TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta přírodovědně-humanitní
a pedagogická

Aplikace nanotechnologií v ochraně a sanaci životního prostředí

Bakalářská práce

Studijní program:	B1301 Geografie
Studijní obory:	Geografie se zaměřením na vzdělávání (dvouoborové) Anglický jazyk se zaměřením na vzdělávání
Autor práce:	**Tomáš Buchta**
Vedoucí práce:	RNDr. Jan Kocum, Ph.D. Katedra geografie

Liberec 2020

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta přírodovědně-humanitní
a pedagogická

Zadání bakalářské práce

Aplikace nanotechnologií v ochraně a sanaci životního prostředí

Jméno a příjmení:	**Tomáš Buchta**
Osobní číslo:	P16000313
Studijní program:	B1301 Geografie
Studijní obory:	Geografie se zaměřením na vzdělávání (dvouoborové) Anglický jazyk se zaměřením na vzdělávání
Zadávající katedra:	Katedra geografie
Akademický rok:	**2017/2018**

Zásady pro vypracování:

Cíle:

1. Detailní rešerše dostupné tuzemské a zahraniční literatury zabývající se problematikou nanotechnologií a využitím jejich principů v kontextu ochrany a sanace životního prostředí.
2. Posouzení využitelnosti principů nanotechnologie v rámci jednotlivých aspektů ochrany a sanace životního prostředí (úprava znečištěné vody a vzduchu, sanace půdy apod.)
3. Formulace optimálního směřování základního výzkumu v oblasti ochrany a sanace životního prostředí ve vztahu k dlouhodobým prioritám.

Metody:

1. Podrobná literární rešerše studované problematiky na podkladě dostupných zdrojů vč. nejnovějších vědeckých studií.
2. Základní metody strategické analýzy vč. posouzení silných a slabých stránek, příležitostí a limitů.

Rozsah grafických prací:	dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy:	40 stran
Forma zpracování práce:	tištěná/elektronická
Jazyk práce:	Čeština

Seznam odborné literatury:

BAKSHI, M., et al., 2020. *Nano-Materials as Photocatalysts for Degradation of Environmental Pollutants*, Elsevier. ISBN 978-0-12-818598

BOYSEN, Earl., et al., 2011, *Nanotechnology for Dummies*, 2. vydání. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc. ISBN 978-0470891919

HORNÍK, S., et al., 1986. *Fyzická geografie II*, 1. vydání. Praha: Státní pedagogické nakladatelství. ISBN 14-380-86

MOORE, J. T., 2011. Chemistry for Dummies, 2. vydání. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc. ISBN 978-1-119-29346-0

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012. *Science for Enfironmental Protection: The Road Ahead*, Washington, DC: The National Academic Press. ISBN 978-0-309-26493-8

SAIKIA, J., et al., 2019. *Environmental Nanotechnology Volume 2*, Springer. ISBN 978-3-319-98708-

Vedoucí práce:	RNDr. Jan Kocum, Ph.D. Katedra geografie
Datum zadání práce:	27. dubna 2018
Předpokládaný termín odevzdání:	30. dubna 2020

L.S.

prof. RNDr. Jan Picek, CSc.
děkan

doc. RNDr. Kamil Zágoršek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 27. dubna 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

2. května 2020 Tomáš Buchta

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval RNDr. Janu Kocumovi, Ph.D. za odborné rady a cenné připomínky, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce. Poděkování také patří mé rodině a všem blízkým, kteří mi dopřáli čas a prostor k mé práci a podporovali mě.

Anotace

Ochrana a sanace životního prostředí je v současné době velice intenzivně zkoumanou problematikou snad ve všech vyspělých zemích světa. Výzkumy se, kromě popisu konkrétních problémů a hledání vztahů a souvislostí mezi nimi, zaměřují také na metody či způsoby, kterými by bylo možné rychle se zhoršující stav životního prostředí buď úplně napravit nebo ho alespoň zpomalit. S přihlédnutím k současným trendům v oblastech výzkumu a vývoje na poli nanotechnologií je jednoznačně smysluplné zaměřit se na hledání způsobů využití nově vzniklých nanočástic a nanomateriálů při pokusech o úplnou nebo alespoň částečnou nápravu stavu životního prostředí. Práce je vyhotovena formou podrobné literární rešerše dostupných tuzemských a zahraničních zdrojů. V závěru jsou shrnuty silné a slabé stránky různých způsobů použití nanotechnologií v oblasti ochrany a sanace životního prostředí.

Klíčová slova

Nanotechnologie, ochrana životního prostředí, voda, CO_2, půda.

Annotation

Environmental protection and sanitation are topics that are being very thoroughly researched by almost every developed country in the present day. The research focuses not only on describing the problems and finding various relations among them but also on finding novel methods and ways of completely reverting or at least mitigating the rapid decline in the quality of the environment. Taking a closer look at the areas of research and development in the field of nanotechnologies it is becoming obvious that one should focus on finding new ways in which novel nanoparticles and nanomaterials could be used in efforts to completely or at least partially remove pollutants from the environment. This thesis was written mainly by means of analysing and compiling both domestic and foreign scientific articles on said topics. In its conclusion the thesis lists both positive and negative aspects of using nanotechnologies for environmental protection and sanitation.

Keywords

Nanotechnologies, environmental protection, water, CO_2, soil.

Obsah

Seznam ilustrací 10

Seznam použitých zkratek 11

Úvod 13

1 Ochrana životního prostředí 15

1.1 Změny klimatu 16

1.2 Energie 19

1.3 Land use 22

1.4 Voda 24

1.5 Ekosystém 29

1.6 Závěrem 32

2 Nanotechnologie, nanočástice a nanomateriály 33

3 Nanotechnologie v životním prostředí 35

3.1 Využití nanotechnologií pro čištění odpadní vody 35

3.1.1 Adsorpce kontaminantu na povrch nanočástic 36

3.1.2 Fotokatalytické čištění vody za přítomnosti nanočástic 37

3.1.3 Dezinfekce vody pomocí nanočástic. 38

3.1.4 Filtrace vody přes nano membránu 38

3.1.5 Limity využití nanočástic při čištění odpadních vod 39

3.2 Využití nanotechnologií pro čištění ropných skvrn 40

3.3 Využití nanotechnologie pro zesílení účinků bio a fotodegradace organických polymerů 42

3.3.1 Biodegradace za pomoci nanočástic 43

3.3.2 Fotodegradace za pomoci nanočástic 46

3.4 Odstraňování CO_2 za pomoci nanotechnologií 48

3.4.1 Odstraňování CO_2 z atmosféry za pomoci MOFs 48

3.4.2 Odstraňování CO_2 z atmosféry za použití tekutých nanoabsorbentů 52

3.4.3 Přeměna atmosférického CO_2 na methanol za pomoci fotosyntézy 56
3.5 Sanace půdy 59
3.5.1 Nanomateriály pro odstraňování těžkých kovů 60
3.5.2 Nanomateriály pro odstraňování perzistentních organických látek 61
4 Nanotoxikologie 62
4.1 Metody pro posouzení toxicity nanočástic 64
Závěry 65
Seznam použitých zdrojů 68
Bibliografie 68
Citace 69

Seznam ilustrací

Ilustrace 1: Skleníkové plyny ……... 16
Ilustrace 2: Vývoj průměrné globální teploty korelující s koncentrací CO_2 v atmosféře ……17
Ilustrace 3: Hlavní faktory mající vliv na globální oteplování a ochlazování ……. 18
Ilustrace 4: Nárůst průměrné teploty na území USA ……... 19
Ilustrace 5: Modelace počtu dní a spotřeby energie vlivem globální změny teploty …….. 20
Ilustrace 6: Změny ve spotřebě EE v roce 2050 na území USA bez a s mitigací ……..... 21
Ilustrace 7: Předpokládané změny množství CO_2 v půdě na území USA …… 23
Ilustrace 8: Projektované změny srážkovosti na území USA v čase bez a s pokusy o mitigaci 25
Ilustrace 9: Prognóza zhoršení kvality vody na území USA ……... 26
Ilustrace 10: Rozložení teploty ve světovém oceánu ……... 27
Ilustrace 11: Změna teploty oceánů ……. 27
Ilustrace 12: Analýza změny nákladů spojených se změnami v oblasti hydrosféry ……... 28
Ilustrace 13: Projektovaný úbytek korálů na vybraných místech v čase ……. 30
Ilustrace 14: Ilustrace vlivu zvyšování množství CO_2 v atmosféře na ceny korýšů ……..…30
Ilustrace 15: Výskyt raků na území ČR ……...…..... 31
Ilustrace 16: Pravděpodobnost výskytu raků v závislosti na koncentracích látek …….….. 32
Ilustrace 17: Princip funkce polovodiče jako fotokatalyzátoru v procesu čištění odpadní vody …….. 37
Ilustrace 18: Zachycení průběhu stavu korálu vystaveného směsi ropy a rozpouštědla v čase …….. 41
Ilustrace 19: Trojrozměrná síť utvořená sestavením molekul supergelátorů …….. 42
Ilustrace 20: Vzorek bez příměsi NBT ……...……...… 43
Ilustrace 21: Vzorek s příměsí NBT ……..…... 43
Ilustrace 22: Vzorek s příměsí SPION ……. 44
Ilustrace 23: Degradace in situ vzorků LDPE ……. 45
Ilustrace 24: Snížení hmotnosti vzorku při ozáření UV (vlevo) a VIS (vpravo) světlem …… 46
Ilustrace 25: Praskliny ve vzorcích PE …… 47
Ilustrace 26: Cryo-EM snímky znázorňující zachycení molekuly CO_2 v molekulárních klecích ZIF-8 …… 50
Ilustrace 27: Selektivita CO_2 nad N_2 při 298 K jako funkce tlaku …….. 50
Ilustrace 28: Chemisorpce H_2 …….. 51
Ilustrace 29: Znázornění Single-step a Two-step metod pro výrobu jednduchých nanotekutin ……..…... 53
Ilustrace 30: Hlavní efekty fungování ……. 54
Ilustrace 31: Chemické vazby mezi polymery a nanočásticemi …….. 55
Ilustrace 32: Navrhované směry dalšího výzkumu pro tekuté CO_2 nanoabsorbenty …….. 56
Ilustrace 33: Proces výroby CL@CQDs/Cu_2O 57
Ilustrace 34: Testování materiálu CL@CQD/Cu_2O ……..... 58
Ilustrace 35: Proces fotokatalytické redukce CO_2 ve spektru viditelného světla …… 58
Ilustrace 36: Možné způsoby kontaminace půdy …… 59
Ilustrace 37: Proces fotokatalýzy nanočástic-přeměna toxických molekul POP na bezpečné 62

Seznam použitých zkratek

AgNP	nanočástice stříbra
AV ČR	Akademie věd České republiky
BOD	biochemická spotřeba kyslíku
CL	uhlíkové vrstvy
CIRA	Climate Change Impact and Risk Analysis
Cryo-EM	Kryogenní elektronová mikroskopie
e-	elektron
EE	elektrická energie
EPA	Americká Agentura pro ochranu životního prostředí
h+	díra
LDPE	Low Density Polyethylene
MOFs	Metal-Organic Frameworks
NNI	National Nanotechnology Intiative
NOAA	Národní úřad pro oceán a atmosféru v USA
NOHMs	Nanoparticle Organic Hybrid Materials
NBT	nanočástice titaničitanu barnatého
nZVI	nanočástice nulamocného železa
OD 600	optická hustota při 600 nm
PE	polyethylen
POP	perzistentní organické látky
ROS	škodlivé kyslíkové radikály
SEM	rastrovací elektronový mikroskop
SPION	nanočástice supermagnetického oxidu železa
QDs	Quantum Dots neboli kvantová tečka (malá polovodičová částice)
TEM	transmisivní elektronové mikroskopie
USA	Spojené státy americké
UV	ultrafialové záření
VIS	viditelné spektrum
VVN	velmi vysoké napětí

WQI	Water Quallity Index
ZIF-8	Zeplitic Imidazolate Framework – kovově organické struktury

Úvod

Téma „Aplikace nanotechnologií v ochraně a sanaci životního prostředí“ je nepochybně zajímavou a současně velmi diskutovanou oblastí již mnoho let.

Slovní spojení „Ochrana životního prostředí“ se v dnešní době dostalo do povědomí snad již většiny lidí. Už dlouhou dobu to není téma, o které by vlády rozvinutějších zemí nejevily zájem, nebo které by dokonce záměrně ignorovaly. Je tomu zejména proto, že stav životního prostředí se podepisuje na velkém množství jevů, které se v přírodě okolo nás odehrávají, což přímo ovlivňuje lidi, kteří v zasažených územích žijí. Lidé nechtějí žít v oblastech, kde je voda znečištěná chemikáliemi z továren. Nechtějí žít ani v místech, kde voda s postupem času vymizela úplně, nebo kde naopak začaly každoročně hrozit povodně. A rovněž tak Nechtějí žít ani v místech, kde je půda tak znečištěná, že na ní nic neroste nebo vzduch tak jedovatý, že se nedá dýchat.

Snahy o nápravu nebo alespoň zachování určitého stavu životního prostředí však nemusí pocházet jen seshora od již zmíněného státního aparátu, který může třeba lidem doporučit, aby nějakým způsobem třídili odpad, ale již nekontroluje, jestli tak každý skutečně činí. Často bývají iniciovány i lidmi samotnými, což lze v návaznosti na použitou metaforu nalézt ve skutečnosti, že lidé povětšinou odpad skutečně dobrovolně třídí, i když za nedodržení nehrozí žádné pokuty nebo jiné postihy. O téma je tedy veřejností projeven zájem, a i když není úplně nové, je stále velice aktuální.

Společně s rozvojem vědy se měnily i způsoby, jakými byl stav životního prostředí sledován, vyhodnocován a popřípadě napravován. V současné době panuje názor, že není žádoucí na životní prostředí nahlížet jako na soubor izolovaných a navzájem se neovlivňujících jevů, ale že je potřeba ho vnímat jako systém komplexní, ve kterém vše interaguje se vším.

Cílem bakalářské práce je analyzovat význam a využití nanotechnologie na ochranu a sanaci životního prostředí. Práce je rozdělena do 4 hlavních částí. První kapitola se zabývá samotnou problematikou samotná problematika ochrany životního prostředí. V této části bakalářské práce je využita metoda literární rešerše dostupných tuzemských a zahraničních zdrojů zabývajících se změnou stavu životního prostředí. V rámci této kapitoly jsou analyzovány oblasti změny klimatu, energie, land use, vody a ekosystému.

Problematika nanotechnologie z obecného hlediska, vznik tohoto vědního oboru a nástin možností jeho využití je obsahem druhé kapitoly. Vzhledem k současnému vývoji v oblasti nanotechnologií dává smysl se zaměřit na hledání různých aplikací nově vznikajících materiálů a částic i v oblasti ochrany a sanace životního prostředí a zhodnotit jejich výhody nebo případné nevýhody, což je hlavním záměrem této práce. Posouzení využitelnosti principů nanotechnologie především v oblastech hydrosféry, atmosféry a pedosféry (úprava znečištěné vody a vzduchu, sanace půdy apod.) je obsahem třetí kapitoly. Zde je opět provedena rešerše dostupné tuzemské a zahraniční literatury zabývající se problematikou nanotechnologie a jejím možným využitím na ochranu a sanaci životního prostředí. Konkrétně se zaměřuje na vybrané způsoby čištění vody, snižování množství CO2 obsaženého v atmosféře a sanaci půdy. Jsou zde porovnávány stávající metody ochrany a sanace životního prostředí a možnosti využití nanotechnologie.

Poslední čtvrtá kapitola pojednává o poli nanotoxikologie. Tato kapitola se věnuje zkoumání toxicity nanočástic a nanomateriálů. Oproti běžným toxikologickým rozborům je výzkum toxicity na poli nanočástic a nanomateriálů ztížen o skutečnost, že v říši nanorozměrů se naskýtá mnohem více možností, jak toxicky působit na okolí. Kapitola slouží zejména k tomu, aby informovala čtenáře o soudobém stavu výzkumu v této oblasti. V kapitole budou shrnuty nejnovější trendy a bude nastíněno další možné směřování výzkumu v této oblasti.

V závěru práce je provedeno zhodnocení schopnosti nanotechnologií pomoci při řešení problémů spojených s ochranou a sanací životního prostředí. Jsou zde popsána vybraná úskalí nebo současné nedostatky ve směru, kterým se výzkum a vývoj v rámci tohoto pole ubírá.

Jak již bylo uvedeno, Práce je pojata formou důkladné literární rešerše především akademických zdrojů převzatých zejména z různých odborných časopisů. Pakliže se mezi použitými zdroji vyskytovaly nějaké nesrovnalosti (například starší zdroj uváděl jiné informace než zdroj novější nebo si v nějakém místě přímo odporovali) bylo to v práci zohledněno uvedením informací z obou zdrojů.

1 Ochrana životního prostředí

S postupem času je stále zřejmější, že na změnu stavu životního prostředí měli a stále mají vliv lidé. Činnost člověka může způsobovat mimo jiné kontaminaci vzduchu, vody, změny v land use, fragmentaci přirozených útočišť některých živočichů, a další (National Research Council 2012, s. 15–16).

V minulosti bylo zaznamenáno mnoho úspěchů ve snaze o zlepšení zhoršujícího se stav životního prostředí formou nápravy jednotlivých instancí jako izolovaných jevů další (Burke, et al. 2017, s. A43). Tento postup se v některých případech projevil jako dvojsečný meč – tedy řešil problém v jedné oblasti a zároveň být se ukázal být detrementem pro oblast jinou (National Research Council 2012, s. 16) jako tomu bylo například v případě likvidace ropné skvrny v mexickém zálivu v roce 2010 (a samozřejmě i jiných ropných skvrn), kde byl nešťastnými pokusy o likvidaci zmíněné katastrofy ekosystém ovlivněn v některých případech hůře, než kdyby k určitým zásahům, jako bylo třeba použití rozpouštědla Corexit 9500 za účelem odstranění ropné skvrny, vůbec nedošlo (Temple University 2015).

V současné době již ve vědecké komunitě panuje názor, že je třeba na problémy v oblasti ochrany životního prostředí nahlížet komplexně, ne jako na izolované a na sobě nezávislé události (National Research Council 2012, s. 16). Pro popis problematiky znečištění životního prostředí se v dnešní době často používá termín „Wicked Problems“. Toto slovní spojení by bylo možné zhruba definovat jako problémy, které:

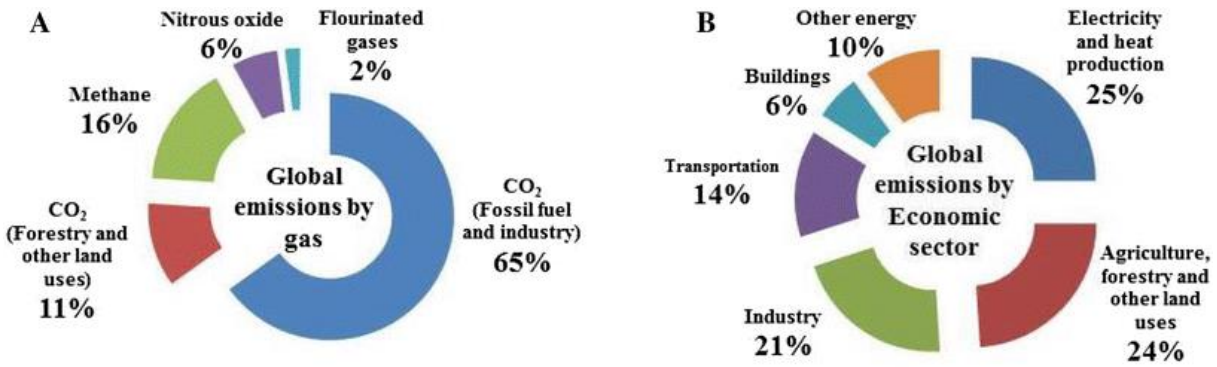
- Je složité vyřešit, protože je těžké je přesně definovat.
- Nějakým způsobem úplnému vyřešení vzdorují – jejich řešení má jen výsledky, které mohou být vnímány jako instance na spektru od dobrého po špatné.
- Jsou lidmi nedostatečně pochopeny.
- Mají více komplexních a mezi sebou interagujících příčin.
- Pokusy o vyřešení často vyústí v nějaké nepředvídatelné následky nebo další problémy.
- Jsou multidisciplinární povahy (National Research Council 2012, s. 16).

Termínem Wicked Problems (WP) byly vědeckou komunitou označeny problémy spojené se změnami klimatu, hledáním alternativních zdrojů energie, optimalizace politiky land use, sledování a zlepšování kvality a kvantity vody, a další (Burke, et al. 2017, s. A43).

V následující části práce poskytne obecný přehled největších soudobých problémů v různých oblastech ochrany životního prostředí, ilustruje jejich vzájemnou interdependenci pomocí vybraných příkladů a v neposlední řadě je naváže na odpovídající sféry zájmu oblasti fyzické geografie, kterážto představuje naprostý základ pro provádění jakýchkoli studií a výzkumů v oblasti ochrany životního prostředí. Dále práce poskytne rozsáhlý grafický i slovní popis problémů spojených s tématem na území USA v současné době a jejich projektované následky do roků 2050 nebo v některých případech až 2100. V množině případů jsou k předpovídaným katastrofickým scénářům, které předpokládají nulovou úspěšnost snahy o zlepšení úrovně stavu životního prostředí oproti současnému stavu vypracované i prognózy zohledňující úspěšnost snah o nápravu stavu. Zdroj (EPA, 2015b) byl vybrán z toho důvodu, že byl zpracován jako ucelená zpráva vypracovaná vládní organizací EPA sledující pouze jedno území za určitý čas, což přispívá k normalizaci metod použitých pro sběr, popis a analýzu a výstup dat. Tento fakt umožňuje data převzatá ze zdroje přímo porovnávat s minimalizací chyby vycházející z jinak možných rozdílných zdrojů nebo metod pro zpracovávání a zobrazování dat.

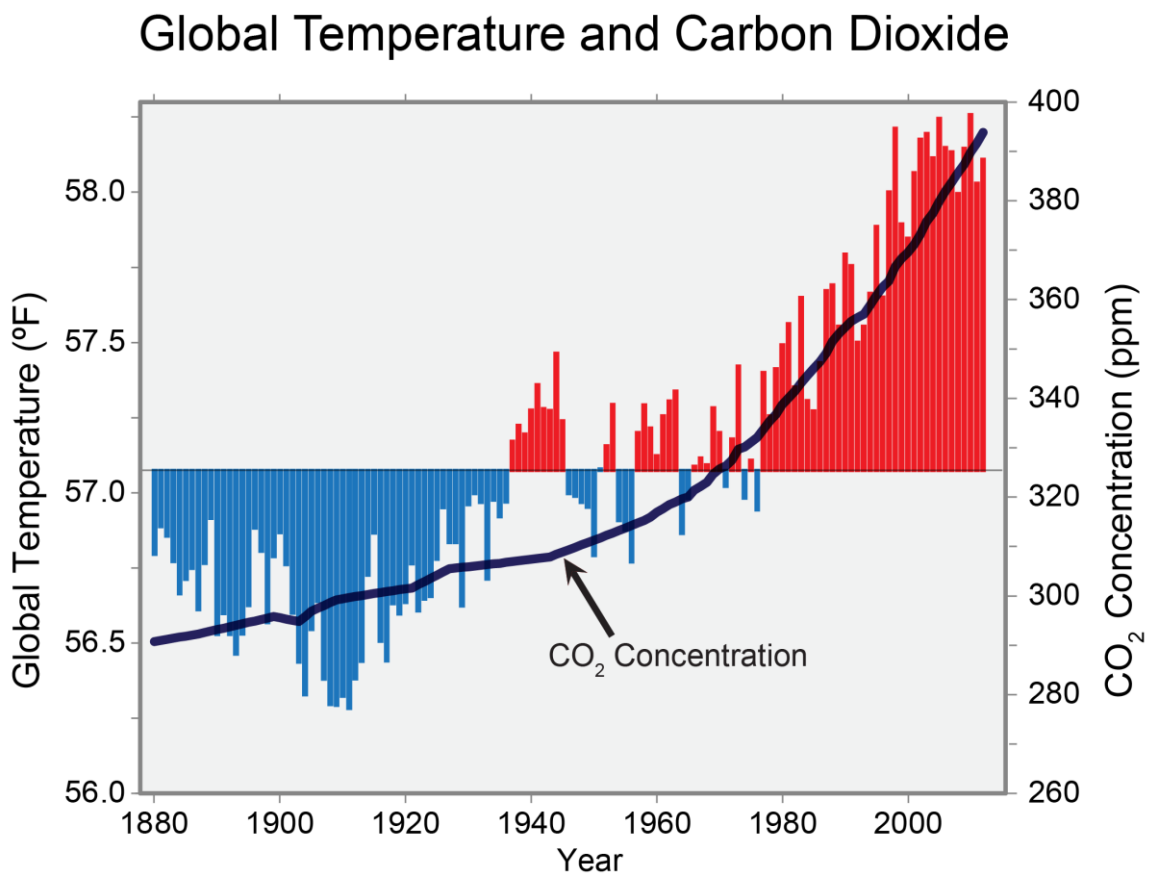
1.1 Změny klimatu

Vlivem lidského rozvoje od dob průmyslové revoluce do současnosti dramaticky narůstalo množství skleníkových plynů v atmosféře, a to zejména kvůli využívání fosilních paliv a změnám ve způsobu nakládání s krajinou (land use), které se podílí zejména na přibývání CO_2 (Ilustrace 1), což přímo koreluje s meziročním zvyšováním průměrné teploty (Ilustrace 2).



