

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/125



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J1-4288
Naslov projekta	Speciacija in interakcije kemijskih onesnažil v vodnih raztopinah za razvoj cenovno učinkovitih tehnologij odstranjevanja
Vodja projekta	5027 Milena Horvat
Tip projekta	J Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	7560
Cenovni razred	C
Trajanje projekta	07.2011 - 06.2014
Nosilna raziskovalna organizacija	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	794 Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	1 NARAVOSLOVJE 1.04 Kemija 1.04.05 Analizna kemija
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.07 Okoljsko inženirstvo

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Emisije elementov v sledovih zaradi termične izrabe fosilnih goriv prispevajo k povečanju naravne prisotnosti številnih elementov na lokalnem in globalnem merilu. Med temi elementi je živo srebro pritegnilo največjo pozornost, saj je bilo potrjeno, da je človekova dejavnost podvojila njegovo koncentracijo v zraku na globalnem nivoju. Živo srebro in njegove spojine so izredno nevarne,

obstajajo pa lahko v številnih fizikalnih in kemijskih oblikah s širokim obsegom lastnosti. Pretvarjanje med temi različnimi oblikami je osnova za kompleksno sliko porazdelitve živega srebra v lokalnih in globalnih krogotokih in za njegovo biološko asimilacijo in učinke. Reaktivnost živega srebra in njegovih spojin vpliva tudi na učinkovitost čistih tehnologij, posebej v primeru mokrih sistemov čiščenja, kot je to primer v napravah za razžveplanje dimnih plinov v termoelektrarnah kurjenih s premogi. Živo srebro obstaja v elementarni obliki, in kot enovalentno in dvovalno živo srebro. V zadnjih letih so postale dosegljive nove analize tehnike, ki so bile uporabljene v okoljskih študijah in industrijskih postopkih in kot posledica tega se je izboljšalo razumevanje kemije živega srebra tako v naravnih sistemih kot v industriji. Razvila so se tudi modelna orodja, ki omogočajo simulacijo presnov in transporta živega srebra v okolju in uporabljajo se za razvoj scenarijev za zmanjšanje emisij in tudi za upravljanje kontaminiranih okolij. Modelna orodja pa so še vedno dokaj negotova in zagotavlja je njihova uporabnost v stroškovno učinkovitem upravljanju okolij še vedno omejen. Kljub temu, da so moduli transporta (to je hidrodinamika in transport sedimentov) dobro razviti, slabo poznavanje kemije živega srebra v kompleksnih sistemih zavira ustrezno uporabnost teh modelnih orodij. Iz teh razlogov je bil glavni cilj tega projekta izboljšati razumevanje kompleksnega kemizma živega srebra v kompleksnih vodnih medijih. To je vključevalo raziskave glavnih smeri odvijanja kemijskih reakcij živega srebra, njihovih mehanizmov in kinetike, vključujoč naslednje reakcije: raztapljanje $Hg(0)$, katalitsko oksidacijo $Hg(0)$ do $Hg(I)$ in $Hg(II)$ z zrakom, kompleksiranje, asociacijo kompleksov s prisotno trdno fazo in reakcije redukcije živosrebrnih zvrsti. Kompleksni vodni mediji so *inter alia*, zaobjeli skupine snovi, kot so spojine kisika in žvepla, halogenide in karbonate in izbrane druge elemente v sledovih, za katere je znano, da součinkujejo z živim srebrom (selen, žveplo). Analizna kemija je posegla po klasičnih metodah in po novejših instrumentalnih metoda. Mehanizme kemijskih presnov in porazdelitev med trdno in tekočo fazo smo raziskovali z uporabo stabilnih in radioaktivnih sledil živega srebra, selena in klora. Izvedli bomo izboljšave kemijskih modelov in jih validirali. Modele smo testirali na majhni kontinuirani pilotni napravi za razžveplanje dimnih plinov. Kot rezultat teh osnovnih raziskav smo razvili izboljšanje in validirane kemijske module, ki so primerni za integrirano modeliranje z industrijsko uporabnostjo.

ANG

Emission of trace elements from fossil fuel burning enhanced natural occurrence of a number of elements at local, regional and global scale. Among those elements mercury has received most attention as it is confirmed that anthropogenic activity doubled its concentrations on a global scale. Mercury and its chemical compounds are extremely hazardous and can exist in a large number of different physical and chemical forms with a wide range of properties. Conversion between these different forms provides the basis for mercury's complex distribution pattern in local and global cycles and for its biological enrichment and effects. It also affects the efficiency of clean technologies, particularly in case of wet purification systems, such as the flue gas desulphurisation equipment in coal burning power plants. Mercury exists in oxidation states of zero as $Hg(0)$ and $Hg(I)$ and $Hg(II)$. In recent years, new analytical techniques have become available and have been used in environmental studies and industrial settings and consequently the understanding of mercury chemistry in natural systems as well as in industry has improved. Modelling tools have also been developed by which mercury transformation and transport in the environment can be simulated and used in scenarios for the reduction of emission as well as the management of contaminated environments. The modelling tools, however, still suffer from large uncertainties and their use in cost effective management is still limited. Although the transport (e.g. hydrodynamics and sediment transports) modules are well developed, poor understanding of mercury chemistry in complex aquatic system still inhibits the proper use of modelling tools. Therefore, the main objective of this project was to improve understanding of mercury chemistry in complex aqueous media. This included investigation of prevailing directions of chemical reactions of mercury, their mechanisms and kinetics for the following reactions: dissolution of $Hg(0)$, catalytic oxidation of $Hg(0)$ to $Hg(I)$ and $Hg(II)$ by air, complexation, association of complexes with solids and the reduction of ionic mercury species. Complex aqueous media *inter alia* included the groups of compounds such as oxygensulphur compounds, halogenides, and carbonates and selected other trace elements, known to interact with mercury (selenium, sulphur). Analytical chemistry included classical methods and novel instrumental methods. Transformation mechanisms and partitioning between solid and aqueous media were studied by the

use of stable and radioactive tracers of mercury, selenium and chlorine. Improvement of currently available chemical models and their validation was performed. The models were tested on a continuous small pilot plant scale flue gas desulphurisation system. As a result of this fundamental research, improved and validated chemical modules were developed to be used in integrated modelling approaches for industrial use.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

Osnovna ideja tega predloga projekta je bila modifikacija mokrega kalcitnega postopka RDP (in ki se uporablja v okoli 90 % vseh instalacij v ZDA, Evropi, na Japonskem in Kitajskem in v drugih deželah) na tak način, da je postopek sposoben v visoki meri zadržati oksidirano in elementno Hg prisotno v dimnih plinih in na ta način smo dosegli bolj čist proces in zmanjšanje emisij in posledično vpliva na okolje z dosegljivimi stroški. To je zelo pomembno za razvijajoče se trge, ki prispevajo največji delež antropogenih emisij, saj so ti trgi zelo občutljivi za dodatne stroške.

