



**Prof. Milena Horvat, Ph.D.**

Head, Department of Environmental Sciences  
Jožef Stefan Institute  
Jamova 39  
SI-1000 Ljubljana, Slovenia  
Tel: +386 1 5885 389  
<http://www.environment.si>



Dean, Jožef Stefan International Postgraduate School  
Jamova 39  
SI-1000, Ljubljana, Slovenia  
<http://www.mps.si>

## ***Živo srebro in ostali globalni polutanti v antarktičnem okolju***

Raziskave so v veliki meri osredotočene na pojav in usodo živega srebra v antarktičnem okolju v okviru podnebnih sprememb. Da bi zmanjšali negativne učinke živega srebra na človeka in ekosisteme, je bila leta 2013 sprejeta konvencija Minamata, katere podpisnice so skoraj vse države na svetu, večina pa jo je tudi ratificirala. Vendar ostajajo številna odprta vprašanja, predvsem metodologija za spremljanje učinkovitosti te konvencije. Slovenija je pri teh prizadevanjih zelo aktivna, predvsem zaradi dediščine živega srebra v Idriji v Sloveniji, kjer je bil drugi največji rudnik živega srebra na svetu.

Z znanjem, ki povezuje vse segmente okolja in bioloških sistemov, bi tako lahko bolje razumeli vpliv podnebnih sprememb na kroženje živega srebra v zelo ranljivem okolju Antarktike. Nekaj ciljev sem na kratko zapisala v v tem dokumentu. Imamo znanje in opremo ter zelo navdušene raziskovalce, vendar bi seveda potrebovali dostop do Antarktike. Z največjim veseljem bi se udeleževali raziskovalnih odprav. Upam, da se bo za slovenske raziskovalce odprla pot do enega najbolj zanimivih in doslej najmanj raziskanih okolij na svetu.

V sodelovanju z nemškimi, švedskimi in italjanskimi raziskovalci preučujemo biogeokemijsko kroženje strupenih in esencilanih kemijskih elementov kot posledico klimatskim sprememb (T, slanost vode, ekosistemske spremembe) s poudarkom na živem srebru. Živo srebro je namreč globalni polutant, kar pomeni, da se ta strupena kovina odlaga daleč v stran od virov onesnaženja. Podobno kot ostala hlapna in obstojna organska onesnaževala, se tudi živo srebro odlaga v polarnih okoljih. Večje odlaganje je zaznано v Arktičnem okolju, medtem ko o odlaganju živega srebra na Antraktiko ni veliko podatkov. Znano je, da se živo srebro, ki se odlaga preko atmosfere na površino ledu in vodo lahko metilira, pri čemer se tvori monometilživo srebro (MeHg), ki zlahka prehaja v biološke sisteme, ter se kopiči v organizmih na vrhu prehraske verige. MeHg je izjemo toksična oblika živega srebra, zato je potrebno poznati dinamiko nastanka in privzema v biološke sisteme.

Objavili smo že skupne objave, ki kažejo na povišanje vsebnosti živega srebra v vodnem stolpcu in organizmih. Raziskave nadaljujemo v smeri razumevanja bioloških in kemijskih procesov in napovedovanja v prihodnje ob upoštevanju globalnih virov in ukrepov za zmanjševanje izpustov v globalno atmosfero (v kontekstu izvajanja ukrepov, ki jih nalaga Konvencija Minamata). Namreč led, ki se topi vsebuje hranila in živo srebro, ki se ob stalnem taljenju sproščata v vodo. V nadaljevanju želimo raziskave usmeriti v naslednje smeri:

- Spremljanje procesov metilacije (identifikacija bakterij, ki so odgovorne za proces metilacije, demetilacije in redukcije Hg)
- Spremljanje procesov oksidacije in redukcije (postavitve naprav za kontinuirno merjenje hlapnih oblik Hg (Hg<sup>0</sup>) in dimetil živo srebro)
- Uporaba DGT naprav, kot pasivnih dozimetров za spremljanje prirodnosti različnih oblik Hg v morski vodi
- Z merjenjem razmerja izotopskega razmerja Hg stabilnih izotopov opredeliti delež Hg, ki je prisoten zaradi globalnih antropogenih virov.
- Preučevanje zaščitne vloge selena pri akumulaciji Hg v organizmih, zlasti na vrhu prehranskih verig (sesalci, priči)
- Uporaba in aplikacija globalnih biogeokemijskih modelov s katerimi želimo simulirati usodo živega srebra vsled klimatskih sprememb.

