

Operativni program zmanjševanja onesnaževanja vodnega okolja z emisijami živega srebra iz razpršenih virov onesnaževanja v Republiki Sloveniji*

I. Pravna podlaga

Program zmanjševanja onesnaževanja vodnega okolja z emisijami živega srebra iz razpršenih virov onesnaževanja v Republiki Sloveniji (v nadaljnjem besedilu: program zmanjševanja onesnaževanja z živim srebrom) je operativni program, ki sledi iz Nacionalnega programa varstva okolja (Uradni list RS, št. 83/99).

Program zmanjševanja onesnaževanja z živim srebrom temelji na uveljavljanju že sprejetih predpisov o mejnih emisijskih vrednostih emisij živega srebra v okolje, izraženih kot koncentracija ali kot emisijski faktor za posamezno industrijsko dejavnost, podatkih o identificiranih in pomembnih točkovnih ter razpršenih virih emisij živega srebra v Sloveniji ter podatkih monitoringa kakovosti površinskih voda ter podatkih o že izvedenih in predvidenih ukrepih za zmanjšanje oziroma odpravljanje posledic emisij živega srebra v okolju.

II. Posnetek obstoječega stanja

1. Podatki o nevarni snovi, na katero se nanaša program:

Tabela št. 1: splošni podatki o nevarni snovi, na katero se nanaša program.

Naziv snovi	Oznaka snovi	CAS številka
Živo srebro	Hg	

2. Splošen opis snovi in področja njene uporabe

Živo srebro se v glavnem uporablja v manometrih, termometrih, svetilkah, baterijah ter električnih stikalih, kot sestavni del amalgamov v zobozdravstvu in kot elektroodni material pri elektrolizi. V naravi se pojavlja tako v elementarni obliki, kot v obliki spojin. Zaradi velike hlapnosti se prenaša na velike razdalje in s spiranjem prehaja v površinske vode in oceane.

3. Emisijske vrednosti

V Republiki Sloveniji so dovoljene emisije živega srebra v okolje predpisane z uredbami, ki sprejme Vlada Republike Slovenije.

*Ta operativni program vsebinsko povzema direktivo 84/156/EGS o izpustih živega srebra v vodno okolje.

a) Odpadne vode

Tabela št. 2: mejne emisijske vrednosti in emisijski faktorji za živo srebro, določeni za posamezno industrijsko dejavnost.

Mejne emisijske vrednosti

Uredba	Mejna emisijska vrednost (mg/l)	
	iztok v vodotok	iztok v kanalizacij o
Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda iz virov onesnaževanja (Uradni list RS, št. 35/96, 21/03 in 2/04 -ZZdrl-A)	0,01	0,01
Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov za opravljanje zdravstvene in veterinarske dejavnosti (Uradni list RS, št. 10/99)	0,01	0,01
Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov in naprav za proizvodnjo rastlinskih in živalskih olj in maščob (Uradni list RS, št. 10/99)	0,01	0,01
Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov in naprav za proizvodnjo fitofarmaceutskih sredstev (Uradni list RS, št. 84/99)	0,01	0,01
Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov in naprav za pripravo vode (Uradni list RS, št. 28/00)	0,01	0,01
Uredba o emisiji snovi pri odvajanju izcedne vode iz odlagališč odpadkov (Uradni list RS, št. 7/00)	0,01	0,01
Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz naprav za čiščenje odpadnih plinov sežigalnice odpadkov in pri sosežigu odpadkov (Uradni list RS, št. 51/01, 56/02 in 84/02)	0,03	0,03

Mejne emisijske vrednosti in emisijski faktorji

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz naprav za proizvodnjo neželeznih kovin (Uradni list RS, št. 90/00)	Mejne emisijske vrednosti in emisijski faktorji za odpadne vode iz naprav za proizvodnjo svinca, bakra in cinka ter njihovih zlitin		
	mg/l	0,01	0,01
	g/t	1	1

Emisijski faktorji

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov in naprav za čiščenje dimnih plinov (Uradni list RS, št. 28/00)	Emisijski faktorji za živo srebro		
	Elektrarna na rjavi premog in lignit (mg/t)	Elektrarna na črni premog (mg/t)	Elektrarna na tekoča goriva (mg/t)
	1	2	10

Mejne vrednosti za živo srebro v odpadni vodi iz vira onesnaževanja, pri katerem elektroliza vodnih raztopin natrijevega klorida poteka v živosrebrnih celicah			
Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov in naprav za kloralkalno elektrolizo (Uradni list RS, št. 10/99)	izražen kot	enota	mejne vrednosti za iztok v vodotok
Živo srebro v odpadni vodi			
Mesečna povprečna vrednost	Hg	mg/l	0,05 (a)
Dnevna povprečna vrednost	Hg	mg/l	0,02 (a)
Mesečni povprečni emisijski faktor za odpadne vode iz naprav za proizvodnjo klora		g/t	0,5 (b)
Mesečni povprečni emisijski faktor za odpadne vode iz naprav za proizvodnjo klora ter vseh drugih naprav obrata za proizvodnjo klora, kot so naprave za čiščenje, polnjenje in drugo		g/t	1,0 (b) 5,0 (c)
Dnevni povprečni emisijski faktor za odpadne vode iz naprav za proizvodnjo klora		g/t	2,0 (b)
Dnevni povprečni emisijski faktor za odpadne vode iz naprav za proizvodnjo klora ter vseh drugih naprav obrata za proizvodnjo klora, kot so naprave za čiščenje, polnjenje in drugo		g/t	4,0 (b) 20 (c)

(a) velja za reciklirano in odpadno raztopino natrijevega klorida

(b) velja za reciklirano raztopino natrijevega klorida

(c) velja za odpadno raztopino natrijevega klorida

Uredba o emisiji živega srebra pri odvajanju odpadnih vod (Uradni list RS, št. 84/99) velja za objekte in naprave v katerih se pridobiva, proizvaja ali se pri proizvodnji uporablja živo srebro, in sicer pri:

- ◆ industrijskih postopkih, pri katerih se uporabljajo živosrebrovi katalizatorji
- ◆ proizvodnji živosrebrovih katalizatorjev uporabnih v proizvodnji vinilklorida
- ◆ proizvodnji organskih in anorganskih živosrebrovih spojin
- ◆ proizvodnji primarnih baterij, ki vsebujejo živo srebro
- ◆ regeneraciji živega srebra
- ◆ pridobivanju in rafinaciji neželeznih kovin in
- ◆ obdelovanju strupenih odpadkov, ki vsebujejo živo srebro.

Tabela št. 3: mejne vrednosti za živo srebro v odpadni vodi iz virov onesnaževanja, kot jih določa Uredba o emisiji živega srebra pri odvajanju odpadnih vod (Uradni list RS, št. 84/99).

	mejne vrednosti koncentracije živega srebra (mg/l)		mejne vrednosti emisijskega faktorja (g/kg)	
	dnevna povprečna vrednost koncentracije	mesečna povprečna vrednost koncentracije	dnevni emisijski faktor	Mesečni emisijski faktor
Industrijska dejavnost				
Proizvodnja pri kateri se pri industrijskem postopku uporabljajo živosrebrovi katalizatorji:				
♦ pri proizvodnji vinilklorida	0,1	0,05	0,2	0,1
♦ pri drugih postopkih	0,1	0,05	10,0	5,0
proizvodnja živosrebrovih katalizatorjev uporabnih pri proizvodnji vinilklorida	0,1	0,05	1,4	0,7
proizvodnja organskih in anorganskih živosrebrovih spojin (razen proizvodov omenjenih v prejšnji dejavnosti)	0,1	0,05	0,1	0,05
proizvodnja primarnih baterij, ki vsebujejo Hg	0,1	0,05	0,06	0,03
proizvodnja neželeznih kovin:				
♦ naprave za regeneracijo živega srebra	0,1	0,05	/	/
♦ pridobivanje in rafinacija neželeznih kovin	0,1	0,05	/	/
Obdelovanje strupenih odpadkov, ki vsebujejo živo srebro	0,1	0,05	/	/

V Uredbi o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda iz virov onesnaževanja (Uradni list RS, št. 35/96 in 21/03) je določeno, da se mejna vrednost letne količine nevarne snovi (med katere se uvršča tudi živo srebro) določi ob upoštevanju srednjega nizkega pretoka vodotoka, v katerega se odvaja tehnološka odpadna voda iz točkovnega vira onesnaževanja.

b) Odpadki

Pravilnik o ravnanju z odpadki (Uradni list RS, št. 84/98, 45/00, 20/01 in 13/03) določa klasifikacijski seznam odpadkov in nevarnih odpadkov. Mednje spadajo tudi odpadki po čiščenju zemeljskega plina (mulji, ki vsebujejo živo srebro), odpadki, ki vsebujejo kemično vezane kovine (odpadki, ki vsebujejo živo srebro), odpadki iz termičnih procesov v metalurgiji srebra, tekoči odpadki in mulji iz obdelave in površinske zaščite kovin, baterije in akumulatorji (suhe baterije z živim srebrom), ločeno zbrane frakcije (baterije, zdravila in fluorescentne cevi in drugi odpadki, ki vsebujejo živo srebro). Ta pravilnik določa ravnanje z odpadki, pogoje za zbiranje in prevažanje ter predelavo in odstranjevanje odpadkov.