Modifikacija mokrega postopka RDP je v uporabi katalitske oksidacije elementnega živega srebra s kisikom iz zraka v absorpcijski suspenziji (sestavljena iz sadre, neraztopljenega kalcita – okoli 25% in fina oborina iz različnih spojin), s čemer preprečimo, da bi Hg ušel skozi dimnik v okolje. Dodatno k temu smo Hg ujet v suspenziji iz lete odstranili s pomočjo enostavnih metod ločevanja trdno/tekoče. Tako smo Hg omejili na majhen tok trdnega odpadka. Sadra, ki je bila osiromašena glede vsebnosti Hg in se lahko uporablja kot kot material za notranja gradbena dela.

Cilji predlaganih raziskav, ki naj pomagajo rešiti problem, so bili naslednji:

- Raziskati potek in mehanizme kemijskih reakcij pri pogojih mokrega RDP s prisilno oksidacijo SO₂, ki je stanje tehnike v večini obstoječih in skoraj v vseh novih napravah za RDP. Izvedli smo parametrično študijo vpliva številnih kemijskih specij prisotnih v mokrem RDP na učinkovitost oksidacije Hg(0) z zrakom. Spremljali smo naslednje kemijske procese: raztapljanje Hg(0), oksidacijo Hg(0), vključno z morebitnim vmesnim nastankom ionov Hg(II), disproporcionacijo Hg(I) v Hg(II) in Hg(0), kompleksiranje ionskih specij in asociacijo raztopljenih zvrsti s trdno fazo prisotno v suspenziji ter reakcije redukcije Hg(II). Študirali smo vpliv katalizatorjev (zlasti prisotnost prehodnih elementov) in s tem povečali učinkovitost oksidacije Hg(II). Zelo pomembno za usodo Hg je poznati porazdelitev Hg specij med raztopino in trdno fazo; to omogoča razumevanje in posledično nadzor nad kontaminacijo trdnih ostankov in odpadnih raztopin s Hg. Nadaljnje področje, ki ga premalo razumemo, so interakcije Hg specij z drugim onesnažili, kot so Se, As, Br itd.. Ovrednotili smo kinetiko kemijskih reakcij, ki so se izkazale kot najpomembnejše. Raziskave smo izvajali v laboratorijskem merilu.
- Raziskati interakcije živosrebrih zvrsti z drugimi onesnažili, kot so Se, As, Br, Cl. Posebej Se vstopa v kemijo Hg, podobno kot žveplo, medtem ko igrajo halidi pomembno vlogo v reakcijah kompleksiranja in redoks reakcijah. Zategadelj smo skupaj s Hg raziskovali tudi ostale hlapne elemente, ki se pojavijo pri sežigu premoga, to so Se, As, Cd, Pb, Br, Cl itd.
- Razviti fizikalnokemijski model mokrega RDP vključno z odstranjevanjem Hg(0). Ravnotežne in kinetične podatke smo vgradili v model, ki napoveduje hitrost in stopnjo oksidacije elementarnega Hg in porazdelitev Hg med trdno in tekočo fazo RDP. Modelne rezultate smo validirali v laboratorijski eksperimentalni napravi. Uporabili smo lastne rezultate in podatke objavljene v obširni literaturi.
- Izvesti pilotni test odstranjevanja onesnažil iz dimnih plinov v kontinuirni mali pilotni napravi, ki simulira mokri postopek RDP in vsebuje vse delne procese RDP: priprava vročega simuliranega dimnega plina z SO₂, Hg(0) itd., adsorpcijo v napravi za kontakt plin/tekoče (reaktor na padajoči film suspenzije), mešalni reaktor za nevtralizacijo suspenzije z avtomatskim dodajanjem kalcita v suspenziji in zraka za oksidacijo raztopljenih snovi, ločevanje trdne (sadra) in tekoče faze, ki se vrača v sistem. Glavni cilj pilotnega testa je bil verificirati učinkovitost in stabilnost procesa ter validirati model opisan v prejšnji točki.

Eksperimentalna študija relevantnih kemijskih reakcij

Proučevanje kemijskih ravnotežij in kinetike smo usmerili v potek in mehanizme kemijskih reakcij Hg(0) in njegovih spojin pri pogojih mokrega razžveplanja dimnih plinov (RDP) s prisilno oksidacijo SO₂, kar danes predstavlja stanje tehnike v večini obstoječih naprav za RDP in v skoraj vseh novih. Izvedli smo parametrične študije vpliva velikega števila kemijskih zvrsti prisotnih v mokrem RDP na učinkovitost oksidacije Hg(0). Kemijske reakcije in procesi, ki smo jih raziskovali, vključujejo: raztapljanje Hg(0), že omenjeno oksidacijo Hg(0) v Hg(II), kot najbolj pomembno reakcijo, vključno z morebitno tvorbo ionov Hg(II), disproporcionacijo Hg(I) v Hg(II) in Hg(0), kompleksiranje s prisotnimi ionskimi zvrstmi in asociacijo raztopljenih specij s trdno fazo na meji med trdno in tekočo fazo in pa reakcije redukcije Hg²⁺. Proučevali

smo vplive katalizatorjev, in potrdili, da lahko ioni kovin prehoda učinkovito pospešijo oksidacijo Hg⁰ z zrakom. Področje, ki tudi ni dovolj razjasnjeno, je bilo medsebojno delovanje živosrebrih zvrsti z drugimi onesnažili, kot so Se, As, Br itd. Pokazali smo, da imata velik vpliv zlasti prisotnost Cl in Br. Ostala onesnažila smo zasledovali skupaj s Hg, Raziskave so potekale v laboratorijskem merilu. Izmerili smo tudi kinetiko kemijskih reakcij.

Fizikalnokemijski model

Z uporabo lastnih izmerjenih podatkov in tistih dostopnih v objavljeni literaturi smo razvili fizikalnokemijski model mokrega RDP, ki vključuje odstranjevanje Hg(0) in zajema večino pričakovanih kemijskih in redoks reakcij mokrega kalcitnega postopka RDP in vključno s kemijskimi in redoks reakcijami v homogeni katalizirani fazi. Ravnotežne kemijske sestave smo izračunali na osnovi hitrosti presnove in ravnotežnih konstant za vsako potencialno reakcijo, parcialne in totalne masne bilance in elektronevtralnostne enačbe s pomočjo programske opreme DYFLO, COMSOL ali MATLAB. Ena od metod za obdelavo kompleksnih problemov kemijskega ravnotežja sloni na principu aritmetično geometričnega premeta. Preizkusili smo diskriminacijo nepomembnih kemijskih reakcij na osnovi eksperimentalnih rezultatov laboratorijskega dela in pilotnih poskusov. Vključili smo tudi kemizem odstranjevanja Hg v model RDP po mokrem klacitnem postopku, opisan z uporabo računalniške dinamike fluidov (CFD), ki daje realistično hidrodinamiko napravah za RDP. Upoštevali smo heterogeno kinetiko, difuzijo in prenos snovi v kombinacijah plinaste in tekoče ter tekoče in trdne faze v dispergirani obliki ali kot padajoči film. Zanimarili smo toplotne efekte, ker se procesi odvijajo pri konstantni temperaturi.

