze střech lze rozdělit na zdroje vnější a vnitřní. Mezi vnější zdroje patří znečištění ovzduší a organické látky jako listí a trus ptáků, či jiných živočichů, které se mohou vyskytovat na střeše. Výzkumníci analyzující vzorky dešťové vody zjistili přítomnost bakterií, jako jsou *Salmonella spp*, *Campylobacter*, *Escherichia coli*, a dále prvoků *Cryptosporidium* a *Giardia* (Lee et al. 2017). V koncentraci mikrobiálních kontaminantů jsou patrné změny během ročních období (Vialle et al., 2011). Vnitřní zdroje znečištění pocházejí přímo ze samotných střešních krytin, neboť existují fyzikálně-chemické reakce mezi dešťovou vodou a střešními materiály (Lee et al, 2012). Dešťová voda může ze střešních krytin vyplavovat zejména těžké kovy, jako je kadmium, měď, olovo, zinek a chrom (Quek a Förster 1993; Melidis et al. 2007; Despins et al. 2009). Dle některých výzkumů (Chang a Crowley, 1993) se nejlepší kvalitou vyznačují dešťové vody pocházející z hliněných terakotových, či z keramických krytin. Nejhůře na tom byla voda ze střechy pokryté dřevěnými šindeli. Jiné studie také ukázaly, že stav a stáří střechy negativně ovlivňuje množství kovů obsažených v dešťové vodě (Chang et al., 2004). Vyšší koncentrace zinku byla zjištěna u dešťové vody, která byla odebrána z poškozených lakovaných, či pozinkovaných střech ve srovnání se střechami, které byly ve výborném stavu. Z výzkumu kvality dešťové vody vyplývá, že první splach střešní dešťové vody, ke kterému dochází na začátku dne, nejčastěji obsahuje zvýšenou koncentraci nečistot. Oddělení odtoku z prvního splachu od dalších odtoků dešťové vody ze střechy proto může vést k výraznému zlepšení kvality sbírané vody (Villarreal a Dixon 2005; Mendez et al. 2011).

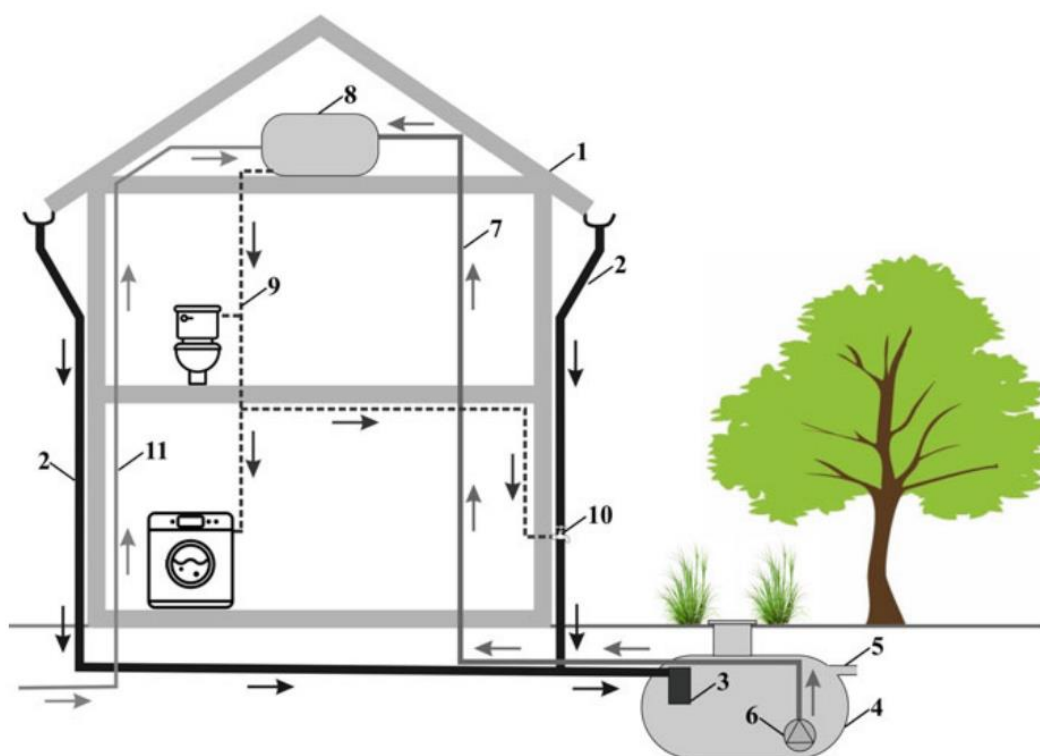
Efektivní zavádění systémů sběru dešťové vody proto vyžaduje místní výzkum fyzikálních, chemických a mikrobiologických vlastností dešťové vody s cílem minimalizovat rizika pro lidské zdraví a správný výběr systémů úpravy vody. To se týká především případů, kdy bude dešťová voda využívána jako pitná voda a voda ke koupání a mytí (Chong et al. 2013).

7.1.2 Technické aspekty využívání dešťové vody

Systémy hospodaření s dešťovou vodou se nejčastěji používají, pokud se dešťová voda shromažďuje ze střechy budovy. Důvodem je relativně nízká úroveň znečištění dešťové vody. Základními prvky zařízení pro využití dešťové vody jsou následující (Stec, 2020):

- systém odvodnění střechy (žlaby a svody),
- zařízení pro čištění dešťové vody,
- spodní akumulční nádrž s přepadovým systémem,
- horní akumulční nádrž,
- čerpací systém,
- systém zásobování vodou doplňující nedostatek dešťové vody,
- instalace rozvádějící dešťovou vodu v budově a
- měřící, regulační a anti kontaminační armatury.

Obecné schéma systému pro zachycování dešťové vody v obytné budově je znázorněno na obrázku 9.



Obr. 9 Schéma systému zachycování dešťové vody (Stý's 2013)

1-střešní panel, 2-žlaby a svody, 3-předčistící zařízení, 4-spodní zásobní nádrž, 5- nouzový přepad, 6-čerpací systém, 7-instalace zásobující horní nádrž, 8-horní zásobní nádrž, 9-instalace zásobující vnitřní sanitární armatury, 10-instalace zásobující vnější odběrné místo, 11-doplňkové zařízení instalace s vodou z vodovodní sítě.

Existují různé způsoby, kterými se provádí sběr dešťové vody (Sly's 2013). Některé z důležitých metod jsou postupně popsány v následujících odstavcích.

1. Instalace s průtočnou nádrží a vypouštěním přebytečné vody do kanalizace.

V případě první instalace je srážková voda odváděna ze střechy pomocí svodových trubek, které jsou vybaveny filtry, jejichž úkolem je oddělit nečistoty předtím, než se voda dostane do akumulací nádrže. Mechanické čištění dešťové vody je velmi důležité, protože zamezuje přísunu organických látek do nádrže, jejíž přítomnost by nepříznivě ovlivnila kvalitu vody v nádrži. Filtr může být navíc vybaven i obtokem, který umožní odtok vody, je-li filtr ucpan nečistotami. Akumulační nádrž pojme dešťovou vodu a přebytek je následně odváděn přepadem do kanalizační sítě.

2. Instalace s průtočnou nádrží a zařízením pro infiltraci přebytečné vody.

Instalace s průtočnou nádrží a zařízením pro infiltraci přebytečné vody do kanalizace je modifikací předchozího systému. Hlavní rozdíl spočívá v tom, že je přebytečná voda z nádrže odváděna a následně vsakována do půdy. Z hlediska snížení provozních nákladů je tato varianta výhodnější. Nádrž má průtočný charakter, což znamená, že při naplnění odtéká z nádrže přebytečná voda a zbývající objem vody je dodáván k užívání.

