

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/65



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J1-4029
Naslov projekta	Raziskave ionske homeostaze pri rastlinah s pomočjo mapiranja elementov v tkivih z lasersko ablacijo in induktivno sklopljeno plazmo z masno spektroskopijo
Vodja projekta	23261 Johannes Teun Van Elteren
Tip projekta	J Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	7560
Cenovni razred	C
Trajanje projekta	07.2011 - 06.2014
Nosilna raziskovalna organizacija	104 Kemijski inštitut
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	106 Institut "Jožef Stefan" 481 Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	1 NARAVOSLOVJE 1.03 Biologija
Družbeno-ekonomski cilj	13.01 Naravoslovne vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	1 Naravoslovne vede 1.06 Biologija

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Namen raziskav je bil odkriti možne razstrupljevalne mehanizme za Hg, ki naj bi se v rastlinah ob prisotnosti Se (IV/VI) ali ob prisotnosti organskih ligandov, vezal v nemobilne komplekse z manjšo metabolno aktivnostjo. Uporabljene so bile tehnike mapiranja, ki omogočajo določanje razporeditve elementov in ligandnega okolja v rastlinskih delih (korenine, steblo, listi) na

nivoju organov ter na tkivnem in celičnem nivoju. Elementno mapiranje z LA-ICP-MS je bilo dopolnjeno z uporabo μ -PIXE in μ -XRF, ki sta tehniki z višjo prostorsko ločljivostjo. Kljub temu se je LA-ICP-MS izkazala kot najbolj primerna tehnika za mapiranje elementov v sledovih v tkivih, zaradi odlične občutljivosti. Za vse tri tehnike so bili optimizirani že obstoječi protokoli za pripravo in pritrnitev vzorcev.

Razvoj strojne in programske opreme za LA-ICP-MS sedaj omogoča višjo resolucijo, občutljivost in hitrost analiz za 2D in 3D mapiranje. S sodelovanjem Univerze v Ghentu je bila razvita in testirana ablacijska celica z ultra majhnim ohišjem (celica z volumnom 1 μ l), ki omogoča odlične lastnosti izpiranja aerosolskih delcev, ki nastanejo med LA. Poleg tega so bili razviti tudi novi protokoli za reverzno kalkulacijo LA parametrov iz ICP-MS signala, ki temeljijo na dekonvoluciji spektra in slike z namenom povečanja lateralne ločljivosti LA-ICP-MS na področju elementnega mapiranja preko večkratnega LA vzorčenja predela, ki nas zanima, kar poveča lateralno ločljivost pod 1 μ m.

Študije Hg interakcij z mikoriznimi rastlinami so pokazale, da lahko AM glive povzročijo zadrževanje Hg v korteksu korenin; Hg je še vedno mobilni in se akumulira v poganjkih kamor se transportira iz korenin ali pa se nalaga Hg, ki hlapi iz zemlje. Hlapljive oblike Hg se odložijo na površino listov in se posledično prenesejo v prehranjevalno verigo. Hlapenje Hg predstavlja velik problem pri ocenjevanju transporta Hg iz korenin v poganjke in pri ugotavljanju vloge mikorize pri zmanjševanju strupenosti Hg.

Ligandno okolje Hg in Se je bilo določeno z XANES in EXAFS analizami z mejami zaznavnosti >50 mg/kg. Zaradi nizkih koncentracij Hg in Se v rastlinah, so bile meritve možne le pri koreninah, kjer se Hg veže izključno na tiolne (-SH) ligande. Mikorizne korenine (inokulirane z Idrijskim inokulumom) so imele enako vezavo kot v kulturi vzgojeni temno septirani endofiti, tretirani s HgCl₂, kar kaže na močan vpliv glivnega micelija na kompleksacijo Hg v rastlinah. Kompleksacije Hg s Se v rastlinskih tkivih ni bil opaziti, tudi v gobah (*Boletus edulis*) se je <1% Hg vezalo na Se. PCR analize so pokazale, da AM glive izolirane iz zemlje onesnažene s Hg (Idrija), pripadajo rodu *Glomus*.

Rezultati interakcij Hg in Se kažejo, da Se v rastlinah ne igra vloge pri razstrupljanju Hg, vendar pa je potrebno preveriti vlogo Se v višjih trofičnih nivojih (v živalskih tkivih). Interakcije Hg in Se so bile preučevane tudi v dveh vrstah gob (*Scutiger pes* in *Boletus edulis*). Tudi v tem primeru se je Hg raje vezal na S- in N-ligande, kot pa na Se.

ANG

Research was carried to unravel the potential detoxification mechanisms of Hg through binding to Se(IV/VI) or organic ligands and immobilisation in plant compartments using imaging techniques to measure the elemental distribution and associated ligand environment in plant parts (roots, stems and leaves) on the tissue, organ and/or cell level. Elemental imaging by LA-ICP-MS was augmented with the higher spatial resolution techniques μ -PIXE and μ -XRF. Nevertheless, LA-ICP-MS was proven to be the most suitable method for imaging of trace elements in tissues due to its excellent sensitivity. In all cases protocols for sample preparation and mounting were optimized based on existing protocols.

Hardware and software development of LA-ICP-MS led to even higher resolution, sensitivity and analysis speed for 2D and 3D mapping. A LA cell with an ultra small form factor (cell volume of 1 μ l) was developed and tested in collaboration with Ghent University yielding superb washout characteristics of LA-generated aerosol particles. Additionally, a novel post acquisition protocol based on spectral and image deconvolution approaches was developed to enhance the lateral resolution of LA-ICP-MS in elemental imaging through LA oversampling the region of interest, increasing the lateral resolution to <1 μ m.

Experiments studying Hg interactions with mycorrhizal plants showed that AM fungi can sequester Hg ions in the root cortex; however, Hg is still mobile and it is accumulating in the shoots via root to shoot transfer or Hg volatilization from the soil. Volatile Hg compounds can be deposited on the leaf surface and subsequently transferred into the food chains. Hg volatilization presents a major problem to correctly estimate Hg-root to -shoot translocation and identification of the potential role of mycorrhiza in alleviation of Hg toxicity.

The ligand environment of Hg and Se was studied with XANES and EXAFS with detection limits >50 mg/kg. Due to low Hg and Se concentrations this proved only possible for roots, with exclusive binding of Hg to thiol (-SH) ligands. Mycorrhizal roots (inoculated with Idrija inoculum) resembled the isolated and cultured dark septate endophyte fungus treated with HgCl₂, indicating that root-related fungal mycelium may play an important role in complexation of Hg in plant tissues. Hg was not found to be complexed by selenium in plant tissues and also in mushrooms (*Boletus edulis*) only <1% of Hg was found to be bound to Se. PCR analyses

identified AM fungi isolated from Hg-contaminated soils (Idrija) as belonging to the genus *Glomus*.

Experiments studying the Hg and Se interaction showed that Se does not play a role in Hg detoxification in plants. However, it might be beneficial to chelate Se further in the food chain (in animal tissues). In addition Hg and Se interactions were also studied in two mushroom species (*Scutiger pes* and *Boletus edulis*), again showing insignificant Se-sequestration of Hg but rather binding to S- and N-ligands.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

DS 1: Razvoj LA-ICP-MS za mapiranje porazdelitve elementov

V okviru projekta smo razvijali strojno in programsko opremo v smeri zmanjševanja časa analiz, povečevanja možnosti kvantifikacije elementov in povečevanja prostorske občutljivosti pri LA-ICP-MS mapiranju različnih elementov na tkivnem nivoju v rastlinah. Optimizacija obstoječih 2D protokolov za mapiranje in kvantifikacijo je vodila do dobrih in zanesljivih LA-ICP-MS elementarnih map v rastlinskih tkivih, tako za pogoste in manj pogoste elemente, kot tudi elemente v sledovih (Plant Cell Environ. 37 (2014) 1299; Planta 238 (2013) 441). Rezultati multi-elementnega 3D LA-ICP-MS mapiranja z uporabo standardne LA celice so pokazali, da lasersko vrtnje na površju virtualne mreže, ki mu sledi ekstrakcija globinskih profilov vzdolž z-osi, lahko da podatke o volumski sliki z lateralno ločljivostjo v velikosti žarka in globinsko ločljivostjo v območju 100 nm (J. Anal. At. Spectrom. 28 (2013) 994).

