

DELO NAŠIH ZAVODOV IN DRUŠTEV
ATTIVITÀ DEI NOSTRI ISTITUTI E DELLE
NOSTRE SOCIETÀ
ACTIVITIES BY OUR INSTITUTIONS AND
ASSOCIATIONS

ŽIVO SREBRO V OBMOČJU IDRİJE
IN SEVERNEGA JADRANA



Workshop on

Mercury in the Idrja Region
and the Northern Adriatic

Rudnik živega srebra v Idriji, drugi največji rudnik te rude na svetu, je nepretrgoma deloval skoraj 500 let. V tem času so odkopali prek 5 milijonov ton živosrebrove rude, večinoma v obliki cinabarita, in več kot 25% pridobljenega živega srebra se je porazgubilo v okolju. Emisije v metalurškem procesu in prezračevanje rudniških jaškov je povzročalo visoke koncentracije živega srebra v zraku, ki se je večinoma deponiralo v območju Idrije. Glavni vzrok za povišano koncentracijo živega srebra v okoljski prsti je odlaganje ostankov žganja in jalovine. Remobilizacija materiala je prispevala k akumulaciji živega srebra v rečnih naplavinah, prsti in rečnih sedimentih. Danes še vedno poteka vnos živega srebra z reko Sočo v Tržaški zaliv, kjer se kopiči v užitnih morskih organizmih, tudi gojenih v marikulturi, in tako lahko pomeni zdravstveni, ekonomski in socialni problem za lokalno prebivalstvo.

Vrsta raziskav, opravljenih v zadnjih letih, je zajela različne vidike živega srebra v območju Idrije in severnega Jadrana, ki vključujejo porazdelitev, speciacijo, akumulacijo, vpliv in kroženje živega srebra. V organizaciji Inštituta Jožef Stefan, Morske biološke postaje Nacionalnega inštituta za biologijo in Univerze na Alaski je 14. in 15. maja 2001 v Portorožu potekala mednarodna delavnica pod naslovom "Živo srebro v območju Idrije in severnega Jadrana". Delavnico smo organizirali v okviru slovensko-ameriškega znanstvenega projekta "Biogeokemija živega srebra v porečju Idrije: procesi metilacije in demetilacije". Organizacijo delavnice so podprli Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport, Ministrstvo za okolje in prostor, Nacionalna znanstvena fundacija ZDA (NSF), Fakulteta za pomorstvo in promet Univerze v Ljubljani, Slovenska znanstvena fundacija in Rudnik živega srebra Idrija. Namen delavnice je bil zbrati raziskovalce, ki se ukvarjajo s kroženjem in vplivom živega srebra v rekah in morju, prsti, atmosferi in organizmih ter vplivom na zdravje ljudi. Poseben poudarek smo posvetili primerjavam z drugimi okolji, obremenjenimi z živim srebrom. V delavnici so sodelovali raziskovalci iz Slovenije, Italije,

Hrvaške, Nemčije, Francije, Španije, Rusije, Češke in ZDA. Daljši povzetki prispevkov (referatov in posterjev) so zbrani v 1. številki letnika 48 revije RMZ - Materials and Geoenvironment.

Splošno

W. B. Lyons z Univerze Ohio v Columbusu (ZDA) je podal pregled današnjega znanja o izvori in pretvorbah živega srebra v okolju, ki je globalni polutant, strupen v nizkih koncentracijah zaradi svoje sposobnosti kopičenja v prehranjevalni verigi. Najpomembnejši izvor antropogenega živega srebra je atmosfera, med najpomembnejšimi točkastimi izvori pa je današnja in pretekla rudarska dejavnost, kamor sodi tudi Idrija. Večina antropogenega živega srebra izvira iz izgorevanja fosilnih goriv, predvsem premoga. Le malo živega srebra, deponiranega na kopnem, se izpira v reke, tisti del, ki preide v reke, pa je izpostavljen metilaciji in demetilaciji. Pomembna mesta metilacije in demetilacije so mokrišča. Porazdelitev živega srebra v rekah je povezana s koncentracijo suspendirane snovi in raztopljene organske snovi. Sedimenti so končni depo živega srebra in živo srebro v jedrih sedimentov je kazalec razmer v preteklosti. J. E. Gray z Geološkega zavoda ZDA v Denverju je prikazal pregled transporta in kroženja živega srebra ter vplivov rudnikov živega srebra na okolje na primerih nahajališč v pacifiškem območju. V teh rudiščih, kjer je ruda pretežno cinabarit, koncentracija pirita nizka in rudniške vode nevtralne, je zaradi male topnosti živega srebra koncentracija metil živega srebra nizka. V nahajališčih s silikatnimi in karbonatnimi minerali pa so koncentracije metil živega srebra višje. Blížina mokrišč z visoko vsebnostjo organske snovi, spremenljivimi klimatskimi razmerami in rudniške vode z visokimi koncentracijami raztopljenega živega srebra pospešujejo metilacijo. Izliv takih vod v obalno morje vodi do metilacije živega srebra v morskem okolju, do kopičenja v užitnih morskih organizmih in prehoda v ljudi. F. Baldi z Univerze Ca Foscari v Benetkah (Italija) je prikazal rezultate raziskav vpliva sulfatoredukcijskih bakterij na razgradnjo metil živega srebra in nastanek elementnega (Hg(0)) v aerobnem in dimetil živega srebra v anaerobnem okolju. K. Duddleston z Univerze na Alaski v Anchorageu (ZDA) in sodelavci so na osnovi poskusov v morskih in sladkovodnih sedimentih in prsti z različnih lokacij v severni Ameriki in Evropi pokazali, da poteka metilacija živega srebra pretežno anaerobno, aerobne razmere pa pospešujejo reduktivno demetilacijo. Procese, ki vplivajo na porazdelitev živega srebra v atmosferi, so prikazali R. Ferrara in sodelavci z Inštituta CNR za biofiziko iz Pise (Italija), N. Pirrone in I. Hedgecock z Inštituta CNR za študij onesnaževanja zraka iz Rende (Italija) in R. Ebinghaus iz GKSS Geesthacht (ZR Nemčija). Od treh najpomembnejših nahajališč v sredo-