Pravilnik o ravnanju z baterijami in akumulatorji, ki vsebujejo nevarne snovi (Uradni list RS, št. 104/00) določa pravila ravnanja v proizvodnji in porabi baterij in akumulatorjev, ki vsebujejo nevarne snovi. To so:

- baterije ali akumulatorji, ki so bili dani v promet pred 1.1.1999 in vsebujejo več kot 0,0005 % živega srebra od celotne mase baterije ali akumulatorja,
- baterije ali akumulatorji, ki so bili dani v promet pred 1.1.1999 in vsebujejo več kot 25 mg živega srebra na celico in niso alkalno - manganske baterije, ali alkalno - manganske baterije, ki vsebujejo več kot 0,025 % živega srebra od celotne mase baterije.

Ta pravilnik določa tudi pravila ravnanja v zvezi s prevzemanjem, zbiranjem, predelavo in odstranjevanjem teh odpadnih baterij.

Pravilnik o odlaganju odpadkov (Uradni list RS, št. 5/00) določa obvezna ravnanja in druge pogoje za odlaganje odpadkov ter pogoje in ukrepe v zvezi z načrtovanjem, gradnjo, obratovanjem in zapiranjem odlagališč odpadkov ter nadzor po njihovem zaprtju. Pravilnik določa tudi mejne vrednosti živega srebra v odpadkih, ki se odlagajo na odlagališča za nevarne odpadke (3000 mg/kg suhe snovi) in na odlagališče za inertne odpadke (10 mg/kg suhe snovi). Vsebnost živega srebra v izlužku odpadkov, ki se odlagajo na odlagališča za inertne odpadke ne sme presegati 0,005 mg/l, za nenevarne odpadke 0,05 mg/l in za nevarne odpadke 0,05 mg/l.

Pravilnik o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov (Uradni list RS, št. 3/03 in 44/03) določa pogoje v zvezi z ravnanjem pri obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov in obvezna ravnanja pri načrtovanju in izvedbi vnašanja zemeljskega izkopa ali umetno pripravljene zemljine zaradi izboljšanja ekološkega stanja tal. Pravilnik določa največjo vrednost živega srebra v zemeljskem izkopu, namenjenem rekultivaciji tal na kmetijskih zemljiščih: le-ta za srednje lahka tla znaša 0,3 mg/kg suhe snovi, za srednjetežka tla 0,4 mg/kg suhe snovi ter za težka tla 0,8 mg/kg suhe snovi. Največja vrednost živega srebra v zemeljskem izkopu, namenjenem rekultivaciji tal na nekmetijskih zemljiščih ali nasipavanju zemljišč in zapolnjevanju izkopov po citiranem pravilniku znaša 0,7 mg/kg suhe snovi, največja vrednost v izlužku pa 0,01 mg/l. Največja vrednost živega srebra umetno pripravljene zemljine, ki je namenjena rekultivaciji tal na kmetijskih zemljiščih je po pravilniku dovoljena 0,2 mg/kg suhe snovi za zemljino tipa A in 0,3 mg/kg suhe snovi za zemljino tipa B. Pri tem je umetno pripravljena zemljina tipa A zemljina, ki vsebuje več kot 80 prostorninskih odstotkov naravnih srednje težkih ali težkih tal, zemljina tipa B pa zemljina, ki vsebuje manj kot 80 prostorninskih odstotkov srednje težkih ali težkih tal. Citiran pravilnik določa tudi največjo vrednost živega srebra v umetno pripravljeni

zemljini, ki znaša 0,7 mg/kg suhe snovi ter največjo vrednost živega srebra v izlužku za umetno pripravljeno zemljino, ki je namenjena rekultivaciji tal na nekmetijskih zemljiščih ali je namenjena nasipavanju zemljišč in zapolnjevanju izkopov, ki znaša 0,01 mg/kg suhe snovi.

c) Zrak

Uredba o emisiji snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja (Uradni list RS, št. 73/94, 68/96 in 109/01) določa mejne vrednosti emisije snovi v zrak, vrednotenje emisije snovi v zrak, stopnje zmanjševanja emisije in druge ukrepe v zvezi z izpuščanjem snovi v zrak. Živo srebro in njegove spojine spadajo v prvo nevarnostno skupino, katerih mejna vrednost znaša 0,2 mg/m³ pri mejni količini 1 g/h ali več. Citirana uredba za obrate, v katerih se pridobiva klor z elektrolizo kloridov alkalijskih kovin po amalgamskem postopku, za emisije živega srebra z odpadnim zrakom iz proizvodnega obrata z elektrolitskimi celicami, dopušča emisijski faktor, izražen kot letna povprečna vrednost 1,5 g/tono pridobljenega klora.

Uredba o emisiji snovi v zrak iz kurilnih naprav (Uradni list RS, št. 73/94, 51/98, 83/98, 105/00, 50/01, 46/02 in 49/03) določa največjo vsebnost živega srebra in njegovih spojin v lesnih ostankih iz naravnega lesa, ki je 0,05 mg/kg oziroma v lesnih ostankih kot drugem trdem gorivu, ki je 0,4 mg/kg.

Uredba o emisiji snovi v zrak iz sežigalnic nevarnih odpadkov (Uradni list RS, št. 28/00, 31/00-popr.in 50/01) določa mejno povprečno vrednost koncentracije živega srebra in njegovih spojin (izraženo kot Hg) v času vzorčenja najmanj 30 minut in največ 8 ur v odpadnih plinih sežigalnice, in sicer 0,05 mg/m³.

Uredba o emisiji snovi v zrak iz sežigalnic odpadkov in pri sosežigu odpadkov (Uradni list RS, št. 50/01, 56/02 in 84/02) določa mejno povprečno vrednost koncentracije živega srebra in njegovih spojin (izraženo kot Hg) v času vzorčenja najmanj 30 minut in največ 8 ur v odpadnih plinih sežigalnice, in sicer 0,05 mg/m³. Mejna povprečna vrednost koncentracije živega srebra za sosežig odpadkov v cementarnah, ki je izračunana pri računski vsebnosti kisika 10 volumskih % je 0,05 mg/m³. Mejna povprečna vrednost koncentracije živega srebra za sosežiganje odpadkov v kurilnih napravah, ki je izračunana pri računski vsebnosti kisika 6 volumskih % znaša 0,05 mg/m³. Pri tem je čas povprečenja najmanj 30 minut in ni daljši od 8 ur. Mejna vrednost za sosežig odpadkov v industrijskih pečeh za koncentracijo živega srebra znaša 0,05 mg/m³.

d) Tla

Po Uredbi o vnosu nevarnih snovi in rastlinskih hranil v tla (Uradni list RS, št. 68/96, 35/01 in 2/04-ZZdrl-A) letni vnos živega srebra in njegovih spojin ne sme presegati 0,025 kg/ha. Ista uredba določa tudi vsebnost živega srebra in njegovih spojin v kompostu z neomejeno uporabo, ki se vnaša v tla in lahko znaša največ 1 mg/kg suhe snovi ter 5 mg/kg suhe snovi v blatu iz čistilne naprave, kompostu z omejeno uporabo ali mulju, ki se vnašajo v tla.

V Uredbi o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (Uradni list RS, št. 68/96) je za živo srebro in njegove spojine določena mejna

vrednost 0,8 mg/kg suhih tal, opozorilna vrednost 2 mg/kg suhih tal ter kritična vrednost 10 mg/kg suhih tal.

4. Viri (točkovni in razpršeni) emisij snovi v Sloveniji

4.1. Točkovni viri

V Sloveniji je bila v letu 2002 izvedena projektna naloga »Raziskava virov živega srebra v Republiki Sloveniji in študija možnosti za zmanjševanje emisij živega srebra v okolje« (ERICo Velenje, april 2002), iz katere izhaja, da v Sloveniji ni točkovnih virov emisij živega srebra, ki bi imeli pomemben vpliv na vodno okolje.

Na Agenciji Republike Slovenije za okolje se zbirajo letna poročila o obratovalnih monitoringih odpadnih vod iz točkovnih virov onesnaževanja. Vsi posredovani podatki so vključeni v elektronsko podatkovno bazo. Na podlagi podatkov za obdobje 2000 - 2002 je bilo ugotovljeno, da v Sloveniji ni točkovnih virov onesnaževanja, katerih odpadne vode bi z emisijo živega srebra negativno vplivale na površinske vode. Identificirane so bile predvsem izcedne vode iz odlagališč odpadkov, iz sežigalnice odpadkov ter iz bolnišnic. Iz zbranih podatkov iz Poročil o obratovalnih monitoringih odpadnih vod za leto 2002 izhaja, da se je iz točkovnih virov onesnaževanja v letu 2002 v površinske vode odvedlo 7,17 kg živega srebra, od tega 0,29 kg v porečje Save, 2,94 kg v porečje Drave, 3,91 kg v porečje Mure ter 0,03 kg v povodje Jadranskega morja. Ob upoštevanju podatkov o srednjih nizkih pretokih Save, Drave in Mure ter ob upoštevanju trikratnika emitiranih količin živega srebra (kot faktorja nezanesljivosti emisij zaradi meritev, ki so pod mejo določljivosti) je bilo ugotovljeno, da živo srebro, ki se odvaja iz točkovnih virov onesnaževanja nima negativnega vpliva na kemijsko stanje površinskih vod. Izračun je pokazal, da bi z emisijo 21,51 kg živega srebra (trikratnik emisij iz leta 2002) iz točkovnih virov v površinske vode vnesli eno tisočinko mejne vrednosti za živo srebro, ki jo določa Uredba o kemijskem stanju površinskih voda (Uradni list RS, št. 11/02). Ugotovljeno je bilo tudi, da so v letu 2001 in 2002 odpadne vode iz dveh bolnišnic prekoračevale dovoljeno vrednost živega srebra. Ker smatramo, da je to bilo posledica neprimernega ravnanja z živosrebovimi amalgami, je treba pripraviti predpis o načinu in pogojih zbiranja, shranjevanja in odstranjevanja ter ravnanja z odpadnimi živosrebovimi amalgami iz zobozdravstvene dejavnosti. Ostala področja emisij živega srebra iz točkovnih virov so že v celoti urejena z uredbami, ki so naštetje v točki 3. tega programa.