3. Instalace s prepouštěcím ventilem a odváděním přebytečné vody do kanalizace.

U této instalace byl filtr nahrazen rozdělovacím ventilem, jehož úkolem je rozdělit odtok dešťové vody na část odváděnou přímo do nádrže a část do kanalizace. Ventil odděluje mechanické nečistoty a odvádí je spolu s částí dešťové vody do kanalizace. Účinnost rozdělovacího ventilu klesá s rostoucí intenzitou protékající dešťové vody. Tento systém je tedy určen pro budovy s velkou plochou střechou a relativně malou potřebou dešťové vody.

4. Instalace s rozdělovacím ventilem a zařízením pro infiltraci přebytečné vody

Podobně jako u předešlé se jedná o zařízení s rozdělovacím ventilem pro odvádění přebytečné vody přímo do infiltračního zařízení. Tuto instalaci lze použít i se značným přítokem dešťové vody ze střechy a malou kapacitou akumulací nádrže, a navíc umožňuje zásobování podzemní vodou.

5. Instalace s akumulací nádrží na veškerou dešťovou vodu

Instalace slouží k zadržení veškeré dešťové vody stékající ze střechy v nádrži. Nouzové potrubí, kterým je nádrž vybavena, se používá velmi zřídka, pouze v případech přetečení nádrže. Tento systém vyžaduje použití nádrže s mnohem větším objemem, než je tomu v případě ostatních uvedených instalačních systémů.

Je třeba poznamenat, že volba typu instalačního zařízení pro zachycování dešťové vody, má velmi významný vliv na ekonomickou efektivnost tohoto systému. To je ovlivněno návrhem různých kapacit nádrží, což následně ovlivňuje kapitálové výdaje, provozní náklady systému, poplatky za odvádění odpadních vod, úsporu vody z vodovodu a schopnost uspokojit potřeby vody se sníženou kvalitou, a tedy i ekonomickou výkonnost systému. Základním kritériem, které určuje uspořádání a vybavení zařízení je místo a rozsah využívání zachycené vody. V případě obytných budov se pak rozlišuje, zda se bude voda využívat pro vnější účely jako zalévání zeleně, mytí aut, čištění příjezdových cest apod., anebo zda se bude využívat uvnitř budovy, a to především ke splachování toalet, praní prádla a úklidovým pracím. Správně navržené a zrekonstruované zařízení pro hospodárné využívání dešťové vody bude fungovat bez problémů po mnoho let. Proto je důležité používat vhodné prvky. Srdce systému je nádrž spolu s čerpacím systémem. V současné době je na trhu k dispozici mnoho nádrží, které se liší materiálem, konstrukcí, pevností a tvarem. Nejběžnější jsou nádrže vyrobené z plastu a lze je použít jako podzemní i pozemní nádrže. V závislosti na účelu hospodářského využití dešťové vody mají akumulací nádrže vhodně přizpůsobené vybavení, jako je čerpadlo, filtr, sifon, nouzový přepad a napouštěcí ventil (Stec, 2020).

V případě vnitřního využívání se tedy voda využívá především ke splachování toalet, praní a úklidu. Rozhodnutí o instalaci systému je vhodné provádět ve fázi projektování obytné budovy. Takový systém je kromě všech prvků vybaven i řídicím systémem, jehož úkolem je regulovat provoz zařízení, zejména v suchých obdobích, kdy musí být dodatečně zásobováno vodou z vodovodu. Velmi důležitý je proces filtrace, který může být realizován pomocí filtrů namontovaných ve svodových trubkách, instalovaných v zemi, nebo přímo v nádrži. Filtry namontované ve svodových trubkách mají zastavit stékání silnějších nečistot ze střechy, především listí. Podzemní filtry instalované v zemi před nádrží zabraňují vniknutí nečistot spolu s dešťovou vodou do nádrže. Velmi malé otvory ve filtru zajišťují vysoký stupeň ochrany před znečištěním.

Úkolem nádržových filtrů je odstraňovat nečistoty, které byly spláchnuty ze střechy. V případě většího znečištění dešťové vody je možné použít dvoustupňový filtrační systém (ibid.).

7.2 Recyklace šedé vody

Podle evropské normy PN-EN 12056-1 je šedá voda odpadní voda bez moči a exkrementů. Šedá voda vzniká každý den, a to při mytí těla, mytí nádobí a praní. Základní rozdělení odpadní vody vznikající v domácnosti je rozdělení na šedou a černou vodu. Černá voda pochází z toalet a směřuje rovnou do kanalizace. Šedá voda je voda odtékající ze sprch, umyvadel, praček a myček nádobí. Díky menšímu znečištění šedých vod, může být po přečištění opět využívána jak na zahradě, tak i v domácnosti (Kraus, 2022). Šedou vodu lze rozdělit na tzv. šedou vodu a bílou vodu, tedy vyčištěnou šedou vodu. Opětovné využívání šedé vody může vést k úsporám v rozsahu 10-20 % celkové spotřeby vody ve městech (Gross et al. 2015).

7.2.1 Charakteristika šedé vody

Nečistoty v odpadních vodách lze obecně rozdělit do tří skupin: fyzikální, chemické a biologické. První skupiny zahrnuje především suspenze ve formě tuhých, nerozpustných, organických a anorganických látek. Mezi chemické nečistoty se řadí bílkoviny, tuky a sacharidy, a také minerální látky. Biologické znečištění je zase ovlivněno obsahem virů, bakterií, plísní a vajíček parazitů v odpadní vodě. Důležitým fyzikálním parametrem šedých vod je jejich teplota, jelikož vyšší teploty mohou zapříčinit intenzivnější rozvoj mikroorganismů. Teplota závisí na zdroji vzniku a pohybuje se mezi 18 až 38 °C. Vyšší teplota je důsledkem používání horké vody ke koupání (Eriksson et al. 2002). Koncentrace jednotlivých znečišťujících látek u šedých vod je podmíněna především zdrojem jejich vzniku, stejně jako životním stylem, sociálním a kulturním chováním obyvatel, dostupností vody a její spotřebou. (Jefferson et al. 2004).

Za nejvíce kontaminované jsou považovány odpadní vody pocházející z kuchyně, které často obsahují oleje a další nežádoucí látky, jejichž přítomnost v šedých vodách znemožňuje její použití pro splachování toalet nebo zalévání zahrady (Oron et al. 2014). Tyto vody se vyznačují nejvyššími hodnotami BSK (biochemické spotřeby kyslíku. BSK je definována jako hmotnostní koncentrace rozpuštěného kyslíku spotřebovaného mikroorganismy za n dní biologickou oxidací organických látek přítomných v 1 litru vody při 20 °C. Používá se při analýze vod a obecně platí, že čím vyšší je hodnota, tím je

voda z hlediska rozpuštěných látek znečištěnější. (Járová a Hudcová, 2017). Jak ukazují výzkumy z různých zemí, koncentrace BSK se pohybuje v širokém rozmezí od 5 do 1460 mg/dm³ (Eriksson et al. 2002), nebo od 470 do 4450 mg/dm³ (Ghaitidak a Kunwar 2013). Odpadní vody pocházející z kuchyně mohou obsahovat také různé druhy mikroorganismů pocházejících z mytí zeleniny a ovoce, nebo syrového masa. Například *E. coli* se v tomto typu odpadní vody vyskytuje v koncentraci $2.5 \times 10^8/100$ ml (Eriksson et al. 2002).

