

Služby ekosystémů – klíč k naší budoucnosti?

Martina Tišocká

Bakalářská práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav inženýrství ochrany životního prostředí

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Martina Tišocká**
Osobní číslo: **T19382**
Studijní program: **B0711A130009 Materiály a technologie**
Specializace: **Ochrana životního prostředí**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Služby ekosystémů – klíč k naší budoucnosti ?**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte literární rešerši, zaměřenou na objasnění pojmu „služby ekosystémů“ i na jejich popis, a vypracujte detailnější přehled ekosystémových služeb, které lidstvu poskytují ekosystémy podzemních vod.
2. Přednostně využijte odbornou literaturu získanou z vědeckých databází a případně informace z respektovaných učebnic ekologie.
3. Získané poznatky přehledně zpracujte a práci odevzdejte v tištěné i elektronické formě v řádném termínu.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Nátr Lubomír Příroda, nebo člověk? : služby ekosystémů. Karolinum 2011.
Griebler Ch., Avramov M.: Groundwater ecosystem services: a review. Freshwater Science, 2015, 355–367.
Vědecké zdroje zahrnuté v databázích Web of Science a ScienceDirect.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. RNDr. Jan Růžička, Ph.D.**
Ústav inženýrství ochrany životního prostředí

Datum zadání bakalářské práce: **31. prosince 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **19. května 2023**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Mgr. Marek Koutný, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 17. února 2023

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem bakalářskou práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

V této bakalářské práci na základě rešerše jsem se zabývala ekosystémy, ekosystémovými službami a tím, jak tyto ekosystémové služby jsou prospěšné pro lidstvo. Popisuji ekosystémy jako zdroj obrovského množství a rozmanitosti přírodních zdrojů a organismů. Dále se snažím popsat služby ekosystémů, které nabízejí člověku velké přínosy. Konkrétně jsem se věnovala ekosystémům podzemních vod a ekosystémovým službám, které podzemní vody poskytují, a které mají velkou společenskou a ekonomickou hodnotu.

Klíčová slova: ekosystém, služby ekosystémů, podzemní voda, biodiverzita, kontaminanty, patogeny

ABSTRACT

In this bachelor thesis, based on my research, I examined the ecosystems, the ecosystem services and how these ecosystem benefit the humanity. I describe these ecosystems as the source of a vast amount and diversity of natural resources and organisms. I was also trying to describe the ecosystem services that offer great benefits to people. Specifically, I was focusing on groundwater ecosystems and the ecosystem services that groundwater provides, which are of great social and economic value.

Keywords: ecosystem, ecosystem services, groundwater, biodiversity, contaminants, pathogens

Děkuji svému vedoucímu práce za jeho čas, připomínky a komentáře k probíranému tématu. Taktéž bych chtěla poděkovat své rodině za veškerou podporu během studia, bez které by bylo studium znatelně obtížnější. Poděkování patří také mému zaměstnavateli za umožnění studia při zaměstnání.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

OBSAH	7
ÚVOD	8
1. EKOSYSTÉMY	9
1.1 Typy ekosystémů	10
2. SLUŽBY EKOSYSTÉMŮ	14
2.1 Členění služeb ekosystémů	15
3. SLUŽBY VODNÍCH EKOSYSTÉMŮ.....	18
3.1 Ekosystémy podzemních vod	20
3.2 Služby ekosystémů podzemní vody	23
4. HODNOCENÍ SLUŽEB VODNÍCH EKOSYSTÉMŮ.....	37
5. ZÁVĚR	38
6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	40
7. SEZNAM OBRÁZKŮ.....	52

ÚVOD

Přírodní ekosystémy poskytují lidem řadu produktů a služeb, které zahrnují zásadní potřeby lidské společnosti. I přesto, že jsou tyto produkty a poskytované ekosystémové služby velmi důležité, jsou lidskou společností nedocenené nebo dokonce zcela ignorované. Podzemní voda je nejstarším a největším kontinentálním biotopem a je pro společnost lidí i živočichů a rostlin životně důležitým zdrojem. Podzemní voda je vnímána spíše jako základní zdroj pitné vody, zavlažování a využití v průmyslu, nikoliv jako živá substance se skrytou biodiverzitou, která zajišťuje základní funkce a procesy.

Ekologické funkce podzemních vod jsou závislé na přirozených biologických, chemických a fyzikálních procesech, které se v nich odehrávají. A právě z těchto probíhajících procesů plynou pro lidstvo důležité přínosy ekosystémových služeb. Ekosystémy podzemních vod jsou důležitou částí hydrologického cyklu a zaslouží si podobnou pozornost, pokud jde o ochranu, hodnocení a průzkum, jako ekosystémy povrchových vod.

Podzemní vody jsou součástí důležitého sladkovodního hydrologického vztahu. Jsou domovem jedinečných a rozmanitých bakterií a metazoálních společenstev, která lidem poskytují základní ekosystémové služby.

Hodnocení stavu podzemních vod by mělo obsahovat charakterizaci mikrobiálních, bezobratlých i obratlovců a přírodních parametrů a konkrétně zahrnovat zajištění funkcí, které poskytují ekosystémové služby.

V této bakalářské práci se pokusím nastínit co nejvíce ekosystémových služeb, které nám poskytují ekosystémy podzemních vod a pokusím se najít odpověď na otázku, zda jsou ekosystémové služby klíčem k naší budoucnosti.

1. EKOSYSTÉMY

Ekosystém je soustava živých a neživých složek, které jsou vzájemně propojeny výměnou látek, tokem energie, vzájemně se ovlivňují a vyvíjejí v určitém prostoru a čase. Pojem ekosystém poprvé uvedl v roce 1935 anglický botanik a ekolog Sir Arthur George Tansley (Plamínek 2017).

Tansley uvedl, že ekologové by měli pohlížet na organismy a prostředí, ve kterém se nachází, jako na celý systém a tyto složky neoddělovat. Naznačil, že ekosystémy jsou dynamicky rozvíjející se systémy. Inspiroval tak R. L. Lindemana, ekologa, jehož výzkum byl zaměřen na studium oblasti ekologie ekosystémů. Lindenman se své průlomové práci věnoval fungování ekosystému jezera Cedar Creek Bog, v Minnesotě. Ukázal, jak jsou organismy na sobě navzájem závislé a jak je důležité prostředí, ve kterém se nachází, na jejich přežití. I když termín ekosystém uvedl Tansley v roce 1935, písemné dochované záznamy ukazují, že o tom, jak ekosystémy fungují věděli už lidé před tisíce lety, např. z písemné dokumentace práce Aristotela. (Schowalter 2022)

Ekosystém je soustava organismů a životního prostředí. Všechny živé složky, živočichové, rostliny a různé mikroorganismy v ekosystému se nazývají biotické a tvoří spolu biocenózu. Voda, půda, vzduch, sluneční záření, teplota, nadmořská výška, vítr, minerály, různé živiny jsou složky neživé neboli abiotické. Biotop je stanoviště, které je charakterizováno určitým typem abiotického a biotického prostředí, které dává vznik určitým typům rostlinných a živočišných společenstev. Při změně enviromentálních faktorů nebo přírůstkem nových druhů může dojít k narušení tohoto ekosystému a jeho funkcí, které mohou vést až ke zhroucení celého ekosystému (Balasuhramanian 2008).

Ekosystém je zdrojem velkého množství a rozmanitosti přírodních zdrojů a organismů. Je to systém, ve kterém dochází k vzájemnému působení organismů a přírody. Je charakteristický tím, že tok energie a hmoty je neustálý a tím umožňuje ekologickou posloupnost společenstev organismů, které jej tvoří (Walsh 2019).

Hlavními funkcemi ekosystémů jsou biogeochemické cykly (tzv. koloběh látek) a tok energie. Biogeochemické cykly jsou důležité pro vývoj a pokračování života na Zemi. Dochází k nim díky toku energie, která v ekosystému proudí prostřednictvím organismů a jejich činností. Mezi nejvýznamnější biogeochemické cykly patří hydrologický cyklus, cyklus uhlíku, dusíku, síry a cyklus fosforu.

Hydrologický cyklus je přirozená cirkulace vody na Zemi. Dochází při ní ke změnám skupenství vody, jejího stavu, místa a všech procesů, které jsou s těmito změnami spojeny. Koloběh uhlíku je dalším významným biogeochemickým cyklem. Uhlík se vyměňuje mezi biosférou, litosférou, hydrosférou a atmosférou. Koloběh dusíku je biogeochemický cyklus, který popisuje přeměnu dusíku a jeho sloučenin v přírodě. Mezi další důležitý biogeochemický cyklus patří koloběh síry, kde velkou roli hrají organismy, které rozkládají nebo uměle vytváří různé sírné sloučeniny. Další významným cyklem je cyklus fosforu, který popisuje pohyb fosforu litosférou, biosférou a hydrosférou. Dalšími funkcemi ekosystémů jsou vytváření potravních řetězců, schopnost biodiverzity, evoluce, fotosyntéza, rozklad, soužití (Watanabe a kol 2011).

Energie je získávána především ze slunce. Vstupuje do organismů a postupuje dále jako energetický tok. Tok energie přechází z organismu na organismus a vychází z ekosystému jako teplo. Tok energie je základem všech vzájemných působení a vztahů v ekosystému. Energie se získává i nepřímo, bez slunce. Například organismy, které žijí v hlubokých oceánských termálních průduších používají jako zdroj energie anorganické chemické sloučeniny (Covich 2013).

1.1 Typy ekosystémů

Všechny typy ekosystémů lze rozdělit do dvou skupin ekosystémů, a to na suchozemské ekosystémy a vodní ekosystémy. Suchozemské ekosystémy jsou lesy, pouště, savany, pastviny, džungle, travnaté porosty, louky. Mezi vodní ekosystémy patří ekosystémy řek, potoků, pramenů, bažin, močálů, jezer a moří a oceánů. Rozdíl mezi suchozemskými a vodními ekosystémy je v tom, že se liší nejen typem povrchu, na kterém se nachází, ale i různorodostí a početností organismů, které v něm žijí (Townsend a kol. 2010).

K suchozemským ekosystémům a vodním ekosystémům patří umělé ekosystémy. Umělé ekosystémy jsou systémy, které svou činností vytvořil a udržuje člověk. Řadíme k nim uměle vybudované rybníky, přehrady, kanály, nádrže, vinice, sady, pole, parky. Antropogenní ekosystémy mají některé vlastnosti jako přírodní ekosystémy, ale bez lidského zásahu a údržby by nemohly existovat. Pro antropogenní ekosystémy je často typické malé množství druhů organismů. Ve většině z nich jsou také narušeny vztahy mezi druhy a je tedy potřeba dodávat systému energii, aby mohl existovat. Dodatková energie se dostává do takových systémů například prostřednictvím hnojiv na pole, zavlažováním parků, řízenou regulací výšky hladiny přehrad, výlovem a zarybněním rybníků apod (Guidotti 2015).

Suchozemské prostředí je výrazně ovlivněno podnebím, nejvíce teplotou, vlhkostí a přítomností bouřek. Podnebí se během roku liší v čase, v závislosti na nadmořské výšce a zeměpisné šířce. Podle klima, které převládá a na vývoji fauny a flóry, existují různé typy suchozemských ekosystémů. Lesní ekosystémy jako je deštný prales, tundra, tajga, lesy v mírném pásmu zeměpisné šířky, savana, vřesoviště jsou nejnámější suchozemské ekosystémy. Hlavním rysem fungování lesních ekosystémů je biodiverzita. Typ lesa a druhová rozmanitost ovlivňují biologickou různorodost lesů. Různorodost lesů je důležitým faktorem funkce ekosystému (Brockerhoff a kol. 2017).

Lesní ekosystémy také mají velký význam v regulaci atmosféry a klimatu. Podle klimatu členíme lesní ekosystémy na tropické deštné pralesy, lesní ekosystémy mírného pásu a boreální lesní ekosystémy. Jsou to tropické deštné lesy, které svou regulací klimatu ovlivňují klima nejen v místě kde se nachází, ale mají vliv i na klima celé planety Země. Na jedné straně jsou vystavené změnám klimatu a na druhé straně průběh těchto změn ovlivňují zejména z pohledu hromadění a uvolňování uhlíku, ovlivňování vodního systému a dalších regulačních mechanismů, které ovlivňují klimatický systém Země (Smith a kol. 2013).

Pouště jsou suché ekosystémy. Charakteristickým rysem pouští je nedostatek srážek, vysoké odpařování a převládající působení větru. Pro pouště jsou typické písčité půdy se skalnatým podkladem. Klima je zde hodně svérázné, projevuje se střídáním vysokých teplot během dne a nízkých teplot v noci, srážky jsou zde ojedinělé a velmi vzácné. Vzhledem k velmi slabým srážkám a písčitém půdám mají pouště velmi malou schopnost zadržet vodu. Přítomnost vody je důležitým prvkem. Oáza je úrodné místo v poušti s vegetací, kde se k povrchu dostává podzemní voda (Balasuhramanian 2013).

Vodní ekosystémy mají zásadní význam pro rozvoj a růst všech vodních organismů. Vodní ekosystémy jsou rozděleny na sladkovodní vodní ekosystémy a mořské vodní ekosystémy. Sladkovodní ekosystémy jsou rozděleny do dvou kategorií, a to lentické ekosystémy a lotické ekosystémy. Lentické sladkovodní ekosystémy zahrnují veškeré stojaté vodní útvary jako jsou bažiny, močály a jezera, a lotické sladkovodní ekosystémy, které zahrnují všechny tekoucí vody jako jsou prameny, řeky, potoky (Marsh a kol. 1999).

Bažiny, močály a jezera jsou stojaté, víceméně uzavřené vodní útvary se silnými ekosystémy obklopené zemí. Hlavní znakem těchto útvarů je odpařování vody z povrchů a vytváření sedimentů na dně. Teplota vody se mění v závislosti na prostoru a čase. Zdrojem energie je sluneční světlo. Na teplotě, světle a kyslíku dodávaného ze vzduchu, závisí život organismů, existence rostlin a funkce ekosystémů v těchto stojatých vodách.

Prameny, potoky, říčky a řeky jsou tekoucí vody, jsou to silní geologičtí činitelé. Mají schopnost rozrušovat a vymílat břehy, přemísťovat a ukládat sedimenty. Živočichové a rostliny, kteří se v těchto vodách nebo v jejich blízkosti nacházejí, jsou tak vystaveny silným faktorům prostředí jako jsou vodní proudy a nánosy sedimentů. Existuje řada živočichů a rostlin, které žijí v tekoucích vodách, stejně jako existuje velká spousta živočichů a rostlin žijících podél těchto vod a v jejich blízkém okolí. Ti jsou na sobě víceméně navzájem závislí a jakákoliv změna – povodně nebo vypouštění odpadních vod – může tyto ekosystémy tekoucích vod narušit (Balasuhramanian 2011).

