

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A
ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**



**VYUŽITÍ ÚSTRIC PRO BIOMONITORING TOXICKÝCH
KOVŮ VE VODÁCH KALIFORNSKÉHO ZÁLIVU V TICHÉM
OCEÁNU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D

Bakalant: Anna Karlova

2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Anna Karlova

Krajinářství

Územní technická a správní služba

Název práce

Využití ústřic pro biomonitoring toxických kovů ve vodách Kalifornského zálivu v Tichém oceánu

Název anglicky

Use of oysters for heavy metals biomonitoring in a Gulf of California water, Pacific Ocean

Cíle práce

Hodnocení metody využití ústřic pro biomonitoring toxických kovů v vodách v Kalifornském zálivu v Tichém oceánu z hlediska užitečnosti a perspektiv rozvoje.

Metodika

Práce rešeršního typu na základě informace o výzkumech provedených v této lokalitě různými týmy a popsaných ve vědeckých článcích.

Doporučený rozsah práce

40 stran textu

Klíčová slova

toxické kovy, ústřice, biomonitoring, Kalifornský záliv, Tichý oceán

Doporučené zdroje informací

- Ana Carolina Ruiz-Fernández et al., A comparative study on metal contamination in Estero de Urias lagoon, Gulf of California, using oysters, mussels and artificial mussels: Implications on pollution monitoring and public health risk, *Environmental Pollution*, Volume 243, Part A, 2018, Pages 197-205, ISSN 0269-7491.
- Gongora-Gomez, AM et al., Heavy-metal contents in oysters (*Crassostrea gigas*) cultivated on the southeastern coast of the Gulf of California, Mexico, *HIDROBIOLOGICA*, Volume 27, Part 2, 2017, Pages 219-227, ISSN 0188-8897.
- M.P. Jonathan et al., Bioaccumulation of trace metals in farmed pacific oysters *Crassostrea gigas* from SW Gulf of California coast, Mexico, *Chemosphere*, Volume 187, 2017, Pages 311-319, ISSN 0045-6535.
- Paez-Osuna, F et al., Bioavailability of Cadmium, Copper, Mercury, Lead, and Zinc in Subtropical Coastal Lagoons from the Southeast Gulf of California Using Mangrove Oysters (*Crassostrea corteziensis* and *Crassostrea palmula*), *ARCHIVES OF ENVIRONMENTAL CONTAMINATION AND TOXICOLOGY*, Volume 68, Part 2, 2015, Pages 305-316, ISSN-: 0090-4341.
- Sevilla, NPM et al., Heavy metal concentrations in diploid and triploid oysters (*Crassostrea gigas*) from three farms on the north-central coast of Sinaloa, Mexico, *ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT*, Volume 189, Part 11, 2017, ISSN: 0167-6369.

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 26. 3. 2019

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 3. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 19. 03. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením doc. Mgr. Marka Vacha, Ph.D. Všechny použité materiály jsou uvedeny v přehledu použitých zdrojů. Jako autorka bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 09.03.2020

.....

Anna Karlova

Poděkování

Chtěla bych touto cestou poděkovat vedoucímu své bakalářské práce doc. Mgr. Marku Vachovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky při zpracování práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině za podporu při mém studiu na České zemědělské univerzitě v Praze.

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je zpracování Literární rešerše problematiky využití ústřic pro biomonitoring těžkých kovů ve vodách v Kalifornském zálivu v Tichém oceánu. Práce se zabývala hodnocením nebezpečí kontaminace lokality Kalifornského zálivu těžkými kovy, spojené s bioakumulací a toxicitou těchto prvků, a rizika pro lidské zdraví. Dalším cílem práce byla analýza biomonitoringu z hlediska užitečnosti a hodnocení využití ústřic jako biomonitorů. V práci jsou prezentované a analyzované výsledky prováděných v Kalifornském zálivu výzkumů, popsané faktory, ovlivňující obsah těžkých kovů v tělech ústřic a komplikace hodnocení výsledků.

Klíčová slova: ústřice, těžké kovy, toxické kovy, stopové kovy, biomonitoring, bioindikace, biomonitor, bioindikátor, Kalifornský záliv, Tichý oceán.

Abstract

The aim of this bachelor thesis is a literary research connected with the usage of oysters for heavy metals biomonitoring in the Gulf of California waters, Pacific Ocean. The bachelor thesis takes concern of the assessment of the danger of heavy metal contamination of the Gulf of California, associated with bioaccumulation and toxicity of these elements, and the public health risk. Another aim of the thesis was to analyze the usefulness of biomonitoring and to evaluate the usage of oysters as biomonitors. The thesis presents and analyzes the results of researches, carried out in the Gulf of California, describes the factors affecting the heavy metal content in oyster bodies and the complications of the evaluation of the results.

Keywords: oysters, heavy metals, toxic metals, trace metals, biomonitoring, bioindication, biomonitor, bioindicator, Gulf of California, Pacific Ocean.

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíle práce	2
3. Metodika	2
4. Literární rešerše	3
4.1. Zájmové území	3
4.1.1. Všeobecná informace	3
4.1.2. Kontaminace vodního prostředí těžkými kovy	4
4.2. Těžké kovy	4
4.2.1. Těžké kovy, stopové kovy, toxické kovy	4
4.2.2. Těžké kovy v přírodě	5
4.2.3. Vstup toxikantů do vodního prostředí	7
4.2.4. Změny toxikantů ve vodním prostředí	7
4.2.5. Hromadění těžkých kovů v životním prostředí	9
4.2.6. Toxické účinky jednotlivých těžkých kovů	10
4.2.7. Zdroje kontaminace životního prostředí těžkými kovy	13
4.2.8. Nemoci způsobené trvalou otravou těžkými kovy.....	14
4.3. Biomonitoring. Úvod a terminologie	15
4.3.1. Bioindikace	15
4.3.2. Biomonitoring.....	16
4.3.3. Bioindikatory	16
4.3.4. Biomonitory.....	18
4.3.5. Aktivní a pasivní biomonitoring.....	18
4.3.6. Výhody biomonitoringu proti tradičním výzkumům.....	19
4.4. Ústřice	19
4.5. Využití ústřic jako biomonitorů	20
4.6. Standartní výzkum	21
4.6.1. Sběr a doprava vzorků	21
4.6.2. Příprava k výzkumu.....	21
4.6.3. Výzkum.....	22
4.7. Faktory ovlivňující koncentrace těžkých kovů ve tkáních ústřic	24
4.7.1. Antropogenní činnost	25
4.7.2. Parametry vody	27
4.7.3. Přírodní jevy	27
4.7.4. Druh ústřic.....	28
4.7.5. Váha jedinců.....	28
4.7.6. Reprodukční cyklus.....	28
4.7.7. Srážky.....	28
4.8. Komplexní využití různých biomonitorů	29
5. Výsledky	33
6. Diskuze	35

7. Závěr	37
8. Přehled literatury a použitých zdrojů:	38

1. Úvod

S rozvojem lidstva a zvýšením počtu lidské populace stále rostou požadavky obyvatelé na množství hodnot, nezbytných pro každodenní život. Rostoucí poptávka motivuje výrobce produkovat co největší množství zboží pro uspokojení spotřebitele, a především zvýšení příjmů. Bohužel to často nejde v souladu s přirozenými procesy a má škodlivý vliv na životní prostředí. V zemědělství pro zvýšení produktivity se používají hnojiva, insekticidy, herbicidy a fungicidy, průmyslové jednotky a dopravní prostředky eliminují látky, znečišťující ovzduší, zvyšuje se množství odpadů a odpadních vod.

Vodní prostředí je domovem pro vodní rostliny, živočichy a mikroorganismy a taky zdrojem potravy pro vodní ptáky, zvířata a lidi. Tím pádem každý toxikant, uložený ve vodním prostředí vstupuje do potravního řetězce, a tak se šíří otravy a související nemoci. Kontaminace vodního prostředí těžkými kovy je v dnešní době velkým problémem kvůli výrazné toxicitě těchto prvků a schopností bioakumulace (Kafka a Punčochářová, 2002).

Biomonitoring je metoda, která slouží především pro hodnocení současného stavu znečištění prostředí, odhalení přítomností znečišťujících látek v živých organismech a jejich koncentrace, predikce potenciálního dopadu konzumace potravy, která z tohoto prostředí pochází, a umožňuje navrhnout plán rozvoje území a opatření k vylepšení současného stavu, případně zastavení šíření nemocí (Conti, 2008).

2. Cíle práce

Literární rešerše problematiky využití ústřic pro biomonitoring toxických kovů ve vodách v Kalifornském zálivu v Tichém oceánu.

Jednotlivé cíle práce:

- 1) Seznámení s lokalitou Kalifornského zálivu a hodnocení nebezpečí kontaminace těžkými kovy.
- 2) Seznámení s pojmy toxický kov, těžký kov, stopový kov, problematikou kontaminace vodního prostředí těžkými kovy, hromadění těžkých kovů v životním prostředí a toxických účinků na živé organismy.
- 3) Seznámení s pojmy biomonitoring, bioindikace, biomarker, bioindikátor, biomonitor.
- 4) Seznámení s výzkumy, provedenými v této lokalitě různými týmy a popsány ve vědeckých článkách, výsledky a faktory, které je ovlivňují.
- 5) Hodnocení účinností využití ústřic pro biomonitoring těžkých kovů ve vodách v zájmovém území.

3. Metodika

- 1) Vyhledávání odborné literatury, vědeckých článků a webových zdrojů.
- 2) Zpracování literární rešerše.
- 3) Hodnocení výsledků

4. Literární rešerše

4.1. Zájmové území

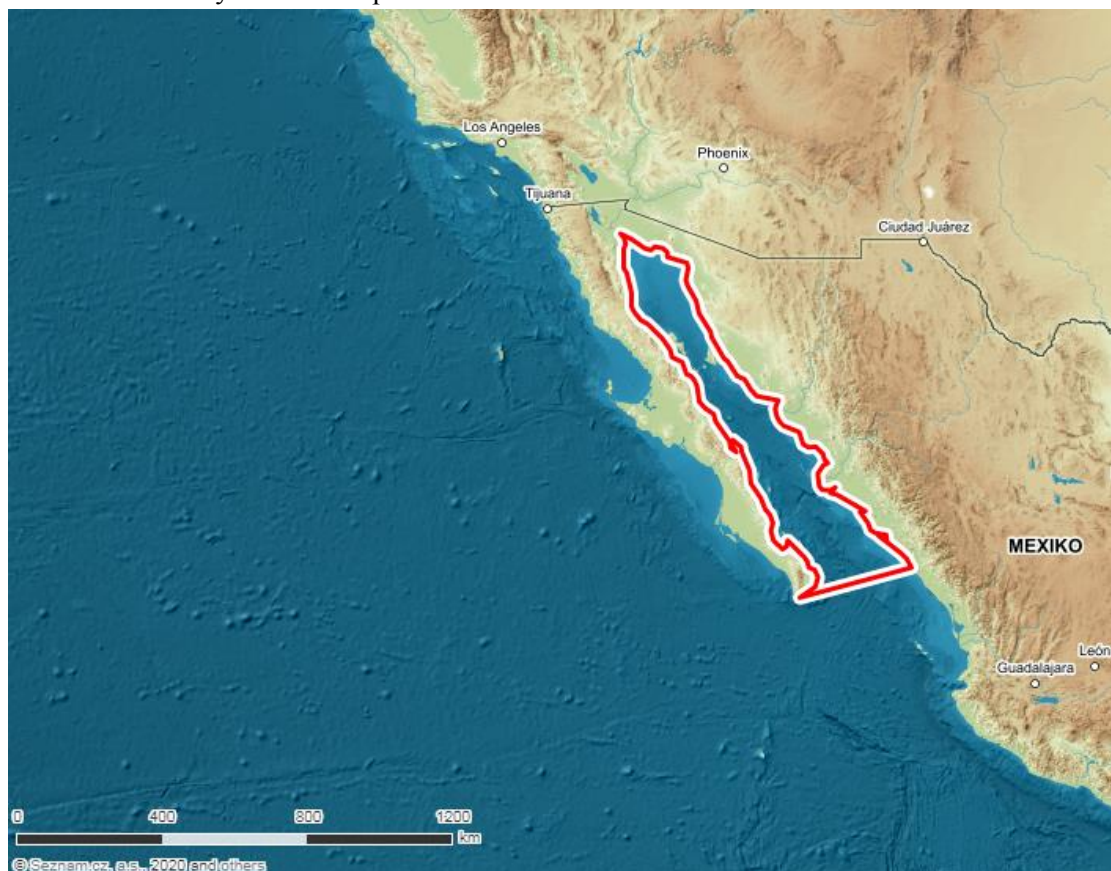
4.1.1. Všeobecná informace

Kalifornský záliv je záliv mezi Kalifornským poloostrovem a mexickou pevninou. Rozloha činí 160 000 km², délka pobřeží 4 000 km. Je obklopen Sonorskou pouští a mexickými státy Sinaloa, Sonora, Baja California a Baja California Sur. Do zálivu vtékají řeky Colorado, Sonora, Sinaloa, Fuerte, Mayo a Yaqui (www.britannica.com).

Přírodní prostředí Kalifornského zálivu je unikátní především svou biodiverzitou, žijí zde 39 % všech druhů mořských savců, 891 druhů ryb, včetně 90 endemických, velké množství mořských bezobratlých a celá lokalita patří k nejméně porušeným vodním ekosystémům. Vyskytují se tady vzácné sukulentní rostliny a vodní ptáky.

Od roku 2005 je na seznamu světového dědictví UNESCO 12 chráněných území Kalifornského zálivu pod názvem „Ostrovky a chráněná území Kalifornského zálivu“. Jsou mezi nimi chráněná území flory a fauny, biosférické rezervace, národní parky (www.worldwildlife.org).

Obr. 1 Kalifornský záliv na mapě



Zdroj: mapy.cz

Zemědělství

Ve státu Sonora je značně vyvinuté zemědělství, pěstuje se zde pšenice (40 % mexické pšenice se produkuje v Sonoře), brambory, vodní melouny, dýně, kukuřice, bavlna, pomeranče, chová se dobytek a prasata. Důležitá i akvakultura, Sonora je dodavatelem velkého množství ryby a mořských plodů.