Šedá voda vznikající při praní prádla obsahuje značné množství pracích či bělicích prostředků. Kvalita se však v průběhu pracího cyklu mění a závisí především na typu použitých pracích prostředků. Tento typ šedé vody je charakteristický vysokou salinitou a obsahem vláknité suspenze pocházející z oděvů. V tomto typu šedé vody se mohou taktéž vyskytovat bakterie, a to v případech praní oblečení malých dětí, či nemocných jedinců. Využívání této šedé vody tak vyvolává značné kontroverze (Stec, 2020).

Šedá voda z koupelen obsahuje mýdlo, šampóny, čistící prostředky a vlasy. Celková koncentrace znečišťujících látek je však ve srovnání s odpadními vodami vypouštěnými z jiných hygienických zařízení relativně malá, což umožňuje jejich opětovné využití po základním procesu předčištění. Doba setrvání polutantů v tomto typu šedé vody není dlouhá, jelikož jsou snadno rozložitelné. Nejčastěji se v Evropě využívá šedá voda vznikající při koupání a mytí rukou. (Ottoson a Stenström 2003). Množství vyprodukované šedé vody závisí na celkové spotřebě vody, životní úrovni a zvyklostech obyvatel. Až 75 % objemu odpadních vod produkovaných domácnostmi tvoří šedá voda a v případě vakuových toalet to může být až 90 %. Obecně se má za to, že šedá voda vypouštěná z koupelen při mytí těla tvoří až 47 %, v kuchyni pak 27 % a při praní prádla 26 % (Ghaitidak a Kunwar 2013).

7.2.2 Systémy recyklace šedých vod

Šedá voda se vždy používá k nepotravinářským účelům, jako je splachování toalet, zalévání zahrady, mytí automobilů a praní prádla. Z bezpečnostně-hygienických důvodů je však nutné její čištění. Při výběru vhodné technologie čištění, které umožňuje opětovné využití šedých vod, je zapotřebí znát druh a koncentraci kontaminantů. I v situacích, kdy nedochází k přímému kontaktu šedých vod s lidmi, je důležité odstraňovat bakterie, protože při používání sociálních zařízení může dojít k rozstříku odpadních vod a následnému infikování lidí přes dýchací cesty či otevřené rány (Gross et al. 2007).

Po celém světě bylo zavedeno mnoho různých systémů recyklace šedé vody. Využívají jak jednoduché technologie odstraňování znečištění (filtry, biofiltry), tak i pokročilé membránové technologie (Gross et al. 2015). Neexistují žádné jednotné mezinárodní pokyny, které by definovaly kvalitu a rozsah využívání šedé vody. Jsou však stanoveny národní a mnohdy i místní doporučení, se zaměřením především na zdravotní nezávadnost a vliv těchto systémů na přírodu. Tyto směrnice tak definují především přístupné koncentrace znečišťujících látek, jejichž hodnota závisí na místě, kde se šedá voda využívá. Pro členské státy Evropské unie platí směrnice Evropské rady 91/271/EHS o čištění městských odpadních vod. V České republice zatím chybí předpis pro využívání šedých vod. Lze se tak prozatím řídit zahraničními předpisy, například normou BS 8525-1 z Velké Británie, kde jsou stanoveny jak technické požadavky, tak i požadavky na jakost bílé vody. Níže uvedená tabulka č. 9 ukazuje orientační hodnoty pro bakteriologické monitorování bílé vody podle BS 8525-1 a rozdíl v hodnotách pro činnost, kde vzniká aerosol a kde nevzniká (Bartoník a Plotěný, 2012).

Tabulka 1 Limitní hodnoty pro mikrobiologické indikátory použité při monitorování bílé vody (BS 8525-1, 2010)

Parametr x [KTJ/100 ml]	Aplikace postřikem	Aplikace bez postřiku		
	Tlakové mytí, zahradní rozstřikovač a mytí vozidel	Splachování WC	Zavlažování zahrad *)	Praní
<i>E. coli</i>	nezjištěno	250	250	nezjištěno
Střevní enterokoky	nezjištěno	100	100	nezjištěno
<i>Legionella pneumophila</i>	10	-	-	-
Koliformní bakterie celkem	10	1000	1000	10

*) Pokud by voda byla použita v zelinářských zahradách, měly by být informace o úpravě těchto plodin před použitím poskytnuty odběratelům (doporučení pro vaření, loupání, o důkladném mytí v pitné vodě apod.)

Technologické procesy pro čištění šedých vod fungují na základě fyzikálních, chemických a biologických procesů. Bez ohledu na typ šedé vody je velice důležitá první fáze zahrnující separaci pevných látek v septicích a různých typech sítí a filtrů. Díky tomu je zabráněno ucpávání systémů hrubými nečistotami. Další fáze by měly být přizpůsobeny lokálním požadavkům. V případě nízkého znečištění prochází šedá voda chemickým čištěním, následně je čištěna přes filtry a případně dezinfikována (chlór, UV záření). Pokud je voda silněji znečištěna, je vhodné použít biologické čištění, filtraci a v některých případech dezinfekci. Šedá voda procházející membránovým bioreaktorem

se vyznačuje velice nízkým stupněm znečištění a splňuje nejpřísnější normy. S ohledem na systémy recyklace šedé vody existuje několik základních typů (BS 8252-1, 2010):

- Systém opětovného využití,
- systém krátkodobé retence,
- fyzikálně chemický základní systém,
- biologický systém,
- bio-mechanický systém a
- hybridní systém.

Systém přímého opětovného využití je řešením tam, kde nejsou zařazeny žádné procesy čištění, a šedá voda není skladována. Jedná se o jednoduchá zařízení, která sbírají šedou vodu a odvádějí ji do míst použití. V těchto systémech je použití šedé vody omezeno pouze na podpovrchové zavlažování a aplikace bez postřiku (BS 8525-1, 2010).

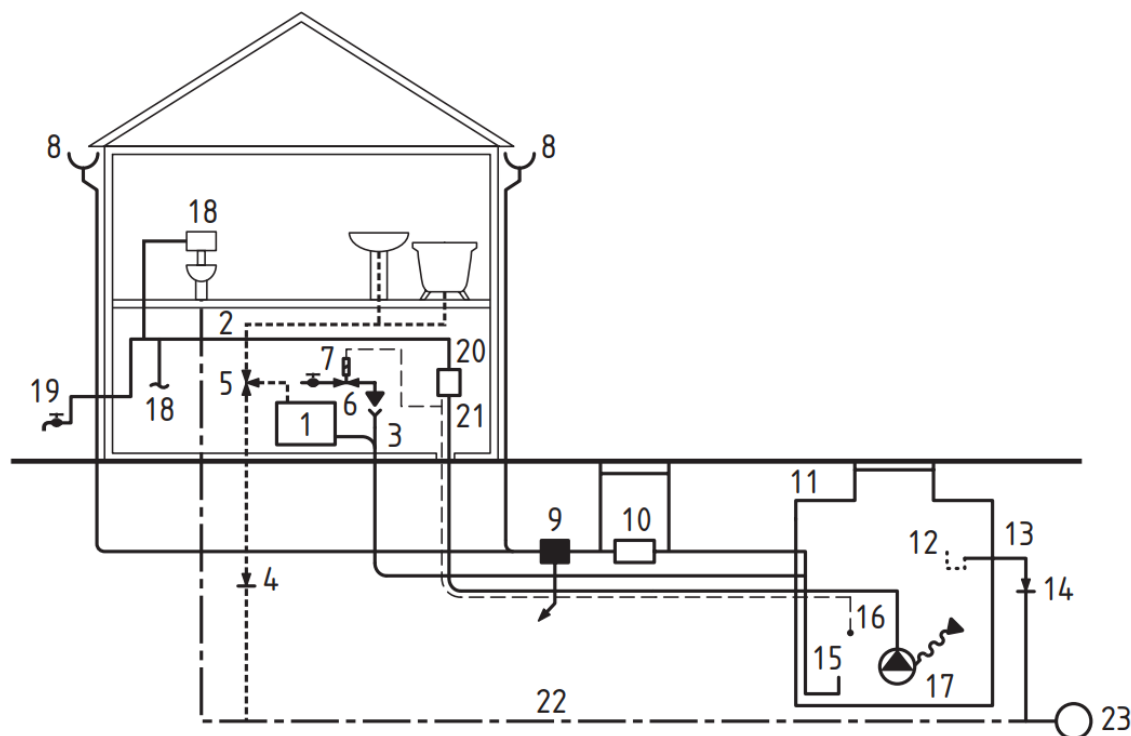
Dalším typem recyklace šedé vody je systém s krátkodobým zadržením šedé vody. Tento systém používá pouze základní čisticí techniky, jako je filtrace a odstraňování nečistot z povrchu šedé vody, tím však umožňuje usazování částic na dně nádrže. Cílem tohoto procesu je především omezit problémy spojené s nepříjemným zápachem a zlepšit kvalitu šedé vody do té míry, aby se mohla krátkodobě uchovávat.