Ilustrace 1: Skleníkové plyny
Zdroj: Srivastava, et al. 2016, s. 316

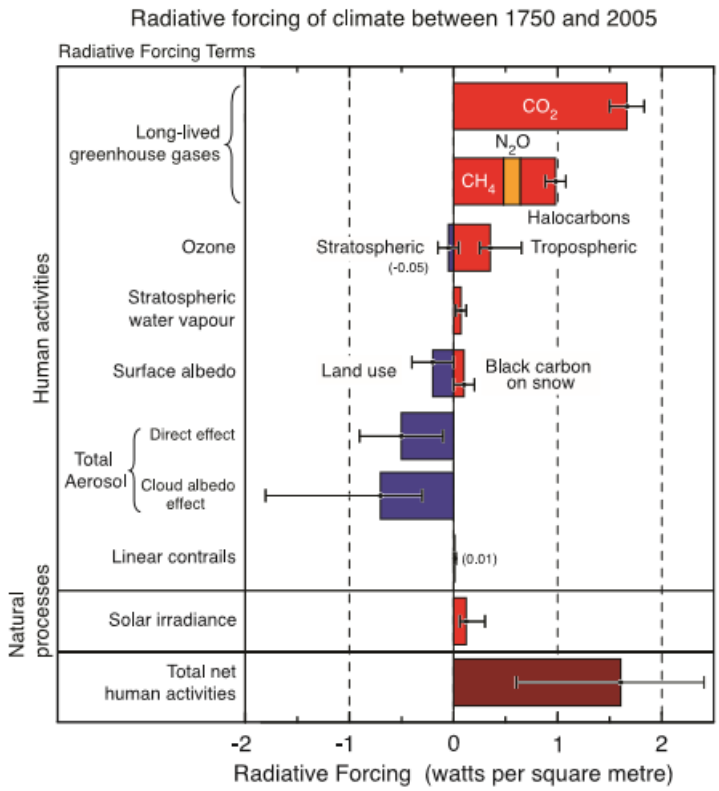
Na této Ilustraci je znázorněna globální emise skleníkových podle typu plynu (A) a podle ekonomického sektoru (B).



Ilustrace 2: Vývoj průměrné globální teploty korelující s koncentrací CO2 v atmosféře
Zdroj: Karl, et al. 2009, s. 17

Nejvýznamnější skleníkové plyny z pohledu potence zvyšování teploty atmosféry jsou CO_2, Metan, Oxidy dusíku (hovorově „noxy“) a halogenované uhlovodíky[1], jejichž přírůstek v atmosféře, jak ilustrace (Ilustrace 3) demonstruje, je z drtivé většiny přičítán lidské činnosti. Mimo průmysl a produkci elektřiny a tepla se na množství emisí skleníkových plynů velikou měrou (24 %) podepisuje land use, jak je naznačeno v ilustraci (Ilustrace 1, část B) a podrobněji rozebráno v kapitole 1.3.

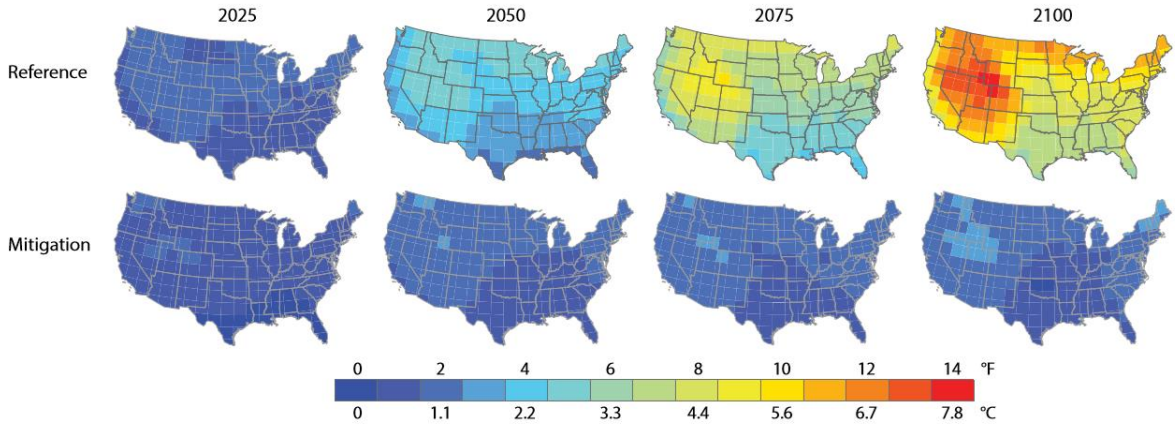
[1] Sloučeniny, které mají alespoň jeden atom uhlíku kovalentně propojený s alespoň jedním atomem prvku ze skupiny halogenů.



Ilustrace 3: Hlavní faktory mající vliv na globální oteplování a ochlazování.
Zdroj: Forster, et al. 2007, s. 136

Změny klimatu mají obecně vliv na kvalitu vzduchu (EPA 2015b, s. 25), kvalitu a množství vody (EPA 2015b, s. 15), agrikulturu (EPA 2015b, s. 59–63) a v neposlední řadě i na lidi a kvalitu lidského zdraví (EPA 2015a, s 21). Každý ze zmíněných faktorů nějakým způsobem více či méně ovlivňuje ekonomiku zasažených států. Vezměme v potaz, že globální nárůst teploty ovlivňuje všechny ze zmíněných oblastí najednou. Proto je potřeba uvažovat jejich vliv na ekonomiku a lidské zdraví jako sumu parciálních vlivů jednotlivých událostí, ne jako izolované instance.

Na následující ilustraci (Ilustrace 4) jsou zobrazeny změny v nárůstu průměrné teploty na území USA. Datový model ukazuje, že rozdíl mezi neaktivitou a aktivní snahou o zmírnění změn klimatu má být dosti znatelný již v roce 2050. Při porovnání roků 2075 a 2100 je již patrný velice markantní rozdíl, který může v jednotlivých regionech dosáhnout až hodnoty okolo 6°C.

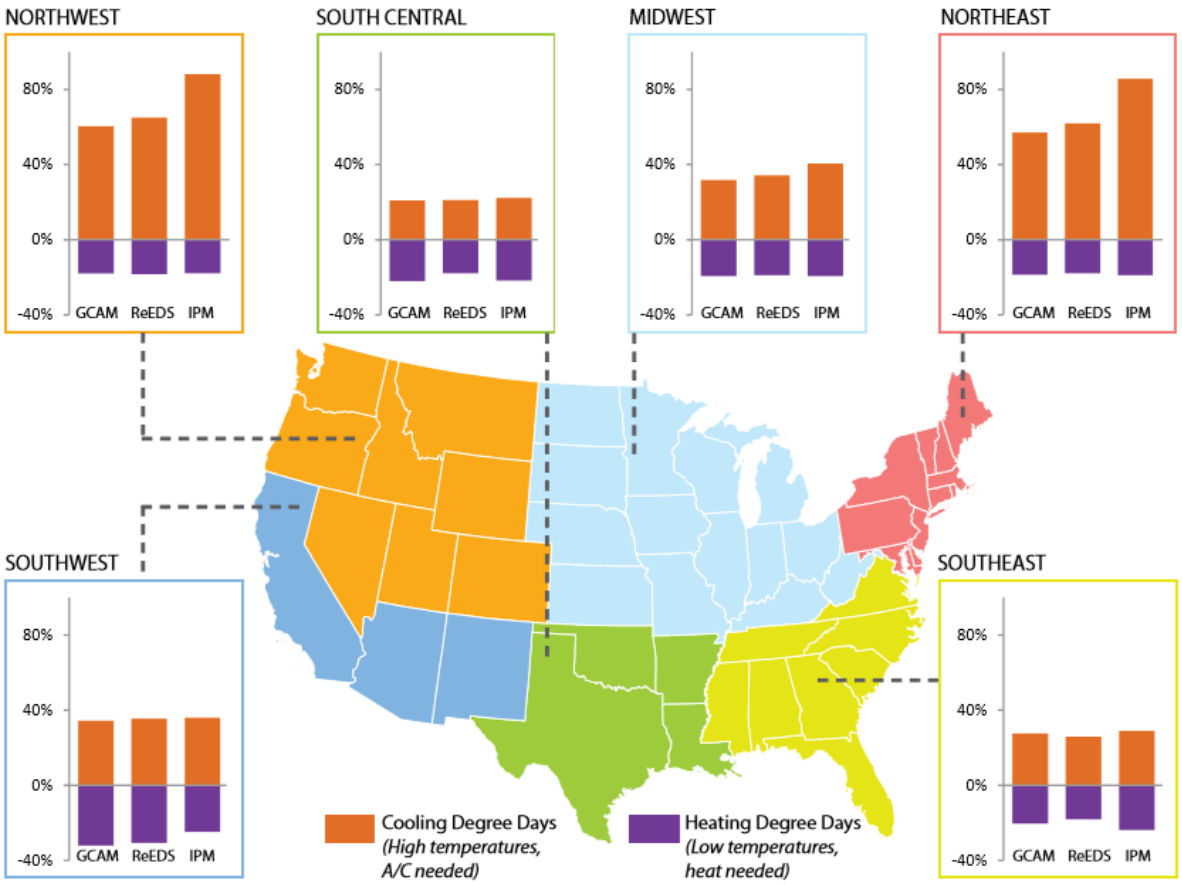


Ilustrace 4: Nárůst průměrné teploty na území USA
Zdroj: EPA 2015b, s. 12

Ilustrace obsahuje projektované změny teploty na území USA bez a se snahou o mitigaci teplot v čase. Změny počítané s ohledem k soudobým průměrným teplotám. Je asi zřejmé, že toto téma lze zařadit do hned několika, ne-li všech, oblastí zájmu fyzické geografie. Určitě lze jeho následky pozorovat a zkoumat zejména z hlediska meteorologického (potažmo klimatologického, pakliže se bavíme o změnách dlouhodobějšího charakteru), hydrologického, nebo třeba glaciologického. Jen těžce by se však dalo argumentovat o tom, že se změny klimatu nedotknout do nějaké míry třeba i oblastí, jako jsou biogeografie, oceánografie, nebo třeba sféry krajinné ekologie. Opět lze pozorovat velikou provázanost napříč sférami.

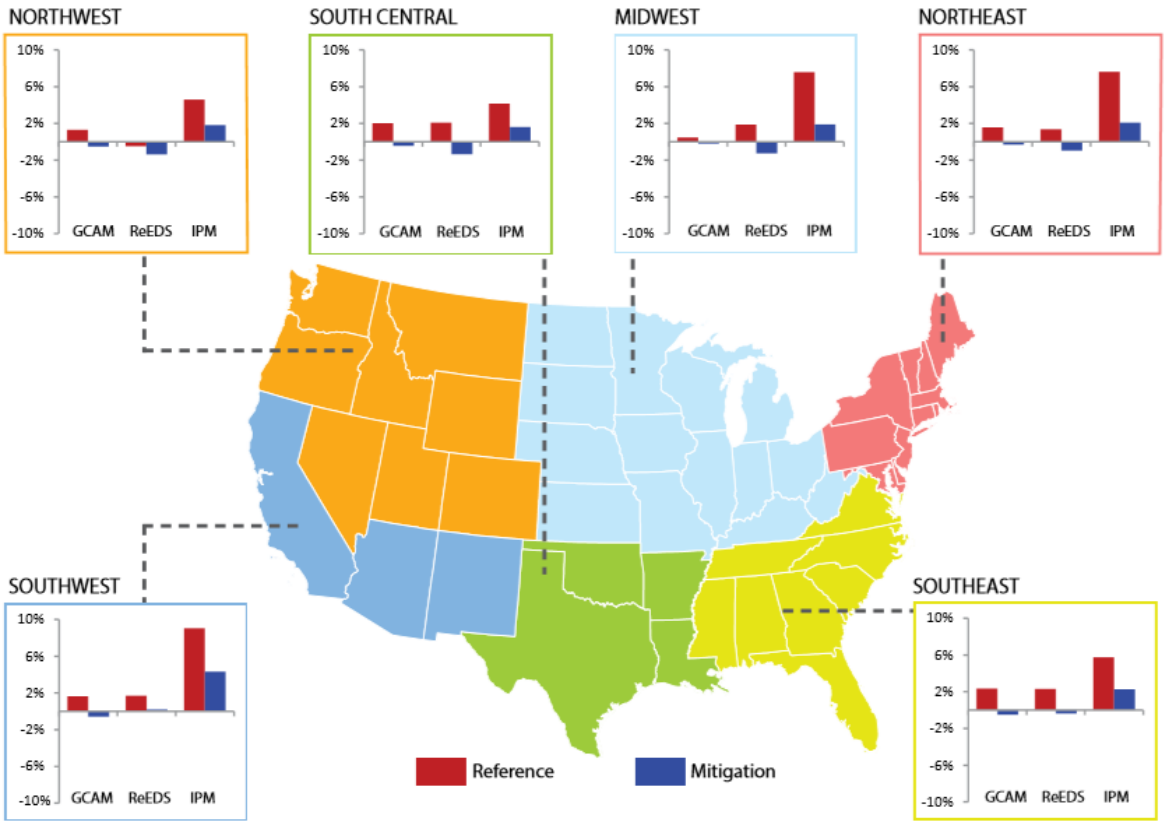
1.2 Energie

Množství energie, které lidé vyžadují, se meziročně zvyšuje (Burke, et al. 2017, s. A43). V budoucnosti by mohla vlivem trendu globální změny teploty poklesnout poptávka po energii tepelné, poptávka po energii elektrické však bude stoupat, a to z velké části kvůli zvýšení množství na síť soudobě připojených klimatizačních jednotek (EPA, 2015b, s. 45). Ilustrace (Ilustrace 5) zobrazující území USA předpovídá plošné zvýšení dní, ve kterých bude potřeba mít zapnuté klimatizace, a to v některých případech až o více než 80% nárůst v porovnání roku 2050 se současností.



Ilustrace 5: Modelace počtu dní a spotřeby energie vlivem globální změny teploty
Zdroj: EPA 2015b, s. 46

Model dále předpovídá snížení dní, ve kterých bude potřeba topit. Data jsou zobrazena v porovnání se současným stavem. Dále zmíněná ilustrace zobrazuje snížení počtu dní, ve kterých bude třeba v domech přitápět vlivem nízké venkovní teploty, a to v některých případech až o téměř 40 % za zmíněné období. Respektivní regionální zvyšování a snižování hodnot koreluje se změnami teplot zobrazených v referenčním datovém modelu předchozí ilustrace (Ilustrace 4). S přihlédnutím k těmto datům analytici vypracovali i model sledující změny v regionální spotřebě elektrické energie k roku 2050 pro popisované území (Ilustrace 6). V některých případech se jedná o zvýšení až o 10 %, naopak v případě úspěšného umírnění problému jsou některé modely optimistické a předpovídají i snížení spotřeby elektrické energie v porovnání se současným stavem.



Ilustrace 6: Změny ve spotřebě EE v roce 2050 na území USA bez a s mitigací
Zdroj: EPA 2015b, s. 47

V současné produkci a způsobu transportu elektrické energie od místa výroby ke spotřebiteli lze nalézt několik úskalí, které by dále mohli znesnadňovat schopnost provozovatelů energetických sítí dodat elektřinu v požadovaném zvýšeném množství. Jedním z nich je fakt, že elektrárny a rozvodny jsou náchylné k poškození bouřkou a větrem. Zvýšení teploty atmosféry dále znamená snížení výrobní kapacity tepelných elektráren, a to zejména proto, že voda, která je používaná primárně k chlazení generátorů, bude v průměru teplejší, a bude jí dostupný menší celkový objem. Navíc vlivem zvýšené teploty atmosféry dojde i ke snížení přenosové kapacity energetických linek (zvýší se odpor vodičů), což vede ke snížení účinnosti celého systému v důsledku zvýšení ztrátového výkonu[2] (EPA, 2015b, s. 45). Výčet problémů v diskutované oblasti tím ale nekončí. Vedle již popsaných energetických nepříjemností zde hrozí i poruchy mechanického charakteru, které mohou nabývat třeba formy rychlejšího stárnutí materiálu vodičů vlivem zvýšeného tepelného a mechanického namáhání, což bude problém zejména u linek velmi vysokého napětí (VVN), na kterých může být závislá veliká

[2] Zvýšení odporu nebo teploty vodiče znamená zvýšení ztrátového výkonu, který je vyzařován do okolí P = R*I*I.

spousta lidí. S postupem času by mohlo být nezbytné přejít na vodiče s větším průřezem – tedy dražší. Výčet problémů by mohl dále pokračovat.

Vzpomeňme, že současný způsob produkce elektrické energie (nejen) v tepelných elektrárnách, které mají ve spoustě zemích majoritní podíl na celkovém množství vyrobené elektrické energie, nezanedbatelnou měrou přispívá ke zvyšování množství CO_2 v atmosféře (Ilustrace 1b), což nás opět vrací k předchozí kapitole a již zmíněným návaznostem na sféry fyzické geografie. Jak již bylo zmíněno, podobných provázaností lze najít téměř nespočetné množství. Tyto postřehy mají čtenáři napomoci k pochopení již několikrát zmíněné provázanosti napříč zkoumanými tématy a posílit povědomí o komplexnosti řešení zkoumané problematiky.

1.3 Land use

Land use zahrnuje (ale není limitováno na rozhodnutí o plánování tras, kterými budou vedeny silnice, rozhodnutí o umístění průmyslových objektů nebo celých zón v určité oblasti, rozhodnutí ovlivňující udržitelnou dostupnost jídla, pitné vody, ubytování, relaxačních zón, kterými jsou třeba veřejné parky, a další neméně závažná rozhodnutí. Všechny tyto faktory se mimo jiného podepisují na míře fyzické aktivity, úrovni stresu, a z toho vznikajících fyzických a psychických onemocnění u lidí žijících v dané lokalitě (Burke, et al. 2017, s. A43). Zjednodušeně lze tedy z předchozího popisu vyvodit, že land use může mít vliv na kvalitu vzduchu, půdy, zdroje vody, a v neposlední řadě i na lidské zdraví. Jak již bylo zmíněno a jistě ještě zmíněno bude – i v této oblasti lze sledovat vysokou míru provázání se sférou fyzické geografie. Za nejvíce dotčené subsféry fyzické geografie by v tomto případě daly považovat například geomorfologie, pedologie, hydrologie a další.

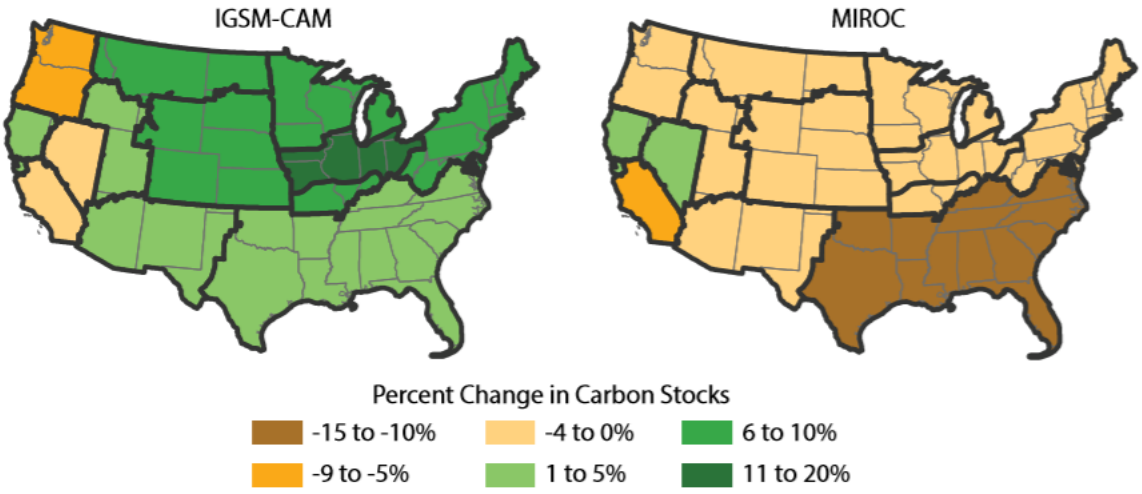
Jako u předchozích kapitol se práce nebude snažit poskytnout vyčerpávající seznam konkrétních vlivů na všechny popsané oblasti, Pro ilustraci interdependence mezi jednotlivými tématy bude podrobněji rozebrán vliv land use na globální změny klimatu.

Jedním z klíčových faktorů, ke kterému se přihlíží při zjišťování kvality a plodnosti půdy, je podíl uhlíku v půdě obsažený. Čím větší množství uhlíku je v půdě obsaženo, tím je půda považována za kvalitnější a plodnější (Srivastava, et al. 2016, s. 319). V půdě je celkem obsaženo více uhlíku než v atmosféře a rostlinách dohromady. Dynamika jeho uvolňování z půdy, stejně jako možnost jeho opětovného ukládání je minimálně částečně ovlivněna lidskou

činností (Srivastava, et al. 2016, s. 317). Důkazem tohoto tvrzení může být například dramatické snižování koncentrace uhlíku v půdě, která byla člověkem přeměněna ze zalesněné plochy na plochu hospodářskou (Kundu, et al. 2017, s. 519). Dalším z faktorů majících vliv obsah uhlíku v půdě jsou například často používaná umělá hnojiva, která jsou sice schopna krátkodobě zvýšit plodnost půdy, ale s jejich dlouhodobým využíváním dochází ke snížení podílu uhlíku v půdě (Srivastava, et al. 2016, s. 319).

Země je převážně uzavřený systém. Moc materiálu se sem z vesmíru nedostane, a moc ho do vesmíru neodletí. Pakliže uhlík bude ukládán do půdy ve snížené míře, tak ho velká část zůstane v atmosféře, a to převážně v podobě CO_2, který má, jak již bylo rozebráno v kapitole 1.1, veliký vliv na meziroční zvyšování teploty atmosféry.

Datové modely vypracované pro území USA v roce 2100 se v předpovědi zvyšování nebo snižování obsahu uhlíku uloženého v půdě značně rozcházejí. Model MIROC uvažuje sušší klima, oproti tomu model IGSM-CAM uvažuje klima vlhčí, a tedy vhodnější pro růst vegetace. Plošné rozložení je již tradičně znázorněno na přiložené ilustraci (Ilustrace 7).



Ilustrace 7: Předpokládané změny množství CO_2 v půdě na území USA
Zdroj: EPA 2015b, s. 74

Na Ilustraci jsou znázorněny projektované změny množství CO_2 uloženého v půdě na území USA v roce 2100 v porovnání s dnešními hodnotami.

1.4 Voda

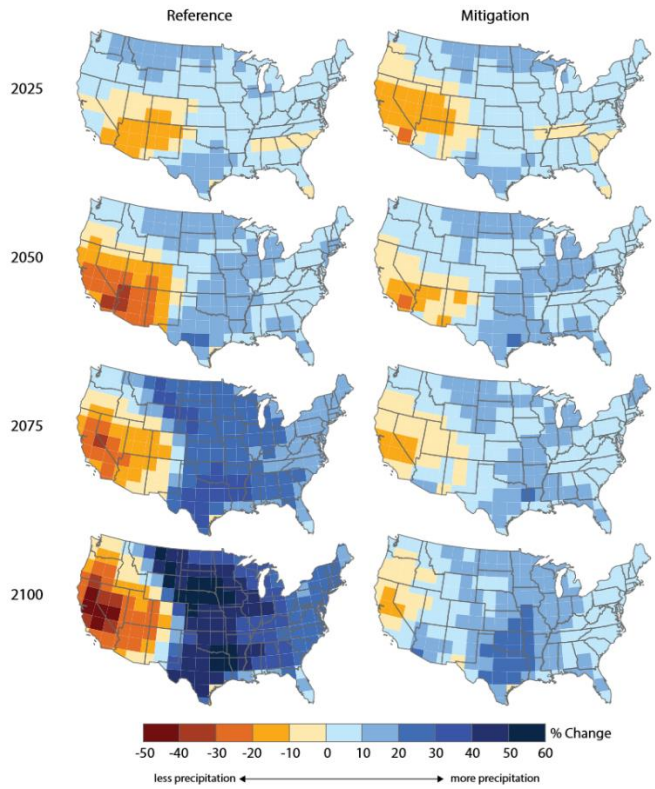
Význam vody pro život nemá cenu podrobně rozebírat, je to obecně velmi dobře známé téma. Bystrý čtenář již také jistě dokáže s velikou mírou jistoty odhadnout, se kterou ze sfér fyzické geografie bude toto téma nejvíce propojeno a jistě pochopil, že je tato tématika nějakým způsobem provázaná téměř se vším. Přesuňme se tedy přímo k sekci popisující problémy.
Způsoby kontaminace vody lze v zásadě rozdělit na lokalizované[3] a nelokalizované[4] zdroje znečištění (Moore 2011, s. 285).

- Lokalizované zdroje znečištění jsou charakteristické zejména relativně snadným prostorovým vymezením a regulací v porovnání s nelokalizovanými zdroji. Příklady lokalizovaných zdrojů znečištění mohou být třeba vypouštění odpadních produktů z chemických průmyslů nebo vypouštění neupravené odpadní vody do vodních toků (Moore 2011, s. 284).
- Nelokalizované zdroje znečištění se pak vyznačují vyšší složitostí přesné prostorové lokalizace, v důsledku čehož je v mnoha případech mnohem obtížnější určit subjekt, který za znečištění nese vinu a vyžadovat po něm nápravu. Příklady zahrnují průnik umělých hnojiv do zdrojů vody nebo třeba kyselé deště (Moore 2011, s. 285).

Lidská činnost, jak již bylo předesláno, se podepisuje i na dlouhodobém meziročním zvyšování globální teploty, což bude stále markantněji ovlivňovat i toto subtéma ochrany životního prostředí, a to tím způsobem, že bude mimo jiné docházet ke stále většímu úhrnu vypařování vody ze zemského povrchu.

Vlivem zvýšenému úhrnu množství vypařované vody bude na některých územích docházet ke zvýšení úhrnu srážek, což může vést až k povodňovým stavům (EPA, 2015b, s. 51–53). Povodňovým stavům je možno do jisté míry předcházet nebo jejich efekt částečně mitigovat třeba správným adaptováním land use – například zalesňování rizikových oblastí, a z toho plynoucí zvýšení retenčních vlastností půdy, nebo třeba stavbou přehrad a podobně. Přehrady však opět zvyšují plochu, ze které se voda může vypařovat. Oblasti, ve kterých studie předpokládá povodňové stavy v roce 2100 kopírují oblasti, kde bude docházet ke zvýšenému úhrnu srážek (Ilustrace 8).

[3] Point sources (Moore 2011, s. 284).
[4] Non-point sources (Moore 2011, s. 285).