4.2. Razpršeni viri

V že omenjeni projektni nalogi »Raziskava virov živega srebra v Republiki Sloveniji in študija možnosti za zmanjševanje emisij živega srebra v okolje« (ERICo Velenje, april 2002) je bilo ugotovljeno, da se živo srebro v Sloveniji uporablja predvsem v zobozdravstvu (amalgami) ter v električni in optični opremi (stikala) kot tudi v kontrolnih in merilnih instrumentih (manometri, termometri) ter svetilih. Pojavlja se tudi v nekaterih baterijah in laboratorijskih kemikalijah. Iz naloge tudi izhaja, da se naštetje tehnična oprema in instrumenti, baterije in svetila, ki vsebujejo živo srebro ne proizvajajo v Sloveniji, ampak gre zgolj za uporabo uvoženih artiklov.

Baterije

Po podatkih iz projektne naloge »Raziskava virov živega srebra v Republiki Sloveniji in študija možnosti za zmanjševanje emisij živega srebra v okolje« (ERICo Velenje, april 2002) sta v Sloveniji dve podjetji registrirani za uvoz živosrebrnih gumbastih baterij (za ure in slušne aparate). V letu 2001 sta podjetji skupno prodali 10.744 baterij, ki so vsebovale 0,378 kg živega srebra. Če bi se vse živo srebro iz baterij emitiralo v vodno okolje, bi to pomenilo 0,378 kg letnih emisij. Ta podatek je potrdil tudi empirični izračun emisij živega srebra zaradi uporabe baterij po poenostavljeni metodologiji (WS Atkins 1997; Mercury containing products, A report produced for the Department of the Environment, Transport and the Regions), ki upošteva emisijski faktor 0,2 kg Hg/milijon prebivalcev. V Sloveniji (2 milijona prebivalcev) bi se tako na podlagi rezultatov te metode zaradi uporabe živosrebrnih baterij v vodno okolje letno emitiralo 0,4 kg živega srebra.

Merilni in kontrolni instrumenti

Merilni in kontrolni instrumenti vključujejo naslednjo laboratorijsko in medicinsko opremo: merilniki za krvni tlak, termometri, barometri, manometri, navigacijske naprave in kalibratorji. Izvajalec projektne naloge »Raziskava virov živega srebra v Republiki Sloveniji in študija možnosti za zmanjševanje emisij živega srebra v okolje« (ERICo Velenje, april 2002) je ob upoštevanju poenostavljene metodologije (WS Atkins 1997; Mercury containing products, A report produced for the Department of the Environment, Transport and the Regions), ki predpostavlja emisijski faktor 4,4 kg Hg/milijon prebivalcev izračunal, da bi se v Sloveniji zaradi uporabe merilnih in kontrolnih instrumentov letno v okolje emitiralo 8,8 kg živega srebra.

Uporaba električne in optične opreme

Med električno opremo, ki vsebuje živo srebro spadajo termo in mehanična stikala, ki se uporabljajo za železniške signale, telekomunikacije in računalniške komunikacije. Po poenostavljeni metodologiji (WS Atkins 1997; Mercury containing products, A report produced for the Department of the Environment, Transport and the Regions Atkins1997) naj bi se letno zaradi uporabe tovrstne opreme v okolje emitiralo 1,9 kg živega srebra na milijon prebivalcev. Za Slovenijo bi to pomenilo letno emisijo 3,8 kg živega srebra v okolje.

Uporaba svetil

Za razsvetljavo se poleg običajnih žarnic, ki vsebujejo žarilno nitko, uporabljajo tudi fluorescentne svetilke, ki vsebujejo pare živega srebra. Po poenostavljeni metodologiji (WS Atkins 1997; Mercury containing products, A report produced for the Department of the Environment, Transport and the Regions) naj bi se letno v okolje zaradi uporabe teh žarnic emitiralo 0,5 kg Hg/milijon prebivalcev. Upoštevanje tega emisijskega faktorja bi za Slovenijo z 2 milijonoma prebivalcev teoretično pomenilo emisijo 1 kg živega srebra.

Seštevek ocenjenih (teoretično izračunanih) emisij živega srebra v slovensko okolje zaradi uporabe baterij, merilnih in kontrolnih instrumentov, električne in optične opreme ter svetil, ki vsebujejo živo srebro, znaša 14 kg. Glede na dejstvo, da je bilo izračunano, da bi emisija 21,51 kg živega srebra iz točkovnih virov onesnaževanja v površinske vode vnesla le eno tisočinko mejne vrednosti za živo srebro v površinskih vodah, ugotavljamo, da v Sloveniji tudi emisija živega srebra zaradi uporabe baterij, merilnih in kontrolnih instrumentov, električne in optične opreme ter svetil, ki vsebujejo živo srebro, ne bi imela bistvenega negativnega vpliva na kemijsko stanje površinskih vod.

Tako sta bila v Sloveniji kot pomemben vir emisij živega srebra iz razpršenih virov ugotovljena le zobozdravstvena dejavnost (uporaba živosrebrskih amalgamov) in zgorevanje fosilnih goriv (cementarne in termoelektrarne) z atmosfersko depozicijo. Vsi ostali razpršeni viri so zanemarljivi.

a) živosrebrovi amalgami iz zobozdravstva

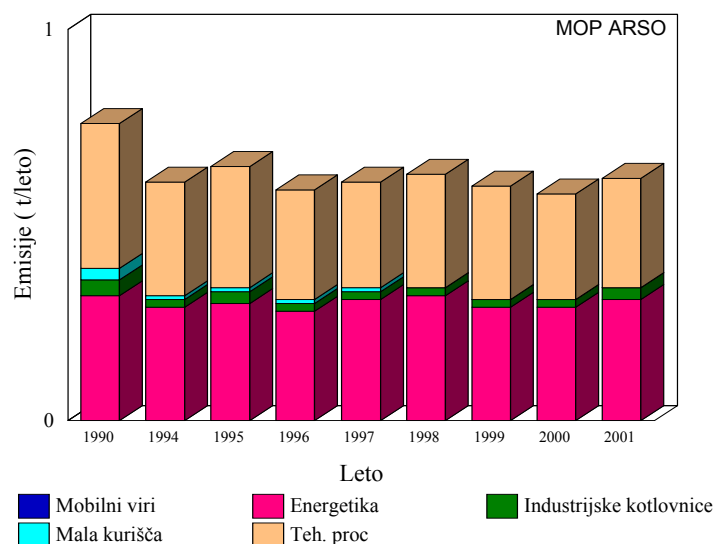
Živosrebrski amalgam je zmes živega srebra z zlitino srebra, kositra in bakra, ki se v zobozdravstvu uporablja za izdelavo zalivk. V vsaki amalgamski zalivki je prisotno do 50 % živega srebra. Iz projektne naloge »Raziskava virov živega srebra v Republiki Sloveniji in študija možnosti za zmanjševanje emisij živega srebra v okolje« (ERICo Velenje, april 2002) izhaja, da se v Sloveniji živosrebrovi amalgami ne proizvajajo. Rezultati omenjene projektne naloge kažejo, da naj bi se v letu 2001 v Sloveniji v obliki amalgamov prodalo približno 229 kg živega srebra. Ob tem pa iz podatkovne baze Agencije Republike Slovenije za okolje, kjer se med drugim zbirajo letna poročila zbiralcev amalgamskih odpadkov iz zobozdravstva, ki jih določa Pravilnik o ravnanju z odpadki (Uradni list RS, št. 84/98, 45/00, 20/01 in 13/03) izhaja, da so bili v letu 2001 skupno zbrani le 3 kg tega odpadka.

Emisije živega srebra v odpadne vode iz zobozdravstvene dejavnosti so že urejene z določitvijo mejne dopustne koncentracije, ki je določena z Uredbo o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov za opravljanje zdravstvene in veterinarske dejavnosti (Uradni list RS, št. 10/99). Ista uredba predpisuje tudi uporabo lovilcev amalgama, katerih učinkovitost je najmanj 95 % (podrobneje opisano v točki 7. tega programa). Na podlagi podatkov iz letnih poročil o obratovalnih monitoringih odpadnih vod iz točkovnih virov onesnaževanja (ki se zbirajo na Agenciji Republike Slovenije za okolje) je bilo za časovno obdobje 2000 - 2002 ugotovljeno, da je odpadna voda iz dveh bolnišnic prekoračevala dovoljeno vsebnost živega srebra. Smatramo, da je bila vsebnost živega srebra v odpadni vodi posledica neprimernega ravnanja z odpadnimi amalgami iz zobozdravstvenih ordinacij, zaradi česar bo Slovenija podvzela ustrezne ukrepe, opisane v nadaljevanju tega programa, v točki 10.

b) izgorevanje fosilnih goriv (cementarne, termoelektrarne in toplotna)

Državne emisijske evidence

Emisije Hg v Sloveniji



Emisije Hg v Sloveniji v letih 1990 2001, razdeljene po glavnih kategorijah virov

Emisije so izračunane iz podatkov o porabah goriv in industrijski proizvodnji ter emisijskih faktorjev iz metodologije OSPARCOM-HELCOM, ki je del metodologije CORINAIR za področje emisij težkih kovin. Emisijski faktorji iz te metodologije so priporočene vrednosti, ki jih države uporabijo v primeru, ko same nimajo na voljo bolj podrobnih podatkov, zato tudi vrednosti emisij niso najbolj zanesljive. Za natančnejši izračun emisij so potrebne meritve emisij, na osnovi katerih se lahko izračunajo letne emisije, ali pa uravnotežijo emisijski faktorji, ki potem ustrezajo specifičnim pogojem na napravah (virih emisij).