Fyzikálně-chemický systém recyklace je systém, kde se šedá voda před vstupem do retenční nádrže filtruje. Poté v nádrži probíhá chemická dezinfekce, která omezuje růst bakterií během skladování šedé vody.

V biologických systémech se využívají aerobní a anaerobní bakterie, jejichž úkolem je rozkládat organické látky obsažené v šedé vodě. V případě aerobního čištění, lze k provzdušňování vody použít čerpadla, nebo vodní rostliny.

Biomechanické systémy jsou nejmodernější systémy pro opětovné využívání šedé vody v domácnosti. Kombinují biologické a mechanické postupy čištění odpadních vod, např. odstraňování organických látek bakteriemi a pevných látek sedimentací.

Na následujícím obrázku č. 10 je pro představu znázorněno schéma využití vyčištěných šedých a srážkových vod se společnou retenční nádrží.



Obr. 10 Schéma společného využití vyčištěných šedých a srážkových vod se společnou retenční nádrží (BS 8525–1, 2010)

Komponenty pro šedou vodu: 1 - Jednotka pro úpravu šedé vody, 2 - Potrubí odvádějící šedou vodu z koupelny k úpravě, 3 - Potrubí přivádějící upravenou šedou vodu do retenční nádrže, 4 - Zpětná armatura, 5 - Obtok, 6 - Volný odtok, 7 - Záložní přívod vody s elektromagnetickým ventilem.

Komponenty pro odvod dešťové vody: 8 - Okapový žlab, 9 - Svod do vsakovacího zařízení/dešťové kanalizace, 10 - Filtr v přístupové komoře.

Společné komponenty: 11 - Retenční nádrž, 12 - Volitelný odtokový sifon, 13 - Přepad, 14 - Zpětná armatura a zábrana proti škůdcům, 15 - Zklidněný přítok, 16 - Senzor/spínač plováku, 17 - Ponořené čerpadlo s plovoucím sacím košem, 18 - Použití pro jiné, než pitné účely, např. WC, pračka, 19 - Zahradní kohoutek, 20 - Kontrolní jednotka s ochranou čerpadel proti chodu nasucho, 21 - Potrubí rozvádějící dešťovou a upravenou šedou vodu, 22,23 - Kanalizace

K tomu, aby se Univerzita Palackého mohla přiblížit udržitelnému hospodaření s vodou je třeba provést vodní audit a zjistit hodnoty a trendy spotřeby vody za určitá období a na jednotlivých objektech, jestli už Univerzita recykluje šedou vodu, zachytává dešťovou vodu, nebo se na to alespoň chystá. V rámci českých univerzit jsou asi nejlepší systémy zavedeny na České zemědělské univerzitě v Praze. Kampus univerzity se pyšní poměrně velkým podílem zeleně oproti zastavěné ploše a řada budov má tzv. zelené střechy (viz obr. 11). Dešťová voda z budov je zachycována a svádí se do blízkého mokřadu, nebo do podzemní jímky. Mokřad slouží jako zásobárna vody pro hasiče a v případě přebytku vody dochází k infiltraci do okolí. Voda zadržaná v podzemní jímce odkud se využívá k zalévání venkovní výsadby, nebo opět infiltuje do půdy. Stejným směrem

se vydávají i budovy, které jsou momentálně ve výstavbě. U těchto budov je v plánu používat zachycenou vodu ke splachování toalet, či zalévání zelené střechy (ČZU, 2019).



Obr. 11 Zelená střecha kampusu ČZU (ČZU, 2019)

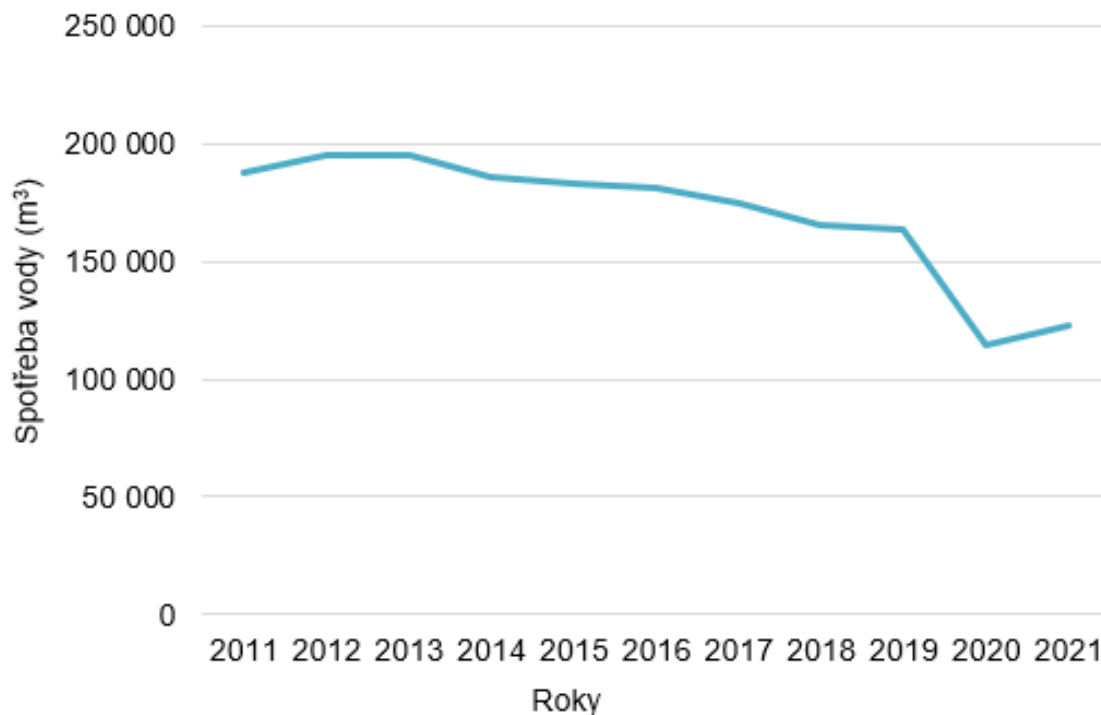
8. Materiály a metody

Potřebná data, tedy fakturované roční objemy spotřeby vody jsme získali od Univerzity Palackého a dalších univerzit (Univerzita J. A. Purkyně v Ústí nad Labem, Univerzita Pardubice, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Masarykova Univerzita v Brně) ve formě excelovských tabulek. Jednotlivé univerzity se značně lišily v kvalitě poskytnutých dat, především v jejich nedostatečnosti; pouze v případě Univerzity Palackého a Univerzity Pardubice bylo možné např. přepočítat spotřebu vody na osobu. Pouze v případě Univerzity Palackého pak bylo možné spotřebu vody rozčlenit dále na dílčí objekty (fakulty).

