

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta životního prostředí**

**Katedra vodního hospodářství a environmentálního  
modelování**



**Bakalářská práce**

**UV filtry a jejich vliv na vodní prostředí**

**Vladislav Sabinin**

© 2024 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vladislav Sabinin

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

**UV filtry a jejich vliv na vodní prostředí**

Název anglicky

**Ultraviolet Filters, hazard, and risk to water environment**

---

### Cíle práce

Hlavní cíl

Cílem navržené bakalářské práce je popsat a analyzovat typy UV filtrů a jejich vliv na vodní prostředí.

Specifické cíle

1. Seznámení se současným stavem dane problematiky.
2. Popis jednotlivých skupin UV filtrů a analýza jejich fyzických a chemických vlastností.
3. Popis a klasifikace rizik způsobenými UV filtry.
4. Metody odbourání UV filtrů z vodního prostředí.

### Metodika

Tato bakalářská práce bude psaná formou literární rešerši. Pro této účely budou použity především odborné publikace a vědecká literatura s ohledem na tuto problematiku. Na zaklade těchto zdrojů bude představen aktuální stav řešené problematiky. Zvláštní důraz bude kladen na současné trendy monitoringu UV filtrů ve vodním prostředí a posouzení jejich ekotoxicity vůči vodním organismům. Klasifikace typů UV filtrů a analýza jejich vlivu na vodní prostředí bude základem této práce. V neposlední řadě budou popsány a vyhodnocovány metody odstranění těchto látek z povrchové a podzemní vody.

### **Doporučený rozsah práce**

30 normostran

### **Klíčová slova**

UV filtry, vodní prostředí, benzofenon, oxid zinečnatý

---

### **Doporučené zdroje informací**

Cinzia Corinaldesi, Francesca Marcellini, Ettore Nepote, Elisabetta Damiani, Roberto Danovaro. Impact of inorganic UV filters contained in sunscreen products on tropical stony corals (*Acropora* spp.). *Science of The Total Environment*. 2018, Pages 1279-1285, ISSN 0048-9697.

TSUI M., M. P., H. W. LEUNG, Tak-Cheung WAI, N. YAMASHITA, S. TANIYASU, W. LIU, P. K. S. LAM a M. B. MURPHY. Occurrence, distribution and ecological risk assessment of multiple classes of UV filters in surface waters from different countries. *Water Research*. 2014,67, 55-65. DOI: 10.1016/j.watres.2014.09.013

Yanran Huang, Japhet Cheuk-Fung Law, Tsz-Ki Lam, Kelvin Sze-Yin Leung. Risks of organic UV filters: a review of environmental and human health concern studies. *Science of The Total Environment*. 2021, 142486, ISSN 0048-9697.

---

### **Předběžný termín obhajoby**

2023/24 LS – FŽP

### **Vedoucí práce**

doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

### **Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2024

**prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2024

**prof. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 12. 03. 2024

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/závěrečnou práci na téma:

"UV filtry a jejich vliv na vodní prostředí" vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědom, že na moji bakalářskou/závěrečnou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

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

V Praze dne 15.03.2024

---

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval paní inženýrce Mursaikové za pomoc při tvorbě této práce, za cenné připomínky a poznatky, kterými tuto práci významně obohatila, a také za přátelský přístup a trpělivost. A dále bych rád poděkoval doc. Mgr. Ph.D. Marku Vachovi za množství cenných, inspirativních rad a obdivuhodnou ochotu.

# UV filtry a jejich vliv na vodní prostředí

## Abstrakt

Tématem této bakalářské práce jsou UV filtry a jejich vliv na vodní prostředí. Hlavním cílem práce je popis a analýza typů UV filtrů a jejich vlivu na životní prostředí. S pomocí metody literární rešerše jsou v teoretické části shrnuty poznatky o vodním prostředí, UV filtrech a jejich klasifikaci, ale také o rizicích způsobených UV filtry. Jednotlivé kapitoly též pojednávají o změnách chemismu vodního prostředí pod vlivem těchto filtrů, o možnostech jejich monitoringu a metodách odstraňování z povrchových vod. Zvláštní pozornost je věnována legislativní úpravě použití UV filtrů na jednotlivých světadílech s důrazem na současnou situaci v Evropské unii a v ČR. V rámci vlastní práce je provedena analýza potenciálního znečištění vodní nádrže Lipno, která je největším rekreačním areálem v ČR. Z jejích výsledků vychází, že existuje riziko vysoké koncentrace UV filtrů ve vodě nádrže, která může v letní sezóně dosahovat ukazatele 18,2 mg/l. Pro eliminování tohoto rizika bylo v práci doporučeno instalovat tři ČOV a také provést legislativní úpravy využití kosmetiky s UV filtry v hlavních rekreačních zónách země.

**Klíčová slova:** Benzofenon, Oxid zinečnatý, UV filtry, vodní prostředí.

# **Ultraviolet filters, hazard, and risk to water environment**

## **Abstract**

The topic of this bachelor thesis is Ultraviolet filters, hazard, and risk to water environment. The main objective of the thesis is to describe and analyse the types of UV filters and their impact on the environment. With the help of the literary review method, the theoretical part summarizes knowledges about the water environment, UV filters and their classification, but also about the risks caused by UV filters. Individual chapters also deal with changes in the chemistry of the water environment under the influence of these filters, the possibilities of their monitoring and methods of removal from surface water. Particular attention is paid to the legislative regulation of the use of UV filters on individual continents with an emphasis on the current situation in the European Union and the Czech Republic. As part of own work, an analysis of the potential pollution of the Lipno reservoir, which is the largest recreational area in the Czech Republic, is conducted. Based on the results, there is a risk of a high concentration of UV filters in the water, which can reach 18.2 mg/l in the summer season. To eliminate this risk, it was recommended to install three WWTPs, and also to make legislative adjustments to the use of cosmetics with UV filters in the main recreation zones of the country.

**Keywords:** Benzophenone, Zinc oxide, UV filters, water environment.

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Cíle a metodika práce .....</b>	<b>11</b>
<b>3 Literární rešerše .....</b>	<b>12</b>
3.1 Vodní prostředí.....	12
3.1.1 Povrchové vody .....	12
3.1.2 Znečištění vodního prostředí .....	13
3.2 UV filtry .....	15
3.2.1 Současné tendence v oblasti použití UV filtrů.....	15
3.2.2 Klasifikace UV filtrů .....	16
3.2.3 Rizika způsobená UV filtry .....	17
3.3 Vliv UV filtrů na vodní prostředí .....	18
3.3.1 Chemismus vodního prostředí pod vlivem UV .....	19
3.3.2 Vliv UV filtrů na floru a faunu .....	20
3.3.3 Trendy monitoringu UV filtrů ve vodním prostředí .....	22
3.3.4 Techniky a postupy odstraňování UV filtrů .....	24
3.4 Legislativní úprava použití UV filtrů na jednotlivých světadílech .....	25
<b>4 Vlastní práce .....</b>	<b>29</b>
4.1 Charakteristika vodní nádrže Lipno .....	29
4.2 Analýza potenciálního znečištění vodní nádrže UV filtry .....	30
<b>5 Výsledky a diskuze .....</b>	<b>34</b>
<b>6 Závěr .....</b>	<b>36</b>
<b>7 Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>38</b>
<b>8 Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk.....</b>	<b>45</b>
8.1 Seznam obrázků .....	45
8.2 Seznam tabulek .....	45



# 1 Úvod

UV filtry běžně používané v kosmetice a dalších produktech pro ochranu před škodlivým UV zářením jsou dnes nezbytnou součástí každodenní ochrany. Zpočátku byly UV filtry zavedeny pouze do speciálních opalovacích přípravků s cílem chránit pokožku před účinky UV záření v jižních oblastech. Postupně se však začaly využívat mnohem více, a to jako součást kosmetiky pro různé účely, pro různé regiony (včetně severních) a pro různé populační kategorie (včetně dětí).

Nicméně v současné době jejich působení značně přesahuje rámec osobní péče a má významné dopady na životní prostředí, zejména na vodní ekosystémy. Po aplikaci na kůži se nebezpečné chemické látky mohou vyplavit do vodních zdrojů, například při koupání v moři nebo při sprchování. UV filtry se tak stávají součástí odpadních vod, které pronikají do různých vodních ekosystémů. V důsledku toho ovlivňují biologickou rovnováhu, narušují hormonální systémy vodních organismů a přispívají k celkovému znečištění vody.

Podle Lebarona (2022) ročně se do světového oceánu dostává 6 000 až 16 000 tun chemických filtrů, především v pobřežních oblastech letovisek. Řada zemí již na legislativní úrovni zakázala používat a prodávat prostředky s oxybenzonem ( $C_{14}H_{12}O_3$ ), toxickou složkou mnoha kosmetických výrobků proti UV záření. Nyní ji nelze používat na území Havaje, Panenských ostrovů, na některých částech pobřeží Karibiku a Mexického zálivu.

Toxické látky obsažené v UV filtrech vyvolávají otázky dlouhodobého dopadu chemikálií na biodiverzitu a zdraví vodních ekosystémů. Právě proto je pochopení a řešení vlivu UV filtrů na vodní prostředí kritickým aspektem současného environmentálního výzkumu a ochrany přírody.

Tato bakalářská práce se věnuje UV filtrům a jejich vlivu na vodní prostředí. Práce si klade za účel prozkoumat jednotlivé typy UV filtrů, jejich negativní dopad na ekologii a také možnosti, jak lze UV filtry z vodního prostředí odbourat.

Na počátku je v práci představena charakteristika UV filtrů, je uvedena klasifikace jejich typů a podrobný popis chemických vlastností filtrů. Další část se věnuje popisu vodního prostředí, včetně povrchových a podzemních vod a nebezpečí jejich znečištění. Hlavní část práce je věnována analýze vlivu UV filtrů na vodní prostředí, včetně detailního popisu rizik a metod jejich odstraňování, ale také vyhodnocení efektivity těchto metod. V práci je také

uvedena legislativní úprava použití UV filtrů na jednotlivých světadílech. Na konci je provedena analýza a vyhodnocení současného stavu jezera Lipno, které je největším umělým jezerem České republiky. Výsledky provedených analýz se využívají pro diskuzi a doporučení ke zlepšení.

## 2 Cíle a metodika práce

Hlavním cílem bakalářské práce je popsat a analyzovat typy UV filtrů a jejich vliv na životní prostředí. V práci jsou také stanoveny specifické cíle, jimiž jsou:

- seznámit se se současným stavem dané problematiky;
- popsat jednotlivé skupiny UV filtrů a analyzovat jejich chemické vlastnosti;
- popsat a klasifikovat rizika způsobená UV filtry;
- popsat metody odbourání UV filtrů z vodního prostředí;
- analyzovat a zhodnotit metodiky odbourání UV filtrů z vodního prostředí;
- provést vyhodnocení aktuálního stavu nejvýznamnějšího rekreačního areálu v ČR, kterým je jezero Lipno, a to na základě vlastní práce.

Bakalářská práce je psána formou literární rešerše. Pro její zpracování se používají především odborné publikace a vědecká literatura týkající se vybrané problematiky. Knižní zdroje byly půjčeny hlavně z univerzitní knihovny, případně nalezeny v elektronickém formátu přes platformu Google Books. Odborné články a studie zahraničních autorů byly vyhledány prostřednictvím takových portálů jako ResearchGate a JStore, které umožňují hledání podle zadaných filtrů jako rok a klíčová slova. Poté byly všechny zdroje uspořádány dle struktury práce a použity takovým způsobem, aby se vzájemně doplňovaly. Tím pádem se podařilo provést komparaci názorů jednotlivých autorů a vytvořit objektivnější přehled o situaci.

Po analýze odborných zdrojů je v práci proveden vlastní výzkum, jehož cílem bylo vyhodnotit současný stav jezera Lipno z hlediska jeho možného znečištění UV filtry. K tomu jsou využity teoretické poznatky shrnuté v předchozích částech práce, ale také metoda syntézy a dedukce.

### 3 Literární rešerše

V této kapitole práce jsou shromážděny poznatky na téma vodního prostředí a jeho kontaminace, UV filtrů a jejich negativního vlivu na životní prostředí. Je tu také zmíněna legislativní úprava použití UV filtrů na jednotlivých světadílech.