zemskem bazenu, Almadena (Španija), Mt. Amiata (Italija) in Idrije, ki so prispevala približno 50% celotne svetovne proizvodnje živega srebra, obratuje danes le Almaden. Druga so degradirana okolja, opuščene naprave in kupi ostankov prežganega cinabarita, ki vsebuje ostanke elementnega živega srebra. Nizki izkoristki v postopkih pridobivanja v preteklosti so prispevali k razširjanju kovine v plinastem stanju in delcih po atmosferi, zemlji in vodi. Biološki monitoring in analize v zraku in padavinah kažejo visoke koncentracije živega srebra. Uporaba novih analiznih tehnik (laserske spektroskopije) omogoča prostorsko in časovno detekcijo ter določanje tokov živega srebra v atmosferi. Tako so določili glavne izvore živega srebra v zraku v Almadenu in Mt. Amiati: metalurški postopek, prezračevanje rudniških jaškov, prežgani odpadni cinabarit in kontaminirana prst v bližini naprav. Koncentracije živega srebra v zraku kažejo na visoke koncentracije nad Almadenom v poletnem in jesenskem obdobju zaradi lokalnega reliefa in prevladujoče smeri vetrov. V Mt. Amiati sta območji povišanih koncentracij živega srebra v zraku v bližini opuščene rudnika in v bližini termoenergetskega objekta. Porazdelitev živega srebra v zraku v Idriji je visoka v bližini opuščene peči in rudniške prezračevalne naprave. V Mt. Amiati je viden padec koncentracije nad opuščnim rudnikom v zimskem obdobju nizkih temperatur. Študij porazdelitve, transporta in kroženja živega srebra v atmosferi nad Sredozemljem poteka danes z ustreznimi modeli, ki so uporabni v načrtovanju strategij za zmanjšanje emisij živega srebra v območju. V polarnih območjih, ki so danes pod močnim vplivom naravnih in antropogenih emisij živega srebra, so nižje koncentracije vidne v času polarnih noči in so posledica oksidacije, adsorpcije in depozicije plinastega živega srebra.

Območje Idrije

S. Pirc z Univerze v Ljubljani je prikazal splošne geološke in geokemijske zadržanosti živega srebra na območju Slovenije s pregledom vsebnosti živega srebra v litosferi, pedosferi, hidrosferi, biosferi in antroposferi. Močni tektonski premiki v srednjem Triasu so omogočili akumulacijo živosrebrove rude v idrijskem bazenu. Razširjena je v smer NW-SE v dolžini 1,5 km, širini 0,3-0,6 km in do globine 120 m. Prevladuje cinabarit, zaznati pa je tudi samorodno živo srebro in v manjših količinah še metacinabarit. Drugi minerali so še pirit, markazit, dolomit, kalcit, kaolinit, epsomit in melantherit. V prsti so opazne do dvakrat povišane koncentracije živega srebra v zahodni Sloveniji glede na vzhodni del. Povišane koncentracije živega srebra v prsti so opazili tudi v dolini Soče kot posledica uporabe živosrebrovega fulminata med prvo svetovno vojno. V prsti urbaniziranih področij zbuja pozornost območje Kopra z najvišjimi koncentracijami. Opisana porazdelitev je vidna

tudi v rečnih sedimentih in podtalnici. V atmosferi Idrije so med delovanjem rudnika (1970) ugotovili izredno visoke koncentracije, ki pa so se v 90. letih znižale. Porazdelitev koncentracij nad Idrijo danes močno varira in je odvisna predvsem od jakosti in smeri vetrov. Raziskave živega srebra v prahu naselij in hiš so pokazale, da so najvišje koncentracije v prahu v Kopru, na Jesenicah in v Celju. **R. Rajar** z Univerze v Ljubljani je podal pregled hidrologije Idrijice in Soče ter Tržaškega zaliva, ki je pomembna za razumevanje transporta in porazdelitve živega srebra v porečju in zalivu. Količina padavin v porečju Idrijice in Soče je visoka in močno varira. Zaradi konfiguracije terena je erozija precejšnja, vendar je transport delcev omejen zaradi treh jezov na Soči (Doblar, Plave, Solkan). Hidrologija Soče je dobro znana na slovenski strani (Solkan) s povprečnim pretokom približno 100 m³/s z dvema izrazitima sezonskima vrhovoma: daljši na pomlad zaradi taljenja snega v Alpah in krajši, a močnejši zaradi padavin jeseni. Pomemben pritok po Solkanu je Vipava. Na italijanski strani ni obsežnejših kontinuiranih meritev pretoka Soče, čemur se pridružuje še zapletena hidrologija porečja, ki vključuje pritok Ter in reko Timavo, ki se neposredno izliva v Tržaški zaliv. Ocenjeni povprečni pretok reke Soče na izlivu je 170 m³/s. Na povprečno tokovanje v Tržaškem zalivu vplivajo vetrovi (predvsem burja in jugo), sladkovodni pritoki (vplivajo predvsem ob ustju, razen ob visokem rečnem pretoku), plimovanje in termohaline razmere. Smer toka v zalivu je pretežno ciklonalna, kar vpliva na porazdelitev vnešenga živega srebra v zaliv, ki se razširja predvsem ob severni obali v zahodni smeri. **T. Dizdarevič** z Rudnika živega srebra v Idriji je prikazala vpliv idrijskega rudnika na okolje od začetkov leta 1490, mimo odkritja bogate žile cinabarita leta 1508, do dokončnega zaprtja leta 1994. Nahajališče leži pod mestom. Približno 70% rude je cinabarita, 30% pa samorodnega živega srebra. V preteklosti je bila vsebnost živega srebra v rudi bistveno večja. Največja produkcija živega srebra je bila dosežena leta 1913, in sicer 820 ton. Izkoristek pridobivanja je bil v preteklosti nizek, do 75% do leta 1948 in približno 90% po letu 1961. Prežgani cinabarit so odlagali v bližini naprav. V 500 letih so odkopali prek 12 milijonov ton rude, pridobili 153.000 ton živega srebra, od katerega je 44.500 ton kontaminiralo okolje med Idrijo in Tržaškim zalivom. Emisije v atmosfero so dosegale približno 7-10 ton letno. Koncentracije v zraku so bile v času delovanja v sedemdesetih letih zelo visoke, znižale so se v času zmanjšane obratovanja, danes pa so povišane le ob rudniških zračnikih in kupih jalovine. V prsti v območju Idrije je koncentracija živega srebra zelo visoka. Rudniške vode, bogate z živim srebrom, so se izlivala v Idrijico, povišane koncentracije železa in sulfata kot posledica žganja rude pa so še danes vidne v reki Idrijci. Živo srebro v reki Idrijci je tako posledica atmosferske depozicije, odnašanja prsti in erozije pre-