Mořské ekosystémy jsou největší vodní ekosystémy na Zemi. Mají své vlastní různé ekosystémy jako jsou oceány, moře, pobřežní oblasti, korálové útesy. Jejich hlavní složkou je slaná voda. Obsahují rozmanitou škálu biotických a abiotických činitelů. K biotickým činitelům patří živočichové, rostliny a mikroby, mezi důležité abiotické faktory patří množství slunečního světla v ekosystému, množství kyslíku a živin rozpuštěných ve vodě, hloubka a teplota (Arrigo 2014).

Sluneční světlo je jedním z nejdůležitějších abiotických faktorů. Podle množství světla jsou mořské ekosystémy rozděleny do několika částí. Na povrchu oceánu a asi metr pod hladinou, se nachází jedinečný ekosystém pro toto prostředí. Organismy, které zde žijí se musí potýkat s působením chemických a fyzikálních vlastností, působením vln a klimatických změn. Povrch je domovem společenství volně žijících plovoucích organismů jako jsou řasy, plankton. Do hloubky asi 150 metrů pod hladinou se nachází eufotická zóna, ve které se nachází většina mořského života. Tato vrstva je dobře prosvětlená, dopadá sem největší část slunečního záření. V této zóně žijí například, medúzy, různé druhy kytovců (Helm 2021).

Pod eufotickou zónou je zóna dysfotická, která se nachází v rozmezí hloubky 150-1000 metrů pod hladinou. V těchto hloubkách je pouze tolik slunečního světla, aby usnadnilo fotosyntézu některých skupin fytoplanktonu, reprezentovaných červenými řasami. Pod dysfotickou zónou je afotická zóna. Je to zóna, kam se nedostává téměř žádné sluneční světlo, nerostou zde žádné zelené rostliny. Zde žijí organismy, které aby přežili, spoléhají na organickou hmotu, která se k nim ponoří. Mnoho takových organismů dokonce vytváří vlastní světlo, aby potravu našlo nebo ji přilákalo. Jedná se například o různé druhy bakterií a hub, patří sem taky korály a některé druhy měkkýšů (Harris 2018).

Korálové útesy jsou zvláštním typem ekosystému mořského dna. Zároveň jsou nejrozmanitějším symbiotickým systémem na světě.

Korálové útesy jsou tvořeny koloniemi korálových polypů, které se shlukují, a které jsou drženy pohromadě uhličitánem vápenatým, který korály vylučují na tvorbu tvrdých schránek a ty poté korál zpevňují a chrání. Mnoho organismů jako jsou krabi, korýši, ryby, mnoho druhů hub, červů, mlžů, ježků žije v symbióze s korály, které jim poskytují útočiště, obživu a taky ochranu před predátory (Blackall a kol. 2015).

K největším ekosystémům na Zemi patří ekosystémy polárního mořského ledu. Nacházejí se na severu v Severním ledovém oceánu, v okolí Aljašky, na jihu se vyskytují v oblasti Arktidy a v okolním Jižním oceánu. Ekosystémy mořského ledu poskytují potravu pro mnoho organismů, jsou domovem mnoha druhů bakterií, řas a ryb. Ekosystémy mořského ledu jsou značně ovlivňovány klimatickými podmínkami, rozsahem a tloušťkou mořského ledu, koncentrací živin, rychlostí tání a rychlostí růstu ledu, rozložením tloušťky sněhu. To určuje vhodnost mořského ledu jako mikrobiálního stanoviště a důležité složky polární mořské ekologie a biogeochemie (Arrigo 2014).

2. SLUŽBY EKOSYSTÉMŮ

Příroda a ekosystémy poskytují člověku mnohé rozmanité výhody. Ekosystémy, které v přírodě fungují ve zdravých vztazích, nabízejí člověku velké přínosy. A tyto zisky jsou ekosystémovými službami. Ekosystémové služby poskytují člověku buď přímo, nebo nepřímo velké výhody, jako je zajištění potravin či paliv, ale také čistou vodu a čistý vzduch. Ekosystémové služby poskytují množství rekreačních, duchovních a estetických možností a tím udržují člověka ve fyzické a duševní pohodě (La Note a kol. 2017).

Pojem služby ekosystémů je potřebný k tomu, aby si lidé uvědomili, jak velmi jsou na přírodě a přírodních ekosystémech závislí. Prvotní myšlenku o ekosystémových službách lidstvu uvedl G.P.Marsh, který ve své knize *Man and Nature* z roku 1864 poukázal na to, že přírodní zdroje nejsou nevyčerpatelné (Nárt 2011).

Velmi podobně uvažoval i Aldo Leopold, lesník, filozof, pedagog a spisovatel a ochránce přírody, který je autorem knihy *The Sand County Almanac*, vydané v roce 1948. V této knize se autor článku snaží podnítit lidi, aby se zamysleli nad přírodou, nad vztahy lidí k přírodě, a aby si uvědomili, že oni sami jsou součástí přírody (Berthold a kol. 2004).

Rovněž v roce 1948 byla vydána kniha F. Osborna s názvem *Our Plundered Planet*, ve které se objevilo konstatování, že lidé mohou žít jen díky přírodním činitelům jako je voda, půda, rostliny a živočichové (Nárt 2011).

Tyto, a ještě velká řada dalších publikací pomáhaly lidem si uvědomit, že jejich blahobyt závisí na přírodě. První zmínka termínu služby ekosystémů byla zaznamenána v roce 1970 a formulovala, jak mohou dobře fungující ekosystémy poskytovat komplexní služby lidstvu (Nárt 2011).

Pojetí ekosystémových služeb a ekosystémových výhod, které nám nabízí příroda a její ekosystémy se od roku 1970 rozvíjely. Název ekosystémové služby se stal modelem se zavedenými postupy pro analýzu přínosů, které lidé z ekosystémů získávají (Marttunen a kol. 2021).

Termín “ekosystémové služby“ poprvé oficiálně uvedli v roce 1983 P. R. Ehrlich a H. A. Mooney ve své díle *Extinction, Substitution And Ecosystem Services* (Burnside et al 2022).

V roce 2000 bylo generálním tajemníkem OSN (Organizace Spojených Národů) (www.un.org) Kofi Annanem vyžádáno a zahájeno hodnocení ekosystémů a jejich služeb, jehož cílem bylo posoudit důsledky změny ekosystémů a vyhodnocení opatření, která jsou zapotřebí k posílení ochrany a udržitelného využívání přírody a ekosystémů. Bylo totiž zjištěno, že lidská činnost vyčerpává přírodní bohatství Země a zatěžuje životní prostředí natolik, že schopnost ekosystémů poskytovat služby lidem nelze brát jako samozřejmost (Finlayson 2016).

Výsledné studie byly shrnuty v nejrozsáhlejších Hodnocení ekosystémů k miléniu (Millennium Ecosystem Assessment) v pěti globálních hodnotících zprávách a šesti souhrnných zprávách. V pěti globálních hodnotících zprávách byly hodnoceny měnící se podmínky ekosystémů a jejich služeb, příčiny a důsledky změn ekosystémů pro lidský blahobyt. Šest souhrnných zpráv obsahuje zhodnocení vlivu ekosystémů a ekosystémových služeb na lidský blahobyt a dobré životní podmínky lidstva (Reid a kol. 2005).

Oblast výzkumu ekosystémových služeb je poměrně mladá. Ke skupinám, které věnují pozornost ekosystémům a ekosystémovým službám, patří zejména Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (www.millenniumassessment.org), The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) (www.teebweb.org), Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem services (IPBES) (www.ipbes.net) a Ecosystem Services Partnership (ESP) (www.es-partnership.org). Tyto organizace podporují a rozvíjejí výzkum ekosystémových služeb směrem k udržitelnému rozvoji (Zhang a kol. 2019).

2.1 Členění služeb ekosystémů

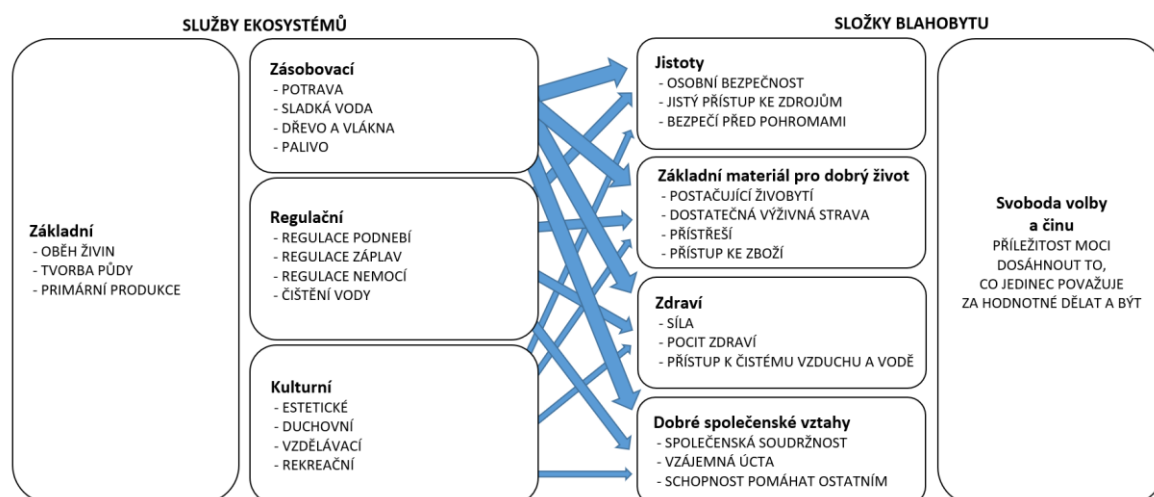
Služby ekosystémů jsou procesy probíhající v ekosystémech a jejich možnosti, které jsou důležité pro přežití a blahobyt lidstva a mají vliv na jejich životní úroveň. Tyto služby mají rozhodující vliv na fungování lidské života na Zemi. Existuje mnoho studií zaměřených na rozdělení a odhad hodnot nejrůznějších služeb ekosystémů. Nejpodrobnější popis služeb ekosystémů provedl tým vědců americko-australského ekologa Robert Costanzy, který rozčlenil služby ekosystémů do 17 skupin. Jako první se také pokusil o vyjádření hodnoty služeb ekosystémů (Costanza a kol. 1998).

Jiné členění služeb ekosystémů provedl v roce 1997 John Cairns Jr., který pro rozdělení služeb ekosystémů do třinácti skupin použil vyjádření jejich biologické podstaty.

Připomíná zde také, že lidé svým konáním ničí služby ekosystémů, a to buď likvidací samotných ekosystémů nebo omezováním jejich činností a tím i omezováním jejich budoucích služeb pro lidstvo (Cairns 1997).

V roce 2000 byl zahájen projekt Hodnocení služeb ekosystémů k miléniu (Millenium Ecosystem Assessment, MEA). Na jeho vypracování se podílelo více než 1360 významných vědců jak přírodovědných oborů, tak sociologů, z celého světa. Závěrečné zprávy tohoto projektu, včetně hodnocení a rozdělení služeb ekosystémů byly vydány v roce 2005 (Finlayson 2016).

V tomto dokumentu (Hodnocení služeb ekosystémů k miléniu) jsou služby ekosystémů rozděleny do čtyř základních skupin.



Obrázek 1 - Rozdělení služeb ekosystémů a jejich přínosy pro lidský blahobyt v souvislosti s provázáním s jejich přínosy pro lidský blahobyt (zdroj: MEA 2005)

První skupina je skupina základních služeb, které obsahují koloběh živin, tvorbu půdy a udržování její úrodnosti, fotosyntézu. Druhou skupinu tvoří regulační služby. Do této skupiny náleží regulace podnebí, koloběh vody, kvality ovzduší, regulace lidských nemocí, nakládání s odpady. Třetí skupinu tvoří služby zásobovací. Jde o produkci potravin, přírodní léčiva, paliva, zásobování pitnou vodou. Čtvrtá skupina jsou kulturní služby, které zahrnují estetické, náboženské a duchovní hodnoty. Patří sem taky oblast vzdělávání a rekreace a turistika (Reid a kol. 2005).

Dále lze rozčlenit služby ekosystémů podle používaných jednotlivých pojmů. K.J.Wallace toto rozčlenění provedl na základě přesně definovaných pojmů. Na obrázku 2 je znázorněno rozdělení služeb podle K.J.Wallace.

Typ služby	Služba
Zásobovací služby	Potrava Dřevo Genetické zdroje Biochemikálie, přírodní léčiva atd. Okrasné zdroje Sladká voda
Regulační služby	Regulace kvality ovzduší Regulace klimatu Regulace vody Regulace eroze Regulace nemocí Regulace škůdců Opylení
Kulturní služby	Kulturní rozmanitost Duchovní a náboženské hodnoty Rekreace a ekoturistika Estetické hodnoty Znalostní systémy Výchovné hodnoty
Základní služby	Tvorba půdy Fotosyntéza Primární produkce Koloběh živin Koloběh vody

Obrázek 2 - Rozdělení služeb ekosystémů (zdroj: Wallace 2007)

K.J.Wallace použil k rozčlenění základní pojmy biodiverzita, ekosystém, ekosystémové služby, procesy a funkce ekosystému. Z těchto pojmů pak rozčlenil služby ekosystémů do čtyř skupin. Do první skupiny začlenil adekvátní zdroje jako potraviny, vodu, ve druhé skupině soustředil ochranu před chorobami, parazity. Třetí skupina je příznivé chemické a fyzikální prostředí a čtvrtá sociokulturní uspokojení jako rekreace, duševní uspokojení (Wallace 2007).

3. SLUŽBY VODNÍCH EKOSYSTÉMŮ

Celkový obsah vody na Zemi je asi 1,3 miliardy km³. Voda je základní podmínkou pro život na Zemi. Žádný živý organismus nemůže bez vody existovat. Voda je zdrojem energie, šířitelem informací a obrovskou zásobárnou pro zdraví. Slaná voda (např. oceány, moře) zaujímá asi 97,5 % vody na Zemi. Zbytek vody, tedy asi 2,5 %, tvoří voda sladká (např. jezera, řeky) (Korenaga 2017).