Največji viri emisij Hg v zrak so v sektorju energetika (Termoelektrarna Trbovlje, Termoelektrarna Šoštanj in Termoelektrarna – toplarna Ljubljana), ki prispevajo skupno 50% k skupnim letnim emisijam Hg. V sektorju tehnološki procesi so največji viri cementarne, ki prispevajo približno 38 % emisij Hg.

Ukrepi za zmanjšanje emisij Hg v zrak so določeni v Protokolu o težkih kovinah h konvenciji iz leta 1979 o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja.

Zgorevanje fosilnih goriv v neindustrijskih in industrijskih kotlovnicah (naprave za zgorevanje z nazivno vhodno toplotno močjo nad 50 MW)

Ukrepi nadzor in učinkovitost zmanjševanja emisij pri zgorevanju fosilnih goriv

Viri emisij	Ukrep(i) za nadzor	Učinkovitost zmanjševanja (v %)
Zgorevanje kurilnega olja	zamenjava kurilnega olja s plinom	Hg: 70–80
Zgorevanje premoga	zamenjava premoga z gorivi z nižjimi emisijami težkih kovin	Prah: 70–100
	Elektrostatični filtri za prah (na hladni strani)	Hg: 10–40
	mokro razžvepljevanje dimnih	Hg: 10–90

	plinov (RDP) a/	
	vrečasti filtri (VF)	Hg: 10–60

Za zgorevanje fosilnih goriv je določena mejna vrednost za emisije trdnih delcev za trdna in tekoča goriva: 50 mg/m³.

Proizvodnja cementa (naprave za proizvodnjo cementnega klinkerja v rotacijskih pečeh s proizvodno zmogljivostjo nad 500 ton na dan ali v drugih pečeh s proizvodno zmogljivostjo nad 50 ton na dan)

Viri emisij in ukrepi za nadzor in učinkovitost zmanjševanja prahu pri proizvodnji cementa

Viri emisij	Ukrep(i) za nadzor	Učinkovitost zmanjševanja (v %)
Neposredne emisije iz rotacijskih peči	adsorpcija na ogljiku	Hg: > 95

Za Proizvodnjo cementa je določena mejna vrednost za emisije trdnih delcev: 50 mg/m³.

Država pogodbenica mora po dveh letih od začetka veljavnosti protokola za nove oziroma po osmih letih za stare naprave začeti uporabljati za glavne kategorije nepremičnih virov onesnaževanja najboljše razpoložljive tehnologije in mejne vrednosti emisij.

Meritve emisij Hg

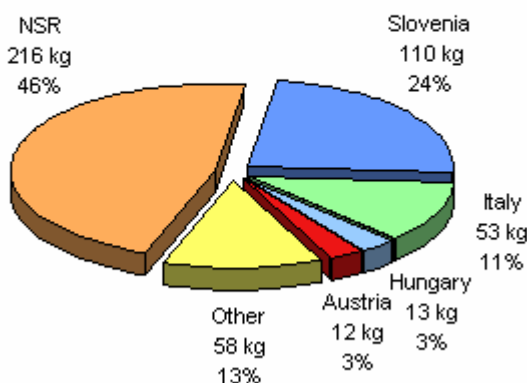
Velike kurilne naprave in cementarne so IPCC zavezanci, ker je za obe dejavnosti (1.1 – velike kurilne naprave in 3.1- cementarne) živo srebro ena od snovi iz priloge 4 pravilnika o prvih meritvah in obratovalnem monitoringu emisije snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja ter pogojev za njegovo izvajanje (Uradni list RS, št. 70/96, 71/00, 99/01 in 17/03). Zato so zavezanci, v kolikor nimajo dovoljenja za opustitev občasnih meritev, tudi dolžni izvajati monitoring emisij Hg zrak. Meritve in poročilo o meritvah naredi pooblaščen izvajalec iz monitoringa. Na osnovi poročila o meritvah je zavezanec dolžan poslati letno poročilo o emisijah snovi v zrak do konca marca za preteklo leto.

c) prekomejni transport emisij živega srebra in usedanje na tla

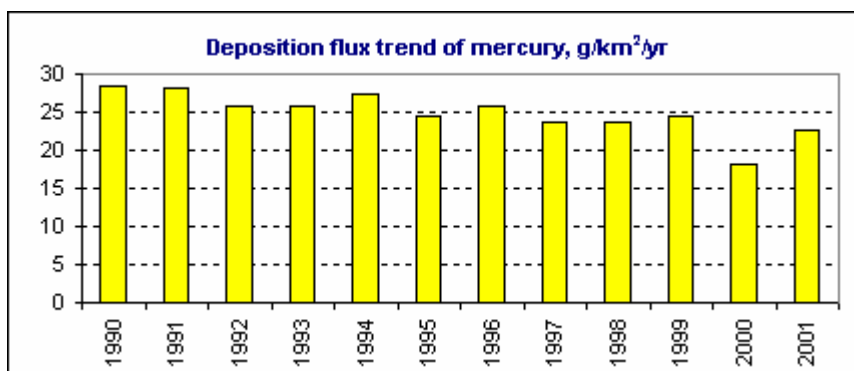
Antropogene emisije vsebujejo živo srebro v različnih oblikah, kot elementarni plinasti Hg (0), oksidirani plinasti Hg (II) ali delec Hg (II). Elementarno živo srebro se v atmosferi zaradi dolgega zadrževalnega časa okrog enega leta enakomerno razporeja in se lahko prenaša na izredno velike razdalje, po celotni zemeljski obli. Divalentno živo srebro, ki je lahko kot delec ali plin, pa je precej bolj reaktivno kot elementarno, z življenjsko dobo od nekaj ur do nekaj dni. Hitro se veže s trdnimi delci ali vodnimi kapljicami v zraku in se odlaga nazaj na tla kot suha ali mokra usedlina. V zraku ima življenjsko dobo od nekaj ur do nekaj dni in se odlaga na tla na področju okrog vira, do oddaljenosti največ nekaj sto kilometrov.

Emisije živega srebra v Sloveniji so 620 kg v letu 2001. Po modelnem izračunu prenosa onesnaženja na velike razdalje EMEP, ki se uporablja za oceno bilance uvoza in izvoza onesnaženja med posameznimi državami v Evropi v okviru Konvencije iz leta 1979 o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja, prispevajo emisije iz Slovenije okrog 24 % k celotni količini usedline v Sloveniji, preostalih 76 % pa uvozimo iz drugih držav (slika 1). Po tem modelnem izračunu je v 2001 količina odloženega živega srebra iz zraka na enoto površine v Sloveniji 17-36 g/km²/leto, oziroma v povprečju okrog 23 g/km²/leto (slika 2). Negotovost rezultatov modela EMEP za transport živega srebra je ocenjena na okrog 30%.

Deposition to Slovenia



Slika 1: Prispevki virov emisijv zrak iz posameznih držav k usedlini živega srebra v Sloveniji v 2001. NSR = naravne emisije, sekundarne antropogene emisije in oddaljeni viri emisij



Slika 2: Časovni trend usedline živega srebra, odložene v Sloveniji (v g/km²/leto)

Vir: [MSC-E Note 6/2003: "Transboundary pollution of Slovenia by HM and POPs"](http://www.msceast.org/countries/Slovenia/), Meteorological Synthesizing Centre – East, <http://www.msceast.org/countries/Slovenia/>

4.3 Razpršeni viri – staro breme rudnik živega srebra v Idriji

Rudnik živega srebra v Idriji spada med največje rudnike Hg na svetu. Približno 70% rude je cinabarita, 30% pa samorodno živo srebro. V preteklosti je bila vsebnost