Stát Sinaloa je taky významnou zemědělskou lokalitou, pěstují tady rajčata, fazole, kukuřice, brambory, sóju, cukrovou třtinu, dýně.

Ve státech Baja California a Baja California Sur je rozvinuté rybářství a chov zvířat, pěstování kukuřice a pšenice.

Těžba

Ve státu Sonora je rozvinuta těžba zlata, stříbra, mědi, železa, zinka, bismuat, kamenných uhlí.

Průmysl

V Sinaloa jsou potravinové, textilové a automobilové továrny. Ve státu Baja California Sur je vyvinutý potravinářský a lehký průmysl (www.britannica.com).

4.1.2. Kontaminace vodního prostředí těžkými kovy

Lokalita Kalifornského zálivu není výrazně kontaminovaná toxickými kovy. Ale přestože obsah těchto prvků ve vodách a sedimentech nepřevyšuje stanovené limity, je stabilně vysoký a stoupá (Ochoa-Valenzuela et al., 2009).

V roce 2011 došlo k tomu, že koncentrace olova ve vodách pobřeží mexického státu Sinaloa překročila přípustnou podle Agentury ochrany životního prostředí Spojených států amerických (Jonatan et al., 2017).

Tím pádem jde o potenciálně rizikovou lokalitu, která potřebuje pozornost a péče.

4.2. Těžké kovy

4.2.1. Těžké kovy, stopové kovy, toxické kovy

Termín těžký kov se používá pro jakýkoliv kov nebo polokov, který svými účinky ohrožuje živé organismy. Termín vznikl na základě objevení škodlivých účinků rtuti, kadmia a olova, jejichž hustota je vyšší než hustota železa (Kumar et al., 2013).

Dnes se používá i pro další kovy či polokovy, které představují riziko pro živé organismy, bez ohledu na jejich hustotu, jako jsou:

Těžké kovy (heavy metals) – kovy, specifická hmotnost, kterých je vyšší než 5 g.cm⁻³, například kadmium, rtuť a olovo.

Stopové kovy (trace metals) – kovy, přítomné v živých organismech a životním prostředí ve velmi malých koncentracích (několik částic v milionů částic okolního prostředí), například železo, chrom, zinek.

Toxické kovy – kovy, které v určitých koncentracích mají škodlivý účinek na živé organismy.

Když jde o nebezpečné pro biotu kovy nebo polokovy, ekotoxikologická terminologie upřednostňuje termín těžký kov a zahrnuje do této skupiny olovo, arzen, selen, měď, zinek, kadmium, rtuť, chrom, nikl (Kafka a Punčochářová, 2002).

4.2.2. Těžké kovy v přírodě

V přírodě se těžké kovy vyskytují jako ryzí nebo ve formě solí, taky jsou přirozenou součástí zemské kůry v určitých nízkých koncentracích. Lokálně se vyskytují vyšší přirozená množství kovů ve formě rud.

V životním prostředí se pohybují v biologických a geochemických cyklech, prostřednictvím kterých přecházejí do živých částí ekosystémů. Některé mikroorganismy umožňují sloučení organických látek a toxických kovů. Vzniklé sloučeniny jsou z hlediska toxicity nebezpečnější než původní kovy (Kafka a Punčochářová, 2002).

Ve vodním prostředí se vyskytují ve formě kationtů, oxidů nebo organických sloučenin (Gautam et al., 2015).

Arzen

V přírodě se vyskytuje většinou ve formě sulfidů (FeAsS , As_4S_4 , As_2S_3). Ve vodě převažují anorganické formy arzenu, ale biologickou činností mikroorganismů se mohou vytvořit organické methylderiváty arzenu, kteří jsou výrazně méně toxické.

Za toxických podmínek převažuje arzen v oxidačním stupni V (arseničnany), za anoxických v oxidačním stupni III (arseniáty). Arseniáty se vstřebávají do organismu rychleji a jsou toxičtější než arseničnany.

Arzen má schopnost akumulovat se ve vodních organismech, ale dochází tím k transformaci toxických sloučenin arzenu na arsenocholin a další organické sloučeniny, které nejsou tak toxické pro lidi (Kopp et al., 2015).

Chrom

V přírodě se vyskytuje jako minerál chromit (FeCr_2O_4) a krokolit (PbCrO_4). Ve vodním prostředí se vyskytuje ve sloučeninách v oxidačním stupni III a VI. Chrom v oxidačním stupni III je biogenní prvek, který je zapojen do metabolismu cukru, ale je toxičtější pro ryby a vodní bezobratlé než šestimocná forma.

Toxicitu chromu snižuje snížení pH a zvýšení obsahu vápníku a hořčiku (Kopp et al., 2015).

Je to jeden z nejvýznamnějších kontaminantů životního prostředí, ve kterém je velmi mobilní. Je značně toxický pro rostliny a snižuje úrodnost půdy, ale nevstupuje do potravních řetězců kvůli tomu, že se akumuluje v kořenových systémech rostlin (Kafka a Punčochářová, 2002).

Kadmium

Ve vodě se vyskytuje ve formě oxidů, chloridů nebo síranů a pouze v oxidačním stupni II. Tvoří komplexy s organickými látkami.

Toxicitu kadmia snižuje snížení pH a zvýšení obsahu vápníku a hořčíku (Kopp et al., 2015).

Akumuluje se v průmyslových rostlinách (například tabák) a vyšších houbách, organismech mořských živočichů jako jsou ústřice, mušle a krabi, v menší míře ryb (Kafka a Punčochářová, 2002).

Měď

V přírodě se vyskytuje většinou ve formě sulfidů (chalkopyritu CuFeS_2 a chalkosinu Cu_2S) v důsledku rozkladu kterých dostává do podzemních vod.

Tvoří komplexy s jinými látkami, a proto se ve vodách vyskytuje v různých formách v závislosti na složení vody. Toxicitu mědi je tedy především ovlivňuje obsah organických látek, hodnota pH, obsah vápníku, hořčíku a sodíku (Kopp et al., 2015). Může se akumulovat v rostlinách, půdě a vodě (Gautam et al., 2015).

Nikl

V přírodě se objevuje v minerálech společně se sírou, arzenem a antimonem, například v gersdorfitu (NiAsS), nikelinu (NiAs), milleritu (NiS). Toxicita je výrazně ovlivněná fyzikálně chemickými vlastnostmi vody (Kopp et al., 2015).

Kontaminace vodního prostředí způsobují hlavně rozpustné ve vodě soli niklu (Gautam et al., 2015). Nikl se kumuluje v řasách, organismech vodních živočichů a v menší míře ryb. Kumuluje se v akvatických trofických řetězcích.

Významně kontaminuje půdní prostředí a negativně ovlivňuje související fytoocenózu, dochází často k úplné devastaci přirozené vegetace (Kafka a Punčochářová, 2002).

Olovo

Je přirozenou součástí zemské kůry (Gautam et al., 2015). Nejrozšířenější olověné rudy jsou galenit (PbS), anglesit (PbSO_4) a cerusit (PbCO_3). Toxicita olova ve vodním prostředí klesá se s rostoucí hodnotou pH a množstvím organických látek (Kopp et al., 2015).

Rtuť

Ve vodním prostředí se objevuje ve formě anorganických (HgCl_2 , $\text{Hg}(\text{OH})_2$, HgS) a organických (methylrtuť) sloučenin. Elementární rtuť a její sloučeniny v sedimentech dna v důsledku činností mikroorganismů podléhají metylaci. Produktem metylace je methylrtuť, jeden z nejvýznamnějších toxikantů. Methylrtuť vstupuje do

potravinových řetězců a ve značné míře se akumuluje ve vodních organismech (Kopp et al., 2015).

Zinek

Zinek je přirozenou součástí hornin, půd a sedimentů. Nejrozšířenější zinkové rudy jsou sfalerit (ZnS) a smithsonit (ZnCO₃) (Kopp et al., 2015).

4.2.3. Vstup toxikantů do vodního prostředí

Existují 3 typy znečištění vodního prostředí: plošné, rozptýlené a bodové.

K plošnému znečištění patří splachy z polí, lesů a luk. Hlavním zdrojem toxikantů je zemědělství (využití hnojiv, pesticidů, herbicidů atd.). Srážková voda tedy přináší tyto látky do recipientu.

Rozptýlené znečištění – vyústění odpadních vod z nemovitostí a menších celku na delším úseku toku.

Bodové znečištění – odtok odpadních vod z průmyslových závodů a skládek, umístěných v úzkém prostorů kanalizací nebo i v jednom bodě.

Mezi hlavní zdroje toxikantů vodního prostředí patří průmysl, zemědělství, doprava a komunální odpadní vody.

Vstup toxikantu do vodního prostředí může být záměrný (aplikace) nebo neúmyslný (únik). Pro popis pohybu toxikantu v prostředí se používají matematické modely, které sledují prostorovou distribuce a časový vývoj koncentrací látek.

Bilanční směšovací rovnice

Základní model pro odhad kvality vody v toku po smíšení a odpadními vodami.

$$C = (C1 \times Q1 + C2 \times Q2) / (Q1 + Q2) \text{ [g.m-3]}, \text{ kde}$$

C – koncentrace toxikantu v recipientu po smíšení vod (g.m-3)

C1 – koncentrace toxikantu v recipientu nad vyústěním odpadních vod (g.m-3)

C2 – koncentrace toxikantu v odpadních vodách (g.m-3)

Q1 – průtok v recipientu nad vyústěním odpadních vod (m³.s-1)

Q2 – průtok odpadních vod (m³.s-1)

(Kopp et al., 2015)

4.2.4. Změny toxikantů ve vodním prostředí

Ve vodním prostředí dochází k procesům, které mohou změnit chemické složení toxikantu, míru toxicity, ovlivnit jeho pohyb v prostředí, transformace a degradace.

Oxidace

Reakce látky s kyslíkem, vedoucí ke vzniku kyslíkových radikálů. Vzniklá látka tedy může mít větší toxicitu než původní (Kopp et al., 2015).

Difuze

Samovolné mísení látek, které jsou v bezprostředním kontaktu. Když dvě tekutiny mají různou koncentraci určité látky, po smísení a dosažení rovnováhy budou jí mít stejnou, jako v případě zředování látek odpadních vod, vypouštěných do recipientu (Kopp et al., 2015).

Difuzí popisuje 1. Fickův zákon:

$$J_A = -D_A \cdot \frac{\partial c_A}{\partial x}$$

[kg.m⁻²s⁻¹], kde

J_A – difuzní tok molekul A

dc_A/dx – gradient koncentrace látky A na rozhraní x

D – difuzní koeficient (Anděl, 2011)

Fotolýza

Abiotický degradační proces. Základem je absorpce elektromagnetického slunečního záření látkou. Probíhá pouze v dostupných slunečnímu záření ekosystémech a je významný pro organické látky (Kopp et al., 2015).

Hydrolyza

Rozklad chemické látky působením vody (Kopp et al., 2015). Významný mechanismus reakcí toxikantu vzhledem k rozšíření a úloze vody v organismech a životním prostředí (Anděl, 2011).

Sorpce

Ukládání toxikantu v organické nebo neorganické hmotě (Kopp et al., 2015). Proces probíhá na rozhraní dvou fází, kapalně a plynně, kapalně a pevně nebo plynně a pevně.

Základní procesy podle mechanismu zachytu:

- Adsorpce – látka je zachytávána přitažlivými silami na povrchu pevné fáze.
- Absorpce – látka se zabudovává do pevné fáze nebo pod povrch pevné fáze.
- Iontová výměna – látka se váže na iontově aktivní místo.

V praxi se uvedené procesy často kombinují (Anděl, 2011).

Volatilizace

Uvolňování látky z pevné nebo kapalní fáze do plynné (Kopp et al., 2015).

Pro popis procesu je základní Henryho zákon: Množství rozpuštěného plynu v kapalině je při stálé teplotě úměrné parciálnímu tlaku nad kapalinou.

$$C = K_H \cdot p$$

[mol.m⁻³], kde

C – Koncentrace rozpouštěného plynu [mol.m⁻³]

K_H – Henryho konstanta [Pa.mol⁻¹.m⁻³]

P – Parciální tlak plynu [Pa]

Henryho konstanta je parametrem pro klasifikaci látek z hlediska potenciálu k volatizaci. Látky s vyšší tendencí k volatizaci mají vyšší K_H (Anděl, 2011).

Biologická degradace

Biochemický mechanismus odstraní toxikantu z organismu například rozložením na netoxické složky nebo složky, které se da snadné vyloučit.

V životním prostředí nejdůležitější je mikrobiální rozklad, takto se rozkládá většina organických toxikantů. Mikroorganismy využívají molekuly toxikantu jako zdroj energie a hmoty (uhlíku).

Z hlediska přítomnosti kyslíku biologická degradace se dělí na:

- Aerobní – za přítomnosti kyslíku.
- Anaerobní – bez přítomnosti kyslíku (Anděl, 2011).

4.2.5. Hromadění těžkých kovů v životním prostředí

Po vstupu toxikantu do organismu může dojít k jeho zániku, vyloučení nebo akumulaci v tkáních s postupným zvýšením koncentrací (Kopp et al., 2015).

Vzhledem k tomu že na rozdíl od organických látek kovy nikdy nedegradují, je nezbytné počítat s jejich akumulací. (Kafka a Punčochářová, 2002).

Biosorpce – metabolicky pasivní proces ukládání látky v hmotě biologického původu, ne tkáních živých organismů.

Bioakumulace – metabolicky aktivní proces ukládání látky v tkáních živých organismů (Chojnacka, 2009). Jde o ukládání látky, přijaté zároveň z životního prostředí a potravy (Kopp et al., 2015).

Biokoncentrace – ukládání v tkáních živých organismů látky, přijaté jenom z životního prostředí, ne z potravy (Kopp et al., 2015). Přitom toxikant se v organismu hromadí ve vyšší koncentraci než v okolním prostředí.