Poskytnutá data jsem přepočítala a zprůměrovala pro jednotlivé roky jak pro celou univerzitu, tak pro její části (v případě UP): časové období, pro které byly poskytnuté údaje, se rovněž lišily mezi jednotlivými univerzitami, pouze pro UP jako celek a UJEP byl k dispozici i údaj za rok 2021. Z těchto průměrů jsem poté vyjádřila trend spotřeby vody na zmiňovaných univerzitách. Aby bylo možné porovnat velikost změny v trendu spotřeby mezi jednotlivými univerzitami a fakultami UP, vyjádřila jsem tuto změnu v procentech, tj. konečná hodnota spotřeby za rok 2020/21 byla porovnána s výchozím rokem. Dle informací o počtech studentů a zaměstnanců dostupných z výročních zpráv UP v Olomouci za léta 2016-2021 jsem v rámci Univerzity Palackého přepočítala spotřebu vody m^3/osobu za rok. Ze dostupných dat jsem vytvořila tabulku s přepočtem spotřeby vody m^3/osobu za rok i pro Univerzitu Pardubice a výsledné hodnoty porovnála.

9. Výsledky

V případě Univerzity Palackého (obr. 12) je pozorován pozvolný trend poklesu spotřeby vody do roku 2019, kdy došlo k výraznému propadu spotřeby. V následujícím roce 2021 však pozorujeme oproti předešlému roku 2020 zvýšení spotřeby vody. Tento trend lze pozorovat i v rámci jednotlivých fakult, pouze na Právnické fakultě došlo v roce 2020 k výraznému vzrůstu spotřeby vody (viz tab. 2).



Obr. 12 Trend spotřeby vody na Univerzitě Palackého

V případě ostatních univerzit (Univerzita J. A. Purkyně v Ústí nad Labem, Univerzita Pardubice, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Masarykova Univerzita v Brně) vykazují poskytnutá data podobný průběh, v hodnoceném období lze tedy pozorovat jednoznačný trend poklesu spotřeby vody (viz tab. 3).

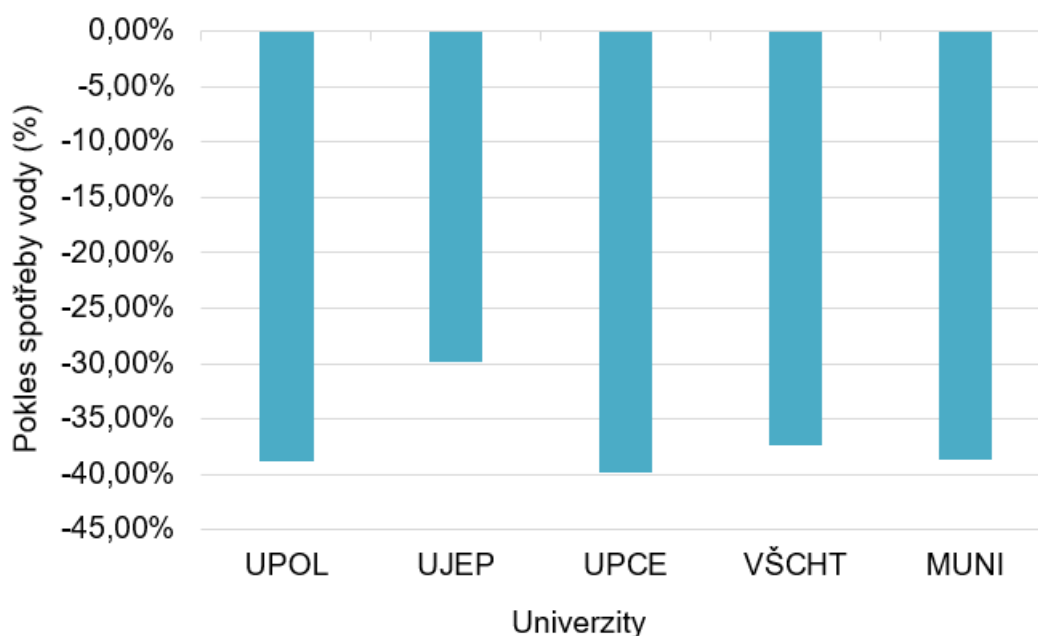
Tabulka 2 Spotřeba vody v období 2011-2020 na jednotlivých fakultách UP

ODBĚROVÉ MÍSTO	ROKY									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Rektorát	5 947	8 555	10 174	5 585	7 020	7 780	7 775	5 741	8 830	5 929
Lékařská fakulta	8 866	10 274	13 159	14 576	15 525	14 524	12 418	10 534	13 753	8 916
Fakulta tělesné kultury	48 070	48 925	44 673	42 593	43 773	43 651	42 622	43 347	44 689	34 462
Cyrlometodějská teologická fakulta	2 878	2 368	1 962	1 942	1 581	1 471	1 259	1 870	1 496	1 069
Správa kolejí a menz	85 021	87 230	89 248	84 826	80 808	81 596	76 950	70 086	60 747	37 476
Filozofická fakulta	7 831	6 578	5 818	6 407	7 129	4 938	5 199	6 389	6 851	4 430
Pedagogická fakulta	6 647	6 419	6 388	6 387	6 638	6 930	7 063	6 341	7 271	4 919
Přírodovědecká fakulta	19 528	22 640	21 173	21 024	17 873	18 488	19 111	18 971	17 951	14 891
Právnícká fakulta	1 924	1 637	1 593	1 490	1 522	1 514	1 583	1 491	1 264	2 096
Fakulta zdravotnických věd	1 098	713	997	753	991	319	835	977	939	712

Tabulka 3 Spotřeba vody na vybraných univerzitách

Období	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Spotřeba m³ UJEP						44 477	42 707	41 702	40 797	35 816	31 200
Spotřeba m³ UPCE	26 494	24 958	25 171	25 160	23 782	23 993	21 429	22 091	21 485	15 938	
Spotřeba m³ VŠCHT					201 035	198 856	205 245	200 896	187 808	125 940	
Spotřeba m³ MUNI			37 191	34 731	35 966	34 557	29 991	30 294	28 789	22 782	

U všech univerzit pozorujeme pokles ve spotřebě vody, který se procentuálně liší (viz obr. 13). Největší pokles jsme zaznamenali u Univerzity Pardubice a Univerzity Palackého. Naopak nejnižší pokles pozorujeme u Univerzity J. A. Purkyně v Ústí nad Labem.



Obr. 13 Pokles spotřeby vody (%) na jednotlivých univerzitách za sledované období

Pro rok 2020 jsme z dostupných dat spočítali spotřebu vodu na osobu v rámci jednotlivých fakult na Univerzitě Palackého (viz tab. 4). Z tabulky vyplývá, že největší spotřebu/osobu za tento rok měla Fakulta tělesné kultury, a to 17,3 m³/rok. Nejmenší spotřebu má Pedagogická fakulta s 0,7 m³/rok.