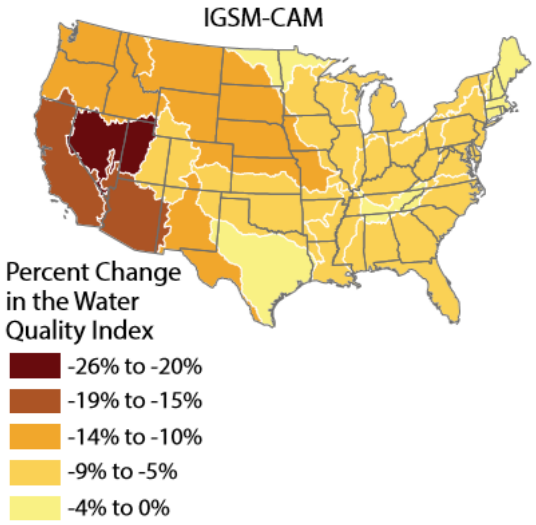


Ilustrace 8: Projektované změny srážkovosti na území USA v čase bez a s pokusy o mitigaci
Zdroj: EPA 2015b, s. 14

Pro jednotlivé oblasti sledovaného území jsou předpokládané náklady na likvidaci škod způsobených povodněmi v řádech až několika miliard amerických dolarů (EPA 2015b, s. 52). Zvyšující se množství skleníkových plynů v atmosféře bude mít vedle zvýšeného výskytu povodní za následek i další regionálně exkluzivní extrém – sucho. Sucho, které, pakliže by měl pokračovat současný trend vývoje množství skleníkových plynů v atmosféře, bude mít nedozírné ekonomické, sociální a ekologické následky. I pro tento stav byly vypracovány datové modely. Prognóza je taková, že pakliže nebudou učiněna žádná opatření umírňující tento stav, tak by se v roce 2100 mohlo za časovou periodu 30 let v některých regionech USA vyskytnout až 200 měsíců, které by byly kategorizované jako suché. Naopak při učinění příslušných opatření jsou modely optimistické a předpovídají snížení počtu suchých měsíců o zhruba stejnou hodnotu, efektivně tedy předpovídají zachování současného stavu (EPA 2015b, s. 53–55).

Změnou úhrnu srážek však problémy v této oblasti nekončí. Další, méně známý ale neméně významný jev spojený s oteplováním vody, se nazývá termální znečištění. V případě pevných látek se voda chová tak, že se zvýšením její teploty dojde ke zvýšení schopnosti vody rozpustit více dané látky (pakliže je látka vodou rozpustná), než dojde k dosažení hranice saturace

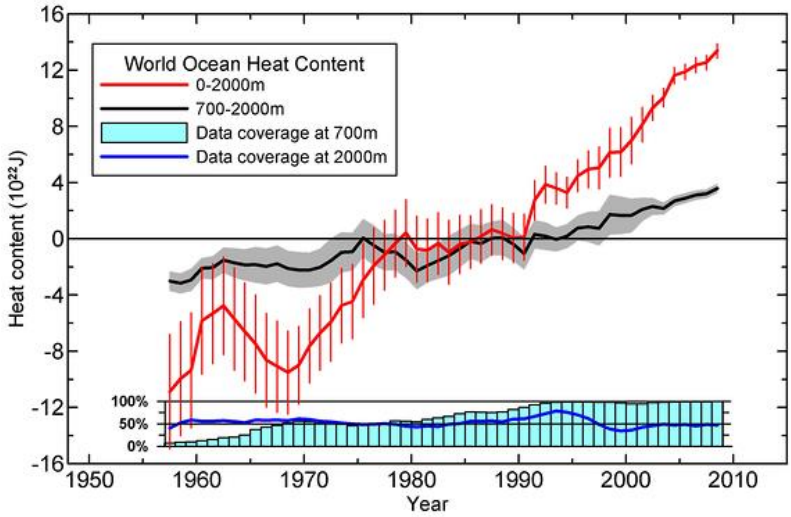
roztoku. U plynů, jako je třeba kyslík, je tomu však naopak. Čím vyšší teplota vody, tím méně plynu se je schopno ve vodě rozpustit. Proces oteplování vody má tedy negativní vliv na vodní faunu a flóru, která pro svůj život potřebuje nějaké minimální množství kyslíku a jiných látek obsažených ve vodě (Moore 2011, s. 138–139). Tímto se beze sporu téma přímo dotýká oblasti biogeografie, která zkoumá rozložení živých organismů napříč planetou a studuje interakce mezi nimi a prostředím, ve kterém se pohybují v určitém čase (Horník, et al. 1986, s. 109). Pro samotné určování kvality vody utilizuje Climate Change Impact and Risk Analysis (CIRA) takzvaný Water Quallity Index (WQI), který zahrnuje faktory jako jsou právě teplota vody, množství ve vodě rozpuštěného kyslíku, obsah dusíku, obsah fosforu a další (EPA 2015b, s. 31). Do budoucna modely obecně předpovídají zhoršení kvality vody. Příklad takového prognostického modelu zobrazujícího stav v roce 2100 na území USA je k nahlédnutí na následující ilustraci (Ilustrace 9). Jak je vidět, tak žádná část ilustrace nepředpovídá zlepšení. Míru zhoršení by bylo možné snížit úspěšnými pokusy o řešení problematiky ochrany životního prostředí.



Ilustrace 9: Prognóza zhoršení kvality vody na území USA
Zdroj: EPA 2015b, s. 30

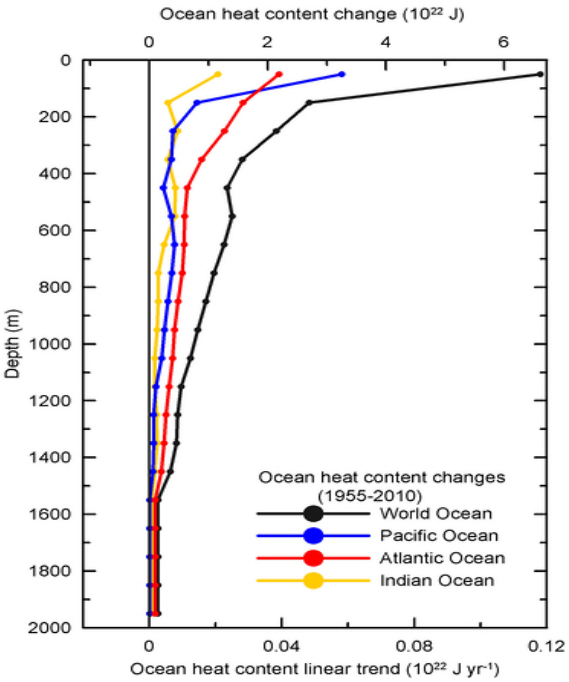
Na Ilustraci je znázorněna předpokládaná míra zhoršení kvality vody na území USA. V modelové situaci jsou porovnáván rok 2100 a současný stav. Jak je vidět, tak žádná část ilustrace nepředpovídá zlepšení. Míru zhoršení by bylo možné snížit úspěšnými pokusy o řešení problematiky ochrany životního prostředí. Když pomineme pevninskou vodu a zaměříme se na oceány tak zjistíme, že ani těm se ničivé následky změny životního prostředí nevyhnou. Pro oblast fyzické geografie to bude znamenat přímý vliv především na sféru oceánografie. Světové oceány absorbují mezi 91 % – 93 % tepla do systému přidaného vlivem zvýšení emisí

skleníkových plynů, to zapříčiňuje zvyšování teploty oceánů. Vrstva vody od 700 m do 2000 m absorbuje asi třetinu celkového přijatého tepla za celou sledovanou vrstvu 0 m až 2000 m, (Ilustrace 10), což znamená, že dochází hlavně k ohřívání vrstvy svrchnější (Levitus, et al. 2012, s. 2).



Ilustrace 10: Rozložení teploty ve světovém oceánu
Zdroj: Levitus, et al. 2012, s. 2

Ještě podrobnější pohled na problematiku poskytuje ilustrace (Ilustrace 11), která znázorňuje změnu teploty oceánů v rozsahu od hladiny po hloubku 2000 m znázorněná po 100m vrstvách v časovém období od 1955 do 2010.

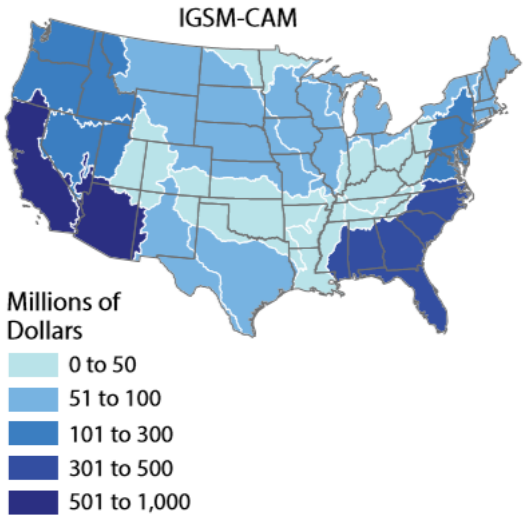


Ilustrace 11: Změna teploty oceánů
Zdroj: Levitus, et al. 2012, s. 3

Ze zobrazených dat lze vyčíst, že nejstrmější nárůst v přírůstku teploty oceánů lze globálně vysledovat ve vrstvě od hladiny po hloubku 2000 m. Data od NOAA podporují předchozí zjištění a dodávají, že od roku 1880 k roku 2018 docházelo ke zvyšování průměrné povrchové teploty oceánů (svrchních několik metrů) v průměru o 0,06 °C za desetiletí, přičemž se teplotní anomálie dostaly do záporných čísel naposledy zhruba v polovině 70. let 20. století. (NOAA, 2019).

Oceány absorbují asi čtvrtinu CO_2 vypuštěného do atmosféry (EPA 2015 b, s. 68). Od dob průmyslové revoluce (zhruba 200 let nazpět) se pH hladin oceánů snížilo o asi 0,1, a to zejména vlivem zvyšování množství CO_2 v atmosféře. O tomto úkazu se hovoří jako o acidifikaci oceánů. Změna o 0,1 jednotky na stupnici se nemusí zdát jako až tak moc, ale vzhledem k tomu, že je pH stupnice logaritmická, reprezentuje tato změna zvýšení kyselosti o asi 30 % (NOAA 2013).

Z předchozí analýzy vyplývá, že zhoršení kvality a snížení kvantity vody by znamenalo mimo vlivu na zdraví lidí a přírody i nezanedbatelnou ekonomickou zátěž pro zasažené státy. Z následující ilustrace (Ilustrace 12) lze vysledovat, že se datové modely v některých případech zmiňují o nákladech ve výši až miliardy amerických dolarů ročně pro jednotlivá území USA.



Ilustrace 12: Analýza změny nákladů spojených se změnami v oblasti hydrosféry
Zdroj: EPA 2015b, s. 31

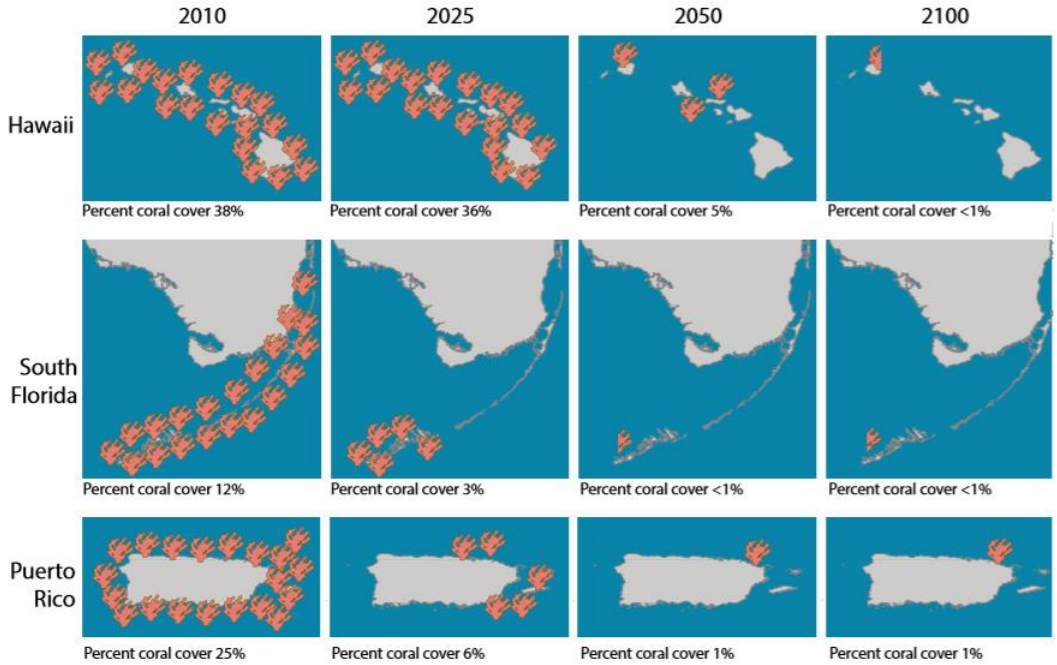
Pro celé území USA by se pak jednalo o částku skoro 4 miliard ročně s prudkým nárůstem mezi roky 2050 a 2010. V případě úspěšného řešení problematiky ochrany životního prostředí prognózy hovoří o nákladech daleko nižších. Řádově se v takovém případě částky pohybovaly v řádech stovek milionů amerických dolarů pro celou plochu území USA (EPA 2015b, s. 31).

1.5 Ekosystém

Ekosystém je společenství organismů, které interagují mezi sebou a prostředím v určitém čase a prostoru. Prostředím se rozumí souhrn všech vnějších činitelů působících na organismy, které na ně reagují (Horník, et al. 1986, s. 200). Ekosystémem může tedy být například rybník, vesnice, korálový útes, a tak dále. Velice podobná je i definice oblasti zájmu biogeografie (Horník, et al. 1986, s. 109).

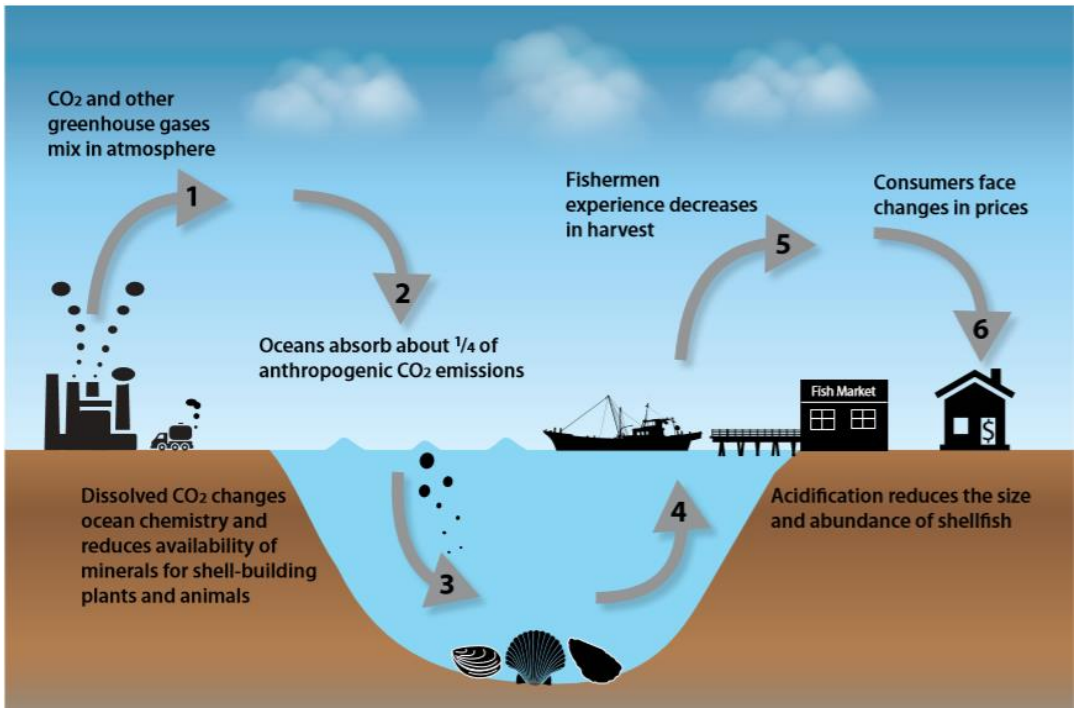
Špatný stav životního prostředí má nepřekvapivě neblahý vliv i na ekosystémy. V oceánech to může mít za následek mimo jiné například degradaci a následný úbytek korálových útesů, a to zejména proto, že většina korálů konstituujících korálové útesy je v symbiotickém vztahu s řasou zvanou zooxantela, která jim skrz fotosyntézu poskytuje mimo jiné glukózu, glycerol a aminokyseliny, které korály zpracovávají na proteiny, tuky, uhlovodíky, a další prvky nezbytné k jejich zdárnému rozvoji. Zooxantela korálům také propůjčuje jejich charakteristické zbarvení (NOAA 2020). Zvyšování teploty oceánů může mít za následek oddělení zmíněné řasy od korálu, což implicité znamená oddělení řasy od většiny korálů v zasažené oblasti. Pro korály to znamená ztrátu veliké části živin, kterých je v tropických oceánech již tak po málu. Při déle trvající separaci řasy od korálů začnou korály ztrácet barvu (EPA 2015b, s. 66). Výčet nebezpečí globálního oteplování tím ale pro korálové útesy nekončí. Další nebezpečí představuje již zmíněná acidifikace oceánů. Po absorpci CO_2 do oceánu dojde k chemickým reakcím mezi H_2O a CO_2, jejichž výsledkem zvýšení množství kationtů vodíku, které budou „soupeřit“ s kationty Ca(2+) o možnost vázat se s CO_3(2-), to bude mít defacto za následek snížení množství vznikajícího $CaCO_3$, což je jeden z hlavních materiálů pro formování vápenných skořápek mořských živočichů a korálů (NOAA 2013).

Acidifikace oceánů může pro korály mimo nedostatku $CaCO_3$ znamenat i nedostatek jiných minerálů, které potřebují pro své přežití (EPA 2015b, s. 66). Na následující ilustraci (Ilustrace 13) jsou znázorněny úbytky korálů na několika místech v čase. Zajímavé je, že ze všech 3 popsaných míst lze do jisté míry zachránit jen korály okolo Havaje, kde by jich v roce 2100 mohlo být zachráněno asi 13 %. U zbylých dvou míst se křivky vývoje v čase bez a s možnou mitigací shodují a předpovídají téměř úplné vymizení korálů v daných oblastech již okolo roku 2050 (EPA 2015b, s. 67).



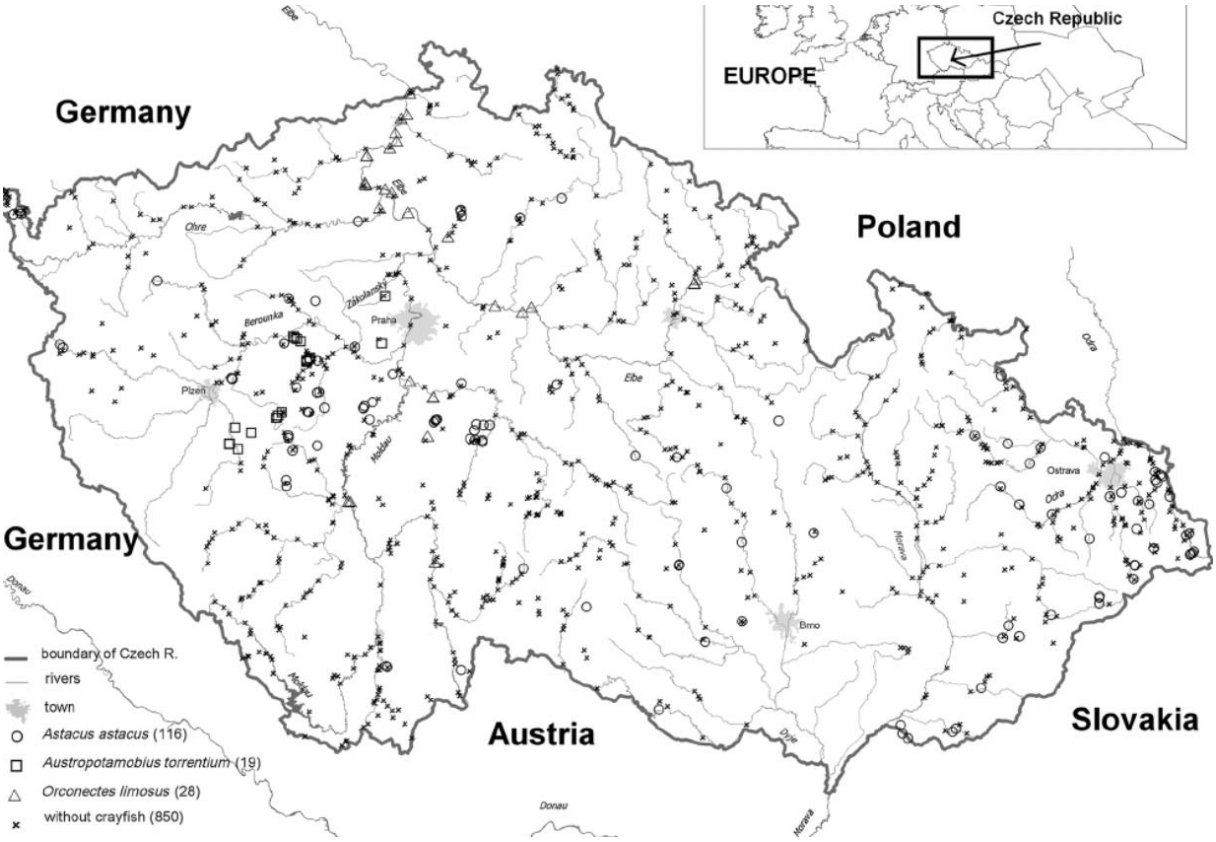
Ilustrace 13: Projektovaný úbytek korálů na vybraných místech v čase
Zdroj: EPA 2015b, s. 66

Acidifikace oceánů představuje nemalou hrozbu i pro měkkýše, kteří ve vodě žijí, a to především z důvodu znesnadnění vývoje jejich schránky, což má obecně za následek jejich úbytek, který po sobě zanechá nejen svou ekologickou stopu, ale i stopu ekonomickou (Ilustrace 14), protože určité druhy jsou na trhu s mořskými potravinami vysoce ceněny (EPA 2015b, s. 66).



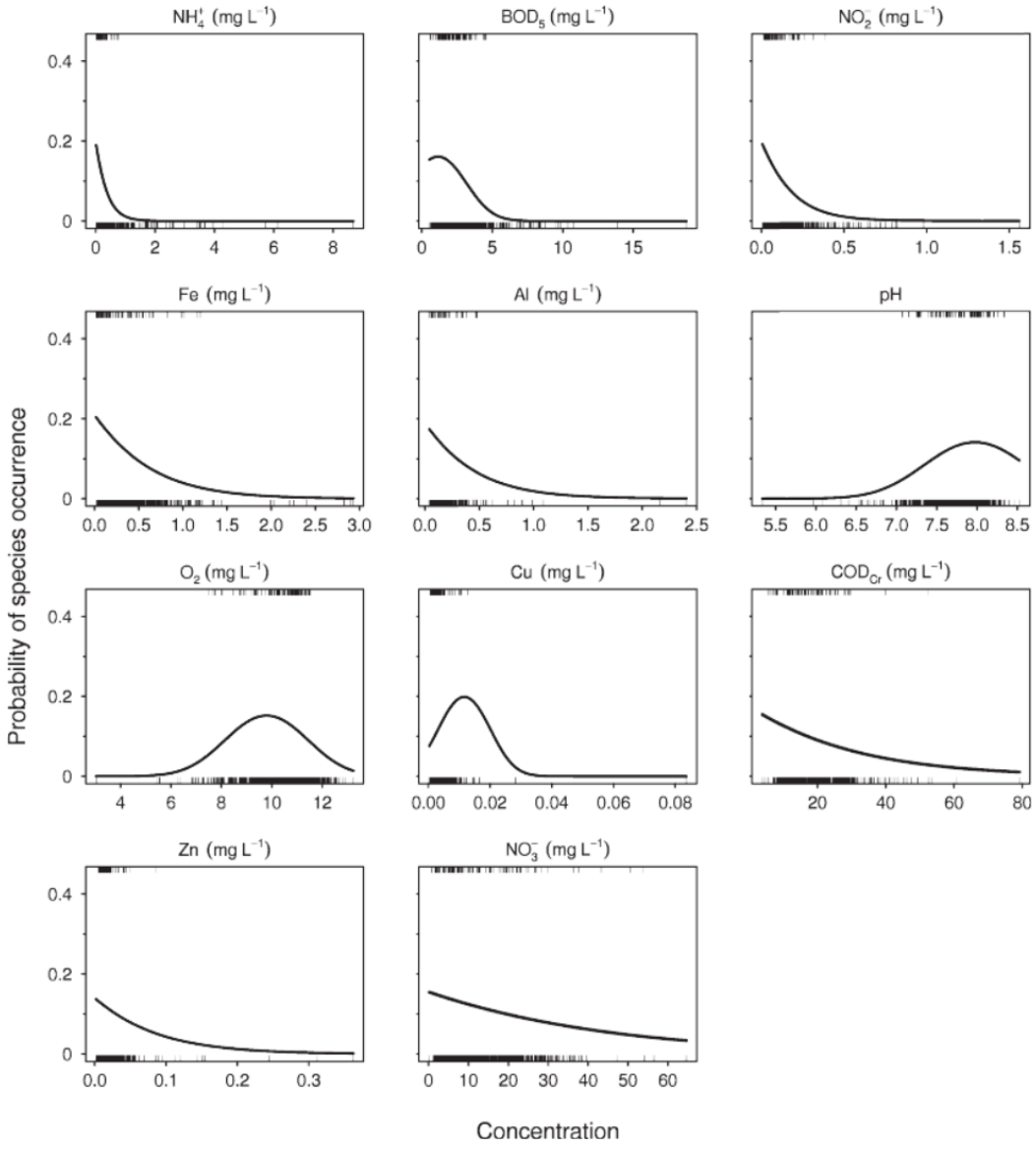
Ilustrace 14: Ilustrace vlivu zvyšování množství CO_2 v atmosféře na ceny korýšů
Zdroj: EPA 2015b, s. 68

Ničivé vlivy zhoršujícího se stavu životního prostředí lze pozorovat i na ekosystémech vod sladkých, kde se v některých oblastech projevují kupříkladu změnou teploty a toku vody, což představuje problém zejména pro chladnomilné ryby (EPA 2015b, s. 70–71). Živočichové však z vod nemusí mizet jen kvůli změnám teploty a pro důkaz nemusíme chodit daleko. Příkladem uvedu dobře známý úbytek raků na území České republiky, kterýžto je z dlouhodobého hlediska následkem zejména veliké citlivosti raků na zvyšujícího se množství kontaminantů ve vodních tocích v důsledku lidské činnosti (Kozák, et al 2016, s. 288–290). Jedna z ne tak dávných velkoplošných studií (Svobodová, et al. 2012) zkoumajících přítomnost hlavních druhů původních i nepůvodních raků na území České republiky a snažila se vyvodit preference co se týče sledovaných parametrů vody. Studie uzavřela s tím, že z 1008 zkoumaných úseků (Ilustrace 15) vodních toků byli raci nalezeni pouze ve 168 úsecích, přičemž dominoval rak říční s výskytem na 116 úsecích. Více než jeden druh raka v jednom zkoumaném úseku byl nalezen pouze v 5 případech. Jednalo se o raky říční a raky kamenáče, zástupce dvou domorodých druhů raků pro území České republiky.