Meřítkem biokoncentrace je biokoncentrační faktor BCF, poměr mezi koncentrací látky v organismu a v prostředí.

$$BCF = C_{\text{organismus}} / C_{\text{prostředí}}$$

Schopnost biokoncentrace je základní podmínkou využití organismu jako akumulčního bioindikátoru (Anděl, 2011).

Biomagnifikace – ukládání toxikantu v organismu v rámci trofických úrovní. Se zvýšením stupně potravního řetězce zvyšuje se koncentrace toxikantu (Kopp et al., 2015).

Tyto procesy jsou široce používány pro odstranění kovových kationtů z vod, například biosorpce mědi, kadmia, olova, chromu, zinku, niklu a bio akumulace kadmia, mědi, rtuti, olova, chromu, zinku (Chojnacka, 2009).

4.2.6. Toxické účinky jednotlivých těžkých kovů

V závislosti na koncentraci může jedna a tatáž látka mít pozitivní nebo negativní vliv na živé organismy. I když je látka v nízké koncentraci neškodná pro biotu, se zvýšením koncentraci může být velmi toxická případně letální (Kopp et al., 2015).

Ionty těžkých kovů pronikají do organismu trávicí a dýchací soustavou, kůží, u embryotických a teratogenních látek i placentou. Po určité době pronikají do krve a její prostřednictvím se roznášejí po těle na tzv cílové orgány. Cílovým je organ který je daným kovem ovlivněn nebo ho akumuluje.

Cílové orgány pro jednotlivé druhy těžkých kovů:

Olovo – dlouhé kosti, mozek, játra, ledviny, placenta.

Arzen – centrální nervový systém, kůže, vlasy.

Kadmium – ledviny, játra, varlata.

Rtuť - mozek, játra, ledviny, imunitní systém.

Chrom – plíce, játra, ledviny, pohlavní orgány, kůže.

Nikl – plíce, srdce, imunitní systém, kůže.

Poškození organismu je přímo úměrné době přítomnosti kovu. Proto se pro každý kov určuje hodnota biologického poločasu – doba, za kterou organismus vyloučí polovinu naakumulované látky. Hodnoty biologického poločasu se pro jednotlivé druhy těžkých kovů liší. U arzenu, kobaltu, rtuti a chromu trvá hodiny až dny, u olova a kadmia jde o dvacet až třicet let.

Otrava těžkými kovy způsobuje regenerační potíže, dermatitidy, poškozuje vnitřní orgány a taky má karcinogenní účinky (Kafka a Punčochářová, 2002).

Olovo

90 % přijatého olova se kumuluje v kostech, kde negativně ovlivňuje krvetvorbu což způsobuje anemie. Když má tělo nedostatek vápníku, může toxicky působit na vnitřní orgány a poškodit ledviny, játra, reprodukční a nervový systém (Kafka a Punčochářová, 2002).

Intoxikace olovem je příčinou nevratného poškození mozku a encefalopatie (Gautam et al., 2015). Může způsobit mentální retardace u dětí. V době těhotenství může poškodit nervový systém plodu nebo způsobit potrat. Má karcinogenní účinek. Pro člověka nejnebezpečnější je vstup olova do organismu trávicí soustavou, protože vede k nejvyšší zadrž v organismu. Je vysoce toxický pro divoká zvířata (Kafka a Punčochářová, 2002).

Arzen

Sloučeniny arzenu jsou silně toxické a mají vysokou kumulativní schopnost. Ukládají se v játrech, ledvinách, kůži, vlasech a nehtech. V době těhotenství způsobují teratogenní poškození plodu. Mají negativní vliv na nervovou soustavu, rušivě zasahují do metabolismu tuků a cukrů, blokují tvorbu metabolické energie. Způsobují propustnost stěn kapilár, regenerační potíže, záněty kůže. Mutagenní, teratogenní a karcinogenní účinky. Arzen ve vysokých koncentracích je toxickým pro rostliny. Má teratogenní účinky pro zvířata (Kafka a Punčochářová, 2002).

Selen

Je součástí metaloenzymů v organismu člověka, antioxidant, snižuje toxicitu kadmia, rtuti. Vyšší dávky mohou mít toxický účinek na člověka, ale k otravám dochází velmi zřídka.

Významná toxicita na skot, způsobuje cirózu jater, úbytek váhy, vypadávání srsti, malformace kopyt, ztrátu orientace v prostoru, slepotu u mladých jedinců (Kafka a Punčochářová, 2002).

Měď

Jako selen je součástí metaloenzymů, je nutná pro bezchybný metabolismus železa v organismu člověka a její nedostatek způsobuje zhoršení syntézy hemoglobinu a anemické stavy. Má schopnost hromadit se v těle.

Zvýšená koncentrace vede ke zdravotním potížím jako jsou poškození jater a ledvin, regenerační potíže (Kafka a Punčochářová, 2002). Je příčinou nevolnosti, podráždění sliznic, poruch reprodukčního a centrálního nervového systému, trávicí soustavy. V době těhotenství poškozuje plod. Novorozené děti jsou velmi citlivé ke škodlivým účinkům mědi (Gautam et al., 2015). Způsobuje taky Wilsonovou nemoc, souvisící s chtonickou akumulací mědi v játrech, ledvinách, mozku a oční rohovce. U dětí mladší, než tři roky je příčinou Mankesové choroby, která vede k duševní a fyzické retardaci, dokonce i smrti (Kafka a Punčochářová, 2002).

Je nepříliš toxická pro zvířata a mírně toxická pro rostliny a řasy. Má vysokou toxicitu pro nižší organismy jako jsou bakterie, plísně a nižší houby (Kafka & Punčochářová, 2002).

Zinek

Určitá nízká koncentrace zinku je nezbytná pro člověka, zvířata a rostliny. Je součástí metaloenzymů a je důležitý pro metabolismus bílkovin a nukleových kyselin (Kafka a Punčochářová, 2002).

Vysoká koncentrace vede ke zdravotním potížím, jako jsou nevolnost, zvracení u dětí, anemické stavy, problémy s cholesterolem, dokonce i smrti (Gautam et al., 2015).

Je velmi toxický pro vodní a půdní organismy (Kafka & Punčochářová, 2002).

Kadmium

Je vysoce toxický pro biotu i v malých koncentracích (Gautam et al., 2015). Způsobuje poškození ledvin a reprodukčních orgánů, zvýšení krevního tlaku, destrukce červených krvinek, křehnutí kostí. Má karcinogenní účinek (Kafka a Punčochářová, 2002). Způsobuje renální dysfunkce, degenerativní onemocnění páteře, osteomalacie (Gautam et al., 2015).

Má teratogenní účinky na zvířata (Kafka a Punčochářová, 2002).

Rtuť

Toxické účinky zaleží na formě, ve které se rtuť vyskytuje (kovová rtuť, páry rtuť, organické a anorganické sloučeniny rtuti) a délce expozice. Způsobuje poškození krevních buněk a poruchy přenosů nervových impulzů z mozku.

Páry rtuti poškozují centrální nervový systém, silné expozice vedou až ke smrti v důsledku závažného poškození plic.

Anorganické sloučeniny rtuti mohou poškodit ledviny. Děti jsou hypersenzitivní k danému typu látek.

Jde o mutagenní a embryotoxickou látku (způsobuje poškození plodu a spontánní potrat). Je velmi toxická pro děti, u nichž způsobuje smyslové poruchy až hluchotu, slepotu, ztrátu chuti.

Methylrtuť $[\text{CH}_3\text{Hg}]^+$ je nejnebezpečnější sloučeninou rtuti. Akumuluje se v tělech ryb a mořských živočichů, a tak dostává do dalších článků potravního řetězce ke zvířatům a lidem. Pro ryby je v určitých koncentracích toxická. Poškozuje taky vodní bezobratlé a řasy. (Kafka a Punčochářová, 2002)

Konzumace toxikovaných methylrtuti ryb a mořských živočichů způsobuje vážné onemocnění, jako to bylo v Minamatě v Japonsku (tzv. Minamatská choroba nebo Nemoc Chisso-Minamata) (Gautam et al., 2015).

Příznaky Minamatské choroby u dospělých: ataxie, hypestezie končetin, ztráta periferního vidění, generalizovaná myastenie, poškození sluchu, vady řeči. V nejhorších případech dochází ke šílenství, kómatu a smrti (Harada, 1995).

Konzumace toxikované potravy těhotnými ženami způsobuje narození mentálně narušených a fyzicky zdeformovaných dětí (Gautam et al., 2015).

Chrom

V živých organismech ve stopovém množství je esenciálním prvkem. (Kafka a Punčochářová, 2002). Zvýšená koncentrace způsobuje poruchy centrálního nervového systému (Gautam et al., 2015).

Silně toxickou látkou je šestimocný chrom, sloučeniny kterého mají karcinogenní a mutagenní účinky, poškozují játra a ledviny, způsobují vnitřní krvácení a alergické reakce jako závažné dermatitidy (Kafka a Punčochářová, 2002).

Nikl

Má výtažné toxické účinky pro lidské organismy. Je příčinou závažných dermatitid až chronických ekzémů. Chronické otravy vedou k poškození srdečního svalu, ledvin a centrálního nervového systému. Má karcinogenní účinek pro lidi a mutagenní účinek pro zvířata. Mořské organismy jsou vůči toxicitě niklu odolnější než sladkovodní (Kafka a Punčochářová, 2002).

4.2.7. Zdroje kontaminace životního prostředí těžkými kovy.

Olovo

Významnými zdroje znečištění jsou úpravny rud, hutě, rafinerie, chemický průmysl, akumulátory, pigmenty do barev, zemědělství (hnojiva, insekticidy), spalování fosilních paliv, autodoprava (olovnaté benziny) (Kafka a Punčochářová, 2002).

Arzen

Překračující normu koncentrace arzenu v půdě se může v některých lokalitách vyskytovat přirozeně (Gautam et al., 2015).

Antropogenními zdroje kontaminace jsou zpracování rud, zemědělství (je přítomný v hnojivech, insekticidech, léčivech pro veterinární medicínu), taky je součástí ochranných prostředků na dřevo (Kafka a Punčochářová, 2002). Dalšími zdroje znečištění jsou komunální a průmyslové odpadní vody, těžba, výroba barev, tepelné elektrárny, z přirozených procesů eroze hornin (Kopp et al., 2015).

Měď

Významnými zdroje znečištění jsou elektrotechnický materiál, slitiny (mosazi, bronzy), komunální odpad, zemědělství (fungicidy), chemický průmysl (Kafka a Punčochářová, 2002), hornictví, těžký průmysl, kuchyňské potřeby (Gautam et al., 2015).

Selen

Zpracování rud, komunální odpad, spalování fosilních paliv, polovodiče (Kafka a Punčochářová, 2002).

Zinek

Galvanizace, pigmenty do barev, slitiny, komunální odpad, zemědělství, kouření (Kafka a Punčochářová, 2002), těžký průmysl, hornictví, průmyslové aplikace, spalování uhlí (Gautam et al., 2015).

Kadmium

Antropogenními zdroje kontaminace jsou zemědělství (využití fosfátových hnojiv), spalování fosilních paliv, kouření. Je součástí pigmentů do barev a plastů, baterií (Kafka a Punčochářová, 2002). Galvanizace, pájky, televizory, výroba keramiky, fotografie, elektronika, těžký průmysl, povrchová úprava kovů, prací prostředky (Gautam et al., 2015).

Rtuť

Zpracování rud, zemědělství (herbicidy, fungicidy), elektrochemie, katalytické procesy, baterie, lékařství (teploměry, zubní amalgamy), spalování fosilních paliv (Kafka a Punčochářová, 2002), průmyslové aplikace, hornictví, rtuťové výbojky. (Gautam et al., 2015).

Chrom

Výroba papíru a gumy. Široké využití sloučenin chromu pro průmyslové aplikace způsobuje především kontaminace odpadních vod (Gautam et al., 2015). Chemický průmysl, spalování fosilních paliv, pigmenty do barev, ochranné prostředky na dřevo, zpracování kůže, výroba cementu (Kafka a Punčochářová, 2002).

Nikl

Úpravny rud, hutě, rafinerie, baterie, kosmetika, slitiny, kouření (Kafka a Punčochářová, 2002), galvanizace, automobilová a letní doprava, baterie, zapalovací svíčky, mince, ocel, drogerie (Gautam et al., 2015).

4.2.8. Nemoci způsobené trvalou otravou těžkými kovy

Minamatská choroba

Minamatská choroba nebo Nemoc Chisso-Minamata – neurologické onemocnění zapříčiněné otravou methylrtuť.

Objevilo se v Japonsku v Minamatě (prefektura Kumamoto) v roce 1956. Chemická továrna „Chisso“ dlouhodobě vypouštěla do Minamatského zálivu odpadní vody s vysokým obsahem neorganických sloučenin rtuti (například síranu rtuťnatého), které byly usazené v sedimentech a metabolizované bakteriemi na methylrtuť $[CH_3Hg]^+$. Jde o jednu z nejtoxičtějších látek, která navíc má schopnost akumulovat se v tkáních živých organismů, a tak vstupovat do potravního řetězce.

Koncentrace rtuti v tělech mořských živočichů činila: mlži – 11,4 ppm, ústřice – 5,61 ppm, krábi – 35,7 ppm, ryby – 14,9 ppm. (Harada, 1995).

Pro srovnání, maximální přípustná koncentrace rtuti v rybě a mořských plodech podle současných standartu Evropské Unie činí 0,5-1 ppm. (<https://eur-lex.europa.eu>).

V důsledku konzumace ryb a mořských bezobratlých z vod Minamatského zálivu došlo u místních obyvatel k intoxikaci methylrtutí. Postižené trpěli ataxií (porucha koordinace pohybu), hypestezií končetin, poškozením až úplnou ztrátou sluchu, ztrátou periferního vidění, poruchami paměti, generalizovanou myastenií, vadami řeči. V krajních případech docházelo ke šílenství, kómatu a smrti. U těhotných žen konzumace toxikované potravy způsobovala narození dětí s mentálními poruchami a fyzickými deformacemi.