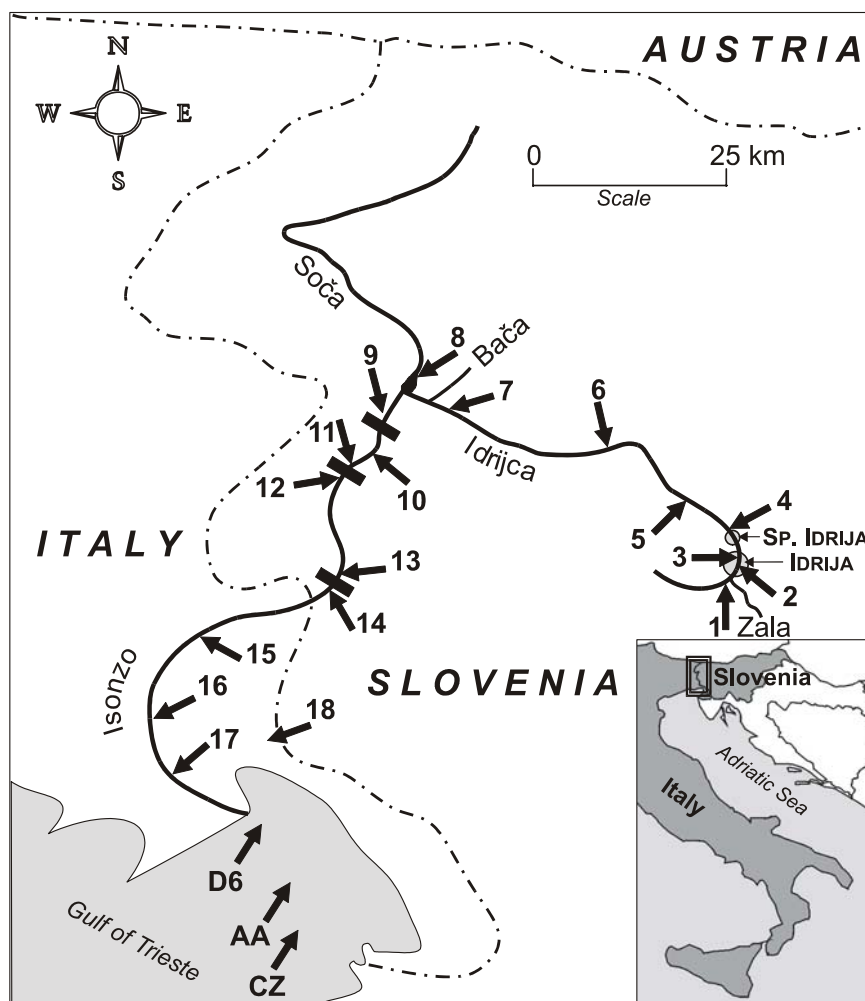
živega srebra v rudi bistveno večja. Največja produkcija, 820 ton živega srebra, je dosegla leta 1913. Izkoristek pridobivanja je bil v preteklosti nizek, do 75% do leta 1948 in približno 90% po letu 1961. Prežgani cinabarit so odlagali v bližini naprav. V 500 letih so odkopali preko 12 milijonov ton rude, pridobili 153 000 ton živega srebra, od katerega je 44 500 ton kontaminiralo okolje med Idrijo in Tržaškim zalivom [Miklavčič, 1999, Dizdarevič, 2001, Pelinkaš et al., 1997]. Emisije v času obratovanja rudnika v atmosfero so znašale približno 7-10 ton letno. Koncentracije v zraku so bile v času delovanja v sedemdesetih letih zelo visoke, znižale so se v času zmanjšanega obratovanja, danes pa so povišane le ob rudniških zračnikih in kupih jalovine. V prsti v območju Idrije je koncentracija živega srebra zelo visoka [Gosar et al. 1997, 2001, Biester et al., 2000]. Rudniške vode bogate na živem srebru so se izlivale v Idrijco, 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 prežganih ostankov rude, kar se odraža v visokih koncentracijah v reki, rečnih sedimentih in Tržaškem zalivu [Horvat et al., 1999, 2001, Hines et al. 2000]. Trenutno je rudnik v fazi zapiranja. Dokončno naj bi bil rudnik zaprt leta 2006.

Čeprav je v času aktivnega rudarjenja Hg v Idriji prihajalo do velikih emisij Hg v okolje, je podatkov o pretekli kontaminaciji okolja bolj malo [Byrne and Kosta 1970, Byrne and Kosta 1970]. Sistematične raziskave vpliva Hg na okolje so se pričele šele v zadnjih 10 letih. Pred tem je bila glavna skrb predvsem zaščita rudarjev in prebivalcev Idrije pred toksičnim delovanjem Hg par. V tem obdobju sta bili organizirani dve delavnici na temo Hg v Idriji, prispevki pa so objavljenih v dveh zbornikih [Miklavčič, 1999, RMZ 2001]. V tem delu želimo na kratko povzeti nekaj pomembnih izsledkov raziskav v zadnjih nekaj letih.

4.3.1 Rečni transport – vnos v Hg v reke in morje

Hidrologija

Hidrologija Idrijce in Soče ter Tržaškega zaliva je pomembna za razumevanje transporta in porazdelitve živega srebra v porečju in zalivu. Količina padavin v porečju Idrijce in Soče je visoka in močno variira. Zaradi konfiguracije terena je erozija precejšnja, vendar je transport delcev omejen zaradi treh jezov na Soči (Doblar, Plave, Solkan) (Slika 1).



Slika 1. Vplivno območje rudnika živega srebra v Idriji

Hidrologija Soče je dobro poznana na slovenski strani (Solkan) s povprečnim pretokom približno $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 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 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 $168 \text{ m}^3/\text{s}$, kar se dobro ujema s podatki, ki so bili izmerjeni leta 1983 (Mosetti, 1983) in $172 \text{ km}^3/\text{s}$ deset let prej (Benini, 1974).

V letu 2003 je bila narejena ponovna ocena transporta suspendirane snovi in živega srebra v rečnem sistemu Idrijca/Soča, ki upošteva povprečne sezonske pretoke in ekstremne pojave. Znano je, da se večina živega srebra prenaša s suspendirano snovjo v času ekstremnih visokih pretokov, ki pa se v tem porečju pojavljajo praviloma vsaj enkrat na leto.

Površina porečja reke Soče v Sloveniji je 2235 km², v Italiji pa 1065 km².

Reka Soča torej letno prinese v Tržaški zaliv 5.3 bilijone m³ vode (izračunano na podlagi povprečnega pretoka vode).

Kot rečeno ekstremni pojavi v času povečanih pretokov dolvodno prenašajo največje količine živega srebra. Praviloma se to pojavlja dvakrat letno v maju in novembru. Kot primer navajamo visoke vode v Novembru 1997, ki se pojavljajo na 5 do 30 let, kjer je bil volumen vode, ki ga je v Tržaški zaliv prinesla reka Soča 350 milijonov m³.

Suspendirana snov

Reki Soča in Idrijca imata veliko transportno moč zaradi strmih pobočij in karakteristik rečne struge zlasti v srednjem in zgornjem toku. Na ta transport pa močno vplivajo 3 hidroelektrarne Doblar, Solkan in Ajba. Doblar v glavnem zadrži večji del sedimenta, ki ga prinese reka Idrijca, medtem ko se suspendirana snov z visoko vsebnostjo živega srebra prenaša dolvodno. Žal je bilo meritev te snovi in živega srebra v preteklosti premalo, da bi ju lahko natančno ocenili. Iz razpoložljivih podatkov pa je jasno, da je Idrijca bolj turbidna reka kot Soča. Variacije v obdobju med 1966 do 1973 so med 1 do 515 g/m³. Groba povprečna ocena je 40 g/m³. V letu 1993 pa so bile izmerjene še dodatne vrednosti, ki so občasno presegle 2500 g/m³.

Na italijanski strani je podatkov žal bistveno manj, zato so natančne ocene končnega vnosa Hg v Tržaški zaliv negotove in najverjetneje podcenjene. Npr. iz podatkov iz leta 1997 v času 5 letnih vod je bila ocena povprečnega vnosa suspendirane snovi 365 g/m³, medtem ko podatki iz leta 2002, izmerjeni v času zmernih in nizkih voda kažejo variacije med 4.6 do 20.3 g/m³.

Na osnovi vseh do sedaj poznanih podatkov je količina letnega vnosa suspendirane snovi v Tržaški zaliv iz reke Soče ocenjena na 150.000 ton.

Živo srebro

Po letu 1990 je bilo opravljenih nekaj meritev Hg v vodi, raztopljeni in vezani delež. Prav tako so bile izmerjene koncentracije monometil živega srebra, ki je v primeru okoljskih in zdravstvenih vidikov najbolj pomembna oblika Hg. Meritve so potrdile dejstvo, da se največje količine Hg prenašajo s suspendiranimi delci. Meritve kažejo veliko variabilnost koncentracij Hg, kar je vezano na pretok in hidrometeorološke parametre ter lokacije. Vrednosti, ki so navedene v številnih poročilih so med <10 pa do 80 mg/kg suspendirane snovi. V letu 2002, ko so bile opravljene sistematične meritve v zmernih in nizkih vodah pa so vrednosti variirale med 1 do 4.5 mg/kg. Delež metiliranega Hg znaša od 0.2 do 3% celokupnega Hg.

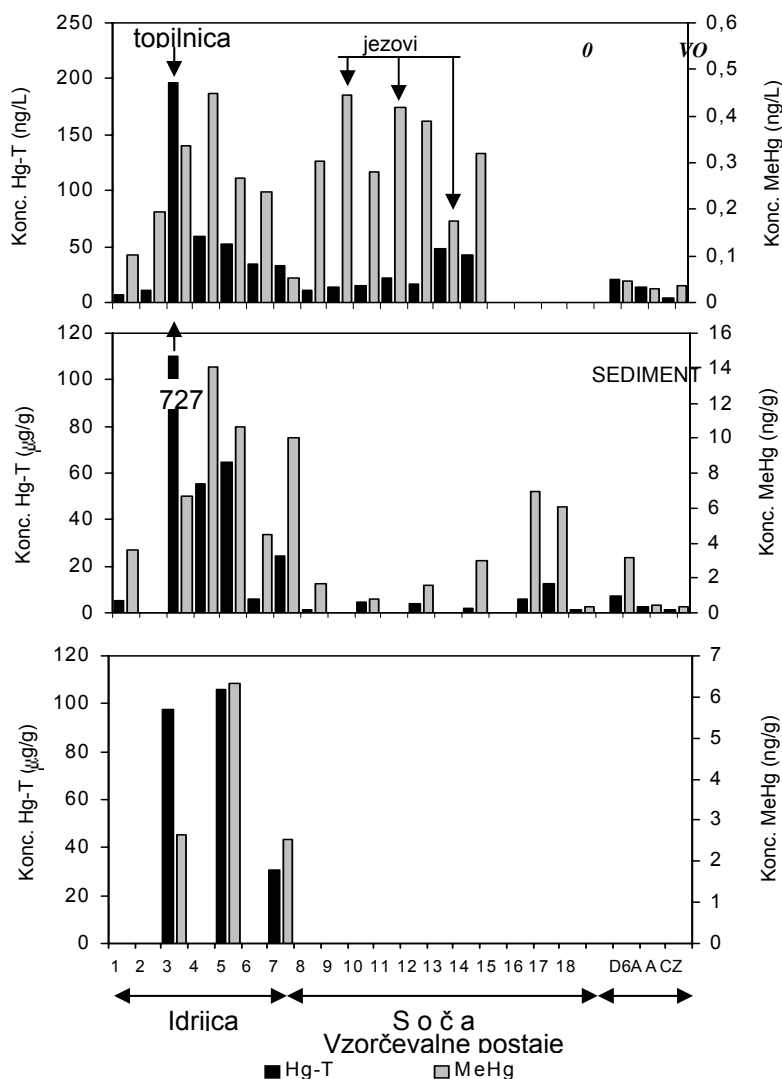
Količina povprečnega letnega vnosa Hg po reki Idrijci je 1500 kg (Širca et al. 1999). Omembe vredno pa je dejstvo, da so pojavi ekstremnih dogodkov (veliki poplavni valovi) lahko bistveno bolj usodni, saj lahko pride v času 5 do 10 letnih vod do velikih količin vnosa Hg, kot je bilo v času poplavnega vala v novembru 1997, ko je v času 8 dni reka Soča v Tržaški zaliv vnesla 4700 kg živega srebra.