Ilustrace 15: Výskyt raků na území ČR
Zdroj: Svobodová, et al. 2012, s. 779

Oba druhy mají rozdílné nároky na podíl zinku a rozpuštěného kyslíku ve vodě. Vliv rozdílné koncentrace různých sledovaných látek na pravděpodobnost výskytu raků zanesený do grafů (Ilustrace 16) ukazuje, že na výskyt raků má největší negativní vliv obsah čpavku (NH_4) a biochemická spotřeba kyslíku (BOD).



Ilustrace 16: Pravděpodobnost výskytu raků v závislosti na koncentracích látek
Zdroj: Svobodová, et al. 2012, s. 782

1.6 Závěrem

Pro zvýšení informovanosti lidí o vlivech stavu životního prostředí na spoustu jevů odehrávajících se v jejich blízkém okolí stejně tak jako na jejich fyzické a psychické zdraví již existují volně přístupné interaktivní webové aplikace. Práce opět zmíní jeden příklad z USA.

Jeho název je EnviroAtlas Eco-Health Relationship Browser spravovaný vládní organizací EPA. V česku by se za analogii k příkladu z USA dal považovat například web Intersucho, na kterém může občan nalézt aktuální informace o stavu sucha nejen na území ČR. Z existence těchto aplikací (a dalších podobných) je zřejmé, že minimálně některým státům není zdraví jejich obyvatel lhostejné, a snaží se podnikat kroky ke zvýšení veřejného povědomí o vlivech zhoršující se kvality životního prostředí na jejich obyvatele (EPA 2015, s. 21–27).

2 Nanotechnologie, nanočástice a nanomateriály

Historicky bylo slovo „nanotechnologie“ poprvé použito Nariem Taniguchim v roce 1974 a popisovalo opracovávání materiálu v tolerancích méně než 1 mikron. Oblast nanotechnologie se však začala formovat již před rokem 1974. Nejvýznamnějšími událostmi, které daly do pohybu výzkum a vývoj v oblasti, které se dnes říká nanotechnologie, byly:

- Přednáška Richarda Feynmana v roce 1960 s názvem „There’s Plenty Room at the Bottom“, která pojednávala o manipulaci s materiály na úrovni atomů (Feynman 1960, s. 22).
- První Řádkovací tunelový mikroskop (STM) vyvinutý Henrichem Rohrerem a Gerdem Binningem v roce 1981, což byl první nástrol, který umožňoval manipulovat s jednotlivými atomy (Boysen, et al. 2011, s. 14).
- Objev Buckminstrefullerenů[5] pány Robertem F. Curlem mladším, Haroldem W. Krotem a Richardem E. Smalleym (Boysen, et al. 2011, s. 12).

Nanotechnologii lze zhruba definovat jako výzkum a vývoj technologií v oblastech nano rozměrů, to však není zcela vyčerpávající definice. National Nanotechnology Intiative (NNI) definuje nanotechnologii jako výzkum a vývoj v oblasti od 1 do 100 nm, definice dále klade důraz interdisciplinaritu nanotechnologií (NNI 2019).

Nanočástice jsou částice, u kterých se rozměry ve všech třech osách kartézského souřadného systému pohybují v rozmezích od 1 do 100 nm. Vyskytují se přirozeně nebo mohou být vytvořeny člověkem. Díky jejich malým rozměrům mohou vykazovat různé charakteristiky, které se běžně u stejného materiálu konvenčních rozměrů nemusí vyskytovat (Encyclopædia Britannica, 2019).

[5] Nanostruktura z atomů C mající v průměru asi 0,7 nm (Boysen, et al. 2011, s. 12).

Nanomateriály jsou takové materiály, u nichž se alespoň jeden rozměr pohybuje v oblasti nano. Mohou vznikat přirozeně nebo mohou být vytvořeny, a to buď jako vedlejší produkt nějaké reakce anebo cíleně pro vykonávání určité funkce. Mohou mít jiné fyzické a chemické vlastnosti v porovnáním se stejným materiálem, jehož rozměry jsou mimo oblast nano rozměrů (TWI, 2020).

Vedle rozvoje technických aspektů nanotechnologií se objevil názor, že je třeba dbát i na problémy spojené s etikou takového rozvoje. Objevují se dvě zásadní témata. Zaprvé je to strach z toho, že nanomateriály mohou mít nějaké nepředvídatelné toxické efekty oproti stejným materiálům, které jsou v oblasti větších rozměrů netoxické (oblast nanotoxikologie, téma bude podrobněji rozebráno dále v práci) a zadruhé otázka rozložení požívání výhod vzešlých z výzkumu a vývoje nanotechnologií, ze kterých by bez nějakých vnějších regulací majoritně těžily pouze nejbohatší země, které by si výzkum a vývoj mohly dovolit a v současné době již zaostalé státy by se tak staly ještě zaostalejšími (Boysen, et al. 2011, s. 34–35).

Vlivem velikého potenciálu využití je složité objevit nějakou oblast, která by z objevů učiněných na poli nanotechnologie nemohla benefitovat. Obecně se nejčastěji mluví o nových materiálech s unikátními vlastnostmi jako je třeba mnohem větší pevnost zároveň s menší hmotnost než ocel, chemické sensory se zvýšenou citlivostí, zlepšení schopnosti diagnostikovat nemoci a přesnější doručení léku na konkrétní místo v těle, kde je nejvíce potřeba, dále baterie a vodíkové články s větší kapacitou, utilizace Quantum Dots[6] (QDs) namísto žárovek, což vede ke zvýšení účinnosti procesu osvětlování. V neposlední řadě nanotechnologie poskytují širokou škálu možností pro zlepšení procesu čištění nejen odpadní vody (Boysen, et al. 2011, s. 14–16) a mnoho dalšího.

Právě díky veliké potenci nanotechnologií pro uplatnění v různých odvětvích dává smysl se pokusit najít případné aplikace a možné způsoby využití i v oblastech ochrany a sanace životního prostředí. Původní plán byl vyhledat a zdokumentovat jakákoli využití ve zmíněných oblastech, ale s postupem času se ukázalo, že je možných využití skutečně veliké množství, a popsat je všechna v práci tohoto rozsahu není možné. Právě z tohoto důvodu a s přihlédnutím k analýze provedené v kapitole 1 se práce zaměří na hlavní možnosti využití nanotechnologií

[6] „Kvantové tečky“ neboli malé polovodičové částice.

v oblastech hydrosféry, atmosféry a pedosféry, jmenovitě na různé aspekty čištění odpadní vody, snižování množství CO_2 obsaženého v atmosféře a sanaci půdy. Jak již bylo předesláno, případné zlepšení stavů těchto oblastí bude mít následky i mimo hranice zmíněných oblastí a podepíše se na sféře ochrany životního prostředí jako celku.

3 Nanotechnologie v životním prostředí

Vzhledem k současnému vývoji v oblasti nanotechnologií dává smysl se zaměřit na hledání různých aplikací nově vznikajících materiálů a částic i v oblasti ochrany a sanace životního prostředí a zhodnotit jejich výhody nebo případné nevýhody.

3.1 Využití nanotechnologií pro čištění odpadní vody

Přes 70 % povrchu Země je pokryto vodou, ale jen asi 1% vody je v současné době vhodné/dostupné k pití (Saikia, et al. 2019, s. 196). Podle odhadů bude v roce 2025 žít 50 % lidí v oblastech postižených nedostatkem vody (Saikia, et al. 2019, s. 196). Autoři se v knize o nedostatku pitné vody zmiňují jako o hlavní globální výzvě století[7]. Tradiční metody čištění odpadní vody mají několik obecných nedostatků, jako například vysoké nároky na přísun energie, neúplné odstranění kontaminantu, a tvorbu toxického bahna, … (Saikia, et al. 2019, s. 196), dále se standartní technologie čištění odpadních vod se ukazují být nedostatečné zejména kvůli výskytu nových kontaminantů, zpřísňování nárokům na kvalitu vody a předpokládanému nedostatku pitné vody v budoucnosti (Saikia, et al. 2019, s. 195). Je tedy zřejmé, že objevení a implementace nových a efektivnějších způsobů čištění odpadní vody je pro lidi téměř nezbytným krokem, a že následky jeho zanedbání či nepodniknutí by mohli někteří lidé pocítit již ve velmi blízké budoucnosti.

Výzkum směřuje k hledání efektivních, ekologicky nezávadných a cenově přijatelných technologií schopných čištění a dezinfekce vody, odstranění těžkých kovů, odbourání organických sloučenin a farmaceutik (Saikia, et al. 2019, s. 195–196).

[7] (…) the major global challenge for this century (Saikia, et al. 2019, s. 196).

Některé nanočástice se ukázaly být v oblasti čištění vody atraktivní alternativou standardních technologií zejména díky jejich unikátním vlastnostem jako jsou například veliká plocha a vysoká reaktivita povrchu, vysoká mobilita v roztocích, a další (Saikia, et al. 2019, s. 196). V průběhu posledního desetiletí začaly být nanočástice používány k čištění odpadních vod. Jejich metody čištění vody se dají shrnout do 4 kategorií:

- Adsorpce kontaminantu na povrch nanočástic.
- Dezinfekce vody pomocí nanočástic.
- Fotokatalytické čištění vody za přítomnosti nanočástic.
- Filtrace přes nano membránu.

3.1.1 Adsorpce kontaminantu na povrch nanočástic

Adsorpce je proces, při kterém sorbát (znečišťující látka) přilne k povrchu sorbentu. Může se tak dít vlivem kovalentních (chemisorpce) nebo nekovalentních (fyziosorpce) sil. Kovalentní síly zahrnují například vytváření kovalentních a iontových vazeb, nekovalentní pak zejména van der Waalovu sílu (Deng, et al. 2019, s. 152). Vliv na adsorbční proces má pH a teplota prostředí, množství adsorbentu a čas (Saikia, et al. 2019, s. 199). Nanoadsorbenty jsou tvořeny různými materiály, mezi které patří například kovy, oxidy kovů, uhlík, silikon, … (Li, et al. 2006, s. 416).

Nanočástice železa jsou v oblasti čištění odpadní vody velice populární, a to zejména díky dostupnosti Fe, levného procesu syntézy nanočástic, schopnosti zůstat v suspenzi (Li, et al. 2006, s. 416), možnosti znovupoužití a ekologické nezávadnosti (Saikia, et al. 2019, s. 199), ačkoli poslední bod nelze příliš generalizovat, jak naznačuje výzkum (Ševců, et al. 2017, s 21197–21201), který u některých druhů nanočástic nula-mocného železa zjistil vyšší míru toxicity pro různá okolí než u jiných.

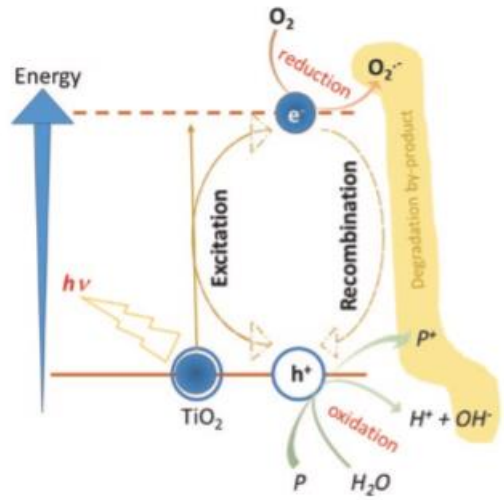
Nanočástice nula-mocného železa lze využít zejména pro adsorpci těžkých kovů, jako třeba As, Cr, Pb (Li, et al. 2006, s. 421–425). Nevýhodou jsou jejich magnetické vlastnosti, které mají za následek tvoření shluků nanočástic ve vodě, což efektivně snižuje plochu, na které může reakce probíhat. Další překážku představuje rychlá oxidace za přítomnosti vody a kyslíku, čemuž lze předejít pokrytím povrchu nanočástice vrstvami různých tlouštěk a složení (Saikia, et al. 2019, s. 199).

Velikou výhodou čištění odpadní vody s pomocí adsorpce je následná možná desorpce nanočástic například změnou pH, teploty roztoku, nebo jinak. Desorpce umožňuje znovupoužití nanomateriálu a tím výrazně snižuje celkovou cenu procesu (Saikia, et al. 2019, s. 198).

3.1.2 Fotokatalytické čištění vody za přítomnosti nanočástic

V případě fotokatalytického čištění používá nanokatalyzátor energii slunce (převážně v UV spektru) a s její pomocí rozkládá veliké množství organických materiálů – jako jsou třeba organické kyseliny, estrogeny, pesticidy, barviva, olej, mikroby – a anorganických molekul, jako jsou třeba NOx a podobně (Saikia, et al. 2019, s. 201). Způsob funkce procesu spočívá především v oxidaci zmíněných organických materiálů. Fotokatalyst generuje vysoce reaktivní přechodové látky (H_2O_2, OH, O_2, O_3), které přemění organické sloučeniny na biologicky odbouratelné varianty, které se v konečné fázi přemění na CO_2 nebo na H_2O.

V oblasti fotokatalyzátorů pro čištění odpadní vody si velikou pozornost získaly polovodiče, které mají několik výhod – jsou levné, netoxické a jejich vlastnosti se dají snadno modifikovat. Nejslibnější polovodivé materiály pro tuto aplikaci jsou TiO_2 a ZnO. U zmíněných polovodičů se obecně po ozáření začnou formovat e-/h+ (electron/hole) páry. Záření dodá elektronu energii, díky které dojde k jeho nabuzení, a pakliže bude energie dostatečné množství, bude elektron moci přejít do vyššího energetického pásma, vlivem čehož vznikne na místě jeho absence kladná „díra“, a to do doby, než elektron přijatou energii vyzáří a vrátí se do původní polohy, nebo se do díry nedostane elektron odjinud. Princip funkce je znázorněn na ilustraci (Ilustrace 17).



Ilustrace 17: Princip funkce polovodiče jako fotokatalyzátoru v procesu čištění odpadní vody
Zdroj: Saikia, et al. 2019, s. 202

Na efektivitu procesu mající vliv rychlost rekombinace a tvar povrchu se dají mitigovat pomocí optimalizace velikosti a tvaru jednotlivých částic (Saikia, et al. 2019, s. 202). Další faktor, který má na efektivitu procesu vliv je potřebné množství energie pro vytvoření e-/h+ páru. V případě TiO_2 takové množství energie odpovídá záření s vlnovou délkou pod 400 nm. Podíl této vlnové délky v celku solárního záření dopadajícího na povrch Země je asi jen 3–5 % (Saikia, et al. 2019, s. 203). Efektivitu by tedy zvýšila taková úprava polovodiče, která by umožnila vytvoření e-/h+ párů za přítomnosti méně energetického záření, kterého je ve spektru procentuálně obsaženo více.

3.1.3 Dezinfekce vody pomocí nanočástic.

Konvenční metody dezinfikování vody pomocí například chloru nebo ozonu může mít za následek vznik škodlivých vedlejších produktů. Některé nanočástice ukázaly schopnost dezinfikovat vodu bez formování škodlivých bioproduktů (Saikia, et al. 2019, s. 204).

V současné době jsou nanočástice stříbra (AgNP) nejpoužívanějším nanodezinfektantem, a to především díky svým vlastnostem, jako jsou silná antimikrobiální aktivita, široké antimikrobiální spektrum, a pro lidi nízká míra toxicity (Xiu, et al. 2019, s. 4271). Baktericidní vlastnosti AgNP se dále ukázaly být závislé na velikosti a tvaru částic, přičemž nejefektivnější byly částice o velikosti několika nm. Způsob baktericidního působení AgNP lze rozdělit na 3 principy: 1) AgNP přilne k povrchu, čímž omezí správnou funkci membrány (například sníží její permeabilitu a zhorší její respirační vlastnosti), 2) Prorazí membránu, vlivem čehož dojde ke „zhroucení“ (Morones, et al. 2005, s. 2351-2352) a 3) AgNP může produkovat ionty stříbra, které budou dále přispívat k baktericidní činnosti (Xiu, et al. 2019, s. 4274).

3.1.4 Filtrace vody přes nano membránu

Základní princip při filtraci vody přes membránu je takový, že otvory v membráně musí být právě tak velké, aby jimi měla možnost protéci voda, a aby se přes ně nedostaly nežádoucí ve filtrované vodě obsažené látky. Při výrobě takových membrán je samozřejmě potřeba překonat několik technických obtíží. Ve výsledku je však metoda filtrace lepší než například metoda mikrofiltrace, ultrafiltrace, nebo metoda obrácené osmózy[8], a to zejména z toho

[8] Osmóza je jev, ke kterému dojde, když jsou od sebe dva různě nasycené roztoky odděleny semipermeabilní membránou, která dovolí průniku solventu, ale ne v něm rozpuštěné látky. Solvent z méně nasyceného roztoku se bude přesouvat do oblasti více

důvodu, že je k jejímu provozování potřeba dodávat méně tlaku. Membrána tedy nemusí mít takovou mechanickou odolnost a proces není energeticky tolik náročný. Obecně dokáže membrána z roztoku vyfiltrovat částice o velikosti od 0,5 nm (Gherke, et al. 2015. s. 6–7).

Ucpání membrány nánosy vyfiltrovaného materiálu se dá zpomalit několika způsoby. Jedním z nich je například pokrytí povrchu membrány hydrofilní vrstvou, která nasává vodu jako houba a zároveň odpuzuje rozpuštěné soli a nečistoty. Dalším ze způsobů je do membrány při výrobě přidat částice (AgNP, TiO_2 a další), které napomáhají oxidaci organických kontaminantů (Gherke, et al. 2015. s. 7).

3.1.5 Limity využití nanočástic při čištění odpadních vod

V této kapitole zmíněné nanočástice mají v porovnání s běžnými způsoby čištění vody superiorní fyziochemické vlastnosti, jako jsou třeba velikost, tvar a poměr povrchu k celkovému objemu. Při jejich aplikaci v reálném světě je však třeba dbát na některá úskalí, zejména pak na jejich disperzi v odpadní vodě, retence a znovupoužitelnost, snižování efektivity za čas, snížení účinnosti oproti laboratornímu prostředí, cena a v neposlední řadě možné doposud nezjištěné neznámé nanotoxické efekty (Saikia, et al. 2019, s. 207).

Disperze nanočástic v reálných podmínkách není úplně dokonalá. Částice se shlukují, a tím dochází k usazování na dně, nebo ke snižování efektivní plochy, která může reagovat se znečišťujícími činiteli (Saikia, et al. 2019, s. 207).

Retence a znovupoužitelnost nanočástic jsou dva důležité body, které přispívají ke snížení ceny procesu za čas, dále může být prostřednictvím této cesty usměrněno případné doposud neobjevené nepředvídatelné nanotoxické riziko. Pro retenci nanočástic se používají různé filtrační membrány, což ale opět snižuje efektivní plochu, na které mohou nanočástice působit (Saikia, et al. 2019, s. 207).

U některých nanočástic dochází ke snižování efektivity za čas, a to především vlivem změny chemické struktury. Například u AgNP dochází při procesu dezinfekce k úbytku Ag iontů.

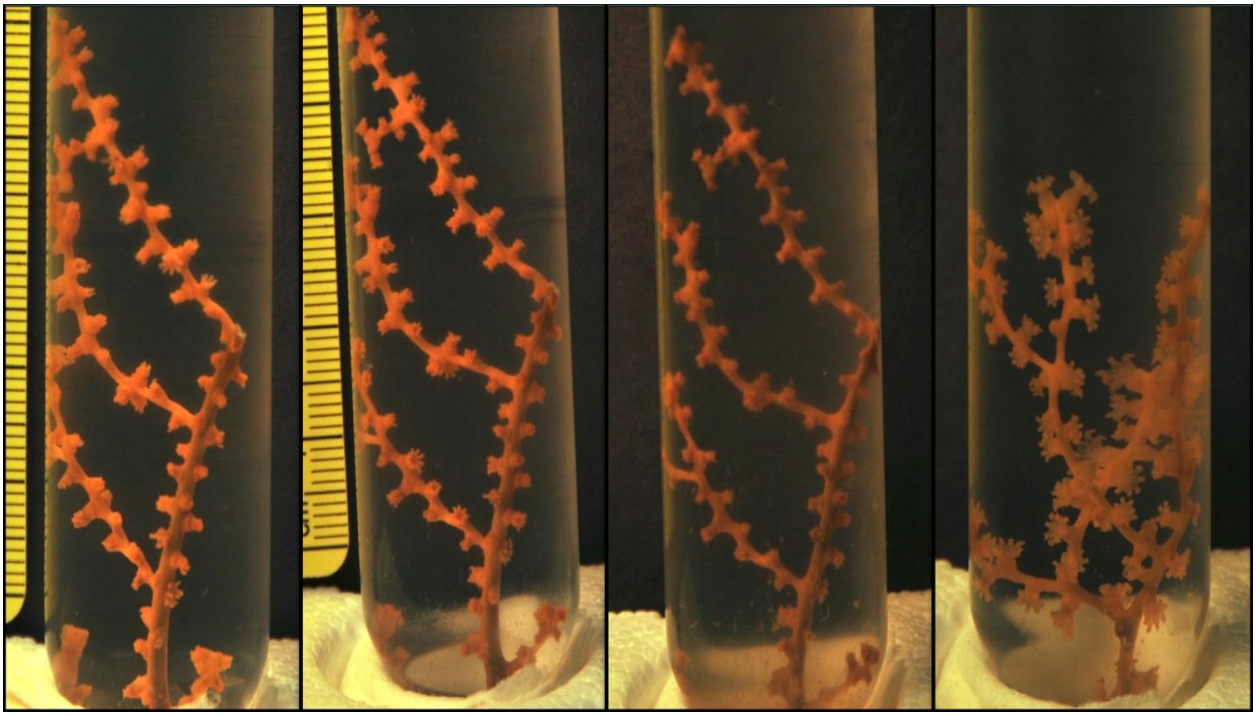
nasyceného roztoku do doby, dokud se míry jejich nasycení nevyrovnají. Obrácená osmóza je potom obrácení zmíněného děje zvýšením tlaku (osmotický tlak) na straně se silněji nasyceným roztokem. Čím větší je rozdíl v nasycení roztoků, tím větší osmotický tlak je pro zvrácení osmózy potřeba vyvinout (Moore 2011, s. 151–152).

Tento proces lze v některých případech částečně zpomalit dotováním (Saikia, et al. 2019, s. 207).

3.2 Využití nanotechnologií pro čištění ropných skvrn

V roce 2010 bylo vynaloženo veliké úsilí na odstraňování škod způsobených ropnou havárií ropné plošiny v Mexickém zálivu. Tato havárie se ukázala být velikou ekologickou zátěží na blízké i vzdálenější okolí a odstraňování jejich následků bylo v té době celkem velikou technickou výzvou (The Ocean Portal Team 2018).

Jeden ze zvolených způsobů likvidace ropné skvrny na hladině oceánu bylo například použití rozpouštědla Corexit 9500, u kterého se při následných experimentech ukázalo, že má za následek změnu zbarvení, tvaru těla, rozklad tkáně a potencionálně i smrt u medúz, které s ním přišly do kontaktu (Perez 2016). Zmíněné rozpouštědlo mělo vedle medúz další prokazatelný neblahý vliv, a to na mořské korály. Výsledky výzkumu vědců z Temple University a Pennsylvania State University poukazují na skutečnost, že rozpouštědlo je i při nízké koncentraci, toxické pro zkoumané druhy studenovodních korálů (Ilustrace 18). Rozpouštědlo se tedy pro vzorky ukázalo být více toxické než ropa samotná (Temple University 2015) dále je tu skutečnost, že se chemikálie jako rozpouštědla mohou dostat do potravního řetězce a dále ohrožovat okolí (The Ocean Portal Team 2018). Vedle použití rozpouštědla došlo i na cílené zapalování ropné skvrny a ačkoli se v některých případech jedná o efektivní a levný způsob zamezení šíření ropy (Ross, et al. 1996, s. 251), tak ropu z oceánu neodstraní, nýbrž (navzdory výsledkům laboratorních experimentů) v některých případech způsobí potopení určitého množství ropy ke dnu, kde dále interaguje s okolím (NOAA, 2020). Hoření také vyprodukuje veliké množství emisí (zejména pak CO_2), které se dostanou do atmosféry (Ross, et al. 1996, s. 258).