#### 3.1 Vodní prostředí

V této podkapitole jsou shromážděny základní informace o povrchových vodách, jejich chemismu a vlastnostech, a bude kladen větší důraz na analýzu kontaminaci vodního prostředí UV filtry.

##### 3.1.1 Povrchové vody

Povrchové vody to jsou všechny vody, které se přirozeně vyskytují na zemském povrchu. Neztrácejí svůj charakter ovšem jen tehdy, když protékají přechodně zakrytými úseky, přirozenými dutinami pod zemským povrchem či v nadzemních vedeních (§ 2 odst. 1 zákona č. 254/2001 Sb. o vodách). Z toho vychází, že k povrchovým vodám patří řeky, jezera, rybníky, moře a oceány, ale také třeba ledovce nebo sněhové pokrývky, které jsou také součástí hydrologického cyklu. Jsou sem zahrnuty i umělé vodní nádrže, močály a mokřady.

Povrchové vody pocházejí z atmosférických srážek, tajícího sněhu a ledu, případně mohou být také uvolněny z podzemních vodních zásob. Pak se zpravidla dostávají do oceánů nebo se zachycují v přírodních či umělých nádržích (Frouz a Frouzová, 2021). Chemické složení povrchových vod je velmi proměnlivé a závisí na mnoha faktorech jako například geologické podloží, rozpouštění atmosférických plynů, organické látky a důsledky lidské činnosti. Nicméně za typické komponenty v povrchových vodách lze označit následující.

V první řadě jde o vodu ( $H_2O$ ), což je základní složka povrchových vod, která představuje chemickou sloučeninu vodíku a kyslíku. Voda umožňuje průběh chemických a fyzikálních procesů, jako jsou sedimentace a eroze, a hraje zásadní roli v hydrologickém cyklu, který zahrnuje vypařování, kondenzaci, srážky a odtok. Dalším komponentem jsou rozpuštěné minerální látky, k nimž patří hlavně kationty, jako například vápník ( $Ca^{2+}$ ), hořčík ( $Mg^{2+}$ ), sodík ( $Na^+$ ) a draslík ( $K^+$ ), a anionty, jako jsou chloridy ( $Cl^-$ ), sulfáty ( $SO_4^{2-}$ ), bikarbonáty ( $HCO_3^-$ ) a nitráty ( $NO_3^-$ ).

Zmínit je také třeba stopové prvky. Jedná se o železo (Fe), mangan (Mn), měď (Cu), zinek (Zn), olovo (Pb), sodík (Na), sírany ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), draslík (K) a další prvky, které se mohou vyskytovat v malých množstvích. Ve zvýšeném množství mohou tyto prvky nepříznivě ovlivnit jakost vody a její vyhovující požadavky budou ztraceny. Povrchové vody také obsahují organické látky. Tyto látky zahrnují přirozené organické materiály, jako třeba huminové látky, které pocházejí z rozkladu rostlinného a živočišného materiálu. Patří sem také antropogenní organické látky jako pesticidy a průmyslové znečišťující látky. Dále jsou součástí povrchových vod biologické komponenty. Mezi tyto komponenty se řadí různé mikroorganismy, hlavně bakterie, viry, řasy a vyšší formy života, jako ryby a vodní rostliny. Nakonec složení povrchových vod také zahrnuje nutrienty. Jedná se o fosfor (P) a dusík (N), které jsou klíčové pro růst vodních organismů, i když jejich nadměrná koncentrace může vést k eutrofizaci vodních těl.

Kvalita povrchové vody a její chemické složení mohou být negativně ovlivněny lidskými aktivitami. Do těchto aktivit se zařazují například průmyslové výtoky, zemědělské odtoky, městský odtok a nečištěné odpadní vody. Monitoring a regulace těchto složek jsou proto důležité pro ochranu vodních zdrojů a zajištění jejich udržitelného využívání (Soldatova a kol., 2022).

### **3.1.2 Znečištění vodního prostředí**

Znečištění vody představuje seriózní hrozbu pro zdraví lidí, floru a faunu vodního prostředí. Kontaminace vodních zdrojů průmyslovými a zemědělskými odpady ničí nejen základní zdroje potravy, ale také znečišťuje vodu chemickými látkami, což může vést k akutním i chronickým zdravotním problémům. Vedle toho má znečištění vody negativní dopad na téměř všechny vodní organismy (Primack, Kindlmann a Jersáková, 2011).

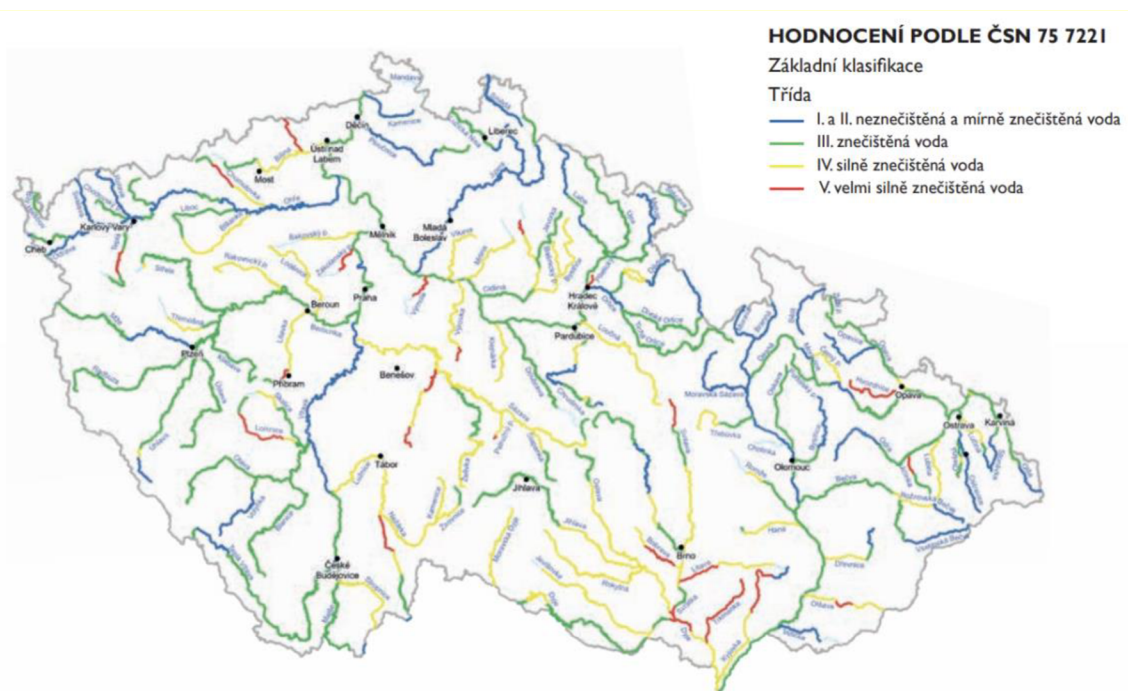
Přibývá také i případů, kdy odpady z potravinářského průmyslu vedou k problémům jako eutrofizace, která zvyšuje zátěž pro vodní ekosystémy. Eutrofizací se rozumí obohacování vod o živiny jako dusík a fosfor. Rozlišuje se však eutrofizace přirozená a nepřirozená. V prvním případě je zdrojem živin rozklad mrtvých těl organismů, ale také živiny, které jsou vyplavené z vody. Ve druhém případě jde o nadměrné obohacování vod živinami v důsledku lidské činnosti. Nejčastěji jsou to živiny z hnojiv splachovaných do vod. Může však jít i o jednotlivé druhy pracích a mycích prostředků (Moldan, 2015).

Toxické látky, které se dostávají do vodních organismů, také znečišťují vodu a mohou být smrtelné i v malých dávkách. Jde zejména o těžké kovy jako olovo (Pb), rtuť (Hg), kadmium (Cd) a arzen (As), polychlorované bifenyly (PCB), pesticidy, polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs) a dioxiny. Zároveň s tím k toxickým látkám patří UV filtry a farmaceutické látky jako antibiotika, hormony, antidepresiva atd. Tyto látky se do vodního prostředí dostávají převážně z domácích a průmyslových odpadních vod. Jejich škodlivý účinek je zesílen hlavně bioakumulací v potravním řetězci. To souvisí s tím, že filtrační druhy (jako ústřice a mušle) mohou ve svých tělech koncentrovat škodliviny, což pak zvyšuje riziko pro predátory. Nebezpečné látky se tak mohou hromadit v tělech dravých ryb, které jsou konzumovány lidmi (Primack, Kindlmann a Jersáková, 2011).

Z hlediska úrovně znečištění se povrchové vody dělí na neznečištěné (I. třída), mírně znečištěné (II. třída), znečištěné (III. třída), silně znečištěné (IV. třída) a velmi silně znečištěné (V. třída) (Müllerová a Aujezdská, 2014). Aby se tomuto problému zamezilo, v oblasti vodního hospodářství se Česká republika řídí zákonem č. 254/2001 Sb. (vodní zákon), který se týká ochrany a správy vodních zdrojů a zahrnuje opatření jako prevence před znečištěním, ekonomické nástroje a mezinárodní spolupráci ve vodním sektoru. Tento zákon rovněž reguluje aktivity spojené s vodou, které nepatří pod regulační rámec IPPC (Integrovaná prevence a kontrola znečištění) a které vyžadují speciální povolení. Pro snížení difuzního znečištění vod způsobeného zejména zemědělskou činností v zemi platí vládní nařízení č. 262/2012. Toto nařízení má za cíl vymezit oblasti ohrožené znečištěním a přijmout opatření pro jeho prevenci (OECD, 2018).

Pro lepší přehled situace v oblasti znečištění vody v ČR je na následujícím obrázku představena mapa kvality povrchových vod v zemi v letech 2021-2022.

**Obrázek 1: Kvalita povrchové vody v ČR v letech 2021-2022**



Zdroj: eAgri.cz, 2023

Analýza kvality vodních toků v tomto období ukázala, že 23 % monitorovaných míst má neznečištěnou až mírně znečištěnou vodu (I. a II. třída), 42 % má znečištěnou vodu (III. třída), 28 % silně znečištěnou vodu (IV. třída) a 7 % velmi silně znečištěnou vodu (V. třída).

## 3.2 UV filtry

Tato podkapitola shromažďuje informace o UV filtrech. Na počátku jsou popsány současné tendence v oblasti použití těchto filtrů a příčiny aktivní poptávky po výrobcích s UV filtry. Dále je popsána klasifikace UV filtrů podle principu jejich interakce s UV zářením.

### 3.2.1 Současné tendence v oblasti použití UV filtrů

V posledních letech je možné zaznamenat zvýšený zájem spotřebitelů o výrobky, které obsahují UV filtry. Tento trend se přitom promítá zároveň do mnoha oblastí, od osobní péče až po průmyslovou aplikaci. Jak uvádí Parwaiz a Khan (2023), rostoucí poptávka po výrobcích s UV filtry je poháněna negativními důsledky globálního oteplování, které se projevují anormálně horkým létem v Evropě a lesními požáry na řeckých ostrovech a

v Kanadě. Změny klimatických podmínek nutí lidi k tomu, aby měnili své spotřebitelské návyky pro každodenní pohodlí.

Růst trhu je též značně podporován rostoucími případy rakoviny kůže a zvyšujícím se povědomím obyvatel o škodlivých účincích UV záření. Stále více lidí si uvědomuje, že UV záření může vést k vážnému poškození kůže, vráskám a tmavým skvrnám, které urychlují progresi rakoviny kůže, způsobují zánět rohovky a v některých případech i podporují vývoj katarakty. Proto se výrobky na ochranu před sluncem nyní vyhledávají mnohem častěji (Market Research Future, 2023).

Zmínit je také třeba vliv pandemie COVID-19. V období 2020-2021 došlo k masovému dočasnému uzavření výrobních zařízení a poklesu poptávky ze strany zákazníků. Po obnovení prodeje mnozí lidé začali věnovat více pozornosti svému zdraví a používat přípravky na jeho podporu, včetně produktů s UV filtry (Lee a Kwon, 2022). Jak uvádí portál Data Bridge Market Research (2023), po pandemii stoupla poptávka po produktech zaměřených na podporu zdraví šestkrát oproti ukazatelům před pandemií.