Glede na pogostnost takih dogodkov, predvsem zaradi klimatskih sprememb, lahko pričakujemo, da bo takih ekstremnih pojavov v prihodnosti še več.

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 vnešenega živega srebra v zaliv, ki se razširja pretežno ob severni obali v zahodni smeri. Na podlagi številnih študij v Tržaškem zalivu (Hines et al. 2000, Faganeli et al. 1999, Horvat et al. 1999-2003, Covelli et al. 2001) je jasno, da je glavni izvor Hg v Tržaškem zalivu reka Soča, medtem, ko je glavni izvor metilnega živega srebra sediment na dnu zaliva, kar je nazorno prikazano v poglavju o masni bilanci.

4.3.2. Porazdelitev Hg in njegovih spojin v rečnem in morskem okolju

Intenzivne raziskave kroženja Hg v Idriji, Posočju in v Tržaškem zalivu kažejo, da so glavni viri Hg v okolju predvsem odlagališča žgalniških ostankov in jalovine v okolici Idrije, ter zlasti kontaminirana prst vzdolž reke Idrijce in Soče. Ob močnem deževju prihaja do spiranja kontaminirane prsti ter žgalniških ostankov ter jalovine v Idrijco in Sočo ter do transporta v Tržaški zaliv, ki predstavlja ponor Hg v tem okolju. Porazdelitev živega srebra v vodi, sedimentu in prsti v porečju Idrijce in Soče kaže, da koncentracije celokupnega živega srebra v reki Idrijci po rudniku narastejo približno 20-krat v primerjavi s koncentracijami nad mestom (Slika 2). Koncentracije v Idrijci ostajajo visoke do izliva v Sočo, nato pa je opazen padec koncentracij po jezovih in predvsem v estuariju Soče. 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 podvržen hitrim pretvorbam v vodi, nasprotno pa ni opaziti značilne povezave med celotnim in reaktivnim živim srebrom zaradi nizke reaktivnosti živega srebra vezanega na delce [Bonzongo et al., 2002, Horvat et al. 2002].



Slika 2. Porazdelitev celokupnega Hg in MeHg v vodi, sedimentu in prsti

Koncentracije raztopljenega živega srebra so višje v Idriji kot Soči, pa ponovno narastejo v estuariju Soče. Metil živo srebro kaže podoben trend kot celotno z najvišjimi koncentracijami pod mestom Idrija, najnižjimi pred sotočjem Idrije in Soče in povišanimi koncentracijami v akumulacijskih jezerih in estuariju Soče, ki predstavljajo pomembna mesta pretvorb. Porazdelitveni koeficienti med suspendiranim in raztopljenim živim srebrom so visoki in variabilni, kar kaže na njegovo močno vezavo na delce, celo večjo 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 estuariju Soče. V sedimentih Idrije je koncentracija živega srebra najvišja pod mestom Idrija, v sedimentih Soče pa so koncentracije nižje razen v sedimentih akumulacijskih jezer. Povišane koncentracije metil živega srebra so vidne v sedimentih Idrije po mestu Idrija in so nato nižje v Soči.

V prsti so najvišje koncentracije prisotne v površinski plasti v bližini opuščene 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 prisotne na vzpetinah zaradi različnih izvorov: živo srebro v gozdni prsti je pretežno 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 območju.

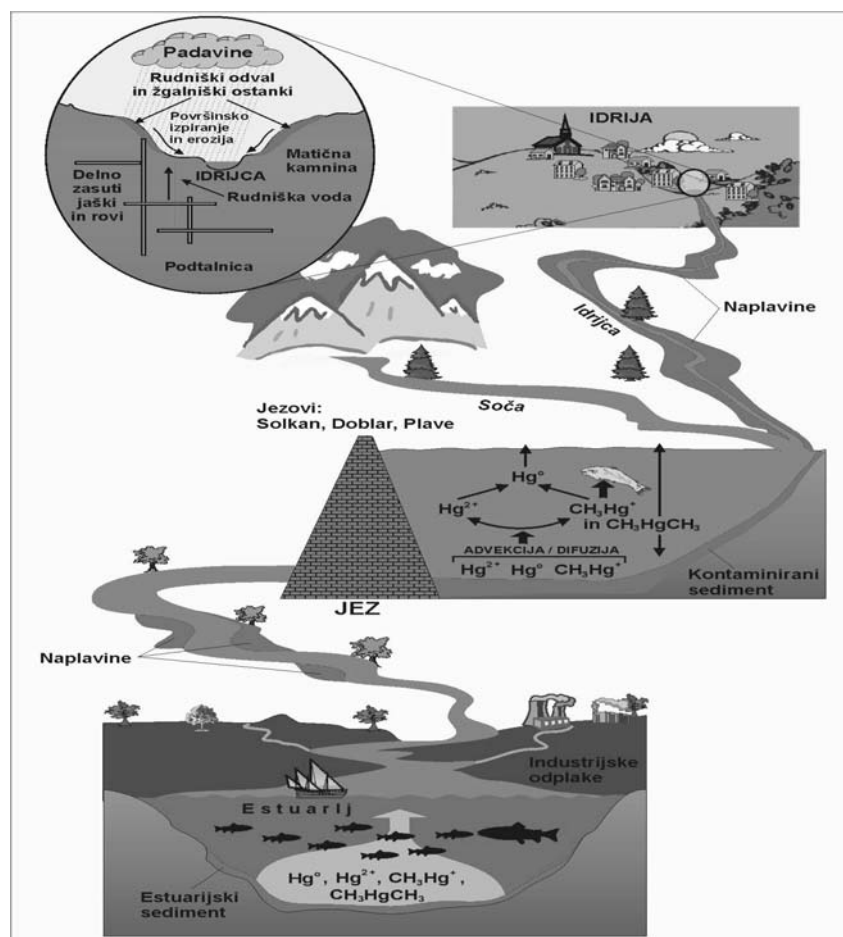
Porazdelitev celotnega in raztopljenega živega srebra in metil živega srebra v vodah Tržaškega zaliva kaže, da so visoke koncentracije celotnega živega srebra omejene na področje izliva reke Soče, medtem ko se koncentracije raztopljenega živega srebra manj razlikujejo od ostalih (nekontaminiranih) področij v Jadranu [Horvat et al. 1999, 2002, Faganeli et al. 2001, 2003, Hines et al. 2000]. Značilni povezavi med celotnim in raztopljenim živim srebrom in slanostjo kažeta na skupni rečni izvor obeh zvrsti, med celotnim in reaktivnim pa, da obstaja stalni delež celotnega živega srebra, ki je podvržen biogeokemijskim spremembam [Faganeli et al., 2001, 2003]. Višje koncentracije celotnega in raztopljenega živega srebra in celotnega in raztopljenega metil živega srebra pri dnu so posledica remobilizacije in resuspenzije z dna. Le-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 (Faganeli et al. 2003).

Razen v Kaštelanskem zalivu je porazdelitev živega srebra v sedimentih Tržaškega zaliva najvišja v Jadranskem morju. Izstopajo visoke koncentracije ob izlivu Soče, ki se razširjajo proti zahodu ob italijanski obali [Covelli et al. 1999, 2001]. Živo srebro v delcih cinabarita se deponira pretežno v področjih peščenega dna ob izlivu Soče in severne obale zaliva. V osrednjem delu zaliva je živo srebro pretežno vezano 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 mikrobnostjo (zaradi nižjih temperatur), kar omogoča intenzivnejše pretvorbe, tokove in akumulacijo na meji sediment-voda. Daljša jedra sedimenta iz Tržaškega zaliva kažejo močno povišane koncentracije v vrhnjih plasteh kot posledica proizvodnje živega srebra v Idriji (največja leta 1913).

Z reko vnešeni cinabarit se raztaplja v stiku s povišanimi koncentracijami sulfida v pornih vodah in se nato metilira, sledijo pa mu procesi metilacije in demetilacije ob prisotnosti bakterij v aerobnih in anaerobnih pogojih. Oba procesa, ki sta prisotna v sedimentu celotnega zaliva, vodijo predvsem sulfat reducirajoče bakterije. Njun odraz 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 reaktivno z bakterijskim *mer* operonom [Hines et al., 2000].