Během 35 let od objevení Minamatské choroby bylo oficiálně zaznamenáno 2200 postižených, ale pravděpodobně reálné číslo je mnohém větší. I dnes není žádný lék na Minamatskou chorobu, a proto léčení spočívá jenom v tlumení symptomů.

Docházelo i k postižení zvířat, především prasat, psů a koček („horečka tančících koček“) (Harada, 1995).

Nemoc itai-itai

Nemoc itai-itai - chronická intoxikace solemi kadmia. Objevila se v Japonsku v prefektuře Tojama. První případy byly zaznamenány již v roce 1912 a v 50 letech 20 století došlo k epidemii.

V důsledku intenzifikace těžby kovových rud (především kadmiových) došlo ke znečištění vod řeky Jinzu solemi těžkých kovů. Dlouhodobá konzumace ryb z této řeky a rýže z polí, zavlažovaných taky vodami Jinzu, způsobila otravu obyvatele (www.icett.or.jp).

Maximální zjištěná koncentrace kadmia v půdě podél řeky Jinzu činila 4,85 ppm, v neleštěné rýži 4,23 ppm. V nekontaminovaných lokalitách regionu koncentrace kadmia v půdě činila 0,34 ppm, v neleštěné rýži 0,99 ppm.

Mezi symptomy nemocí patří osteomalacie, snížení krevního tlaku, svalová hypotrofie, patologické zlomeniny, deformace kostí, anemie, v nejhorších případech dochází ke selhání ledvin a smrti. (Kasuja, 2000)

Od roku 1964 do roku 2015 bylo oficiálně zaznamenáno 200 postižených, ze kterých přežili jenom 5, a 388 lidí byli identifikováni jako potenciální oběti. (www.icett.or.jp)

4.3. Biomonitoring. Úvod a terminologie

4.3.1. Bioindikace

Bioindikace je založena na principu vzájemné provázanosti živé přírody a prostředí. Při změnách prostředí se organismy přizpůsobují, a tím indikují jeho vlastnosti. Ze sledování živé přírody tak lze posuzovat stav životního prostředí (Markert, 2010).

Pojem bioindikace není v odborné literatuře používán stejně, existují tři přístupy:

Ekologický přístup

Bioindikace je metoda, která na základě vlastností a chování živých systému usuzuje na vlastností prostředí.

Jde o nejširší a obecný přístup, podle kterého jsou předmětem zkoumání všechny abiotické faktory (srážky, teplota, přítomnost živin atd.).

Obecný ekotoxikologický přístup

Bioindikace je metoda, která na základě vlastností a chování živých systému usuzuje na vlastností toxikantů v přirozeném i umělém prostředí.

Užší přístup, který vztahuje na hodnocení vlivu chemických toxických látek.

Terénní ekotoxikologický přístup

Bioindikace je metoda, která na základě vlastností a chování živých systému usuzuje na vlastností toxikantů v přirozeném prostředí.

Přístup, považující bioindikace za součástí ekotoxikologie, ale zahrnuje pouze metody terénních studií, ne ekotoxikologické testy.

V praxi se všechny přístupy často překrývají. (Anděl, 2011)

4.3.2. Biomonitoring

Biomonitoring lze definovat jako pozorování a posuzování stavu a probíhajících změn v ekosystémech, na přírodních stanovištích pomocí prozkoumání živých organismů, žijících na dané lokalitě (www.sciencedirect.com).

Působením přirozených procesů nebo lidské činností dochází ke kvalitativním a kvantitativním změnám flory a fauny, a proto pozorováním nebo vyšetřením jejich složek lze zjistit příčiny těchto změn (Parmar et al., 2016).

Biomonitoring - pravidelné, soustavné využívání organismů k určení kvality prostředí (Markert, 2010), nikoliv jednotlivé vyšetření (Anděl, 2011).

4.3.3. Bioindikatory

Bioindikatory – živé organismy, používané pro hodnocení současného stavu životního prostředí, environmentálních změn a jejich dopadů (Parmar et al., 2016).

Bioindikatory – živé organismy, které mohou být používané pro zjištění a kvalitativní hodnocení environmentálních faktorů způsobených člověkem (Conti, 2008).

Existují rostlinné, živočišné a mikrobiální bioindikátory.

- Rostlinné bioindikátory

Kvůli vysoké citlivosti jsou používány pro predikce a rozpoznávání environmentálních stressů. Výzkumy rostlin poskytují cenné údaje o stavu prostředí, protože rostliny nejsou mobilní a rychle se přizpůsobují ke změnám. Prezence nebo absence některých specifických druhů rostlin taky charakterizuje stav okolí.

- Živočišné bioindikátory

Pokles populace svědčí o nepříznivých změnách jako například znečištění prostředí. Změny hustoty populace taky ukazují na negativní dopady na okolí. Změny v populacích můžou ukazovat i na změny v zdrojích potravy. Přítomnost kontaminujících látek ve tkáních živočichu je užitečným indikátorem znečištění prostředí.

- Mikrobiální bioindikátory

Jsou široce používány pro hodnocení stavu vodních a zemských ekosystémů. Díky své hojnosti jsou snadno vyšetřovatelné a dostupné. Okamžitě reagují na nepříznivé změny prostředí. Některé mikroorganismy reagují na kontaminace kadmíem a benzenem produkcí nových proteinů (tzv. Stresové proteiny), což umožňuje rychlé odhalit znečištění životního prostředí (Parmar et al., 2016).

Bioindikátory se dělí na:

1. Senzitivní – citlivý druh, rychle reaguje na nepříznivou změnu prostředí. Hodnotí se působení toxikantů na základě vyvolaných biochemických, fyziologických, morfologických, anatomických, ekologických reakcí v organismu.
2. Akumulační – druh, který přijímá a hromadí chemické látky v těle v měřitelných množstvích.

Lze kombinovat tyto metody a současně sledovat koncentrace toxikantu a vliv na organismus (Anděl, 2011).

Využití bioindikátorů:

- Hodnocení současného stavu prostředí
- Predikce možných dopadů lidské činnosti na prostředí (Conti, 2008)
- Hodnocení dopadů určitých kontaminantů na živé organismy (Parmar et al., 2016)
- Sledování vývoje prostředí v čase a případných změn (Conti, 2008)

- Zjišťování dopadu stavu prostředí na ekosystém
- Testování látek na přítomnost kontaminantů (Gautam et al., 2015)

4.3.4. Biomonitoring

Biomonitoring – organismy, používané pro kvantitativní hodnocení úrovně kontaminace. Dělí se na senzitivní a akumulční.

- Senzitivní biomonitoring jsou používané především pro prevence negativních důsledků znečištění životního prostředí. Tohoto lze dosáhnout pozorováním viditelných morfologických změn vzorků.
- Akumulční biomonitoring jsou schopné ukládat znečišťující látky ve tkáních a jsou používané pro integrované měření koncentrace kontaminantů v životním prostředí.

Akumulční biomonitoring musí splňovat následující podmínky:

- Akumulovat znečišťující látky bez úhynu
- Mít velký areál rozšíření
- Být přisedlý nebo málo pohyblivý
- Být reprezentativní pro zkoumanou oblast
- Vyskytovat se celoročně
- Být snadné sbíratelný, rezistentní a užitečný pro laboratorní výzkumy (Conti, 2008)
- Být znám z ekologického a biologického hlediska
- Být široce rozšířený v hojném počtu
- Mít nízkou genetickou variabilitu
- Mít rychlý rozmnožovací cyklus
- Musí být známá jeho reakce na působení toxikantu (Kopp et al., 2015)

Termín „bioindikátor“ je často používán zároveň pro označení biomonitoringu. Ale přestože biomonitoring je vždy bioindikátor, bioindikátor nemusí mít vlastností biomonitoringu (Conti, 2008).

4.3.5. Aktivní a pasivní biomonitoring

Pasivní biomonitoring – sběr přirozeně se vyskytujících biomonitoringu v zájmovém území.

Aktivní biomonitoring – rozmístění v zájmovém území biomonitoringu z neznečištěné lokality, případně laboratorně kultivovaných (Ronci et al., 2016).

4.3.6. Výhody biomonitoringu proti tradičním výzkumům

Nevýhody tradičního monitoringu:

- Relativně vysoká cena
- Metodické problémy
- Možnost negativního dopadu na životní prostředí (Conti, 2008)
-

Biomonitoring proti tradičním výzkumům:

- Kromě poskytování informací o biodostupnosti kontaminujících látek, zjednodušuje chemickou analýzu, eliminuje problém posouzení velmi nízké úrovně kontaminujících látek.
- Zabraňuje riziku nesprávného posouzení, způsobeného náhlými změnami okolního prostředí v době odběru vzorků.
- Nevyžaduje rozsáhlé nebo dlouhé průzkumy (Conti, 2008).
- Umožňuje identifikovat škodlivé účinky toxinů na biotu už na rané fázi (Parmar et al. 2016).
- Má nižší cenu (Parmar et al. 2016).

4.4. Ústřice

Biologická klasifikace:

Říše: Živočichové (Animalia)

Kmen: Měkkýši (Molluska)

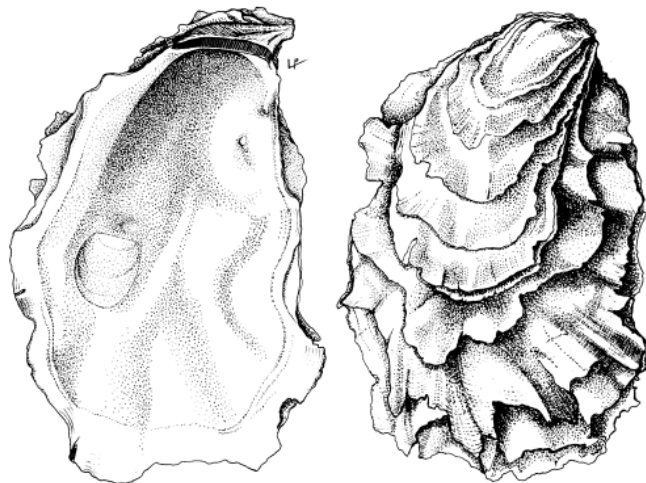
Třída: Mlži (Bivalva)

Řád: Ostreoida

Čeleď: Ústřicovité (Ostreidae)

Rod: Ústřice (Ostrea)

Obr. 2 Ústřice *Crassostrea gigas*



Zdroj: www.fao.org

Ústřice jsou mořští mlži z čeledi ústřicovitě. Párové lastury (šklebe) mají charakteristický asymetrický tvar a velkou tloušťku, skládají se z uhličitanu vápenatého ve formě aragonitu (CaCO_3) spojeného conchioliem. Lastury jsou mezi sebou spojené vazy, otevírají a uzavírají se pomocí svalů, vnitřní stranu tvoří perleť. Jedna z lastur (obvyklé levá) je větší, vypuklá a u dospělých jedinců připevněná k podkladu (dno nebo skály). Pravá lastura je plochá.

Na rozdíl od ostatních mlží ústřice nemají nohu, a proto se nepohybují.

Tělo nemá zřetelnou hlavu a je kryto dvouchlopňovým pláštěm. Žábry se nacházejí po obou stranách těla v plášťové dutině. Voda vstupuje do plášťové dutiny, omývá žábry, dochází k difúzi dýchacích plynů (příjem O_2 a vylučování CO_2) a vychází ven na zadní straně těla.

Trávicí soustava se skládá z ústního otvoru, trávicí trubice, jícne, žaludku, střevní kličky, konečníku a kloakního prostoru. Ústřice filtrují z vody drobné částičky jako plankton a bioodpad a tím se živí.

Oběhová soustava je otevřená. Srdce je uloženo v osrdečnickovém vaku, má jednu předsíň, aortální tepnu a arterie. Krev nemá barvu.

Vylučovací soustava se skládá z dvou ledvin (nefridií), které mají dva otvory, vnitřní je spojené s perikardem, vnější s plástovou dutinou.

Nervovou soustavu tvoří 2 páry ganglií, smyslové orgány jsou slabě vyvinuté.

Ústřice jsou buď hermafroditi nebo mají 2 pohlaví, přičemž v průběhu života se několikrát mění rozmnožovací orgány ze samičích na samčí a naopak. Termín tření se může posouvat a rozmnožování probíhá v různé období (Suprunovič a Makarov, 1990).

4.5. Využití ústřic jako biomonitorů

Vodní bezobratlí jsou vhodnými biomonitory kvůli tomu že:

- Celý jejich životní cyklus probíhá ve vodě
- Jsou snadno vyšetřovatelné
- Jsou snadno sbíratelné
- Mají vysokou toleranci ke znečištění prostředí
- Mají poměrně dlouhý životní cyklus
- Rychlé reagují na změny v životním prostředí
- Jsou málo pohyblivé (Carignan a Villard, 2002).

Vodní měkkýši jsou rozšířeně používanými biomonitory znečištění vody kvůli schopnosti přijímat znečišťující látky z vody a potravy a akumulovat v tkáních bez fyziologického výběru a regulace. Koncentrace toxikantů v tělech měkkýšů tak může být tisíckrát více než ve vodě. Ústřice a slávky jsou široce používané pro biomonitoring těžkých kovů v životním prostředí už od sedmdesátých let dvacátého století (Ruiz-Fernández et al. 2018).

Ústřice jsou schopné tolerovat vysoké koncentrace těžkých kovů díky dobře vyvinutým detoxikačním mechanismům, například regulačním genům, superoxid

dismutáze (enzym, který zháší superoxidový radikál a přeměňuje ho na méně toxický peroxid vodíku), buněčnému ochrannému systému, který snižuje možný patogenní účinek toxikantu (Muñoz-Sevilla et al., 2017).

Jsou to výborné biomonitory nejen díky své schopnosti bioakumulace ale i vysoké citlivosti k toxikantů a rychlé reakci, což umožňuje detekce znečištění už na rané fázi (Osuna-Martínez et al. 2011).