Trh s produkty péče o pleť, které zajišťují ochranu proti ultrafialovému záření a znečištění, zaznamenal v poslední době významný růst. Navíc se očekává, že tento trend bude pokračovat. Podle informací z portálu Statista (2023) k roku 2028 poroste trh s výrobky proti slunečnímu záření v Evropě o 2,48 % a dosáhne objemu 3,82 miliardy dolarů. Na platformě Market Research Future (2023) je také uvedeno, že k roku 2030 se světový trh s těmito produkty zvětší o 5,48 %. Je tedy evidentní, že poptávka po produktech obsahujících UV filtry pravděpodobně bude rychle stoupat.

### **3.2.2 Klasifikace UV filtrů**

Pro lepší pochopení rizik vyplývajících z použití UV filtrů je důležité uvést, co se pod tímto pojmem rozumí. Ultrafialové filtry to jsou zařízení nebo materiály, které blokují nebo absorbují ultrafialové (UV) záření. Existují různé typy UV filtrů a každý z nich má specifické využití a vlastnosti. Mohou se aplikovat ve fotografii a kinematografii, při výrobě optických přístrojů a slunečních brýlí, ale také v průmyslu pro sterilizaci vody a vzduchu. V poslední době se však UV filtry nejčastěji uplatňují při produkování prostředků zaměřených na ochranu před sluncem.

UV filtry mohou interagovat s UV zářením podle tří hlavních principů: reflektování, rozptyl a absorpce. Z hlediska principu interakce se UV filtry obvykle dělí na anorganické a



organické. Anorganické filtry mohou absorbovat, odrážet nebo rozptylovat dopadající ultrafialové záření. Hlavním rysem anorganických UV filtrů je strukturální stabilita se zachováním ochranného účinku i po dlouhodobém vystavení UV záření. Organické filtry blokuji UV záření absorpcí (Baki, 2022).

Třída organických UV filtrů je poměrně široká. Obvykle se jedná o aromatické sloučeniny obsahující karbonylovou skupinu (salicyláty, cinnamáty a benzofenony). Příkladem široce používaného organického UV filtru je oktylmetoxycinnamát. Podstatnou nevýhodou většiny organických UV filtrů je však absorpce UV záření v úzkém spektrálním rozsahu. Proto pro dosažení požadované ochrany před sluncem se v jednom složení kombinuje několik organických sloučenin. Bezpečnost používání organických UV filtrů je však mnoha výzkumníky zpochybňována (Baki, 2022).

V souvislosti s výše uvedenými příčinami se při výrobě kosmetiky proti slunečnímu záření také používají anorganické UV filtry. Nejčastěji využívanými anorganickými UV filtry jsou oxid titaničitý (TiO<sub>2</sub>) a oxid zinečnatý (ZnO). Tyto oxidy se vyznačují širokým spektrem absorpce v ultrafialové oblasti a dobrou fotostabilitou (Jemba, 2018).

Pozoruhodné také je, že použití mikronových částic TiO<sub>2</sub> nebo ZnO kvůli jejich vysokému indexu lomu vede k tvorbě neprůhlednému opalovacímu složení. Z tohoto důvodu po aplikaci takových prostředků se na kůži zanechávají bílé stopy. Zmenšení velikosti částic zabraňuje tomuto kosmetickému nedostatku, ale přispívá k růstu fotoaktivity anorganických složek a v důsledku toho zvyšuje pravděpodobnost tvorby aktivních forem kyslíku a dalších radikálů (Baki, 2022).

### **3.2.3 Rizika způsobená UV filtry**

Použití UV filtrů s sebou nese několik potenciálních rizik a nežádoucích účinků, které závisí na typu filtru a způsobu jeho použití. UV filtry také různě působí na lidi a životní prostředí. Tak některé chemické složky UV filtrů, které obsahují různé opalovací prostředky, mohou způsobit alergické reakce nebo podráždění kůže, což představuje negativní vliv na lidské zdraví. Nepravdělná nebo nesprávná aplikace UV filtrů také může vést k nedostatečné ochraně před sluncem (Zhang, 2019).

Jak ale uvádí Walsh a kol. (2011), používání UV filtrů, zejména v opalovacích krémech, může vést k falešnému pocitu bezpečí. Lidé se mohou cítit chráněni a trávit více

času na slunci bez dalších opatření, jako například nošení ochranného oblečení. To zvyšuje riziko spálení a v dlouhodobé perspektivě může vést k vývoji kožní rakoviny.

Kromě negativního vlivu složek opalovacích přípravků na lidské tělo je prokázána škoda používání prostředků obsahujících organické i anorganické UV filtry na vodní ekosystémy. Údaje světového monitoringu životního prostředí ukazují, že UV filtry pronikají do vodního prostředí přímo nebo nepřímo. V prvním případě k tomu dochází po splachování plavců, zatímco v druhém případě se UV filtry dostávají do vody kvůli neúplnému odstraňování odpadních vod při čištění. V obou situacích však mohou být UV filtry absorbovány různými druhy řas, rostlin a zvířat. Stejně tak se mohou ukládat v ložiscích na mořském dně (Sirois, 2021).

Zvýšené riziko pro místní druhy vodního prostředí mohou představovat ty oblasti, které jsou zdrojem průmyslových odpadních vod nebo kde dochází ke zvýšené rekreační aktivitě obyvatelů (Sirois, 2021). Podle Huanga a kol. (2021) zejména organické UV filtry se staly předmětem aktivního zkoumání, když došlo k jejich masivnímu výskytu nejen v okolní vodě, ale také v sedimentech, půdě, a dokonce i v prachu okolních domů.

Důsledkem použití UV filtrů je tak ovlivnění vodního chemismu. Kvůli tomu, že se UV filtry rozpouštějí ve vodě, mění její chemické složení, ovlivňují takové parametry jako pH a narušují rovnováhu vodního ekosystému. Navíc se mohou některé chemikálie z UV filtrů bioakumulovat. To znamená, že se hromadí v tělech vodních organismů a mohou být přenášeny potravním řetězcem, což zvyšuje jejich koncentraci v predátorech (Ec.europa.eu, 2022). Nakonec je také zapotřebí zmínit poškození korálových útesů, jelikož bylo zjištěno, že takové látky jako oxybenzon a octinoxát narušují růst a reprodukci korálů.

### **3.3 Vliv UV filtrů na vodní prostředí**

V této podkapitole je zkoumán vliv UV filtrů na vodní prostředí. Na počátku se uvádí, jaké chemické procesy probíhají ve vodních ekosystémech pod vlivem UV. Dále je rozebrán konkrétní vliv UV filtrů na vodní organismy a prostředí a jsou popsány trendy v oblasti monitoringu těchto filtrů. Součástí podkapitoly jsou techniky a postupy, které se používají k odstranění UV filtrů a jejich složek z vodního prostředí.

### 3.3.1 Chemismus vodního prostředí pod vlivem UV

Přítomnost UV filtrů ve vodním prostředí vede k uvolňování různých chemických sloučenin, mezi které patří oxybenzon, avobenzon, octinoxát a další látky jako homosalate, octocrylene a ensulizole, o čemž mluví Zhong a kol. (2020). Původně jsou tyto látky určeny k absorpci nebo odražení UV záření, ale v konečném důsledku mohou mít negativní dopady na vodní ekosystémy. Oxybenzon je známý svým negativním vlivem na korálové útesy, jelikož způsobuje jejich bělení, brání růstu a může dokonce vést i k jejich smrti. Avobenzon narušuje hormonální rovnováhu u vodních organismů, zatímco octinoxát vyvolává reprodukční a vývojové problémy u ryb a dalších vodních organismů (National Institute of Health, 2022).

Dále fotodegradace UV filtrů, když jsou vystaveny slunečnímu záření, může vést k produkci sekundárních znečišťujících látek. Například, rozklad oxybenzonu a octinoxátu ve vodě vytváří různé vedlejší organické produkty, včetně benzofenonů a metoxycinnamátů, které jsou toxické pro některé vodní organismy. Navíc mohou tyto sloučeniny dále interagovat s jinými chemikáliemi ve vodě a vytvářet další deriváty, jejichž negativní účinky zatím nejsou zcela známy (Hopkins, Snowberger a Blaney, 2017).

Jak je uvedeno na webových stránkách Národního institutu environmentálních zdravotních věd v USA (2024), chemikálie z UV filtrů také mohou interagovat s rozpuštěnými minerálními látkami, jako jsou ionty vápníku (Ca), hořčíku (Mg), sodíku (Na) a draslíku (K), stejně jako s chloridy (Cl), sulfáty (SO<sub>4</sub>), bikarbonáty (HCO<sub>3</sub>) a nitráty (NO<sub>3</sub>). V závislosti na koncentraci UV filtrů mohou tyto interakce vést ke změnám v iontové rovnováze vody. Zvláště citliví jsou na iontové změny ryby a vodní bezobratlí jako jsou korýše, protože dané transformace ovlivňují jejich osmoregulaci, tj. proces udržování vnitřní rovnováhy vody a minerálů. Navíc iontové změny kvůli UV filtrům negativně působí na tvorbu vápenatých sedimentů, na nichž je přímo závislá kvalita vody.

Když UV filtry reagují s přirozenými organickými materiály a antropogenními organickými látkami ve vodě, produkují sekundární chemické sloučeniny jako chlorované deriváty, fenolické sloučeniny (zejména v případě oxybenzonu nebo avobenzonu), aromatické uhlovodíky, heterocyklické sloučeniny a dusíkaté deriváty (National Institute of Health, 2022).

Stejně tak UV filtry ovlivňují koncentraci stopových prvků v povrchových vodách, čímž snižují jejich biologickou dostupnost pro vodní organismy. Snižování koncentrace kyslíku ve vodě může negativně ovlivnit dýchání ryb a dalších vodních organismů, ale také ovlivnit

činnost aerobních mikroorganismů, které rozkládají organickou hmotu. Změny v koncentraci rozpuštěného CO<sub>2</sub> také nepříznivě dopadají na proces fotosyntézy u vodních rostlin a řas (National Institute of Health, 2022).

### 3.3.2 Vliv UV filtrů na floru a faunu

Problematikou vlivu UV filtrů na vodní prostředí se v posledních letech zabývalo mnoho autorů. Tak například studie Corinaldesiho a kol. (2018) se zaměřila na dopad anorganických UV filtrů obsažených v opalovacích krémech na tropické kamenné korály (rod *Acropora*). Výzkum, který byl prováděn v laboratorních podmínkách, zkoumal vliv nanočástic oxidu zinečnatého (ZnO) a dvou modifikovaných forem oxidu titaničitého (Eusolex®T2000 a Optisol) používaných v opalovacích krémech společně s organickými filtry. Výsledky ukázaly, že ZnO způsobuje vážné a rychlé vybělení korálů narušením symbiózy mezi korálem a zooxanthellami. ZnO také přímo ovlivňuje symbiotické dinoflageláty a podporuje mikrobiální obohacení mořské vody okolo korálů. Nicméně filtry Eusolex® T2000 a Optisol způsobily minimální změny v symbiotických interakcích a neměly vliv na vybělení, což je dělá ekologičtějšími než ZnO.

Studie analyzované v práci Couselo-Rodrígueza a kol. (2022) též ukázaly, že UV filtry negativně ovlivňují vodní organismy včetně mikrořas, korálů a ryb v různých prostředích. UV filtry se dlouho rozkládají v jednotlivých oblastech a doba jejich expozice může trvat i více než 2 týdny (viz Tabulka 1).

Jiná studie provedená Felem a kol. (2018) zkoumala chronické účinky některých konzervantů (ethylparaben, butylparaben), minerálního UV filtru (ZnO) a organických UV filtrů (tereftalyliden-dikamfor-sulfonová kyselina, drometrizol trisiloxan, etylhexyltriazon, butylmethoxydibenzoylmethan a 2-ethylhexyl 2-cyano-3,3-difenylakrylát) na maximální fotosyntetickou efektivitu (Fv/Fm) symbiontů u korálu *Stylophora pistillata*. Výsledky odhalily, že Fv/Fm byla citlivější na ZnO než na všechny ostatní složky opalovacích krémů. Expozice 90 µg L<sup>-1</sup> ZnO působící po dobu 35 dnů snížila Fv/Fm o 38 %. Ostatní testované UV filtry nevykazovaly žádný nepříznivý účinek na korálové symbionty ani na živočišnou tkáň. Žádná ze složek opalovacích krémů však nebyla pro korály tak toxická jako znečišťující látky tributylcín, diuron a monuron.