žganih ostankov rude, kar se kaže v visokih koncentracijah v reki, rečnih sedimentih in Tržaškem zalivu. **M. Horvat** z Instituta Jožef Stefan in sodelavci so prikazali porazdelitev živega srebra v vodi, sedimentu in prsti v porečju Idrijce in Soče. Koncentracije totalnega živega srebra v reki Idrijci po rudniku narastejo približno 20-kratno v primerjavi s koncentracijami nad mestom. Koncentracije v Idrijci ostajajo visoke do izliva v Sočo, nato pa je opazen padec koncentracij po jezovih in predvsem Sočinem ustju. Koncentracije reaktivnega živega srebra, ki obsega raztopljeno plinasto in lahko reducirano anorgansko vezano živo srebro, kažejo podoben trend kot celotno živo srebro. Reaktivno živo srebro je značilno povezano z raztopljenim, kar kaže, da je njegov delež izpostavljen hitrim pretvorbam v vodi, nasprotno pa ni opaziti značilne povezave med celotnim in reaktivnim živim srebrom zaradi nizke reaktivnosti živega srebra, vezanega na delce. Koncentracije raztopljenega živega srebra so višje v Idrijci kot Soči, ponovno narastejo pa Sočinem ustju. Metil živo srebro kaže podoben trend kot celotno z najvišjimi koncentracijami pod mestom Idrijo, najnižjimi pred sotočjem Idrijce in Soče in povišanimi koncentracijami v akumulacijskih jezerih in ustju Soče, ki so pomembna mesta pretvorb. Porazdelitveni koeficienti med suspendiranim in raztopljenim živim srebrom so visoki in variabilni, kar kaže na njegovo močno vezavo na delce, ki je večja od metil živega srebra. Obstaja negativna povezava med porazdelitvenimi koeficienti in suspendirano snovjo. Delež metil živega srebra v celotnem živem srebrom narašča v akumulacijskih jezerih in Sočinem ustju. V sedimentih Idrijce je koncentracija živega srebra najvišja pod mestom Idrijo, v sedimentih Soče pa so koncentracije nižje, razen v sedimentih akumulacijskih jezer. Povišane koncentracije metil živega srebra so vidne v sedimentih Idrijce po mestu Idriji in so nato nižje v Soči. V prsti so najvišje koncentracije v površinski plasti v bližini opuščenege metalurškega obrata, globlje so koncentracije nižje, kar kaže na recentno atmosfersko in rečno depozicijo. Koncentracije metil živega srebra so v prsti nižje kot v rečnih sedimentih, kar kaže na nizko hitrost metilacije. Višje koncentracije so opazne na vzpetinah zaradi različnih izvorov: živo srebro v gozdni prsti je predvsem posledica atmosferske depozicije, v nižini pa je posledica depozicije delcev cinabarita. Reaktivnost atmosferskega živega srebra je večja od delcev cinabarita ob reki, kar se kaže v povišani koncentraciji metil živega srebra, ki se ob močnem deževju spira v reko in nato v morje. Transport živega srebra je večinoma posledica hidrometeoroloških razmer v področju. **H. Biester** z Instituta za geokemijo okolja iz Heidelberga (ZR Nemčija) in sodelavci so analizirali speciacijo živega srebra v prsti in sedimentih območja idrijskega rudnika. Najvišje koncentracije so bile zabeležene v starejših ostankih žgane cinabarita zaradi nizkih izkoristkov v metalurškem