V tem kontekstu predlagamo kombinirane meritve speciacije živega srebra, celotnega in metiliranega, z metagenomsko analizo mikrobne DNK celotne skupnosti iz antarktičnega snega, slanice, morskega ledu in morske vode, da razjasnimo potencialne poti metiliranja in hlapljenja živega srebra v polarnih morskih okoljih. Preučevali bi zlasti morskо mikroaerofilno bakterijo Nitrospina kot potencialni metilator živega srebra v morskem ledu. Anaerobne bakterije, za katere je znano, da metilirajo živo srebro, v metagenomih morskega ledu niso bile prisotne. Predlagamo, da lahko antarktični morski led v južnem oceanu vsebuje mikrobni vir metil živega srebra.

S tem delom bomo bistveno doprinesli k ukrepom implementacije konvencije Minamata, ki jo je podpisala EU in Slovenija, prav tako pa tudi države južne Amerike.

Pozornost bi posvetili tudi ostalim strupenim in esencilanim elementom, obstojnim organskim onesnaževalom, ter tistim, ki so obstojna in zelo mobilna; in predvsem tistimi, ki so na prioritetnem programu EU. Onesnaženje namreč škoduje našemu zdravju in okolju. Je največji okoljski vzrok za številne duševne in telesne bolezni ter prezgodnje smrti, zlasti med otroki, ljudmi z določenimi zdravstvenimi težavami in starejšimi. Poleg tega, da onesnaženje vpliva na zdravje ljudi, je eden glavnih razlogov za izgubo biotske raznovrstnosti. Zmanjšuje zmogljivost ekosistemov za zagotavljanje storitev, kot sta sekvestracija in dekontaminacija ogljika. Leta 2021 je Evropska komisija sprejela akcijski načrt "Na poti k ničelnemu onesnaževanju zraka, vode in tal - gradnja bolj zdravega planeta za bolj zdrave ljudi" (Green Deal).

Bolj podrobno bi preučevali pingvine, ki so primerni indikatorji kontaminacije Antarktike iz več razlogov: so endemični in dolgoživi, jih je enostavno opazovati in vzorčiti, se razmnožujejo v velikih kolonijah, so na vrhu prehranskih verig, vsako leto se vrnejo v isto gnezditveno kolonijo in zasedajo visoke tropske položaje, zaradi česar so dovzetni za visoke ravni onesnaževal, ki se biomagnificirajo, kot je Hg. Kot je bilo poudarjeno, lahko razlike v ekologiji (prehrana), fiziologiji in spolu privedejo do razlik v stopnji izpostavljenosti znotraj iste ali med različnimi vrstami pingvinov. Vendar ni podatkov o vplivu **genetskega ozadja na variabilnost izpostavljenosti**. Zato bi bilo treba oceniti, kako lahko genske razlike v genih, ki so neposredno ali posredno povezane z metabolizmom ali biološkimi učinki različnih onesnaževal ali bistvenih hranil (kot je selen), vplivajo na občutljivost ali potencialno prilagodljivost (toleranco) pingvinov na izpostavljenost. Takšne informacije bi pomagale

oceniti, v kolikšni meri so vrste pingvinov ogrožene zaradi onesnaženja njihovega lokalnega okolja. Primerna območja za preučevanje interakcij genov in okolja bi bila območja otoka **King George** zaradi znane velike onesnaženosti z različnimi onesnaževali (npr. Hg, Pb, Cd, POPs), bogatih kolonij pingvinov (vrste *Adelie*, *Chinstrap* in *Gentoo*) in razmeroma dobre dostopnosti.

Sestavila: Milena Horvat, 1.2.2021