**Tabulka 1: Negativní vliv UV filtrů na vodní organismy**

<b>Vodní organismus / prostředí</b>	<b>Prostředí</b>	<b>UV filtr</b>	<b>Doba expozice</b>	<b>Proměna</b>
Pstruh duhový	Česká republika	PBSA	21 a 42 dní	Enzymatické změny a změny biochemických parametrů
Vodní ekosystém (říční voda, říční ryby a mořské delfíny)	Řeka Ebro, řeka Guadalquivir ve Španělsku a mořské pobřeží Brazílie	BP-1, BP-3, OC, OD-PABA, 4-HB, EHMC	71 hodin	Přítomnost UV filtrů v říčních sedimentech, v rybách a delfínech
Mořský ježek	Ústí řeky Vigo ve Španělsku	OC, OD-PABA	48 hodin	Embryogeneze
Korál	Tchaj-wan	EHMC, OC	7 dní	Úmrtnost, polypy
Zlatý kapr	Nanking v Číně	BP-1, BP-2, BP-3	7 až 28 dní	Změny biologických markerů histologické změny
Korál	Oman	OC	7 dní	Polypy, metabolické změny
Mořské mikrořasy	A Coruña ve Španělsku	BP-3	24 hodin	Změny buněk

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat Couselo-Rodrígueza a kol., 2022

Negativní vliv ZnO na korály také prokázal výzkum Tanga a kol. (2017). Hlavním cílem tohoto výzkumu bylo zjistit, jak nanočástice oxidu zinečnatého (nZnO) uvolňované z opalovacích krémů při rekreaci v moři ovlivňují složení membránových lipidů u korálu *Seriatopora caliendrum*. Výsledky odhalily adaptaci korálu na mechanické narušení buněčné membrány způsobené nZnO, které mohou vést k chronickým biologickým účinkům do budoucna.

Co se týká vlivu UV filtrů na jiné vodní organismy, výzkum Barona a kol. (2019) se zaměřil na akutní toxicitu dvou druhů opalovacích krémů na klaunovou rybkou (*Amphiprion ocellaris*). Jednalo se o krém obsahující oxybenzon ( $C_{14}H_{12}O_3$ ) a krém s nanočásticemi oxidu titaničitého ( $TiO_2$ ). Výsledky ukázaly negativní dopady na chování rybek ve vodě, která obsahovala prvky opalovacího krému s oxybenzonem (100 mg/L). Kvůli něj 100 % rybek

nepřijímalo potravu během prvních 49 hodin testování a 100 % vykazovalo abnormální plavecké chování během celého testovacího období. Navíc 25 % rybek zahynulo během 97hodinového testovacího období.

Stejně tak znečištění vody opalovacími krémy s UV filtry mělo negativní vliv na jezero Jellyfish Lake v Palau, které je součástí Světového dědictví UNESCO. Na to poukázal výzkum Bellové a kol. (2017), který odhalil zvýšenou hladinu slunečních filtrů v tkáních medúz a sedimentech, tudíž jejich akumulaci ve vodních organismech a prostředí. Pozoruhodné bylo také to, že UV filtry a jejich transformační produkty byly nalezeny i v místech dříve považovaných za tzv. panenská, tj. s minimálním zásahem lidí.

Výzkum provedený Gadelhovou a kol. (2019) také odhalil znečišťující látky v ústřicích (*Crassostrea gigas*) produkovaných na severozápadním pobřeží Portugalska (Ria de Aveiro), což je destinace, kde se celoročně shromažďuje mnoho turistů. Během jednoho roku ve čtyřech sezónních sběrech bylo v tkáních ústřic nalezeno 16 polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH), 3 butyltinů (BT), 29 retardérů hoření (FR), 35 pesticidů a 13 produktů osobní péče (PCP, včetně pižem a UV filtrů). Tyto ukazatele naznačují závažnost problému spojeného s kontaminací vodního prostředí, obzvláště v populárních pro turisty střediscích.

### **3.3.3 Trendy monitoringu UV filtrů ve vodním prostředí**

Přestože se téma vlivu UV filtrů na floru a faunu vodního prostředí ukazuje jako aktuální a relevantní, v současné době stále existuje problém monitorování složek opalovacích krémů ve vodních ekosystémech. To se potvrzuje výzkumem provedeným Gago-Ferrerem, Diaz-Cruzem a Barcelem (2012), kteří se zabývali biologickým monitoringem UV absorbujících látek, běžně označovaných jako organické UV filtry nebo složky opalovacích krémů. V rámci tohoto výzkumu byl zkoumán dopad filtrů na omezený rozsah vodních druhů (makrobezobratlí a ryby), stanovišť (jezera, řeky a moře) a sloučenin (benzofenony a kafry). Nicméně dostatečná data pro spolehlivé pochopení globální distribuce a účinků UV filtrů na ekosystémy dosud neexistují.

Podle Chisverta a kol. (2018) metody identifikace UV filtrů ve vodním prostředí musí být citlivé a selektivní, protože se UV filtry vyskytují v nízkých koncentracích. Proto klíčovou roli zde hrají extrakční techniky, které slouží k očištění vzorků, koncentraci analytů a přípravě vzorků pro další analýzy. Tyto metody lze rozdělit na tradiční a moderní. Tradiční metody extrakce zahrnují kapalinově-kapalinovou extrakci (LLE) a pevnou fázovou extrakci

(SPE). Kapalinově-kapalinová extrakce spočívá v oddělení látek na základě jejich rozpustnosti ve dvou nesmíšených kapalinách, zatímco pevná fázová extrakce využívá pevný adsorbent k zachycení analytů z kapalného vzorku.

Moderní metody extrakce používané pro monitoring UV filtrů to jsou sorbentově založená a rozpouštědlově založená mikroextrakce. První z nich funguje na principu adsorpce analytů z malého množství sorbentu, což umožňuje efektivní prekoncentraci a snadné oddělení analytů. Rozpouštědlově založená mikroextrakce zase využívá malé množství rozpouštědla pro extrakci analytů z vzorku. Obě tyto metody přinášejí výhody v podobě snížené spotřeby rozpouštědel a materiálu, vyšší efektivity a selektivity, tudíž i jsou vhodné pro analytické monitorování UV filtrů v environmentálních vzorcích (Chisvert a kol., 2018).

Absence jediné univerzální metody monitoringu UV filtrů ve vodním prostředí vede k tomu, že výzkumníci nabízejí a používají vlastní metody sledování. Například Carstensen a kol. (2023) ve svém výzkumu využili citlivou LC-MS/MS metodu pro monitorování benzofenonových UV filtrů (BP) ve vodě, která vyžaduje minimální přípravu vzorků. Tato metoda identifikuje 10 různých BP v environmentálních vzorcích (zejména v povrchových vodách) s nízkým limitem kvantifikace. Metoda byla testována v rámci environmentálního monitoringu v různých zemích a identifikuje BP-4 jako nejrozšířenější derivát UV filtrů. Navíc je také vhodná pro sledování biodegradace benzofenonu a jeho transformace na 4-OH-BP, tj. potenciálního endokrinního disruptoru.

Gago-Ferrero, Diaz-Cruz a Barcelo (2012) ve svém výzkumu aplikovali metody kapalinové a plynové chromatografie spojené s hmotnostní spektrometrií pro trasovou analýzu znečišťujících látek v biotě, což umožňuje zajistit potřebnou selektivitu a nastavit citlivost. Zhang a kol. (2022) nabídli pro monitoring vodních parametrů multivariační statistické metody a pokročilé techniky umělé inteligence. Konkrétně bylo zmíněno o využití metody částečných nejmenších čtverců (PLS) pro regresní analýzu, která je užitečná při selhání tradičních metod nebo při zvýšeném počtu standardních chyb. Kromě toho se využívaly metody umělých neuronových sítí (ANN) a konvolučních neuronových sítí (CNN) pro zpracování a klasifikaci obrazu a predikci vodní úrovně a kvality, což poukazuje na velký počet možností pro sledování UV filtrů ve vodním ekosystému.

### 3.3.4 Techniky a postupy odstraňování UV filtrů

Rostoucí obavy z přítomnosti UV filtrů ve vodě vyvolávají otázky o efektivních metodách jejich odstranění, a to s cílem zmírnění negativního dopadu na životní prostředí. Této problematice se věnovali Imamović a kol. (2022) v rámci výzkumu zaměřeného na odstranění benzofenonových UV filtrů z vodních matic pomocí pokročilých oxidačních procesů (AOP). Autoři se soustředili na mechanismy a účinnost různých AOP při rozkladu těchto filtrů, včetně UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/peroxosíranu a fotokatalýzy. Výzkum ukázal, že na proces degradace mají vliv různé parametry jako koncentrace peroxosíranu, peroxidu vodíku, železných iontů a UV záření, které ovlivňují degradační procesy UV filtrů. Studie rovněž posuzovala potenciální toxicitu vznikajících degradačních produktů. Bylo zjištěno, že některé degradační produkty mohou mít vyšší toxicitu než původní sloučeniny, což naznačuje důležitost důkladného hodnocení a řízení vlivu těchto parametrů na celkovou bezpečnost degradačních procesů.

Možnostmi odstraňování UV filtrů se také zabývali Ramos a kol. (2016), kteří se zaměřili na technologie odstranění používané v čistírnách odpadních vod (ČOV). Přestože nejsou ČOV původně navrženy tak, aby odstraňovaly UV filtry, některé z nich jsou je schopny v určité míře odstranit. Primárními čistícími metodami jsou v ČOV sedimentace a koagulace, které však nejsou dostatečně efektivní pro odstranění UV filtrů. Stejně tak nejsou účinné z hlediska čištění ani aktivovaný kal a trikové filtry, které jsou více zaměřeny na odstranění biochemické spotřeby kyslíku (BSK). Autoři ovšem dochází k závěru, že odstranění UV filtrů může být realizováno prostřednictvím anaerobního trávení, při kterém se bioodbouratelný materiál rozkládá pod vlivem působících mikroorganismů v uzavřeném systému. Dalšími metodami jsou sušení kalu a termická hydrolýza. V textu se také zmiňuje o použití ligninolytických hub jako alternativní metody pro odstraňování UV filtrů z kalu. Nicméně autoři upozorňují na to, že tato metoda ukazuje rozdílné účinky v oblasti odstranění různých UV filtrů, které mohou být jak vysoké, tak i nízké. To pak závisí na možných synergických interakcích s jinými přítomnými látkami v kalu.

Cadena-Aizaga a kol. (2020) poukazují na to, že pro každou složku vodního prostředí se využívají různé metody extrakce UV filtrů. Pro analýzu kontaminantů je však nezbytné předzpracování vzorků, aby se zachovala integrita složek. Pro měření organických UV filtrů v mořské vodě se běžně používá pevnofázová extrakce (SPE), i když v poslední době se také diskutuje o metodách mikroextrakce, včetně pevnofázové mikroextrakce (SPME) a několika dalších inovativních technikách. Autoři také zmiňují metody založené na použití iontových



kapalin a specifických sorbentů, o čemž psali Chisvert a kol. (2018). Pro extrakci UV filtrů ze sedimentů se obvykle aplikují takové metody jako mikrovlnná extrakce (MAE), ultrazvuková extrakce (USE) a tlaková kapalná extrakce (PLE). Stejně metody se používají pro odstranění filtrů z biologických mořských vzorců (například z jater delfinů a měkkýšů).

### **3.4 Legislativní úprava použití UV filtrů na jednotlivých světadílech**

Jednotlivé státy přistupují k omezení UV filtrů ve výrobcích různě. Tato kapitola uvádí poznatky o právní regulaci na jednotlivých světadílech a s ohledem na dostupné informace.

#### **Evropa**

Tak legislativní úprava použití UV filtrů v kosmetických produktech v Evropské unii, včetně České republiky, se primárně zaměřuje na lidské zdraví. UV filtry, které mohou být použity v kosmetických výrobcích, jsou uvedeny v Příloze VI k Nařízení (EC) č. 1223/2009 o kosmetických přípravcích, které bylo nově upraveno nařízením (EU) 2022/2195. Toto nařízení stanovuje seznam povolených UV filtrů, jejich maximální koncentrační limity, omezení použití a požadavky na označování některých látek (Echa.Europa.eu, 2022).