Mořské ekosystémy jsou jedny z hojně využívaných ekosystémů na světě. Ke službám mořských ekosystémů patří hlavně rybolov a přístup k rostlinným a živočišným zdrojům. Mangrovové ekosystémy na mořském pobřeží poskytují služby různým druhům ptáků jako jejich hnízdiště a taky slouží jako líheň mnoha druhů ryb. Těžba palivového dřeva, dostupnost vody a surovin je další výhodou služeb poskytovaných těmito mořskými ekosystémy. Další službami jsou regulace záplav, ochrana před bouří a možnost budovat protipovodňová opatření. Cestovní ruch, rekreace, vědecké a vzdělávací možnosti jsou nejnámějšími kulturními službami poskytované těmito ekosystémy. Velmi podobně jsou vyhledávaným vědeckým a vzdělávacím místem korálové útesy, strukturně nejsložitější a taxonomicky velmi rozmanité mořské ekosystémy. Lidská činnost však ohrožuje mnoho mořských ekosystémů a z nich vycházejících výhod. Nadměrným rybolovem jsou ekosystémy vyčerpávány a tím může dojít ke zhoršení kvality vody. V důsledku znečištění bylo po celém světě degradováno nebo úplně ztraceno asi 35 % mangrovů, 50 % slanisek, 30 % korálových útesů a 29 % druhů mořských řas (Barbier 2017).

Nejdůležitější službou sladkovodních ekosystémů je poskytování pitné vody, dodávání vody potřebné pro růst rostlin, poskytování vody používané v zemědělství na zavlažování a při průmyslové výrobě. Spotřeba vody na osobu za rok, která byla využita jak v průmyslu, a v zemědělství, tak pro osobní spotřebu, činí ročně například v Číně a Indii asi milion litrů vody. V České republice spotřeba vody za rok je asi 57 000 litrů (osobní, průmyslová i zemědělská) (Mytton 2021).

Pitná voda se získává úpravou surové vody z podzemních nebo povrchových zdrojů. Surová voda se odvádí do úpraven vod, kde prochází technologií určenou k výrobě pitné vody. V roce 2020 používalo více než 5,8 miliardy lidí vodu upravenou, zdravotně nezávadnou. Zbývající dvě miliardy lidí na světě žije v místech s nedostatkem pitné vody, nebo používají vodu ze zdroje kontaminovaného výkaly. Mikrobiální kontaminace pitné vody je největším rizikem pro zdravotní nezávadnost pitné vody.

Takto kontaminovaná voda má za následek onemocnění tyfem, cholerou, úplavicí, dětskou obrnou. Na tyto nemoci každoročně umírá minimálně 485 000 lidí. Zdravotně nezávadná voda a dostatek pitné vody zároveň působí jako prevence různých respiračních infekcí, průjemových onemocnění a tropických nemocí. (WHO, 2022)

Voda je velmi důležitou a hlavní složkou v lidském těle, 60% tělesné hmotnosti je tvořeno vodou. Voda působí jako stavební materiál je přítomna v každé buňce a v různých tkáních, má funkci jako nosič živin i odpadních produktů, jako termoregulátor tělesné teploty, jako mazivo a tlumič nárazů při chůzi nebo běhu, udržuje objem cév a umožňuje krevní oběh. (Jéquier, Constant, 2009)

Zemědělské ekosystémy poskytují lidem potraviny, bioenergi, léčiva a jsou důležité pro kvalitní životní podmínky lidí. Tyto ekosystémy jsou závislé na ekosystémových službách poskytovaných přírodními ekosystémy včetně hydrologických služeb. Základní službou vodních ekosystémů je poskytování čisté vody jako závlahy těmto agrosystémům. Zásobování agrosystémů vodou představuje asi 70% celosvětové spotřeby vody. Zemědělství zároveň ovlivňuje množství a kvalitu vody. Hlavní příčinou znečištění vody je způsobené používáním pesticidů a hnojiv. Vodní ekosystémy jsou tak degradovány nevhodnými technologickými postupy zemědělského hospodaření. (Power 2010)

V průmyslu má čistá voda mnoho využití. Voda je v potravinářském průmyslu převážně základní surovinou. Pro jednotlivé výroby je někdy potřeba různých úprav vody. Při výrobě léčiv je potřeba úprava vody jiná, než je úprava vody, která je určena v potravinářství pro mycí linky. Menší podniky, restaurace, hotely, které mají vlastní studny jsou závislé na čistotě vody ve zdroji. Voda může být pro některá průmyslová odvětví klíčovým prvkem pro provoz. Výroba papíru, textilní výroba nebo barvení jsou procesy, při kterých se spotřebovává velké množství vody. Její využití je důležité v parních a ochlazovacích okruzích. Odpadní vody z průmyslových provozů mají velký vliv na znečištění vody podzemní i povrchové. Čištění odpadních vod je před vypouštěním velmi důležité.

Schopnost vodních ekosystémů poskytovat ekosystémové služby se stále snižuje vlivem dopadu lidských činností, které pak mohou vést ke změnám v nabídce poskytování služeb. Příkladem může být neregulovaný rybolov, který působí na vodní ekosystémy velkou zátěží. Tyto změny mohou mít dopad na ryby jako na složky ekosystému a tím může být způsobena změna v nabídce ekosystémových služeb, např. dostupnost, kvalita a množství mořských plodů. (Culhane a kol. 2019)

3.1 Ekosystémy podzemních vod

Podzemní vody jsou jedním z nejdůležitějších přírodních zdrojů na Zemi. Jsou nejrozšířenějším zdrojem sladké vody na Zemi. Tvoří přibližně 97 % všech sladkých vod na Zemi. Systémy podzemních vod poskytují lidem řadu služeb. Poskytují vodu, která může být čerpána a využívána nebo svou funkcí může pomoci při udržování vlhkého prostředí a tlumení klimatu (Gun, Margat 2013).

Celosvětově je podzemní voda hlavním zdrojem pitné vody, v průmyslu slouží jako rozpouštědlo a chladicí činidlo, v zemědělství je využívána na zavlažování. V celosvětovém měřítku pochází 20% závlahové vody a 40% vody používané v průmyslu z podzemní vody (MEA, 2005).

Podle rozsáhlých průzkumů odběrů podzemní vody z velkých zvodní v roce 2012 na několika místech Země výrazně odběr podzemní vody převyšoval přirozené doplňování a obnovu těchto zdrojů podzemní vody. Dochází tak k vyčerpávání zásob podzemní vody, někdy může dojít i k trvalému vyčerpání. Tato ztráta je hrozbou pro kvalitu zvodnělých vrstev a jejich organismů, i pro mnoho dalších ekosystémů, které jsou na podzemní vodě závislé jako jsou mokřady, řeky, jezera (Gleeson a kol. 2012).

Podzemní vody ve vodonosných vrstvách, které slouží jako zdroj pitné vody nebo vody na její další využití musí být chráněny, aby nedocházelo k vyčerpání těchto zásob a tím i zhoršení kvality vody. Monitorování životního prostředí, hodnocení environmentálního stavu vody, ovzduší, půdy přispívají ke správnému vývoji a procesu provádění environmentálních politik (Quevauviller 2005).

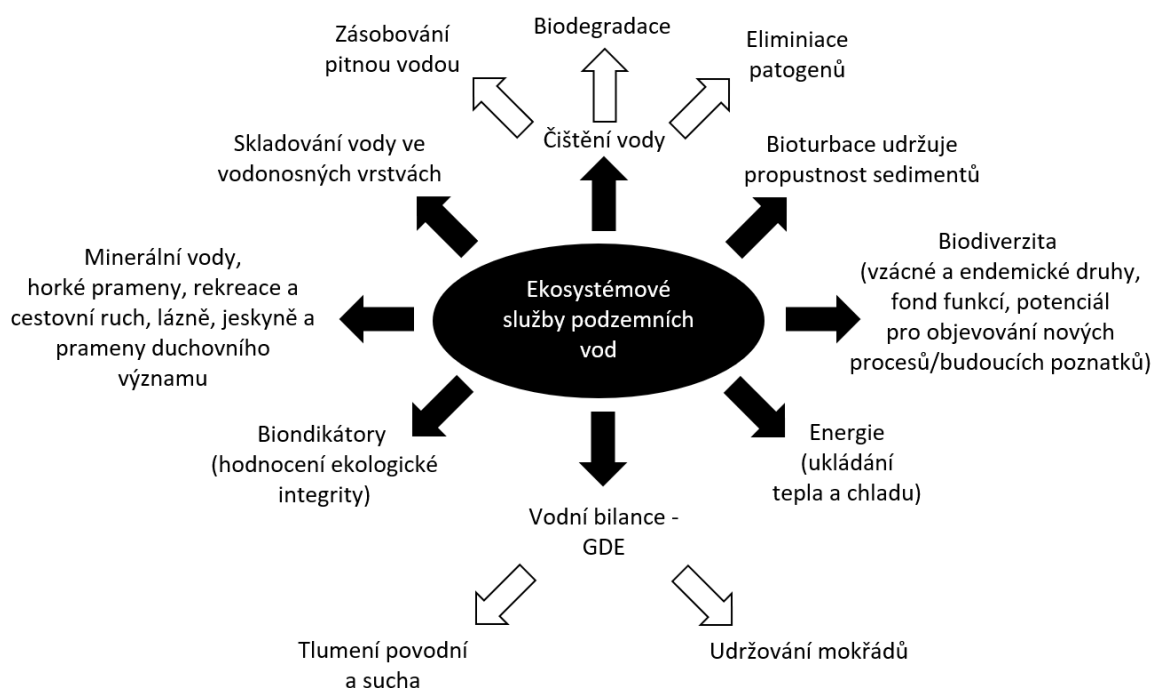
Environmentální tlaky na podzemní vody, v největší míře antropogenní, ovlivňují kvantitu i kvalitu zdrojů podzemních vod a jejich ekosystémů. Zemědělské postupy, úpravy krajiny, poptávka po užitkové a pitné vodě, průmyslové procesy jako těžba, výroba elektrické energie, růst cestovního ruchu, jsou lidské činnosti, které vedou k vyčerpávání zásob podzemní vody. Znečišťující látky ze zemědělské činnosti jako hnojiva a pesticidy, úniky chemikálií z průmyslové výroby, infiltrace znečišťujících látek z povrchu, průnik odpadních vod, mají za následek nejen přetížení vodonosných vrstev, ale zároveň vedou k ovlivnění kvality podzemní vody. (Danielopol a kol. 2003)

Podzemní vody jsou otevřené ekosystémy, stejně jako ekosystémy povrchových vod. Trvale se doplňují prosakující vodou ze srážek do podzemí a poté se zase infiltrují do řek, moří, oceánů nebo jsou odčerpávány lidmi.

Na dostatku podzemní vody je závislá spousta dalších ekosystémů. Některé ekosystémy na pevnině, například ekosystémy na dnech a na březích řek, ekosystémy ústí řek a pobřežních vod, ekosystémy mokřadů, jeskynní ekosystémy i některé další, bývají dočasně nebo i trvale závislé na spodní vodě (Danielopol a kol. 2004).

V textu směrnice 80/68/EHS je uveden rozsah ochrany podzemních vod před znečištěním. Je zde uveden seznam vysoce znečišťujících látek tak, aby se zabránilo přímému pronikání těchto látek do podzemních vod průnikem zeminou nebo podložím. (GWD, 2006)

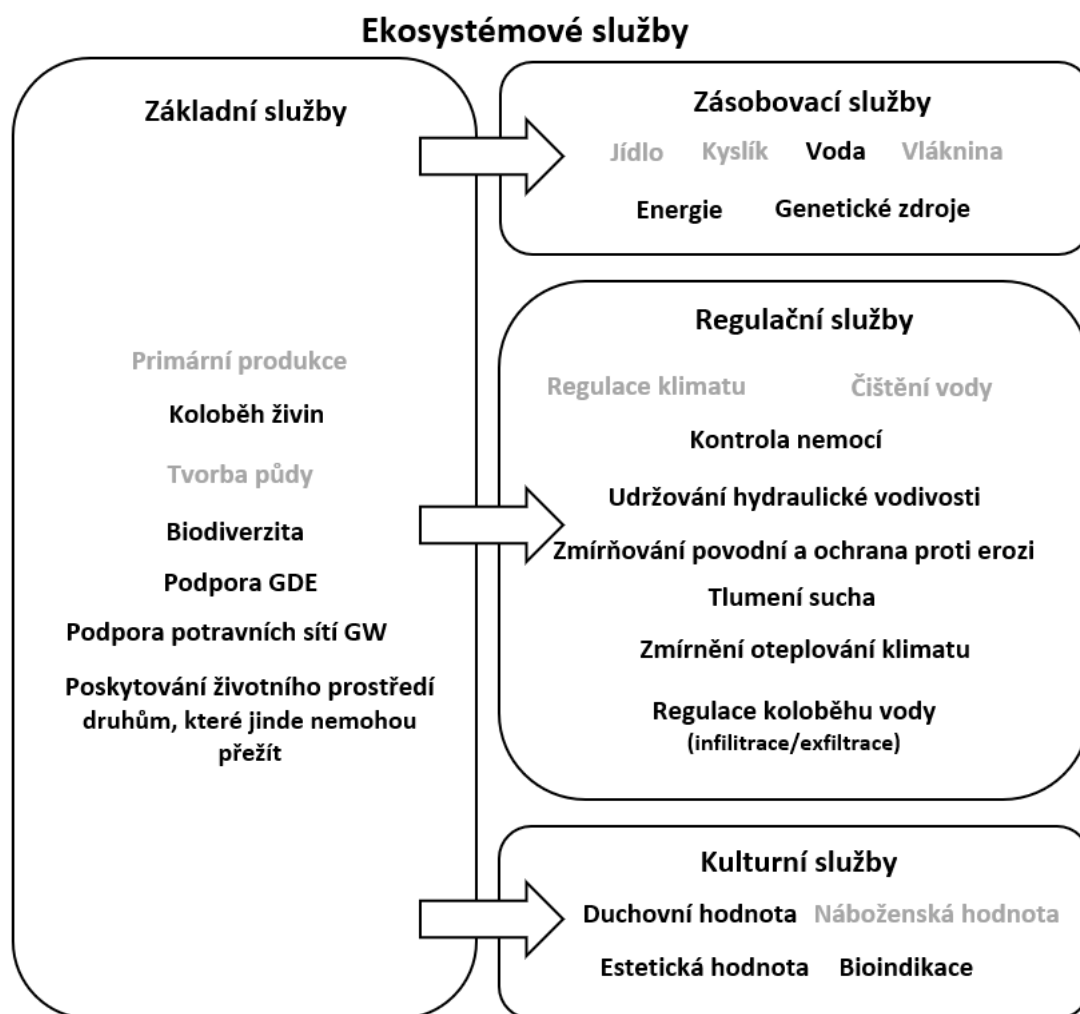
Ekosystémové služby podzemních vod jsou velmi obsáhlé a sahají od poskytování přírodních bioreaktorů pro čištění vody, přes udržování hydraulické konduktivity, tlumení sucha a zmírňování povodní a po rekreační a kulturní služby poskytované horkými prameny, a to až do doby, dokud se nedosáhne kvality pitné vody, jak je uvedeno na obrázku 3.