procesu v preteklosti. V rudi iz obdobja krede je predvsem samorodno živo srebro, v dolomitnih kamninah pa predvsem cinabarit. V žganih ostankih rude, mlajših od 200 let, je predvsem živo srebro, ki ni vezano v cinabaritu. Visoke koncentracije kovinskega živega srebra so posledica nepopolnega sežiga rude ali pa vezave na železov oksid. V mlajših ostankih je živosrebrov oksid. V prsti v bližini rudnika in ostankov rude je cinabarit, drugje pa je zaradi atmosferske depozicije emisij metalurškega procesa živo srebro vezano predvsem na organsko snov. V rečnih sedimentih Idrijce in Soče je viden padec koncentracij nizvodno, višje koncentracije so opazne v naplavinah kot v rečnih brzicah. V grobih delcih so visoke koncentracije živega srebra v obliki cinabarita, živo srebro v drobnih delcih pa je organsko vezano. V sedimentih Idrijce in Soče do izliva v morje je živo srebro vezano večinoma v cinabaritu. Živo srebro, ki ni v obliki cinabarita in je vezano v manjših delcih, se večinoma odpavlja v Tržaški zaliv, cinabarit, vezan v grobih delcih, pa ostaja v rečnih sedimentih. **M. Gosar** z Geološkega zavoda Slovenije in sodelavci so analizirali vsebnost živega srebra v mestnem in hišnem (na podstrešjih starih hiš) prahu ter prsti v Idriji in okolici. Oba analizna podatka se geografsko dobro ujemata, prav tako obstaja značilna povezava med obema podatkom in višino, kar kaže, da je onesnaženje večinoma omejeno na dolino reke Idrijce. Najvišje koncentracije v prahu so ugotovili v bližini dimnika metalurškega obrata in zračnika rudnika v dolini Ljubevšče. **A. Gnamuš** z Ministrstva za šolstvo, znanost in šport in sodelavci so predstavili analize živega srebra in metil živega srebra v prsti in vegetaciji (gozdu) v območju Idrije in Podljubelja ter primerjalno v Ljubljani. Visoke koncentracije v območju Idrije so v zadnjem desetletju ostale približno konstantne, vzporedno z visokimi koncentracijami živega srebra v zraku. Koncentracije v vegetaciji so nižje kot v prsti, obe pa ostajata kljub zmanjšani emisiji živega srebra visoki in pomenita najpomembnejši vnos kovine v prehranjevalne verige. Visoke koncentracije živega srebra so opazne tudi v prsti in vegetaciji ob davno opuščenege rudnika v Podljubelju. Metil živo srebro se hitreje privzema v rastlinah kot celotno živo srebro, privzem obeh pa se zmanjšuje z naraščanjem pH in vsebnostjo organske snovi v zemlji. **T. Barkay** z Univerze Rutgers v New Jerseyu (ZDA) je predstavila molekularne in biokemijske raziskave mikrobnega potenciala volatilizacije Hg v ekosistemih Idrijce in Tržaškega zaliva. Bakterijska redukcija živega srebra (II) in metil živega srebra poteka z encimoma reduktazo (produkt gena *mer A*) in liazo (produkt gena *mer B*), ki sta del bakterijske odpornosti proti živemu srebrom v operonu *mer*. Biosintezo obeh inducira Hg(II), in razgradnja metil živega srebra in redukcija Hg(II) sta odvisni od koncentracije Hg(II) v okolju žive bakterijske celice. Geni *mer* so močno zastopani v mikrobnih biomasi v Idrijci in Soči, kjer je

pojavljanje *mer* B obratno sorazmerno s koncentracijo metil živega srebra in biološke porabe Hg(II). Obstaja povezava med izvorom živega srebra v Idrjici in prisotnostjo mikrobnih genov *mer*, kar zmanjšuje koncentracijo Hg(II) v rečni vodi, ki se izliva v Tržaški zaliv. Biološka volatilizacija Hg(II), ki je aktivna v Idrjici, je lahko bioremediacijski proces zmanjševanja nastanka metil živega srebra v Tržaškem zalivu. Združbe makroinvertebratov, ki jih pogosto uporabljajo za določanje vpliva polutantov v vodah, je E. B. Major z Univerze na Alaski v Anchorageu (ZDA) uporabila v reki Idrjici za določanje vpliva živega srebra na vodne združbe in kopičenje v organizmih, ki omogočajo vnos živega srebra v prehranjevalno verigo. Koncentracija celotnega in metil živega srebra v makroinvertebratih je močno povišana v bližini mesta Idrjice. Nato nizvodno pada in je izvor za kopičenje živega srebra v ribah. A. B. Kobal iz Rudnika živega srebra v Idrjici in sodelavci so predstavili vpliv rudnika živega srebra na zdravje rudarjev in prebivalcev Idrjice, ki so bili (predvsem rudarji) izpostavljeni elementu živega srebra, prahu in ionizirajočemu sevanju (radonu). Najvišja koncentracija elementnega živega srebra je bila v bližini metalurškega obrata. Število zastrupitev, ki je bilo po drugi svetovni vojni visoko, je nato padalo, čeprav so rudarili v nahajališčih, bogatih s samorodnim živim srebrom. Analize so pokazale subakutne in kronične zastrupitve z živim srebrom, ki so se kazale v drhtavici, orofaringelnem sindromu, eritizmu in proteinurei. Analize umrlih delavcev rudnika so pokazale višje koncentracije živega srebra (in selena) kot v prebivalcih Idrjice, kopičilo pa se je posebno v endokrinih žlezah, ledvicah, jetrih in možganih. Koncentracije živega srebra v prebivalcih Idrjice so v splošnem precej višje kot v prebivalcih nekontaminiranih območij, saj je okolje s svojo prstjo, zrakom, vegetacijo in ribami močno kontaminirano z živim srebrom. Ostanke prežgane rude, na katerih so zgrajene hiše, vsebujejo še visoke koncentracije nuklidov ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th in ^{40}K . Povečano je število rakavih obolenj in obstaja možnost močne povezave med anorganskim živim srebrom in nastankom raka na jetrih. Dolgotrajni vpliv živega srebra na centralni živčni sistem je viden v razdražljivosti, nespečnosti, depresiji in drhtavici.