Kvantifikacija. Uvedli smo nov kalibracijski pristop, ki je osnovan na seštevku vsebnosti pikslav (v cps) v vsakem posameznem pikslu i na mapi vzorčne rezine. Po končanem merjenju se določi celokupna elementna koncentracija c_t (mg/g) v podobni vzorčni rezini, ki je bila mikrovalovno razklopljena v kislini in pomerjena s tekočinsko ICP-MS. Ta celokupna elementna koncentracija c_t se prerazporedi preko vsakega posameznega piksla i in tako dobimo koncentracije elementov v posameznem pikslu c_i (mg/g) ($a_j \cdot c_i$)/ Sa_j (članek v pripravi). Z uporabo standardne ablacijske celice smo omejeni pri merjenju Hg z običajnim linijskim skeniranjem zaradi spominskega efekta, ki se pojavi kot posledica vezave Hg na površine znotraj inštrumenta. Če uporabimo novejši LA protokol, ki je osnovan na točkovnih analizah z 1 sekundno ablacijo, ki ji sledi 10 s časovne zakasnitve, lahko zmanjšamo vezavo Hg in generiramo 2D mape preko točkovnega mapiranja na mreži (Anal. Chim. Acta 787 (2013) 155). Kljub temu, da daje ta protokol dobre rezultate in celo omogoča preprosto kvantifikacijo, saj v primeru mikrotomskih rezin ablaciramo direktno skozi vzorec/standard, je mapiranje časovno zelo zamudno.

Oblika lasersko ablacijske celice. Zmanjšanje časa potrebnega za analize je bilo doseženo z uporabo zelo majhne lasersko ablacijske celice z dobrimi karakteristikami izpiranja, ki se imenuje teardrop celica in omejuje vezavo Hg zaradi manjše površine in večje pretočnosti delcev, ki nastanejo pri laserski ablaciji. Celo običajno linijsko skeniranje da zadovoljive rezultate, kar omogoča cca. enkrat hitrejšo mapiranje v primerjavi s protokolom, ki je osnovan na 1 sekundni ablaciji z 10 s zamikom. Za še boljše in hitrejšo mapiranje je bila v sodelovanju z Univerzo v Ghentu (Belgija) razvita ablacijska celica z ultra majhnim ohišjem (volumen celice 1 μ l) za dokončno zmanjšanje hitrosti analiz in izboljšanje občutljivosti in ločljivosti v 2D in 3D mapiranju (J. Anal. At. Spectrom. 30 (2015) 119). Do sedaj lahko ta ablacijska celica na bazni liniji loči 200-300 posameznih pulzov na sekundo, kar je trenutno rekord na področju LA mapiranja. Ker s spremljanjem na bazni liniji ločenih posameznih pulzov zaobidemo zamujanje signala, ki se ponavadi pojavi pri linijskem skeniranju z navadno ablacijsko celico, s tem bistveno izboljšamo lateralno in pa tudi globinsko občutljivost (za še boljše prostorsko občutljivost je bila razvita nova programska oprema, ki je opisana spodaj). Izboljšana je tudi občutljivost mapiranja saj enako število pri ablaciji nastalih delcev tvori ožje vrhove in je signal manj zabrisan, medtem ko je čas potreben za analiziranje krajši za faktor 30-50 v primerjavi s teardrop celico. Pričakovati je da bo nadaljni razvoj ultra celice povzročil revolucijo na področju mapiranja bioloških vzorcev; vključeni bomo v beta testiranje komercialnih oblik celice narejene po našem načrtu.

Dekonvolucija za ostrenje elementnih map. Novi protokoli za obdelavo podatkov po koncu meritev, ki temeljijo na dekonvoluciji spektra in slike so bili razviti da bi povečali lateralno ločljivost LA-ICP-MS na področju 2D in 3D elementnega mapiranja (Anal. Chem., predloženo). Z natančnostjo, ponovljivostjo in hitrostjo zajemanja podatkov naše nove lasersko ablacijske

enote (Cetac, Analyte G2, 193 nm) in kvadropolnega ICP-MS (Agilent 7500), lahko prvič zanesljivo izmerimo spremembo signala, ki jo povzroči artefakt. Ko laserski žarek prečka artefakt sicer enakomerno porazdeljenega elementa, LA-ICP-MS signal počasi narašča s prekrivenjem laserskega žarka in artefakta, dokler ni doseženo maksimalno prekritje. Preko večkratnega LA vzorčenja predela, ki nas zanima v x- in y- smeri, lokalna informacija o gostoti naraste in z uporabo prej omenjene ultra celice, se lahko signal posameznih pulzov pretvori v sub- μm občutljivost z uporabo dekonvolucijskega procesa, ki je osnovan na točkovno razširjeni funkciji (psf) profila laserskega žarka. Ta dekonvolucijski proces bi bil lahko v principu uporabljen za povečanje prostorne občutljivosti tudi v drugih lasersko-osnovanih tehnikah mapiranja.

DS 2: Aplikacija LA-ICP-MS: Študije faktorjev, ki vplivajo na privzem, transport in akumulacijo Hg v rastlinskih tkivih

Rast AM inokuliranih rastlin, ki so rasle na zemlji s Hg in inokuliranih testnih rastlin. V prvem setu poskusov smo preučevali vlogo arbuskularno mikoriznih (AM) gliv na privzem Hg v modelnih rastlinah. AM glive, uporabljene v tem poskusu, so bile izolirane iz zemlje, ki je bila nabrana v okolici dimnika v Idriji. Za kontrolo smo uporabili komercialno dostopne AM glive Symbiom (Symbivit) (Grašič, 2014). AM glive iz Idrije so povečale suho maso korenin in poganjkov pri kontrolnih rastlinah (brez Hg), medtem ko je ob prisotnosti Hg, AM inokulacija rahlo zmanjšala suho maso korenin in poganjkov v primerjavi z rastlinami inokuliranimi le z bakterijami. Pri rastlinah tretiranih s Hg, uporaba različnih inokulumov ni privedla do razlik v biomasi korenin in poganjkov. Končni rezultati kažejo, da tako AM glive kot tudi bakterije iz Idrije povečajo koncentracijo Hg (mg/kg) v koreninah in poganjkih. Pri koreninski vsebnosti Hg (mg/rastlino) ni bilo opaziti razlik med obema inokulumoma (Grašič, 2014). Bakterijski inokulum iz Idrije je signifikantno povečal vsebnost Hg v poganjkih. Prenosni faktorji iz korenin v poganjke za Hg so bili rahlo nižji v rastlinah inokuliranih z AM iz Idrije v primerjavi s komercialnim inokulumom. Upoštevati je potrebno dejstvo, da lahko nekateri mikroorganizmi, ki se nahajajo v zemlji, Hg spreminjajo v hlapno obliko. Hlapljive oblike Hg se odložijo na površino listov, vplivajo na koncentracije Hg v poganjkih in se prenesejo v prehranjevalno verigo. Hlapenje Hg iz zemlje in posledično onesnaženje nadzemnih delov rastlin, predstavlja velik problem pri ocenjevanju transporta Hg iz korenin v poganjke in pri ugotavljanju vloge mikorize pri zmanjševanju strupenosti Hg.

Kompartimentalizacijski mehanizmi Hg. Lokalizacija Hg v koreninah narejena z LA-ICP-MS je pokazala, da se pri rastlinah inokuliranih z AM iz Idrije, koncentracije Hg signifikantno povečajo v koreninskem korteksu, delu korenine z največjo gostoto glivnih struktur. Rezultati EXAFS meritev iz julija 2013, merjeni na BM23 žarkovni liniji, ESRF, Grenoble, so pokazali, da se Hg veže izključno na tiolne (-SH) ligande pri kontrolnih in mikoriznih koreninah, pa tudi pri izoliranih glivah tretiranih s HgCl_2 . Hg-L3 EXAFS spekter mikoriznih korenin (inokuliranih s komercialnim in Idrijskim inokulumom) je bil enak kot spekter v kulturi vzgojenih temno septiranih endofitov, tretiranih s HgCl_2 , kar kaže na močan vpliv glivnega micelija na kompleksacijo Hg ionov (Kodre et al., 2015, v pripravi, Vogel-Mikuš et al., 2015).

Se kot razstrupelvalni agent. Izbrane testne rastline (koruza) so bile vzgojene pod kontroliranimi pogoji za namen raziskovanja vpliva Se spojin na zmanjšanje Hg strupenosti pri rastlinah. Rastline so 2 meseca rasle na zemlji s 50 mg/kg Hg (dodan v obliki HgCl_2). Poganjki so bili posprejani s selenatom, ki je dokazano najbolj primerna oblika za dodajanje Se rastlinam. Korenine so bile inokulirane s komercialno dostopnimi AM glivami. Tretirane rastline so lepo rasle in niso kazale znakov zastrupljenosti. Analize privzema, lokalizacije in ligandskega okolja Se in Hg so na poti. Ker do sedaj nismo mogli direktno pokazati Hg-Se kompleksov v rastlinskih tkivih, smo preučili vpliv Se na usodo Hg v višjih trofičnih nivojih, s hranjenjem modelnih živalskih organizmov (izopodni rakci) z rastlinami, ki so obogatene s Se. Preliminarne raziskave so pokazale, da je prisotnost Se zmanjšala privzem Hg ko so se živali hranile s solato, ki je rasla na zemlji s 50 mg/kg. Ko pa so se živali hranile s solato, ki je rasla na Idrijski zemlji, je prisotnost Se rahlo povečala privzem Hg. Izopodi so znani po tem, da se pri višjih koncentracijah kovin umaknejo, in ne jedo toliko hrane, kakor pri nižjih koncentracijah. Solata, ki je rasla v Idrijski zemlji je vsebovala manj Hg v primerjavi s solato, ki je rasla v zemlji z dodanim Hg in je bila verjetno v večji meri konzumirana. Posledično so bile

koncentracije Hg najdene v živalih večje.