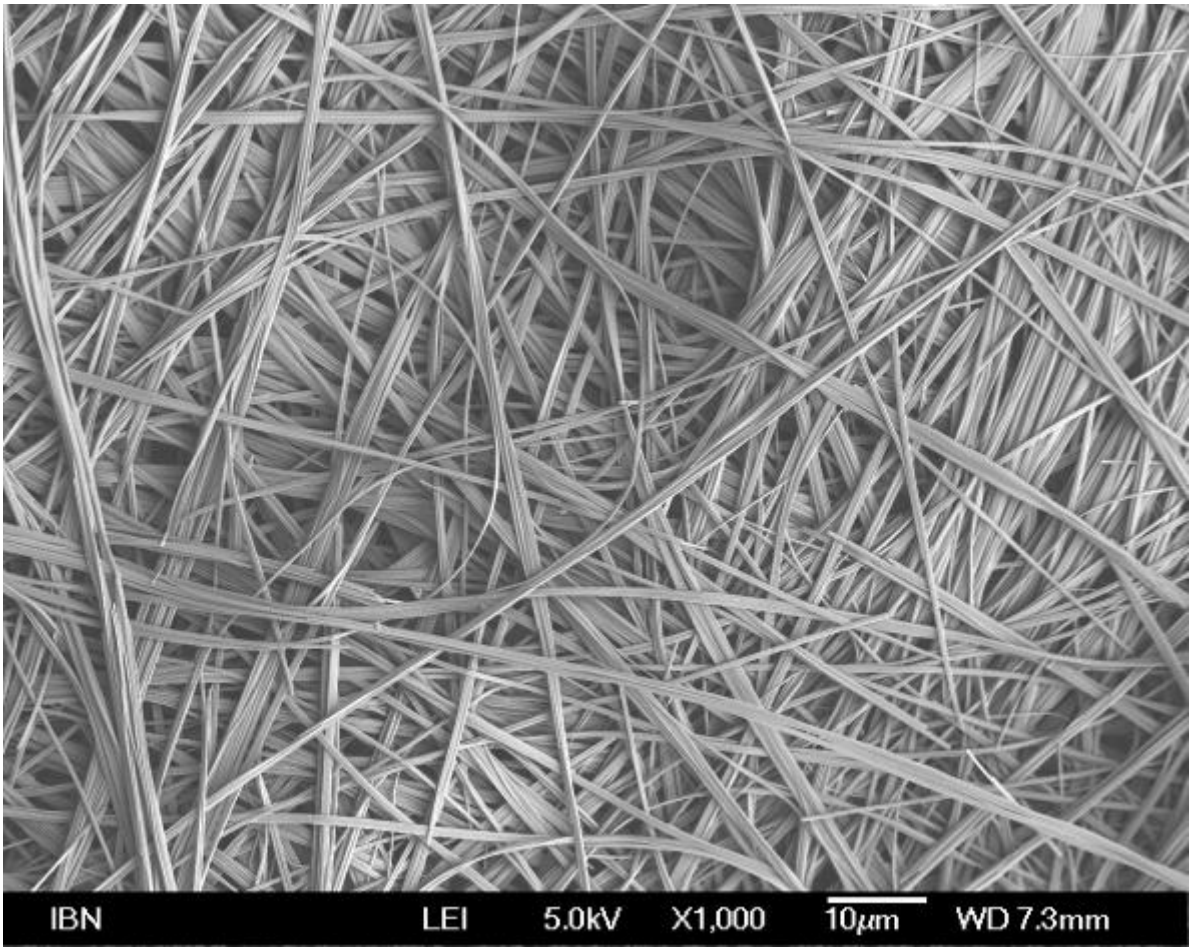


Ilustrace 18: Zachycení průběhu stavu korálu vystaveného směsi ropy a rozpouštědla v čase.
Zdroj: Temple University 2015

I kdyby výše zmíněné metody vypořádávání se s ropnými skvrnami nebyly škodlivé pro životní prostředí, mají také svá technická úskalí. Při používání rozpouštědla je jedním z nich třeba fakt, že molekuly ropy mohou být před jejich likvidací rozneseny po veliké ploše, a proto je třeba zamezit roznesení ropy do prostoru instalací fyzických bariér, což dále ztěžuje a zpomaluje proces likvidace katastrofy. Při pokusu o zapálení lze narazit například na problém spojený s mocností ropné skvrny. Zapálení lze provést jen u skvrn s mocností menší, než 3 mm (Institute of Bioengineering and Nanotechnology 2016).

Je zřejmé, že ropné skvrny mají ničivý dopad na životní prostředí stejně tak jako nezanedbatelný socioekonomický dopad, a že současné technologie čištění ropných skvrn nejsou moc efektivní a mohou způsobit další znečištění životního prostředí, a to v některých případech i horší než ropa samotná.

Lepší způsob vypořádávání se s takovou budoucí katastrofou nabízí právě supergelátory (Ilustrace 19), což jsou malé, polární, vysoce rozpustné organické molekuly, které po aplikaci v podobě nasprejování na povrch utvoří síť nanovláken, ve které zůstane olej zachycen.



Ilustrace 19: Trojrozměrná síť utvořená sestavením molekul supergelátorů
Zdroj: Institute of Bioengineering and Nanotechnology 2016

V testovacích podmínkách ho bylo následně možné od vody jednoduše oddělit pouhým použitím sítka. Výhody supergelátorů jsou především rychlý projev jejich účinku, který se v laboratorních podmínkách projevil v řádu minut, což by při včasném zásahu potenciálně zamezilo roznesení skvrny na velikou plochu, a dále důkladnost, se kterou je ropa od vody oddělena. Další předností je podle informací převzatých ze zdroje jejich netoxicita (Institute of Bioengineering and Nanotechnology 2016). Celkově se tedy zdají být mnohem efektivnější při řešení ropných katastrof než metody stávající s bonusem zamezení sekundárního znečištění, které konvenční metody produkují.

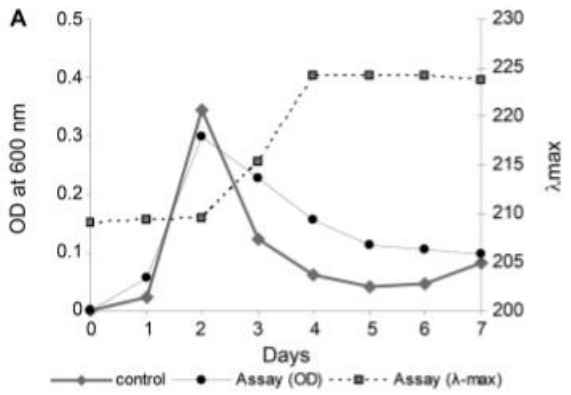
3.3 Využití nanotechnologie pro zesílení účinků bio a fotodegradace organických polymerů

V současné době je zbavování se organických polymerů obtížným procesem. Lidmi vyhozené plastové produkty jsou buď sváženy na skládky, kde zůstávají vlivem jejich špatné odbouratelnosti za po velice dlouhou dobu, nebo mohou být páleny, což je energeticky relativně

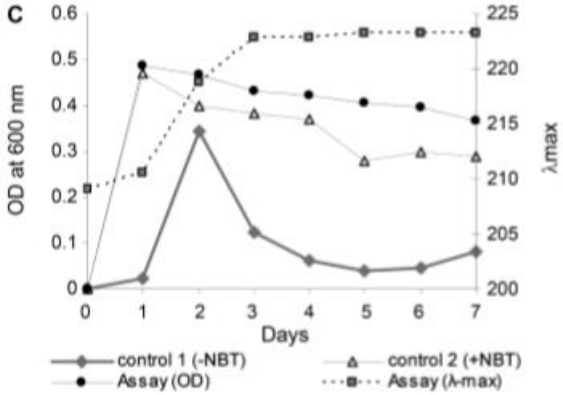
náročné a dává obratem vzniknout jedovatým zplodinám, které zhoršují kvalitu vzduchu v okolí spalovny. Některé plasty mohou být recyklovány. Nelze však recyklovat všechen plastový odpad a nelze ho recyklovat všude (Hite 2019). K tomu veliké nadnárodní korporace (například Coca-Cola), aktivně lobují proti Evropskou unií navrženému zvýšení kvót pro sběr a následnou recyklaci plastů (Chrysopoulou 2011, s. 3). Plastový odpad může být dále vhozen do vody, kde zůstane po velice dlouhou dobu a krom působení jako znečišťující činitel negativně ovlivňuje životy vodních živočichů (Laist 1997, s. 101–119). Nedávné výzkumy naznačují, že se zmíněných problémů lze zbavit nebo jejich vliv na životní prostředí umírnit právě za pomoci nanotechnologií.

3.3.1 Biodegradace za pomoci nanočástic

Low Density Polyethylene (LDPE) se využívá k výrobě různých plastových láhví, obalů, potrubí a podobně. Jedna z jeho vlastností je, že za běžných podmínek není biologicky odbouratelný v nějakém normálním časovém horizontu (Zdroj: Kapri, et al. 2010, s. 1035) a nelze ho recyklovat (Hite 2019). Zlepšení míry biologické odbouratelnosti LDPE lze dosáhnout zvýšením jeho hydrofility nebo zkracováním délky polymerových řetězců oxidací. Kratší řetězce (oligomery nebo monomery) jsou pro mikroorganismy snadněji odbouratelné.
LDPE bez příměsi nanočástic (Ilustrace 20) vykazuje dobu trvání lag fáze sledovaného bakteriálního konsorcia přibližně 24 hodin.



Ilustrace 20: Vzorek bez příměsi NBT
Zdroj: Kapri, et al. 2010, s. 1035



Ilustrace 21: Vzorek s příměsí NBT
Zdroj: Kapri, et al. 2010, s. 1035

Nárůst hodnoty λmax z hodnoty 209 na 225 nm pak trvá zhruba 4 dny. Výsledky studií naznačují, že vzorky s přidanými nanočásticemi titaničitanu barnatého (NBT) a nanočásticemi supermagnetických oxidů železa (SPION) ovlivňují rychlost rozvoje bakteriálního konsorcia,

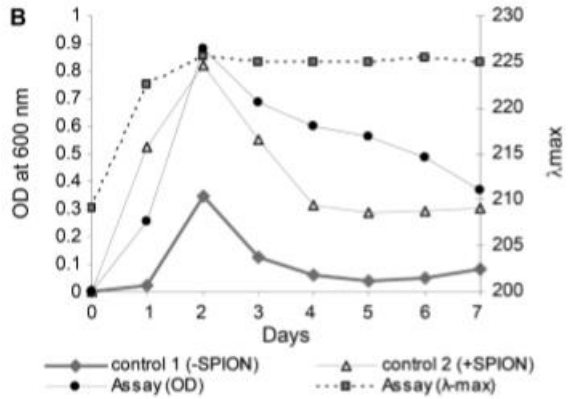
které svou činností přispívá k rychlejší degradaci mimo jiné i LDPE (Satlewal, et al. 2008, s. 478–481).

LDPE s příměsí NBT

Z ilustrace (Ilustrace 21) tj. *LDPE s příměsí NBT,* je patrné zkrácení lag fáze, nárůst maximální optické hustoty při vlnové délce 600 nm (OD 600), což značí, že se po ukončení exponenciální fáze ve sledovaném vzorku vyvinulo větší množství sledovaného konsorcia bakterií oproti vzorku bez příměsi NBT. Dále byl zaznamenán rychlejší nárůst λmax, a to z 209 na 225 nm za dobu zhruba 3 dnů. Rychlejší zvýšení λmax signalizuje urychlený průběh změn ve struktuře LDPE vlivem působení mikroorganismů (ADITI, et al. 2010, s. 910). V neposlední řadě bylo výzkumným týmem nahlášeno snížení generační doby ze 120 minut na pouhých 90 minut (Kapri, et al. 2010, s. 1034).

LDPE s příměsí SPION

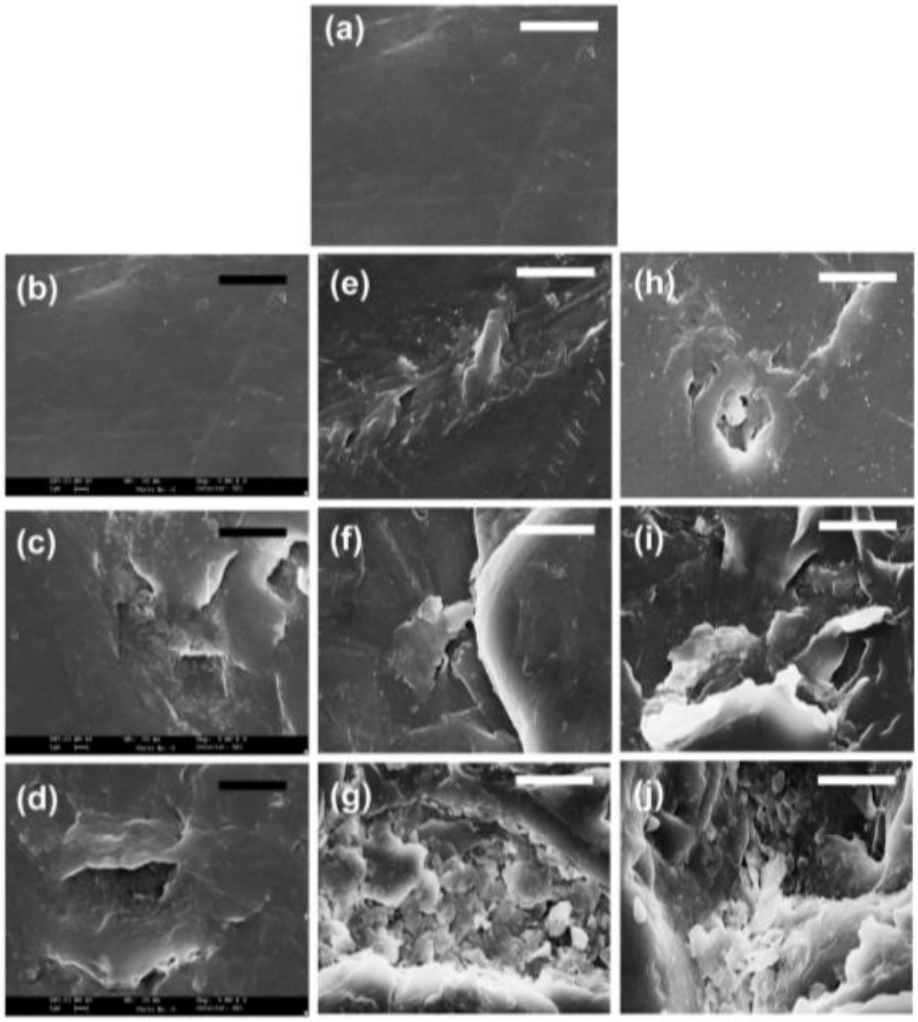
Z ilustrace (Ilustrace 22) lze odvodit, že SPION vykazuje ještě lepší výsledky. V případě rychlosti nárůstu λmax z 209 na asi 222 nm za období prvních 24 hodin, přičemž v dalších 24 hodinách dosáhla hodnoty 225 nm. Co se týče maximální hodnota OD 600 je ze zatím popsaných vzorků nejvyšší, rychle však klesá a po 7 dnech spadne na hodnotu srovnatelnou s případem LDPE s příměsí NBT.



Ilustrace 22: Vzorek s příměsí SPION
Zdroj: Kapri, et al. 2010, s. 1035

Je vhodné zmínit, že předešlé experimenty byly prováděny v laboratorních podmínkách. Autoři však provedli i výzkum *in situ,* jehož výsledky rovněž publikovali. Vzorky LDPE byly přikryty zeminou s a bez příměsí nanočástic, následně byly kontrolovány po měsíčních intervalech po dobu 3 měsíců (Kapri, et al. 2010, s. 1037–1038). Výsledky *in situ* části výzkumu jsou

prezentovány v přiložené ilustraci (Ilustrace 23). Během celé doby pozorování jsou morfologické změny na LDPE ponechaným v zemině s příměsí nanočástic mnohem výraznější než na vzorku uleženém v zemině bez příměsí nanočástic, což naznačuje zvýšenou schopnost bakterií proniknout do LDPE, čímž přispívají k jeho rychlejšímu biologickému odbourávání (Zdroj: Kapri, et al. 2010, s. 1039).



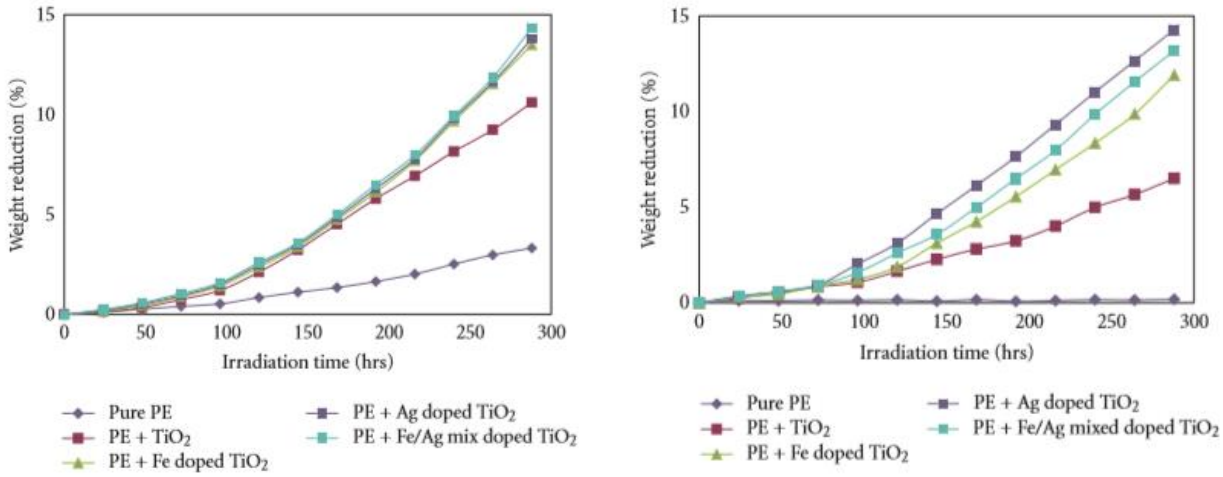
Ilustrace 23: Degradace in situ vzorků LDPE
Zdroj: Kapri, et al. 2010, s. 1038.

Na Ilustraci jsou zobrazena degradace in situ vzorků LDPE: a) Nijak neošetřený kontrolní vzorek; b), c), d) biodegradace LDPE po 1., 2. a 3. měsíci; e), f), g) biodegradace LDPE + SPION; h), i), j) biodegradace LDPE + NBT. Černé proužky na fotografiích znamenají měřítko 5 μm, bílé 10 μm.

3.3.2 Fotodegradace za pomoci nanočástic

Pro zlepšení fotodegradačních vlastností LDPE lze použít například nanočástice oxidu titaničitého (TiO_2), který je obecně dobře známý a efektivní fotokatalyzátor (Wasim, et al. 2011, s. 1), efekt se však u neupraveného vzorku projevuje zejména až v UV spektru světla ($\lambda < 380$ nm). Vzorek lze skrze přidávání různých příměsí (dotování) upravit tak, aby se jeho fotokatalytický efekt více projevoval i ve viditelném spektru světla, výsledky čehož jsou demonstrovány v přiloženém grafu (Ilustrace 22).

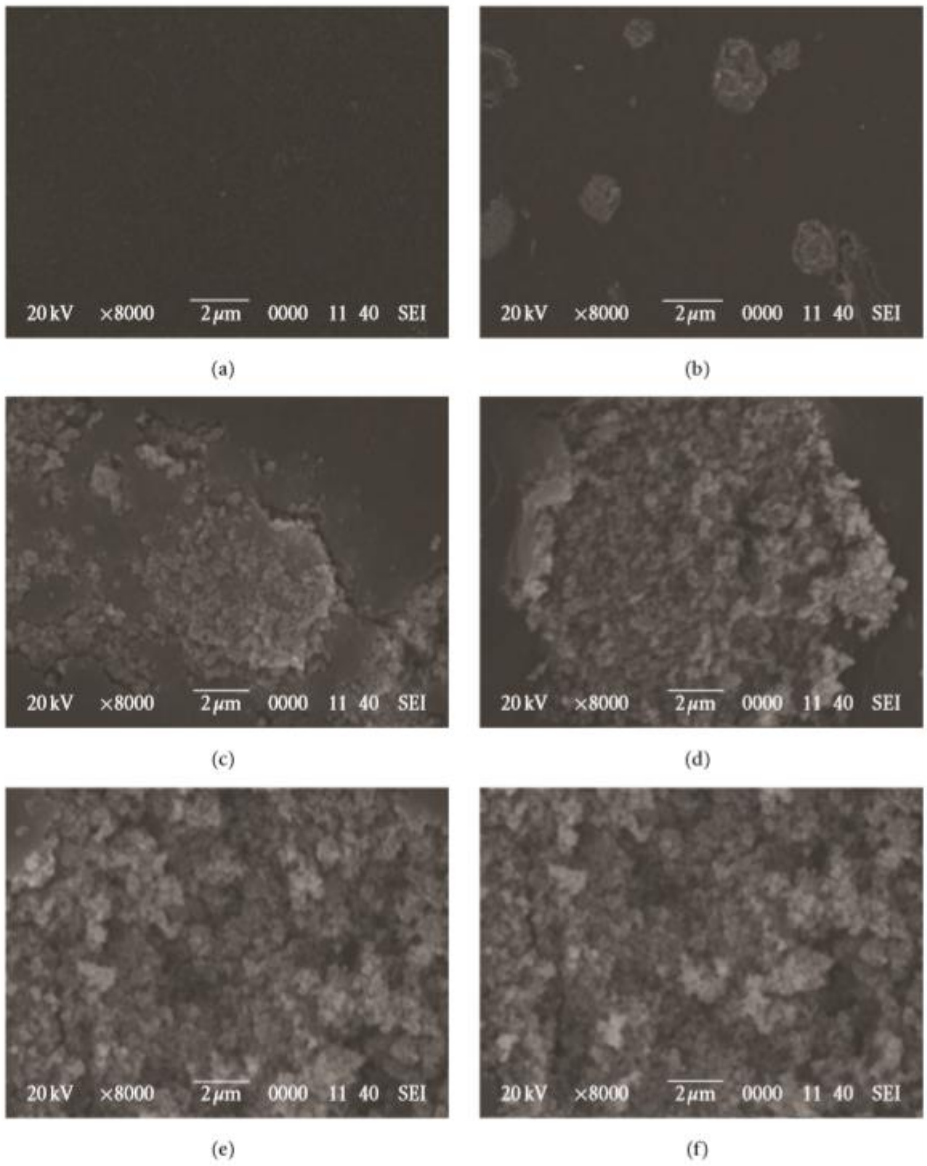
Na rozdíl od předchozích experimentů (Kapri, et al. 2010), kde nanočástice podporovaly rychlost růstu bakteriálních konsorcií, se tento experiment zaměřil na způsob rozkladu plastu skrze proces fotooxidace, kde dotované a nedotované TiO_2, sloužily jako katalyzátory reakce. Grafy postupu degradace vzorků v čase (Ilustrace 24) proto místo parametru OD 600 na ose y zachycují procentuální ztrátu hmotnosti vzorku. Vyšší ztráta hmotnosti vzorku znamená vyšší stupeň jeho degradace v čase.



Ilustrace 24: Snížení hmotnosti vzorku při ozáření UV (vlevo) a VIS (vpravo) světlem
Zdroj: Wasim, et al. 2011, s. 5

Vzorky PE s příměsi TiO_2 s různými dotacemi Fe a/nebo Ag byly zkoumány SEM před a po 300 hodinách konstantního ozařování umělými zdroji UV a VIS světla (Wasim, et al. 2011, s. 2–3). Vizuálně míra morfologických změn povrchů na snímcích (Ilustrace 24) koreluje s výší úbytků hmotností příslušných vzorků v čase.

Ze snímků SEM (Ilustrace 25) vědci usoudili, že praskliny se na vzorcích PE začaly tvořit okolo míst, kde se vyskytovaly nanočástice TiO_2 (Wasim, et al. 2011, s. 5).



Ilustrace 25: Praskliny ve vzorcích PE
Zdroj: Wasim, et al. 2011, s. 6

Ilustrace 25 zachycuje praskliny ve vzorcích: a) PE film před iradiací; b) PE film po iradiaci; c) Pe-TiO_2 po iradiaci; d) PE-TiO_2 s dotací Fe po iradiaci; e) PE-TiO_2 s dotací Ag po iradiaci; f) Pe-TiO_2 s dotací Fe/Ag po iradiaci.

Autoři výzkumu zakončili s tím, že další rozvíjení podobných polymerových kompozitů může vést k vytvoření pro životní prostředí nezávadného produktu (Wasim, et al. 2011, s. 7). Jiné, novější výzkumy (například Shah, et al. 2017, s. 3–8) však poukázaly na schopnost nanočástic TiO2 o rozměrech zhruba 10–20 nm poškodit DNA, způsobit peroxidaci lipidů (to může vést

k poškození buněk), nebo třeba na jejich nově objevenou fototoxicitu, kde po ozáření UV světlem částice produkovali ROS a další jevy. Autoři se v článku dále zmiňovali i o vlastnostech, které ještě prozkoumané nejsou, ale mohou být také potenciálně zdraví nebezpečné.

3.4 Odstraňování CO_2 za pomoci nanotechnologií

Jak již bylo ilustrováno v kapitole 1 – snížení množství CO_2 v atmosféře by mělo příznivý vliv na plejádu aspektů stavu životního prostředí. Ve velice nedávné minulosti byly v poli využití nanotechnologií pro zlepšení schopnosti některých materiálů odstraňovat CO_2 z atmosféry učiněny značné pokroky.

3.4.1 Odstraňování CO_2 z atmosféry za pomoci MOFs

Jednou ze slibných možností snížení množství CO_2 v atmosféře je použití takzvaných Metal-Organic Frameworks (MOFs). Jedná se o pórovitý materiál. Velikosti pórů mohou být upraveny tak, aby byly optimální pro zachycování různých molekul plynů. Po absorbování molekul plynu do MOFs se jich jednoduše zbavit v procesu zvaném sekvestrace. Nejčastěji se objevující metodou je asi uložení pod povrch země, čímž dojde k omezení schopnosti CO_2 opětovně kontaminovat atmosféru (Li, et al. 2019, s. 428). Další z možností nakládání se zachyceným CO_2 by mohla být jeho následná kombinace s molekulami H_2, konečným produktem čehož by mohl být například metanol, který má dále využití ve spoustě dalších oblastí, jako jsou třeba výroba paliv, plastů, lepidel, denitrifikace vody a dalších (Methanol Institute 2020).

Technologie samotná je již známá asi 20 let, a k dnešnímu dni je ročně objeveno asi 6000 nových struktur. První komerční úspěchy zaznamenaly MOFs v roce 2016. Velikou výhodou MOFs je jejich výsledná plocha, která činí asi 10 700 m^2 na pouhý gram materiálu, což nabízí spoustu prostoru, na kterém může dojít k absorpci cizích molekul plynu, třeba jako CO_2, do „molekulárních klecí“. Pro porovnání s jinými pórovitými materiály je to zhruba 10krát více. Další výhoda ukládání molekul do molekulárních klecí je snížení rozměru zmíněných molekul oproti jejich nevázanému plynnému stavu, což je mimo pohlcování CO_2 možné využít například i pro kompaktnější ukládání vodíku nebo třeba metanu v nádržích autobusů (Notman 2017).

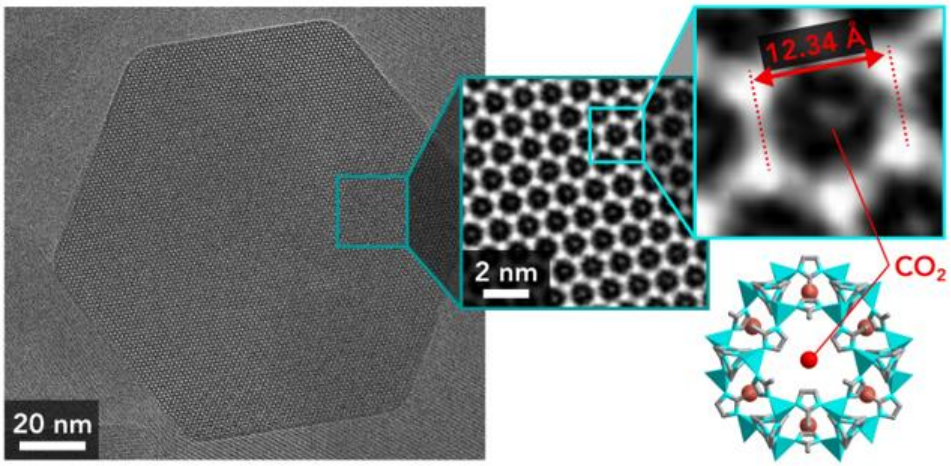
Podle informací z roku 2019 nejsou způsoby interakce mezi mřížkou a cizími molekulami plynu ještě plně pochopeny. Překážkou pro jejich podrobnější zkoumání je fakt, že pozorovat

mřížku interagující s cizími molekulami je technicky velice složité, a to zejména proto, že jsou molekuly s mřížkou spojeny jen velice slabým, lehce přerušitelným poutem. Technologie transmisivní elektronové mikroskopie (TEM) sice umožňuje pozorovat mřížku samotnou, ale i pouhý proud elektronů používání při snímání vzorků pomocí TEM stačí k tomu, aby došlo k odpojení molekul přilnutých k MOFs. Pouta mezi molekulami a mřížkou také dobře nesnáší vakuum, které je také potřeba při snímání pomocí TEM vytvořit. Existuje možnost snímat vzorky řadou jiných metod, jejichž výstupy jsou však průměry na shluk částic, ne na jednotlivé částice, a jako takové nejsou tak detailní, jak by bylo ideálně potřeba (Li, et al. 2019, s. 435).