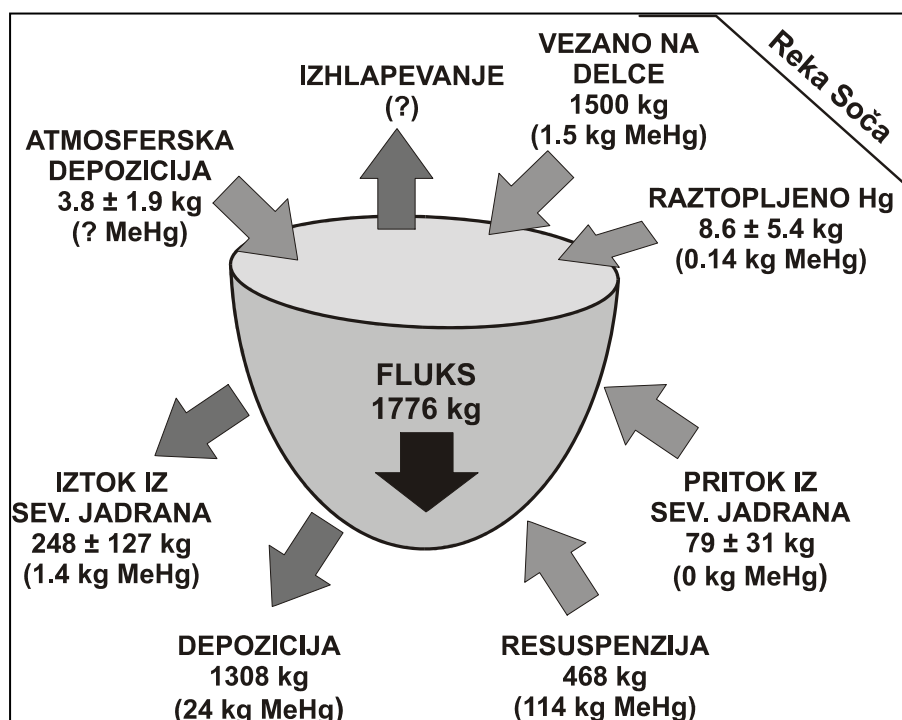
Zelo poenostavljena slika pretvorb in transporta živega srebra na obravnavanem območju je prikazana na Sliki 3.



Slika 3. Pomembne pretvorbe in transport živega srebra na območju Idrije, porečja reke Soče in Tržaškega zaliva.

4.3.3. Masna bilanca 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. Raztopljeno metil živo srebro predstavlja le 1,5 % celotnega raztopljenega živega srebra v vnosu. Velika večina vnešenega živega srebra sedimentira in ostaja trajno deponirano na dnu Tržaškega zaliva [Širca et al. 1999, Rajar et al., 2000, 2001]. Pomemben izsledok ocene masne bilance kaže zlasti na dejstvo, da je Soča glavni vir anorganskega živega srebra, medtem ko je glavni vir MeHg v Tržaškem zalivu sediment.



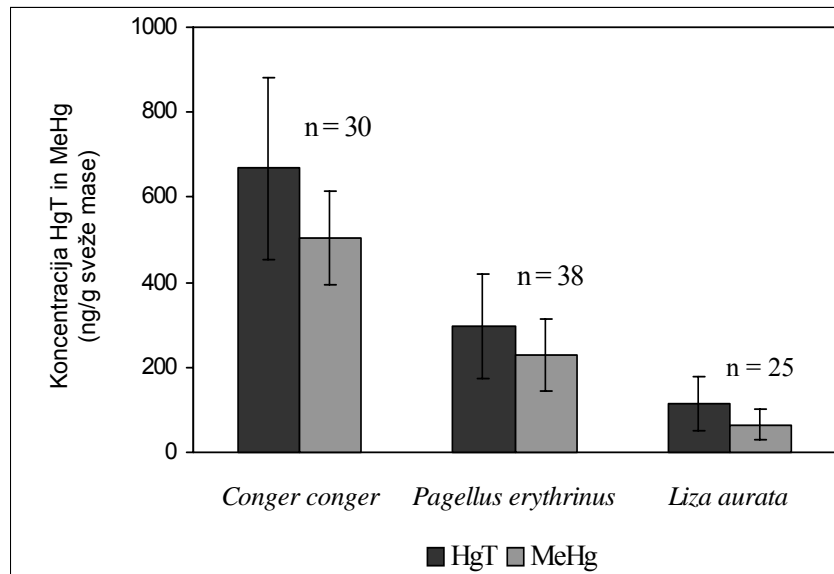
Slika 3. Masna bilanca živega srebra v Tržaškem zalivu

Z erozijskim modelom in z uporabo GIS modela je bila izdelana pravilnejša ocena transporta živega srebra. Erozijski model je upošteval topografijo, geologijo, pedologijo, meteorologijo, vegetacijo, mestne strukture. Rezultat je pokazal, da porečje prispeva približno 2500 kg Hg letno, kar se relativno dobro ujema z rezultati meritev, ki so omenjena v poglavju o živem srebru. S tem modelom je bila izdelana tudi simulacija za razne scenarije, med katerimi je treba omeniti tistega, v katerem so bile odstranjene tako imenovane »hot spots«. V tem primeru je letni transport Hg iz porečja 1450 kg. To pomeni, da k transportu celotnega Hg iz kontaminiranega območja »hot spots« prispevajo 40 %, ostalo območje pa preostalih 60%.

Če povzamemo zgoraj omenjena dejstva, je letni transport po scenariju BAU (business as usual) približno 2500 kg letno, po scenariju PT (policy target – v tem primeru je treba sanirati »hot spots«) pa za približno 40 % manj.

4.3.4. Akumulacija Hg v vodnih in kopenskih ekosistemih

V različnih okoljih v tem sistemu (rečni, gozdni, poplavne ravnice, morski) prihaja do intenzivnih kemijskih pretvorb Hg (metilacije/demetilacije, redukcije/oksidacije Hg), zato prihaja do intenzivnega privzema Hg v rastline ter živali. V vodnem sistemu so te reakcije bistveno bolj intenzivne, zlasti v sedimentu Tržaškega zaliva, ki je glavni vir MeHg, ki se akumulira v morskih ribah in tako predstavlja glavni vir MeHg za človeka. Slika 4 prikazuje koncentracije Hg v treh vrstah rib Tržaškega zaliva, ki kaže na to, da je koncentracija odvisna od trofičnega nivoja [Horvat et al. 1999].



Slika 4. Koncentracije Hg v treh različnih vrstah rib Tržaškega zaliva

Intenzivno kopičenje Hg v rastlinah in divjadi na kontaminiranih kopenskih območjih pa kaže tudi na pomembnost pretvorb Hg v kopenskih ekosistemih [Gnamuš et al., 1999, 2000].

4.3.5. Izpostavljenost ljudi

Koncentracija Hg v pitni vodi navadno ne presega dopustnih 0.1 µg/l. Vnos Hg z užitjem vode iz tega območja je torej zanemarljiva. Koncentracija Hg v prehranskih produktih pa je močno odvisna od vrste in mesta pridelave [Kosta et al. 1974, Stegnar et al. 1973, Miklavcic, 1999]. Koncentracije vseh vrst zelenjave in tudi v mesu so na Idrijskem povečane, vendar je Hg v glavnem v anorganski obliki, ki je mnogo manj toksičen kot MeHg. Najvišje koncentracije Hg so bile izmerjene v ribah in variirajo od 1.07 do 1.87 mg/kg sveže teže, delež MeHg pa z oddaljenostjo od Idrije narašča. Novejše, še neobjavljene meritve pa kažejo, da koncentracije Hg v ribah dolvodno naraščajo. Najvišje koncentracije presegajo celo 3 mg/kg.

Tabela 1. Ocena dnevnega vnosa pri idrijski in tržaški populaciji, izraženi kot µgHg na kg telesne teže.

	Idrija		Tržaški zaliv	
	celotni Hg	MeHg	celotni Hg	MeHg
Zrak (inhalacija)	0.05 – 0.10	-	0.001 – 0.005	-
Ribe (100g/ddan)	0.20 – 3.33	0.18 – 3.20	0.18 – 1.35	0.17 – 1.33
Ostalo	0.66	0.132	0.05	0.01

5. Okoljski standardi kakovosti

Standard kakovosti za vsebnost živega srebra v površinskih vodah je v Sloveniji določen z Uredbo o kemijskem stanju površinskih voda (Uradni list RS, št. 11/02) in znaša 1 µg/l. Poleg mejne vrednosti predpisuje tudi, da se živo srebro v površinskih vodah v Sloveniji meri na vseh osnovnih merilnih mestih v okviru rednega obratovalnega monitoringa kot tudi pri preglednih meritvah. Vsebnost živega srebra se določa tudi v sedimentu.

Poleg tega je v Uredbi o kakovosti vode za življenje in rast morskih školjk in morskih polžev (Uradni list RS, št. 46/02) določeno, da mejna vrednost živega srebra v brakičnih vodah ali morju, v katerem živijo ali bi lahko živele morske školjke in morski polži, znaša 0,3 µg/l. Vsebnost živega srebra se lahko ugotavlja tudi v mesu morskih školjk in morskih polžev.

V Uredbi o kakovosti površinskih voda, ki se jih odvzema za oskrbo s pitno vodo (Uradni list RS, št. 125/00, 4/01-popr. in 52/02) so določene mejne in priporočene vrednosti živega srebra v površinski vodi posameznega kakovostnega razreda. Za vse tri kakovostne razrede (A1, A2 in A3) priporočena vrednost živega srebra znaša 0,5 µg/l, mejna vrednost pa 1 µg/l.

6. Podatki iz meritev monitoringa kakovosti površinskih vod

Program monitoringa kakovosti površinskih voda Slovenije vključuje meritve: vodotopnih oblik živega srebra, vsebnosti živega srebra vezanega na suspendirane delce ter vsebnosti živega srebra v sedimentu do globine 15 cm. Število merilnih mest in njihova geografska razporeditev ter pogostost vzorčenja se z leti spreminja in prilagaja potrebam in značilnim problemom na posameznem odseku vodotoka. Na merilnih mestih se vzorčuje enkrat do trikrat letno, na posameznih ključnih merilnih mestih (ki so v bližini zajetij za pitno vodo) pa od osem do štiriindvajset - krat letno.

