

Příprava infrastruktury a studium separace rtuti v ÚJV Řež, a. s.

Ing. Martin Strejc¹; Ing. Martin Straka, Ph.D.¹; doc. Ing. Tomáš Kozák, Ph.D.²; Ing. Tomáš Špirek³; Ing. Radek Pošvař¹; Ing. Vojtěch Galek⁴

¹ ÚJV Řež, a. s., Hlavní 130, Řež, 250 68 Husinec, email: martin.strejc@ujv.cz

² Západočeská univerzita v Plzni, Katedra fyziky, Univerzitní 2732/8, 301 00 Plzeň

³ GREEN ENERGY CONSULTING, s.r.o., Šrobárova 18, 100 00 Praha 1

⁴ Centrum výzkumu Řež s.r.o., Hlavní 130, Řež, 250 68 Husinec

Souhrn

Těžké kovy jsou skupinou chemických prvků s významným vlivem na životní prostředí, kde jedním z významných členů je rtuť a její sloučeniny. Dlouhodobým cílem Evropské unie je snížení ekologické zátěže lidské činnosti. Důsledkem je tedy snaha o minimalizaci emisí rtuti z průmyslových zdrojů, proto byla v ÚJV Řež, a. s. připravena infrastruktura pro laboratorní studium vlastností rtuti. Prezentovaný příspěvek shrnuje první výsledky nové inovativní metody pro separaci par rtuti z nosného plynu.

Úvod

Mezi dlouhodobé zátěže v Evropské unii patří emise polutantů do ovzduší v průmyslových oblastech. Je proto soustavnou snahou tyto emise snižovat a tím zlepšovat kvalitu životního prostředí. Jedním z hlavních představitelů významných polutantů je rtuť a její sloučeniny. Rtuť je řazena do skupiny těžkých kovů, jejíž největší nebezpečím je bioakumulace v potravním řetězci. To představuje velké riziko pro lidskou populaci a zvyšuje počet předčasných úmrtí. Z toho důvodu bylo v ÚJV Řež, a. s. připraveno pracoviště pro studium vlastností rtuti se zaměřením na její odstraňování z plynného prostředí. Vzhledem k dlouhodobé toxicitě a nákladné dekontaminaci představují unikátní vlastnosti tohoto těžkého kovu výzvu pro vybavení laboratoře a dodržování kultury bezpečnosti. Kritickým požadavkem je těsnost měřicí aparatury a dobře odvětrávaný prostor laboratoře. Důležitým prvkem jsou také omyvatelná podlaha a stěny. Tedy souhrnné požadavky na výzkumnou/vývojovou laboratoř pro nebezpečné látky. Nově vybudovaná infrastruktura ÚJV Řež, a. s. vytváří předpoklady pro vývoj nových metod pro odstraňování plynných emisí rtuti z průmyslových zdrojů.

Přístrojové vybavení

Rentgenový multipulsní přístroj Chirana MP15

Použitý zdroj rentgenového záření MP 15 je primárně zdravotnické rentgenové zařízení. Jeho typickým využitím je provedení jednoho nebo maximálně několika jednotlivých snímků pacienta s následnou přestávkou provozu. Využití zařízení je tedy ve špičkovém režimu.

V tomto projektu byl MP 15 použit pro výrobce nepředpokládaným způsobem, a to jako zdroj pro ionizaci atomu rtuti v dlouhodobých experimentech trvajících desítky minut. Bylo tedy nutné provést úpravy přístroje pro spolehlivý kontinuální provoz. Parametry přístroje deklarované výrobcem jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 Parametry rentgenového multipulsního přístroj Chirana MP15

Výkon	15 kW	
Příkon	27 kVA	
Maximální provozní hodnoty	120 mA	125 kV
	148 mA	102 kV
	250 mA	60 kV
	350 mA	40 kV