Hg-Se interakcije v gobah. Dodatno smo preučevali Hg-Se interakcije v dveh vrstah gob, ki akumulirata visoke koncentracije selena (*Scutigera pes-caprae* - 500 mg/kg Se in *Boletus edulis* - 50 mg/kg Se). Gobe so bile nabrane v s Hg onesnaženih in neonesnaženih območjih. Lokalizacija elementov z LA-ICP-MS je pokazala, da Hg in Se kolokalizirata v himeniju (del klobuka s sporami), medtem ko jih v drugih delih gobe skoraj ni. Zanimivo je to, da je *Scutigera* iz neonesnaženega področja vseboval do 50 mg/kg Hg, ki je bil v glavnem vezan na -S in -N ligande (to so pokazali Hg-L3 XANES spektri). Podobno so užitni deli gobe *Boletus edulis*, ki je bila nabrana v onesnaženem območju v Idriji, vsebovali 50 mg/kg Hg, ki je bil prav tako vezan na -S in -N ligande. Hg-Se kompleksi so bili prisotni v deležu <1%, kar kaže na to, da kljub visokim koncentracijam Se v užitnih delih gobe, ta nima vloge pri kompleksaciji Hg.

DS3: Komplementarne raziskave lokalizacije elementov v rastlinskih tkivih z LA-ICP-MS in rentgensko fluorescenčnimi tehnikami, ter določanje kemijske oblike Hg in Se v rastlinskih tkivih z uporabo sinhrotronske rentgenske absorpcijske spektrometrije

Razumevanje obnašanja usode kovin v rastlinskih tkivih je možno le z integracijo številnih metodologij podprtih s protokoli za pripravo vzorcev, ki omogočajo ohranitev vzorcev čim bližje stanju »in vivo«. Zato so bile v tej delovni skupini študije lokalizacije Hg in Se v AM rastlinah dopolnjene še s študijami lokalizacije z μ -PIXE (nuklearna mikroproba IJS) in sinhrotronsko μ -XRF (žarkovna linija ID22, ESRF Grenoble; <http://www.esrf.eu/>), da bi ocenili občutljivost, pravilnost in ustreznost LA-ICP-MS. Za ta namen so bili rastlinski vzorci pripravljene s pomočjo krioifikacije, rezanja s kriptomom in liofilizacije. Mapiranje je bilo narejeno z LA-ICP-MS, μ -PIXE in μ -XRF na ID22. Hg in Se razporeditvene mape so razkrile, da je večina Hg v Hg+Se tretiranih rastlinah, vezana na žveplove komponente in da je na -SeH skupine vezano zelo malo Hg. To je bilo kasneje potrjeno s standardnimi XAS tehnikami (EXAFS in XANES) na BM23, ESRF, Grenoble, julija 2013 in na XRF žarkovni liniji, Elettra, Trst, decembra 2014. Jasno je bilo pokazano, da žveplo in njegovi ligandi močno vplivajo na kompleksacijo Hg v rastlinskih tkivih mikoriznih in tudi nemikoriznih rastlin. Razporeditev Se je bila mapirana tudi na žarkovni liniji TwinMic, Elettra, Trst, kjer je bilo ugotovljeno, da se selenat akumulira v vakuolah mezofilnih celic sončnice, en del pa se ga najde tudi v celični steni. V rastlinah tretiranih s selenitom, nismo mogli detektirati selena v listih. LA-ICP-MS se je izkazala kot najbolj občutljiva tehnika za mapiranje Se in Hg na tkivnem nivoju.

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

Ocenjujemo, da je bilo ob koncu projekta realiziranih 95% vseh zastavljenih raziskovalnih ciljev (podrobneje spodaj). Vendar pa so izsledki raziskav sprožili številne dodatne raziskave s katerimi smo želeli utemeljiti naše rezultate in dodatno pokazati zmogljivosti razvitih tehnologij. Dodatna raziskava je bila narejena na dveh vrstah gob, ki kopičita selen. Rezultati so pripeljali do dejstva, da kljub kolokalizaciji Se in Hg v himeniju, Se ne igra vloge pri kompleksaciji Hg v gobah. Analize privzema, lokalizacije in ligandnega okolja Hg in Se se nadaljujejo na modelnih živalskih organizmih. Kljub temu, da so bila znanstvena odkritja vključena v mnoge članke in predstavitve na konferencah, še vedno pričakujemo, da bomo v prihodnjih mesecih objavili nekatere rezultate. V projekt so bili vključeni tudi mnogi doktorski, podiplomski in dodiplomski študentje katerih dela bodo po pričakovanjih zaključena v naslednjem letu. Nadaljevalo se bo beta testiranje razvite ultra celice, ki bo izdelana v komercialne namene in še bolj primerna za 2D in 3D mapiranje bioloških vzorcev.

DS 1 (Razvoj LA-ICP-MS za mapiranje porazdelitve elementov):

Testiranje ustreznosti različnih načinov priprave vzorcev za LA-ICP-MS - 100%

Optimizacija LA-ICP-MS protokolov za 2D mapiranje - 100%

Razvoj programske opreme za reverzno kalkulacijo LA parametrov iz ICP-MS signala in dekonvolucijo ICP-MS signala - 100%

Razvoj in optimizacija LA-ICP-MS protokolov za 3D mapiranje - 100%

DS 2 (Aplikacija LA-ICP-MS: Študije faktorjev, ki vplivajo na privzem, transport in akumulacijo Hg v rastlinskih tkivih):

Vzgoja poskusnih rastlin v substratu z dodanim Hg, Se in mešanico spojin v kontroliranih pogojih – 100%

Monitoring fizioloških parametrov in pokazatelj stresa pri poskusnih rastlinah – 95%

Izolacija Hg odpornih AM glivnih sevov, testiranje tolerance na Hg in molekularna identifikacija AM sevov – 90%

Vzgoja AM inokuliranih in neinokuliranih poskusnih rastlin v substratu z dodanim Hg, Se in mešanico spojin v kontroliranih pogojih – 100%

Monitoring fizioloških parametrov in pokazatelj stresa pri inokuliranih in neinokuliranih poskusnih rastlinah – 90%

2D in 3D lokalizacija elementov v rastlinskih tkivih z LA-ICP-MS – 90 %

DS3 (Komplementarne raziskave lokalizacije elementov v rastlinskih tkivih z LA-ICP-MS in rentgensko fluorescenčnimi tehnikami, ter določanje kemijske oblike Hg in Se v rastlinskih tkivih z uporabo sinhrotronske rentgenske absorpcijske sprektrometrije):

Lokalizacija elementov v rastlinskih tkivih z mikro-PIXE in mikro-XRF – 90%

Določanje kemijske speciacije Hg in Se ter njunih ligandov s XANES in EXAFS – 100%

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

Projekt je bolj ali manj potekal po načrtih. Nobenih večjih sprememb ni bilo.