Tabulka 4 Spotřeba vody na osobu na fakultách UP za rok 2020

FAKULTY	SPOTŘEBA VODY (m³) ZA ROK 2020	ZAMĚSTNANCI+ STUDENTI	SPOTŘEBA NA OSOBU (m³/rok)
Lékařská fakulta	8 916	3 055	2,9
Fakulta tělesné kultury	34 462	1 994	17,3
Cyrilometodějská teologická fakulta	1 069	1 379	0,8
Filozofická fakulta	4 430	5 435	0,8
Pedagogická fakulta	4 191	5 616	0,7
Přírodovědecká fakulta	14 891	3 787	3,9
Právnická fakulta	2 096	1 643	1,3
Fakulta zdravotnických věd	712	1 090	0,7

V následující tabulce č. 5 je uvedena spotřeba vody na osobu celkově pro Univerzitu Palackého. Z tabulky je zřejmý pokles této hodnoty.

Tabulka 5 Univerzita Palackého: Spotřeba vody na osobu za období 2016-2021

OBDOBÍ	2016	2017	2018	2019	2020	2021
SPOTŘEBA (m³)	181 211	174 815	165 747	163 791	114 900	122 544
ZAMĚSTNANCI+ STUDENTI	23 686	23 260	23 273	23 519	25 193	26 072
SPOTŘEBA NA OSOBU (m³)	7,7	7,5	7,1	7,0	4,6	4,7

Pro porovnání jsem z dostupných dat vyjádřila spotřebu vody na osobu na Univerzitě Pardubice. Z tabulky č. 6 je také zřejmý pokles spotřeby s malým vzrůstem v roce 2018.

Tabulka 6 Univerzita Pardubice: spotřeba vody na osobu za období 2016-2020

OBDOBÍ	2016	2017	2018	2019	2020
SPOTŘEBA (m³)	23 993	21 429	22 091	21 485	15 938
ZAMĚSTNANCI+ STUDENTI	7 223	6 625	6 472	6 517	6 691
SPOTŘEBA NA OSOBU	3,3	3,2	3,4	3,3	2,4

10. Diskuse

Spotřeba vody má v ČR obecně od roku 1990 klesající trend, a to především díky vyšší ceně vody, rozsáhlým rekonstrukcím vodovodních a stokových sítí, či vyššímu povědomí obyvatel o ekologii (EEA, 2018). Z dat získaných od několika českých univerzit je zřejmý podobný trend, tedy pokles spotřeby vody na Univerzitě Palackého i ostatních univerzitách za sledované období.

Spotřeba vody na Univerzitě Palackého tedy neustále klesá, výjimkou je rok 2021, kdy se meziročně spotřeba vody oproti předchozímu roku zvýšila. V roce 2020 však v trendu došlo k výraznému meziročnímu poklesu spotřeby vody kvůli absenci značné části zaměstnanců a studentů na UP i ostatních univerzitách z důvodů pandemie covid-19. Pokles spotřeby vody pozorujeme i v rámci jednotlivých fakult, pouze u právnické fakulty se spotřeba lehce zvýšila, je však obtížné určit důvod. V rámci UP se na celkové spotřebě vody nejvíce podílí Správa kolejí a menz spolu s Fakultou tělesné kultury. U Správy kolejí a menz je pravděpodobným důvodem přítomnost studentů na kolejích jakožto ubytovacím zařízením, tudíž si zde studenti vaří, sprchují se a vodu využívají prakticky jako v domácnostech. U Fakulty tělesné kultury bude důvodem pravděpodobně přítomnost bazénů v aplikačním centru Baluo. Nejmenší spotřebu vody mají naopak Fakulta zdravotnických věd a Cyrilometodějská teologická fakulta, a to pravděpodobně kvůli menšímu počtu studentů a zaměstnanců. Nejvyšší pokles spotřeby vody v rámci UP za období 2011-2021 vykázala Správa kolejí a menz-tento pokles činil 56 % a je pravděpodobně zapříčiněn absencí studentů na kolejích a uzavřenými stravovacími zařízeními v roce 2020, v důsledku již zmíněné pandemie covid-19. Nicméně výrazný pokles byl zaznamenán i v letech 2016-2019, kdy byla univerzita v běžném provozu.

Trend poklesu ve spotřebě vody lze pozorovat i u všech vybraných univerzit. Poskytnutá data se mezi jednotlivými univerzitami bohužel lišila, nicméně jsem vyhodnotila, že nejvyšší pokles ve spotřebě vody za hodnocené období vykázala Univerzita Pardubice a to 39,8 %, hned za ní je Univerzita Palackého, naopak nejmenší pokles byl zaznamenala Univerzita J. A. Purkyně s 29,9 %.

Pokud jde o přepočtenou spotřebu vody na hlavu v rámci Univerzity Palackého, tak nejvyšší spotřebu vody vykazovala Fakulta tělesné kultury. Hodnota vychází na 17,3 m³/osobu za rok a je až 24x vyšší než u ostatních fakult. Takto vysoká hodnota je pravděpodobně způsobena již zmiňovanou přítomností plaveckých a dalších bazénů

v aplikačním centru Baluo, které spadá pod Fakultu tělesné kultury. Druhou nejvyšší spotřebu na hlavu má Přírodovědecká fakulta a to sice 3,9 m³/osobu a je oproti ostatním fakultám 4,8x větší. Vyšší hodnotu můžeme přisuzovat přítomnosti velkého počtu laboratoří a obecně i vyššího počtu studentů a zaměstnanců. Nejnižší hodnotu spotřeby vody na osobu mají Pedagogická fakulta a Fakulta zdravotnických věd. U Fakulty zdravotnických věd lze takto nízkou hodnotu očekávat, ovšem u Pedagogické fakulty s cca 5 500 studenty a zaměstnanci je takto nízká spotřeba oproti ostatním fakultám zajímavá.

Spotřeba vody na osobu v rámci Univerzity Palackého vykazuje klesající trend, stejně jako v případě Univerzity Pardubice. Při srovnání spotřeby vody na osobu těchto dvou univerzit jsem zjistila, že u Univerzity Palackého je tato hodnota až 2x větší. Je obtížné určit proč tomu tak je, protože podobně jako na UP, i v rámci UPCE se nacházejí pracoviště náročná na spotřebu vody, jako jsou chemické laboratoře apod. Určitým vysvětlením může být již výše zmíněná vysoká spotřeba vody v rámci Fakulty tělesné kultury, která obecně zvyšuje celkovou spotřebu vody na UP jako celku. Jelikož jsme z poskytnutých dat nebyli schopni rozklíčovat, jestli mezi celkovou spotřebu UPCE zahrnuje i koleje a menzy, mohl by to rovněž svědčit pro menší spotřebu vody na UPCE. Situace bude potřebovat další šetření, nicméně je zde tedy pravděpodobný prostor pro zlepšení.

Pokles spotřeby u Univerzity Palackého činil 38,8 %. V České republice je aktuální průměrná cena za vodu 97,76 Kč/m³, což představuje oproti loňskému roku téměř 4% nárůst (Vodné a stočné, 2022). Při současné ceně za vodu v Olomouci 94,8 Kč/m³ (Cenová mapa, 2022), by tak Univerzita Palackého mohla ušetřit až 7 000 000 Kč. Nicméně na tento celkový pokles spotřeby vody má výrazný vliv pokles spotřeby v roce 2020, který byl ovlivněn pandemií covid-19 a tím způsobenou nepřítomností zaměstnanců a studentů na univerzitách. Pokles lze ale pozorovat i v předešlých letech, a kdybychom si zachovali tento trend poklesu mohla by univerzita i tak ušetřit až 2 500 000 Kč ročně, nebo by při současně rostoucích cenách za energii mohla tato částka kompenzovat minimálně toto zdražování. Důležité bude také doplnění dat za následující období, kdy už naše univerzita funguje bez omezení. Bude spotřeba vody výrazně vzrůstat?