Obrázek 3 - Ekosystémové služby podzemních vod, GDE = ekosystémy závislé na podzemní vodě (zdroj: Griebler, Avramov 2015)

Podle rozdělení Millennium Ecosystem Assessment (MEA 2005) jsou ekosystémové služby rozděleny do čtyř skupin – služby základní, zásobovací, regulační a kulturní. Jednotlivé služby jsou mezi sebou vzájemně provázané, takže jejich identifikace a přesné určení nejsou snadné.

Na obrázku 4 jsou uvedeny vybrané příklady nejčastěji diskutovaných ekosystémových služeb a zboží souvisejících s těmito skupinami podle Millennium Ecosystem Assessment 2005 (MEA 2005), se zvláštním zaměřením na služby a zboží pocházející z ekosystémů podzemních vod (Griebler, Avramov 2015).



Obrázek 4 - Vybrané příklady ekosystémových služeb a statků podle Millennium Ecosystem Assessment 2005 (MEA 2005), GW – podzemní voda, GDE – ekosystémy závislé na podzemní vodě. Statky a služby, které přímo souvisejí s ekosystémy podzemních vod, jsou zvýrazněny tučným písmem (zdroj: Griebler, Avramov, 2015)

Nejdůležitější základní službou je skutečná přítomnost podzemní vody. Většina suchozemských i povrchových vodních ekosystémů je závislá na její dostupnosti, dostačujícím množství a dobré kvalitě. Základní službou je funkce oběhu živin, tvorba půdy a biodiverzita. Podzemní voda je důležitým celosvětovým zdrojem pitné vody a tímto náleží mezi zásobovací služby. Regulační služby zahrnují čištění vody, a to zejména in situ biodegradaci (biodegradace na místě) znečišťujících látek. Důležitou regulační službou je regulace nemocí eliminací patogenních organismů a virů. Kulturní služby poskytují ekosystémy podzemních vod na různých místech Země. Zahrnují posvátné prameny, které jsou napájeny z podzemní vody, a které mají velký duchovní význam, například posvátný pramen v jeskyni Massabielle v Lurdech, studna Chalice v Glastonbury ve Spojeném království, posvátné horké prameny v Hierapolis, v Turecku Ban Ban Springs. (Griebler, Avramov 2015)

Výhody ekosystémových služeb využívá lidstvo každý den. Používání pojmu „ekosystémové služby“ je silným nástrojem ve zvyšování povědomí lidí o těchto výhodách, které přijímáme a využíváme každý den. To je důležitým předpokladem pro jejich ocenění. Avšak další krok tohoto uvědomění, tedy vhodná ochrana a udržitelné zacházení s ekosystémy, včetně ochrany jejich rozmanitých organismů a různých funkcí, zatím čeká na účinnou realizaci (Carpenter a kol. 2006).

3.2 Služby ekosystémů podzemní vody

V přírodě nacházíme vodu nejen na povrchu (řeky, potoky), v atmosféře jako kroupy nebo jako mlha, ale voda se nachází i pod zemským povrchem jako voda podpovrchová. Tu tvoří voda půdní a podzemní. Půdní voda se vyskytuje těsně pod povrchem asi 1-2 metry a je důležitá hlavně pro rostliny. Voda podzemní se nachází ve větších hloubkách a je důležitým a hlavním zdrojem pitné vody. 97,3 % světové vody je v oceánech a mořích, 2,06 % je v ledovcích, 0,67 % v podzemí a jen asi 0,01 % je v jezerech a řekách (Berner a kol. 1987, Datel 2020).

Hydrologické doplňování vodonosných vrstev je geograficky velmi proměnlivé a silně závislé na klimatu, geologii, typu půdy a typu vegetace, na způsobu využití půdy a dalších faktorech. Záleží na tom, jak dobře jsou půda a horniny propustné. Písečné půdy a horniny jsou dobře propustné, ale půdy jílovité naopak propustnost mají špatnou.

Doplňování probíhá buď prostřednictvím srážek přirozenou infiltrací povrchové vody nebo antropogenní způsobem. V letním období se většina vody vypaří, a to i za příspěvku vydatných přívalových dešťů z bouřek, kdy většina vody steče po povrchu a moc se nevsákne. Důležité pro doplnění podpovrchových vod jsou srážky sněhové a dešťové v chladnějším období roku. (Scalon a kol. 2002, Datel 2020).

Podzemní voda opouští podpovrchové vody jednak prostřednictvím pramenů a mokřadů, tím udržuje ekosystémy závislé na podzemní vodě a poskytuje tím základní službu a v období sucha zároveň i službu regulační, jednak vstupuje do povrchových vod, čímž zajišťují základní službu koloběhu vody a živin, a také je využívána pro různé typy použití, což přímo přispívá k poskytování ekosystémových služeb a zboží. Zásadním rysem ekosystémů podzemních vod je to, že jsou to otevřené ekosystémy, které jsou úzce spjaty s dalšími suchozemskými a vodními ekosystémy. Mnohé z nich jsou silně závislé na kvalitní podzemní vodě a jejím dostatečném množství. Jsou to zejména ekosystémy na pevninách, na dnu a březích řek, jeskynní ekosystémy, mokřady nebo ekosystémy v pobřežních vodách a v ústí řek, které využívají spodní sladkou vodu (Boulton 2005, Nárt 2011).

Ekotony jsou hranice a přechodové zóny mezi vodonosnými vrstvami i mezi jednotlivými ekosystémy. Jsou důležité tím, že hrají významnou roli v regulaci toku hmoty a energie mezi nimi. Podílí se na zachycování sedimentů, vstřebávání živin, zlepšování kvality vody. Tyto přechodové zóny jsou z hlediska stavu ekosystémů významnými biologickými bariérami a filtry, které mohou tlumit vnější vlivy. Ekotony se vyznačují značnými fyzikálně-chemickými a biologickými gradienty, vysokou biologickou aktivitou a vysokou biodiverzitou (Gibert a kol. 1993). Hyporheická zóna je ekoton, který spojuje povrchové a podzemní vody, je funkční součástí ekosystémů fluviálních (říčních) i podzemních vod. Významnými ekotony jsou například hyporheická zóna potoků a řek. Dochází k výměně mezi povrchovou a podzemní vodou, zadržení a přeměně živin a organické hmoty v reakci na změny v topografii, pórovitosti a podloží, dále přechod mezi nasycenou (saturovanou) zónou a nenasycenou (provzdušněnou) zónou (kapilární okraj a hladina podzemní vody) a přechody mezi geologickými vrstvami jako jsou nezpevněné sedimenty a horniny, vodou vysoce prostupné pískové vrstvy (Mugnai a kol. 2015, Liautaud a kol. 2020).

Kvalita povrchových vod je ovlivňována podzemními vodami a méně povrchovým odtokem. V období vydatných srážek však naopak povrchová voda ovlivňuje kvalitu podzemních vod.

V době tání sněhu nebo při vydatných srážkách, kdy dochází k povodním, vodonosné vrstvy a mokřady fungují jako houby, které přijímají velké množství povrchové vody a zpomalují tak její odtok. Oblasti mokřadů a vodonosných vrstev tak umožňují řadu ekosystémových procesů, které udržují správné fungování. Naopak za suchého počasí může být původní proudění v řekách a potocích výhradně napájeno vodou vstupující do koryt toků z podzemí. Bez této důležité podpory by mnohé řeky a potoky byly jen občasné nebo krátkodobé. Podzemní voda tak poskytuje služby základní a zároveň i regulační. Propojení mezi povrchovými vodami a vodami podzemními umožňuje jednotlivým druhům organismů žijících v povrchových vodách nebo v jejich blízkosti najít v podzemní vodě dočasné útočiště v dobách strohých podmínek kdy dochází ke zvýšení teploty, větru, vlivem bouřek, změny způsobené antropogenními vlivy nebo oteplováním klimatu (Evenson a kol. 2018).

Podzemní voda, která je kryta biologicky aktivními vrstvami půdy nebo sedimenty toků, je často mnohem lépe chráněná před negativními vlivy lidské činnosti než povrchová voda. V některých oblastech se podstatná část pitné vody vyrábí přirozenou filtrací povrchových vod, průchodem přes vodopropustné štěrkové a štěrkopískové vrstvy, kdy dochází k zadržování pevných látek, mikroorganismů a těžkých kovů (Hoslet a kol. 2018). Tyto vody mohou být znečištěny chemikáliemi například z hnojiv, která jsou používána v zemědělství a patogeny jako jsou bakterie a viry. Přirozená filtrace tak poskytuje službu regulační – čištění vody. (Tufenkji a kol. 2002).

V Evropě se 75 % pitné vody vyrábí z podzemní vody. V celosvětovém měřítku využívá podzemní vodu jako zdroj pitné vody 1/3 populace. Je to zásobovací služba, která je často považována za samozřejmost (Sampat 2000).

Voda dodávaná do domácností vodovodním potrubím, která stojí v rozvodech potrubí nebo v otevřených zásobnících při pokojové teplotě, může změnit kvalitu během několika hodin nebo dnů. Kolísající teploty, doba stagnace vody v potrubí nebo zásobnících a materiál, ze kterého je potrubí vyrobeno a klesající průměry potrubí mohou podporovat růst bakterií. Při delší stagnaci vody v potrubí dochází ke zvýšenému nárůstu biofilmu baterií na stěnách potrubí. Zvýšení teploty vody také velmi ovlivňuje kvalitu pitné vody. Ve vodě, která zůstává v potrubí vystavenému slunečnímu záření může dojít při dostatečném množství živin k přemnožení bakterií. Také typ materiálu (dříve používané slitiny mědi s obsahem olova), ze kterého bylo potrubí vyrobeno a stáří rozvodů pitné vody, jako i výtokové armatury a jednotlivé spoje potrubí, mohou ovlivnit kvalitu pitné vody těžkými kovy (WHO 2014).

Naproti tomu zdravá vodonosná vrstva, jako bioaktivní filtr kvalitu vody udržuje anebo dále zlepšuje a poskytuje tím bezpečné skladování vody po staletí (Tufenkji a kol. 2002).

Například čtyři evropská města – Berlín, Mnichov (Německo), Vídeň (Rakousko) a Oslo (Norsko) dodávají asi 500000 – 3,5 milionu lidí k pití vodu pocházející z podzemní vody. Podzemní voda pochází z oblastí s udržitelným hospodařením, kde ochranná opatření sahají od přísné ochrany (Vídeň) po částečnou přeměnu ploch z obvyklého do ekologického zemědělství a udržitelného lesnictví (Mnichov). Pitná voda ve Vídni je voda získávána ze zdroje z Dolnorakousko-štyrských Alp. Voda se dostává do Vídně bez čerpadel přes štoly využitím přímého poklesu způsobeného výškovým rozdílem. V Mnichově je neupravená podzemní voda získávána ze zdroje ve skalních útvarech z bavorského alpského podhůří. (SWM 2020, VW 2020). V Oslu a v Berlíně, kde je potřeba podzemní vodu upravovat, činnosti na úpravě vody nejsou náročné, protože surová voda má velmi nízkou úroveň kontaminace díky ochraně povodí. Roční ekonomické výhody přirozeného čištění vody a zásobování vodou kolísají od 17 do 108 milionů EUR, což představuje průměrné snížení účtu za vodu o 45 EUR na osobu nebo 200 EUR na domácnost a rok (tenBrink a kol. 2011).

Voda infiltrující do podpovrchových vrstev se během průchodu přes půdu a sedimenty průběžně ochuzuje o uhlík, který je mírou znečištění vod. Rozpuštěný organický uhlík DOC je nejmenší množství organického uhlíku, který je přítomen ve zvodnělých systémech. Podzemní vody jsou nepřetržitě určitým (ne velkým) množstvím organického uhlíku zásobovány. Využitelnost podzemních vod je velmi závislá na koncentraci rozpuštěného organického uhlíku DOC kvůli jeho schopnosti měnit chemické složení vody a jejího mikrobiálního množství a různorodosti, DOC je důležitou složkou a substrátem pro mikroorganismy, které se podílí na biochemických reakcích (Chapelle 2021, McDonough a kol. 2020).

V nedotčených vodonosných vrstvách jsou mineralizace organického uhlíku extrémně nízké, dýcháním (měřeno spotřebou O₂) a produkcí biomasy, jsou na nižším rozsahu citlivosti metod běžně používaných ve sladkovodní mikrobiologii (Kieft a kol. 1997).

Díky obrovskému objemu zvodnělých vrstev a dlouhým dobám setrvání organické hmoty v podzemí, ekosystémy podzemních vod významně přispívají ke koloběhu uhlíku, a tím i k čištění vody.

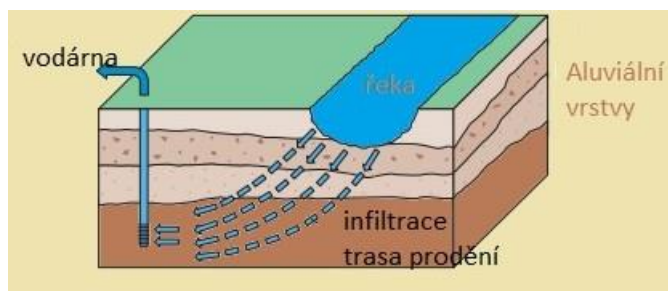
V současné době není příliš jasné, které skupiny organismů jsou primárně zodpovědné za tyto procesy koloběhu uhlíku ve vodonosných vrstvách, nicméně přibývá důkazů, že stabilní mikrobiální společenstva hrají mnohem větší roli než proměnlivá, málo aktivní suspendovaná společenstva (Flynn a kol. 2013).

Živočichové žijící v podzemních vodách jsou také zapojeni do koloběhu uhlíku v nich, ale míra jejich příspěvku je však neurčitá. Několik málo výzkumných týmů nepřímo zkoumalo účast bezobratlých v podzemních vodách na přirozeném odstraňování uhlíku spásáním mikrobiálních biofilmů. Další autoři opakovaně prokázali stimulaci koloběhu uhlíku a bioturbace (proces přehrabávání a převrácení sedimentu) prostřednictvím spásání mikroorganismů mikro – a makro faunou v povrchových vodních systémech a v sedimentech, proto se podobný mechanismus předpokládá i v podzemních vodách. Podzemní vody exfiltrující do povrchových vod a pramenů jsou téměř obecně obohaceny oxidem uhličitým díky metabolickým procesům v podpovrchových vodách (Griebler a kol. 2014, Mermillod-Blondin 2011).