6.Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

		Znanstveni dosežek	
1.	COBISS ID	2821455	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Razvoj postopka mapiranja z 2D lasersko ablacijo z induktivno sklopljeno plazmo in masno spektrometrijo za mapiranje živega srebra v prečnem prerezu korenine koruze (<i>Zea mays</i> L.)
		ANG	Development of a 2D laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry mapping procedure for mercury in maize (<i>Zea mays</i> L.) root cross-sections
	Opis	SLO	LA-ICP-MS metoda, ki je osnovana na 213 nm Nd:YAG laserju in kvadropolnem ICP-MS je bila razvita za mapiranje Hg v prečnih prerezi korenin koruze (<i>Zea mays</i> , L.). Namen je bil ugotavljanje mehanizma privzema Hg iz zemlje in njegovo transportiranje v užitne dele rastlin. Splošno uporabljena tehnika mapiranja se je izkazala za neuporabno, zaradi vezave Hg na notranje dele laserja, kar je povzročilo spominski efekt, ki se je odražal v nepravilni kvantifikaciji. Točkovna analiza na navidezni mreži na površju rezine korenine z uporabo 10 s izpiranja med dvema točkama, je močno zmanjšal probleme povezane s spominskim efektom.
		ANG	A LA-ICP-MS method based on a 213 nm Nd:YAG laser and a quadrupole ICP-MS was developed for mapping of mercury in root cross-sections of maize (<i>Zea mays</i> L.) to investigate the mechanism of mercury uptake from soil and its potential translocation to the edible parts. Conventional rastering was found to be unusable due to sorption of mercury onto the internal parts of the LA device, giving rising to memory effects resulting in serious loss of resolution and inaccurate quantification. Spot analysis on a virtual grid on the surface of the root sections using washout times of 10 s in between spots greatly alleviated problems related to these memory effects.
			Elsevier; Analytica chimica acta; 2013; Vol. 787; str. 155-162; Impact

	Objavljeno v	Factor: 4.517; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.155; A': 1; WoS: EA; Avtorji / Authors: Debeljak Marta, Elteren Johannes Teun van, Vogel-Mikuš Katarina	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	5631258	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Razvoj hitre celice za lasersko ablacijo z induktivno sklopljeno plazmo za sub- μm skeniranje plastovitih materialov
		ANG	Development of a fast laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry cell for sub- μm scanning of layered materials
	Opis	SLO	LA-ICP-MS podatki o uspešnih meritvah, so do sedaj znani le za komercialno navadno nizko disperzijsko LA celico. 99% izpiranje aerosolov je bilo doseženo v cca. 6 ms,, kar omogoča opazovanje ločenih pulzov v frekvencah 200-300 Hz. Celica omogoča tudi reverzno kalkulacijo z dekonvolucijo ablacijskih signalov iz prekritih območij, kar poveča ločljivost na 0.3 +/-0.1 μm .
		ANG	LA-ICP-MS performance data are reported for a custom-made low-dispersion laser ablation cell. A 99% washout of the aerosol was achieved in ca. 6 ms, enabling separated pulse responses at frequencies up to 200-300 Hz. In addition, the cell employed supports a post-acquisition methodology for the deconvolution of overlapping ablation positions in scanning mode resulting in a lateral resolution in the order of 0.3 +/- 0.1 micrometer.
	Objavljeno v	The Royal Society of Chemistry; Journal of analytical atomic spectrometry; 2015; Vol. 30, iss. 1; str. 119-125; Impact Factor: 3.396; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.167; A': 1; WoS: EA, XQ; Avtorji / Authors: Van Malderen Stijn J. M., Elteren Johannes Teun van, Vanhaecke Frank	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	2984527	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Razlike v razporeditvi kadmija in cinka v odvisnosti od njunega fiziološkega učinka na liste akumulatorja <i>Zygophyllum fabago</i> L.
		ANG	Differential cadmium and zinc distribution in relation to their physiological impact in the leaves of the accumulating <i>Zygophyllum fabago</i> L.
	Opis	SLO	Preučevali smo vpliv tretiranja z 10 μM Cd oz. 50 μM Zn na razporeditev ionov na tkivnem in celičnem nivoju v listih populacije <i>Zygophyllum fabago</i> , ki ni hiperakumulatorska rastlina a vseeno kopiči velike koncentracije kovin. Posledično smo opazovali odziv rastline s kombinacijo fizioloških, proteomičnih in metabolnih sprememb. Mikro-PIXE in LA-ICP-MS analize so pokazale, da je v primeru tretiranja s Cd, največja koncentracija tega elementa v bližini žilnega snopa. EXAFS analize so pokazale, da je v večini vezan na spojine, ki vsebujejo žveplo. Zn se je večinoma akumuliral v bližini žilnega snopa in v gobastem tkivu mezofila. Vezan je bil na O/N ligande.
		ANG	We studied the impact of 10 μM Cd or 50 μM Zn treatments on ion distribution in leaves of a metalicolous population of the non-hyperaccumulating species <i>Zygophyllum fabago</i> at tissue and cell level, and the consequences on the plant response through a combined physiological, proteomic and metabolite approach. Microproton-induced X-ray emission and laser ablation inductively coupled mass spectrometry analyses indicated hot spots of Cd concentrations in the vicinity of vascular bundles in response to Cd treatment, essentially bound to S-containing compounds as revealed by extended X-ray absorption fine structure and non-protein thiol compounds analyses. A preferential accumulation of Zn occurred in

			vascular bundle and spongy mesophyll in response to Zn treatment, and was mainly bound to O/N-ligands.
	Objavljeno v		Wiley-Blackwell; Plant, cell and environment; 2014; Vol. 37, no. 6; str. 1299-1320; Impact Factor: 5.906; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.988; A': 1; WoS: DE; Avtorji / Authors: Lefevre Isabelle, Vogel-Mikuš Katarina, Jeromel Luka, Vavpetič Primož, Planchon Sébastien, Arčon Iztok, Elteren Johannes Teun van, Lepoint Gilles, Gobert Sylvie, Renaut Jenny, Pelicon Primož, Lutts Stanley
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	2812495	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Akumulacija in razporeditev Zn v poganjkih in reproduktivnih organih slanljubne rastline <i>Kosteletzkya virginica</i> kot funkcija slanosti
		ANG	Accumulation and distribution of Zn in the shoots and reproductive structures of the halophyte plant species <i>Kosteletzkya virginica</i> as a function of salinity
	Opis	SLO	Preučevali smo razporeditev Zn v poganjkih in reproduktivnih organih zrele rastline <i>Kosteletzkya virginica</i> in pa vpliv NaCl na to razporeditev. Rastline so rasle v hranilnem filmu od časa sejnanja pa do zrelosti semen v kontrolnem, Zn (100 µM), NaCl (50 mM) in Zn + NaCl mediju. Razporeditev Zn v reproduktivnih organih je bila določena z LA-ICP-MS. Zrele rastline so v poganjkih akumulirale do 2 mg/g suhe mase Zn. Zn je bil prisoten v testi semena, endospermu in v manjših količinah tudi v zarodku. Dodatek NaCl je povzročil, da je Zn ostajal v halazi med dozorevanjem semena in tako je bila končna koncentracija Zn v semenu zmanjšana.
		ANG	The distribution of Zn in vegetative and reproductive organs of adult <i>Kosteletzkya virginica</i> plants, and the NaCl influence on this distribution were studied. Plants were cultivated in a nutrient film technique system, from seedling stage until seed maturation in a control, Zn (100 µM), NaCl (50 mM) or Zn + NaCl medium. Zinc distribution in reproductive organs was estimated by laser ablation inductively coupled plasma-mass spectrometry procedure. Adult plants accumulated up to 2 mg/g DW Zn in the shoots. Zinc was present in seed testa, endosperm and, to a lower extent, in embryo. Additional NaCl induced a chalazal retention of Zn during seed maturation and reduced final Zn seed content.
	Objavljeno v		Springer-Verlag; Planta; 2013; Vol. 238, issue 3; str. 441-457; Impact Factor: 3.376; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.988; A': 1; WoS: DE; Avtorji / Authors: Han Ruiming, Quinet Murielle, André Emilie, Elteren Johannes Teun van, Destrebecq Florence, Vogel-Mikuš Katarina, Cui Guangling, Debeljak Marta, Lefevre Isabelle, Lutts Stanley
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	5202714	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	3D LA-ICP-MS mapiranje za študije površja slojev
		ANG	3D laser ablation-ICP-mass spectrometry mapping for the study of surface layer phenomena
	Opis	SLO	Preučevali smo multi-elementno 3D mapiranje z LA-ICP-MS, za visoko ločljivostno globinsko informacijo o površini slojev. Postopek temelji na laserskem vrtnanju virtualne mreže na površini, ki mu sledi ekstrakcija globinskih map v smeri z-osi (za vsak opazovani element). Z 50 laserskimi pulzi pri 1 Hz v vsaki točki, dosežemo globino ca. 150nm na pulz (velja za steklo). Lateralna ločljivost je v redu velikosti laserskega žarka.
			A multi-elemental 3D laser ablation-ICP-mass spectrometry mapping procedure for high resolution depth information retrieval to investigate