Benefitů při šetření vodou je mnoho. Jde především tedy o ochranu vodních zdrojů, dále finanční úspory, úspora energií a zachování zdraví životního prostředí. K šetření s vodou mohou napomáhat systémy sběru dešťové vody a recyklace vody šedé. Díky opětovnému využívání šedé vody můžeme ušetřit 10-20% celkové spotřeby vody (Gross et al. 2015). Tyto systémy jsou již připraveny k použití na budovách UP na adrese Křižíkovského 8, tř. 17. listopadu a tř. svobody 26, nicméně zatím nejsou v provozu. Šetření s pitnou vodou může usnadnit i instalace nízko průtokových perlátorů, duálního splachování nebo instalace nízko průtokových sprchových hlavic. Díky perlátorům můžeme ušetřit až 32 litrů vody za den na osobu a instalací nízko průtokových sprchových hlavic na koleje může potenciálně snížit spotřebu vody až o 40 % (Knapp et al.,2013).

11. Závěr

Voda je nejrozšířenější látkou na zemi a je důležitá jak pro životní prostředí, tak i pro lidský život samotný. Největší význam má voda sladká, která byla odjakživa využívána lidmi k celé řadě účelů. Dříve byl vliv člověka spíše lokálního charakteru a byl tak zanedbatelný. V současné době však pod vlivem klimatických změn, růstu populace a také urbanizace dochází k ohrožení vodních zdrojů. Udržitelné využívání a ochrana vodních zdrojů jsou proto důležité pro současný rozvoj a existenci budoucích generací.

Šetření pitnou vodou v budovách umožňuje systém sběru dešťové vody ze střech, jelikož se obecně vyznačuje relativní čistotou. V případě vnitřního využívání se vyčištěná dešťová voda používá především ke splachování toalet, praní a úklidu. Vně budovy se voda může používat k zalévání, nebo třeba mytí aut. Dalším způsobem je recyklace šedé odpadní vody, která odtéká ze sprch, umyvadel, praček a myček nádobí a po přečištění může být opět využívána jak na zahradě, tak i v domácnostech např. ke splachování toalet. Opětovné využívání šedé vody může vést k úsporám v rozsahu 10-20 % celkové spotřeby vody.

Z výsledků bakalářské práce vyplývá, že byl zaznamenán pokles spotřeby vody u všech zmíněných univerzit včetně Univerzity Palackého. Pokud se podaří současný trend poklesu spotřeby vody udržet, lze očekávat, že to povede k finančním úsporám a mimo jiné obecně také k ochraně vodních zdrojů. Univerzita Palackého si uvědomuje svou odpovědnost vůči společnosti a životnímu prostředí, proto se rozhodla zaměřit na udržitelný rozvoj a šířit jeho principy na naší univerzitě a mezi veřejností. Podpora dalšího šetření s vodou bude nepochybně patřit mezi hlavní pilíře této udržitelné strategie, přičemž výsledky této bakalářské práce by měly sloužit jako vstupní materiál pro možné budoucí návrhy na opatření pro šetření s pitnou vodou.

12. Seznam použité literatury

- Bartoník, A., Plotěný, K. Čištění šedých vod a možnost využití energie z nich. *Asio: čištění a úprava vod* [online]. Brno: 8. 11. 2012 [cit. 2022-07-20]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/153.cisteni-sedych-vod-a-moznost-vyuziti-energie-z-nich>
- Blocken, B., Derome, D., Carmeliet, J. 2013. Rainwater runoff from building facades: A review. *Building and Environment*, 60: 339-361.
- Boyd, C. E. 2019. *Water quality: an introduction*. Springer Nature.
- Brears, R. C. 2016. *Urban water security*. John Wiley & Sons.
- British Standard BS 8525-1:2010. Greywater systems – Part 1: Code of practice. UK: BSI, 2010
- Butler, D. 1991. A Small-Scale Study of Wastewater Discharges from Domestic Appliances. *Water and Environment Journal*, 5.2: 178-184.
- Butler, D., Memon, F.A. (ed.). 2006. *Water demand management*. Iwa Publishing.
- Cech, T.V. 2009. *Principles of water resources: history, development, management, and policy*. John Wiley & Sons.
- Cenová mapa 2022. *Pravda o vodě* [online]. Praha: Nadace pravda o vodě, 2022 [cit. 2022-07-28]. Dostupné z: https://pravdaovode.cz/cena-vody/?gclid=Cj0KCQjw54iXBhCXARIsADWpsG-z59P2ZyqTwvwtwGqRBPIOqaP2OFOhwgxmL6MQMpHByXeEl3mIwjwaAsv9EALw_wcB
- Chang, M., Crowley, C.M. 1993. Preliminary observations on water quality of storm runoff from four selected residential roofs 1. *Jawra Journal of the American Water Resources Association*, 29.5: 777-783.
- Chang, M., Mcbroom, M.W., Beasley, R.S. 2004 Roofing as a source of nonpoint water pollution. *Journal of environmental management*, 73.4: 307-315.
- Chong, M.N., Sidhu, J., Aryal, R., Tang, J., Gernjak, W., Escher, B., Toze, S. 2013. Urban stormwater harvesting and reuse: a probe into the chemical, toxicology and microbiological contaminants in water quality. *Environmental monitoring and assessment*, 185.8: 6645-6652.
- Council, C.C. 2003. *Waterways. Wetlands and Drainage Guide*.
- Češi v domácnostech denně spotřebují přes 89 litrů pitné vody. *Český statistický úřad* [online]. Praha: Český statistický úřad, 2019 [cit. 2022-07-25]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/cesi-v-domacnostech-denne-spotrebujji-pres-89-litru-pitne-vody>
- Davie, T., Quinn, N. W. 2019. *Fundamentals of hydrology*. Routledge.

Despins, C., Farahbakhsh, K., Leidl, C. 2009. Assessment of rainwater quality from rainwater harvesting systems in Ontario, Canada. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 58.2: 117-134.

Dodds, W.K. 2002. *Freshwater ecology: concepts and environmental applications*. Elsevier.

Dias, T.F., Kalbusch, A., Henning, E. 2018. Factors influencing water consumption in buildings in southern Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 184: 160-167.

Dopady, adaptace a zranitelnost. Hlavní teze ze Shrnutí pro politiky Pracovní skupiny II IPCC. *Tzbinfo* [online]. Ing. Bronislav Bechník, Ph.D., 10. 4. 2014 [cit. 2022-07-12]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/klimaticke-zmeny/11065-chmurne-predpovedi-dopadu-zmeny-klimatu-pro-druhou-polovinu-stoleti>

Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., Ledin, A. 2002. Characteristics of grey wastewater. *Urban water*, 4.1: 85-104.

EurEau. 2017. Europe's water in figures. An overview of the European drinking water and waste water sectors. European Federation of National Associations of Water Services.

Federal interagency stream restoration working group. 1998. *Stream corridor restoration: Principles, processes, and practices*. National Technical Info Svc,

Foster, S.S.D. 2001. The interdependence of groundwater and urbanisation in rapidly developing cities. *Urban water*, 3.3: 185-192.

Ghaitidak, D.M., Yadav, K.D. 2013. Characteristics and treatment of greywater—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 20.5: 2795-2809.

Gleick, P.H. 1996. Basic water requirements for human activities: meeting basic needs. *Water international*, 21.2: 83-92.

Grant, G. 2016. *The water sensitive City*. John Wiley & Sons.

Gross, A., Maimon, A., Alfiya, Y., & Friedler, E. 2015. *Greywater reuse*. CRC Press.

Gross, A., Shmueli, O., Ronen, Z., Raveh, E. 2007. Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW)—a novel method of recycling greywater for irrigation in small communities and households. *Chemosphere*, 66.5: 916-923.