Tržaški zaliv

J. Fagnoli z Morske biološke postaje Piran Nacionalnega inštituta za biologijo in Univerze v Ljubljani ter sodelavci so prikazali porazdelitev celotnega in raztopljenega živega srebra in metil živega srebra v vodah Tržaškega zaliva. Visoke koncentracije celotnega živega srebra so omejene na območje izliva reke Soče, medtem ko se koncentracije raztopljenega živega srebra manj razlikujejo od drugih (nekontaminiranih) območij v Jadranu. Značilni povezavi med celotnim in raztopljenim živim srebrom in slanostjo kažeta na skupni rečni

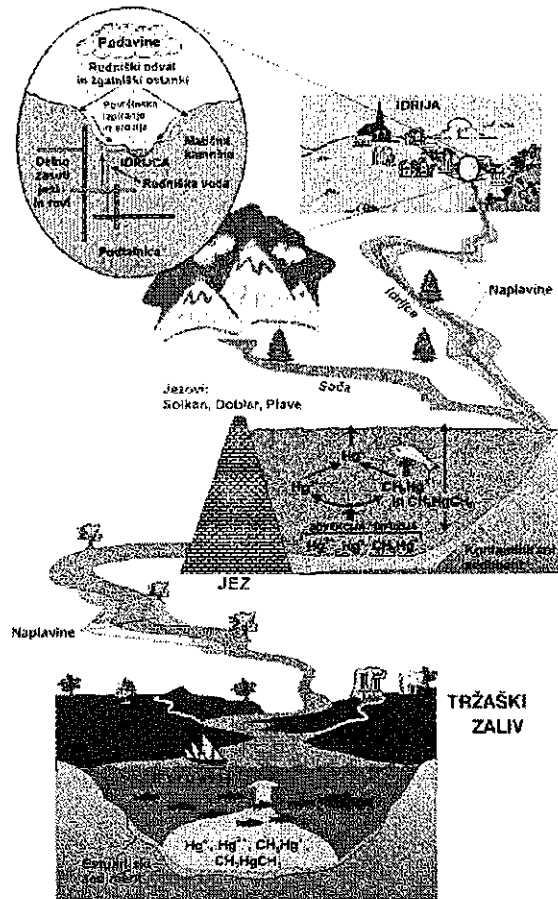
izvor obeh vrsti, med celotnim in reaktivnim pa, da obstaja stalni delež celotnega živega srebra, ki je izpostavljen biogeokemijskim spremembam. Višje koncentracije celotnega in raztopljenega živega srebra in celotnega in raztopljenega metil živega srebra pri dnu so posledica remobilizacije in resuspenzije z dna. To potrjuje visoka hitrost sedimentacije suspendiranega živega srebra v zalivu, ki je povezana s sedimentacijo celotne suspendirane snovi. Nihanja v vsebnosti celotnega in metil živega srebra v mezozooplanktonu so posledica časovnih sprememb biomase in vrstne sestave. S. Covelli z Univerze v Trstu (Italija) in sodelavci so predstavili porazdelitev živega srebra v sedimentih Tržaškega zaliva, ki je, ob Kaštelanskem zalivu, najvišja v Jadranskem morju. Pozornost zbujejo visoke koncentracije ob izlivu Soče, ki se razširjajo proti zahodu ob italijanski obali. Živo srebro v delcih cinabarita se deponira pretežno v območjih peščenega dna ob izlivu Soče in severne obale zaliva. V osrednjem delu zaliva je živo srebro vezano predvsem na drobne glinene delce in v organskih kompleksih. Delež organsko vezanega živega srebra se povečuje proti sredini zaliva, vzporedno z večjim deležem drobnih delcev v sedimentu. Vsebnost metil živega srebra se povečuje z oddaljenostjo od izliva Soče (znižanjem vsebnosti celotnega živega srebra) in povečanim deležem glinenih delcev. Koncentracije celotnega raztopljenega in metil živega srebra v pornih vodah v sedimentu so najvišje v jesenskem obdobju zaradi prehoda med hitro redukcijo sulfata v poletnem obdobju in jesensko nižjo mikrobnost aktivnostjo (zaradi nižjih temperatur), kar omogoča intenzivnejše pretvorbe, tokove in akumulacijo na meji sediment-voda. Daljša jedra sedimenta iz Tržaškega zaliva kažejo na močno povišane koncentracije v vrhnjih plasteh kot posledica proizvodnje živega srebra v Idrjici (največja leta 1913). M. E. Hines z Univerze na Alaski v Anchorageu (ZDA) in sodelavci so preučevali nastanek in razgradnjo metil živega srebra v sedimentih Tržaškega zaliva. Z reko vnešeni cinabarit se raztaplja v stiku s povišanimi koncentracijami sulfida v pornih vodah in živo srebro se metilira in nato z aerobnimi in anaerobnimi bakterijami demetilira. Oba procesa, ki potekata v sedimentu celotnega zaliva, vodijo predvsem sulfat reducirajoče bakterije. Njun odsev so podobne koncentracije raztopljenega in metil živega srebra v pornih vodah z različnih odvzemnih mest v zalivu. Oba procesa sta sklopljena in najhitrejša v poletnem obdobju. Demetilacija poteka večinoma oksidativno in nastali produkt je CO_2 . Pozimi je pomemben produkt tudi CH_4 , ki nastaja reduktivno z bakterijskim operonom *mer*. A. Brambati z Univerze v Trstu (Italija) in sodelavci so prikazali rezultate kontaminacije sedimentov in organizmov z živim srebrom v Maranski in Gradeški laguni, ki je v vzhodnem delu pod vplivom vnosa reke Soče. Viden je padec koncentracij živega srebra v sedimentu v smeri proti zahodu z višjimi koncentracijami