	ANG	surface layer phenomena is presented. The procedure is based on laser drilling on a virtual grid on the surface, followed by extraction of depth maps along the z-axis (for each element monitored). Using a burst of 50 laser pulses at 1 Hz on each point of the grid, a penetration rate of ca. 150 nm per pulse (in glass) was obtained and a lateral resolution in the order of the laser beam diameter.
Objavljeno v		The Royal Society of Chemistry; Journal of analytical atomic spectrometry; 2013; Vol. 28, issue 7; str. 994-1004; Impact Factor: 3.396; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.167; A': 1; WoS: EA, XQ; Avtorji / Authors: Elteren Johannes Teun van, Izmer Andrei, Šala Martin, Orsega Emilio Francesco, Šelih Vid Simon, Panighello Serena, Vanhaecke Frank
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	3296079 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Raziskave homeostaze elementov v sledih v rastlinah z uporabo komplementarnih rentgenskih in masno spektrometričnih metod
		ANG Studies of trace element homeostasis in plants using complementary X-ray and mass spectrometry based techniques
	Opis	SLO Da bi lahko razvili nove tehnologije za biofortifikacijo in fitoremediacijo, je potrebno veliko znanja na področju mehanizmov, ki so vključeni v procese privzema, transporta, akumulacije, razporeditve kompartmentalizacije in ligandnega okolja elementa v rastlinskih tkivih. Za te raziskave je nujno potrebna uporaba tehnik, ki omogočajo mapiranje razporeditve elementov in njihove speciacije v rastlinskih tkivih in celicah z visoko prostorsko ločljivostjo. Take tehnike so rentgenska fluorescentna mikroskopija, μ -rentgenska absorpcijska spektrometrija in laserska ablacija z induktivno sklopljeno plazmo.
		ANG To be able to develop new biofortification and phytoremediation technologies, knowledge on the mechanisms involved in processes of trace element uptake, transport, accumulation, distribution, compartmentalization and ligand environment in plant tissues is needed. For this type of studies the use of techniques enabling imaging of the element distribution and speciation in plant tissues and cells with high spatial resolution and sensitivity, is essential. Such techniques are X-ray fluorescence micro-spectroscopy and micro-X-ray absorption spectroscopy, micro-particle induced X-ray emission and laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry.
	Šifra	B.04 Vabljen predavanje
	Objavljeno v	Jožef Stefan Institute; Conference program and abstracts; 2014; Str. 26; Avtorji / Authors: Vogel-Mikuš Katarina, Kump Peter, Pelicon Primož, Vavpetič Primož, Pongrac Paula, Regvar Marjana, Debeljak Marta, Elteren Johannes Teun van, Arčon Iztok
	Tipologija	1.10 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci (vabljen predavanje)
2.	COBISS ID	2862159 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Razkritje skrivnostnega življenja rastlin
		ANG Revealing the secret life of plants

	Opis	SLO	Nova odkritje o organizaciji n razporeditvi rastlinskih hranil v celo najmanjših enotah življenja – tkiva, celice in intracelularni organeli - so možna le s stalnim posodabljanjem protokolov za pripravo vzorcev, uporabo visoko občutljivih tehnik mapiranja in razvojem sofisticirane računalniške programske opreme. Vizualizacija rastlinskih procesov z uporabo različnih naprav z možnostjo mapiranja na istem vzorcu ali celo z uporabo različnih tehnik skeniranja znotraj ene naprave, nam razkrije več informacij, kot bi jih lahko dobili z uporabo enega inštrumenta.	
		ANG	New insights into the organisation and distribution of phyto-nutrients in ever-smaller units of life – tissues, cells, and intracellular organelles – is only enabled by constant innovations in sample preparation protocols, by the implementation of high-resolution imaging techniques, and by exploiting increasingly sophisticated computers and image-processing software. Furthermore, visualising plant processes in a correlative approach, by using different mapping instruments on the same sample, or even different scanning techniques integrated within the same instrument, allows us to retrieve more information than would be possible by using any single instrument.	
	Šifra	F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Objavljeno v	Research Media; International innovation, Environment; 2013; str. 20-22; Avtorji / Authors: Regvar Marjana, Vogel-Mikuš Katarina, Pelicon Primož, Elteren Johannes Teun van, Gregoratti Luca, Pongrac Paula, Kreft Ivan, Eichert Diane		
	Tipologija	1.04	Strokovni članek	
3.	COBISS ID	10342473	Vir: COBISS.SI	
	Naslov	SLO	Vpliv arbuskularne mikorize na privzem živega srebra pri koruzi	
		ANG	Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on uptake of mercury in maize	
	Opis	SLO	<p>Idrija je najstarejše slovensko rudarsko mesto, ki je znano po pridobivanju živega srebra iz skrilave rude. Večletno rudarjenje je pustilo številne posledice, med drugim je vplivalo tudi na okolje, tla in kvaliteto prsti; posledično so ogroženi tudi ljudje. Vegetacija najprej prestreže strupene snovi, ki vstopajo v kopenske ekosisteme iz zraka, tal ali vodnih sistemov. Rastline, ki uspevajo v takem okolju so se prilagodile tako, da so razvile razstrupljevalne mehanizme. Splošno znano je, da ima večina rastlin, ki rastejo v naravnih razmerah, mikorizo, ki je sožitje med glivami in višjimi rastlinami, predvsem pri tistih rastlinah, ki rastejo na območjih onesnaženih s kovinami. Namen diplomske naloge je bil ugotoviti, kako inokulacija z arbuskularno mikoriznimi (AM) glivami vpliva na privzem živega srebra pri koruzi in na njeno rast. Določili smo tudi vsebnost fotosinteznih pigmentov, ter ocenili stopnjo AM kolonizacije. Koncentracije živega srebra smo določili z induktivno sklopljeno plazemsko masno spektrometrijo (ICP-MS). Največja vsebnost Hg v poganjkih je bila izmerjena pri rastlinah inokuliranih z idrijskim inokulumom, v koreninah pa pri rastlinah, ki so rasle v substratu z dodanim bakterijskim ekstraktom idrijskega inokuluma. Koncentracije Hg v koreninah so bile večje kot v poganjkih. Gostota arbuskulov v koreninskem sistemu je bila največja pri rastlinah, inokuliranih z idrijskim inokulumom, gostota veziklov pa je bila večja pri rastlinah, inokuliranih s komercialnim inokulumom. Biomasa poganjkov in korenin je bila največja pri rastlinah, inokuliranih z idrijskim inokulumom brez dodanega Hg.</p> <p>Idrija is the oldest mining town in Slovenia, famous for extracting mercury ore from the slate rock. The effects of the multiannual mining are numerous: the mining activity has affected the environment, the ground and the soil-quality, and it consequently represents a threat to the local</p>	