Změna Přílohy VI byla provedena v důsledku posouzení bezpečnosti provedeného Vědeckým výborem pro bezpečnost spotřebitelů (SCCS). Toto posouzení vedlo k omezení použití některých UV filtrů, jako jsou benzofenon-3 ( $C_{14}H_{12}O_3$ ) a oktokrylen ( $C_{24}H_{27}NO_2$ ), a to v důsledku obav z potenciálních endokrinně narušujících vlastností těchto látek. SCCS dospěl k závěru, že benzofenon-3 a oktokrylen nejsou bezpečné pro spotřebitele jako UV filtry, tudíž mohou být použity v kosmetických přípravcích jen ve stanovené maximální koncentraci (UL.com, 2022).

Tak například benzofenon-3 se může používat v maximální koncentraci 6 % u opalovacích krémů (v podobě tělového krému nebo spreje). Méně škodlivé jsou tyto látky ovšem jsou zaznamenány v takových produktech jako pleťový krém, krém na ruce a rtěnky. Maximální koncentrace oktokrylenu v kosmetických přípravcích tvoří 9 % ve sprejích a 10 % v ostatních produktech (UL.com, 2022).

## Severní Amerika

Ve Spojených státech jsou naopak produkty s UV filtry klasifikovány jako *over-the-counter* (OTC) léčiva. To znamená, že podléhají přísnější regulaci a vyžadují předběžnou registraci na Úřadě pro kontrolu potravin a léčiv (FDA). V rámci regulace jsou stanoveny povolené aktivní složky UV filtrů, jejich koncentrace, kombinace aktivních složek, požadavky na označování a metody testování pro hodnocení účinnosti UV filtrů. Kromě toho Sunscreen Monograph, který je součástí regulace FDA, stanovuje pravidla pro testování SPF a širokospektrální ochranu. Pokud výrobek splňuje požadavky širokospektrálního testu, může být označen jako *broad spectrum*, což znamená, že poskytuje ochranu proti UVA i UVB záření (FDA.gov, 2022). Nicméně konkrétní omezení nebo regulace UV filtrů specificky zaměřené na ochranu životního prostředí v USA zatím nejsou.

Nicméně je třeba uvést dodatečnou regulaci použití UV filtrů, kterou zabezpečují Havaj a Key West na Floridě. Na Havaji byl v roce 2018 podepsán zákon zakazující prodej, nabídku a distribuci opalovacích krémů obsahujících oxybenzon ( $C_{14}H_{12}O_3$ ) a oktinoxát ( $C_{18}H_{26}O_3$ ). Tento zákaz byl stanoven kvůli škodlivým účinkům těchto chemikálií na mořský ekosystém a hlavně na korálové útesy. Zákon vstoupil v platnost 1. ledna 2021. Přestože byly vyjádřeny obavy týkající se dopadu některých petrochemických opalovacích krémů na oceány a jiné mořské druhy, zákon stále má zjevné nedostatky, jelikož státní agentury nebyly zvlášť pověřeny jeho dodržováním. Vzhledem k tomu, že přesné vymáhání zákona není jasné definováno, výrobci kosmetických produktů s těmito látkami mohli mít až 2,5 roku na přizpůsobení se novým regulacím před tím než zákon vstoupil v platnost. Poté se na Havaji usilovalo o rozšíření zákazu na další chemikálie, jako jsou avobenzon a oktokrylen, avšak ke skutečným změnám zatím nedošlo (Caulfield, 2021).

Podobně jako na Havaji, i v Key West na Floridě bylo hlasováním městských komisařů schváleno opatření, které zakazuje prodej opalovacích krémů obsahujících chemikálie oxybenzon a oktinoxát, a to kvůli obavám o jejich škodlivý vliv na korálové útesy. Nicméně uplatnění zákazu v praxi doposud trvá, což souvisí s tím, že negativní účinek těchto látek na životní prostředí dosud nebyl pro místní samosprávu prokázán. Přestože se uvádí, že tyto chemikálie způsobují poškození v laboratorních studiích, je složité určit jejich skutečný dopad v přírodě (Klingener, 2021).

V Kanadě jsou sluneční ochranné výrobky klasifikovány buď jako OTC léčiva nebo jako přírodní zdravotní produkty (NPHs). Země tedy má podobnou klasifikaci jako USA, ale některé výrobky vymezuje do samostatné kategorie. Tak například produkty obsahující

organické UV filtry, jako avobenzon ( $C_{20}H_{22}O_3$ ), homosalát ( $C_{16}H_{22}O_3$ ), oktokrylen ( $C_{24}H_{27}NO_2$ ), oktisalát ( $C_{14}H_{22}O_3$ ), oktinoxát ( $C_{18}H_{26}O_3$ ) a oxybenzon ( $C_{14}H_{12}O_3$ ), jsou klasifikovány jako léčiva a musí mít na štítku osmiciferné číslo pro identifikaci léčiva (DIN). Naopak produkty obsahující pouze neorganické UV filtry, jako je oxid zinečnatý (ZnO) a oxid titaničitý ( $TiO_2$ ), jsou klasifikovány jako přírodní složky a musí mít na štítku osmiciferné číslo přírodního produktu (NPN). Environmentální aspekty použití UV filtrů nejsou zatím vztahy v úvahu současnou regulací (Canada.ca, 2023).

Některé turistické oblasti v Mexiku, jako jsou Xel-Ha v Riviera Maya, Chankanaab Beach Adventure Park v Cozumelu a Cabo Pulmo National Marine Park v Los Cabos, také zakazují použití nerozložitelných opalovacích krémů. Tento zákaz se zaměřuje na opalovací krémy s oxybenzonem a octinoxátem. V těchto oblastech se doporučuje používání biologicky rozložitelných a tzv. *reef-safe* opalovacích krémů (Seemann, 2023).

### **Jižní Amerika**

Pokud jde o jihoamerické státy, zde stojí za zmínku Bonaire, což je malý ostrov známý svým rozvinutým potápěním. Zde, stejně jako v jiných populárních z hlediska rekreačního turismu regionech, byl od roku 2020 zakázán prodej krémů obsahujících oxybenzon a octinoxát. Dále krémy s oxybenzonem také zakázala Aruba, zatímco Americké panenské ostrovy omezily nejen prodej, ale také distribuci kosmetických výrobků s výše zmíněnými dvěma látkami (Seemann, 2023).

### **Austrálie**

Přestože v Austrálii a na Novém Zélandu nejsou v současné době uplatňována omezení týkající se použití UV filtrů, v Republice Palau byl v roce 2020 prodej opalovacích krémů obsahujících specifické chemikálie považované za škodlivé pro korálové útesy zcela zakázán. Jedná se o následující látky: oxybenzon ( $C_{14}H_{12}O_3$ ), octinoxát ( $C_{18}H_{26}O_3$ ), octocrylene ( $C_{24}H_{27}NO_2$ ), 4-methyl-benzylidene camphor ( $C_{18}H_{22}O$ ), triclosan ( $C_{12}H_7Cl_3O_2$ ), methylparaben ( $C_8H_8O_3$ ), ethylparaben ( $C_9H_{10}O_3$ ), butylparaben ( $C_{11}H_{14}O_3$ ), benzyl paraben ( $C_{14}H_{12}O_3$ ) a phenoxyethanol ( $C_8H_{10}O_2$ ). Zákaz se týká prodeje jakýchkoliv opalovacích krémů obsahujících tyto látky bez ohledu na jejich koncentraci (Seemann, 2023).

## Asie

Thajsko zakázalo používání opalovacích krémů obsahujících oxybenzon ( $C_{14}H_{12}O_3$ ), octinoxát ( $C_{18}H_{26}O_3$ ), 4-methylbenzylidenekamfor ( $C_{18}H_{22}O$ ) a butylparaben ( $C_{11}H_{14}O_3$ ) v mořských národních parcích. Tento zákaz je reakcí na obavy o škodlivý vliv těchto chemikálií na korálové útesy. Opalovací krémy obsahující bezpečné složky, jako je oxid zinečnatý, jsou povoleny, i když se bere v úvahu, že také mohou být škodlivé pro mořské organismy (Hutton, 2021).

Co se týká Afriky, zde zatím nejsou specifické zákazy nebo omezení týkající se používání UV filtrů. Podobná je také situace na Antarktidě.

## 4 Vlastní práce

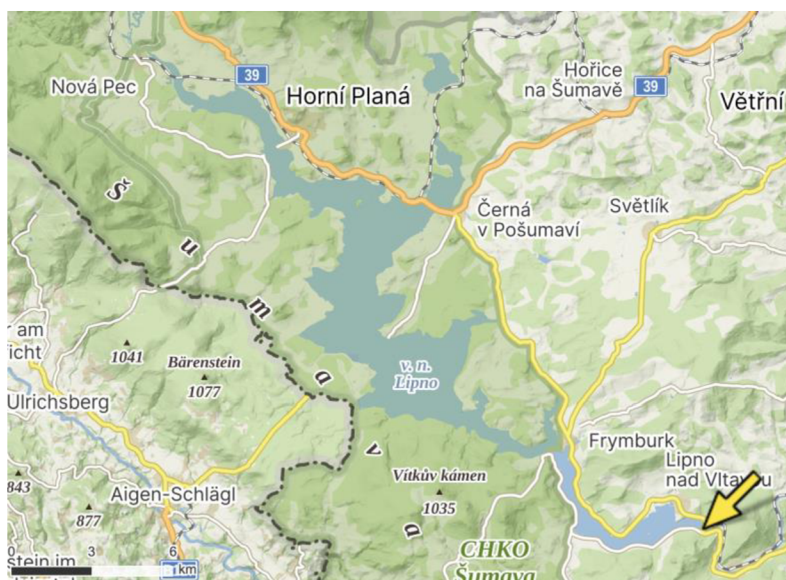
V této kapitole je provedena analýza znečištění vodního prostředí jezera Lipno. Na počátku je uvedena charakteristika vodní nádrže a hlavních zón, které jsou potenciálně podrobeny největší kontaminaci. Poté je provedena samotná analýza.

### 4.1 Charakteristika vodní nádrže Lipno

Údolní nádrž Lipno, která je také známá jako jihočeské moře, je největší vodní plochou v České republice. Rozkládá se v námořní výšce 726 m n. m., při nejvyšším vzdutí má plochu hladiny 48,7 km<sup>2</sup> a jeho délka v podélné ose nádrže je 48 km. Vzdálenost obou břehů v místě největší šířky u Černé v Pošumaví tvoří 10 km. Nádrž je ovšem relativně mělká. Má hloubku 6,5 m, která dosahuje maximálně 21,5 m. Objem lipenské nádrže je 306 mil. m<sup>3</sup> a jsou v ní shromážděny vody z povodí o celkové ploše 950,6 km<sup>2</sup> (Sumavanet.cz, 2024).

Vodní nádrž Lipno byla vybudována v letech 1952-1959 jako čtvrtý stupeň tzv. Vltavské kaskády. Postupně byly v oblasti nádrže také vybudovány dva přehradní stupně. Nicméně historie této nádrže je ve skutečnosti starší a návrhy na vybudování tohoto umělého jezera sahají až k roku 1892. V současné době je nad dnem údolí také sypaná hráz a vedle jako ojedinělá stavba také stojí podzemní hydroelektrárna (Sumavanet.cz, 2024).

Obrázek 2: Mapa vodní nádrže Lipno



Zdroj: Mapy.cz, 2024

Z geografického hlediska se Lipno nachází v horském terénu, konkrétně na hranici Národního parku a Chráněné krajinné oblasti Šumava, což dělá tento region obzvláště atraktivním pro turisty. To je také důvod, proč se na břehu Lipna, který tvoří v obvodu cca 150 km, umísťuje velký počet pláží a míst ke koupání (Kudyznudy.cz, 2024).

Jednou z nich je travnatá pláž s pískem v Lipně nad Vltavou, která je roztažena po celé délce obce a nabízí postupný vstup do vody. Má bohaté zázemí v oblasti občerstvení, dětských hřišť a půjčoven šlapadel a lodí. Jiná písčiná pláž se nachází naproti ní, tj. na Králičím ostrově, a další populární pláží je pláž ve Frymburku. Kompletně vybavené jsou také pláž v Černé v Pošumaví, pláž Windy Point, která má plochu 3 000 m<sup>2</sup>, a pláž v Horní Plané s jemným pískem. Zmínit lze také pláže v Přední Výtoni, v Nové Peci a v Lukavické zátocce na Kovářově (Kudyznudy.cz, 2024).