v plasti pod površino. Izjema je osrednji del Maranske lagune, kjer je povišana koncentracija živega srebra še posledica lokalne klor-alkalne industrijske dejavnosti. Padec vsebnosti živega srebra v vodnih rastlinah in živalih sledi padcu koncentracij v sedimentu. V morski travi *Zostera marina* se večina kovine akumulira na površini. Višje koncentracije živega srebra se kopičijo v višjih trofičnih nivojih. V ribah, tudi gojenih v marikulturi, se kopičenje poveča z velikostjo (starostjo). Povišane vsebnosti so bile končno ugotovljene v pticah in laseh lokalnih prebivalcev, ki so se hranili predvsem z ribami. **D. Žagar** in **A. Širca** z Univerze v Ljubljani sta opisala masno bilanco živega srebra v Tržaškem zalivu. Vnos s Sočo je daleč najpomembnejši vnos v zaliv in obsega 1,5 tone letno, od tega 99,5% v suspendirani obliki. Rastopljeno metil živo srebro sestavlja le 1,5% celotnega rastopljenega živega srebra v vnosu. Velika večina vnešenega živega srebra sedimentira in ostaja trajno deponirana na dnu Tržaškega zaliva. **F. Barbone** z Univerze v Vidnu (Italija) in sodelavci so v preliminarni epidemiološki študiji prehranjevanja prebivalcev z ribami in vsebnosti živega srebra v laseh in materinem mleku in dojenčkih v obalnem območju severovzhodne Italije pokazali, da zaradi razmeroma majhne porabe rib v prehrani visoke koncentracije v okolju ne vodijo do povišanih vsebnosti živega srebra v preučevani populaciji.

Primerjave

V primerjavah med posameznimi predeli, kontaminiranimi z živim srebrom, so **P. Higuera**s z Univerze Castilla-La Mancha v Almadenu (Španija) in sodelavci prikazali onesnaženje zemlje v bližini največjega rudnika živega srebra, Almadena (Španija), na svetu, ki je posledica deponij prežganih ostankov rude in metalurških obratov. Najvišje vsebnosti v prsti so v območju pH=7 zaradi tam obstoječih karbonatov. V prsti je živo srebro trdno vezano v cinabaritu in v huminskih kislinah. **E. A. Bailey** z Geološkega zavoda ZDA v Anchorageu in sodelavci so preučevali pretvorbe živega srebra v zemlji v bližini dveh rudnikov na Alaski, kjer so koncentracije celotnega Hg(II) in metil živega srebra visoke in obstaja obratna zveza med deležem metil živega srebra in celotnim živim srebrom ter metil živim srebrom in organskim ogljikom v vzorcih. Najvišji potencial demetilacije je v vzorcih z visokimi vsebnostmi celotnega živega srebra in pri redukativnem procesu nastajata Hg(II) in CH₄, pri oksidativnem pa še CO₂. Hitrost metilacije je nižja. **J. K. Schaefer** in sodelavci z Univerze Rutgers iz New Jerseyja (ZDA) so pokazali, da je povišana akumulacija metil živega srebra v razmeroma nekontaminiranem kislem jezeru glede na bolj onesnaženo kislo jezero povezana s obstojem bakterijskega gena *mer*, nastankom encima liaze in intenzivnejšo razgradnjo metil živega srebra. Modeliranje porazde-

litve živega srebra v zelo onesnaženi reki Carson (Nevada, ZDA), ki je posledica suspendiranega živega srebra, na kar vplivata erozija in transport delcev, so predstavili **J. J. Warwick** z Univerze Gainesville na Floridi (ZDA) in sodelavci. Model je pokazal, da koncentracija anorgansko vezanega živega srebra narašča nizvodno z naraščajočim pretokom reke. Primerjava, ki so jo predstavili **H. Bilinski** in sodelavci z Inštituta Rudjer Bošković iz Zagreba (Hrvaška), in sicer med Tržaškim zalivom in Kaštelanskim zalivom pri Splitu, kamor so se 40 let izlivala odplake lokalne klor-alkalne industrije, kaže podobne koncentracije celotnega živega srebra v sedimentu, a višje koncentracije metil živega srebra. Celotno živo srebro v sedimentih Kaštelanskega zaliva je po podatkih **S. Niessen** z Univerze v Lillu (Francija) in sodelavcev povezano z vsebnostjo karbonata, metil živo srebro pa z vsebnostjo organskega ogljika in sulfida. Kot je ugotovil **T. Zvonarić** z Inštituta za oceanografijo in ribištvo v Splitu (Hrvaška), je kontaminirani sediment izvor celotnega in metil živega srebra v školjkah (dagnje), ki se akumulira pretežno v prebavnem traktu. **C. Trombini** z Univerze v Bologni (Ita-



Kroženje živega srebra v območju Idrije, Soče in Tržaškega zaliva

lija) in sodelavci so predstavili onesnaženje zaščitene obalne lagune Pialassa Baiona (Ravenna, Italija) z živim srebrom, ki je posledica lokalne klor-alkalne industrije. Koncentracije celotnega živega srebra v sedimentu so visoke in zaradi resuspenzije sedimenta in cvetenja bentoških makroalg se polutant razširja po laguni. Živo srebro se vključuje v prehranjevalno verigo (školjke). V sedimentu z nižjo vsebnostjo celotnega živega srebra so vidne višje koncentracije metil in kovinskega živega srebra, kar kaže, da je živo srebro v manj kontaminiranih sedimentih bolj izpostavljeno biološkim pretvorbam. Analize speciacije živega srebra v Jadranskem in Sredozemskem morju, ki so jih predstavili **M. Horvat** z Instituta Jožef Stefan in sodelavci, so pokazale, da so koncentracije celotnega in celotnega metil ter celotnega raztopljenega in raztopljenega metil živega srebra v primerjavi s Tržaškim in Kaštelanskim zalivom zelo nizke. V odprtih vodah je živo srebro zelo reaktivno in nastajata metil in raztopljeno plinasto živo srebro. V onesnaženih obalnih predelih se nastale reaktivne zvrsti vežejo na raztopljene organske spojine. Raztopljene plinaste živosrebrove spojine se v površinski plasti morja fotokemijsko oksidirajo, delno pa prehajajo v atmosfero.