V nedávné době se však vědcům povedlo aplikovat novou snímací metodu, která dokáže pořídit snímky MOFs velikého rozlišení bez odpoutání přilnutých molekul. Metoda nese název Cryo-EM (Kryogenní elektronová mikroskopie) a spočívá v „přimražení“ přilnutých molekul na krystalickou mřížku pomocí tekutého dusíku, což následně umožní vzorek bombardovat elektrony bez oddělení přilnutých molekul od mřížky, stále je však potřeba velice citlivý sensor, aby stačilo co nejmenší možné množství elektronů (Li, et al. 2019, s. 429). Zlepšení úrovně porozumění této technologii je důležité pro designování levnějších a efektivnějších materiálů (Energypost.eu, 2019).

ZIF-8 (Zeplitic Imidazolate Framework)

Jedním z MOFs je ZIF-8, který se v současné době jeví jako velice slibný materiál pro pohlcování CO_2. Bylo tak usouzeno na základě pozorování, které ukázalo, že po absorpci molekuly CO_2 do ZIF-8 dojde ke zvětšení průměru mřížky o asi 3 % z 12,04 Å na 12,34 Å při tlaku zhruba 1 baru. Taková změna průměru není u ZIF-8 neznámý jev, v případě pohlcování jiných plynů, třeba jako N_2, O_2 nebo Ar k němu však docházelo až při tlaku zhruba 10^4 baru. Tento výsledek implikuje vysokou míru interakce mezi CO_2 a ZIF-8 (Li, et al. 2019, s. 435), což je dobrá zpráva pro aplikace v reálném světě, kde se tlak běžně pohybuje okolo 1 baru. Znázornění ZIF-8 se zachycenými molekulami CO_2 si lze prohlédnout na ilustraci (Ilustrace 26).

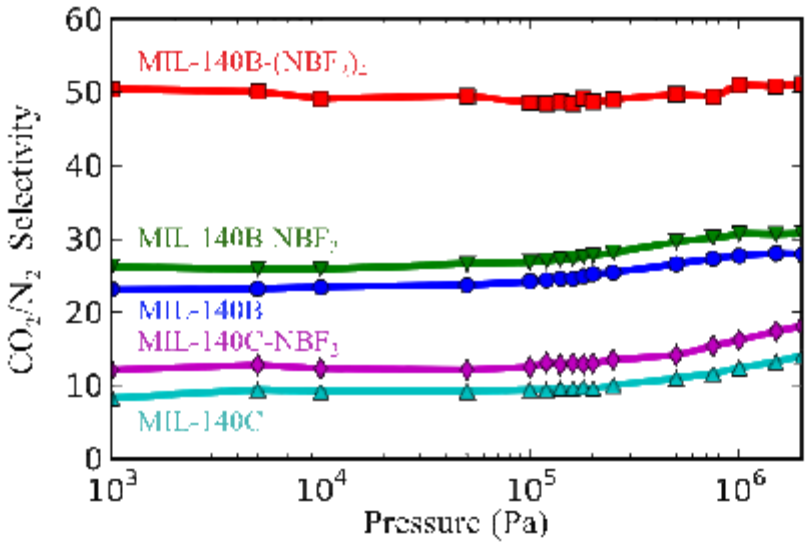


Ilustrace 26: ZIF-8 se zachycenými molekulami CO_2
Zdroj: Li, et al. 2019, s. 434

Na Ilustraci 26 jsou Cryo-EM snímky znázorňující zachycení molekuly CO_2 v molekulárních klecích ZIF-8.

MIL-140B, MIL-140C

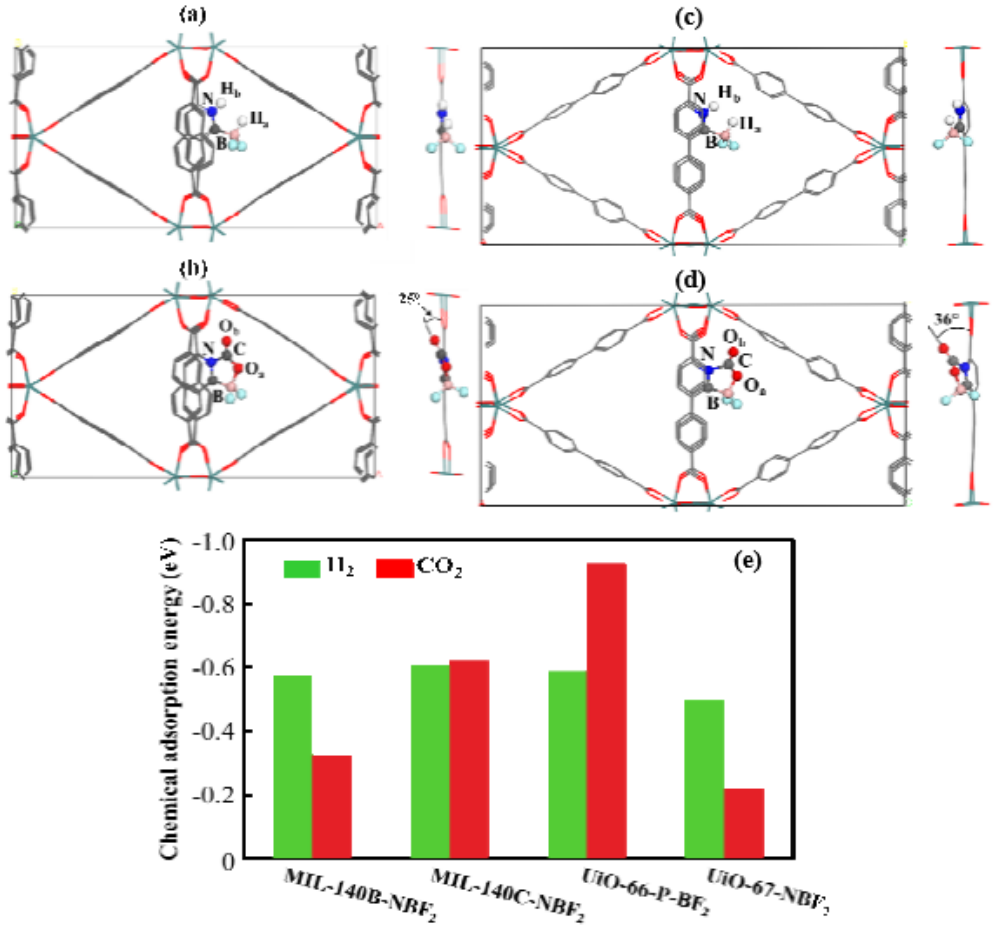
Funkcionalizované molekuly MIL-140B a MIL-140C byly v experimentu použity k selektivní adsorpci CO_2 ze směsi plynů N_2 a CO_2 a následné hydrogenizaci zachyceného CO_2 za účelem vytvoření metanolu (Ye, et al. 2018, s. 2). Molekuly při adsorpci ze směsi dvou plynů projevily preferenci k adsorpci CO_2. Největší míra preference byla potom sledována u funkcionalizované molekuly MIL-140B-(NBF2)4 (Ilustrace 27).



Ilustrace 27: Selektivita CO_2 nad N_2 při 298 K jako funkce tlaku
Zdroj: Ye, et al. 2018, s. 8

Dalším krokem bylo hydrogenizovat zachycené CO_2, aby došlo k vytvoření CH_2O_2, neboli kyseliny mravenčí, ze které lze následnou úpravou dostat metanol. Aby mohlo dojít ke sloučení CO_2 s H_2, je potřeba překonat určitou energetickou bariéru. Pro tyto účely byly použité MOFs funkcionalizované takovým způsobem, aby při adsorpci CO_2 došlo k natočení molekuly (preaktivace), což podle výpočtů výzkumníků vede ke snížení této energetické bariéry v porovnání s lineární molekulou CO_2 (Ye, et al. 2018, s. 3–8).

Další výhodou spojenou s designováním molekuly od základu byl fakt, že autoři článku byli schopni vytvořit molekulu tak, aby došlo k energetické preferenci vytváření vazby s molekulami H_2 v porovnání s mnohem většími molekulami CO_2, což znamená, že by nemělo dojít k přesycení materiálu molekulami CO_2. Vzhledem k téměř stejným hodnotám adsorbční energie pro H_2 u všech vzorků (Ilustrace 28) autoři usoudili, že pro tyto materiály nemá velikost jejich pórů vliv na schopnost vázat H_2. Oproti tomu v hodnotách adsorpční energie pro CO_2 je pro jednotlivé vzorky rozdíl znatelný, a to autoři přisuzují zejména velikosti pórů a topologii molekul (Ye, et al. 2018, s. 8–10).



Ilustrace 28: Chemisorpce H_2
Zdroj: Ye, et al. 2018, s. 10

Zde je na Ilustraci zachycena chemisorpce H_2 pro (a) MIL-140B-NBF2 a (c) MIL-140C-NBF2, chemisorpce CO_2 pro (b) MIL-140B-NBF2 a (d) MIL-140C-NBF2 a (e) Vypočtené hodnoty adsorpčních energií. MIL-140B-NBF2 má nejmenší velikost pórů.

Jeden z autorů výzkumu, Dr. Johnson, v rozhovoru uvedl, že další zlepšení materiálu, který může zachytit a přeměnit CO_2 není ekonomický nesmysl a že by takový krok vedl ke snížení podílu CO_2 v atmosféře. Co se možností aplikací týče, tak hovořil o zachytávání CO_2 přímo v elektrárnách nebo zachytávání CO_2 které se již do atmosféry dostalo (Cichowicz 2018).

3.4.2 Odstraňování CO_2 z atmosféry za použití tekutých nanoabsorbentů

V poslední době došlo na poli tekutých CO_2 nanoabsorbentů k velikým pokrokům v oblasti zvyšování jejich efektivity, a to opět zeména díky jejich veliké ploše s porovnání ke hmotnosti a možnosti úpravy jejich fyziochemických vlastností s ohledem na specifickou aplikaci, a snížení energetické náročnosti jejich regenerace, tedy desorpce CO_2 a možnosti opětovného použití (Yu, et al. 2019, s. 2–3).

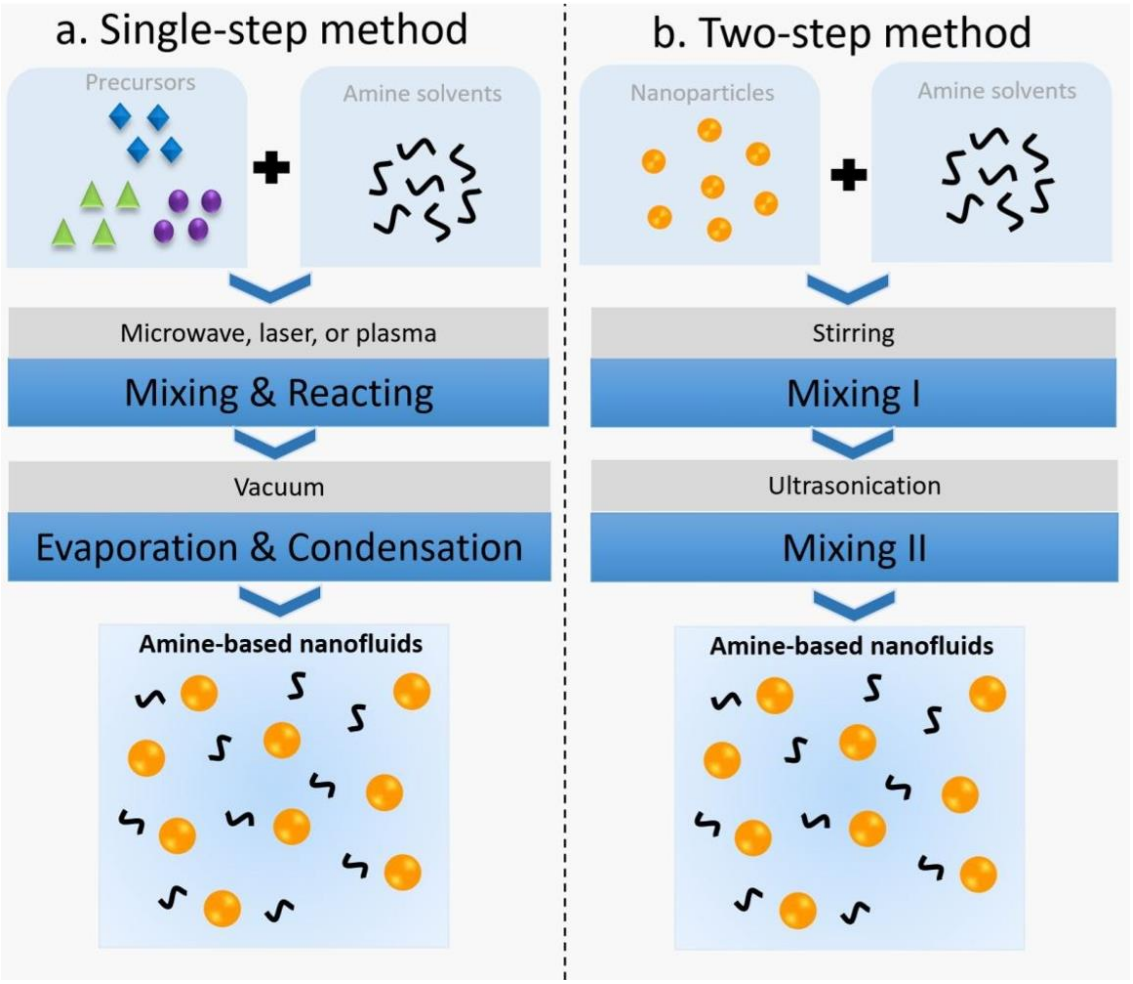
Oproti jiným nanokompozitům určeným pro zachycení CO_2 jako jsou například v práci dříve diskutované MOFs a další vykazují tekuté CO_2 nanoadsorbenty lepší vlastnosti co se týče selektivity a kapacity, a to i v prostředí s vysokou vlhkostí. Autoři článku z tohoto vyvozují značné snížení množství potřebné energie pro proces odstraňování CO_2 z atmosféry v porovnání s jinými metodami (Yu, et al. 2019, s. 4).

V současné době se jako nejslibnější jeví technologie jeví nanotekutiny na základě aminů a Nanoparticle Organic Hybrid Materials (NOHMs). (Yu, et al. 2019, s. 2). Nanotekutiny na základě aminů jsou vhodné především k odstraňování CO2 ze spalin, zatímco technologie pohlcování CO_2 za pomoci NOHMs nachází uplatnění především ve sférách, kde se CO_2 vyskytuje v prostorech s vysokým tlakem (Yu, et al. 2019, s. 35).

Nanotekutiny na základě aminů

Nanotekutiny na základě aminů vznikají, jak jméno napovídá, přidáním nanočástic do roztoku aminů. Obecně se používají Single-step a Two-step metody (Ilustrace 29). Hlavní výhodou Single-step metody oproti metodě Two-step je uniformější výsledný produkt (nanočástice

se tolik neaglomerují). Nevýhodou je však větší složitost přípravy, která má za následek to, že je obtížné metodu používat na industriální úrovni. Nižší uniformita produktu při použití Two-step metody se dá zvýšit pomocí dalších technik úpravy roztoku (Yu, et al. 2019, s. 7–8).

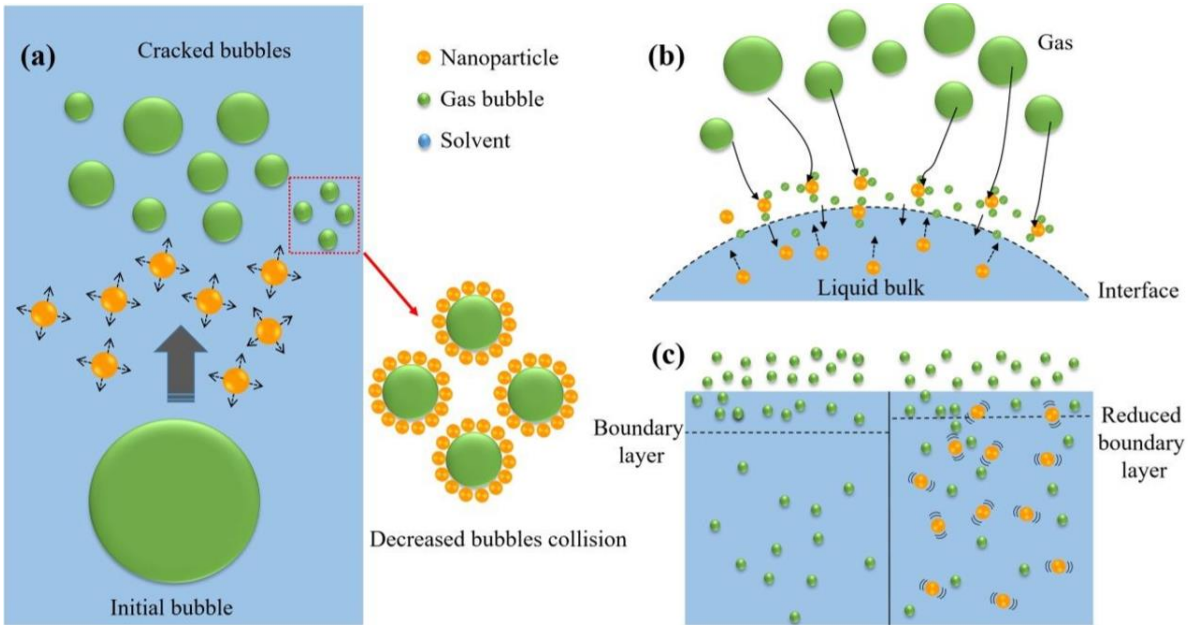


Ilustrace 29: Znázornění Single-step a Two-step metod pro výrobu jednduchých nanotekutin
Zdroj: Yu, et al. 2019, s. 33

Přidáním nanočástic do rozpouštědla lze docílit zvýšení kapacity o více než 20 % (Rahmatmand, et al. 2016, s. 1386–1387) a rychlosti pohlcování o 4–93 % (Komati, et al. 2008, s. 1098–1099). Data se liší pro různé druhy a množství nanočástic v roztoku a pro druhy roztoků, do kterých jsou nanočástice přidány. Autoři článku sepsali údaje do tabulky, která je však dosti nekompletní (u většiny kombinací chybí i dva ze tří sledovaných údajů). Dalším nedostatkem, na který autoři tabulky upozorňují, jsou nesjednocené postupy při provádění experimentů, které mohly výsledná data dále zkreslit. Vzhledem k tomu, že na získané výsledky má vliv spousta faktorů, jako jsou velikost nanočástic, prvotní koncentrace CO_2, teplota a další,

se zmiňují o důležitosti sjednocení výchozích podmínek podobných experimentů v budoucnu použití (Yu, et al. 2019, s. 22–26).

Za popsanými zlepšeními vidí vědci 3 hlavní efekty fungován, ale připouští, že mohou existovat ještě další, neobjevené, efekty, jež mají na proces také vliv (Yu, et al. 2019, s. 31). Efekty jsou zobrazeny na ilustraci (Ilustrace 30) a práce je jen velice stručně popíše.



Ilustrace 30: Hlavní efekty fungování
Zdroj: Yu, et al. 2019, s. 33

Na Ilustraci jsou znázorněny tyto efekty fungování. Pod písmenem a) se jedná o Bubble breaking effect tzn. nanočástice v roztoku rozloží větší bubliny CO_2 na menší skrze kolize, menší bubliny jsou pak snáze absorbovatelné (Yu, et al. 2019, s. 31–32). Písmeno b) popisuje Shuttle effect, to je situace, kdy nanočástice svým pohybem v roztoku transportují molekuly CO_2 z prostoru nad hladinou pod hladinu, čímž umožní roztoku absorbovat více molekul CO_2, které by se do roztoku bez přítomnosti nanočástic jinak nemusely dostat (Yu, et al. 2019, s. 32). Poslední z hlavních efektů je zachycen pod písmenem c). Jedná se o Boundary mixing effect. Zde přítomnost nanočástic v roztoku sníží tloušťku mezní vrstvy kapaliny, což umožní molekulám CO_2 do roztoku snáze pronikat (Yu, et al. 2019, s. 32–33).

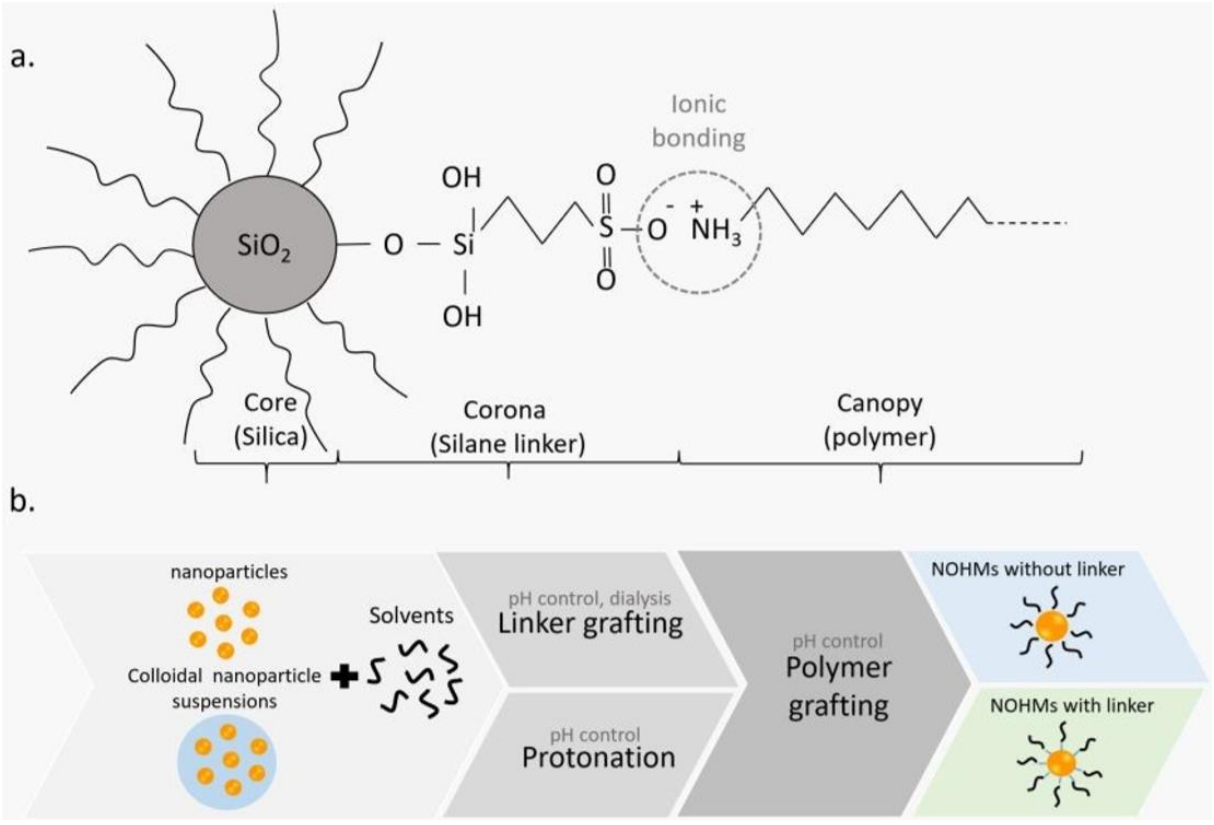
Autoři výzkumu upozorňují, že v praxi se spíše, než s jediným z efektů setkávají kombinacemi alespoň dvou a někdy i všech tří z popsaných efektů dohromady Nepanuje obecná shoda v tom,

který z efektů (nebo popřípadě která kombinace efektů) má na zlepšení procesu absorpce CO_2 do roztoku nejzásadnější vliv. Stále existuje několik různých teorií (Yu, et al. 2019, s. 33).

Přidáním nanočástic lze mimo výše popsané vlastnosti docílit i zlepšení vlastností desorpčních, což potažmo vede k energeticky méně náročnému procesu. Zdroje u tohoto tématu uvádí 3 hlavní mechanismy fungování, přičemž u jednoho z nich se zmiňují o tom, že v zásadě nikdo neví, jak efekt ve skutečnosti funguje, ale že prostě funguje (Lee, et al. 2015, s. 124–125). Je tedy zřejmé, že na poli výzkumu podobných technologií bude potřeba ještě spousta úsilí pro úplné pochopení, a tedy následnou perfektní optimalizaci nanočástic.

NOHMs

Pro NOHMs jsou charakteristické chemické vazby mezi polymery a nanočásticemi. Proces syntézy NOHMs je velice komplikovaný, jeho zjednodušené grafické znázornění si lze prohlédnout na ilustraci (Ilustrace 31).