Lipno je také populární destinací pro vodní sporty jako jachting a windsurfing, a to díky členitosti jezera a umístění zde až pěti přístavů. Pozoruhodným zařízením pro turisty je též hotelový resort Marina Černá v Pošumaví, který nabízí možnost pronájmu míst ke kotvení a vlastní flotily (Kudyznudy.cz, 2024).

Tak velký počet rekreačních oblastí poukazuje na zvýšení rizika znečištění vodní nádrže, zejména v hlavní sezóně, kdy podíl rekreatantů několikrát vzrůstá. Toto riziko je zvláště velké pro tři pláže, jimiž jsou pláž Černá v Pošumaví (kód oblasti je KO310301), pláž Horní Planá (KO310302) a pláž Lipno nad Vltavou (KO310303), což jsou zdejší největší koupaliště na povrchových vodách (Poh.cz, 2019).

## **4.2 Analýza potenciálního znečištění vodní nádrže UV filtry**

Aby bylo možné vyhodnotit profil vod ke koupání, v roce 2023 byla Ministerstvem zemědělství provedena analýza znečištění vod u pláže Lipno nad Vltavou, která má délku 470 m a návštěvnost <1000 osob za den. Ukázalo se, že je vodní nádrž v této oblasti ve vyhovujícím stavu, což dělá riziko pro koupající nízkým. Z hlediska mikrobiálního znečištění je jakost dobrá, obsah fosforu je také nízký, i když stojí za zmínku, že developerské projekty na levém břehu VN Lipno negativně přispívají bakteriální kontaminaci a vytváří riziko vstupu sloučenin fosforu do jezera (eAgri.cz, 2023).

Nicméně v současné době neexistují žádné výzkumy, které by mohly odhalit negativní dopady použití UV filtrů na vodní nádrž Lipno, i když lze předpokládat, že je toto riziko

poměrně velké. Pro zhodnocení negativních dopadů je možné provést výpočet koncentrace znečištění vody opalovacími krémy s UV filtry na litr vody. Postup výpočtu je následující.

#### 1. Určení denní návštěvnosti vybrané pláže

Jak je uvedeno v profilu vod ke koupání v Lipnu nad Vltavou, návštěvnost za den nepřesahuje 1000 osob, i když z metodiky je patrné, že v tomto případě přesahuje ukazatel 500 osob (jinak by měl označení <500 osob). Jedná se o přibližný údaj ze zkušenosti několika sezon. S ohledem na to, že v hlavní sezóně bývá počet návštěvníků zpravidla vyšší, je možné předpokládat, že v období z května po září dosahuje cca 1 000 rekreatů denně.

#### 2. Výpočet množství použitého opalovacího krému na jednoho rekreatanta denně

Pokud jde o množství opalovacího krému, který se doporučuje používat během rekreačních aktivit, tady se názory jednotlivých výzkumníků odlišují. Například podle Gilaberteho a kol. (2022) by se měl opalovací krém používat bez ohledu na UV index (UVI), přičemž v letních měsících ochrana před sluncem musí být minimálně SPF 50. Doporučuje se aplikovat opalovací krém ve množství přibližně 2 mg/cm<sup>2</sup> a zopakovat použití po každých 2-3 hodinách.

V praxi to znamená, že by měla osoba použít cca dvě polévkové lžíce krému na obličej a tělo (Skincancer.org, 2019). Když se vezme v úvahu, že jedna polévková lžíce má cca 14,175 gramů, pak jedna osoba by měla aplikovat cca 28 gramů krému za jedno použití. Na jednu stranu by tento ukazatel mohl být dvakrát vyšší, například pokud se bude vycházet z toho, že by se měl krém aplikovat každé 2-3 hodiny. Na druhou stranu je nutné počítat s tím, že mnozí rekreatanti takové množství krému ani v průběhu jedné aplikace nepoužívají. Také je třeba přihlížet k tomu, že se někteří rekreatanti koupají několikrát za den, zatímco jiní do vody ani nevstoupí, i když budou opalovací krém také aplikovat. V souvislosti s tím je možné považovat 28 gramů krému za průměrný ukazatel pro jednoho rekreatanta.

### 3. Výpočet množství krému splachovaného do povrchních vod

Podle Poh Aginové (2006) množství SPF zbývajících ve vodě po koupání se může lišit, ale při použití opalovacích krémů, které jsou označeny jako voděodolné, by mělo po ponoření do vody na těle zůstat 50 až 75 % krému. To znamená, že v tomto případě ve vodě zůstane maximálně 50 % krému a minimálně 25 % krému. Je však třeba dbát na to, že tato studie je poměrně zastaralá a moderní opalovací krémy mohou nabízet větší odolnost krému proti opláchnutí vodou.

Vzhledem k tomu, že konkrétní data týkající se podílu splachování krému vodou nejsou k dispozici, v této práci se vychází z toho, že po koupání ve vodě zůstává cca 25 % opalovacího krému. V tomto případě jedna osoba zanechá ve vodě 7 gramů opalovacího krému.

### 4. Definování podílu plochy jezera patřící k vybrané pláži

Dále je zapotřebí určit podíl plochy jezera, který odpovídá jedné pláži o délce 470 metrů, tj. jde o pláž Lipno nad Vltavou. S ohledem na to, že celková pobřežní délka činí cca 150 km a plocha jezera je 48,7 km<sup>2</sup>, pak k úseku této pláže patří přibližně 0,153 km<sup>2</sup> vody.

Poté pro výpočet množství litrů vody, které zajímají pozemek o rozloze 0,153 km<sup>2</sup>, je třeba použít objem vody v jezeře (306 mil. m<sup>3</sup>) a jeho celkovou plochu (48,7 km<sup>2</sup>). To dovolí určit průměrný objem vody na 1 km<sup>2</sup>, který se následně vynásobí plochou pozemku pro získání potřebného ukazatele. Z toho vychází, že pozemek o rozloze 0,153 km<sup>2</sup> obsahuje zhruba 961 tisíc m<sup>3</sup> vody čili 961 tisíc litrů.

### 5. Výpočet koncentrace UV filtrů ve vodě u vybrané pláže

Pokud se vezme v úvahu, že jedna osoba zanechává ve vodě cca 7 gramů opalovacího krému s UV filtry, pak koncentrace opalovacího krému ve vodě u pláže Lipno nad Vltavou bude tvořit 0,0728 mg/l. V období hlavní sezóny však pláž navštěvuje cca 1000 osob denně, což ve výsledku představuje ukazatel 72,8 mg/l.

Dalším krokem by měl být výpočet koncentrace UV filtrů v opalovacím krému, která však závisí na několika faktorech jako složení krému, typ použitých filtrů a SPF. Přestože nejsou tyto informace známé, je možné vzít jako příklad opalovací krém s SPF 50, který obsahuje neorganické UV filtry s oxidem zinečnatým (ZnO). Jejich koncentrace v krému se



také odlišuje, ale lze vycházet z toho, že krém obsahuje cca 25 % účinných látek (UV filtrů) podle hmotnosti. Podkladem pro tuto koncentraci slouží studie Ginzburga a kol. (2021), ve které je uvedeno, že se do opalovacích krémů přidává cca 3-6 % účinných látek, pokud jsou mezi sebou kombinovány, a 3-25 % účinných látek, když jsou dodány v čistém množství. To znamená, že 1 gram neboli 1000 mg krému obsahuje přibližně 250 mg aktivních UV filtrů.

Tím pádem je v 1 mg opalovacího krému obsaženo přibližně 0,25 mg UV filtrů, takže 1 litr vody poblíž pláže Lipno nad Vltavou obsahuje 18,2 mg UV filtrů. Tento ukazatel je extrémně vysoký a poukazuje na zvýšené riziko negativního vlivu UV filtrů na kontaminaci jezera. To potvrzuje například studie Corinaldesiové a kol. (2022) podle které ve vodě, která obsahuje UV filtry s oxidem zinečnatým ve množství 6,3 mg/l, po 48 hodinách dochází k záhynu zooxantely, obohacení vody víry a prokaryotami. Zhu a kol. (2008) také doplňuje, že UV filtry s oxidem zinečnatým ve množství 5 mg/l vedou k ulceraci tkáně u larev, a to po 96 hodinách ve vodě. Cunningham a kol. (2020) ve svém výzkumu též potvrdila, že ZnO v koncentraci 0,01 mg/l způsobuje po čtyřech dnech abnormality skeletu u ryb.

Jiným příkladem může být použití opalovacího krému s SPF 50, který obsahuje oxid titaničitý (TiO<sub>2</sub>). Pokud se objeví ve vodě v podobné koncentraci jako krém s oxidem zinečnatým (ZnO), tj. 18,2 mg/l, bude to také mít stejně nepříznivé důsledky pro vodní prostředí. Například Jovanović a Guzmán (2014) prokázali, že koncentrace UV filtrů s oxidem titaničitým ve množství 10 mg/l během 17 dní také vede k záhynu zooxantely. Zhu, Zhou a Cai (2011) také ve svých výsledcích dospěli k závěru, že při koncentraci ve vodě oxidu titaničitého ve výši 10 mg/l dochází ke změně hladin antioxidantních enzymů, hladin metalothioninu a ke snížení sekrece byssalu. Z těchto výsledků také plyne, že i v případě použití opalovacího krému s jinou aktivní složkou bude jeho dopad na floru a faunu povrchních vod jezera Lipno zřejmě negativní.

## 5 Výsledky a diskuze

UV filtry jako oxybenzon ( $C_{14}H_{12}O_3$ ), avobenzon ( $C_{20}H_{22}O_3$ ) a octinoxát ( $C_{18}H_{26}O_3$ ), které slouží k ochraně před UV zářením, mají negativní dopady na vodní ekosystémy, o čemž svědčí práce Siroisa (2021), Huanga a kol. (2021), ale také Hopkinsa, Snowbergear a Blaneyho (2017). Výzkumy provedené Národním zdravotním ústavem USA (2022) ukazují, že tyto filtry způsobují bělení korálů, hormonální narušení u vodních organismů a reprodukční problémy u ryb. Navíc může jejich fotodegradace produkovat toxické vedlejší produkty jako benzofenony a metoxycinnamáty. Podle Národního institutu environmentálních zdravotních věd v USA (2024) chemikálie z UV filtrů také reagují s minerálními látkami ve vodě a mění iontovou rovnováhu, což ovlivňuje osmoregulaci organismů a kvalitu vody. Zmínit je též třeba negativní vliv filtrů na snížení koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě, které nepříznivě působí na dýchání vodních organismů a fotosyntézu vodních rostlin a řas.

Zahraniční studie, které byly analyzovány v této bakalářské práci, také potvrdily dopady anorganických UV filtrů na korály a další vodní organismy. Zjistilo se, že některé filtry, jako oxid zinečnatý, mají značně negativní vliv na zdraví korálů, což potvrdila studie Corinaldesiho a kol. (2018). Nicméně jiné filtry jsou v tomto ohledu méně škodlivé, o čemž svědčí porovnání několika různých vědeckých studií provedené Couselem-Rodríguezem a kol. (2022). Opalovací krémy obsahující UV filtry také špatně působí na chování zdravých ryb, v některých případech i se smrtelnými výsledky, což je patrné například ze studie Barona a kol. (2019). Kromě toho výzkum Bellové a kol. (2017) ukazuje na akumulaci UV filtrů v tkáních medúz a sedimentech, které jsou umístěny v oblastech s vysokou turistickou aktivitou.

Monitoring UV filtrů ve vodním prostředí je také aktuálním tématem, které naznačuje význam a složitost této problematiky. Metody sledování UV filtrů zahrnují jak moderní extrakční techniky (například, sorbentově a rozpouštědlově založené mikroextrakce), tak i pokročilejší analytické metody (kapalinová a plynová chromatografie, multivariáční statistické metody). Podle Chisverta a kol. (2018) jsou moderní metody efektivní a bezpečné proto, že využívají malé množství rozpouštědel a materiálu a umožňují větší selektivitu. Oproti tomu Gago-Ferrero, Diaz-Cruz a Barcelo (2012) poukazují na to, že metody kapalinové a plynové chromatografie spojené s hmotnostní spektrometrií pro trasovou analýzu znečišťujících látek v biotě jsou účinnější díky vyšší citlivosti.