Validacija modelov

Upoštevali smo vse kemijske reakcije pomembne za odstranjevanje Hg zvrsti, Hg(0) and Hg(II), iz plinske v vodno fazo in porazdelitev Hg zvrsti med vodno in trdno fazo. Model je sposoben napovedati stopnjo in hitrost presnove živega srebra v kemijskem sistemu mokrega postopka RDP pri različnih kemijskih pogojih, na primer pri različnih sestavah raztopine, dodatkih katalizatorja, dodajanja kisika v raztopino itd. Model je validiran na različnih nivojih. Sprva je delo potekalo na eksperimentalni laboratorijski napravi kjer je mogoče validirati per partes, saj je bilo v čistih sistemih mogoče testirati posamezne ali skupine posameznih vplivnih pogojev. Nadaljnja validacija je bila mogoča na mali kontinuirni pilotni napravi, ki uporablja modelni dimni plin (sestavljeno v osnovi iz izpuha plinskega kotla, dušika, vodne pare, dodatka SO₂ in par elementarnega Hg), kjer lahko točno simuliramo osnovno kemijo mokrega RDP vključno s pridobivanjem trdnih ostankov postopka. Posamezne vplive lahko zaledujemo le v dinamičnih sistemih, ki obratujejo pri stacionarnih pogojih; en tak primer je katalitska oksidacija s podporo železovih ionov, ki so zelo učinkovit katalizator, vendar pa se hitro izločijo zaradi konkurenčnih reakcij obarjanja Fe (II) in Fe (III) hidroksidov, tako da je potrebno katalizator dovajati neprestano, da vzdržujemo učinek. Drugi primer je nastajanje oksožveplovih spojin, kot so tionati in tiosulfat, ki vstopajo v oksidacijsko redukcijske reakcije, jih je pa težko analitsko zasledovati, tako da stacionarno stanje v kontinuirni reakciji omogoča zasledovanje kemizma z mnogo manjšim številom analiz. Iz teh razlogov moramo ves proces testirati v dinamičnem obratovanju s ciljem, da bi validirali model, učinkovitost in robustnost postopka. To smo storili v kontinuirni mali pilotni napravi, ki simulira delovanje postopka RDP s prisilno oksidacijo s simulacijo vseh potrebnih podpostopkov, ki nastopajo v RDP:

Plinski kotel za pripravo modelnega vročega plina, ki mu dodamo žveplov dioksid in druga onesnažila
Absorpcijska kolona s padajočim filmom z znanimi delovnimi parametri (velikost medfazne površine plin/tekoče), obremenitev s tekočo fazo, L/G, hitroststrujanja plina v absorberju.

Kemijski mešalni reaktor za oksidacijo absorbiranega sulfita z dispergiranjem zraka v suspenzijo, nevtralizacijo žveplove kisline z avtomatskim dodajanjem suspenzije kalcita in za kristalizacijo sadre.

Kontinuirno ločevanje trdne in tekoče faze s hidrociklonom in vakuumskim filtrom in vračanjem tekoče faze v proces.

Oprema za avtomatsko upravljanje procesa.

Naslednja stopnja validacije procesa je bila kontinuirna pilotna naprava s kapaciteto okoli 1.500 m³/h dimnega plina, ki ga proizvajamo s sežigom realističnega vzorca premoga. Večja pilotna naprava ima enako dispozicijo kot manjša, vendar pa je njena bistvena prednost v tem, da je sposobna proizvajati bolj reprezentativni dimni plin s sežigom realnih vzorcev premoga. V raztopini RDP je prisotnih več kot 30 kemičnih spojin, ki utegnejo vplivati na kemijo mokrega procesa RDP in ni mogoče zasledovati vpliva prav vseh z analitskimi postopki; morebitna prisotnost sestavin(e) z odločilnim vplivom na ta način ne bo mogla biti spregledana v daljšem času obratovanja z vračanjem procesne vode v sistem.

Analitska podpora

Analizna kemija je horizontalno podpirala vse tri zgoraj navedene delovne sklope in to z uporabo naslednjih analitskih metod: speciacijska analiza živega srebra v različnih vzorcih (vodni vzorci, dimni plini, trdni vzorci), speciacija selena, žvepla, arzena; multielementna analiza (vključujoč vse glavne elemente s katalitskimi lastnostmi) in parametre kvalitete vode. Dodatno smo uporabljali obogatene (enriched) naravne izotope in

radioaktivna sledila za študij procesov transformacije različnih oblik. Instrumentalna analizna orodja so vključevala vrsto spektrometričnih metod (Raman, IR, UV/VIS), nevtronsko aktivacijsko analizo in elektronsko mikroskopijo za analizo površin, ICP masno spektrometrijo in atomsko absorpcijo hladnih par (CV AAS) in atomsko fluorescenčno spektroskopijo (CV AFS). Prav tako smo v tem delu posvetili veliko pozornost kemijsko metrološkimi izzivom, predvsem testiranje kalibracij, ki se jih v praksi izvaja s Hg paro pri znanih pogojih. Slabost tega kalibracijskega sistema je v tem, da so koncentracije previsoke in neprimerne za določanje nizkih koncentracij Hg v dimnih plinih in tekočinah. V okviru projekta smo razvili metodologijo za kalibracijo pri nižjih vsebnostih Hg, kar bo izboljšalo kakovost meritev in omogočalo pridobivanje sledljivih rezultatov. Razvili smo tudi alternativne postopke za določanje Hg(II) v vzorcih voda.

4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

Pregled dosežkov po sklopih je naslednji:

Sklop 1:

- Kritičen pregled literature in podatkov kemijskih ravnotežij in kinetike.
- Rezultati dodatnega preverjanja v laboratorijskih razmerah: spisek vplivnih kemijskih reakcij, za katere smo eksperimentalno ugotovili, da so pomembne za celoten postopek, konstante hitrosti in ravnotežja.
- Baza podatkov z navedbo vseh možnih kemijskih reakcij, ki vstopajo v modelne izračune.

Sklop 2:

- Kritičen pregled obstoječih modelnih orodij.
- Izboljšan in validiran fizikalnokemijski model mokrega RDP, ki vključuje odstranjevanje Hg(0) in vse predpostavljene kemijske in redoks reakcije pomembne v kemijskem sistemu mokrega postopka RDP.
- Sistem smo opisali, določili smo kemijske reakcije, ter kemijske pogoje in rezultate tudi računsko obdelali.
- Model smo validirali s pomočjo eksperimentalnih podatkov dobljenih v laboratorijski eksperimentalni napravi s čistimi sistemi ter na manjši pilotni napravi.