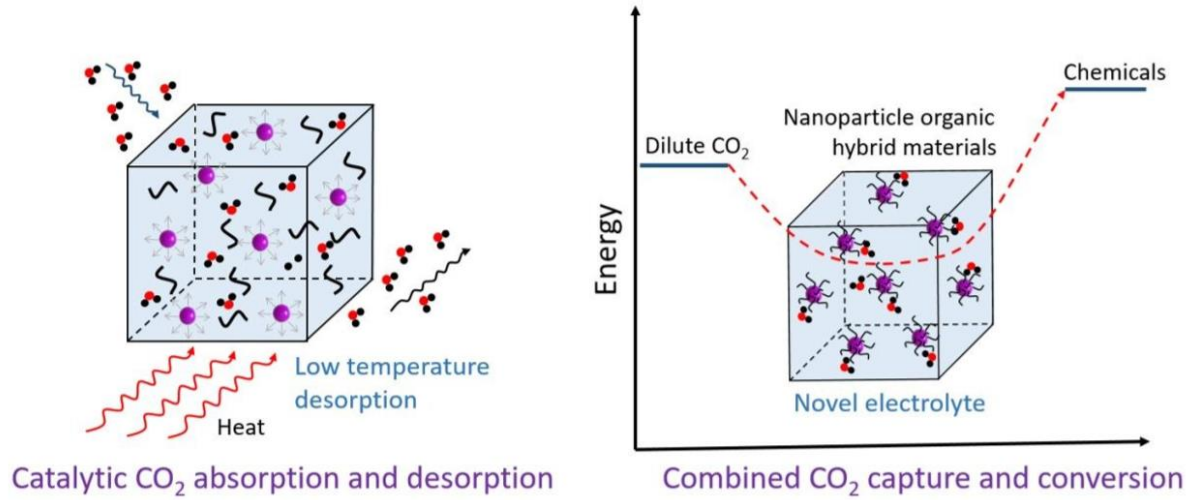
Ilustrace 31: Chemické vazby mezi polymery a nanočásticemi
Zdroj: Yu, et al. 2019, s. 11

Na ilustraci je pod písmenem a) znázorněna schématické struktura NOHM. Písmeno b) zachycuje proces syntézy HOHM. Jak lze z ilustrace vyčíst, NOHMs se skládají ze 3 hlavních částí, jsou to Core, Corona a Canopy. Ne všechny NOHMs vyžadují přítomnost Corony.

O samotné zachycování CO_2 se stará třetí část, Canopy, která je tvořena funkcionalizovaným polymerem použití (Yu, et al. 2019, s. 8–9).

V případě NOHMs byla kapacita materiálu a rychlost pohlcování CO_2 ovlivněna především typem a hustotou funkcionalizovaných polymerových skupin. Zlepšením těchto faktorů dochází však také ke zvýšení obtížnosti následné regenerace materiálu, proto je potřeba k optimalizaci přihlížet i po ekonomické stránce (Yu, et al. 2019, s. 27) Dalším faktorem zhoršujícím požadované vlastnosti materiálu je přítomnost jiných plynů. Například u smíchání CO_2 s SO_2 budou NOHMs vykazovat nižší kapacitu (Yu, et al. 2019, s. 28). Přítomnost jistých látek v určitých koncentracích může zvýšit nebo naopak snížit rychlost pohlcování stejně tak jako výsledné pohlcené množství CO_2, chování je opět závislé na koncentraci a použití (Yu, et al. 2019, s. 29).

Závěrem výzkumníci navrhují směry, kterými by se měl další výzkum u obou technologií ubírat. U první skupiny to je použití katalytických nanočástic pro další snížení energie potřebné pro regeneraci materiálu umožňující jeho opětovné použití. U skupiny druhé je to pak schopnost NOHMs přeměnit zachycené CO_2 na nějaké jiné, užitečné chemikálie (Ilustrace 32).



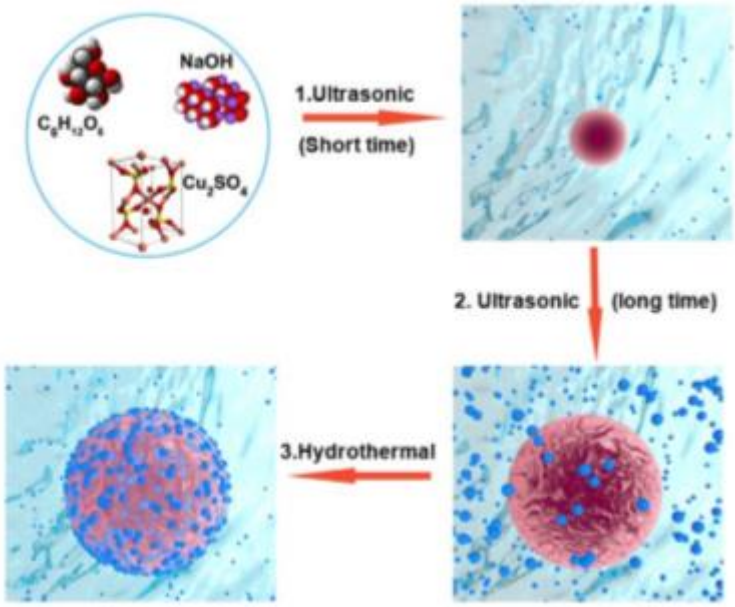
Ilustrace 32: Navrhované směry dalšího výzkumu pro tekuté CO_2 nanoabsorbenty
Zdroj: Yu, et al. 2019, s. 36

3.4.3 Přeměna atmosférického CO_2 na methanol za pomoci fotosyntézy

Tým výzkumníků z University of Sydney vyvinul novou metodu zachycení CO_2 z atmosféry a jeho následnou přeměnu na metanol za přítomnosti vody. Navzdory tomu, že byla technologie aplikována jen v laboratorních podmínkách v ní kladou vědci velké naděje. Vize výzkumníků

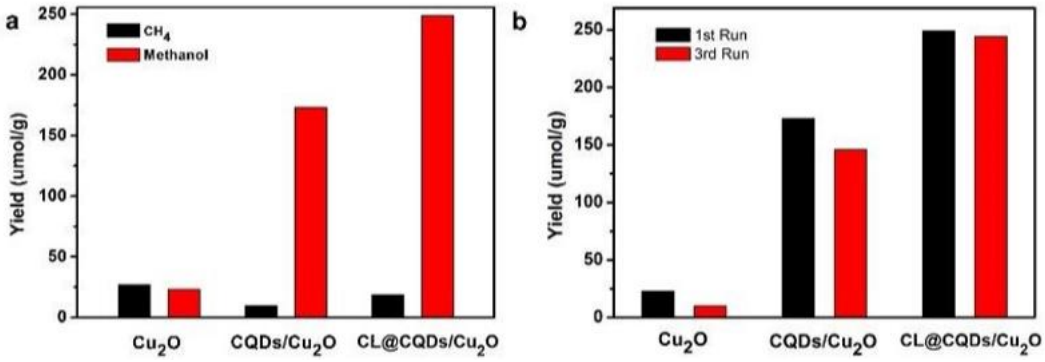
je vytvořit panely podobné těm solárním a následně je začít využívat na industriální úrovni. Dr. Huang v technologii vidí jednu z cest, kterou bude možno dosáhnout globálního cíle snížit emise uhlíku o 30 % do roku 2030 (SciTechDaily 2019).

Nanomateriál vzniknul z roztoku glukózy, NaOH a Cu_2SO_4. Proces jeho výroby je znázorněn na ilustraci (Ilustrace 33). V prvním kroku dojde k formaci malých Cu_2O částic, během čehož se v roztoku dále formují Carbon Quantum Dots (CQDs). Ve druhém kroku dojde ke zvětšení rozměru Cu_2O a k formaci více CQDs. Ve třetím kroku dojde k formaci uhlíkové vrstvy (CL) z glukózy na povrchu Cu_2O, která při procesu formace zachytí i CQDs. Celkový chemický název tohoto materiálu je tedy CL@CQD/Cu_2O (Li, et al. 2019, s. 2).



Ilustrace 33: Proces výroby CL@CQDs/Cu_2O.
Zdroj: Li, et al. 2019, s. 2

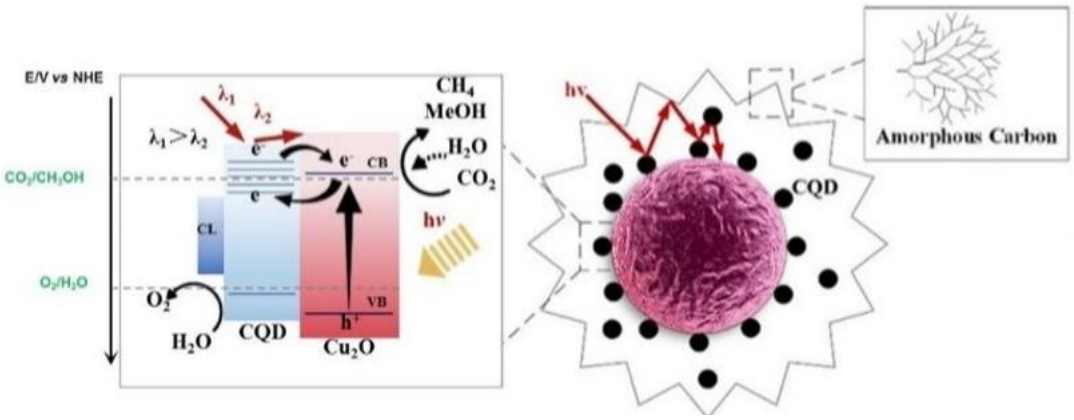
Materiál byl laboratorně testován a bylo zjištěno, že je skutečně schopný přeměnit CO_2 primárně na methanol a CH_4 (Ilustrace 34a), a že oproti požití méně elaborantních materiálů pro stejné účely nedochází k drastickému snižování účinnosti procesu s opakovaným použitím. Oproti jiným katalyzátorům použitým při porovnávání se CL@CQD/Cu_2O jeví jako více než dobrá alternativa, která v rámci 5 testovacích cyklů téměř neztrácí na účinnosti (Ilustrace 34b), což je přisuzováno zejména ochranné vrstvě CL a potažmo i v ní obsažených CQDs (Li, et al. 2019, s. 3).



Ilustrace 34: Testování materiálu CL@CQD/Cu_2O
Zdroj: Li, et al. 2019, s. 3

Ilustrace zachycuje v části a) množství vyrobeného CH_4 a metanolu za dobu 2,5 hodin. A dále v části b) snižování množství z CO_2 získaného metanolu s rostoucím počtem cyklů opakování procesu bez výměny katalyzátoru.

Výzkumníci tento jev připisují několika faktorům. První skutečností je fakt, že CL@CQD/Cu_2O odráží méně světla, než CQD/Cu_2O i Cu_2O, a to zejména při vlnové délce nad 600 nm. Z tohoto usuzují, že CL@CQD/Cu_2O využije více energie pro propagaci chemické reakce, a proto jí následně vyzáří méně. Skutečnost, že je materiál najednou schopen pohltit i světelné frekvence nad 600 nm vysvětlují tak, že CQD jsou oproti samotnému Cu_2O schopny světlo těchto frekvencí absorbovat, a vyzářit je jako světlo o kratší vlnové délce, které má pak dostatek energie na nabuzení Cu_2O. Svou důležitou roli v procesu hraje i CL, která zjednodušeně odráží světlo směřující od molekuly Cu_2O zpět dovnitř do částice, což světlu opět umožní se strefit so molekuly Cu_2O a nabudit jí (Ilustrace 35). Celý tento proces zlepšuje míru přeměny CO_2 na zejména metanol. Z těchto důvodů dosahovala částice CL@CQD/Cu_2O nejlepších výsledků napříč všemi testy (Li, et al. 2019, s. 2–3).

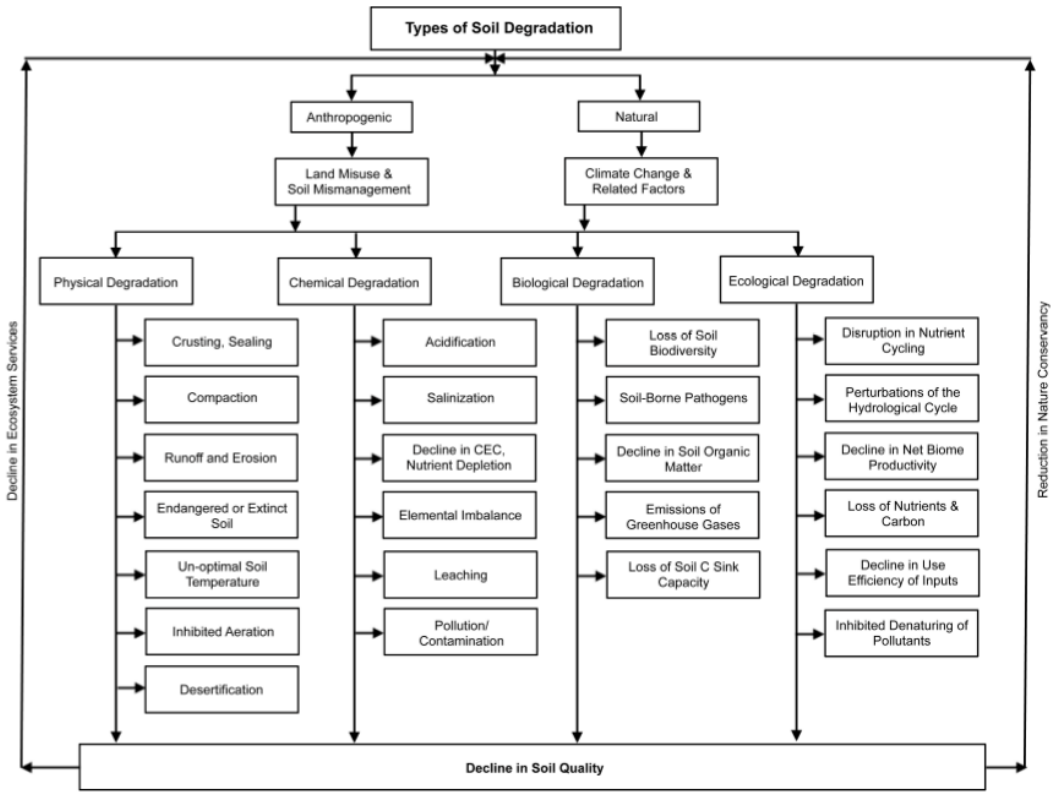


Ilustrace 35: Proces fotokatalytické redukce CO2 ve spektru viditelného světla
Zdroj: Li, et al. 2019, s. 3

Dále vědci u CL@CQD/Cu_2O prokázali zlepšenou schopnost interakce s CO_2 oproti samotnému Cu_2O, a to tak, že ukázali, že při ozáření v prostředí tvořeném Ar vygeneruje první molekula více proudu než druhá, ale v prostředí tvořeným CO_2 ho vygenerují tak nějak stejně, Což znamená, že molekula elektrony nevysílá do okolí, ale že jsou spotřebovávány při reakci (Li, et al. 2019, s. 3).

3.5 Sanace půdy

Sanace půdy je další sférou, která je spojena s tématikou ochrany životního prostředí a ve které lze současně nají prostor pro využití poznatků z oblasti nanotechnologie. Půda zastává řadu velice významných funkcí. Jednou z nich je třeba funkce půdy jako média, jehož existence je jedním z hlavních faktorů umožňující růst rostlin, a tedy mimo jiné i produkci obživy pro populaci Země. Mezi nejpalčivější soudobé problémy ve spojení s pedosférou se řadí její kontaminace a degradace způsobená zejména lidskou činností, která může zahrnovat (ale není omezena na) chybné praktiky land use, nesprávné metody hnojení půdy, využívání toxických pesticidů, nebo třeba únik těžkých kovů vlivem nějaké průmyslové havárie a tak dále (Lal 2015, s. 5876–5878). Podrobné schéma způsobů, jakými může být půda kontaminována je k nahlédnutí v přiložené ilustraci (Ilustrace 36).



Ilustrace 36: Možné způsoby kontaminace půdy
Zdroj: Lal 2015, s. 5876

Kontaminace a degradace půdy by mohly, pakliže ponechány bez zásahu, v budoucnu znamenat vážnou hrozbu nejen co se zmíněné produkce obživy týče. Krom scénáře, podle kterého by na zasažených půdách nevyrostly vůbec žádné plodiny, může dojít ještě například ke scénáři, při kterém v kontaminovaných oblastech nějaké plodiny vyrostou a kontaminanty do sebe z půdy absorbují. Kontaminanty obsažené ve vypěstovaných plodinách se následně mohou dostat do organismů, které je požijí, následkem čehož by mohlo dojít k promítnutí kontaminačních látek do celých potravinových řetězců (Lu, et al. 2015, s. 5–6).

3.5.1 Nanomateriály pro odstraňování těžkých kovů

Těžké kovy budou pro účely práce definovány jako kovy, které mají relativně velikou hustotu (>5g/cm3) a atomovou hmotnost (>20). Těžké kovy se v nízkých koncentracích přirozeně vyskytují v zemské kůře a potažmo tedy i půdě, ovšem činnost člověka zapříčinila prudký nárůst jejich koncentrace, a to třeba vlivem těžby kovů, výroby různých barviv, používáním hnojiv nebo třeba spalováním fosilních paliv a tak dále (Bakshi, et al. 2020, s. 348). Hlavním problémem je, že jsou toxické a v sedimentech nemohou být jednoduše rozloženy na prvky netoxické, takže i při pozvolném tempu ukládání do půdy může jejich koncentrace stále narůstat (Hu, et al. 2011, s. 673). Těžké kovy mohou být namísto rozkládání na méně toxické látky zpasivizovány/imobilizovány za pomoci různých prvků, kterými jsou třeba nanočástice (Cai, et al. 2019, s. 207).

V souvislosti se sanací půd od těžkých kovů se nejvíce hovoří o nanočásticích nula-mocného železa, a to především díky velikému poměru povrchu k celkovému objemu částice, díky čemuž mají velice dobrou šanci imobilizovat kontaminant, dále díky jejich vysoké reaktivitě a redukčním vlastnostem (Bakshi, et al. 2020, s. 348), a v neposlední řadě jejich cena, která je nižší, než u donedávna pro tento účel používaného palladia (Boysen, et al. 2011, s. 216). Zmíněné nanočástice byly s velikým úspěchem testovány na kyselých půdách obsahující Pb a Zn, přičemž se ukázalo, že olovo bylo z půdy odstraněno efektivněji než zinek. Na vzorcích byl následně proveden toxikologický rozbor, zkoumající vliv nZVI na určité druhy bakterií a larev v ošetřené půdě. Při porovnání změn bioluminiscence, reprodukce a úmrtnosti zkoumaných organismů došli vědci k závěru, že vzorky půd byly po ošetření nZVI méně toxické, než kdyby ošetřeny nebyly (Gil-Díaz, et al. 2014, s. 11–12). Další studie zkoumala vliv nZVI na vzorky kyselé a vápenité půdy, které byly kontaminovány hned několika těžkými kovy

najednou. Mezi kontaminanty patřily AS, Cr, Pb, Cd a Zn. Autoři studie nahlásili vyšší než 82% úbytek v koncentracích As, Pb a Cr, úbytek Zn dosahoval až 75 % a úbytek Cd v některých případech až 42 % (Gil-Díaz, et al. 2016, s. 815–819).

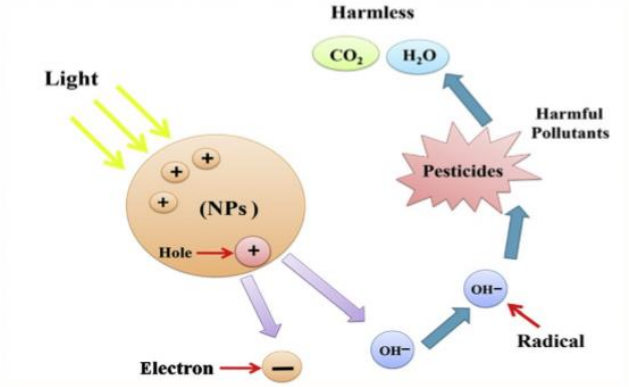
Důležité je, aby pro různé kontaminanty byly vybrány (vyrobeny) odpovídající částice nZVI (mohou se lišit třeba procesem výroby), protože reakcemi různých druhů nZVI s okolím může docházet ke vzniku rozdílných biproduktů (Ševců, et al. 2017, s 21197–21201).

3.5.2 Nanomateriály pro odstraňování perzistentních organických látek

Perzistentní organické látky (POP) jsou, jak již název napovídá, organické látky, které dokážou dlouhodobě setrvat v nějakém prostředí. Do této kategorie se mohou řadit například různá průmyslová rozpouštědla a chemikálie, farmaceutika, nebo třeba pesticidy. Tyto látky jsou často toxické. Vzhledem ke škodám, které v přírodě POP již napáchaly, bylo v roce 2004 na Stockholmské konvenci jejich používání velice omezeno. Úplně bylo zakázáno používání 12 POP, z čehož 8 byly pesticidy. Většina států se tedy snaží z půdy odstranit ty kontaminanty, které se do ní dostaly v době před rokem 2004. Hlavním problémem POP je, že vykazují vlastnosti, jako jsou bioakumulace[9], biokoncentrace[10] a tedy v důsledku biomagnifikace[11], čímž ohrožují všechny členy potravních řetězců a nejvíce pak ty, kteří jsou na jejich vrších. Další potíží je, že POP mohou cirkulovat i globálně, a to třeba i vlivem evaporace a následné depozice daleko od zdroje. Nejedná se tedy o problém pouze jednotlivých území, na kterých byla naměřena vysoká koncentrace POP, nýbrž potenciálně i o území, která s místem kontaminace nemají na první pohled žádnou spojitost (Bakshi, et al. 2020, s. 351–352).

Řešení problémů spojených s kontaminací půdy vlivem působení pesticidů a POP vidí někteří vědci ve využití nanotechnologií. V současné době je často zmiňovaným procesem pro dekontaminaci půd fotokatalytická reakce nanočástic (například TiO_2 nebo ZnO) s kontaminanty, kteréžto budou následkem proběhnutí reakce přeměněné na jednodušší a méně nebezpečné prvky, kterými jsou třeba CO_2, N_2 anebo H_2O (Bakshi, et al. 2020, s. 352). Zjednodušený diagram funkce procesu je znázorněn v přiložené ilustraci (Ilustrace 37).

[9] Růst koncentrace chemické látky v organismu skrze vlivy prostředí nebo z kontaminované potravy.
[10] Růst koncentrace chemické látky v organismu skrze vliv prostředí.
[11] Růst koncentrace chemické látky s průchodem dvěma a více úrovněmi trofického řetězce.



Ilustrace 37: Proces fotokatalýzy nanočástic - přeměna toxických molekul POP na bezpečné
Zdroj: Bakshi, et al. 2020, s. 352

Autoři však i v tomto případě a nehledě na všechny možné výhody, které by s sebou implementace nanočástic mohla přinést, píší o potřebě jejich dalšího velice důkladného testování ve všemožných situacích před zahájením plošného vypouštění do okolí. Zmiňují se například o možné hrozbě doposud nezjištěné schopnosti bioakumulace a následné biomagnifikace některých nanočástic za v určitých organismech, což by v budoucnu mohlo představovat problémy ještě horšího charakteru, než jsou ty současné (Bakshi, et al. 2020, s. 362).

4 Nanotoxikologie

Ne tak úplně paralelně s rozvojem pole nanotechnologií se začalo rozvíjet i pole výzkumu toxicity nových záměrně nebo nezáměrně vznikajících nanomateriálů. S postupem času vědci zjistili, že jeden materiál může být pro své okolí netoxický ve standartních rozměrech, ale toxický ve formě nanočástic. Jedním z důvodů je skutečnost, že se nanočástice mohou pohybovat volněji než částice větších rozměrů, a tak mohou prorazit do míst, kam by se částice materiálu konvenčních rozměrů běžně nedostaly. Dále lze při porovnávání nanočástice s jinou nanočásticí stejného materiálu vysledovat obecný trend, podle kterého jsou nanočástice menších rozměrů toxičtější než nanočástice větších rozměrů (Singh, et al., 2019, s. 109), toto však není úplným pravidlem, jak ukázala například nedávná studie Ústavu experimentální medicíny AV ČR zkoumající určité aspekty toxicity nanočástic TiO_2 (Brzicová, et al. 2019, s. 186). Do živých organismů proto mohou nanomateriály proniknout více způsoby a po proniknutí se v organismu projevovat jinak než částice konvenčních rozměrů. K průniku do organismu jedince může dojít třeba skrze kontakt s vodou obsahující nanočástice, přenos nanočástic větrem, nebo v některých případech i jen pouhý kontakt nanočástice s kůží, přes kterou nanočástice pronikne do těla jedince a podobně (Mohammad, et al. 2011, s. 1).

Z již provedených studií se zdá, že jakákoli nanočástice má při dostatečně nízké koncentraci a době, po kterou jejímu působení byl organismus vystaven, téměř zanedbatelné cytotoxické[12] účinky, a to bez závislosti na parametrech nanočástice. Při vysokých koncentracích je opět jedno, jaké má nanočástice parametry, ale pravděpodobné je, že bude nebezpečná pro téměř všechny druhy buněk (Hoshino, et al. 2004, s. 992). Studie se však dále zmiňují, že v tomto ohledu je opět potřeba provést více výzkumu pro přesné určení povahy toxicity jednotlivých druhů nanočástic, a to nejen v oblasti cytotoxicity, ale všech možných druhů toxicity, a to i takových, které se u materiálů běžných rozměrů vůbec netestují, protože u nich nepředstavují možnou toxickou hrozbu (Mohammad, et al. 2011, s. 9).

Jak již bylo ilustrováno dříve v této práci – téma ochrany životního prostředí je velice komplexní, a proto je pro vývojáře nových nanomateriálů téměř nemožné si předem a k tomu téměř bez testování uvědomit naprosto všechny problémy, které mohou nastat při vypuštění netestovaného nebo nedostatečně testovaného nanomateriálu do reálného světa, kde bude nějakým způsobem interagovat se vším okolo sebe. Obecně panuje názor, že je potřeba materiály komplexněji testovat před jejich vypuštěním z laboratoří, že je potřeba zvážit jejich výhody a nevýhody a konečné rozhodnutí o vypuštění nebo nevypuštění do produkce a potažmo do celého světa založit právě na výsledcích takových šetření. Popisovaná procedura však zpomaluje vývoj a následnou implementaci nových nanomateriálů a stojí vývojáře další peníze. Podle nejnovějších zdrojů stále panuje názor, že téma výzkumu efektů a případné toxicity nanomateriálů na okolí před zahájením jejich masivní produkce a implementace je velice zanedbáváno, a to i přes to, že v dnešní době již člověk běžně interaguje s produkty obsahujícími nanomateriály a do okolí bylo již nejen díky těmto produktům vypuštěno veliké množství nanočástic (Singh, et al., 2019, s. 109–113). Takovými produkty mohou být například běžně dostupné opalovací krémy, kosmetika, jídlo, hnojiva, oblečení, sportovní vybavení, monitory, televize, a mnoho dalších (Mohammad, et al. 2011, s. 1-2).