		<p>inhabitants. The vegetation is the first natural element affected by toxic substances, which enter terrestrial ecosystems from the air, the soil or the water systems. The plants growing in this kind of environment have adapted to the circumstances by developing particular detoxification mechanisms. Mycorrhiza is a symbiotic association between fungi and higher plants, commonly found in the plants growing in natural environments, and especially typical for the plants growing in the areas contaminated with metals.</p> <p>The purpose of this diploma work was to study the influence of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on the mercury absorption of the corn and the growth of this corn. We also determined the content of photosynthetic pigments and estimated the AM colonisation level. The mercury concentration level was determined by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS). The highest level of mercury was measured in the plants inoculated with the Idrija inoculum and in the roots of the plants growing in the substrate with the added bacterial extract of the Idrija inoculum. The concentration levels of mercury were higher in the roots than in the sprouts. The arbusculus density was the highest in the plants inoculated with the Idrija inoculum, and the vesicle density was the highest in the plants inoculated with the commercial inoculum. The biomass of root and sprout was the biggest in the plants inoculated with the Idrija inoculum without additional mercury.</p>				
	Šifra	D.10 Pedagoško delo				
	Objavljeno v	[A. Grašič]; 2014; XI f., 76 str., [24] str. pril.; Avtorji / Authors: Grašič Ana				
	Tipologija	2.11 Diplomsko delo				
4.	COBISS ID	9780809 Vir: COBISS.SI				
	Naslov	<table border="1"> <tr> <td>SLO</td> <td>Vsebnosti živega srebra v izbranih vrstah zelišč iz Idrije</td> </tr> <tr> <td>ANG</td> <td>Mercury content in selected herbs from Idrija</td> </tr> </table>	SLO	Vsebnosti živega srebra v izbranih vrstah zelišč iz Idrije	ANG	Mercury content in selected herbs from Idrija
SLO	Vsebnosti živega srebra v izbranih vrstah zelišč iz Idrije					
ANG	Mercury content in selected herbs from Idrija					
	Opis	<table border="1"> <tr> <td>SLO</td> <td> <p>Idrija, najstarejše rudarsko mesto v Sloveniji je bila 500 let znana doma in v svetu zaradi svojega živosrebrnega bogastva. V zadnjih dvajsetih letih pa so pričeli živemu srebru v okolju posvečati veliko pozornost zaradi njegove strupenosti. Živo srebro (Hg) je kemijsko zelo aktivno, prisotno je v verigi biogeokemijskega kroženja in globalnega razširjanja. Proučuje se ga tudi zaradi njegovih pretvorb v okolju, ter kopičenja v prehranjevalnih verigah. Zanimale so nas koncentracije Hg v zeliščih nabranih na različnih lokacijah v Idriji. Zelišča smo pripravili za uporabo na različne načine in sicer smo jih oprali pod tekočo vodo in pustili neoprana. Sušili smo jih na zraku oz. smo jih liofilizirali. Nadalje so nas zanimale koncentracije Hg v čajih pripravljenih iz zelišč, ki smo jih pripravili na različne načine. Rezultati meritev so bili zelo variabilni. Rezultati kažejo, da pranje zelišč zmanjša koncentracije Hg v zeliščih pripravljenih z liofilizacijo. Pri sušenju na soncu pranje nima nobenega vpliva, saj so koncentracije Hg zelo izenačene. V pripravljenih čajih so bile vrednosti Hg pod mejo detekcije. Največjo vsebnost živega srebra smo izmerili pri vrsti <i>Melissa officinalis</i>, najmanjšo pa pri vrsti <i>Hypericum perforatum</i>, kjer so bile vsebnosti Hg pod zgornjo dovoljeno vrednostjo Hg 0,5 mg kg⁻¹. Z diplomsko nalogo smo hoteli poučiti ljudi, da je živo srebro v okolju še vedno prisotno. Pripravili smo jim smernice, kako naj pripravijo in sušijo zelišča za čaje.</p> </td> </tr> <tr> <td></td> <td> <p>Idrija is more than 500 years old town in Slovenia. It is notable for its mercury (Hg) mine with stores and infrastructure. As a consequence of mercury mining, large amounts of Hg were released into the environment and in past twenty years researcher devoted considerable attention to this environmental issue due to high Hg toxicity. Mercury is chemically very active, and is present in the chain of biogeochemical cycling and global spreading. The faith of Hg in the environment deserves special attention</p> </td> </tr> </table>	SLO	<p>Idrija, najstarejše rudarsko mesto v Sloveniji je bila 500 let znana doma in v svetu zaradi svojega živosrebrnega bogastva. V zadnjih dvajsetih letih pa so pričeli živemu srebru v okolju posvečati veliko pozornost zaradi njegove strupenosti. Živo srebro (Hg) je kemijsko zelo aktivno, prisotno je v verigi biogeokemijskega kroženja in globalnega razširjanja. Proučuje se ga tudi zaradi njegovih pretvorb v okolju, ter kopičenja v prehranjevalnih verigah. Zanimale so nas koncentracije Hg v zeliščih nabranih na različnih lokacijah v Idriji. Zelišča smo pripravili za uporabo na različne načine in sicer smo jih oprali pod tekočo vodo in pustili neoprana. Sušili smo jih na zraku oz. smo jih liofilizirali. Nadalje so nas zanimale koncentracije Hg v čajih pripravljenih iz zelišč, ki smo jih pripravili na različne načine. Rezultati meritev so bili zelo variabilni. Rezultati kažejo, da pranje zelišč zmanjša koncentracije Hg v zeliščih pripravljenih z liofilizacijo. Pri sušenju na soncu pranje nima nobenega vpliva, saj so koncentracije Hg zelo izenačene. V pripravljenih čajih so bile vrednosti Hg pod mejo detekcije. Največjo vsebnost živega srebra smo izmerili pri vrsti <i>Melissa officinalis</i>, najmanjšo pa pri vrsti <i>Hypericum perforatum</i>, kjer so bile vsebnosti Hg pod zgornjo dovoljeno vrednostjo Hg 0,5 mg kg⁻¹. Z diplomsko nalogo smo hoteli poučiti ljudi, da je živo srebro v okolju še vedno prisotno. Pripravili smo jim smernice, kako naj pripravijo in sušijo zelišča za čaje.</p>		<p>Idrija is more than 500 years old town in Slovenia. It is notable for its mercury (Hg) mine with stores and infrastructure. As a consequence of mercury mining, large amounts of Hg were released into the environment and in past twenty years researcher devoted considerable attention to this environmental issue due to high Hg toxicity. Mercury is chemically very active, and is present in the chain of biogeochemical cycling and global spreading. The faith of Hg in the environment deserves special attention</p>
SLO	<p>Idrija, najstarejše rudarsko mesto v Sloveniji je bila 500 let znana doma in v svetu zaradi svojega živosrebrnega bogastva. V zadnjih dvajsetih letih pa so pričeli živemu srebru v okolju posvečati veliko pozornost zaradi njegove strupenosti. Živo srebro (Hg) je kemijsko zelo aktivno, prisotno je v verigi biogeokemijskega kroženja in globalnega razširjanja. Proučuje se ga tudi zaradi njegovih pretvorb v okolju, ter kopičenja v prehranjevalnih verigah. Zanimale so nas koncentracije Hg v zeliščih nabranih na različnih lokacijah v Idriji. Zelišča smo pripravili za uporabo na različne načine in sicer smo jih oprali pod tekočo vodo in pustili neoprana. Sušili smo jih na zraku oz. smo jih liofilizirali. Nadalje so nas zanimale koncentracije Hg v čajih pripravljenih iz zelišč, ki smo jih pripravili na različne načine. Rezultati meritev so bili zelo variabilni. Rezultati kažejo, da pranje zelišč zmanjša koncentracije Hg v zeliščih pripravljenih z liofilizacijo. Pri sušenju na soncu pranje nima nobenega vpliva, saj so koncentracije Hg zelo izenačene. V pripravljenih čajih so bile vrednosti Hg pod mejo detekcije. Največjo vsebnost živega srebra smo izmerili pri vrsti <i>Melissa officinalis</i>, najmanjšo pa pri vrsti <i>Hypericum perforatum</i>, kjer so bile vsebnosti Hg pod zgornjo dovoljeno vrednostjo Hg 0,5 mg kg⁻¹. Z diplomsko nalogo smo hoteli poučiti ljudi, da je živo srebro v okolju še vedno prisotno. Pripravili smo jim smernice, kako naj pripravijo in sušijo zelišča za čaje.</p>					
	<p>Idrija is more than 500 years old town in Slovenia. It is notable for its mercury (Hg) mine with stores and infrastructure. As a consequence of mercury mining, large amounts of Hg were released into the environment and in past twenty years researcher devoted considerable attention to this environmental issue due to high Hg toxicity. Mercury is chemically very active, and is present in the chain of biogeochemical cycling and global spreading. The faith of Hg in the environment deserves special attention</p>					

		<p>also due to transformation and biomagnification in the food chains. We were interested in Hg concentrations in herbs collected at various locations in Idrija. Herbs were prepared for use in various ways. They were washed in tap water or left unwashed, air or freeze-dried. In addition we were interested in Hg concentrations in tea infusions from herbs prepared in different ways.</p> <p>The measurement results were highly variable. The results show that washing the herbs reduce the concentration of Hg in herbs prepared by freeze-drying. With drying in the sun, washing of the herbs does not have any effects since the concentrations of Hg in washed and unwashed plant material were very similar. In the prepared tea infusion Hg values were below the detection limit. The maximal Hg concentration was measured in <i>Melissa officinalis</i> while the minimal was measured in <i>Hypericum perforatum</i> where the Hg concentrations was below the upper allowed value of Hg 0,5 mg kg⁻¹.</p> <p>With this thesis we aimed to raise the awareness of the people that high Hg burdens are still present in the environment. We have also provided guidance on how to prepare and dry herbs for tea infusions.</p>
	Šifra	D.10 Pedagoško delo
	Objavljeno v	[Š. Kržišnik]; 2013; VII, 32 str.; Avtorji / Authors: Kržišnik Špela
	Tipologija	2.11 Diplomsko delo
5.	COBISS ID	5279258 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<p><i>SLO</i> Primerjava različnih spektroskopskih tehnik mapiranja za raziskovanje Hg in Se metabolizma v rastlinskih tkivih</p> <p><i>ANG</i> Comparison of various spectroscopic imaging techniques for investigation of Hg and Se metabolism in plant tissues</p>
	Opis	<p><i>SLO</i> Živo srebro (Hg) je ena najbolj strupenih kovin, ki jo lahko najdemo v okolju. Nalaga se v hrani in se s procesom biomagnifikacije prenaša na višje trofične nivoje. Prevzem, transport in transformacija Hg v rastlinah je odvisna od lastnosti zemlje in tudi od metabolnih procesov rastline. Ker ima selen (Se) podobne kemijske lastnosti kot žveplo in ima veliko afiniteto za vezavo s Hg, lahko igra pomembno vlogo pri razstrupljanju Hg. Razumevanje obnašanja Hg in Se v rastlinah, nam lahko pomaga razkriti mehanizme privzema in transporta Hg in Se po rastlinskih tkivih. Delo je bilo osredotočeno na razvoj in uporabo tehnik mapiranja, za prikaz prostorske razporeditve Hg in Se v rastlinah, na makro (organi, tkiva) in mikro (tkiva, celice) nivoju. Za elementno mapiranje sta bili uporabljeni dve tehniki: laserska ablacija ICP-MS in sinhrotronska μ-XRF. Prva predstavlja tehniko hitrega mapiranja velikih področij (> 1 mm²) z manjšo ločljivostjo (> 8 μm), druga pa visoko ločljivostno mapiranje (sum μm) majhnih področij (< 0.05 mm²).</p> <p><i>ANG</i> Mercury (Hg) is one of the most toxic metals found in the environment, known to accumulate in food webs with a biomagnification pattern at successive trophic levels. Uptake, transport and transformation of Hg in plants depend on the soil properties as well as the plants metabolic processes. Since selenium (Se) resembles the chemical properties of sulphur and has a high affinity to bind Hg, Se could play an important role in mercury detoxification. Therefore, understanding the behaviour of Hg and Se in plant organisms might help us to unravel Hg and Se uptake and translocation in plant tissues. This work focused on the development/application of imaging of the spatial distribution of Hg and Se in plants at the macro (organ/tissue) and micro (tissue/cellular) level. For elemental imaging both laser ablation-ICPMS and synchrotron radiation-based micro-X-ray fluorescence spectrometry techniques were used for fast, low-resolution (> 8 μm) mapping of large areas (\geq 1 mm²) and high-resolution (sub-μm) mapping of small areas (\leq 0.05 mm²), respectively.</p>

Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci
Objavljeno v	[s. n.]; Programme and book of abstracts; 2013; Str. 198-199; Avtorji / Authors: Debeljak Marta, Elteren Johannes Teun van, Vogel-Mikuš Katarina, Gianoncelli Alessandra, Jezeršek David
Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

VOGEL-MIKUŠ, Katarina, DEBELJAK, Marta, ELTEREN, Johannes Teun van, ARČON, Iztok, JEZERŠEK, David, LEFEVRE, Isabelle, LUTTS, S.. Speciation and distribution of mercury and selenium in roots of mycorrhizal and non-mycorrhizal plants. [Grenoble: ESRF, 2013]. 3 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 2750799]

DEBELJAK, Marta, VOGEL-MIKUŠ, Katarina, JEZERŠEK, David, ELTEREN, Johannes Teun van. Localization of selenium and biochemical changes in leaves to study mechanisms of uptake, transport and accumulation of selenite/selenate : Elettra experimental report. [Trieste: Elettra, Feb. 2013]. 2 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 30926297]

DEBELJAK, Marta, ELTEREN, Johannes Teun van, VOGEL-MIKUŠ, Katarina, ARČON, Iztok. Comparison of various imaging techniques for investigation of Hg and Se metabolism in plant tissues. V: 20th Young Investigators' Seminar on Analytical Chemistry - YISAC 2013, Maribor, June 26th - June 29th, 2013. BRODNJAK-VONČINA, Darinka (ur.), KOLAR, Mitja (ur.). Book of abstracts. Maribor: Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, 2013, str. 38. [COBISS.SI-ID 5278746]

DEBELJAK, Marta, ELTEREN, Johannes Teun van, KUMP, Peter, GIANONCELLI, Alessandra, JEZERŠEK, David, VOGEL-MIKUŠ, Katarina. Imaging of selenium in sunflower (*Helianthus annuus*) roots by LA-ICPMS and SR-LEXRF to study uptake, transport and accumulation of selenite/selenate. V: 1st International Symposium in Applied Bioimaging Bridging Development and Application, Biblioteca Almeida Garrett, Porto, September 20-21, 2012. Abstract book. Porto: [s. n.], 2012, str. 84. [COBISS.SI-ID 5144858]

VOGEL-MIKUŠ, Katarina, ARČON, Iztok, KOREN, Špela, DEBELJAK, Marta, ELTEREN, Johannes Teun van. Speciation and ligand environment of mercury in roots of mycorrhizal and non-mycorrhizal plants : Elettra experimental report. [Trieste: Elettra, 2012]. 2 str., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 2750543]

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine³

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Rezultati raziskav v zvezi z lasersko ablacijo ICP-MS za elementno mapiranje bioloških tkiv so bili uspešni po razvoju nove metode mapiranja s katero se izognemo spominskemu efektu živega srebra. Razvoj abalcijske celice za ultra hitro 2D in 3D mapiranje bo najverjetneje revolucija v mapiranju bioloških, biokemijskih ipd. vzorcev, po komercialno uporabni celici, ki jo bo proizvajal Teledyne Cetac Technologies. V kombinaciji z edinstvenimi protokoli večkratnega vzorčenja na istem mestu z možnostjo reverzne kalkulacije LA parametrov iz signala (s pomočjo dekonvolucije), je ta proces trenutno najhitrejši in ima najvišjo prostorsko ločljivost v LA mapiranju na svetu.

Lokalizacija Hg v koreninah rastlin je pokazala, da pri rastlinah inokuliranih z AM iz Idrije, Hg koncentracije močno narastejo v korteksu korenin, kjer je gostota glivnih struktur največja. EXAFS analize so razkrile, da se Hg veže na -S ligande tako v koreninah kot tudi na izoliranih temno septiranih endofitih, tretiranih z HgCl₂. To je dokaz da mikoriza igra pomembno vlogo pri kompleksaciji Hg. Do sedaj nismo uspeli dokazati Hg-Se kompleksacije v rastlinskih tkivih, zato smo preučevali Hg-Se interakcije tudi v gobah, ki akumulirajo visoke koncentracije Hg in Se, ki

sta kolokalizirana v himeniju. Hg je bil ponovno vezan na -S in -N ligande. Hg-Se kompleksi so bili najdeni le v manjšem številu. Hg koncentracije v poganjkih testnih rastlin so bile nizke, kar pomeni, da je tudi kompleksacija Hg z -S ligandi učinkovit razstrupljevalni mehanizem, ki prepreči akumuliranje Hg v užitnih delih rastlin, in posledično zmanjša stopnjo biomagnifikacije Hg v prehranjevalnih verigah.

ANG

The research findings regarding the laser ablation ICP-MS for elemental imaging of biological tissues have been successful after developing a novel mapping method to counteract the memory effect of mercury. The development of a state-of-the-art laser ablation cell for ultrafast 2D and 3D mapping will likely revolutionize its application in biology, biomedicine, etc. after commercial implementation of the cell by Teledyne Cetac Technologies. In combination with the unique laser oversampling protocols, with subsequent post-acquisition processing (based on deconvolution approaches), this procedure is currently the fastest and highest spatial resolution laser ablation mapping procedure in the world.

Localization of Hg in plant roots revealed that in plants inoculated with AM from Idrija, Hg concentrations significantly increased in the root cortex with the highest fungal structure density. EXAFS analysis revealed that Hg binds to -S ligands in roots as well as in isolated dark septate endophyte fungus treated with HgCl₂. This is the proof that the mycorrhiza plays an important role in sequestration of Hg. Till now we were not able to prove Hg-Se complexation in plant tissues so we studied also Hg-Se interactions in mushrooms that are known to accumulate large amounts of Hg and Se; they were found to be co-localized in hymenium. Hg was again distributed between -S and -N ligands; Hg-Se complexes were only found in low amount. Hg concentrations in shoots of tested plants were low, so also complexation of Hg with -S ligands acting as Hg detoxification agents prevent accumulation of Hg in edible parts and therefore provide new means of reduction of Hg biomagnification in food webs.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Projektna skupina se je predstavila v bolj poljudni znanstveni literaturi s člankom »Razkritje skrivnostnega življenja rastlin«, ki je bil del uveljavljenega mednarodnega konzorcija, ki poskuša razkriti elementno sestavo v rastlinskih tkivih z združitvijo znanstvenikov, ki poznajo pripravo vzorcev in tehnike mapiranja kot so PIXE, sinhrotronske tehnike in LA-ICP-MS (International Innovation, Environment, Aug. 2013, p 20).

Projektna skupina je prav tako ustanovila internetno stran (www.AICO.si), z opisnim akronimom AICO (Analytical Imaging CONSortium), ki združuje vse znanje o elementnem in molekularnem mapiranju, pridobljenem tekom projekta. Želimo pridobiti nove člane na področju mapiranja, da povečamo naše možnosti zunanjega (evropskega) financiranja in se predstavimo kot organizirana skupina, ki se ukvarja z mapiranjem in je odprta za kolaborativne raziskave. Eden od članov projektne skupine (Primož Pelicon) ja bil organizator mednarodne BIOPIXE8 konference (14.-19. september 2014, Bled, Slovenija - www.rcp.ijs.si/biopixe8), na katerem je imela druga članica projektne skupine (Katarina Vogel-Mikuš) vabljen predavanje (Studies of trace element homeostasis in plants using complementary X-ray and mass spectrometry based techniques). Za naslednje leto (12.-15. julij 2016, Ljubljana, Slovenija) je bil član projektne skupine (Johannes T. van Elteren) naprošen, da oganizira European Workshop on Laser Ablation s poudarkom na tehnikah mapiranja z LA (www.ewla2016.ki.si).