Sklop 3:

- Preučili smo veljavnosti, učinkovitost in robustnost procesa v mali kontinuirni pilotni napravi, ki simulira mokro RDP s prislilno oksidacijo in simultanim odstranjevanjem Hg(0) iz dimnega plina, z vsemi potrebnimi operacijami mokrega RDP. Rezultati so podali naslednje zaključke:
učinkovitosti odstranjevanja Hg(0) pri kemijskih in fizikalnih pogojih, ki jih moramo zagotoviti, da dosežemo želeno učinkovitost stabilnosti postopka in kritičnem obsegu vrednosti parametrov, ki še zagotavljajo dolgoročno stabilno kemijo parametrov pomembnih za nadzor in upravljanje s procesom sestavi trdnih ostankov, reprezentativnih vzorcev za morebitno nadaljnje testiranje
- Naslednja stopnja validacije procesa je bila, kot je že bilo povedano v predhodnem tekstu, kontinuirna pilotna naprava s kapaciteto okoli 1.500 m³/h dimnega plina, ki ga proizvajamo s sežigom realističnega vzorca premoga. Večja pilotna naprava ima enako dispozicijo kot manjša, vendar pa je bila njena bistvena prednost v tem, da je sposobna proizvajati bolj reprezentativni dimni plin s sežigom realnih vzorcev premoga.
- Podatki o obratovalnih pogojih so pomembni za izbiro konstrukcijskih materialov za opremo in ti podatki, skupaj s podatki o porabi energije in kemikalij so omogočili ovrednotiti izvedljivost in ekonomiko procesa. Razvito znanje ima velik potencial, da postane zelo relevantno za uporabo v okoljevarstvenih tehnologijah po svetu.

Sklop 4:

- Uporabili smo validirane metode za karakterizacijo tekočih in trdnih vzorcev
- Razvili in optimizirali smo metodo za spremljanje redukcije in oksidacije z uporabo ¹⁹⁷Hg radiosledilca.
- Izboljšali smo način kalibracije ter tako zagotovili sledljivost merjenj.
- Razvili smo metodo za kontinuirno spremljanje Hg(0) in Hg(II).

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁴

Program nismo spreminjali; prav tako je bila projektna skupina ves čas enaka.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

	Znanstveni dosežek	
1.	COBISS ID	26542887 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<p><i>SLO</i> Odstranjevanja Hg(0) v mokri razžvepljevalni napravi z katalitsko oksidacijo z zrakom prispevek k razvoju kemijskega modela</p> <p><i>ANG</i> Removal of Hg^{[sup]0} in wet FGD by catalytic oxidation with air - A contribution to the development of a process chemical model</p>
	Opis	<p><i>SLO</i> Rezultati eksperimentalnega delo so pokazali, da so reakcije v RDP raztopini zelo kompleksne, pri čemer sta najbolj pomembni oksidacija in redukcija. To kompleksnost kemijskih reakcij je možno usmerjati v smeri oksidacije Hg(o) v raztopini. Prikazane so najpomembnejše reakcije, pri čemer je najpomembnejša katalitična oksidacija ob prisotnosti prehodnih elementov kot sta Fe in Mn. Prav tako smo pokazali, da je pomembna tudi prisotnost radikalov, ki so vključeni v verigo reakcij avto oksidacije S (IV). Produkti teh reakcij so sulfati in poli tionati, ki smo jih eksperimentalno določili. Dosegli smo stopnjo odstranjevanja Hg(0) od 70 do 95%.</p> <p><i>ANG</i> TIn the wet flue gas desulphurization (FGD) process with forced oxidation, very soluble oxidised mercury is retained in the scrubbing solution while Hg0 is not and is emitted to the atmosphere. We showed experimentally that the complex chemistry in FGD solution can be modified in so that dissolved Hg0 is oxidised by air introduced for the oxidation of S(IV) to S (VI) compounds. The most important chemical reactions were identified. Oxidation is enhanced by catalytic reactions with transition metals like Fe and Mn, which, when combined, show a synergistic positive effect. It seems that the radicals involved in the chain reactions of autoxidation of S(IV) are also responsible for the oxidation of Hg0. The reaction products of this system are sulphates and polythionates, which were also determined in the absorber solutions. Hg0 removal efficiency from the gaseous phase achieved in laboratory testing was from 70% to over 95%. The schematic chemical model which includes the conclusions derived from experimental results and from published chemical mechanisms is proposed.</p>
	Objavljeno v	Elsevier; Fuel; 2013; Vol. 107; str. 183-191; Impact Factor: 3.406; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.798; A': 1; WoS: ID, II; Avtorji / Authors: Stergaršek Andrej, Horvat Milena, Frkal Peter, Ribeiro Guevara Sergio, Kocjančič Robert
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	28250407 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<p><i>SLO</i> Temperaturna stabilnost Hg spojin v trdnih substratih</p> <p><i>ANG</i> Temperature stability of mercury compounds in solid substrates</p>
	Opis	<p><i>SLO</i> Uporaba metode za temperaturno frakcionacijo je bila vpeljana in validirana. Kaže na vrsto nedoslednosti, ki jih navajajo avtorji v literaturi. Ugotovili smo, da na sproščanje Hg iz trdnih substanc vpliva vrsta faktorjev, med njimi je vpliv matrice najbolj opazen. Pod vprašaj postavljamo konvencionalne meritve na podalgi detekcije z AAS, kajti le ta ne omogoča razumevanje razpadnih produktov pri povišanih temperaturah.</p> <p><i>ANG</i> The method for temperature fractionation was checked and validated. A number of parameters can influence the T at which Hg compounds decompose, among those the solid substract plays the major role. Critical assessment of the currently existing methods are discussed. We also concluded that method based on AAS detection are limited due to poor understanding of Hg breakdown processes at elevated temperatures.</p>
	Objavljeno v	Walter de Gruyter; Open chemistry; 2015; Vol. 13, no. 1; str. 404-419; Avtorji / Authors: Sedlar Matej, Pavlin Majda, Popović Arkadije, Horvat Milena