V některých případech však mohou ekosystémy podzemních vod působit jako zdroj uhlíku. Možnosti fixace oxidu uhličitého a mikrobiální chemoautotrofní primární produkce však byla doposud věnována malá pozornost. Chemoautotrofní bakterie využívají jako zdroj energie a živin anorganické látky. Patří sem bakterie nitrifikační, které oxidují amonné soli na dusičnany, bakterie siřné oxidující sulfan nebo siřičitany na síru a bakterie oxidující methan na oxid uhličitý a vodu. Fixace oxidu uhličitého spojená s fotosyntézou je přitom jeden z nejdůležitějších procesů na povrchu Země. V poslední době je však v nedotčených i kontaminovaných zvodních charakterizována obrovská rozmanitost a distribuce autotrofních bakterií a jejich genů zapojených do fixace oxidu uhličitého. Potenciál mikrobiální fixace oxidu uhličitého může být zajímavý s ohledem na ukládání uhlíku a změnu klimatu. Může se tímto způsobem jednat o regulační službu. (Alfreider a kol. 2003, Bernátová a kol. 1979).

Mimo uhlík i další živiny, jako fosfor a dusík, mohou být účinně přeměňovány, spotřebovávány nebo imobilizovány v podzemních vodách, v závislosti na redoxních podmínkách a dostupnosti organického uhlíku. Tuto regulační službu lze použít například při umělém doplňování podzemní vody nebo v mokřadech vznikajících při velkých deštích a ve vsakovacích rybnících (Datry a kol. 2004). Podzemní voda může také působit jako zdroj fosforu a dusíku pro povrchové vrstvy. Pokud je povrchová vegetace v kontaktu s podzemní vodou například svým kořenovým systémem, může mít přímý prospěch z poskytování živin.

Nadměrný vstup těchto živin do povrchových vod a mokřadů však může způsobit nežádoucí eutrofizaci s masivním rozvojem primárních producentů, například ve formě květů řas a jiných organismů jako jsou sinice, rozsivky (Bouwman a kol. 2013, Hurley a kol. 1985). Ekosystémy podzemní vody poskytují přeměny látek, zprostředkované fyzikálními, chemickými i mikrobiálními procesy, a tak vedou ke snížení koncentrace kontaminantů. Základní schéma je uvedeno na obrázku 5.

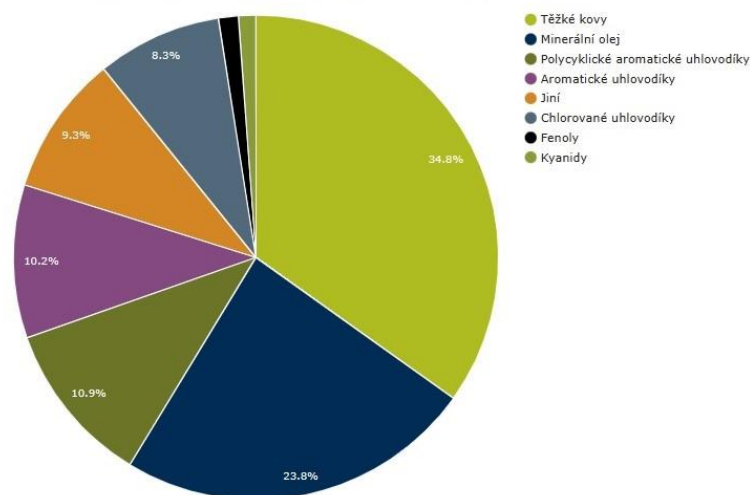


Obrázek 5 - Schématické znázornění filtrace vody z řeky přes aluviální vrstvy (zdroj: Tufenkji a kol. 2002)

Široká škála kontaminantů, které se mohou vyskytovat v povrchových vodách, jsou přirozeně filtrovány, jestliže voda protéká z řeky přes aluviální údolní zvrstev. Některé z těchto procesů mohou pokračovat v podzemních vodách (např. procesy mikrobiální) a komplex těchto procesů tak snižuje množství potřebného ošetření k úpravě pitné vody, pokud je daná podzemní voda k těmto účelům využívána. (Tufenkji a kol. 2002).

Na obrázku 6 je uveden přehled nejvýznamnějších kontaminantů, které znečišťují půdy a podzemní vody v Evropě.

Kontaminující látky ovlivňující pevnou matici (zemínu, kal, sediment) vykázané v roce 2011 –
Kontaminující látky ovlivňující půdu a podzemní vody v Evropě



Obrázek 6 - Kontaminující látky ovlivňující půdu a podzemní vody v Evropě (zdroj: EEA 2007)

Podzemní vody jsou kromě Evropy kontaminovány na milionech míst celého světa. Rozložení různých kontaminantů je většinou podobné v půdě i podzemní vodě. Hlavními kategoriemi kontaminantů jsou ropné látky a těžké kovy; naopak, fenoly a kyanidy mají zanedbatelný podíl na celkovém zatížení kontaminanty (EEA 2007).

Kontaminace podzemních vod je celosvětovým problémem. Různé kontaminující látky mají různé účinky na lidské zdraví a životní prostředí v závislosti na svých vlastnostech. Kontaminující látky jako jsou chlorovaná rozpouštědla, ropné uhlovodíky, těžké kovy, pesticidy, paliva, posypová sůl a další nově se objevující kontaminanty, jako jsou humánní a veterinární léčiva, produkty osobní péče a umělá sladidla jako přísady do potravin a také viry a bakterie, jsou hrozbou pro lidské zdraví, ekologické služby a udržitelný socioekonomický rozvoj (Li a kol. 2021)

Ekosystémy podzemních vod mají obrovský potenciál přirozeně tlumit, a aerobně (za přístupu vzdušného kyslíku) i anaerobně (bez přítomnosti vzdušného kyslíku) a syntroficky (tzn. kdy se jeden druh živí metabolickými produkty jiného druhu) degradovat obrovské množství znečišťujících látek v podzemí. Důležitou roli při detoxifikaci znečišťujících látek v podzemním prostředí mají mikroorganismy.

Z nich vynikají zejména bakterie, které jsou metabolicky velmi rozmanité; v podzemních vodách pak zejména anaerobní zástupci, kteří jsou schopni metabolizovat i bezkyslíkatém v prostředí.

Jako význačný příklad lze uvést bakterie, rodu *Desulfovibrio* redukující sulfáty, které jsou metabolicky univerzální v tom, že dýchají v nepřítomnosti kyslíku sulfát, ale pokud není k dispozici ani ten, přecházejí na syntrofický metabolismus. Dalším příkladem jsou jim příbuzné bakterie čeledi *Desulfobulbaceae*. Tyto organismy také anaerobně redukuje sírany na sulfidy, aby mohly získat energii anaerobní respirací, při níž rozkládají některé přírodní, ale i syntetické organické sloučeniny. (Díaz a kol. 2013, Bernátová a kol. 1979).

Kromě současné schopnosti rozkládat organické polutanty mohou mikroby vyvíjet i nové metabolické dráhy a tím i zvyšovat potenciál degradovat novější kontaminanty. Řada syntetických aromatických sloučenin je hlavními látkami znečišťující životní prostředí. Mikrobiální degradace aromatických sloučenin, které se však vyskytují i přirozeně a představují asi 20% zemské biomasy, jsou rozsáhle studovány díky svému významu v biogeochemickém cyklu uhlíku. V mnoha případech je přirozená degradace takového znečištění v podpovrchových vrstvách dostatečná k tomu, aby bylo zabráněno nepřetržitému šíření kontaminantů na velkých plochách, což je velmi důležitá regulační služba, kterou mikroorganismy v podzemí vykonávají (obdobně je mnoho odpadních produktů vznikajících lidskou činností rozkládáno za běžných podmínek mikroorganismy při čištění odpadních vod). Toxické znečišťující látky, které se dostaly do podzemních vod například únikem ropy, jsou také spotřebovávány bakteriemi. I když biodegradace některých toxických nebo zvláště perzistentních sloučenin je stále problematická, mohou se jim v budoucnu bakterie vystavené znečišťujícím látkám přizpůsobit mutací nebo získáním degradačních genů z jiných druhů. Takové přirozeně pozměněné bakterie se pak mohou množit v důsledku selekčních tlaků vytvářených znečišťujícími látkami, např. tak, že tyto látky poskytují degradačním organismům zdroj energie a/nebo uhlíku. Tento selekční tlak tak zvýhodňuje degradační buňky či posléze celá společenstva mikroorganismů, což je velmi pozitivní v tom, že škodlivé sloučeniny mohou být nakonec zcela rozloženy biodegradací, prováděnou velkým množstvím buněk. Nevýhodou ovšem je, že tato adaptace k biodegradaci či evoluce nových degradačních metabolických drah může někdy trvat i u mikroorganismů velmi dlouhou dobu a nemusí nastat vůbec (van der Meer a kol. 2006, Kolvenbacg a kol. 2014).

Kromě špatně rozložitelných či toxických látek se do půd a vodonosných vrstev v podzemí pravidelně dostávají infiltrací z povrchových vod i patogenní organismy.

Bývá to v případech, kdy byly povrchové vody znečištěny odpadními vodami nebo průsakem srážkové vody z oblastí, kdy byl aplikován hnůj nebo jiný zdroj mikroorganismů (Tufenkji a kol. 2002, Lucena a kol. 2006). Podpovrchové systémy však mají velkou kapacitu pro určité zpomalení množení patogenů, případně i pro jejich potlačení a vyloučení. Nicméně i zde jsou naše poznatky mechanismů, stojících za regulací přirozených patogenů, stále neúplné. Osud a transport patogenních mikroorganismů v podpovrchových vrstvách je řízen několika procesy, včetně přenosu v půdním vzduchu, rozkladu buněk v bezkyslíkatých podzemních prostředích, záchytu patogenů částicemi půdy, potlačení jejich aktivity nebo – nejlépe – jejich konzumací vyššími trofickými úrovněmi organismů (prvoky, drobnými bezobratlými apod.). Koncentrace parazitických prvoků, jako je *Cryptosporidium* a *Giardia*, jsou v povrchových vodách obvykle mnohem nižší než u jiných mikroorganismů, jako jsou řasy, rozsivky, korýši a vířníci. Pro hodnocení účinnosti přirozené eliminace organismů povrchových vod ve vodách podzemních je tak využití běžných organismů jako bioindikátorů výskytu patogenů v podzemních vodách velmi užitečné. Byly již publikovány práce, popisující eliminaci patogenů vlastními mikroorganismy podzemní vody. Hirsch a Rades-Rohkohl (1983) poukázali na to, že z 217 izolovaných bakteriálních kmenů z podzemní vody jich více než 20 % inhibovalo růst *Escherichia coli* K12. Jednotlivé patogenní druhy, tj. zmíněná *E. coli* a též *Vibrio cholerae*, které se mohou množit v přírodních vodách v přítomnosti dostatečného množství organického uhlíku, nerostly dobře nebo byly potlačeny za přítomnosti okolních mikrobiálních komunit podzemní vody (Tufenkji a kol. 2002, Vital a kol. 2007, 2008).

Bakterie také mohou rozkládat a ničit některé viry prostřednictvím svých enzymů (proteáz, nukleáz) a využít je jako růstové substráty po jejich rozpadu (Gerba 1999).

Heterotrofní nanoflegaláty (malí bičíkovci) jsou všudypřítomné v přírodních vodách, žijí ve sladkovodních i mořských vodách a většina heterotrofních nanoflegalátů je známá jako predátoři bakterií a virů. Existují pádné důkazy, že pohlcování virů některými nanoflegaláty může přispívat k jejich rozpadu. Ve Francii byla v období květen až listopad 2000 zkoumána sezónní a hloubková různorodost aktivity heterotrofních nano-bičíkovců (nanoflegalátů) při konzumaci virů. I když viry představují pro nanoflegaláty jen menší zdroj jejich obživy, nejsou v jejich potravě bezvýznamné (Kwon a kol. 2017, Bettarel a kol. 2005).

Na druhou stranu, studií popisujících potenciální roli metazoi (mnohobuněčných organismů) podzemních vod při odstraňování kontaminantů a patogenů, je jen malé množství.

Sinton (1984) při zkoumání fauny bezobratlých (korýši, kroužkovci) ve znečištěné aluviální štěrkové zvodni prokázal zásadní přínos bezobratlých v koloběhu uhlíku v podzemní vodě znečištěné odpadními vodami. Přítomnost *Escherichia coli* a koliformních bakterií ve střevech korýšů (stejnonožců) poskytl jasný důkaz, že tito živočichové spotřebovali nejen organický materiál, který pocházel z vypouštěných odpadních vod, ale že stejnonožci odstraňovali i značný počet bakteriálních patogenů. Na základě výsledků autoři odhadli, že tito živočichové asimilovali asi 20 % vypouštěného uhlíku a na základě hustoty bezobratlých v podzemní vodě propočítali, že celkový příjem bezobratlých tvořil 100 až 200 tun uhlíku za rok pro kontaminovanou zvodnělou vrstvu. Tento uhlík byl pak přeměněn na živočišnou biomasu a oxid uhličitý (Sinton 1984, Fenwick 1998).

V některých případech mohou bezobratlí podzemních vod hrát důležitou roli při odstraňování organických nečistot z vodonosných vrstev. Je nutné si však taky uvědomit, že vysoké organické zatížení podpovrchových vrstev je často doprovázeno rychlým vyčerpáním kyslíku a přechodem do anoxických podmínek (stav, kdy je kyslík naprosto vyčerpán), které pak brání přežívání bezobratlých a jejich aktivnímu příspěvku při odstraňování organických nečistot (Malard a kol. 1999).

Další ekosystémovou službou připisovanou metazoím podzemních vod, zejména bezobratlým, je udržování hydraulické vodivosti v porézních sedimentech bioturbací (jedná se o proces přehrabování a převrácení sedimentu živočichy) tím, že se živí mikrobiálními biofilmy. Bezobratlí tak pozitivně ovlivňují propustnost sedimentů a také propustnost ve štěrkových a pískových filtrech používaných při umělém doplňování podzemních vod. Dokonce i nízké hustoty bezobratlých mohou významně zvýšit propustnost jemného písku vytvářením chodbiček, které poté tvoří hlavní cesty toku vody. (Bernátová a kol. 1979, Danielopol 1989).

Ward et al (1998) použili termín ekosystémový inženýři při popisu ekologické funkce bezobratlých ve zvodnělých vrstvách. Ekosystémový inženýři jsou druhy organismů, které se schopny modifikovat své abiotické prostředí. Tím silně ovlivňují jiné organismy a tím způsobují, že jejich dopad na životní prostředí je delší než jejich život. Vzhledem k obecně nízkým hustotám bezobratlých ve většině nedotčených systémů podzemních vod tak jejich význam čeká na zhodnocení až v budoucnu (Liataud a kol. 2020, Jones a kol. 1994).

Boulton a kol. (2008) provedli studii, ve které zhodnotili ekologickou roli fauny podzemních vod v dobře charakterizovaných aluviálních zvodních v Austrálii a na Novém Zélandu.