Rezultati meritev monitoringa na izbranih merilnih mestih površinskih vod v Sloveniji za časovno obdobje 2000 - 2002 so pokazali, da na nobenem od merilnih mest postavljen okoljski standard kakovosti za živo srebro ni bil prekoračen. Vse izmerjene vrednosti celokupnega živega srebra (vodotopnega in vezanega na suspendirane delce) so bile pod mejo določljivosti. Le-ta za vodotopno živo srebro znaša 0,5 µg/l, za živo srebro vezano na suspendirane delce pa 0,8 µg/l. Vrednotenje je bilo izvedeno ob upoštevanju letne povprečne vrednosti živega srebra za posamezno merilno mesto, ki se določa na podlagi izračuna zgornje in spodnje vrednosti letne aritmetične sredine iz vseh letnih meritev na posameznem merilnem mestu, po metodi, ki je določena v Uredbi o kemijskem stanju površinskih voda (Uradni list RS, št. 11/02).

Tabela št. 4: podatki o vsebnosti celokupnega (vodotopno + vezano na suspendirane delce) živega srebra v površinskih vodah v Sloveniji v obdobju od leta 2000 do 2002.

Leto izvajanja	Število merilnih	Število vzorce	Maksimalna letna povprečna	Število merilnih	Število merilnih mest, ki
----------------	------------------	----------------	----------------------------	------------------	---------------------------

monitoringa	mest	v	vrednost celokupnega živega srebra ($\mu\text{g/l}$)	mest nad mejo detekcije	presegajo standard kakovosti
2000	78	291	meja detekcije	0	0
2001	79	299	meja detekcije	0	0
2002	87	302	meja detekcije	0	0

7. Obstoječi ukrepi za zmanjšanje emisij nevarne snovi v vodno okolje

Med ukrepe zmanjševanja emisij živega srebra v vodno okolje štejemo omejitve dajanja v promet oziroma uporabe živega srebra in njegovih pripravkov. To je opredeljeno v Pravilniku o omejitvi dajanja v promet ali uporabe določenih nevarnih snovi in pripravkov (Uradni list RS, št. 73/99, 24/01, 71/02 in 46/03), ki določa da se spojine živega srebra ne smejo uporabljati ne kot snovi, ne kot sestavine pripravkov za:

- ◆ preprečevanje obraščanja mikroorganizmov, rastlin ali živali:
 - na lupinah plovil,
 - na varovalnih mrežah, plavačah, mrežah in vseh drugih pripravah ali opremi, ki se uporablja za lov ali gojenje rib, rakov ali školjk,
 - na vseh v celoti ali delno potopljenih napravah ali opremi
- ◆ zaščito lesa,
- ◆ za impregnacijo visoko odpornih industrijskih tekstilij in preje za njihovo izdelavo,
- ◆ obdelavo industrijskih voda, ne glede na njihovo rabo.

Poleg tega se v skladu s Pravilnikom o omejitvi dajanja v promet ali uporabe določenih nevarnih snovi in pripravkov (Uradni list RS, št. 73/99, 24/01, 71/02 in 46/03) spojine živega srebra ne sme uporabljati za:

- alkalne manganove baterije za podaljšano uporabo v izjemnih pogojih (pod 0°C in nad 50°C , izpostavljene obremenitvam), ki vsebujejo več kot 0,05 % živega srebra;
- vse druge alkalne manganove baterije, ki vsebujejo več kot 0,025 % živega srebra.

Izjema so gumbasti baterijski členi in nizi sestavljeni iz njih.

Poseben ukrep, ki ga določa Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov za opravljanje zdravstvene in veterinarske dejavnosti (Uradni list RS, št. 10/99) v zvezi z odvajanjem odpadne vode, ki nastaja pri zdravljenju zob, je uporaba lovilcev amalgama s sesalnimi tehnikami, varčnimi z vodo (do 50 l/dan na zobozdravniški stol) in katerih učinkovitost je najmanj 95 %.

V Odredbi o prepovedi ali omejitvi prometa oziroma uporabe fitofarmaceutskih sredstev, ki vsebujejo določene aktivne snovi (Uradni list RS, št. 105/01) je prepovedano dajati v promet oziroma uporabljati fitofarmaceutska sredstva, ki vsebujejo eno ali več naslednjih aktivnih snovi: alkil živosrebrove spojine, alkoksialkil in aril živosrebrove spojine, živosrebrov klorid ter živosrebrov oksid. Ta prepoved pa ne velja za fitofarmaceutska sredstva, ki:

- a) vsebujejo nečistoče, ki so neizogibno prisotne zaradi uporabljenega postopka proizvodnje, v primeru ko te nečistoče ne povzročajo tveganja za ljudi, živali ali okolje;
- b) se uporabljajo v raziskovalne oziroma razvojne namene ali analize.

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov in naprav za proizvodnjo, predelavo in obdelavo tekstilnih vlaken (Uradni list RS, št. 35/96) kot ukrep predpisuje zamenjavo barvil, ki vsebujejo živo srebro, kadmij, svinec, baker, nikelj in krom ter druge težke kovine.

Kot ukrep preprečevanja oziroma ukinitve emisij živega srebra v vodno okolje je bila tehnologija kloralkalne elektrolize v Sloveniji spremenjena tako, da je od leta 1997 ukinjena uporaba živega srebra in se od takrat uporablja membranska tehnologija.

Uredba o ukrepih za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanjega zraka (Uradni list RS, št. 52/02) določa ukrepe za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zunanjega zraka v zvezi z določanjem stopnje onesnaženosti zraka, ocenjevanjem onesnaženosti zraka, zagotavljanjem podatkov o kakovosti zraka, zmanjševanjem onesnaženosti na območjih, kjer je zrak čezmerno onesnažen ter ohranjanjem kakovosti zraka na območjih, kjer je zrak dopustno onesnažen. Ukrepi za ohranjanje in izboljšanje kakovosti zraka se nanašajo na 13 snovi, med katerimi je tudi živo srebro.

8. Ocena trenutnega stanja

Kot izhaja iz rezultatov meritev kakovosti površinskih vod so izmerjene vrednosti živega srebra največkrat pod mejo določljivosti, zaradi česar ugotavljamo, da emisije živega srebra nimajo pomembnega vpliva na kakovost površinskih vod v Sloveniji razen na kakovost vode v Idrijci in Soči, kar je posledica rudarjenja z živim srebrom v Idriji.

III. Načrtovani ukrepi

9. Nadaljnji ukrepi za zmanjšanje emisij živega srebra iz razpršenih virov onesnaževanja

Če se ne upošteva spiranja ostankov rudarjenja v Idriji v reko Idrijco in posledično onesnaženost reke Soče s temi plavinami, emisije živega srebra in njegovih spojin ne predstavljajo tveganja za vodno okolje v Sloveniji.

Ne glede na relativno majhen vpliv na vodno okolje pa je treba način in pogoje ravnanja z živosrebovimi amalgami, kar sicer delno ureja Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz objektov za opravljanje zdravstvene in veterinarske dejavnosti (Uradni list RS, št. 10/99), nadgraditi še s sprejetjem predpisa o načinu in pogojih zbiranja, shranjevanja in odstranjevanja ter ravnanja z odpadnimi živosrebovimi amalgami iz zobozdravstvene dejavnosti.

Na območju Idrijce in Soče gre za aktivni prenos živega srebra iz kontaminiranih območij v okolici Idrije in rečnih naplavin vse do Tržaškega zaliva, kjer se živo srebro dokončno odlaga v morskem sedimentu. Tu se aktivno pretvarja v MeHg, ki nato

vstopa v prehranske verige morskega ekosistema. Kljub nekaterim novim spoznanjem, pa je za boljše razumevanje biogeokemijskega kroženja v rečnem in morskem ekosistemu potrebno razrešiti še celo vrsto neznank. Zato je na območju Idrijce in Soče treba nadaljevati s preučevanjem transporta in depozicije živega srebra v rekah, rečnih naplavinah in v prsti ter akumulacije živega srebra v prehranjevalnih verigah kopenskih in vodnih ekosistemov.

Neznane ali le slabo poznane so tudi pretvorbe različnih zvrsti živega srebra v vodi, ki vključujejo kovinske ione, metil in dimetil živo srebro ter biološko razpoložljivo živo srebro. Posebno pozornost bo treba posvetiti procesom pretvorb v akumulacijskih jezerih in estuariju Soče, kjer prihaja do aktivnih biogeokemijskih pretvorb.

V rečnem sistemu je torej potrebno najti odgovor na številna vprašanja, kot so bolj pravilna ocena transporta v različnih hidroloških pogojih, kemijske oblike Hg v sedimentu in njihova reaktivnost, ter s tem povezani procesi pretvorb v sedimentu in rečnih naplavinah.

Validirati in kalibrirati je treba model za transport živega srebra v porečju reke Soče, vključno z Idrijco. Ta model mora imeti naslednje module: atmosferski, erozijski in rečni transport, transportno-disperzijo, modul za morje ter biogeokemijski modul. Tak integriran model se lahko uporabi kot orodje za upravljanje celotnega sistema reka-morje-ribe. Model mora biti zasnovan za izdelavo ocen o spremembah stanja glede na izbrane metode remediacije kontaminiranega okolja ter simulacije vplivov prisotnosti živega srebra v primeru različno socialno-ekonomskih pogledov na razvoj regije, kot je na primer vpliv rabe prostora na koncentracije Hg v ribah.