	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	27872551	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Napredek pri razumevanju atmosferske kemije Hg ob negotovih meritvah
		ANG	Progress on understanding atmospheric mercury hampered by uncertain measurements
	Opis	SLO	Speciacija Hg v zraku je ključna za razumevanje kemije in reaktivnosti Hg spojin v vodi in zraku. Meritve, ki se izvajajo pa žal temeljijo na samo eni nespecifični metodi, ki vnača v globalne in regionalne modele veliko negotovosti. Članek v najboljši reviji na področju okolja EST je bil namenjen opisu resnosti problemov ob pomankanju orodij za bolj primerljive meritve na globalnem nivoju.
		ANG	Hg speciation in air is of fundamental importance for the understanding of chemistry and reactivity in water and air. Measurements currently ongoing are based on one single protocol, which is an indirect measure of the presence of reactive, elemental and particle bound Hg. The consequences of such limited measurements are outlined in the leading international journal EST. The need for improved methodologies and comparability at the global level is lacking.
	Objavljeno v	American Chemical Society; Environmental science & technology; 2014; Vol. 48, no. 13; str. 7204-7206; Impact Factor: 5.481; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.116; A'': 1; A': 1; WoS: IH, JA; Avtorji / Authors: Jaffe Daniel A., Horvat Milena	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID	28093223	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Izziv pri merjenju reaktivnega Hg v vodnih vzorcih
		ANG	The challenge and its solution when determining reactive inorganic mercury (RHg)
	Opis	SLO	Merjenje reaktivnega Hg ali dvovalentnega Hg, ki je na razpolago za redukcijo s SnCl ₂ je predmet artefaktov, saj največkrat prihaja do nespecifičnih redukcije in prenizkih rezultatov. V tem članku pa smo prikazali razvoj metode, ki sloni na etilaciji dvovalentnega Hg v vodnih vzorcih. Metoda je bolj specifična in izjemno primerna za industrijske aplikacije.
		ANG	The measurement of reactive mercury in water samples is a subject of errors that are difficult to control, resulting in non-comparable results, in most cases to low values. The protocols used so far employed the use of SnCl ₂ . In this paper we suggest the use of ethylation, which provides consistent and precise measurement of Hg(II) in aqueous samples, applicable for industrial water samples.
	Objavljeno v	Scientific Research Publishing, Inc.; American journal of analytical chemistry; 2013; Vol. 4; str. 623-632; Avtorji / Authors: Liang Lian, Horvat Milena, Alvarez John, Young Lyman, Kotnik Jože, Zhang Lisa	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
5.	COBISS ID	2410575	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Metilacija in redukcija Hg v vodnih raztopinah
		ANG	Mercury methylation and reduction potentials in water
	Opis	SLO	Delo posega na področje validacije uporabe radioaktivnih izotopov za eksperimentalno dokazovanje procesov pretvorb Hg v vodni raztopini. Radioaktivni izotop smo pripravili iz obogatene Hg izotopa 196, ter ga obsevali v jedrskem reaktorju na IJS. Nastali, visoko aktivni izotop 197 Hg, smo uporabili za slednje procesov redukcije in metilacije. Glavni dosežek je

		odstranitev interferenc s postopkom radiokemične ločbe.
	ANG	The work falls within the scope of validation of the use of radioactive isotopes to experimentally demonstrate the transformations of Hg in aqueous solution. Radioactive isotopes were prepared from enriched Hg isotope 196, its irradiated in a nuclear reactor at JSI. The resulting, highly active isotope Hg197, was used for the latter processes of reduction and methylation. The main achievement is to remove interferences of process measurements by the use of radiochemical separation procedures.
Objavljeno v		Pergamon; Applied Radiation and Isotopes; 2012; Vol. 70, issue 1; str. 46-50; Impact Factor: 1.179; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.844; WoS: EC, RY, VY; Avtorji / Authors: Koron Neža, Bratkič Arne, Ribeiro Guevara Sergio, Vahčič Mitja, Horvat Milena
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	26941735 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Napredki na področju analize kemije ANG Advances in analytical technology
	Opis	SLO Plenarno predavanje na mednarodni konferenci "Mercury as a Global Pollutant", Edinburg, Škotska, with over 1000 participants ANG Plenary lecture at the international conference "Mercury as a Global Pollutant", Edinburg, Scotland, with over 1000 participants
	Šifra	B.04 Vabljen predavanje
	Objavljeno v	s. n.]; ICMGP 2013; 2013; Avtorji / Authors: Horvat Milena
	Tipologija	1.10 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci (vabljen predavanje)
2.	COBISS ID	277436672 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Temperaturna frakcionacija Hg v trdnih substratih ANG Temperature fractionation of mercury in solid samples
	Opis	SLO Uporaba metode za temperaturno frakcionacijo je bila vpeljana in validirana. Kaže na vrsto nedoslednosti, ki jih navajajo avtorji v literaturi. Ugotovili smo, da na sproščanje Hg iz trdnih substanc vpliva vrsta faktorjev, med njimi je vpliv matrice najbolj opazen. Pod vprašaj postavljamo konvencionalne meritve na podlagi detekcije z AAS, kajti le ta ne omogoča razumevanje razpadnih produktov pri povišanih temperaturah. ANG The method for temperature fractionation was checked and validated. A number of parameters can influence the T at which Hg compounds decompose, among those the solid substrate plays the major role. Critical assessment of the currently existing methods are discussed. We also concluded that method based on AAS detection are limited due to poor understanding of Hg breakdown processes at elevated temperatures.
	Šifra	F.23 Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev
	Objavljeno v	[M. Sedlar]; 2014; XVI, 121 str.; Avtorji / Authors: Sedlar Matej
	Tipologija	2.08 Doktorska disertacija
3.	COBISS ID	26936615 Vir: COBISS.SI

	Naslov	SLO	Živo srebro v kontaminiranih okoljih
		ANG	Mercury in contaminated sites:
	Opis	SLO	V okviru poseben izdaje revije Environmental Research (ki spada v sam vrh revijo na področju okoljskih znanosti), ki smo jo kot vabljeni uredniki koordinirali, smo uspeli prikazati vse aspekte onesnaženja z živim srebrom, od karakterizacije, identifikacije, vplivov in remediacije. Teme so zajete v 28 publikacijah volumna 125.
		ANG	A special edition of a journal Environmental Research was devoted to mercury contaminated sites. As guest editors we included 28 articles addressing issues of characterisation, identification, impact and remediation.
	Šifra	C.01 Uredništvo tujega/mednarodnega zbornika/knjige	
	Objavljeno v	Academic Press; Environmental research; 2013; Vol. 125; str. 1; Impact Factor: 3.951; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.984; WoS: JA, NE; Avtorji / Authors: Horvat Milena, Sakamoto Mineshi, Chan Laurie, Faganeli Jadran	
Tipologija	1.20 Predgovor, spremna beseda		
4.	COBISS ID	26024743	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Analizne metode za določanje Hg v vodi, sedimentih in bioti
		ANG	Analytical methods for measuring mercury in water sediment, and biota
	Opis	SLO	Poglavje v knjigi podaja kritične pregled obstoječih analiznih postopkov za določanje Hg in njegovih spojin v različnih vzorcih, zlasti v vodi.
		ANG	Chapter in the book provides a critical review of existing analytical procedures for the determination of mercury and its compounds in different samples, especially in the water.
	Šifra	C.01 Uredništvo tujega/mednarodnega zbornika/knjige	
	Objavljeno v	University of California Press; Mercury in the environment; 2012; Str. 27-54; A': 1; Avtorji / Authors: Lasorsa Brenda, Gill Gary A., Horvat Milena	
	Tipologija	1.16 Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji	
5.	COBISS ID	79502081	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Organizacija simpozija in mednarodne konference
		ANG	organisation of a syposium and international conference
	Opis	SLO	<ul style="list-style-type: none"> Organizacija simpozija Slovenski kemijski dnevi 2014. o Slovenski kemijski dnevi 2014, Maribor, 11.-12. september 2014, KRAVANJA, Zdravko (urednik), BOGATAJ, Miloš (urednik), NOVAK-PINTARIČ, Zorka (urednik). Zbornik povzetkov referatov s posvetovanja. Maribor: Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, 2014. 148 str., ilustr. ISBN 978-961-248-454-5. [COBISS.SI-ID 79502081] Organizacija mednarodne konference: 17th European Roundtable on Sustainable Consumption and Production (ERSCP). o KOVAČIČ LUKMAN, Rebeka (urednik), GLAVIČ, Peter (urednik), KOLETNIK, Damijan (urednik), VIRTIČ, Peter (urednik), HORVAT, Boris (urednik). Conference proceedings. editors Rebeka Kovačič Lukman ... et al.]. Maribor: Nigrad, 2014. ISBN 978-961-93738-1-1. http://www.erscp2014.eu, https://conferences1.matheo.si/getFile.py/access?resId=0&materialId=3&confId=0. [COBISS.SI-ID 276357632]