Ještě více komplikovaným tématem se ovšem ukázaly způsoby odstranění UV filtrů, které z velké míry závisí na úrovni kontaminace a prostředí, kde extrakce probíhá. Za účinné metody odstranění jsou považovány pokročilé oxidační procesy (AOP), i když podle Imamoviće a kol. (2022) při jejich použití je potřeba správně nastavit parametry pro zajištění bezpečnosti procesu. Extrakce také může probíhat prostřednictvím ČOV, kde se může aplikovat anaerobní trávení nebo využití ligninolytických hub. Ramos a kol. (2016) ovšem v tomto ohledu upozorňují na to, že ČOV nejsou původně navrženy pro odstranění UV filtrů, a proto je k jejich aplikaci potřeba přistupovat opatrně.

V práci bylo zjištěno, že legislativní úprava použití UV filtrů v kosmetických produktech se liší napříč světadíly, přičemž každý region má v této oblasti svá specifika. Například evropská legislativa je zaměřena na lidské zdraví a reguluje seznam povolených UV filtrů a jejich maximální koncentraci. Ve Spojených státech jsou produkty s UV filtry považovány za léčiva, což vyžaduje jejich předběžnou registraci a dodržování specifických požadavků na označování a testování. Zajímavé příklady regulace na ochranu životního prostředí představují Havaj a Key West, kde byl zakázán prodej opalovacích krémů obsahujících látky škodlivé pro korálové útesy. Tato diverzita v přístupech reflektuje různé priority každého regionu, ať už jde o lidské zdraví nebo ochranu flory a fauny.

Analýza potenciálního znečištění vodní nádrže Lipno a konkrétně vody u pláže Lipno nad Vltavou UV filtry ukázala, že v průběhu rekreační sezóny se v tomto regionu může kumulovat až 18,2 mg UV filtrů v 1 litru vody. Tento ukazatel svědčí o vysoké míře znečištění vodního prostředí chemickými látkami, které mají negativní dopad na lokální ekosystém a mohou ovlivňovat životy mnoha vodních organismů bez ohledu na to, jaká aktivní látka se v nich používá. To bylo potvrzeno studiemi Corinaldesiové a kol. (2022, s. 1280) a Zhu a kol. (2008), které prokázaly, že dokonce i 5 mg UV filtrů v 1 litru vody přispívá k nezvratným výsledkům pro vodní ekosystém. Nicméně je možné s jistotou říci, že opalovací krémy s oxidem titaničitým a oxidem zinečnatým vedou k nezvratným výsledkům i v koncentraci, která je téměř o polovinu menší než byla zjištěna v jezeru Lipno.

## 6 Závěr

V posledních několika letech je možné zaznamenat zvýšený zájem veřejnosti o negativních dopadech opalovacích krémů na životní prostředí. Toto téma se stalo obzvláště aktuálním poté, co se zjistil nepříznivý vliv UV filtrů obsažených v opalovacích krémech na vodní ekosystémy a organismy. Již v současné době existuje mnoho důkazů toho, že nebezpečné látky vypouštěné do oceánů, moří, řek a jezer mohou způsobit bělení korálových útesů, ovlivnit reprodukci a růst vodních organismů a přispět k dalšímu znečištění povrchových vod.

Tato bakalářská práce měla za cíl popsat a analyzovat různé typy UV filtrů a jejich vliv na životní prostředí. Spolu s tím byly v práci stanoveny dílčí cíle. Pro jejich naplnění bylo využito několik odborně výzkumných metod jako literární rešerše, komparace názorů odborníků na vybranou problematiku, analýza a syntéza.

Ukázalo se, že znečištění vodního prostředí je závažným problémem, který ohrožuje nejen zdraví lidí, ale také biodiverzitu. Největší riziko představuje kontaminace vod průmyslovými a zemědělskými odpady, eutrofizace a také znečištění toxickými látkami, kam patří těžké kovy a UV filtry. Česká republika se snaží tento problém vyřešit prostřednictvím vodního zákona a dalších opatření, ale analýza kvality povrchových vod ukazuje, že velká část míst stále trpí různými stupni znečištění.

Spolu s tím úroveň použití UV filtrů se jen zvyšuje. Nepříznivě tomu přispívá informování veřejnosti o důsledcích globálního oteplování, které se projevují anormálně horkým létem a lesními požáry. Pokud jde o samotné UV filtry, používají se k zamezení nebo absorbování UV záření. Jsou zpravidla rozděleny na neorganické a organické. Neorganické filtry, jako oxid titaničitý ( $\text{TiO}_2$ ) a oxid zinečnatý ( $\text{ZnO}$ ), jsou známé svou schopností absorbovat, odrážet nebo rozptylovat UV záření a vyznačují se vysokou fotostabilitou. Organické filtry, které často obsahují aromatické sloučeniny, absorbují UV záření v úzkém spektru a často vyžadují kombinaci více sloučenin pro efektivnější ochranu.

UV filtry jsou nebezpečné pro vodní prostředí, protože mění jeho chemismus, což vede ke zhoršení vodních podmínek pro mikrořasy, korály, ryby a jiné organismy. Tyto filtry jsou podrobeny monitorování ze strany odborníků a k jejich odbourání se používají pokročilé oxidační procesy (AOP) jako UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$ , UV/peroxosíran a fotokatalýza, které se ukázaly jako účinné v degradaci těchto látek ve vodě.

Analýza provedená v této práci také ukázala, že vodní nádrž Lipno, která je považována za nejvýznamnější rekreační areál v České republice, je ohrožena kontaminací UV filtrů. Výpočty ukázaly, že jejich koncentrace ve vodách u pláže Lipno nad Vltavou může v hlavní sezóně dosahovat hodnoty 18,2 mg na jeden litr vody. Vzhledem k tomu, že se jedná o extrémně vysoký ukazatel, v práci byla vytvořena dvě doporučení ke zlepšení. Prvním z nich je instalace tří ČOP v oblastech s největším počtem rekreatantů v letních měsících. Druhým opatřením je zavedení legislativní úpravy použití UV filtrů v určitých zónách ČR, které se trvale těší velkému přílivu rekreatantů.

V rámci budoucího a širšího výzkumu by bylo možné analyzovat vývoj a testování nových, ekologicky šetrnějších formulací UV filtrů, které by minimalizovaly negativní vliv na vodní ekosystémy a byly biologicky snadno odbouratelné. Kromě toho by se výzkum mohl zaměřit na zdokonalení existujících a vývoj nových pokročilých oxidačních procesů pro efektivnější odstraňování UV filtrů z vodních zdrojů. Užitečné by také bylo provést detailnější výzkum o vlivu UV filtrů na specifické vodní organismy, aby se lépe pochopil rozsah negativních biologických dopadů.

## 7 Seznam použitých zdrojů

- BAKI, Gabriella, 2022. *Introduction to Cosmetic Formulation and Technology*. 2. vydání. John Wiley. ISBN 9781119709831.
- BELL, L.J., G. UCHARM, S. PATRIS a S.M. DIAZ-CRUZ, 2017. *Sunscreen pollution analysis in Jellyfish Lake*. Coral Reef Research Foundation, Palau. Dostupné také z: <https://coralreefpalau.org/wp-content/uploads/2017/10/CRRF-UNESCOSunscreen-in-Jellyfish-Lake-no.2732.pdf>
- CADENA-AIZAGA, M. Isabel, Sarah MONTESDEOCA-ESPONDA, María Esther TORRES-PADRÓN, Zoraida SOSA-FERRERA a José Juan SANTANA-RODRÍGUEZ, 2020. Organic UV filters in marine environments: An update of analytical methodologies, occurrence and distribution. *Trends in Environmental Analytical Chemistry* [online]. **25** [cit. 2024-01-17]. ISSN 22141588. Dostupné z: doi:10.1016/j.teac.2019.e00079
- CARSTENSEN, Lale, Rene ZIPPEL, Ron FISKAL, et al., 2023. Trace analysis of benzophenone-type UV filters in water and their effects on human estrogen and androgen receptors. *Journal of Hazardous Materials* [online]. **456** [cit. 2024-01-17]. ISSN 03043894. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhazmat.2023.131617
- CAULFIELD, Claire, 2021. Hawaii Has A Ban On Sunscreen Chemicals But No One's Sure Who Should Enforce It. *CivilBeat.org* [online]. [cit. 2024-01-29]. Dostupné z: <https://www.civilbeat.org/2021/08/hawaii-has-a-ban-on-sunscreen-chemicals-but-no-ones-sure-who-should-enforce-it/>
- CORINALDESI, Cinzia, Francesca MARCELLINI, Ettore NEPOTE, Elisabetta DAMIANI a Roberto DANOVARO, 2018. Impact of inorganic UV filters contained in sunscreen products on tropical stony corals (*Acropora* spp.). *Science of The Total Environment* [online]. **637-638**, 1279-1285 [cit. 2024-03-04]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2018.05.108
- CORINALDESI, Cinzia, Francesca MARCELLINI, Ettore NEPOTE, Elisabetta DAMIANI a Roberto DANOVARO, 2018. Impact of inorganic UV filters contained in sunscreen products on tropical stony corals (*Acropora* spp.). *Science of The Total*

- Environment* [online]. **637-638**, 1279-1285 [cit. 2024-01-16]. ISSN 00489697.  
Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2018.05.108
- Cosmetic Products Regulation, Annex VI - Allowed UV Filters, 2022. *Echa.Europa.eu* [online]. [cit. 2024-01-29]. Dostupné z: <https://echa.europa.eu/cosmetics-uv-filters>
- COUSELO-RODRÍGUEZ, C., P.C. GONZÁLEZ-ESTEBAN, M.P. DIÉGUEZ MONTES a Á. FLÓREZ, 2022. Impacto de los filtros ultravioleta en el entorno natural. *Actas Dermo-Sifiliográficas* [online]. **113**(8), 792-803 [cit. 2024-01-16]. ISSN 00017310.  
Dostupné z: doi:10.1016/j.ad.2022.03.010
- CUNNINGHAM, Brittany, Cristina TORRES-DUARTE, Gary CHERR a Nikki ADAMS, 2020. Effects of three zinc-containing sunscreens on development of purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus*) embryos. *Aquatic Toxicology* [online]. **218** [cit. 2024-03-04]. ISSN 0166445X. Dostupné z: doi:10.1016/j.aquatox.2019.105355
- EU Updates Annexes V and VI to the Cosmetics Regulation, 2022. *UL.com* [online]. [cit. 2024-01-29]. Dostupné z: <https://www.ul.com/news/eu-updates-annexes-v-and-vi-cosmetics-regulation>
- FEL, Jean-Pierre, Catherine LACHEREZ, Alaa BENSETRA, Sakina MEZZACHE, Eric BÉRAUD, Marc LÉONARD, Denis ALLEMAND a Christine FERRIER-PAGÈS, 2019. Photochemical response of the scleractinian coral *Stylophora pistillata* to some sunscreen ingredients. *Coral Reefs* [online]. **38**(1), 109-122 [cit. 2024-01-16]. ISSN 0722-4028. Dostupné z: doi:10.1007/s00338-018-01759-4
- FROUZ, Jan a Jaroslava FROUZOVÁ, 2021. *Aplikovaná ekologie*. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum. ISBN 978-80-246-4577-3.
- GADELHA, Juliana R., A. Cristina ROCHA, Carolina CAMACHO, et al., 2019. Persistent and emerging pollutants assessment on aquaculture oysters (*Crassostrea gigas*) from NW Portuguese coast (Ria De Aveiro). *Science of The Total Environment* [online]. **666**, 731-742 [cit. 2024-01-16]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.02.280
- GAGO-FERRERO, Pablo, M. Silvia DÍAZ-CRUZ a Damià BARCELÓ, 2012. An overview of UV-absorbing compounds (organic UV filters) in aquatic biota. *Analytical and*