Med potekom projekta in tudi sedaj, ko je projekta konec, številni dodiplomski, podiplomski in doktorski študentje še vedno delajo na tej temi. Tudi mnogi tuji raziskovalci iz različnih univerz oz. inštitutov so bili na različne načine vključeni v projekt, kar se ni poznalo le na znanstvenih publikacijah, ampak tudi ne še vedno aktualnih kolaboracijah (Univerza v Ghentu, Univerza v Novi Gorici, Katoliška univerza v Louvainu, iThemba LABS, južna Afrika) in načrtih za prihodnja sodelovanja na področju mapiranja.

ANG

The project group has profiled itself in the more popular scientific literature with a paper on "Revealing the secret life of plants", putting forward an international consortium which seeks to reveal the secrets behind the composition of elements in plant tissue by bringing together

experts with intimate knowledge on sample preparation and imaging techniques like PIXE, Synchrotron-related techniques and LA-ICP-MS (International Innovation, Environment, Aug. 2013, p 20).

The project members have also constructed a website (www.AICO.si) with the descriptive acronym AICO (Analytical Imaging CONsortium) which brings together the expertise gained in this project on elemental and molecular imaging. We intend to extend the website with more members from the field of imaging to increase our chances on external (European) funding and profile ourselves as an organized imaging community for collaborative research. One of the project members (Primož Pelicon) was organizer of the international BIOPIXE8 conference (14-19 September 2014, Bled, Slovenia - <http://www.rcp.ijs.si/biopixe8>) in which our work was disseminated by another project member (Katarina Vogel-Mikuš) in a plenary lecture (Studies of trace element homeostasis in plants using complementary X-ray and mass spectrometry based techniques). Next year (12-15 July, 2016, Ljubljana, Slovenia) another project member (Johannes T. van Elteren) has been asked to organize the biennial European Workshop on Laser Ablation with an emphasis of imaging by laser-based techniques (preliminary website: ewla2016.ki.si).

During the project phase, and even now, several undergraduate, graduate and PhD students were involved in the research and also several foreign visitors from several universities/institutes were in one way or another attracted to this project. This has not only resulted in joined papers but also in still ongoing collaborations (Ghent University, University of Nova Gorica, Catholic University of Louvain, iThemba LABS, South Africa) and plans for future mutual multimodal imaging research.

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="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

Živo srebro (Hg) je ena najbolj strupenih kovin, ki jo lahko najdemo v okolju. Nalaga se v hrani in se s procesom biomagnifikacije prenaša na višje trofične nivoje. Prevzem, transport in transformacija Hg v rastlinah je odvisna od lastnosti zemlje in tudi od metabolnih procesov rastline. Ker ima selen (Se) podobne kemijske lastnosti kot žveplo in ima veliko afiniteto za vezavo s Hg, lahko igra pomembno vlogo pri razstrupljanju Hg. Razumevanje obnašanja Hg in Se v rastlinah nam lahko pomaga razkriti mehanizme privzema in transporta Hg in Se po rastlinskih tkivih. Razvili in uporabili smo tehnike mapiranja za prikaz prostorske razporeditve Hg in Se v rastlinah na makro (organi, tkiva) in mikro (tkiva, celice) nivoju. Za elementno mapiranje smo uporabili lasersko ablacijo ICP-MS in sinhrotronsko μ -XRF tehniko. Prva predstavlja tehniko hitrega mapiranja velikih področij ($> 1 \text{ mm}^2$) z manjšo ločljivostjo ($> 8 \mu\text{m}$), druga pa visoko ločljivostno mapiranje (sub μm) majhnih področij ($< 0.05 \text{ mm}^2$).

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

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:

Kemijski inštitut

Johannes Teun Van Elteren

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

13.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/65

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](#)

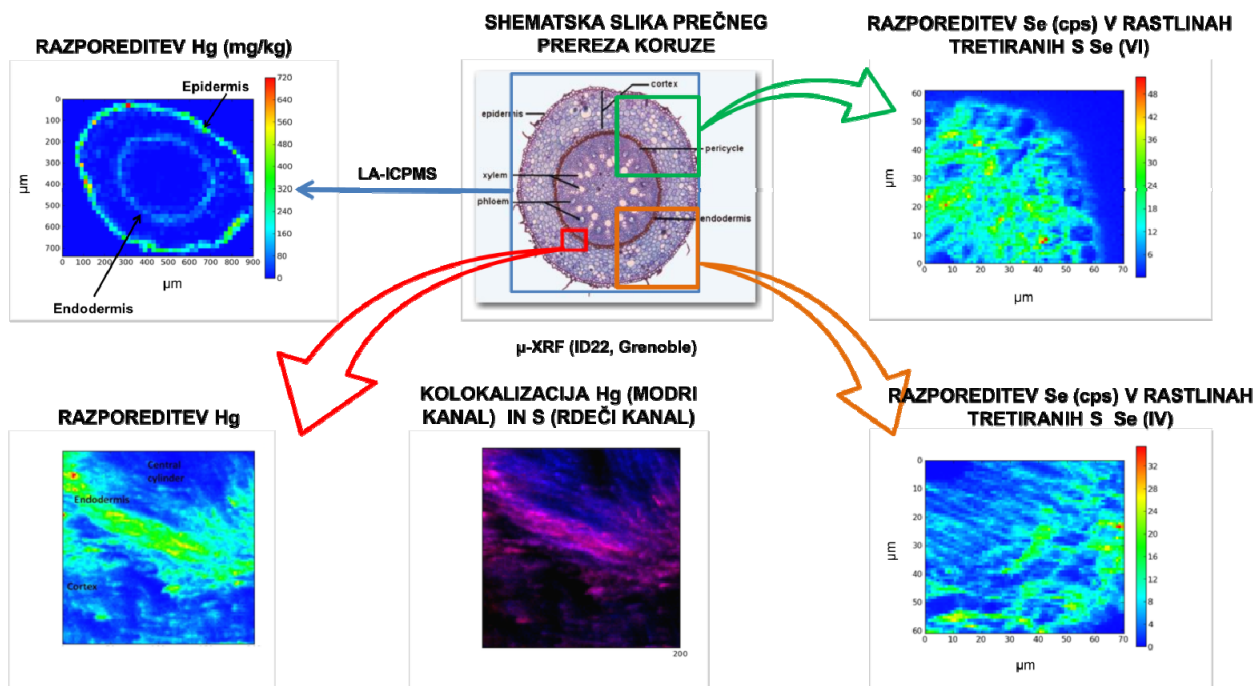
Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2015 v1.00a
CD-F8-FF-13-5F-71-CD-01-B3-68-47-6E-61-DC-66-50-66-B7-DA-CE

Priloga 1

NARAVOSLOVJE

Področje: 1.03 Biologija

Dosežek 1: Mape razporeditve elementov v korenini koruze, Vir: Predstavitev na konferenci (BioPIXE8, Bled, Slovenija, 2014)



Živo srebro (Hg) je ena najbolj strupenih kovin, ki jo lahko najdemo v okolju. Nalaga se v hrani in se s procesom biomagnifikacije prenaša na višje trofične nivoje. Prezem, transport in transformacija Hg v rastlinah je odvisna od lastnosti zemlje in tudi od metabolnih procesov rastline. Ker ima selen (Se) podobne kemijske lastnosti kot žveplo in ima veliko afiniteto za vezavo s Hg, lahko igra pomembno vlogo pri razstrupljanju Hg. Razumevanje obnašanja Hg in Se v rastlinah, nam lahko pomaga razkriti mehanizme privzema in transporta Hg in Se po rastlinskih tkivih. Delo je bilo osredotočeno na razvoj in uporabo tehnik mapiranja, za prikaz prostorske razporeditve Hg in Se v rastlinah, na makro (organi, tkiva) in mikro (tkiva, celice) nivoju. Za elementno mapiranje sta bili uporabljeni dve tehniki: laserska ablacija ICP-MS in sinhrotronska μ -XRF. Prva predstavlja tehniko hitrega mapiranja velikih področij ($> 1 \text{ mm}^2$) z manjšo ločljivostjo ($> 8 \mu\text{m}$), druga pa visoko ločljivostno mapiranje (sum μm) majhnih področij ($< 0.05 \text{ mm}^2$).

Hg se je v glavnem vezal na površino korenin pri koruzi, kar pomeni, da je koruza, ki raste na Hg onesnaženih območjih še vedno primerna za uživanje. Prenos Se po rastline pa je odvisen od njegove oblike. Se (IV) se pri sončnici prenaša v liste, medtem ko Se (VI) ne.