	ANG	PINTARIČ, Zorka (urednik). Zbornik povzetkov referatov s posvetovanja. Maribor: Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, 2014. 148 str., ilustr. ISBN 978-961-248-454-5. [COBISS.SI-ID 79502081] <ul style="list-style-type: none"> Organization of the International conference: 17th European Roundtable on Sustainable Consumption and Production (ERSCP). o KOVAČIČ LUKMAN, Rebeka (urednik), GLAVIČ, Peter (urednik), KOLETNIK, Damijan (urednik), VIRTIČ, Peter (urednik), HORVAT, Boris (urednik). Conference proceedings. editors Rebeka Kovačič Lukman ... et al.]. Maribor: Nigrad, 2014. ISBN 978-961-93738-1-1. http://www.erscp2014.eu , https://conferences1.matheo.si/getFile.py/access?resId=0&materialId=3&confId=0 . [COBISS.SI-ID 276357632]
Šifra	B.01	Organizator znanstvenega srečanja
Objavljeno v	Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo; 2014; 148 str.; Avtorji / Authors: Kravanja Zdravko, Bogataj Miloš, Novak-Pintarič Zorka	
Tipologija	2.25	Druge monografije in druga zaključena dela

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

Podpisali smo trilateralno pogodbo med Zhejiang University, State Environmental protection Engineering Center for Costeffective Air pollution Control, Hunagzou (ZU SEPEC), Kitajska, Inštitutom Jožef Stefan (IJS) ter podiplomsko šolo Jožefa Stefana (MPŠ). Glavni nameni te pogodbe so: (1) raziskovanje na področju cenovno učinkovitega odstranjevanja polutantov iz dimnih plinov, (2) Poučevanje in izmenjava raziskovalcev, in (3) mentorstvo mladim raziskovalcem, ki delajo na tematskih sklopih. Sporazum je bil podpisan v Juniju 2012. ZU SEPEC spada v zgornji vrh (druga najboljše tehnična univerza na Kitajskem) raziskovalnih in izobraževalnih kapacitet na Kitajskem.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine³

9.1. Pomen za razvoj znanosti²

SLO

Bistvena izboljšava je seveda boljše razumevanje kemijskih procesov in razvoj izboljšanih modelov v kompleksnih vodnih okoljih, kar bo imelo direkten vpliv na izboljšano in bolj natančno delovanje modelnih simulacij.

Z uporabo teh znanj in orodij smo prispevali k razvoju tehničnih znanosti z razvojem inženirskih posegov v proizvodne procese v visokotemperaturnih industrijskih postopkih proizvodnje električne energije iz premoga, proizvodnje cementa in pri termični izrabi odpadkov.

Izboljšali smo metode frakcionacija in speciacija kemijskih elementov v kompleksnih sistemi, s poudarkom na temepatrurni frakcionaciji Hg v sadri ter opozorili na vrsto neskladnosti. To je pomembno predvsem zato, ker je identifikacija posameznih kemijskih zvrsti posameznih elementov v nizkih koncentracijskih nivojih pogosto podvržena analitskim artefaktom. Leti lahko nastanejo zaradi nepravilnega vzorčenja in predvsem nepravilnega ravnanja pred samo analizo. Prav tako gre v večini primerov za identifikacijo nestabilnih spojin, ki pa so za razvoj modelov in njihovo validiranje ključnega pomena. Uporaba analiznih metod kot so organska masna spektrometrija, ramanska spektrometrija in elektrokemične metode za identifikacijo kemijskih procesov (pretvorbe kemijskih elementov) Hg je inovativen pristop, ki ga v dosedanjih raziskavah še nismo intenzivno uporabljali.

Projekt je sestavljen iz teoretičnega in praktičnega dela. V teoretičnem delu gre za razvoj računalniško podprtih modelnih orodij, ki jih je možno uporabiti v praktičnih aplikacijah. Praktični del projekta pa sestavlja cela vrsta modernih in naprednih analiznih instrumentalnih metod za preučevanje kemijskih reakcij z velikopotencialno uporabno vrednostjo. V tem povezovanju leži bistven del inovativnosti projekta. Predlagana metodologija predstavlja napreden pristop, saj je združila usposobljeni skupini v Sloveniji in ju povezula z mednarodnimi partnerji, ki so vodilni na področju delovanja predlaganega projekta.

Z uporabo meroslovnih konceptov v kemiji je projekt doprinesel k bolj sledljivim meritvam Hg in njegovih spojin v vodnih raztopinah in zraku, predvsem pa tudi k manjši negotovosti. To pa je bistvenega pomena za primerljivost v domačem in mednarodnem meroslovnem prostor

ANG

The chemistry of mercury (the targeted pollutant in this study) in industrial settings and the environment is very complex. Understanding of the chemistry in industrial environment is fundamental for the development of clean technologies in which mercury is not emitted into the environment (air, water, solid wastes). In the environment mercury behaviour depends on numerous factors (redox, pH, bacteria, light, T, presence of other chemicals...). In order to improve the environmental models, chemical modules need to be improved. Therefore, the main contribution of the present proposal is to improve the performance of chemical modules used in modelling chemical contaminants in industry and the environment.