Zaključki

Na okogli mizi, ki jo je vodil **P. Stegnar** z Instituta Jožef Stefan, smo pregledali manjkajoče podatke in določili smeri prihodnjih raziskav. Izhlapevanje živega srebra v atmosfero predstavlja glavno transportno pot za aktivno kroženje živega srebra in disperzijo v manj kontaminirana območja. Rezultati meritev v kontaminiranih rudniških območjih so pokazali, da je živo srebro v zraku močno povečano tudi po večletnem zaprtju rudnikov. Na območju Idrije je pogosto presežena dovoljena koncentracija živega srebra v zraku ($0,05 \mu\text{g m}^{-3}$), kar dodatno obremenjuje prebivalce Idrije. Koncentracije v zraku so zlasti povečane v sončnem in toplem vremenu. Pomembni izvori živega srebra v zraku so topilniški dimniki, peči ter območja v neposredni okolici teh objektov. Prezračevanje rudniških rogov prav tako predstavlja pomemben izvor živega srebra v zraku, kar je zlasti pomembno tudi v Idriji. V prvi fazi remediacije je torej potrebno dokončno odstraniti najpomembnejše izvore živega srebra v zraku, kar je bilo v Idriji deloma narejeno že v prvih letih po prenehanju delovanja rudnika. Mnogo težje je očistiti kontaminirano prst, ki je prav tako pomemben izvor živega srebra v zraku. Rastlinski pokrov lahko bistveno zmanjša izhlapevanje živega srebra v zrak, prav tako pa zmanjšuje disperzijo kontaminiranega prahu. Pomembno je tudi kontrolirati kontaminacijo rudniških objektov, katerih namembnost se je spremenila v komercialno uporabo. Na območju Idrije so meritve živega srebra v zraku redke, prav tako ni podatkov o izmenjavi živega srebra med prstjo in zrakom. Ti podatki so nujno po-

trebni za oceno masne bilance v ožjem in širšem območju Idrije. V nadaljevanju raziskav, ki obravnavajo vplive na zdravje ljudi na tem območju, je zato potrebno v prvi vrsti izdelati modele za oceno izpostavljenosti in identificirati najbolj kritične populacije. Na osnovi teh podatkov bo možno izvesti ukrepe za izboljšanje stanja.

Rezultati raziskav so potrdili, da poteka na območju Idrije, Idrijce in Posočja aktivni prenos živega srebra iz kontaminiranih območij v okolici Idrije ter iz kontaminiranih rečnih naplavin do Tržaškega zaliva, kjer se živo srebro dokončno odlaga v morskem sedimentu. Gibanje morja v zalivu odnaša živo srebro vezano na suspendirane delce proti zahodu. Za boljše razumevanje biogeokemijskega kroženja v rečnem in morskem ekosistemu obstaja danes cela vrst neznanik, ki jih bo potrebno razrešiti. Na območju Idrije in Posočja je potrebno nadaljevati s preučevanjem transporta in depozicije živega srebra v rekah, rečnih naplavinah in v prsti ter akumulacijo živega srebra v prehranjevalnih verigah kopenskih in vodnih ekosistemov. Neznane ali le slabo poznane so pretvorbe različnih zvrsti živega srebra v vodi, ki vključujejo kovinske ione, metil in dimetil živo srebro ter biološko »uporabno« živo srebro. Posebno pozornost bo potrebno posvetiti procesom pretvorb v akumulacijskih jezerih in estuariju Soče, kjer prihaja do intenzivnih biogeokemijskih pretvorb. V rečnem sistemu je torej potrebno najti odgovor na številna vprašanja, kot so ocena transporta v različnih hidroloških pogojih, kemijske oblike živega srebra v sedimentu in njihova reaktivnost, ter s tem povezanih procesov pretvorb v sedimentu, rečnih naplavinah in vodi, posebej še v akumulacijah treh hidroelektrarn. V morskem ekosistemu je prav tako potrebno proučiti vplive bioturbacije na izmenjavo Hg med sedimentom in vodo ter zlasti vpliv občasnega pomanjkanja kisika na dnu Tržaškega zaliva. Tovrstne študije so pomembne, ker predstavljajo osnovo za izdelavo zanesljivih modelov za simulacijo procesov in napovedovanje koncentracij živega srebra v morskih organizmih. Kombinacija okoljskih modelov s socialno-ekonomskimi scenariji lahko omogoči pravilno izrabo prostora in razvojne možnosti.

Nujno potreben je multidisciplinaren pristop k razumevanju obravnavane problematike na območju Idrije, Posočja in Tržaškega zaliva. Rezultate temeljnih raziskav, ki vključujejo predvsem biološke in geokemijske procese v različnih naravnih okoljih, je potrebno integrirati v pripravo političnih odločanj in upravljanja s tem področjem. Pri izdelavi razvojnih načrtov je potrebno omeniti predvsem nekatere pomembne ekonomske dejavnosti, kot so ribištvo in marikultura, pomorski promet in s tem povezano infrastrukturo, izrabo tal na kontaminiranih območjih Idrije in Posočja ter izrabo vodnih virov za pridobivanje električne energije. Vse te dejavnosti lahko bistveno prispevajo k remobilizaciji nakopičenega živega srebra in s tem povzročijo veliko