Kategorizovali významné poskytovatele ekosystémových služeb mezi bezobratlémi živočichy, vyskytujícími se v říčních sedimentech a aluviálních zvodních, a navrhli model podpory jednotlivých skupin bezobratlých ke dvěma ekosystémovým službám, a to k základním službám ekosystémů jako biogeochemická filtrace a rozklad nerozpuštěné organické hmoty, a službou regulační – čištěním vody. Tito autoři přisoudili významnou roli v koloběhu uhlíku stygobiotickým bezobratlým (druhy, které žijí svůj život výhradně v podzemních vodách), zejména korýšům ze skupin různonožců a stejnonožců. Právě na příkladech australských a novozélandských aluviálních studních poukázali na několik mezer v chápání o funkčním významu stygofauny (fauny podzemních vod) a zdůraznili potřebu ochrany a dalšího výzkumu v oblasti poskytování ekosystémových služeb a funkcí ekosystému. Smith (2016) ve své práci představují stygofaunu jako důležitou součást podzemních vod, jejíž velký význam spočívá v tom, že zvyšuje transport prokaryotických společenstev. Prokariota v podzemních vodách představují 40% celkové biomasy a mají zásadní roli v obratu biosférické energie a hmoty a zároveň tím poskytují regulační službu čištění podzemních vod. (Boulton a kol. 2008, Smith a kol. 2016)

Organismy podzemních vod žijí v prostředí s omezenými energetickými zdroji a s ustálenými podmínkami prostředí. Mohou být tedy velmi citlivé na antropogenní vlivy způsobené přímo nebo nepřímo člověkem a na změny prostředí. Tato citlivost z nich tvoří možné bioindikátory, sloužící ke sledování určitých vlastností ekosystémů, které by mohly poskytnout rozhodovacím orgánům a správcům podzemních vod užitečné informace o stavu daných ekosystémů, což je důležitou kulturní službou ekosystému. Při hodnocení povrchových vod se jako bioindikátory často používají metazoa (bezobratlí a ryby), makrofyta, fytoplankton a rozsivky. V ekosystémech podzemních vod chybí řasy a vyšší rostliny, ale skrývají se v nich společenstva původních bezobratlých, což jsou vhodné indikátory pro ekologické hodnocení i biomonitoring. Základem je sledování bakterií indikujících obecné a fekální znečištění. Pozitivní výsledky k výskytu těchto bakterií nám slouží jako informace o stavu vodního prostředí vzhledem k jeho okolí a typu celkového mikrobiálního oživení vody. Za nejdůležitější indikátor fekálního znečištění lze považovat přítomnost bakterií *Escherichia coli*. Tyto bakterie mohou přežívat značnou dobu ve vodním prostředí, jejich přítomnost v podzemních vodách je závislá především na umístění zdroje od znečišťujících míst a jeho technickém zabezpečení (Bernátová a kol. 1979).

Množství bezobratlých živočichů je v podzemních vodách nízké a mnoho podzemních vod je přirozeně anoxických, takže dobrými bioindikátory a ekologickými měřítky by mohly být spíše mikroorganismy a jejich celkové počty nebo specifické biochemické aktivity (Griebler a kol. 2010, Bernátová a kol. 1979).

Mnohobuněční živočichové (metazoa) podzemních vod (stygofauna) jsou zkoumáni více než 100 let a je známo, že ekosystémy podzemních vod ukrývají obrovskou rozmanitost živých fosilií a endemických druhů.

K těmto živoucím fosiliím patří např. hadovité ryby objevené nedávno v podzemních vodách jižní Indie. Tito sladkovodní dravci žijící v podzemních vodách jsou takzvaní dýchači vzduchu, kteří polykají vzduch do svého nadbřišního orgánu, kde dochází k výměně plynů umožňující jim přežít ve vodách s nedostatkem kyslíku. Zároveň tím přispívají čištění vody a biochemické filtraci (Britz a kol. 2020).

Navíc, jak naznačuje práce Deharveng a kol. (2009), velká část biodiverzity podzemních vod stále čeká na objevení. Naproti tomu mikrobiologie a mikrobiální ekologie podzemních vod má mnohem kratší historii. Tento výzkum byl vyvolán průmyslovou činností při těžbě ropy a hygienickými aspekty při získávání vody. Godsy a Ehrlich při své práci z roku 1978 při zkoumání mikrobiální flóry ze vzorků vody ve vstřikovacím vrtu zjistili přítomnost velkého množství bakteriálních komunit, včetně dvou druhů *Clostridium* a methanogenních mikroorganismů. Z dnešního hlediska není překvapivé, že byla nalezena velmi různorodá mikrobiální společenství. Nedávné studie ukazují, že mikrobi jsou přítomni i stovky a tisíce metrů pod našima nohama. (Goodsy a Ehrlich 1978, Griebler a Lueders 2009).

S ohledem na ekosystémové služby lze biodiverzitu vidět ze dvou úhlů pohledu. Za prvé z pohledu zásobovací služby to znamená určitý repertoár funkcí. Vysoká biologická rozmanitost je (i když ne v každém případě) spojena s funkční stabilitou a flexibilitou ekosystémů, a proto představuje významný faktor funkční odolnosti daných ekosystémů, má klíčovou roli na všech stupních hierarchie ekosystémových služeb, jako regulátor podporující ekosystémové procesy, jako konečná ekosystémová služba a jako zboží, které podléhá ocenění, ať už ekonomickému nebo jinému. Z druhého pohledu na biodiverzitu s ohledem na ekosystémové služby představuje bohatství druhů (podílejí se na příjmu a skladování živin, koloběhu uhlíku apod.) a tím poskytuje základní službu. Některé z těchto druhů mohou být vzácné a vyžadují ochranu – kulturní služba. (Mace a kol. 2012). Jedním z význačných příkladů přímého přínosu mikrobiální diverzity ve vodonosných vrstvách je obrovský vnitřní potenciál pro degradaci různých kontaminantů.

Kromě toho mohou být podpovrchové ekosystémy zatím značně nevyužitým rezervoárem procesů a přírodních sloučenin, například enzymů, antibiotik a farmak. Ty mohou být užitečné při využití nižších organismů pro nové biochemické a biotechnologické aplikace v zemědělství, potravinářství, ve farmacii a lékařství (Griebler a kol. 2009, 2014).

Geotermální energie je abiotická a vzniká spíše z geofyzikálních vlastností planety než jako výsledek biologické aktivity. Poskytování geotermální energie závisí na dostupnosti podzemní vody a je tedy službou zásobovací ekosystémů podzemních vod.

Využívání geotermální energie může ovlivňovat biodiverzitu podzemních vod a tím i její další ekosystémové služby. Výzkumné práce prováděné několik desetiletí přinesly skvělé poznatky ve výzkumu bakterií a archeí žijících v ekosystémech geotermálních pramenů, o jejich rozmanitosti a přizpůsobení se extrémním podmínkám prostředí. Tento výzkum přispěl k pokroku v mnoha oblastech mikrobiologie, biotechnologiích i biomedicíně (Oliverio a kol. 2018). Hlubinné podpovrchové zařízení v geotermální pramenech se zaměřují výhradně na získávání tepla, které se následně přeměňuje na elektřinu v geotermálních elektrárnách nebo se využívá přímo k vytápění. Využívání geotermální energie z mělkého povrchu, což znamená asi v hloubce menší než čtyři sta metrů, je možné třemi různými technickými způsoby. Jedná se o systémy s uzavřenou smyčkou (tzv. closed-loop systémy), které ovlivňují ekosystémy vodonosných vrstev sezónním snižováním a zvyšováním průměrné teploty podzemní vody o několik stupňů. Dále se jedná o systémy s otevřenou smyčkou (tzv. open-loop systémy), které mohou produkovat rozsáhlé oblaky tepla o délce několika set metrů. To má za následek absolutní zvýšení teploty o více než dvacet stupňů Celsia. Třetí systémy jsou systémy s akumulací tepla zvodnělých vrstev, tzv. heat-storage systémy, které dokonce mohou vykazovat teplotní výkyvy rozmezí třicet až devadesát stupňů Celsia (Alcaraz a kol. 2016). Tyto teplotní změny pak působí na ekosystémy podzemních vod, které by jinak byly sezónními výkyvy teplot nedotčeny, protože si v přírodních podmínkách udržují stálou teplotu, například ve střední Evropě je tato hodnota mezi osmi až čtrnácti stupni Celsia (Matthess 1994).

Z toho vyplývá, že přes zřejmé výhody využívání geotermální energie by mohly změny tepelného režimu vodonosných vrstev a existence teplotních výkyvů výrazně ovlivnit biogeochemické procesy těchto vrstev a tím i kvalitu podzemní vody. Proto jsou v současné době využívány na výrobu elektrické energie spíše hluboké geotermální zdroje, zatímco systémy mělkých geotermálních zdrojů jsou využívány na klimatizace a vytápění, aniž by čerpaly teplo uložené v zemi.

Přesto zvyšující se využití geotermální energie představuje potenciální nebezpečí, protože není jasné, jak moc jsou ekosystémy podzemních vod takovými teplotními změnami ovlivnitelné (Soltani a kol. 2021).

Hluboké podzemní vody mohou lidské společnosti dodávat minerální vodu, která je pak denně plněna do lahví k přímé konzumaci nebo je aplikována v lékařství. Lékařský význam minerálních vod závisí na množství minerálů a stopových prvků.

Nejvíce pozornosti je přitom věnováno obsahu vápníku a hořčíku, mezi nejdůležitější stopové prvky z pohledu na lidské zdraví, je sledován obsah jodu, fluoru a lithia. Minerální voda je využívána v přírodním stavu jako horké prameny pro rekreaci. Přírodní lázeňské prameny jsou rozšířeny po celém světě a jejich využití je známo už od dob starověku. Aplikace termálních vod v bazénech, lázeňských a wellness centrech představuje plně využitý a slibný nástroj prevence, rehabilitace a podpory zdraví, poskytující lidem fyzické, duševní a sociální výhody (Markt 2009). Myšlenka, že voda má magické schopnosti k léčbě některých onemocnění a že dodává vitalitu, má hluboké historické kořeny. Patří sem posvátné prameny a studánky. Výzkum této převážně kulturní služby se nachází v sociálních a ekonomických vědních disciplínách (Strang 2004).

4. HODNOCENÍ SLUŽEB VODNÍCH EKOSYSTÉMŮ

Hodnocení, jako je hodnocení tisíciletí (Millennium Ecosystem Assessment, MEA 2005) se zabývá širokou škálou ekosystémových služeb. Jsou zde hodnoceny podmínky ekosystémů a ekosystémových služeb, příčiny a důsledky změn ekosystémů, zhodnocení vlivu ekosystémů na lidský blahobyt a dobré životní podmínky lidí. Výsledkem bylo zjištění, že lidé za posledních padesát let změnili ekosystémy rychleji a rozsáhleji než v jakémkoliv srovnatelném období v historii lidstva, což mělo v důsledku zásadní a do určité míry nezvratnou ztrátu v rozmanitosti života na Zemi. Mimo jiné přibližně asi 60 % ekosystémových služeb (15 z 24 které byly zkoumány) bylo degradováno nebo využíváno neudržitelným způsobem (Reid a kol. 2005).

Vodní ekosystémy (řeky, jezera, moře, podzemní vody, pobřežní vody) podporují poskytování zásadních ekosystémových služeb jako je zásobování vodou, zadržování vody v krajině nebo regulace klimatu, jsou spojeny s hydrologickým cyklem v povodí, produkcí ryb, možnostmi rekreačního vyžití. Většinu těchto ekosystémových služeb souvisejících s vodou mohou lidé přímo ocenit, ale některé služby, zejména regulační, nejsou až tak zřejmé. V roce 2000 byla vypracována evropská Směrnice 2000/60/ES,2000, která stanovuje rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. Ta uvádí potřebu územního plánování pro vodní hospodářství, přijetí koncepce ekosystémových služeb, uznání multifunkčnosti vodních systémů a zohlednění přínosů, které lidé získávají z přírody, a také odůvodnění nákladů na její ochranu a obnovu. (Grizzetti a kol. 2016).

Schopnost ekosystémů poskytovat ekosystémové služby se bohužel stále snižuje. Je zapotřebí pochopit souvislosti mezi dopady tlaků způsobených lidskou činností a změnami v nabídce služeb. Ekosystémové služby poskytují základní zdroje výživy a materiálů, regulují a udržují globální systémy, zvyšují kvalitu a životní úroveň lidstva. Culhane a kol. (2019) ve svém hodnocení ekosystémů pro poskytování ekosystémových služeb napříč vodními ekosystémy použili data ze sedmi případových studií z celé Evropy. Složky ekosystému použili jako spojovací článek mezi lidskou činností a tlaky, které pro tyto složky představují riziko, na jedné straně a ekosystémovými službami, které mohou poskytovat, na straně druhé. Výsledkem bylo zjištění vztahu mezi schopností poskytování ekosystémových služeb a rizikem dopadů lidské činnosti napříč složkami vodních ekosystémů, které se nacházeli v různých oblastech. Tento vztah ovšem napovídá, že celkově jsou části ekosystému, na které nejvíce spoléháme také nejvíce ohroženy pro poskytování ekosystémových služeb (Culhane a kol. 2019).

5. ZÁVĚR

Zpracování bakalářské práce na téma Ekosystémové služby – klíč k naší budoucnosti byl velmi nesnadný úkol. I když práce byla zaměřena na podzemní vody, spektrum informací ohledně tohoto tématu je velmi obsáhlé.

Protože téma ekosystémů a ekosystémových služeb je v dnešní době velmi aktuální, tato práce nejdříve seznamuje s ekosystémy jako takovými, s jejich typy, členěním a se službami, které ekosystémy poskytují. Ekosystémové služby jsou obrovské výhody, které lidé přijímají a využívají každý den, což je důležitý faktor k jejich ocenění. Důsledná ochrana a udržitelné zacházení s ekosystémy však doposud čekají na účinnou realizaci.

Podrobněji se práce věnovala ekosystémům a ekosystémovým službám podzemních vod. Podzemní vody, i když nejsou tak podrobně prostudované jako povrchová voda, nám nabízejí velké množství ekosystémových služeb. Nejdůležitější službou, kterou nám ekosystémy podzemní vody nabízí je služba zásobování pitnou vodou.

Účinná ochrana zdrojů podzemních vod, které jsou využívány jako zdroje pitné vody, je předpokladem a klíčem k lepší a udržitelné budoucnosti lidstva. Pojem hodnoty ekosystémů by se neměl omezovat jen na peněžní hodnotu, ale měl by zahrnovat široké spektrum hodnot, včetně ekonomických, sociokulturních a ekologických. Pochopení vztahu mezi různými tlaky, podmínkami a službami vodních ekosystémů, zvážením příspěvků investic do ochrany a obnovy přírody by mělo vést k dosažení dobrého ekologického stavu vodních ekosystémů.