The project has deepening the understanding of the chemistry of some toxic elements like Hg, Cd, Se, As, in their different chemical forms through development of more accurate mass balances of the pollutants and through development of dynamic models of pollutants distribution in some industrial processes. Using these tools and knowledge developed the contribution to technical sciences are expected with further development of engineering solutions in high temperature industrial processes in TPPs, cement works and FBC incinerators of relevant wastes.

The combination of the theoretical and practical applications is an approach that guarantee optimal design of clean technology. The combination of the approaches can also be considered as an innovation. This can further be argued by the fact that in Slovenia a group that has been largely involved in environmental sciences and health related subjects will use the knowledge and expertise and develop the basis for the development of advanced technology for the removal of contaminants from water waste streams. the liaison with international groups will further strengthen the implementation and high quality work.

The improved integrated modelling tools for mercury in the contaminated environment will improve the uncertainty, particularly in the chemical module.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Projekt je bil zasnovan kot temeljna raziskava, saj je potrebno v začetnih fazah preučiti vse mehanizme, ki vplivajo na obnašanje kemijskih onesnažil v FGD napravah (s poudarkom na Hg). Šele ob popolnem razumevanju teh procesov je možno rezultate raziskav uporabiti v aplikativnih projektih. Brez znanstveno podlag bi bila negotovost pri prenosu znanja prevelika, kar so pokazale tudi študije zunaj Slovenije. Rezultate raziskav bomo povezali z industrijskimi partnerji s katerimi projektna skupina deluje že vrsto let, predvsem Termoelektrarno Šoštanj, pri gradnji 6. bloka in bo znanja lahko uporabila pri optimiranju čistilnih naprav. Razvoj lastnih tehnoloških znanj dviguje konkurenčno sposobnost lastnikov znanj in omogoča konkuriranje na svetovnih trgih. Bodoče sofinancerje teh raziskav je tako mogoče iskati med podjetji, ki želijo prodreti na trg Kitajske in vzhodne Evrope, vključno z Jugovzhodnimi regijami, Rusije in, ne nazadnje, tudi na lasten slovenski trg s konkurenčnimi in kvalitetnimi ponudbami. Možnost uporabe rezultatov raziskav je zelo velika in sicer na več načinov in v različnih sektorjih:

- Razvitaso znanja, ki jih je mogoče uporabiti pri trženju industrijskih objektov v termoenergetiki, cementni industriji in tehnologijah za zaščito okolja. Tržišča za taka znanja so danes predvsem na Kitajskem in v vzhodni Evropi, zelo hitro se bo odprl tudi ruski trg.
- Potencialni uporabniki teh znanj so tudi nekatere domače industrijske organizacije, predvsem termoelektrarne in cementarne.
- Znanje je uporabno tudi pri odločitvah o izgradnji postrojenj za termično izrabo odpadkov, kjer je del postopka visokotemperaturni proces sežiga.
- Modelna orodjavso v pomoč pri odločanju o izboru najprimernejših tehnologij čiščenja v termoenergetiki in ostalih visokotemperaturnim industrijskih procesov.

ANG

The project presents the fundamental research with great applied possibilities. The

understanding of chemistry of mercury (and some other elements) and its integration into the modelling framework provides excellent tools for applied research. Without science based knowledge the uncertainty of modelling results inhibits practical applications. The work was implemented with industrial partners, however, without their direct financial contributions at this basic research stage. This primarily includes the Thermopower station in Šoštanj, that is in the process startof opening the of the block 6 soon. The knowledge gained in the proposed project will be directly applicable in the optimization of the clean devices during the construction/operation of the WFGD device. Additional co financing will further be explored among the companies that intend to proceed with their business in China, Eastern Europe and Russia, and the Slovenian market as well.

The results of these studies are relevant n the following sectors:

- The knowledge developed can be marketed in the energy sector, cement production, and other environmental technologies. Marketing is possible in Asia and Europe.
- The potential users in Slovenia are fossil fuel based energy sectors and cement production facilities. In addition, thermal treatment of waste requires similar technologies for removal of contaminants and will have to be optimized.
- Modelling tools will also improve the existing integrated modelling tools available for the management of contaminated environment in several Slovenian contaminated sites.

10.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

Komentar

11.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.09.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Komentar

--

12.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

	Sofinancer			
1.	Naziv			
	Naslov			
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR	
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%	
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra		
		1.		
		2.		
		3.		
		4.		
		5.		
	Komentar			
	Ocena			

13.Izjemni dosežek v letu 2014¹²**13.1. Izjemni znanstveni dosežek**

QUETEL, Christophe R., HORVAT, Milena, et al. International system of units traceable results of Hg mass concentration at saturation in air from a newly developed measurement procedure. Analytical chemistry, ISSN 0003-2700. [Print ed.], 2014, vol. 86, no. 15, str. 7819-7827. [COBISS.SI-ID 27875367]

JAFFE, Daniel A., HORVAT, Milena, et al. Progress on understanding atmospheric mercury hampered by uncertain measurements. Environmental science & technology, ISSN 0013-936X. [Print ed.], 2014, vol. 48, no. 13, str. 7204-7206, [COBISS.SI-ID 27872551]

ENT, Hugo, ANDEL, HORVAT, Milena, et al. Christophe R. A gravimetric approach to providing SI traceability for concentration measurement results of mercury vapor at ambient air levels. Measurement science & technology, vol. 25, no.11, 2014). bristol: IOP Publishing, 2014, vol. 25, no. 11, str. 115801-1-115801-11, [COBISS.SI-ID 28010279],

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

STERGARŠEK, Andrej, HORVAT, Milena. Simultaneous SO₂ and elemental HG removal in wet FGD by oxidation with air. V: 5th China (Taiyuan) International Energy Industry Expo Low Carbon Development Summit-2014, BIT's 2nd Annual World Congress of EnergyWise-2014, BIT's 3rd Annual International Symposium of Clean Coal Technology-2014, BIT's 1st Annual World Congress of Geophysics-2014, September 16-18, 2014, Taiyuan, Chin. Conference proceedings. [S. l.: s. n.], 2014, str. 55. [COBISS.SI-ID 27990055]

STERGARŠEK, Andrej, HORVAT, Milena. Modified wet FGD chemistry for removal of Hg(II) and Hg(0) from flue gases : presented at EXPERTS Europe, 10-11 September, 2014, Krakow, Poland. 2014. [COBISS.SI-ID 28404519]

Vodja projekta je bila dobitnica Zoisove nagrade za raziskovalne dosežke na področju raziskovanja živega srebra v letu 2014.