4.6. Standartní výzkum

4.6.1. Sběr a doprava vzorků

Nejjednodušší a nejpoužívanější způsob – ruční sběr volně žijících případně kultivovaných jedinců ve vybrané lokalitě pro okamžité testování (Pájez-Osuna a Osuna-Martínez, 2015).

Druhou variantou je předběžný sběr jedinců, umístění v síťované tašce ve vybraných lokalitách na hloubce cca 8 m. na dobu vyžadovanou pokusem, následující sběr a testování (Ruiz-Fernández et al. 2018).

Všechny jedinci musí mít přibližně stejnou velikost a váhu (Pájez-Osuna a Osuna-Martínez, 2015). Po sesbírání opláchnout ústřice mořskou vodou, dat do igelitových sáčků s ledem a transportovat do laboratoře pro testování (Muñoz-Sevilla et al., 2017).

4.6.2. Příprava k výzkumu

1. Sesbírané vzorky lze hned vyšetřovat nebo udržovat v kontejneru s mořskou vodou z místa sběru 36 hodin pro defekace, což zvyšuje objektivitu výsledků. (Pájez-Osuna a Osuna-Martínez, 2015)
2. Změřit délku a váhu
3. Otevřít skořápky nožem
4. Vyjmout měkké tkání
5. Umýt měkké tkání dvakrát destilovanou vodou
6. Vysušit mrazem
7. Rozdrtit v třecí misce
8. Homogenizovat
9. Změřit čerstvou a suchou hmotnost

Všichni nástroje před použitím musí být dezinfikované roztokem kyseliny dusičné (10%) během 24 hodin a opláchnuté dvakrát destilovanou vodou (Gongora-Gomez et al., 2016).

4.6.3. Výzkum

Výzkum se skládá z následujících kroků:

1. Digesce zorku (suchá hmotnost 1,2-1,4 g.) s kyselinou dusičnou v mikrovlnném digestoře
2. Nechat vzorky ochladit se do pokojové teploty
3. Analýza. Používá se atomová absorpční spektrometrie. Pro různé prvky jsou vhodné různé metody. Pro měď, zinek, chrom, kadmium, nikl – atomizace plamenem, pro rtuť – metoda studených par, pro arzen – hydridová technika, pro olovo – atomizace plamenem nebo v grafitové pínce (Gongora-Gomez et al., 2016)

4.6.3.1. Atomová absorpční spektrometrie

Je to spektrometrická analytická metoda, která slouží ke stanovení významných koncentrací jednotlivých prvků a přítomností stopových prvků v roztoku.

Ve forenzní chemii se většinou používá k detekci těžkých kovů.

Princip metody spočívá v tom, že míra absorpce záření o specifických vlnových délkách atomy prvku v plynné fázi odpovídá jejich koncentraci a založen na Lambertové-Beerové zákonu ve tvaru:

$$A = \log \frac{\Phi_0}{\Phi} = \kappa_\lambda \cdot b \cdot N_0$$

, kde

A – absorbance, Φ_0 – původní zářivý tok, Φ – prošlý zářivý tok, b – tloušťka absorbující vrstvy, N_0 – počet atomů v základním stavu, κ_λ – konstanta úměrnosti.

Kapalný vzorek nebo roztok vzorku se nasává do zmlžovače, vzniklý aerosol se smíchává s palivem a oxidovadlem, zavádí se do plamene nebo grafitového atomizátoru, odpaří se a chemické vazby v molekulách se rozruší, dochází k atomizaci. Podmínky atomizace se zvolí tak, aby co nejvíc atomů zůstali v neutrálním stavu a nedošlo k ionizaci. Sleduje se úbytek intenzity záření (www.vscht.cz).

Způsoby atomizace vzorku

Hydridová technika

Je velmi účinná analytická technika vyvinutá k oddělení kovů tvořících hydridy, jako jsou Se a As, od řady matic a různých koncentrací kyselin. Vyhřívání

křemenný trubkový atomizér je zvláště užitečný pro stanovení arsenu a selenu, protože absorpční vlnové délky těchto prvků jsou pod 200 nm v oblasti vystavené intenzivní interferenci s plamenovými radikály, které mohou významně ovlivnit detekční limity (www.sciencedirect.com).

Metoda studených par

Používá se při měření stopových množství těkavých těžkých kovů, jako je rtuť. Metoda studených par využívá jedinečnou charakteristiku rtuti, která umožňuje měření par při pokojové teplotě. Rtuť může být snadno redukována v roztoku borohydridem nebo chloridem cínatým za vzniku elementární rtuti, jinak známé jako studená pára. Volné atomy rtuti v nosném plynu jsou destabilizované ultrafialovým světelným zdrojem při vlnové délce 253,7 nanometrů. Atomy znovu vyzařují svou absorbovanou energii (fluorescenci) při stejné vlnové délce. Na rozdíl od zdroje směrového buzení je fluorescence všesměrová a může být tedy detekována pomocí fotonásobiče nebo UV fotodiody (Sturgeon, 2017).

Atomizace plamenem

Atomizace plamenem je velmi běžná technika pro detekci kovů ve vzorcích. Tato technika je založena na principu, že kovy v základním stavu absorbují světlo při specifické vlnové délce. Kovové ionty v roztoku jsou přeměněny na atomový stav plamenem. Když je přiváděno světlo o správné vlnové délce, změří se množství absorbovaného světla a lze získat hodnotu koncentrace. Je velmi přesná kvantitativní technika a také dobrá kvalitativní technika (www.chemicalinstrumentati.com).

Kapalný vzorek se nasává do zmlžovače, vzniklý aerosol vzorku se smíchává s palivem a oxidovadlem, přivádí se do šterbinového hořáku. V plameni dochází k odpaření vzorku a atomizaci vlivem tepelné disociace vazeb a reakci vzniklých oxidů s radikály, které jsou součástí plamene. Pak vzorek je nasáván do zmlžovače kontinuálně a dochází ke kontinuální atomizaci (www.vscht.cz).

Je vhodná pro měření omezeného rozsahu prvků přítomných v koncentracích vyšších než přibližně 1 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ v biologických tekutinách a pro analýzu roztoků získaných z biologických tkání (www.sciencedirect.com).

Atomizace v grafitové píčce

Atomizátor je tvořen grafitovou trubicí (kyvetou), která je vyhřívána elektrickým proudem a promývaná plynným argonem. Měřené záření prochází rovnoběžně ose trubice. Vzorek se vnáší přímo na vnitřní stěnu trubice nebo na speciální grafitovou destičku - platformu. Stačí malé množství vzorku, 5 - 50 μl . (www.vscht.cz).

4.6.3.2. Statistická analýza

Nejpoužívanější metody

Kolmogorovův-Smirnovův test

Je metoda matematické statistiky, která umožňuje určit, zda se dvě empirická rozdělení řídí stejným zákonem, nebo zda získané rozdělení vyhovuje navrhovanému modelu. Kolmogorovovo-Smirnovovo kritérium pro testování hypotézy homogenity dvou empirických distribučních zákonů je jedním z hlavních a nejpoužívanějších neparametrických kritérií, protože je poměrně citlivé na rozdíly ve sledovaných vzorcích (ami.nstu.ru). Využívá se pro zjištění normality a homogenity odebraných vzorků (Ruiz-Fernández et al., 2018).

ANOVA

Analýza rozptylu. Je to metoda matematické statistiky, která umožňuje zjistit, jestli na hodnotu libovolné veličiny pro určitého jedince má statisticky významný vliv hodnota určitého znaku, který se dá pozorovat. Tento znak musí mít konečný počet možných hodnot (nejméně dvou) a slouží k rozdělení jedinců do porovnávaných skupin. Kvantitativní hodnota znaku přitom není měřítkem (<https://statistics.laerd.com>).

Tukeyův test

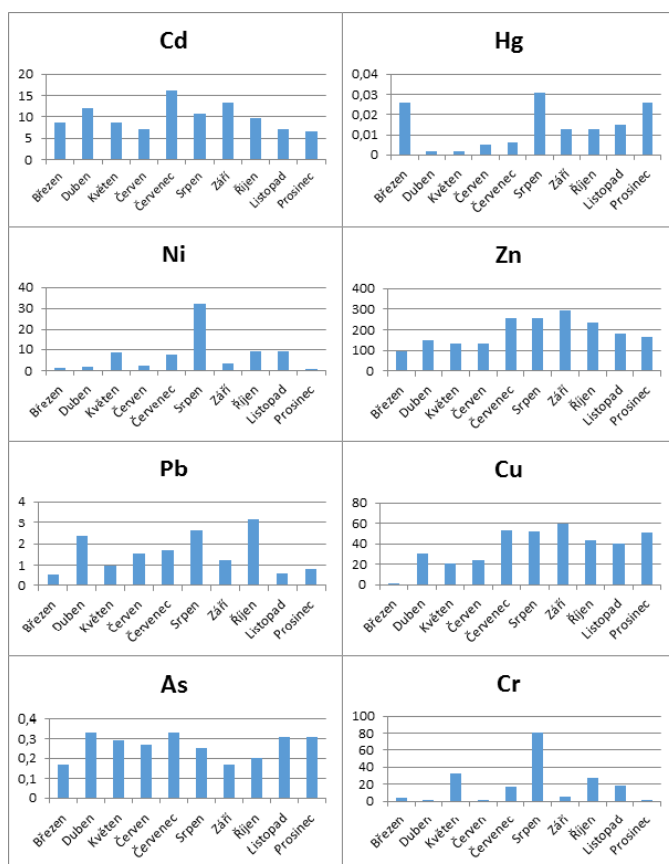
Tukeyův test určuje jednotlivé hodnoty, které se výrazně liší od řady jiných hodnot. Je to test s vícenásobným porovnáním a je použitelný, pokud jsou porovnány více než dvě hodnoty (<https://link.springer.com>).

4.7. Faktory ovlivňující koncentrace těžkých kovů ve tkáních ústřic

Přestože ústřice jsou výbornými biomonitory, souvztažnost mezi koncentrací znečišťujících látek v organismu a okolním prostředím je komplikovaně stanovitelná. Obsah toxických látek v tkáních vodních měkkýšů může být ovlivňován vnějšími faktory jako jsou roční období, pH, teplota, tvrdost a salinita vody, obsah rozpouštěného kyslíku, srážky, potrava a především antropogenní činnost (Ruiz-Fernández et al., 2018). Taky velkou rolí hraje fáze reprodukčního cyklu a váha jedince (Gongora-Gomez, et al., 2017).

Koncentrace těžkých kovů ve tkáních ústřic je kolísavá i v relativně stabilním prostředí.

Graf 1 Průměrná koncentrace těžkých kovů ve tkáních ústřic *Crassostrea gigas* v $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (čerstvá váha) z estuáru La Pitahaya, Sinaloa, Mexico v roce 2011



Zdroj hodnot: Gongora-Gomez, et al. 2017

4.7.1. Antropogenní činnost

Lokalita Kalifornského zálivu není výrazně znečištěná, ale je mírně kontaminovaná těžkými kovy v důsledku antropogenních činností jako jsou těžba, akvakultura a především zemědělství. Je významnou zemědělskou oblastí Mexika. Tradiční lokality chovu ústřic jsou obklopené zemědělskými jednotkami (Muñoz-Sevilla et al. 2017).

Norma Patricia Muñoz-Sevilla et al. provedli výzkum ústřic *Crassostrea gigas* ze třech farem (Gausave, Ahome, Navolato) na severním centrálním pobřeží Sinaloa, Mexico. Výzkum trval rok a ukázal, že:

1. Velkou roli hraje umístění farmy. I když nejde o velké vzdálenosti, každá farma má vlastní okolí. V koncentraci olova nebyli zjištěny významné rozdíly, zatímco koncentrace rtuti, mědi, kadmia a zinku se pro každou farmu lišila.

Vysoká koncentrace mědi, kadmia a zinku je důsledkem aktivního využití v zemědělství jako hnojiv, pesticidů, fungicidů a karbamátu. Nejvyšší koncentrace těchto kovů byla nalezena v tělech ústřic z farem Guasave a Navolato, umístěných vedle zemědělských lokalit. Koncentrace těchto kovů ve tkáních ústřic roste od května do července v době zemědělských aktivit.

2. Koncentrace olova byla pravděpodobně ovlivněna plavbami na lodě a zemědělskou činností, protože zvyšuje se v době aktivního turismu a zemědělských opatření od července do září.
3. Hlavní zdroj rtuti –komunální odpad, její koncentrace zvyšuje se v blízkosti urbanizovaných lokalit.

Další skupina vědců, M.P. Jonatan et al., provedla monitoring koncentrace stopových kovů ve vodě, sedimentu a ústřicích *Crassostrea gigas* z farmy v regionu La Pitahaya, Sinaloa. Jde o lokalitu ovlivněnou lidskou činností, například produkci odpadních vod a čistírenských kalů, použitím hnojiv pro zemědělské účely, provoz krevetové farmy.

Výzkum trval rok a výsledky ukázali značnou výkivovost koncentrací chromu, mědi, nikle, olova, rtuti a relativnou vyrovnanost koncentrací zinku, kadmia a arzenu:

1. Stabilně vysoká koncentrace kadmia po celou dobu orby kvůli vlivu zemědělských opatření (využití fosforečnanových hnojiv).
2. Značné snížení koncentrace olova během orby.

Výzkum, který provedli Federico Pájez-Osuna a Carmen C.Osuna-Martínez v 8 lagunách Kalifornského zálivu s využitím ústřic *Crassostrea palmula*, ukázal podobné výsledky:

1. Vysoká koncentrace mědi a zinku v lagunách v blízkosti zemědělských lokalit, pravděpodobně způsobena využitím těchto prvků jako fungicidů a hnojiv.
2. Vysoký úroveň mědi v laguně v blízkosti urbanizovaných území. Zdrojem je komunální odpadní vody a je taky přítomná v protihnilobných přípravků na plavidlech.
3. Zvýšená koncentrace zinku v lagunách v blízkosti termoelektrických elektráren. Zdrojem jako u mědi jsou komunální odpadní vody (šampony, prací prostředky atd).

4. V nejméně urbanizované lokalitě koncentrace mědi a kadmia je mnohým nižší. Ale vysoká koncentrace rtuti a olova (asi kvůli přirozené přítomnosti v půdě) a zinku.