okoljsko in zdravstveno škodo ter zavrejo uspešno delovanje in razvoj teh dejavnosti. K temu nas bo prisilila tudi nova evropska zakonodaja, ki uvršča živo srebro med pomembne okoljske onesnaževalce. Priprava zakonodaje sloni predvsem na novih ugotovitvah o še varnih dnevniških dozah živega srebra, ki ga ljudje v glavnem privzamemo z uživanjem hrane, zlasti rib, ki pri nas vsebujejo najvišje koncentracije. Živo srebro v ribah je v glavnem prisotno kot metil živo srebro, ki spada med najbolj toksične spojine, in prizadene predvsem možgane v obdobju nastanka v zarodku. Za oceno tveganja je Ameriška okoljska agencija (US EPA) uporabila referenčno dozo (RfD), pri kateri še ne zaznamo nobenih kvarnih vplivov te toksične spojine. Referenčna doza znaša 0,1 µg metil živega srebra na kilogram telesne teže dnevno. Ta doza je lahko hitro presežena ob pogostem uživanju rib, ki so kontaminirane z živim srebrom. Za območje porečij Idrije in Soče ter Tržaškega zaliva je znano, da so koncentracije živega srebra v ribah povišane in pogosto presegajo 0,2 mg/kg sveže teže. V nekaterih primerih koncentracije dosegajo celo 1 mg živega srebra na kg. Oseba, ki zaužije tedensko 250 g rib (2 obroka tedensko) s koncentracijo 0,2 mg/kg, že presega RfD. Ob višjih koncentracijah Hg v ribah pa je ta doza pogosto presežena že ob enem samem obroku na teden. V primeru bolj pogostega uživanja rib je potrebno uvesti priporočila zlasti za najbolj občutljivo populacijo, v katero spadajo predvsem nosečnice in otroci.

Na kratko lahko povzamemo, da je delavnica osvetlila številne pomanjkljivosti v poznavanju vplivov živega srebra na okolje in zdravje ljudi na ožjem in širšem območju Idrije in Tržaškega zaliva. Postavili smo nove temelje za sodelovanje med raziskovalci različnih strok, ki bodo v nadaljnjih letih bistveno prispevali k boljšemu razumevanju bioloških in geokemijskih procesov in remediacije. Vzporedno bo potrebno zasledovati vplive na človekovo zdravje tako v območju Idrije kot v Tržaškem zalivu.

Jadran Faganeli in Milena Horvat

3. MEDNARODNI KONGRES "EKOLOGIJA IN VARSTVO EVROPSKIH GOZDNIH SOV"

Med 12. in 15. oktobrom 2000 je bil v Nemčiji, v kraju St. Andreasberg (gorovje Harz), mednarodni kongres o sovah. Organizirala ga je delovna skupina največje nemške naravovarstvene organizacije NABU.

Kongres je potekal v kongresnem centru Sonnenberg - majhnem naselju z bivalnimi prostori, predavalnico, veliko kuhinjo in jedilnico. Center je bil zgrajen sredi gozda, 15 minut vožnje z avtomobilom od najbližje vasi. Organizacija kongresa je bila klasična, z dopol-

danskimi in popoldanskimi predavanji ter predstavitvijo plakatov, ki je potekala v času med predavanji. Za večerno zabavo so poskrbeli v pivnici, ki pa je bila bolj podobna angleškemu *pubu* kot klasični nemški "nali-valnici s pivom".

Mednarodni del kongresa je potekal v sklopu 16. srečanja "sovologov" Nemčije, kar z drugimi besedami pomeni, da je bilo večina aktivnih udeležencev iz te države, vključno s svetovno znanimi strokovnjaki, kot sta dr. W. Scherzinger in dr. O. Schwerdtfeger. Sicer pa tudi mednarodni del udeležbe ni bil na odmet. Še posebej močna je bila ekipa iz Finske, v kateri so zbujali pozornost vodilni strokovnjaki za sove, dr. E. Korpimäki, dr. H. Pietiäinen in P. Saurola. Kot gost je bil na kongresu navzoč tudi dr. I. Newton, Škot po rodu, ki pa že nekaj časa živi in služi v Avstraliji. V zanimivem večernem predavanju nam je v sliki in besedi ilustriral stanje raziskovanja sov in drugih ptic na tej oddaljeni celini, kjer je stopnja raziskanosti občutno nižja kot v Evropi. Številna je bila tudi udeležba strokovnjakov iz vzhodne Evrope, od Čehov, Slovakov in Poljakov do Rusov in Belorusov, presenetljivo pa ni bilo nikogar iz Anglije in tudi iz povsem južnih evropskih držav - Italije, Grčije, Španije in Portugalske.

Največ prispevkov na kongresu je bilo o lesni sovi (*Strix aluco*). Ta vrsta je predvsem v zahodni Evropi hvaležen objekt raziskav. Recept za raziskave lesne sove, ki so ga ponujali številni prispevki, je preprost. V gospodarsko izčrpanih in okleščeni gozdovih postaviš gnezdišnice, ki jih vrsta rada zasede, in že se zbirajo podatki. Nemški kolegi se, vsaj po številu prispevkov sodeč, največ ukvarjajo s koconogim čukom (*Aegolius funereus*), ki ima največjo populacijo v Nemčiji prav v okolici kongresnega centra. Čeprav so organizatorji obljubljali tudi obisk čukovih gnezdišč, pa je zaradi vremena (ali pa morda preveč pival!) nočni izlet pozneje padel v vodo. Zelo poučne, čeprav metodoško nekoliko slabše so bile predstavitve kozače, s katero se ukvarja kar nekaj vzhodnoevropskih strokovnjakov. V nasprotju s finskimi kozačami, ki gnezdiijo le še v umetnih gnezdiščih, smo od njih izvedeli marsikaj o naravnih gnezdiščih. Nekaj je bilo tudi prispevkov o dolgoročnih, deset, dvajset in tudi trideset let trajajočih gnezditvenih in prehranjevalnih popisih sov. Na kongresu je bilo veliko slišati tudi o ogroženosti lesne sove in male uharice. Ali sta vrsti v Evropi že ogroženi ali še ne? Mnenja so bila zelo deljena. Zelo malo ali celo nič je bilo prispevkov o veliki (*Bubo bubo*) in močvirski uharici (*Asio flammeus*) ter seveda o pegasti sovi (*Tyto alba*), ki je ne štejemo med gozdne.

V Evropi so srečanja strokovnjakov, ki se ukvarjajo s sovami, dokaj redka in neredna. Prvo je bilo leta 1990 v Švici, drugo leta 1992 na Škotskem. Kje in kdaj bo naslednje, ne ve še nihče.

Davorin Tome