Poskytování geotermální energie je rovněž závislé na dostupnosti podzemní vody a je také službou zásobovací. K velmi důležitým regulačním službám podzemní vody patří degradační schopnosti mikrobů a také schopnosti mikrobů namířené proti patogenům. Přírozená degradace znečištění a zbránění tak nepřetržitému šíření kontaminantů na velkých plochách je velmi důležitá regulační služba mikrobů, kteří tuto službu v podzemí vykonávají.

Množství organismů, které žijí v prostředí s omezenými energetickými zdroji a ustálenými podmínkami prostředí mohou být velmi citlivé na jakékoliv vlivy a změny prostředí. Slouží jako bioindikátory, které podávají informace o stavu daných ekosystémů. Tato služba patří mezi důležité kulturní služby ekosystémů. Ke těmto službám patří také využívání minerálních vod v přírodní stavu, jako jsou horké prameny sloužící pro rekreaci nebo při využití pramenů podzemní vody pro přímou konzumaci.

Pochopení funkcí ekosystémových služeb je důležitým nástrojem pro zvýšení povědomí lidí o důležitosti ekosystémů podzemních vod. Poznání vzájemných souvislostí mezi rostoucími tlaky, působícími na ekosystémy podzemních vod, jako jsou různé typy znečištění, nadměrné či nesprávné využívání i ztráta biologické rozmanitosti, a reakcemi ekosystémů na tyto vlivy, spojenými s potenciální ztrátou ekosystémových služeb by mělo být hlavním cílem výzkumu nadcházejících let, věnovanému ekosystémovým službám podzemních vod.

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

(GWD) Groundwater Directive 2006/118/EC, Legislation.gov.uk [online] 2006-12-12.

Dostupné z : <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/groundwater-directive-gwd-2006-118-ec>

ALCARAZ, M., A. GARCÍA-GIL, E. VÁZQUEZ-SUÑÉ a V. VELASCO. Advection and dispersion heat transport mechanisms in the quantification of shallow geothermal resources and associated environmental impacts. *Science of The Total Environment* [online]. 2016, **543**(2), 536-546. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.022>

ALFREIDER, A.C., C. VOGT, D. HOFFMANN a W. BABEL. Diversity of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large-subunit genes from groundwater and aquifer microorganisms. *Microbial Ecology* [online]. 2003, **45**(5). Dostupné z: doi: 10.1007/s00248-003-2004-9

ARRIGO, K.R. Sea Ice Ecosystems. *Annual reviews* [online]. 2014, **6**(9), 439-467. Dostupné z: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135103>

BALASUBRAMANIAN, A. AQUATIC ECOSYSTEMS-FRESHWATER TYPES: Conference: Country-wide Class room Educational TV programme-Gyan DarshanAt: EMRC-MYSORE [online]. University of Mysore, 2011, **1**(11), 1-8. Dostupné z: doi:10.13140/RG.2.2.22783.20642

BALASUBRAMANIAN, A. DESERT ECOLOGY [online]. University of Mysore, 2013, **1**(3), 1-12. Dostupné z: doi:DOI:10.13140/RG.2.2.17527.83364

BALASUHRAMANIAN, A. Ecosystems and its components, In: University of Misore [online], 1.2.2008. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/314213426_ECOSYSTEM_AND_ITS_COMPO](https://www.researchgate.net/publication/314213426_ECOSYSTEM_AND_ITS_COMPOONENTS)
NENTS

BARBIER, E.B. Marine ecosystem services. *Současná biologie* [online]. 2017, **27**(6), R507-R510. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.03.020>

BERNÁTOVÁ, V., R. ČERVENKA, B. HAVLÍK, et al. *Hygienický význam životních dějů ve vodách*. 1. Brno: TISK, knižní výroba, 1979. ISBN 08-048-08/25.

BERNER, E.K. a R. BERNER. Global Water Cycle: Geochemistry and Environment. *Environmental Science* [online]. 1987, **16**(8), 109-110. Dostupné z: doi:Corpus ID: 128967808

- BERTHOLD, D. Aldo Leopold: In Search of a Poetic Science. *Human Ecology Review* [online]. 2004, 11(3), 205-214. Dostupné z: <https://www.humanecologyreview.org/pastissues/her113/berthold.pdf>
- BETTAREL, Y., T. SIME-NGANDO, M. BOUVY, R. ARFI a C. AMBLARD. Low consumption of virus-sized particles by heterotrophic nanoflagellates in two lakes of the French Massif Central. *Aquat Microbial Ecology* [online]. 2005, 39(5), 205-209. Dostupné z: doi:10.3354/ame039205
- BLACKALL, L.L., B. WILSON a M.J. OPPEN. Coral-the world's most diverse symbiotic ecosystem. *Molecular ecology* [online]. 2015, 24(21), 5330-5347. Dostupné z: doi: 10.1111/mec.13400. Epub 2015 Oct 21.
- BOULTON, A. Chances and challenges in the conservation of groundwater-dependent ecosystems. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems* [online]. 2005, 15(4), 319-323. Dostupné z: doi:10.1002/aqc.712
- BOULTON, A., G.D. FENWICK, P.J. HANCOCK a M.S. HARVEY. Biodiversity, functional roles and ecosystem services of groundwater invertebrates. *Invertebrate Systematics* [online]. 2008, 22(1), 103-116. Dostupné z: doi:10.1071/IS07024
- BOUWMAN, A.F., M. BIERKENS, J. GRIFFIOEN, M. HEFTING, J. MIDDELBURG, H. MIDDELKOOP a C. SLOMP. Nutrient dynamics, transfer and retention along the aquatic continuum from land to ocean: towards integration of ecological and biogeochemical models. *Biogeosciences* [online]. 2013, 10(8), 1-22. Dostupné z: doi:10.5194/BG-10-1-2013
- BRITZ, N. DAHANUKAR, V.K. ANOOP, S. PHILIP, B. CLARK, R. RAGHAVAN a L. RÜBER. Aenigmachannidae, a new family of snakehead fishes (Teleostei: Channoidei) from subterranean waters of South India. *Scientific Reports* [online]. 2020, 10(9), 16081. Dostupné z: doi: 10.1038/s41598-020-73129-6
- BROCKERHOFF, E.G., L. BARBARO, B. CASTAGNEYROL, D.I FORRESTER, B. GARDINER a J.R. GONZALEZ-OLABARRIA. Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodivers Conserv* [online]. 2017, 26(11), 3005-3035. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1453-2>

BURNSIDE, W.R., S. PULVER, K.J. FIORELLA, M.L. AVOLIO a S.M. ALEXANDER. 33 - Paul R. Ehrlich a Harold A. Mooney (1983) z části IV - Sociálně-environmentální výzkum v ekologii. *Cambridge Core* [online]. 2022, 483-489. Dostupné z: doi :<https://doi.org/10.1017/9781009177856.039>

CAIRNS JR, J. Defining Goals and Conditions for a Sustainable World. *Environmental Health Perspectives* [online]. 1997, **105**(11), 1164 - 1170. ISSN 0091-6765. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1289/ehp.105-1470321>

CARPENTER, S.R., R. DEFRIES, T. DIETZ, H.A. MOONEY a S. POLASKY. ECOLOGY: Enhanced: Millennium Ecosystem Assessment: Research Needs. *Science* [online]. 2006, 314(10), 257-28. Dostupné z: doi:10.1126/science.1131946

COSTANZA, R., R. D'ARGE, R. DE GROOT, S. FARBER, M. GRASSO, B. HANNON, K. LIMBURG a S. NAEEM. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics* [online]. 1998, 1(25), 3-15. Dostupné z: doi: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(98\)00020-2](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(98)00020-2)

COVICH, A.P. Energy Flow and Ecosystems. *Encyclopedia of Biodiversity (Second Edition)* [online]. 1. USA, 2013, 237-249. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00045-9> Get rights and content

CULHANE, F., H. TEIXEIRA, A.J.A NOGUEIRA, F. BORGVARDT a D. TRAUNER. Risk to the supply of ecosystem services across aquatic ecosystems. *Science of The Total Environment* [online]. 2019, 660(4), 611-621. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.346>

DANIELOPOL, D. Groundwater Fauna Associated with Riverine Aquifers. *Journal of the North American Benthological Society* [online]. 1989, **8**(3), 18-35. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.2307/1467399>

DANIELOPOL, D.L., A. GRIEBLER, J. GIBERT, A. GUNATILAKA, H.J. HAHN, G. MESSANA, J. NOTENBOOM a B. SKET. Incorporating ecological perspectives in European groundwater management policy. *Environmental Conservation* [online]. 2004, 31(3), 185-189. Dostupné z: doi:10.1017/S0376892904001444

DANIELOPOL, D.L., C. GRIEBLER, A. GUNATILAKA a J. NOTENBOOM. Present state and future prospects for groundwater ecosystems. *Environmental Conservation* [online]. 2003, 30(2), 104-130. Dostupné z: doi:10.1017/S0376892903000109

DATEL, J.V. *Podzemní voda ve městě* [online]. 1. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, 2020. ISBN 978-80-87402-86-3. Dostupné z:

<https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/projekty/polrustu2adaptacniopatreni/download.asp?id=5>

DATRY, T., F. MALARD a J. GIBERT. Dynamics of solutes and dissolved oxygen in shallow urban groundwater below a stormwater infiltration basin. *Science of The Total Environment* [online]. 2004, **329**(8), 215-229. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.02.022>

DEHARVENG, L., F. STOCH, J. GIBERT, A. BEDOS, D. GALASSI, M. ZAGMAJSTER, A. BRANCELJ a A. CAMACHO. Groundwater biodiversity in Europe. *Freshwater Biology* [online]. 2009, **54**(3), 709-726. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.01972.x>

DÍAZ, E., J.I. JIMÉNEZ a J. NOGALES. Aerobic degradation of aromatic compounds. *Current Opinion in Biotechnology* [online]. 2013, **24**(11), 431-442. Dostupné z: doi: 10.1016/j.copbio.2012.10.010

EEA (European Environment Agency). Progress in management of contaminated sites (CSI 015) - Assessment published 01 Aug 2007. *European Environment Agency* [online]. Copenhagen: Denmark, 2007. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/progress-in-management-of-contaminated-sites-3/assessment>

EVENSON, G.R., H.E. GOLDEN, C.R. LANE, D.L. MCLAUGHLIN a E. D'AMICO. Depressional wetlands affect watershed hydrological, biogeochemical, and ecological functions. *Ecological Applications* [online]. 2018, **28**(5), 953-966. Dostupné z: doi: 10.1002/eap.1701

FENWICK, G.D. *Groundwater invertebrates as potential indicators: Groundwater Indicators Project. Report by Lincoln Environmental to the Ministry for the Environment* [online]. New Zealand: Thorton, 1998, **1**(1), 1-15. Dostupné z: <https://docs.niwa.co.nz/library/public/MfEtr38App1.pdf>

FINLAYSON, C.M. Millennium_Ecosystem_Assessment researchgate. *The Wetland Book* [online]. 2016, **1**(1), 355-359. Dostupné z: doi:10.1007/978-94-007-6172-8_81-1

- FLYNN, T.M., R.A. SANFORD, H. RYU, C.M. BETHKE, A.D. LEVINE, N.J. ASHBOLT a J.W.S. DOMINGO. Functional microbial diversity explains groundwater chemistry in a pristine aquifer. *BMC Microbiology* [online]. 2013, **13**(1), 1-15. Dostupné z: doi:10.1186/1471-2180-13-146
- GERBA, C.P. Virus survival and transplant in groundwater. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* [online]. 1999, **24**(4), 247-251. Dostupné z: https://doi.org/10.1038/sj.jim.2900663
- GIBERT, J., MARMONIER, P., P. VERVIER a M.J. DOLE-OLIVIER. *Biodiversity in ground waters* [online]. 1993, **8**(11), 392-395. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90039-R
- GLEESON, T., K.M. BEFUS, S. JASECHKO, E. LUIJENDIJK a M.B. CARDENAS. The global volume and distribution of modern groundwater. *Nature Geoscience* [online]. 2015, **9**(11), 161-167. Dostupné z: doi:doi.org/10.1038/ngeo2590
- GLEESON, T., Y. WADA, M.F.P. BIERKENS a L.P.H. BEEK. Water Balance of Global Aquifers Revealed by Groundwater Footprint. *Nature* [online]. 2012, **488**(8), 197-200. Dostupné z: doi:10.1038/nature11295
- GRIEBLER, C. a T. LUEDERS. Microbial biodiversity in groundwater ecosystems. *Freshwater Biology* [online]. 2009, **54**(3), 649-677. Dostupné z: https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02013.x
- GRIEBLER, C., F. MALARD a T. LEFEBURE. Current developments in groundwater ecology—from biodiversity to ecosystem function and services. *Current Opinion in Biotechnology* [online]. 2014, **27**(2), 159-167. Dostupné z: doi:10.1016/j.copbio.2014.01.018
- GRIEBLER, C., H. STEIN, C. KELLERMANN, et al. Ecological assessment of groundwater ecosystems - Vision or illusion?. *Ecological Engineering* [online]. 2010, **36**(10), 1174-1190. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.01.010
- GRIEBLER, CH. a M. AVRAMOV. Groundwater ecosystem services: a review. *Freshwater Science* [online]. 2015, **34**(1), 355-365. Dostupné z: https://doi.org/10.1086/679903
- GRIZZETTI, B., D. LANZANOVA, C. LIQUETE, A. REYNAUD a A.C. CARDOSO. Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science & Policy* [online]. 2016, **61**(6), 194-203. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.008

GUIDOTTI, T.L. Artificial ecosystems. In: Oxford academic [online]. 1. USA: Oxford University Press, 2015, s. 287-326. ISBN 9780190238803. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199325337.003.0009>

GUN, J. a J. MARGAT. Groundwater resources sustainability. *Global Groundwater* [online]. 2013, 1(1), 331-345. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-818172-0.00024-4

HARRIS, A. Types of Environmental Ecosystems. *Sciencing* [online]. 2018. Dostupné z: <https://sciencing.com/types-environmental-ecosystems-8640.html>

HELMOVÁ, R.R. The mysterious ecosystem at the ocean's surface. *PLoS Biology* [online]. 2021, 19(4). Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001046>

HIRSCH, P. a E. RADES-ROHKOHL. Die Zusammensetzung der natürlichen Grundwasser-Mikroflora und Untersuchungen über ihre Wechselbeziehungen mit Fäkalbakterien. *DVGW - Schriftenreihe Waser* [online]. 1983, 35(1), 59-80.