4.7.2. Parametry vody

Andrés Martín Gongora-Gomez et al. během 9 měsíce zkoumali kultivované ústřice *Crassostrea gigas* na jihovýchodním pobřeží Kalifornského zálivu a popsali vliv jednotlivých parametrů vody na koncentrace těžkých kovů v jejich tělech a zjistili následující korelace.

Teplota vody

Byla zjištěna pozitivní korelace koncentrace kadmia, nikle, olova, zinku, chromu a mědi s teplotou vody.

Federico Pájez-Osuna a Carmen C.Osuna-Martínez navíc zaznamenali pozitivní korelace koncentrace rtuti s teplotou vody.

PH

Negativní korelace koncentrace chromu, nikle, olova a zinku s pH.

Obsah rozpouštěného kyslíku

Negativní korelace koncentrace chromu, nikle, olova a zinku s obsahem rozpouštěného kyslíku.

Salinita vody

Snížení koncentrace chromu, nikle, rtuti, mědi a zinku od července do září pravděpodobně kvůli snížení salinity vody během dešťové sezony.

Federico Pájez-Osuna a Carmen C.Osuna-Martínez ale zaznamenali negativní korelace koncentrace rtuti se salinitou vody.

4.7.3. Přírodní jevy

Podle předpokladu Carmen C.Osuna-Martínez et al., vysoká koncentrace kadmia ve tkáních *Crassostrea corteziensis* a *Crassostrea gigas* během období sucha (únor-duben) může být spojená s jevem upwellingu – vzestup hloubkových oceánských vod ke povrchu.

Federica Pájez-Osuna a Carmen C.Osuna-Martínez potvrdili tuto teorie v roce 2015, když odhalili zvýšenou koncentrace kadmia v tělech *Crassostrea corteziensis* od února do dubna.

4.7.4. Druh ústřic

Federico Pájez-Osuna a Carmen C. Osuna-Martínez provedli výzkum 2 druhů ústřic: *Crassostrea corteziensis* a *Crassostrea palmula*. *Crassostrea palmula* měla vyšší obsah toxických prvků ve tkáních než *Crassostrea corteziensis* což znamená, že příbuzní druhy ze stejného stanovišti mohou akumulovat různé množství toxických prvků.

4.7.5. Váha jedinců

Andrés Martín Gongora-Gomez et al. odhalili pozitivní korelace koncentrace kadmia, nikle, olova, zinku, chromu a mědi s hmotností ústřic.

Carmen C. Osuna-Martínez et al. taky zaznamenali vyšší koncentrace kadmia u jedinců s větší hmotností.

4.7.6. Reprodukční cyklus

Federico Pájez-Osuna a Carmen C. Osuna-Martínez předpokládají že snížení koncentrace kadmia, zinku, mědi a olova může být způsoběne koncem reprodukčního cyklu.

Norma Patricia Muñoz-Sevilla et al. taky předpokládají vliv konce reprodukčního cyklu na snížení koncentrace mědi, kadmia a rtuti.

Andrés Martín Gongora Gomez et al. odhalili snížení koncentrace chromu, nikle, rtuti, mědi a zinku od července do září, je to konec reprodukčního cyklu. Na konce reprodukčního cyklu se navíc snižuje váha jedinců, což podle autorů vede i k poklesu koncentrace těžkých kovů ve tkáních.

4.7.7. Srážky

Množství srážek má vliv na složení povrchových vod a koncentrace znečišťujících látek ve tkáních mořských živočichů.

Ana Carolina Ruiz-Fernández et al. provedli porovnání koncentrací těžkých kovů ve tkáních ústřic *Crassostrea palmula* během období dešťů a období sucha a zjistili že v letě během období dešťů koncentrace kadmia, chromu, manganu, nikle a mědi se zvýšila, pravděpodobně v důsledku přínosů částic těchto kovů dešťovou vodou z okolí.

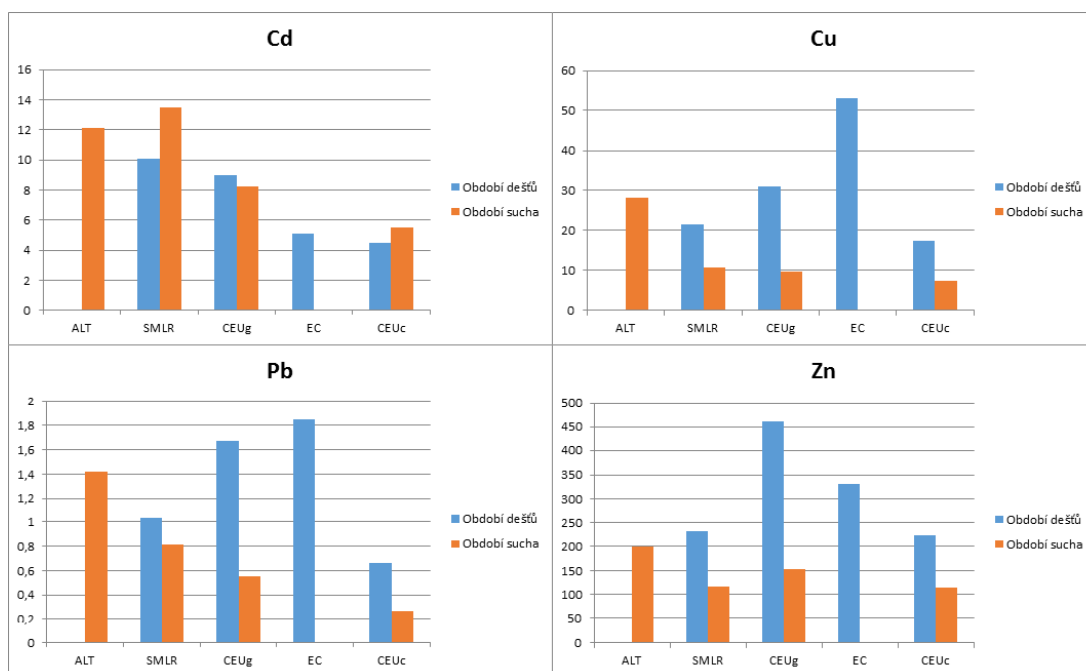
Nicméně, další skupiny vědců došli k opačným výsledkům.

M.P. Jonatan et al. zaznamenali snížení koncentrace arzenu v tělech *Crassostrea palmula* během období dešťů.

Norma Patricia Muñoz-Sevilla et al. odhalili snížení koncentrace mědi, kadmia a rtuti ve tkáních se začátkem období dešťů.

Carmen C.Osuna-Martínez et al. v roce 2011 zaznamenali zvýšení koncentrace kadmia v tělech *Crassostrea gigas* a *Crassostrea cortenzis* během období sucha, ale koncentrace olova, zinku a mědi se zvýšila během období dešťů.

Graf 2 Průměrná koncentrace toxických kovů v $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ve tkáních ústřic *Crassostrea gigas* z farem El Colorado (EC), Santa María-La Reforma (SMLR), Altata (ALT) a Ceuta (CEUg) a ústřic *Crassostrea Cortenzis* (CEUc) v období sucha a období dešťů.



Zdroj hodnot: Osuna-Martínez et al., 2011

Federico Pájez-Osuna a Carmen C.Osuna-Martínez zjistili že koncentrace kadmia, zinku, mědi a olova v tělech testovaných ústřic během období dešťů se snižovala. Ale zvyšovala se koncentrace rtuti, částice, které možná byly přinášeny srážkovou vodou.

Takže, existují dvě kontroverzní teorie. Andrés Martín Gongora-Gomez et al. předpokládají že změny koncentrací těžkých kovů v tělech ústřic během leta ovlivňuje fáze reprodukčního cyklu a přírodní jevy, ne srážky.

4.8. Komplexní využití různých biomonitorů

Ana Carolina Ruiz-Fernández et al. provedli monitoring kontaminace stopovými kovy v laguně Estero de Urias v Kalifornském zálivu s využitím dvou druhů měkkýšů – ústřic *Crassostrea palmula* a slávek *Mytella strigata*. Concentrace kovů v tělech měkkýšů byla porovnána s koncentrací akumulovanou přístrojem Artificial Mussel (AMs), současně rozmístěným ve stejné lokalitě.

AMs je přístroj, schopný akumulovat kadmium, chrom, měď, rtuť, olovo a zinek. Výzkumy, provedené ve mnoha zemích (Skotsko, Korea, Hong Kong, Austrálie, Čína) zjistili že AMs ukazuje podobné výsledky jako místní měkkýši.

Výsledky výzkumu:

Ústřice *Crassostrea palmula*, slávky *Mytella strigata* a přístroj Artificial Mussel ukázali nejen značné rozdíly v koncentracích těžkých kovů u vzorků, odebraných ve stejné lokalitě v stejný čas, a navíc úplně odlišné tendence změn těchto koncentrací.

Koncentrace kobaltu a zinku v průběhu času byla relativně stabilní v průběhu času u všech třech biomonitorů.

Koncentrace chromu, kadmia a manganu byla výkivová u všech třech biomonitorů.

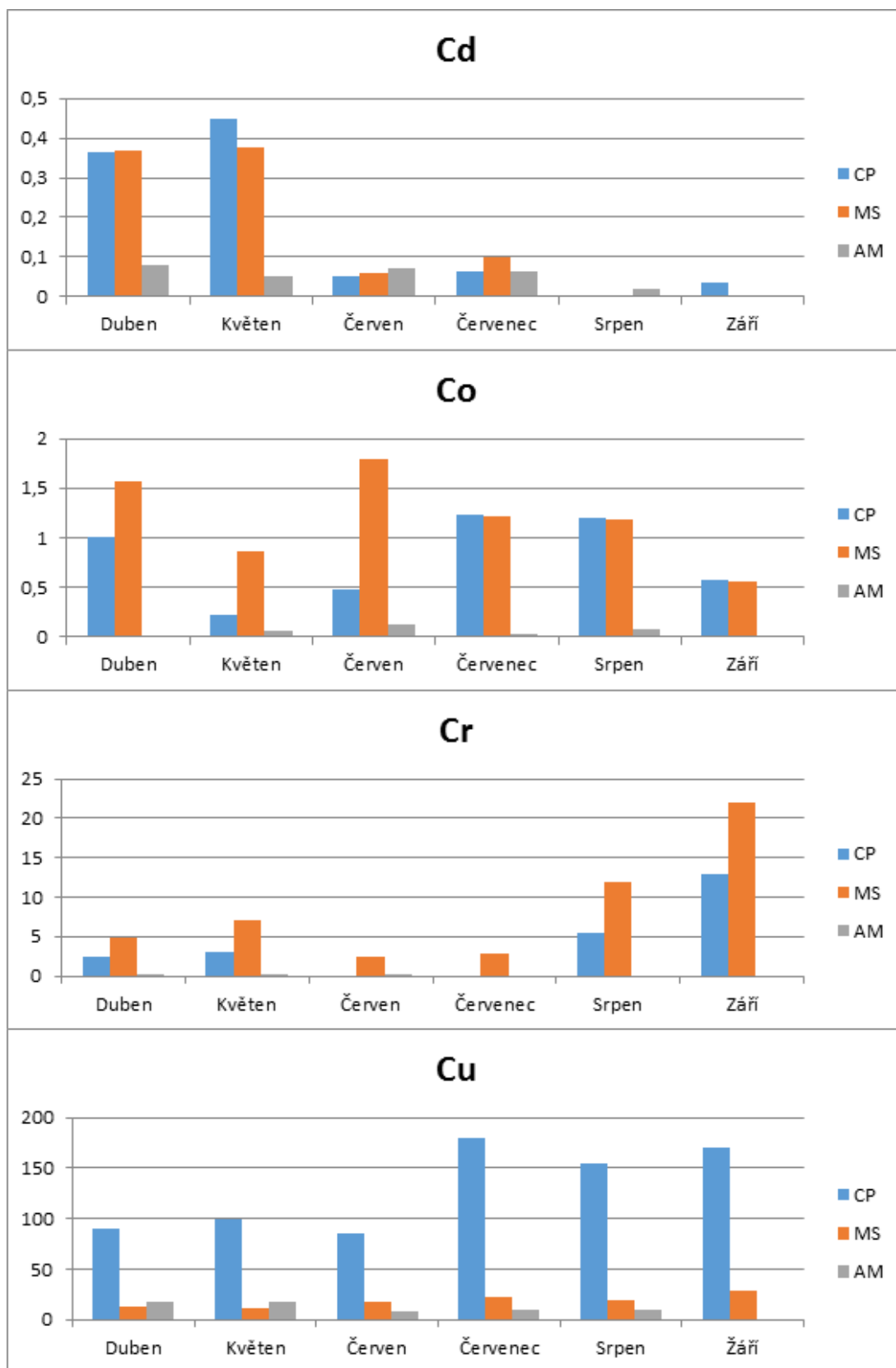
Koncentrace železa byla u ústřic a slávek výkivová, u AMs stabilní.

Koncentrace mědi u ústřic a AMs byla výkivová, u slávek stabilní.

Koncentrace nikle byla stabilní u ústřic a slávek, u AMs výkivová.