Hussien, W.E.A., Memon, F. A., Savic, D. A. 2016. Assessing and modelling the influence of household characteristics on per capita water consumption. *Water Resources Management*, 30.9: 2931-2955.

Jak ČZU hospodaří s dešťovou vodou? *Česká zemědělská univerzita v Praze* [online]. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 22.10.2019 [cit. 2022-07-25]. Dostupné z: <https://csr.czu.cz/cs/r-15107-aktuality-csr/jak-czu-hospodari-s-des-ovou-vodou.html>

Járová, Kateřina a Tereza Hudcová. *Biochemická spotřeba kyslíku (BSK) ve vodách* [online]. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2017 [cit. 2022-07-17]. Dostupné z: https://www.vfu.cz/files/sop-03_bsk.pdf

Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R., & Judd, S. 2004. Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water science and technology*, 50.2: 157-164.

Justes, A., Barberán, R., Farizo, B. A. 2014. Economic valuation of domestic water uses. *Science of the Total Environment*, 472: 712-718.

Knapp, R., Syed, I., Lallathin, C. *ECU Dormitory Water Audit* [online]. In: Severní Karolína: ECU, 2013 [cit. 2022-07-29]. Dostupné z: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.907.9445&rep=rep1&type=pdf>

Králová, M. *Atmosférické srážky*. *Techmania science center: eduportál* [online]. Plzeň: Techmania Science Center, 2007 [cit. 2022-07-20]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/meteorologie/atmosfericke-srazky>

Lee, J. Y., Yang, J. S., Han, M., Choi, J. 2010. Comparison of the microbiological and chemical characterization of harvested rainwater and reservoir water as alternative water resources. *Science of the Total Environment*, 408.4: 896-905.

Lee, J. Y., Bak, G., Han, M. 2012. Quality of roof-harvested rainwater—comparison of different roofing materials. *Environmental Pollution*, 162: 422-429.

Lee, M., Kim, M., Kim, Y., Han, M. 2017. Consideration of rainwater quality parameters for drinking purposes: A case study in rural Vietnam. *Journal of environmental management*, 200: 400-406.

Lerner, D. N. 2002. Identifying and quantifying urban recharge: a review. *Hydrogeology journal*, 10.1: 143-152.

Mallett, R. K., Melchiori, K. J. 2016. Creating a water-saver self-identity reduces water use in residence halls. *Journal of Environmental Psychology*, 47: 223-229.

Melidis, P., Akrotos, C. S., Tsihrintzis, V. A., Trikilidou, E. 2007. Characterization of rain and roof drainage water quality in Xanthi, Greece. *Environmental monitoring and assessment*, 127.1: 15-27.

Mendez, C. B., Klenzendorf, J. B., Afshar, B. R., Simmons, M. T., Barrett, M. E., Kinney, K. A., Kirisits, M. J. 2011. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. *Water research*, 45.5: 2049-2059.

Niemczynowicz, J. 1999. Urban hydrology and water management—present and future challenges. *Urban water*, 1.1: 1-14.

Oron, G., Adel, M., Agmon, V., Friedler, E., Halperin, R., Leshem, E., & Weinberg, D. 2014. Greywater use in Israel and worldwide: standards and prospects. *Water research*, 58: 92-101.

Ottoson, J., & Stenström, T. A. 2003. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. *Water research*, 37.3: 645-655.

Pokřývková, J., Jurík, L., Hanzlík, R. 2020. Water Retention in Urban Areas in the Danube Region: Study on Facts, Activities, Measures and Their Financial Assessment.

Quek, U., Förster, J. 1993. Trace metals in roof runoff. *Water, Air, and Soil Pollution*, 68.3: 373-389.

Ragab, R., Rosier, P., Dixon, A., Bromley, J., Cooper, J. D. 2003. Experimental study of water fluxes in a residential area: 2. Road infiltration, runoff and evaporation. *Hydrological processes*, 17.12: 2423-2437.

Ramulongo, L., Nethengwe, N. S., Musyoki, A. 2017. The nature of urban household water demand and consumption in Makhado Local Municipality: A case study of Makhado Newtown. *Procedia Environmental Sciences*, 37: 182-194.

Russac, D. A. V., Rushton, K. R., Simpson, R. J. 1991. Insights into domestic demand from a metering trial. *Water and Environment Journal*, 5.3: 342-351.

Shiklomanov, I. A., Rodda, J. C. (ed.). 2004. *World water resources at the beginning of the twenty-first century*. Cambridge University Press.

Spellman, F. R. 2020. *The science of water: concepts and applications*. CRC press.

Sły's, D. 2013. Zrównoważone systemy odwodnienia miast. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław.

Spotřeba vody. SČVK [online]. Teplice: Severočeské vodovody a kanalizace, © 2022 [cit. 2022-07-17]. Dostupné z: <https://www.scvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>

Spotřeba vody v Evropě. *Evropská agentura pro životní prostředí* [online]. Kodaň: Evropská agentura pro životní prostředí, 2018, 13. 11. 2018 [cit. 2022-07-25]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/signaly/signaly-2018/clanky/spotreba-vody-v-evrope-2013>

Stec, A. 2020. Sustainable Water Management in Buildings. *Water Science and Technology Library*, 90.

Šedá voda aneb Jak se dělí odpadní voda v domácnosti. *Zakra* [online]. Mgr. Michal Kraus, 2022, 21.1. [cit. 2022-07-12]. Dostupné z: <https://zakra.cz/blog/jak-se-deli-odpadni-vody-v-domacnosti/>

The Fundamentals of the Water Cycle. *USGS: science for a changing world* [online]. New York: USGS, 2019, [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/fundamentals-water-cycle>

Udržitelná univerzita. *Udržitelná univerzita* [online]. Olomouc: Univerzita Palackého, ©2022 [cit. 2022-07-22]. Dostupné z: <https://udrzitelna.upol.cz/kdo-jsme/>

United nations [online]. New York: United nations, ©2022 [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://www.un.org/en/>

Vialle, C., Sablayrolles, C., Lovera, M., Jacob, S., Huau, M. C., Montrejaud-Vignoles, M. 2011. Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. *Water research*, 45.12: 3765-3775.

Villarreal, E. L., Dixon, A. 2005. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment*, 40.9: 1174-1184.

Vodné a stočné 2022: Cena vody v 225 městech ČR. *Elektrina* [online]. Ušetřeno, 2022, 18. 02. 2022 [cit. 2022-07-28]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/vodne-a-stocne-2022-cena-vody-v-225-mestech-cr>

Vodohospodářský slovník. *Povodí Moravy* [online]. Brno: Povodí Moravy, s.p., © 2010–2022 [cit. 2022-07-16]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/uzitecne/vodohospodarsky-slovník/vodni-zdroj/>

Vodovody, kanalizace a vodní toky - 2021. *Český statistický úřad* [online]. Praha: Český statistický úřad, 2022, 02.05.2022 [cit. 2022-07-17]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/vodovody-kanalizace-a-vodni-toky-2021>

Willis, R. M., Stewart, R. A., Giurco, D. P., Talebpour, M. R., Mousavinejad, A. 2013. End use water consumption in households: impact of socio-demographic factors and efficient devices. *Journal of Cleaner Production*, , 60: 107-115.

World Population Prospects 2022: Summary of Results [online]. New York: United Nations, 2022 [cit. 2022-07-16]. Dostupné z: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf

Zdeb, M., Papciak, D., Zamorska, J. 2018. An assessment of the quality and use of rainwater as the basis for sustainable water management in suburban areas. In: *E3S Web of conferences*. EDP Sciences, 2018. p. 00111.