HOSLETT, J., T.M. MASSARA, S. MALAMIS, D. AHMAD, I. VAN DEN BOOGAERT a E. KATSOU. *Surface water filtration using granular media and membranes: A review* [online]. 2018, 639(10), 1268-1282. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.247>

HURLEY, J.P., D.E. ARMSTRONG, G.J. KENOYER a C.J. BOWSER. Ground water as a silica source for diatom production in a precipitation-dominated lake. *Science* [online]. 1985, 227(3), 1576-1578. Dostupné z: doi: 10.1126/science.227.4694.1576

CHAPELLE, F.H. The Bioavailability of Dissolved, Particulate, and Adsorbed Organic Carbon in Groundwater Systems. *Ground Waters* [online]. 2021, 59(3), 226-235. Dostupné z: doi: 10.1111/gwat.13057

JÉQUIER, E. a F. CONSTANT. Water as an essential nutrient: the physiological basis of hydration. *European Journal of Clinical Nutrition* [online]. 2009, 64(9), 115-123. Dostupné z: doi:10.1038/ejcn.2009.111

JONES, C.G., J.H. LAWTON a M. SCHACHAK. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* [online]. 1994, 69(4), 373-386. Dostupné z: doi:10.2307/3545850

KIEFT, T.L. a T.J. PHELPS. *Life in the Slow Lane: Activities of Microorganisms in the Subsurface: Microbiology of the Terrestrial Deep Subsurface* [online]. 1997, 1, 137-163. Florida: Lewis Publishers. ISBN 9781351074568.

KOLVENBACH, B.A., D.E. HELBLING, H.P.E. KOHLER a P.F.X. CORVINI. Emerging chemicals and the evolution of biodegradation capacities and pathways in bacteria. *Current Opinion in Biotechnology* [online]. 2014, **27**(6), 8-24. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.08.017>

KORENAGA, J., N.J. PLANAVSKY a D.A.D. EVANS. Global water cycle and the coevolution of the Earth's interior and surface environment. The Royal Society Publishing [online]. 2017, **375**(4), 1-21. Dostupné z: <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0393>

KWON, J.E., H.J. JEONG, S.J. KIM, S.H. JANG, K.H. LEE, K.A. SEONG a . Newly discovered role of the heterotrophic nanoflagellate *Katablepharis japonica*, a predator of toxic or harmful dinoflagellates and raphidophytes. *Harmful Algae* [online]. 2017, **68**(9), 224-239. Dostupné z: doi: 10.1016/j.hal.2017.08.009

LA NOTTE, A., D. D'AMATO, H. MÄKINEN, M. PARACCHINI, C. LIQUETE, B. EGOH, D. GENELETTI a N.D. CROSSMAN. Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework. *Ecological Indicators* [online]. 2017, **74**(3), 392-402. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.030>

LI, P., D. KARUNANIDHI, T. SUBRAMANI a K. SRINIVASAMOORTHY. Sources and Consequences of Groundwater Contamination. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* [online]. 2021, **80**(1), 1-10. Dostupné z:doi: 10.1007/s00244-020-00805-z

LIAUTAUD, K., M. BARBIER a M. LOREAU. Ecotone formation through ecological niche construction: the role of biodiversity and species interactions. *Ecography* [online]. 2020, **43**(5), 714-723. Dostupné z: doi: 10.1111/ecog.04902

LUCENA, F.Lucena, F. RIBAS, A.E. DURAN, et al. *Occurrence of bacterial indicators and bacteriophages infecting enteric bacteria in groundwater in different geographical areas* [online]. 2006, **2006**(7). Dostupné z: doi: 10.1111/j.1365-2672.2006.02907.x

MACE, G.M., K. NORRIS a A.H. FITTER. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in Ecology and Evolution* [online]. 2012, **27**(1), 19-26. Dostupné z: doi: 10.1016/j.tree.2011.08.006

MALARD, F. a F. HERVANT. Oxygen supply and the adaptations of animals in groundwater. *Freshwater biology* [online]. 1999, **41**(2), 1-30. Dostupné z: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00379.x>

MARKT, W. Health-related effects of natural mineral waters. *Wiener Klinische Wochenschrift* [online]. 2009, **121**(1), 544-550. Dostupné z: doi: 10.1007/s00508-009-1244-

Marsh, G.A., Fairbridge, R.W. (1999). Lentic and lotic ecosystems. Encyclopedia of Earth Science [online]. In: *Environmental Geology*, 1999, 381-388 Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-4494-1_204

MARTTUNEN, M., J. MUSTAJOKI, V. LEHTORANTA a H. SAARIKOSKI. Complementary use of the Ecosystem Service Concept and Multi-criteria Decision Analysis in Water Management. *Environmental Springer* [online]. 2021, 2021(7), 719–734. Dostupné z: doi: 10.1007/s00267-021-01501-x

MATTHESS, G., A. PEKDEGER a J. SCHROETER. Persistence and transport of bacteria and viruses in groundwater — a conceptual evaluation. *Journal of Contaminant Hydrology* [online]. 1998, 2(3), 171-188. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0169-7722\(88\)90006-X](https://doi.org/10.1016/0169-7722(88)90006-X)

MCDONOUGH, L.K., I.R. SANTOS, M.S. ANDERSEN, D.M. O'CARROLL, H. RUTLIDGE a K. MEREDITH. Changes in global groundwater organic carbon driven by climate change and urbanization. *Nature Communications* [online]. 2020, 11(3), 1-8. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14946-1>

MEA 2005, Reid, W.V., H.A. Mooney, A. Cropper, et al. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. [online]. 2005. United States of America: Island Press, Washington, DC., 2005. ISBN 1-59726-040-1. Dostupné z: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>

MERMILLOD-BLONDIN, F. The functional significance of bioturbation and biodeposition on biogeochemical processes at the water–sediment interface in freshwater and marine ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society* [online]. 2011, 30(1), 770-778. Dostupné z: doi:10.1899/10-121.1

MUGNAI, R., G. MESSANA a T. DI LORENZO. The hyporheic zone and its functions: revision and research status in Neotropical regions. *Brazilian Journal of Biology* [online]. 2015, 75(8), 524-534. Dostupné z: doi: 10.1590/1519-6984.15413

MYTTON, D. Data centre water consumption. *Clean Water* [online]. 2021, 4(11), 1-6. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41545-021-00140-3>

NÁRT, L. Příroda, nebo člověk. 1. Univerzita Karlova, Praha: Karolinum, 2011. ISBN 978-80-246-1888-3.

- OLIVERIO, A.M., J.F. POWER, A. WASHBURNE, S.C. CARY, M.B. STOTT a N. FIERER. The ecology and diversity of microbial eukaryotes in geothermal springs. *Th ISME journal* [online]. 2018, **12**(8), 1918-1928. Dostupné z: doi: 10.1038/s41396-018-0104-2
- PLAMÍNEK, Jiří. Sociologická encyklopedie 2017, In: Sociologický ústav AV ČR [online], 11.12.2017. Dostupné z: <https://encyklopedie.soc.cas.cz/w/Ekosyst%C3%A9m>
- POWER, A.G. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. The Royal Society Publishing [online]. 2010, (9). Dostupné z: <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143>
- Průmyslová ekologie, Úpravy vody v průmyslu [online], 2021-08-12. Dostupné z: <https://www.prumyslovaekologie.cz/info/upravy-vody-v-prumyslu>
- QUEVAUVILLER, P. Groundwater monitoring in the context of EU legislation: Reality and integration needs. *Journal of Environmental Monitoring* [online]. 2005, 7(2), 89-102. Dostupné z: doi:10.1039/b413869b
- REID, W.V., H.A. MOONEY, A. CROPPER, et al. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. [online]. 2005. United States of America: Island Press, Washington, DC., 2005. ISBN 1-59726-040-1. Dostupné z: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- REID, W.V., H.A. MOONEY, A. CROPPER, et al. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. [online]. 2005. United States of America: Island Press, Washington, DC., 2005. ISBN 1-59726-040-1. Dostupné z: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- SAMPAT, P. Deep Trouble: The Hidden Threat of Groundwater Pollution. *World Watch paper* [online]. Washington: Worldwatch Institute, 2000, 154. Dostupné z: doi:10.1007/18780BT71564
- SANNER, B. Thermische Untergrundspeicherung auf höherem Temperaturniveau : Begleitforschung mit Messprogramm Aquiferspeicher Reichstag. Schlussbericht zum FuE-Vorhaben 0329809 B. *Giessen University* [online]. Germany: Giessen, 2004, 1-62. Dostupné z: <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2004/1795/>
- SCANLON, B.R., R.W. HEALY a P.G. COOK. Choosing Appropriate Techniques for Quantifying Groundwater Recharge. *Hydrogeology Journal* [online]. 2002, **10**(2), 18-39. Dostupné z: doi:10.1007/s10040-001-0176-2

SCHOWALTER, Timothy D. Chapter 11 - Ecosystem structure and function. In: *Insect ecology*. 5. [online], USA: Academic Press, 2022, s. 519-566. ISBN 978-0-323-85673-7. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85673-7.00004-6>

SINTON, L.W. The macroinvertebrates in a sewage-polluted aquifer. *Hydrobiologia* [online]. 1984, **119**(12), 161-169. Dostupné z: [doi:10.1007/BF00015207](https://doi.org/10.1007/BF00015207)

SMITH, P., M.R. ASHMORE, H.I.J. BLACK, P.J. BURGESS a Ch.D. EVANS. The role of ecosystems and their management in regulating climate, and soil, water and air quality. *Journal of Applied Ecology* [online]. 2013, **50**(4), 812-829. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12016>

SMITH, R.J., J.S. PATERSON, E. LAUNER, S.S. TOBE, E. MORELLO, R. LEIJS a S. MARRI. Stygofauna enhance prokaryotic transport in groundwater ecosystems. *Scientific Reports* [online]. 2016, **9**(1), 1-5. Dostupné z: [doi: 10.1038/srep32738](https://doi.org/10.1038/srep32738)

SOLTANI, M., F.M. KASHKOO, M. SOURI, B. RAFIEI, M. JABARIFAR, K. GHARALI a J.S. NATHWANI. Environmental, economic, and social impacts of geothermal energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2021, **140**(4), 1-25. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110750>

STRANG, V. *The Meaning of Water* [online]. Oxford: Berg, 2004, **1**(1), 1-264. Dostupné z: [doi:10.4324/9781003087090](https://doi.org/10.4324/9781003087090)

SWM. *M/Water One of the best drinking waters in Europe* [online]. München 2020. Dostupné z: <https://www.swm.de/english/m-wasser>

tenBRINK, P., T. BADURA, S. BASSI, et al. Estimating the Overall Economic Value of the Benefits provided by the Natura 2000 Network COMMISSION CONTRACT 07.0307/2010/581178/SER/B3. *Institute for European Environmental Policy (IEEP)* [online]. Brussels: Belgium, 2011. Dostupné z: https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/financing/docs/Economic_Benefits_of_Natura_2000.pdf

TOWNSEND, C.R., M. BEGON a J.L. HARPER. *Základy ekologie*. 1. Olomouc: Universita Palackého, 2010. ISBN 978-80-244-2478-1.

TUFENKJI, N., J.N. RYAN a M. ELIMELECH. The promise of bank filtration. *Environmental Science Technology* [online]. 2002, **36**(11), 422A-428A. Dostupné z: [doi: 10.1021/es022441j](https://doi.org/10.1021/es022441j)

- VAN DER MEER, J.R. Environmental pollution promotes selection of microbial degradation pathways. *Frontiers in Ecology and the Environment* [online]. 2006, **4**(2), 35-42. Dostupné z: [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2006\)004\[0035:EPPSOM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2006)004[0035:EPPSOM]2.0.CO;2)
- VITAL, M., F. HAMMES a T. EGLI. Escherichia coli O157 can grow in natural freshwater at low carbon concentrations. *Environmental Microbiology* [online]. 2008, **10**(5), 2387-2396. Dostupné z: doi: 10.1111/j.1462-2920.2008.01664.x
- VITAL, M., H.P. FÜCHSLIN, F. HAMMES a T. EGLI. Growth of Vibrio cholerae O1 Ogawa Eltor in freshwater. *Microbiology* [online]. 2007, **153**(8), 1993-2001. Dostupné z: doi: 10.1099/mic.0.2006/005173-0
- VW, Vienna Water. *Vienna's Water Supply - The Journey of Vienna's Drinking Water* [online]. City of Vienna, 2020. Dostupné z: <https://www.wien.gv.at/english/environment/watersupply/supply/way.html>
- WALLACE, K.J. Classification of ecosystem services: Problems and solutions. *Biological Conservation* [online]. 2007, **3**(10), 235-246. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.07.015>
- WALSH, Elliot. Energy Flow (Ecosystem): Definition, Process & Examples, In: Sciencing [online], 24.6.2019. Dostupné z: <https://sciencing.com/energy-flow-ecosystem-definition-process-examples-with-diagram-13719231.html>
- WARD, J., G. BRETSCHKO, M. BRUNKE, D. DANIELOPOL, J. GIBERT, T. GONSER a A. HILDREW. The boundaries of river systems: the metazoan perspective. *Freshwater biology* [online]. 1998, **40**(11), 531-569. Dostupné z: doi:10.1046/J.1365-2427.1998.00368.X
- WATANABE, M.D.B. a E. ORTEGA. Ecosystem services and biogeochemical cycles on a global scale: valuation of water, carbon and nitrogen processes. *Environmental Science & Policy* [online]. 2011, **6**(14), 594-604. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.05.013>
- WHO, World Health Organization, Drinking water [online], [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- WHO, World Health Organization. Water safety in distribution systems: Safe piped water: Managing microbial water quality in piped distribution systems. *Department of Public Health, Environmental and Social Determinants* [online]. Geneva, Switzerland: WHO Press, World Health Organization, 2014, **1**(6), 20-73. ISSN 978 92 4 154889 2.

ZHANGI, X., R.C. ESTOQUE, H. XIE, Y. MURAYAMA a M. RANAGALAGE.
Bibliometric analysis of highly cited articles on ecosystem services. *PLOS ONE* [online].
2019, (2). Dostupné z:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210707>

7. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Rozdělení služeb ekosystémů a jejich přínosy	16
Obrázek 2 - Rozdělení služeb ekosystémů	17
Obrázek 3 - Ekosystémové služby podzemních vod.....	21
Obrázek 4 - Vybrané příklady ekosystémových služeb a statků podle Millennium Ecosystem Assessment 2005	22
Obrázek 5 - Schématické znázornění filtrace vody z řeky přes aluviální vrstvy.....	28
Obrázek 6 - Kontaminující látky ovlivňující půdu a podzemní vody v Evropě.....	29