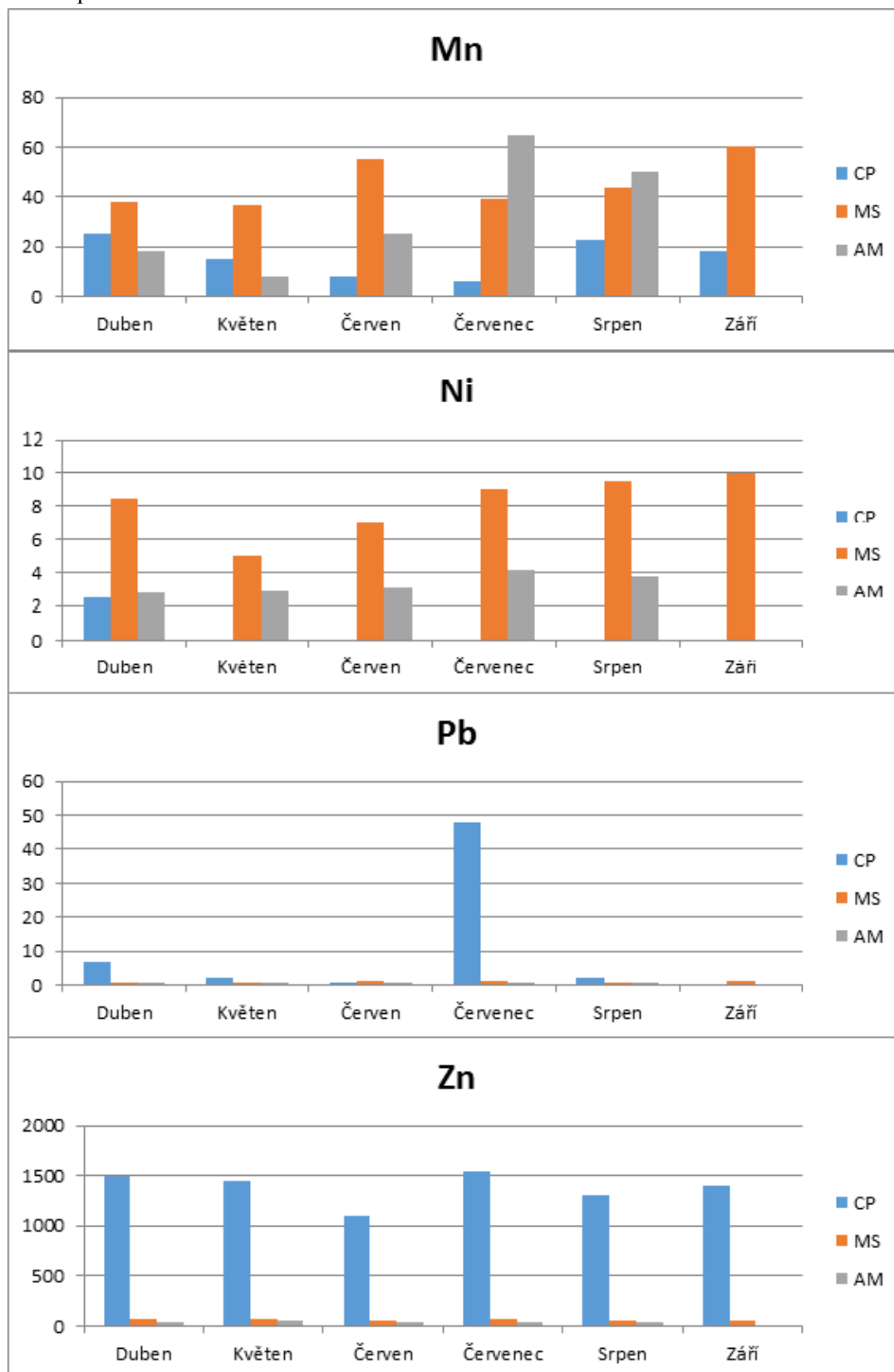
Rtuť se objevila pouze v AMs, ne v ústřicích a slávkách.

Graf 3 Koncentrace toxických kovů v $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ve tkáních ústřic *Crassostrea pamula* (CP), slávek *Mytella Strigata* (MS) a přístroje Artificial Mussels (AM) v laguně Estero de Urias, Mexico, v roce 2018.



Zdroj hodnot: Ruiz-Fernández et al., 2018

Graf 3 prodloužení



Zdroj hodnot: Ruiz-Fernández et al., 2018

Tím pádem lze říct že použití jenom jednoho biomonitoru neumožňuje objektivní hodnocení kvality vody a možného dopadu na životní prostředí a lidské zdraví. Různé biomonitoringy jsou citlivé k různým toxikantům a jinak reagují na vnější faktory. Z tohoto hlediska účinnější je komplexní využití několika biomonitorů.

5. Výsledky

Riziko pro lidské zdraví

M.P. Jonathan et al. odhalili výrazně vysokou koncentraci olova, chromu a kadmia ve tkáních *Crassostrea gigas* z La Pitahaya, Sinaloa, přičemž koncentrace kadmia značně převyšovala bezpečnou pro lidské zdraví.

Tab. 1 Porovnání koncentrace těžkých kovů v tělech ústřic *Crassostrea gigas* z La Pitahaya, Sinaloa s přípustnými limity podle různých organizací.

Kov	Minimální zjištěná koncentrace (mg/kg)	Maximální zjištěná koncentrace (mg/kg)	Průměrná zjištěná koncentrace (mg/kg)	Přípustná koncentrace, Mexiko* (mg/kg)	Přípustná koncentrace, Spojené státy americké** (mg/kg)
Chrom	0,33	104	22,29 +/- 30,23	-	13
Olovo	<LDM	4,67	2,22 +/- 1,33	1	1,7
Kadmium	4,07	21,33	14,54 +/- 4,28	0,5	4

*Secretariade Salud, 1993 (NOM-031-SSA1-1993)

**U.S. Food and Drug Administration, 1993

Zdroj hodnot: Jonathan et al, 2017

Ana Carolina Ruiz-Fernández et al. v roce 2018 taky zjistili koncentrace těžkých kovů převyšující nebezpečné.

Koncentrace olova v ústřicích v letě (průměrná 1,6 mg.kg⁻¹, maximální 25 mg.kg⁻¹, čerstvá váha) převyšuje přípustnou pro měkkýši v Evropské unie a pro ryby v Evropské unie, Austrálii a Novém Zélandu.

Koncentrace chromu v ústřicích (průměrná 1 mg.kg⁻¹, maximální 5,4 mg.kg⁻¹, čerstvá váha) v srpnu a září převyšuje přípustnou pro ryby, ústřice, krevety, krabi v Hong Kongu.

I když nejde o trvalé vysokých koncentracích, je to potenciální riziko pro obyvatele.

Tab. 2 Porovnání koncentrace těžkých kovů v *Crassostrea pamula* z laguny Estero de Urias s přípustnými limity podle různých organizací.

Kov	Průměrná zjištěná koncentrace (mg/kg)	Maximální zjištěná koncentrace (mg/kg)	Přípustná koncentrace, EU* (mg/kg)	Přípustná koncentrace, Austrálie, Nový Zéland** (mg/kg)	Přípustná koncentrace, Hong Kong*** (mg/kg)
Olovo	1,8 +/- 0,6	25	1,5 – měkkýši 0,3 - ryby	2 – měkkýši 0,5 - ryby	6 – pevná potrava 1 – tekutá potrava
Chrom	1 +/- 0,2	5,6	-	-	1 - ryby, ústřice, krevety, krabi

*Commission regulation (EC) No 1881/2006

**Australia New Zeland Food Standards Code-Schedule 19

***Legislation chapter 132V Schedule 2

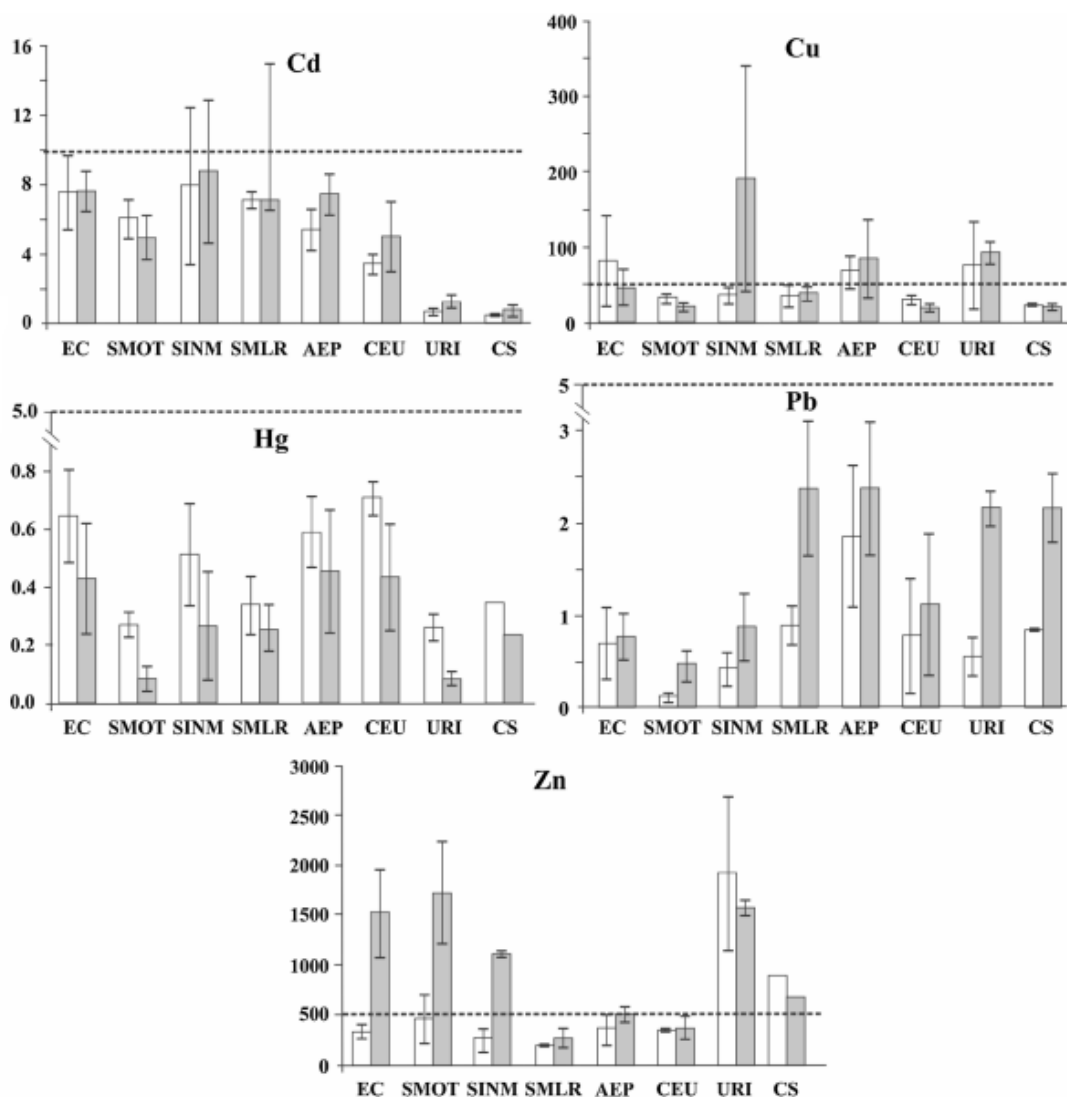
Zdroj hodnot: Ruiz-Fernández et al., 2018

Carmen C. Osuna-Martínez et al. odhalili že průměrná koncentrace mědi v ústřicích z farmy El Colorado v roce 2011 převyšovala povolený limit během období dešťů (52,9 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, maximum podle The expert Committee on Food Additives 50 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).

Průměrná koncentrace kadmia v ústřicích z farem Altata a Santa María-La Reforma značně překročily povolený limit během období sucha (12,1 a 13,5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, maximum podle The expert Committee on Food Additives 10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Trvalá konzumace takové potravy je riziková a může způsobit intoxikace.

Federico Páez-Osuna a Carmen C. Osuna-Martínez odhalili že koncentrace mědi v lagunách San Ignacio-Navachiste-El Macapule (SINM), Urias (URI), Altata-Ensenada del Pabellon (AEP) a zinku v lagunách Urias (URI), Santa María-Ohuira-Topolobampo (SMOT), El Colorado(EC), San Ignacio-Navachiste-El Macapule(SINM) převyšují maximální povolené The expert Committee on Food Additives a Norma oficial Mexicana NOM-242.

Graf 4 Koncentrace toxických kovů v $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ve tkáních ústřic během období dešťů (bílé sloupce) a období sucha (šedé sloupce). Přerušovaná čára - maximální povolená koncentrace podle The expert Committee on Food Additives.



Zdroj: Páez-Osuna a Osuna-Martínez, 2015

6. Diskuze

Nebezpečí kontaminace životního prostředí těžkými kovy vyplývá především z vlastností těchto prvků. Těžké kovy nikdy nedegradují což znamená že když takový toxikant dostane do přírodní složky, už nezanikne.

Navíc, těžké kovy mají tendence se v přírodě hromadit s postupným zvýšením koncentrace. Ve vodním prostředí se akumulují hlavně v tělech ryb a bezobratlých a tak vstupují do potravního řetězce a pohybují se k zvířatům a lidem (Kafka a Punčochářová, 2002).

Trvalá konzumace takové potravy pak vede k chronickým otravám a nemocí, jako se to stálo v Japonsku v Minamatě v 50. letech 20. století v důsledku trvalého

vypouštění do Minamatského zálivu odpadní vody s vysokým obsahem neorganických sloučenin rtuti, metabolizovaných bakteriemi na methylrtuť a její akumulace v tělech mořských živočichů. Oficiálně bylo zaznamenáno 2200 postižených ale reálné číslo je pravděpodobně mnohem větší (Harada, 1995).

Ve stejný čas v jiné části Japonska došlo k epidemii chronické intoxikace solemi kadmia (nemoc itai-itai) v důsledku znečištění vod řeky Jinzu solemi těžkých kovů a dlouhodobé konzumace obyvatele ryb z této řeky a rýže z polí zavlažovaných její vodami. Oficiálně bylo zaznamenáno 184 postižených a 388 potenciálních obětí. (www.icett.or.jp)

V obou případech sledování příslušných bioindikátorů umožnilo by zjištění kontaminace životního prostředí už na v rané fázi a zabránění zhoršení situace včasnými akcemi. Aplikace znalostí o bioakumulačních schopnostech živých organismů tedy zabránila by epidemie a nedošlo by k tak velkému množství obětí.

Ústřice jsou schopné tolerovat velmi vysoký obsah toxikantů ve vodě a sedimentech a akumulovat tyto látky v tělech v mnohokrát větších koncentracích než v prostředí, rychle reagují na přítomnost nebo zvýšení obsahu toxické látky v okolí (Munoz et al. 2017).