[12] Schopnost ničit buňky

4.1 Metody pro posouzení toxicity nanočástic

V současné době neexistuje standardizovaný sjednocený protokol pro posuzování toxicity nanočástic. Autoři článku uvádí, že pakliže bude takový protokol vytvořen, tak by měl zahrnovat tyto hlavní aspekty:

- Analýzu fyziochemických vlastností nanočástice, které v testech nebývají běžně považovány za vlastnosti způsobující možnou toxicitu. Takovými vlastnostmi jsou v tomto případě třeba velikost částice (společně s velikostí povrchu), množství vzniklých částic o určitých velikostech (ne vždy jsou všechny produkované nanočástice stejných rozměrů, i při stejných výchozích podmínkách lze rozložení velikosti vzniklých nanočástic zobrazit jako spektrum), rozpustnost nanočástic, tvar, náchylnost k agregování, strukturu povrchu, reaktivitu povrchu, analýzu možného povlaku nanočástic a další.
- Testování in vitro (ve zkumavce) by mělo odhalit zejména následky spojené se způsobem vniku nanočástic do těla jedince. Testy by tedy měly ujasnit, jestli je daná nanočástice například cytotoxická, neurotoxická, rakovinotvorná, jestli má po vniknutí do těla schopnost vyvolat imunitní reakci nabývající formy zánětu13, jestli se může stát toxickou třeba až za nějakou dobu po vniknutí do těla, jestli může být toxický efekt přenesen na potomky zasaženého jedince a podobně. Při aplikacích v medicíně jsou nanočástice do těla často vpravovány vědomě, a to za účelem doručení léků nebo jiných látek (například kontrastních látek pro účely různého snímkování) na přesné místo v těle. V takovém případě bude další výzvou objevení metod pro posouzení samotného vlivu nanočástic na tělo odděleného od vlivu látky, kterou nesou. Dále se může nanočástice ukázat být nějakým způsobem toxickou třeba až po provedení snímkování, a to vlivem styku s rentgenovým, UV, nebo ultrazvukovým zářením a podobně.
- Studie vlivu in vivo (na živočiších), které by měly odhalit toxické vlivy testovaných nanočástic při kontaktu se specifickými orgány a následné vyhodnocení poškození vzniklých na analyzovaných orgánech (Mohammad, et al. 2011, s. 9).

V ČR se problematikou nanotoxikologie zabývá například již zmíněný Ústav experimentální medicíny AV ČR, který spravuje Oddělení nanotoxikologie a molekulární epidemiologie. Oddělení se specializuje na testování toxických účinků vyráběných nanočástic i jemných částic

[13] Immune inflammatory response

z ovzduší na lidských buněčných liniích pocházejících z povrchového epitelu dýchacího traktu a také na 3D plicních modelech (systém MucilAirTM). Dále provádí molekulárně-epidemiologické studie analyzující vliv znečištěného životního prostředí na člověka. Oddělení má v současné době řadu grantů od různých vládních i nevládních organizací (Ústav experimentální medicíny AV ČR, 2018).

Závěry

Bakalářská práce se zaměřuje na využití nanotechnologií v oblastech ochrany a sanace životního prostředí. Hlavním smyslem a účelem práce byla podrobnější analýza dostupné literatury a hledání možných způsobů aplikace nanotechnologií na zmíněnou sféru zájmu.

V bakalářské práci byla využita řada vědeckých studií na konkrétních příkladech bylo ilustrováno, že problematika ochrany a sanace životního prostředí je skutečně velice komplexní a navzájem všemožnými způsoby propojené téma. Vzhledem k těmto zjištěním je zřejmé, že je na něj potřeba nahlížet mezioborovým aparátem, neboť pakliže by byla vyvinuta snaha řešit jednotlivé problémy jako izolované instance, mohlo by ve výsledku sice dojít ke zlepšení situace v oblasti onoho jednoho řešeného jevu, ale konsekventně by hrozilo zhoršení stavu v několika přímo i zdánlivě nepřímo přidružených sférách životního prostředí.

Dále práce poskytuje obecný přehled o nanočásticích a nanomateriálech. Kapitola definovala základní pojmy a poskytla stručný rozbor historie vzniku pole nanotechnologií. Dále se společně s technickými aspekty a pozitivy výzkumu a vývoje ve zmíněné oblasti kapitola zaměřila i na etiku dalšího vývoje. Snad největší problém v tomto odvětví představuje skutečnost, že by s rozvojem nanotechnologií mohlo dále docházet k růstu disparit mezi bohatými zeměmi, které mají prostředky na další rozvoj zmíněných technologií, a tedy by z nich dále bohatly, a zeměmi chudými, které by opět zůstaly pozadu protože by neměly prostředky na rozvoj tak pokročilého vědeckého programu.

V následující části práce byla řešena samotná problematika využití nanotechnologií ve vybraných oblastech ochrany a sanace životního prostředí. Jak se při psaní práce ukázalo,

tak je možných využití skutečně snad nepřeberné množství. S přihlédnutím k požadovaným parametrům práce (zejména pak její délka) byla tedy vybrána témata z těch sfér, které byly vyhodnoceny jako nejvhodnější, a to zejména z pohledu množství lidí, které přímo ovlivňují, jejich důležitosti v přírodě (tedy mají podle rozboru z první kapitoly veliké množství přímých vazeb na své okolí) a v neposlední řadě z pohledu skutečné využitelnosti nanotechnologií ve stavu, v jakém jsou dnes, aby práce ve výsledku nebyla pouze nějaké sci-fi na téma: „*Co by mohlo být za 50 let?“* a tak dále, protože téma ochrany a sanace životního prostředí je potřeba začít řešit okamžitě bez odkladu a vyčkávání, jinak bude pozdě. Jako splňující tato kritéria byla shledána témata zejména z oblastí hydrosféry, atmosféry a pedosféry. Konkrétně se jedná o témata čištění odpadních vod, odstraňování ropných skvrn, zbavování se plastu, odstraňování CO_2 z atmosféry a sanace půdy za pomoci nanotechnologií. V práci jsou témata podrobněji rozebrána, přičemž u některých se podle zdrojů již v dnešní době vyskytuje několik slibných řešení, z nichž u většiny již fungují alespoň nějaké pilotní projekty s určitými (ve velké části laboratorními) výsledky. Už dnes se tedy ví, že nanotechnologie mohou ve zmíněných oblastech reálně pomoci, a to v ne tak nedohledném časovém horizontu.

Ze zkoumání literatury však také vyplynulo, že s adaptací nanotechnologií je kromě technických a dalších problémů spojená i jejich případná dnes nezjištěná ekologická závadnost, na což mnohé zdroje upozorňují. Jak již bylo několikrát zmíněno – v reálném světě mezi sebou vše všemožnými způsoby interaguje a ovlivňuje se. U nanočástic a nanomateriálů se zkoumáním toxických vlastností zabývá pole zvané nanotoxikologie. Materiál totiž v některých případech může být zcela nezávadný v říši konvenčních rozměrů a za určitých podmínek toxický v rámci nanorozměrů. Ve čtvrté kapitole jsou pro čtenáře zjednodušeně představeny obtíže, se kterými se nanotoxikologický rozbor musí potýkat v porovnání s toxikologickou analýzou částic a materiálů konvenčních velikostí. Dále je zdůrazněno, že podle použitých zdrojů starých třeba jen několik měsíců nebo pár let není tomuto tématu věnována zdaleka taková pozornost, jako která by mu být věnována měla. V minulosti již byly vypuštěny do okolí produkty na bázi nanotechnologií bez toho, aniž by u nich byl proveden rozsáhlejší toxikologický rozbor. Problém by to mohlo představovat zejména pakliže by byly určité nanoprodukty plošně vypuštěny do přírody a následně by byla zjištěna nějaká jejich do té doby nepředvídaná toxicita pro okolí. Situaci dále zhoršuje fakt, že pro posouzení toxicity nanočástic a nanomateriálů ke dnešnímu dni neexistuje podle nejnovějších dostupných zdrojů ani žádný

ucelený a mezinárodně uznávaný postup. Práce v poslední části kapitoly rámcově nastínila, jak by měl takový postup zhruba vypadat a na co by se měl především zaměřovat.

Úplným závěrem je tedy vhodné uvést, že využívání nanotechnologií pro ochranu a sanaci životního prostředí je velice perspektivní a rozsáhlé téma které oproti postupům konvenčním nabízí nepřeberné množství výhod, je však třeba nové částice a materiály velice rigorózně testovat, aby jejich zbrklá plošná aplikace v přírodě nakonec nepřinesla více škody než užitku.

Seznam použitých zdrojů

Bibliografie

BOYSEN, Earl., et al., 2011, *Nanotechnology for Dummies,* 2. vydání. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc. ISBN: 978-0470891919

HORNÍK, S., et al., 1986. *Fyzická geografie II*, 1. vydání. Praha: Státní pedagogické nakladatelství. ISBN: 14-380-86

KOZÁK, P., et al., 2016. *Freshwater Crayfish: A Global Overview*, 1. vydání. Boca Raton: CRC Press. ISBN: 978-1-4665-8640-6

LAIST, D. W., 1997. *Marine Debris*, New York: Springer. ISBN: 978-1-4613-8486-1

MOORE, J. T., 2011. Chemistry for Dummies, 2. vydání. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc. ISBN: 978-1-119-29346-0

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012. *Science for Enfironmental Protection: The Road Ahead*, Washington, DC: The National Academic Press. ISBN: 978-0-309-26493-8

SAIKIA, J., et al., 2019. *Environmental Nanotechnology Volume 2*, Springer. ISBN: 978-3-319-98708-8

SINGH, S., et al., 2019. *Environmental Nanotechnology Volume 2*, Springer. ISBN: 978-3-319-98708-8

BAKSHI, M., et al., 2020. *Nano-Materials as Photocatalysts for Degradation of Environmental Pollutants*, Elsevier. ISBN: 978-0-12-818598

Citace

ADITI, S., et al., 2010. Implications of Fullerent-60 upon *in vitro* LDPE Biodegradation. *Journal of Microbiology and Biotechnology* [online], roč. 20, č. 5, s. 908–916 [vid 16. 10. 2019]. ISSN 1738-8872. Dostupné z: https://doi.org/10.4014/jmb.0910.10025

BHATIA, M., et al., 2013. Implicating Nanoparticles as Potential Biodegradation Enhancers: A Review. *Nanomedicine and Nanotechnology* [online], roč. 4, č. 4 [vid. 15. 10. 2019]. ISSN 2157-7439. Dostupné z: https://doi.org/10.4172/2157-7439.1000175

BURKE, T. A., et al., 2017. Rethinking Environmental Protection: Meeting the Challenges of a Changing World. *Environmental Health Perspectives* [online], roč. 125, č. 3, s. A43–A49 [vid. 3. 10. 2019]. Dostupné z: https://doi.org/10.1289/EHP1465

CICHOWICZ, M., 2018, New Breakthrough in Nanotechnology that Uses Atmospheric Carbon to Make Useful Chemicals. IN: Phys.org [online]. 3. 10. 2018 [vid. 31. 12. 2019]. Dostupné z: https://phys.org/news/2018-10-smaller-carbon-footprint.html

DENG, F., et al., 2019. Application of Nanomaterials and Nanotechnology in the Reutilization of Metal Ion from Wastewater. *Micro and Nano Technologies* [online], roč. 2019, s. 149–178 [vid. 23. 1. 2020]. ISSN: 2522-5065. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814837-2.00005-6

Enerypost.eu. 2019. A Cheap Carbon Capture breakthrough? MOF Molecular Cages that Trap CO2 [online] 2019 [vid. 30. 12. 2019]. Dostupné z: https://energypost.eu/a-cheap-carbon-capture-breakthrough-mof-molecular-cages-that-trap-co2/

EPA, 2015a. Air, Climate, and Energy Strategic Research Action Plan, 2016–2019. United States Environmental Protection Agency [online]. [vid. 6. 10. 2019]. Dostupné z: https://www.epa.gov/research/air-climate-and-energy-strategic-research-action-plan-2016-2019

EPA, 2015b. Climate Change in the United States Benefits of Global Action. United States Environmental Protection Agency [online]. [vid. 6. 10. 2019]. Dostupné z: https://www.epa.gov/cira/downloads-cira-report

FEYNMAN, R. P., 1960. There's Plenty of Room at the Bottom. *Engineering and Science* [online], roč. 23, č. 5, s 22–36. [vid. 23. 12. 2019]. ISSN 0013-7812. Dostupné z: http://calteches.library.caltech.edu/1976/

FORSTER, P., et al. 2007. Changes in Atmospheric Constitutes and in Radiative Forcing. *International Nuclear Information System* [online]. [vid 5. 10. 2019]. Dostupné z: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter2-1.pdf

GEHRKE, I., et al., 2015. Innovations in Nanotechnology for Water Treatment. *Nanotechnology, Science and Applications* [online], č. 8, s. 1–17 [vid. 11. 12. 2019]. ISSN 1177-8903. Dostupné z: https://doi.org/10.2147/NSA.S43773

HITE, J., 2019. We Can't Recycle Our Way Out of the Plastic Pollution Problem. Confervation Law Foundation [online] 14. 4. 2019 [vid. 23. 1. 2020]. Dostupné z: https://www.clf.org/blog/cant-recycle-out-of-plastic-pollution-problem-guide/

HOSHINO, A., et al., 2004. Quantum Dots Targeted to the Assigned Organelle in Living Cells. *Microbiology and Immunology* [online] roč. 48, č. 12, s. 985–994 [vid. 22. 1. 2020]. ISSN: 0385-5600. Dostupné z: https://doi.org/10.1111/j.1348-0421.2004.tb03621.x

CHRYSOPOULOU, S., 2016. c. *Coca-Cola Europe Public Affairs & Communication* [online], [vid. 21. 10. 2019]. Dostupné z: https://www.documentcloud.org/documents/3409808-EU-Radar-Screen-Issue-Update-2016-02-03.html

INSTITUTE OF BIOENGINEERING AND NANOTECHNOLOGY, 2016. Supergelators Hold Key to More Effective Oil Spill Cleanup. *Phys.org* [online] 17. 6. 2016 [vid. 29. 9. 2019]. Dostupné z: https://phys.org/news/2016-06-supergelators-key-effective-oil-cleanup.html

Encyclopædia Britannica, 2019. Nanoparticle [online] 14. 5. 2019 [vid. 7. 4. 2019]. Dostupné z: https://www.britannica.com/science/solution-chemistry

TWI, 2020. What is a Nanomaterial? - Definition, Examples and Uses. *TWI* [online] 2020 [vid. 7. 4. 2020]. Dostupné z: https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-a-nanomaterial

Ústav experimentální medicíny AV ČR, 2018. Oddělení nanotoxikologie a molekulární epidemiologie. *Iem.cas.cz* [online] 2018 [vid. 7. 4. 2020]. Dostupné z: http://www.iem.cas.cz/vyzkum/oddeleni/oddeleni-nanotoxikologie-a-molekularni-epidemiologie/

KAPRI, A., et al., 2010. Implications of SPION and NBT Nanoparticles upon *In Vitro* and *In Situ* Biodegradation of LDPE Film. *Journal of Microbiology and Biotechnology* [online], roč. 20, č. 6, s. 1032–1041 [vid. 16. 10. 2019]. ISSN 1738-8872. Dostupné z: https://doi.org/10.4014/jmb.0912.12026

KARL, T. R., et al. 2009. *Global Climate Change Impacts in the United States*. New York: Cambridge University Press. ISBN: 978-0-521-14407-0.

KOMATI, S., et al., 2008. CO2 Absorption into Amine Solutions: A Novel Strategy for Intensification based on the Addition of Ferrofluids. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* [online], roč. 11, s. 1094–1100 [vid. 13. 1. 2020]. ISSN: 1097-4660. Dostupné z: https://doi.org/10.1002/jctb.1871

KUNDU, M. C., et al., 2017. Effect of Different Land Uses on Soil Organic Carbon in New Alluvial Belt of West Bengal. *International Journal of Bio-Resource, Environment and Agricultural Sciences* [online], roč. 3, č. 2, s. 517–520 [vid. 4. 10. 2019]. ISSN 2454-3551. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/322551991_Effect_of_different_land_uses_on_soil_organic_carbon_in_new_alluvial_belt_of_West_Bengal

LEE, J. S., et al., 2015. CO2 Absorption/Regeneration Enhancement in DI Water with Suspended Nanopartiles for Energy Conservation Application. *Applied Energy* [online] č. 143, s. 119–129 [vid. 14. 1. 2020]. ISSN: 0306-2619. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.020

LEVITUS, S., et al., 2012. World Ocean Heat Content and Thermosteric Sea Level Change (0–2000 m), 1955–2010. *Geophysical Research Letters* [online], roč. 39 [vid 20. 12. 2019]. ISSN: 1944-8007. Dostupné z: https://doi:10.1029/2012GL051106

LI, H., et al., 2019. Carbon Quantum Dots and Carbon Layer Double Protected Cuprous Oxide for Efficient Visible Light CO2 Reduction. *Chemical Communications* [online], roč. 30 [vid. 2. 1. 2020]. ISSN 1364-548X. Dostupné z: https://doi.org/10.1039/C9CC00830F

LI, L., et al., 2006. Synthesis, Properties, and Environmental Applications of Nanoscale Iron-Based Materials: A Review. *Crititcal Reviews in Environmental Science and Technology* [online], roč. 36, s. 405–431 [vid 21. 10. 2019]. ISSN 1547-6537. Dostupné z: https://doi.org/10.1080/10643380600620387

LI, Y., et al., 2019. Cryo-EM Structures of Atomic Surfaces and Host-Guest Chemistry in Metal-Organic Frameworks. *Matter* [online], roč. 1, č. 2, s. 428–438 [vid. 29. 12. 2019]. ISSN 2590-2385. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.matt.2019.06.001

METHANOL INSTITUTE, 2020. About Methanol. Methanol Institute [online] 2020 [vid. 23. 1. 2020]. Dostupné z: https://www.methanol.org/

MOHAMMAD, Y. W., et al., 2011. Nanotoxicity: Dimensional and Morphological Concerns. *Advances in Physical Chemistry* [online] roč. 2011 [vid. 22. 1. 2020]. ISSN 1687-7993. Dostupné z: https://doi.org/10.1155/2011/450912

MORONES, J. R., et al., 2005. The Bactericidal Effects on Silver Nanoparticles. *Nanotechnology* [online], roč. 16, č. 10, s. 2346–2353 [vid. 8. 12. 2019]. ISSN 1361-6528. Dostupné z: https://doi.org/10.1088/0957-4484/16/10/059

NNI. 2019. What is Nanotechnology? [online] 2019 [vid. 23. 12. 2019]. Dostupné z: https://www.nano.gov/nanotech-101/what/definition

NOAA, 2020. Residues from In Situ Burning of Oil on Water. NOAA Office of Response and Restoration [online] 23. 1. 2020 [vid. 223. 1. 2020]. Dostupné z: https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/resources/residues-in-situ-burning-oil-water.html

NOAA. 2013. Ocean Acidification [online] 2013 [vid. 20. 12. 2019]. Dostupné z: https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts-education-resources/ocean-acidification

NOAA. 2019. Climate at a Glance: Global Time Series [online] 12. 2019 [vid. 20. 12. 2019]. Dostupné z: https://www.ncdc.noaa.gov/cag/

NOAA. 2020. Zooxanthellae… What's That? [online] 7. 1. 2020 [vid. 21. 1. 2020]. Dostupné z: https://oceanservice.noaa.gov/education/kits/corals/coral02_zooxanthellae.html

NOTMAN, N., 2017. MOFs Find a Use. IN: Chemistryworld [online]. 28. 3. 2017 [vid. 30. 12. 2019]. Dostupné z: https://www.chemistryworld.com/features/mofs-find-a-use/2500508.article

PEREZ, E., 2016. Jellyfish Become Unintended Victims of Oil Spill Mitigation. *Phys.org* [online]. 14. 4. 2016 [vid. 29. 9. 2019]. Dostupné z: https://phys.org/news/2016-04-jellyfish-unintended-victims-oil-mitigation.html

RAHMATMAND, B., et al., 2016. Study of Absorbtion Enhancement of CO2 by SiO2, Al2O3, CNT, and Fe3O4 Nanoparticles in Water and Amine Solutions. *Journal of Chemical and Engineering Data* [online] roč. 61, č. 4, 1378–1387 [vid. 13. 1. 2020]. ISSN: 0021-9568. Dostupné z: https://doi.org/10.1021/acs.jced.5b00442

ROSS, J. L., et al., 1996. Particle and Gass Emission from an In Situ Burn of Crude Oil on the Ocean. *Journal of the Air and Waste Management Association* [online], roč. 46, s. 251–259 [vid. 23. 1. 2020]. ISSN: 1047-3289. Dostupné z: https://doi.org/10.1080/10473289.1996.10467459

SATLEWAL, A., et al., 2008. Comparative Biodegradation of HDPE and LDPE Using an Indigenously Developed Microbial Consortium. *Journal of Microbiology and Biotechnology* [online], roč. 18, č. 3, s. 477–482 [vid. 16. 10. 2019]. ISSN 1738-8872. Dostupné z: http://www.jmb.or.kr/journal/download.php?Filedir=../submission/Journal/018/&num=1522

SCITECHDAILY. 2019. Make Like a Leaf: 'Carbon Photosynthesis' With Nanotechnology to Convert CO2 Into Fuels [online] 27. 10. 2019 [vid. 2. 2. 2020]. Dostupné z: https://scitechdaily.com/make-like-a-leaf-carbon-photosynthesis-with-nanotechnology-to-convert-co2-into-fuels/

SHAH, S. N. A., et al., 2017. Hazardous Effects of Titanium Diocide Nanoparticles in Ecosystem. *Bioinorganic Chemistry and Applications* [online], roč. 2017 [vid. 23. 1. 2020]. ISSN: 1565-3633. Dostupné z: https://doi.org/10.1155/2017/4101735

SRIVASTAVA, P., et al., 2016. Soil Carbon Dynamics and Climate Change: Current Agro-Environmental Perspectives and Future Dimensions. *Energy, Ecology and Environment* [online], roč. 1, č. 5, s. 315–322 [vid. 4. 10. 2019]. ISSN 2363-8338. Dostupné z: https://link.springer.com/article/10.1007/s40974-016-0024-9

SVOBODOVÁ. J., et al., 2012. The Relationship Between Water Quality and Indigenous and Alien Crayfish Distribution in the Czech Republic: Patterns and Conservation Implications. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems* [online], roč. 22, č. 5, s. 776–786 [vid. 11. 10. 2019]. ISSN 776-786. Dostupné z: https://doi.org/10.1002/aqc.2262

TEMPLE UNIVERSITY, 2015. DIspersants Used to Clean Deepwater Horizon Spill More Toxic to Corals than the Oil, Study Suggests. Phys.org [online] 9. 4. 2015 [vid. 29. 9. 2019]. Dostupné z: https://phys.org/news/2015-04-dispersant-deepwater-horizon-toxic-corals.html

THE OCEAN PORTAL TEAM, 2018. Gulf Oil Spill. Ocean [online] 4. 2020 [vid. 23. 1. 2020]. Dostupé z: https://ocean.si.edu/conservation/pollution/gulf-oil-spill

WASIM, A., et al., 2011. Comparative Solid Phase Photocatalytic Degradation of Popythene Films with Doped and Undoped TiO2 Nanoparticles. *Journal of Nanomaterials* [online], [vid. 17. 10. 2019]. ISSN 1687-4129. Dostupné z: http://dx.doi.org/10.1155/2011/461930

XIU, Z., et al., 2012. Negligible Praticle-Specific Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles. *Nano Letters* [online], roč. 12, č. 8, s. 4271–4275 [vid. 8. 12. 2019]. ISSN 1530-6992. Dostupné z: https://doi.org/10.1021/nl301934w

YE, J., et al., 2018. The Effects of Topology in Lewis Pair Functionalized Metal Organic Frameworks on CO2 Adsorption and Hydrogenation. *Catalysis Science & Tecnology* [online], roč. 8 [vid 31. 12. 2019]. ISSN 2044-4761. Dostupné z: https://doi.org/10.1039/C8CY01018H

YU, W., et al., 2019. Review of Liquid Nano-absorbents for Enhanced CO Capture. *Nanoscale* [online], roč. 11 [vid. 10. 1. 2020]. ISSN 2040-3372. Dostupné z: https://doi.org/10.1039/C9NR05089B

ŠEVCŮ, A., et al., 2017. Zero-valent iron particles for PCB degradation and an evaluation of their effects on bacteria, plants, and soil organisms. *Environmental Science and Polution Research* [online], roč. 24, č. 26, s. 21191–21202 [vid. 31. 3. 2020]. ISSN 1614-7499. Dostupné z: https://doi:10.1007/s11356-017-9699-5

LAL, R., 2017. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability* [online], roč. 7, č. 5, s. 5875–5895 [vid. 2. 4. 2020]. ISSN 2071-1050. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/su7055875

LU, Y., et al., 2015. Impact of soil and water pollution on food safety and health risks in China. *Environment International* [online], roč. 77, s. 5–15 [vid 2. 4. 2020]. ISSN 0160-4120. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.12.010

CAI, C., et al., 2019. Utilization of nanomaterials for in-situ remediation of heavy metal(loid) contamined sediments: A review. *Science of the Total Environment* [online], roč. 662, s. 205-217 [vid. 2. 4. 2020]. ISSN 0048-9697. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.180

HU, J., et al., 2011. Adsorption of Cu(II) on β-cyclodextrin modified multiwall carbon nanotube/iron oxides in the absence/presence of fulvic acid. *Journal of Chemical Technology*

& Biotechnology [online], roč. 87, č. 5, s. 673–681 [vid. 2. 4. 2020]. ISSN 1097-4660. Dostupné z: https://doi:10.1002/jctb.2764

Gil-Díaz, M., et al., 2014. Immobilization and Leaching of Pb and Zn in an Acidic Soil Treated with Zerovalent Iron Nanoparticles (nZVI): Physicochemical and Toxicological Analysis of Leachates. *Water, Air, & Soil Pollution* [online], roč. 225, č. 6, [vid. 2. 4. 2020]. ISSN 1573-2932. Dostupné z: https://doi:10.1007/s11270-014-1990-1

Gil-Díaz, M., et al., 2016. Viability of a nanoremediation process in single or multi-metal(loid) contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials* [online], roč. 321, s. 812–819 [vid. 2. 4. 2020]. ISSN 0304-3894. Dostupné z: https://doi:10.1016/j.jhazmat.2016.09.071

BRZICOVÁ, T., et al., 2019. Nano-TiO2 stability in medium and size as important factors of toxicity in macrophage-like cells. *Toxicology in Vitro* [online], roč. 54, s. 178–188 [vid. 7. 4. 2020]. ISSN 0887-2333. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.tiv.2018.09.019