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Institut "Jožef Stefan"

Milena Horvat

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

6.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/125

¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne

ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)

⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)

⁹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹¹ Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

¹² Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

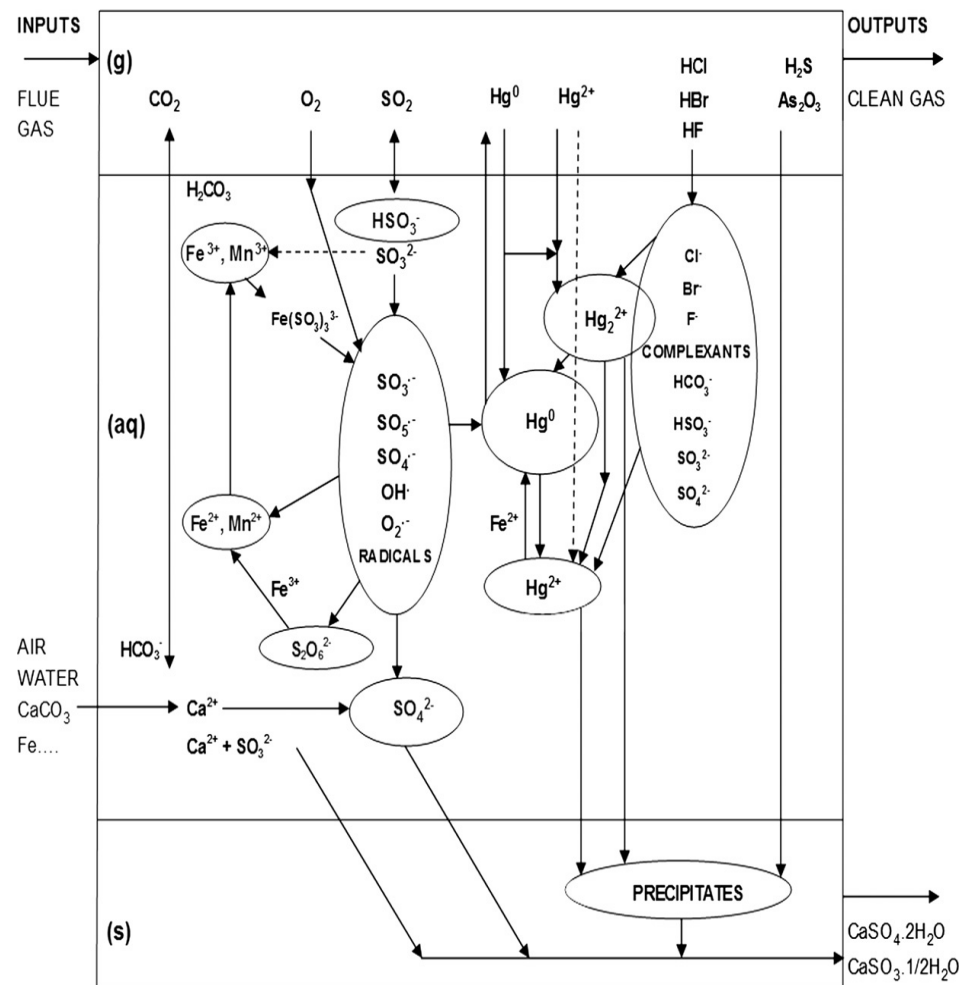
Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2015 v1.00a

3A-7C-66-67-8D-68-67-69-FC-E2-9E-FC-A8-1C-CE-52-FB-40-B7-34

Priloga 1

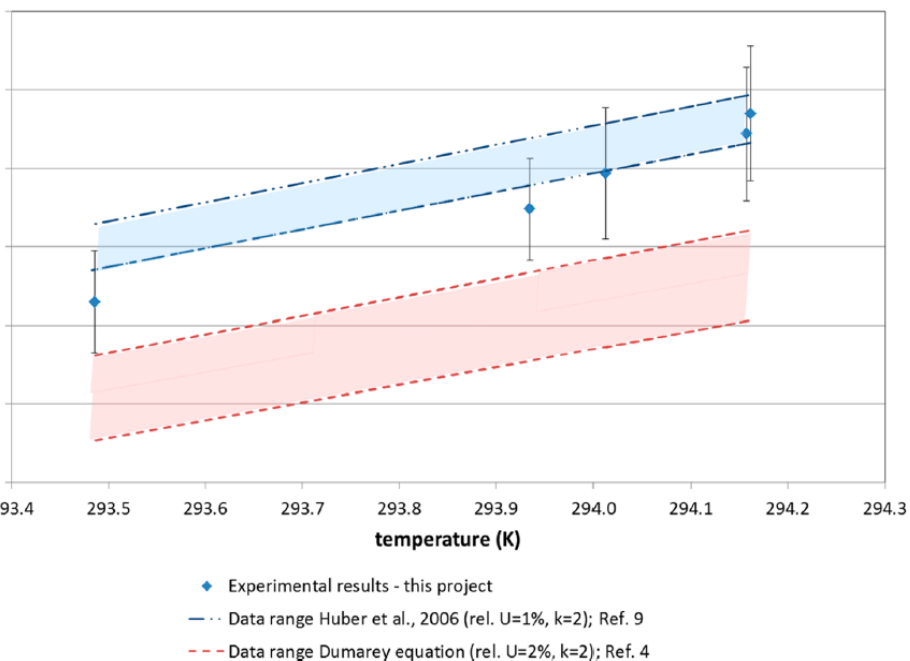
Kemija živega srebra v napravah za razžvepljevalnje dimnih plinov (RDP) v termoelektrarnah

Živo srebro pri zgorevanju premoga lahko prehaja v globalno atmosfero kjer povroča negativne učinke na lokalni in globalni ravni. Nova mednarodna konvencija Minamata zahteva bistveno zmanjšanje emisij Hg pri kurjenju premoga. V RDP poleg SO_2 lahko učinkovito odstranimo tudi Hg. V RDP je Hg podvržen kompleksnim kemijskim reakcijam. Najpomembnejša je oksidacija elementarnega Hg do Hg(II) in adsorpcija na trdne delce. Tako preprečimo uhajanje Hg(0) v atmosfero, sočasno pa zadržimo uhajanje drugih strupenih snovi v okolje. Matematično modeliranje teh procesov, ki smo ga razvili pa omogoča simuliranje učinkovitosti čiščenja dimnih plinov in je odlično orodje za upravljalce teh naprav.



Priloga 2

Sledljivost meritev živega srebra v zraku



Primerljivost meritev živega srebra v zraku je še vedno nerešeno vprašanje na globalnem nivoju. To je najverjetneje posledica nepravilne ocene merilne negotovosti Dumareyve enačbe, ki opisuje odvisnost koncentracije in temperature v zaprtih kalibracijskih posodah. Razlika je med 5 pa do 9 %, kar lahko bistveno doprinese k napakam meritev, ki imajo sicer veliko okoljsko in ekonomsko škodo v energetskega sektorju. Naše raziskave so prav tako potrdile bistveno odstopanje. Razvili smo alternativno metodo za kalibracijo.

ETEL, Christophe R., HORVAT, Milena, et al. International system of units traceable results of Hg mass concentration at saturation in air from a newly developed measurement procedure. Analytical chemistry, 2014, 86, 15, 7819-7827.