Co se týká lokality Kalifornského zálivu, není výrazně kontaminovaná toxickými kovy, ale kvůli blízkosti zemědělských celků je značně ohrožená. Široké využití fosfátových hnojiv, fungicidů a herbicidů zvyšuje obsah těžkých kovů v životním prostředí. Obsah těchto prvků ve vodách a sedimentech Kalifornského zálivu je stabilně vysoký a stoupá (Ochoa-Valenzuela et al., 2009), což znamená že je to potenciálně riziková lokalita.

V kapitole 5 jsem uvedla případy překročení přípustných koncentrací těžkých kovů ve tkáních kultivovaných a volně žijících v Kalifornském zálivu ústřic. Je taky nezbytné zmínit že ústřice se konzumují syrové, což zvyšuje riziko otravy.

Tím pádem lze říct že biomonitoring těžkých kovů s využitím ústřic je v dané lokalitě nezbytný pro sledování stavu prostředí a prevence negativních dopadů na ekosystém a lidské zdraví.

Nevýhodou dané metody je komplikovanost hodnocení výsledků. Jak bylo zaznamenáno v kapitole 4.7, koncentrace těžkých kovů v tkáních ústřic je kolísavá i v stabilním prostředí, kde nedošlo k úniku těchto látek a neprobíhaly žádné neobvyklé aktivity. Obsah těžkých kovů v tkáních ústřic může být ovlivňován takovými faktory jako parametry vody (pH, tvrdost, teplota a salinita), srážky, potrava, antropogenní činnost, hmotnost jedince a fáze reprodukčního cyklu (Ruiz-Fernández et al., 2018), (Gongora-Gomez, et al., 2017).

Největším problémem je odhalit vliv srážek, existují dvě kontroverzní teorie. Podle první během období dešťů koncentrace těžkých kovů v tkáních ústřic se zvyšuje v důsledku přínosů částic těchto kovů dešťovou vodou z okolí. Podle druhé koncentrace těžkých kovů v tkáních ústřic se v období dešťů snižuje a když v této době dochází ke zvýšení obsahu těžkých kovů v tělech ústřic, ne ni to způsobeno srážkami, ale upwellingem nebo zvýšením váhy jedinců kvůli fázi reprodukčního cyklu, což je taky komplikovaně stanovitelné, protože termín tření ústřic se může posouvat (Suprunovič a Makarov, 1990).

Navíc, různé druhy ústřic ze stejného místa mohou mít odlišnou koncentraci toxických kovů v tělech (Pájez-Osuna a Osuna-Martínez, 2015).

Nicméně, tyto komplikace neznamenaají že biomonitoring není užitečnou metodou, jenom vliv uváděných faktorů by měl být brán v úvahu.

Vhodnou cestou taky je komplexní využití dvou nebo více druhů biomonitoru jako ve výzkumu, popsaném v kapitole 4.8. Odlišné koncentrace těžkých kovů ve tkáních ústřic *Crassostrea palmula* a slávek *Mytella strigata* a tendence změn těchto koncentrací může svědčit o tom, že různé druhy měkkýšů jsou v různé míře ovlivňované vnějšími faktory, což je podstatou pro rozšíření komplexních výzkumů.

7. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zpracování literární rešerše problematiky využití ústřic pro biomonitoring toxických kovů ve vodách v Kalifornském zálivu v Tichém oceánu. Z hlediska nebezpečí kontaminace těžkými kovy lokalita Kalifornského zálivu byla vyhodnocena jako potenciálně riziková kvůli stabilně vysoké a rostoucí koncentraci těchto prvků ve vodách. Taky byly zjištěny případy překročení přípustných koncentrací těžkých kovů ve tkáních ústřic, kultivovaných nebo volně žijících v Kalifornském zálivu.

Jako nejnebezpečnější vlastnosti těžkých kovů byly zaznamenány schopnost bioakumulace a toxické účinky pro živé organismy. Jako příklad byly uvedeny případy epidemií, způsobených trvalou konzumací potravy ze značně kontaminovaných lokalit.

V této práci byly popsány komplikace, spojené s hodnocením výsledků biomonitoringu s využitím ústřic, je to především velký vliv vnějších (parametry vody, srážky, potrava, antropogenní činnost) a vnitřních (váha jedince, fáze reprodukčního cyklu) faktorů na koncentraci těžkých kovů ve tkáních ústřic.

Provedená rešerše pokazuje na užitečnost využití ústřic pro biomonitoring těžkých kovů ve vodě především kvůli významné schopnosti bioakumulace a odolnosti vůči vysoké koncentraci toxikantů ve vodě. Výsledky takových výzkumů jsou nezbytné pro hodnocení současného stavu a predikce negativních dopadů kontaminace vody těžkými kovy na lidské zdraví a živé organismy v dané lokalitě.

8. Přehled literatury a použitých zdrojů:

Bibliografické zdroje:

1. Carignan, V., Villard, M., 2002, Selecting Indicator Species to Monitor Ecological Integrity: A Review. *Environ Monit Assess* 78, P. 45–61.
2. Chojnacka K., 2010, Biosorption and bioaccumulation – the prospects for practical applications, *Environment International*, Volume 36, Issue 3, Pages 299-307, ISSN 0160-4120.
3. Conti M.E., 2008: *Biological Monitoring: Theory and Applications— Bioindicators and Biomarkers for Environmental Quality and Human Exposure Assessment* Boston:WIT Press, 2008. 228 pp. ISBN: 978-1-84564-002-6.
4. Gautam R. K., Sharma S. K., Suresh M., Chattopadhyaya M. C., 2015: *Heavy Metals In Water : Presence, Removal and Safety*. The Royal society of Chemistry.
5. Gongora-Gomez, A. M., Garcia-Ulloa M., Muñoz-Sevilla N. P., Domínguez-Orozco A. L., Villanueva-Fonseca B. P., Hernández-Sepúlveda J. A., Izaguirre R. O., 2017, Heavy-metal contents in oysters (*Crassostrea gigas*) cultivated on the southeastern coast of the Gulf of California, Mexico, *HIDROBIOLOGICA*, Volume 27, Part 2, P. 219-227, ISSN 0188-8897.
6. Harada M., 1995, Minamata Disease: Methylmercury Poisoning in Japan Caused by Environmental Pollution, *Critical Reviews in Toxicology*, 25:1, P. 1-24.
7. Jonathan M. P., Muñoz-Sevilla N. P., Góngora-Gómez A. M., Varela R.G-L., Sujitha S. B., Escobedo-Urías D. C., Rodrigues-Espinosa P. F., Villegas L. E. C., 2017, Bioaccumulation of trace metals in farmed pacific oysters *Crassostrea gigas* from SW Gulf of California coast, Mexico, *Chemosphere*, Volume 187, P. 311-319, ISSN 0045-6535.
8. Kafka Z., Punčochářová J., 2002, Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita, *Chemické listy* 96, S. 611-617.
9. Kasuya M., 2000, Recent epidemiological studies on itai-itai disease as a chronic cadmium poisoning in Japan, *Water Science & Technology*, 42 (7-8), P. 147-154.

10. Kopp R., Hilscherová K., Poštulková E., 2015, *Základy vodní ekotoxikologie*, Mendelová Univerzita v Brně.
11. Kumar V., Abbas A. K., Aster J. C., 2013: *Robbins Basic Pathology; Environmental and nutritional diseases*, volume 9, Philadelphia: Elsevier.
12. Markert B., 2010: Bioindication and biomonitoring as innovative biotechniques for controlling heavy metal data of the environment. *Proceedings of 15th International Conference on Heavy Metals in the Environment*, (p. 1071). Poland: Department of Analytical Chemistry, Chemical Faculty, Gdansk University of Technology, Gdansk.
13. Muñoz-Sevilla N. P., Villanueva-Fonseca B. P., Góngora-Gómez A. M., García-Ulloa M., Domínguez-Orozco A. L., Ortega-Izaguirre R., Villegas L. E. C., 2017, Heavy metal concentrations in diploid and triploid oysters (*Crassostrea gigas*) from three farms on the north-central coast of Sinaloa, Mexico, *ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT*, Volume 189, Part 11, ISSN: 0167-6369. DOI 10.1007/s10661-017-6223-9.
14. Ochoa-Valenzuela L. E., Gomez-Alvarez A., García-Rico L., Villalba-Atondo A. I., 2009, Distribution of heavy metals in surface sediments of the Bacochibampo Bay, Sonora, Mexico, *Chemical Speciation & Bioavailability*, 21:4, P. 211-218.
15. Osuna-Martínez, C.C., Páez-Osuna, F., Alonso-Rodríguez, R., 2011, Cadmium, Copper, Lead and Zinc in Cultured Oysters Under two Contrasting Climatic Conditions in Coastal Lagoons from SE Gulf of California, Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol* 87, 272., P. 272–275.
16. Páez-Osuna F., Osuna-Martínez C. C., 2015, Bioavailability of Cadmium, Copper, Mercury, Lead, and Zinc in Subtropical Coastal Lagoons from the Southeast Gulf of California Using Mangrove Oysters (*Crassostrea corteziensis* and *Crassostrea palmula*), *ARCHIVES OF ENVIRONMENTAL CONTAMINATION AND TOXICOLOGY*, Volume 68, Part 2, P. 305-316, ISSN: 0090-4341.
17. Parmar T. K., Rawtani D., Agrawal Y. K., 2016, Bioindicators: the natural indicators of environmental pollution, *Frontiers in Life Science*, 9:2, P. 110-118.

18. Ronci L., Meccoli L., Iannilli V., Menegoni F., De Matthaeis E., Setini A., 2016, Comparison between active and passive biomonitoring strategies for the assessment of genotoxicity and metal bioaccumulation in *Echinogammarus veneris* (Crustacea: Amphipoda), *Italian Journal of Zoology*, 83:2, P. 162-172.
19. Ruiz-Fernández A. C., Wu R.S. S., Lau T-C., Pérez-Bernal L.H., Sánchez-Cabeza J. A., Chiu J. M.Y., 2018: A comparative study on metal contamination in Estero de Urias lagoon, Gulf of California, using oysters, mussels and artificial mussels: Implications on pollution monitoring and public health risk. *Environmental Pollution*, Volume 243, Part A, P. 197-205, ISSN 0269-7491.
20. Sturgeon R. E., 2017, Photochemical vapor generation: A radical approach to analyte introduction for atomic spectrometry, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 32(12), DOI: 10.1039/C7JA00285H.
21. Супрунович А. В., Макаров Ю. Н., 1990, Культивируемые беспозвоночные. Пищевые беспозвоночные: мидии, устрицы, гребешки, раки, креветки, Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского, Киев, Наук, думка, ISBN 5-12-001611-1.

Webové zdroje:

1. Biomonitoring - an overview | ScienceDirect Topics. ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books. [online]. Copyright © 2020 Elsevier B.V. or its licensors or contributors. [cit. 08.03.2020]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/biomonitoring>.
2. Chemical Instrumentation - Home [online]. Copyright © [cit. 08.03.2020]. Dostupné z: <http://chemicalinstrumentation.weebly.com/flame-aas.html#:~:text=Flame%20Atomic%20Absorption%20Spectrometry,by%20means%20of%20a%20flame>.
3. Domovská stránka Vysoké školy chemicko-technologické v Praze - Vysoká škola chemicko-technologická v Praze [online]. Copyright © [cit. 08.03.2020]. Dostupné z: <https://www.vscht.cz/files/uzel/0005766/AAS.pdf?redirected>.

4. EUR-Lex - 32006R1881 - EN - EUR-Lex. EUR-Lex — Access to European Union law — choose your language [online]. Copyright © 2020 Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32006R1881>.
5. Flame Atomic Absorption Spectroscopy - an overview | ScienceDirect Topics. ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books. [online]. Copyright © 2020 Elsevier B.V. or its licensors or contributors. [cit. 08.03.2020]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/flame-atomic-absorption-spectroscopy>.
6. Gulf of California | gulf, Mexico | Britannica. Encyclopedia Britannica | Britannica [online]. Copyright ©2020 Encyclop [cit. 08.03.2020]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/place/Gulf-of-California>.
7. Gulf of California | Places | WWF. WWF - Endangered Species Conservation | World Wildlife Fund [online]. Copyright © 2020 World Wildlife Fund [cit. 08.03.2020]. Dostupné z: <https://www.worldwildlife.org/places/gulf-of-california>.
8. Home - Springer [online]. Copyright © 2020 Springer Nature Switzerland AG. Part of [cit. 08.03.2020]. Dostupné z: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4419-9863-7_1212.
9. Hydride Generation - an overview | ScienceDirect Topics. ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books. [online]. Copyright © 2020 Elsevier B.V. or its licensors or contributors. [cit. 08.03.2020]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/hydride-generation>.
10. ICETT/Preventative Measures Against Water Pollution Jinzu River, Toyama Prefecture. ICETTホームページ [online]. Copyright © 2020 [cit. 08.03.2020]. Dostupné z: <https://www.icett.or.jp/english/abatement/toyama/index.html>.
11. One-way ANOVA - An introduction to when you should run this test and the test hypothesis | Laerd Statistics. SPSS Statistics Tutorials and Statistical Guides | Laerd Statistics [online]. Copyright © 2020 Lund Research Ltd [cit. 08.03.2020]. Dostupné z: <https://statistics.laerd.com/statistical-guides/one-way-anova-statistical-guide.php>.

12. ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА. [online].
Copyright © 2020 [cit. 08.03.2020]. Dostupné z:
https://ami.nstu.ru/~headrd/seminar/publik_html/Izm_T_8.htm.

Zdroje obrázků:

1. Food and agricultural organization of the United States [online]. Copyright © 2020 [cit. 08.03.2020]. Dostupné z: <http://www.fao.org/fishery/species/3514/en>.

2. Mapy.cz [online]. Copyright © 2020 [cit. 08. 03. 2020]. Dostupné z:
[https://en.mapy.cz/zakladni?x=-
110.8707464&y=27.8604812&z=5&source=osm&id=112794333](https://en.mapy.cz/zakladni?x=-110.8707464&y=27.8604812&z=5&source=osm&id=112794333).