- Bioanalytical Chemistry* [online]. **404**(9), 2597-2610 [cit. 2024-01-17]. ISSN 1618-2642. Dostupné z: doi:10.1007/s00216-012-6067-7
- GILABERTE, Yolanda, Carles TRULLÀS, Corinne GRANGER a Magdalena DE TROYA-MARTÍN, 2022. Photoprotection in Outdoor Sports: A Review of the Literature and Recommendations to Reduce Risk Among Athletes. *Dermatology and Therapy* [online]. **12**(2), 329-343 [cit. 2024-02-27]. ISSN 2193-8210. Dostupné z: doi:10.1007/s13555-021-00671-0
- GINZBURG, Aurora L., Richard S. BLACKBURN, Claudia SANTILLAN, Lisa TRUONG, Robyn L. TANGUAY a James E. HUTCHISON, 2021. Zinc oxide-induced changes to sunscreen ingredient efficacy and toxicity under UV irradiation. *Photochemical & Photobiological Sciences* [online]. **20**(10), 1273-1285 [cit. 2024-03-04]. ISSN 1474-905X. Dostupné z: doi:10.1007/s43630-021-00101-2
- Global Sunprotection Products Market - Industry Trends and Forecast to 2030, 2023. *Data Bridge Market Research* [online]. [cit. 2023-12-19]. Dostupné z: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-sunprotection-products-market>
- HOPKINS, Zachary R., Sebastian SNOWBERGER a Lee BLANEY, 2017. Ozonation of the oxybenzone, octinoxate, and octocrylene UV-filters: Reaction kinetics, absorbance characteristics, and transformation products. *Journal of Hazardous Materials* [online]. **338**, 23-32 [cit. 2024-01-16]. ISSN 03043894. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhazmat.2017.05.016
- HUANG, Yanran, Japhet Cheuk-Fung LAW, Tsz-Ki LAM a Kelvin Sze-Yin LEUNG, 2021. Risks of organic UV filters: a review of environmental and human health concern studies. *Science of The Total Environment* [online]. **755** [cit. 2023-12-19]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142486
- HUTTON, Mercedes, 2021. Thailand bans sunscreen in marine parks to preserve delicate slow growing coral reefs, but is it going to be enough? *SCMP.com* [online]. [cit. 2024-01-29]. Dostupné z: <https://www.scmp.com/magazines/post-magazine/travel/article/3145347/thailand-bans-sunscreen-marine-parks-preserve>
- CHISVERT, Alberto, Juan L. BENEDÉ a Amparo SALVADOR, 2018. Current trends on the determination of organic UV filters in environmental water samples based on



- microextraction techniques – A review. *Analytica Chimica Acta* [online]. **1034**, 22-38 [cit. 2024-01-17]. ISSN 00032670. Dostupné z: doi:10.1016/j.aca.2018.05.059
- IMAMOVIĆ, Belma, Polonca TREBŠE, Elma OMERAGIĆ, Ervina BEČIĆ, Andrej PEČET a Mirza DEDIĆ, 2022. Stability and Removal of Benzophenone-Type UV Filters from Water Matrices by Advanced Oxidation Processes. *Molecules* [online]. **27**(6) [cit. 2024-01-17]. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules27061874
- JOVANOVIĆ, Boris a Héctor M. GUZMÁN, 2014. Effects of titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) nanoparticles on caribbean reef-building coral ( *Montastraea faveolata* ). *Environmental Toxicology and Chemistry* [online]. **33**(6), 1346-1353 [cit. 2024-03-04]. ISSN 0730-7268. Dostupné z: doi:10.1002/etc.2560
- KLINGENER, Nancy, 2021. *As Key West Tries To Set Precedents, Tallahassee Lawmakers Say: Not So Fast* [online]. WLRN.ORG. [cit. 2024-01-29]. Dostupné z: <https://www.wlrn.org/news/2021-03-16/as-key-west-tries-to-set-precedents-tallahassee-lawmakers-say-not-so-fast>
- LEE, Jinkyung a Ki Han KWON, 2022. Sustainable changes in beauty market trends focused on the perspective of safety in the post-coronavirus disease-19 period. *Journal of Cosmetic Dermatology* [online]. **21**(7), 2700-2707 [cit. 2023-12-19]. ISSN 1473-2130. Dostupné z: doi:10.1111/jocd.14493
- Lipno - Lipenská přehrada, 2024. *Sumavanet.cz* [online]. [cit. 2024-02-27]. Dostupné z: <https://www.sumavanet.cz/lipno-lipenska-prehrada.s-15835-RELPPR>
- Mapy.cz* [online], 2024. [cit. 2024-02-27]. Dostupné z: <https://en.mapy.cz/zakladni?x=15.6252330&y=49.8022514&z=8>
- MOLDAN, Bedřich, 2015. *Podmaněná planeta*. Druhé, rozšířené a upravené vydání. V Praze: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum. ISBN 978-80-246-2999-5.
- MÜLLEROVÁ, Dana a Anna AUJEZDSKÁ, 2014. *Hygiena, preventivní lékařství a veřejné zdravotnictví*. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-2510-2.
- OECD, 2018. *Hodnocení politik životního prostředí OECD: Česká republika 2018*. Ministerstvo životního prostředí: OECD Publishing. ISBN 9789264310377.
- Overview of International Activities for Cosmetics, 2022. *FDA.gov* [online]. [cit. 2024-01-29]. Dostupné z: <https://www.fda.gov/cosmetics/cosmetics-international-activities/overview-international-activities-cosmetics>

- PARWAIZ, Shaikh a Mohammad Mansoob KHAN, 2023. Recent developments in tuning the efficacy of different types of sunscreens. *Bioprocess and Biosystems Engineering* [online]. **46**(12), 1711-1727 [cit. 2023-12-18]. ISSN 1615-7591. Dostupné z: doi:10.1007/s00449-023-02919-9
- POH AGIN, Patricia, 2006. Water Resistance and Extended Wear Sunscreens. *Dermatologic Clinics* [online]. **24**(1), 75-79 [cit. 2024-03-04]. ISSN 07338635. Dostupné z: doi:10.1016/j.det.2005.08.002
- PRIMACK, Richard B., Pavel KINDLMANN a Jana JERSÁKOVÁ, 2011. *Úvod do biologie ochrany přírody*. Praha: Portál. ISBN 978-80-7367-595-0.
- Profil vod ke koupání - VN Lipno - pláž Lipno nad Vltavou, 2023. *EAgri.cz* [online]. [cit. 2024-02-27]. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/portal/-q356797---WNXtgDqf/vn-lipno-plaz-lipno-nad-vltavou>
- RAMOS, Sara, Vera HOMEM, Arminda ALVES a Lúcia SANTOS, 2016. A review of organic UV-filters in wastewater treatment plants. *Environment International* [online]. **86**, 24-44 [cit. 2024-01-17]. ISSN 01604120. Dostupné z: doi:10.1016/j.envint.2015.10.004
- Regulatory information for cosmetics, 2023. *Canada.ca* [online]. [cit. 2024-01-29]. Dostupné z: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/consumer-product-safety/cosmetics/regulatory-information.html>
- Review of Fate, Exposure, and Effects of Sunscreens in Aquatic Environments and Implications for Sunscreen Usage and Human Health* [online], 2022. Washington, D.C: National Academies Press. National Institute of Health [cit. 2023-12-19]. ISBN 978-0-309-27283-4. Dostupné z: doi:10.17226/26381
- SEEMANN, Katie, 2023. These 7 Locations Have Sunscreen Bans — Here's What You Need To Know. *Zenlifeandtravel.com* [online]. [cit. 2024-01-29]. Dostupné z: <https://www.zenlifeandtravel.com/sunscreen-bans/>
- Seznam přírodních koupališť na povrchových vodách, ve kterých nabízí službu koupání provozovatel a dalších povrchových vod ke koupání pro rok 2018, 2019. *Poh.cz* [online]. [cit. 2024-02-27]. Dostupné z: [https://www.poh.cz/assets/File.ashx?id\\_org=200341&id\\_dokumenty=1395](https://www.poh.cz/assets/File.ashx?id_org=200341&id_dokumenty=1395)

- SIROIS, Jay, 2021. Environmental Effects of Ultraviolet (UV) Filters. In: SURBER, Christian a Uli OSTERWALDER, ed. *Challenges in Sun Protection* [online]. S. Karger, 2021-11-29, s. 236-258 [cit. 2023-12-19]. *Current Problems in Dermatology*. ISBN 978-3-318-06607-4. Dostupné z: doi:10.1159/000517635
- SOLDATOVA, E. A., I. S. IVANOVA, Yu. V. KOLUBAEVA a D. A. SOKOLOV, 2022. Erratum to: Specifics of Chemical Composition Origin of Surface Water in the Arctic Zone of Western Siberia. *Geochemistry International* [online]. **60**(12), 1321-1321 [cit. 2023-12-18]. ISSN 0016-7029. Dostupné z: doi:10.1134/S0016702922190016
- Statista.com, 2023. *Market Research Future* [online]. [cit. 2023-12-19]. Dostupné z: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/sun-protection-products-market-8087>
- Statista.com, 2023. *Sun Protection – Europe* [online]. [cit. 2023-12-19]. Dostupné z: <https://www.statista.com/outlook/cmo/beauty-personal-care/skin-care/sun-protection/europe>
- TANG, Chuan-Ho, Ching-Yu LIN, Shu-Hui LEE a Wei-Hsien WANG, 2017. Membrane lipid profiles of coral responded to zinc oxide nanoparticle-induced perturbations on the cellular membrane. *Aquatic Toxicology* [online]. **187**, 72-81 [cit. 2024-01-16]. ISSN 0166445X. Dostupné z: doi:10.1016/j.aquatox.2017.03.021
- UV Filters, 2024. *Ntp.niehs.nih.gov* [online]. [cit. 2024-01-16]. Dostupné z: <https://ntp.niehs.nih.gov/whatwestudy/topics/uvfilters>
- UV-filters: contamination of seawater may pose high environmental risk, 2022. *Ec.europa.eu* [online]. [cit. 2023-12-19]. Dostupné z: [https://environment.ec.europa.eu/news/uv-filters-contamination-seawater-may-pose-high-environmental-risk-2022-11-09\\_en](https://environment.ec.europa.eu/news/uv-filters-contamination-seawater-may-pose-high-environmental-risk-2022-11-09_en)
- Vodní nádrž Lipno – jihočeské moře, 2024. *Kudyznudy.cz* [online]. [cit. 2024-02-27]. Dostupné z: <https://www.kudyznudy.cz/aktivity/vodni-nadrz-elektrarna-a-informacni-centrum-cez-l>
- WALSH, Patrick J., Sharon SMITH, Lora FLEMING, Helena SOLO-GABRIELE a William H. GERWICK, 2011. *Oceans and Human Health: Risks and Remedies from the Seas*. Academic Press. ISBN 9780080877822.
- ZHANG, Hongming, Lifu ZHANG, Sa WANG a LinShan ZHANG, 2022. Online water quality monitoring based on UV–Vis spectrometry and artificial neural networks in a

river confluence near Sherfield-on-Loddon. *Environmental Monitoring and Assessment* [online]. **194**(9) [cit. 2024-01-17]. ISSN 0167-6369. Dostupné z: doi:10.1007/s10661-022-10118-4

ZHANG, Yunhui, 2019. *Emerging Chemicals and Human Health*. Springer Nature. ISBN 9789813295353.

ZHONG, Xin, Craig A. DOWNS, Yuting LI, Zishan ZHANG, Yiman LI, Binbin LIU, Huiyuan GAO a Qingming LI, 2020. Comparison of toxicological effects of oxybenzone, avobenzone, octocrylene, and octinoxate sunscreen ingredients on cucumber plants (*Cucumis sativus* L.). *Science of The Total Environment* [online]. **714** [cit. 2024-01-16]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.136879

ZHU, Xiaoshan, Jin ZHOU a Zhonghua CAI, 2011. The toxicity and oxidative stress of TiO<sub>2</sub> nanoparticles in marine abalone (*Haliotis diversicolor supertexta*). *Marine Pollution Bulletin* [online]. **63**(5-12), 334-338 [cit. 2024-03-04]. ISSN 0025326X. Dostupné z: doi:10.1016/j.marpolbul.2011.03.006

ZHU, Xiaoshan, Lin ZHU, Zhenghua DUAN, Ruiqi QI, Yan LI a Yupeng LANG, 2008. Comparative toxicity of several metal oxide nanoparticle aqueous suspensions to Zebrafish (*Danio rerio*) early developmental stage. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* [online]. 2008-01-22, **43**(3), 278-284 [cit. 2024-03-04]. ISSN 1093-4529. Dostupné z: doi:10.1080/10934520701792779

## **8 Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk**

### **8.1 Seznam obrázků**

Obrázek 1: Kvalita povrchové vody v ČR v letech 2021-2022.....	15
Obrázek 2: Mapa vodní nádrže Lipno .....	29

### **8.2 Seznam tabulek**

Tabulka 1: Negativní vliv UV filtrů na vodní organismy.....	21
---	----