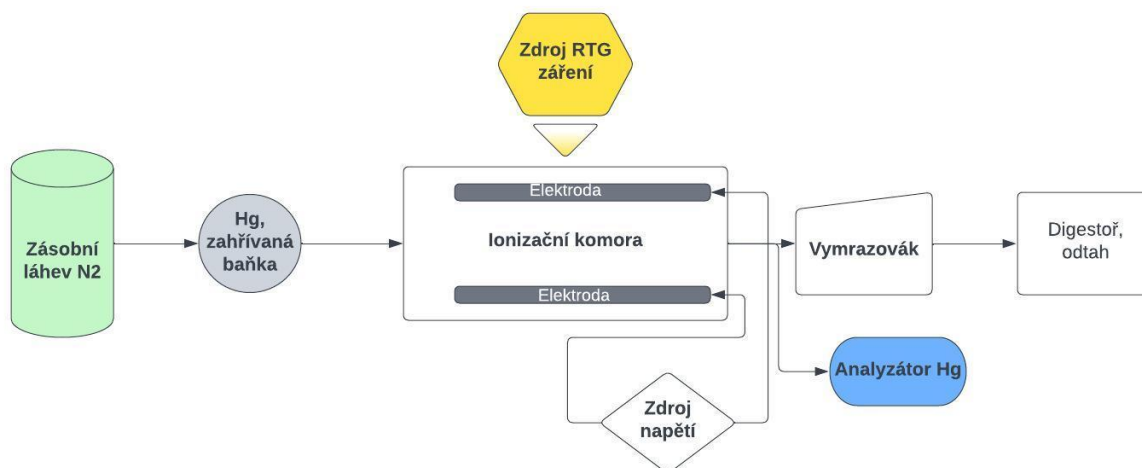
Rtuťový analyzátor Lumex Instruments Light-915

Jedná se o přenosný analyzátor par rtuti pro laboratoře nebo venkovní prostředí. Může být také použit pro on-line měření sledování koncentrace rtuti v laboratorních aparaturách. Analyzátor je vhodný pro sledování průmyslové hygieny, ekologického monitoringu a vědeckého výzkumu. Principem funkce se jedná o atomový absorpční spektrometr se Zeemanovou korekcí. Parametry přístroje deklarované výrobcem jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2 Parametry analyzátoru Lumex Instruments Light-915

Měřicí rozsah par rtuti	0,1–3000 μg
Relativní nejistota měření	20 %
Průtok nosného plynu	5 $\text{dm}^3 \text{min}^{-1}$
Rozměry	290 × 210 × 110 mm
Hmotnost	3,3 kg

Experimentální část



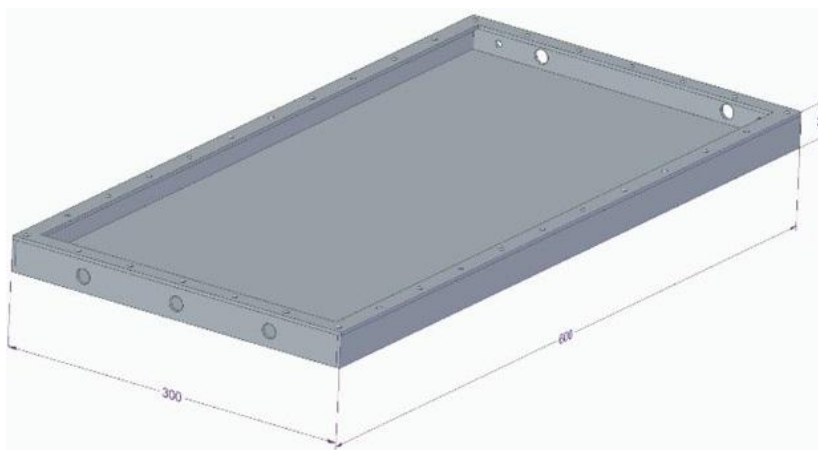
Obr.1 Blokové schéma laboratorní aparatury pro separaci rtuti

Laboratorní aparatura pro separaci rtuti je umístěna v radiochemické laboratoři splňující požadavky na výzkumné práce spojené s využitím nebezpečných látek (např. omyvatelnost podlah, kontinuální odvětrávání místnosti). Blokové schéma měřící sestavy je zobrazeno na Obr 1. Nosný plyn (dusík nebo vzduch) je veden ze zásobní lahve přes redukční ventil s možností nastavení průtoku do baňky, kde dochází jeho sycení parami rtuti. Následně putuje do ionizační komory (Obr. 2 a 3), kde dochází k ionizaci atomů rtuti a navazující elektrosepaci. Za ionizační komorou je přes T-spojku připojen analyzátor Lumex Light-915 pro odběr vzorků z nosného plynu. Oba proudy nosného plynu (z ionizační komory i z analyzátoru) jsou vedeny do vymrazováku a následně do digestoře. Z pohledu chemické bezpečnosti aparatura umožňuje práci se rtuť v širokém koncentračním intervalu. Principem měření

účinnosti separace je analýza povrchu elektrod po ukončení experimentu a jejich demontáži z aparatury. Další možností je odběr vzorků nosného plynu analyzátozem Lumex Light-915 a sledování úbytku koncentrace rtuti v nosném plynu.

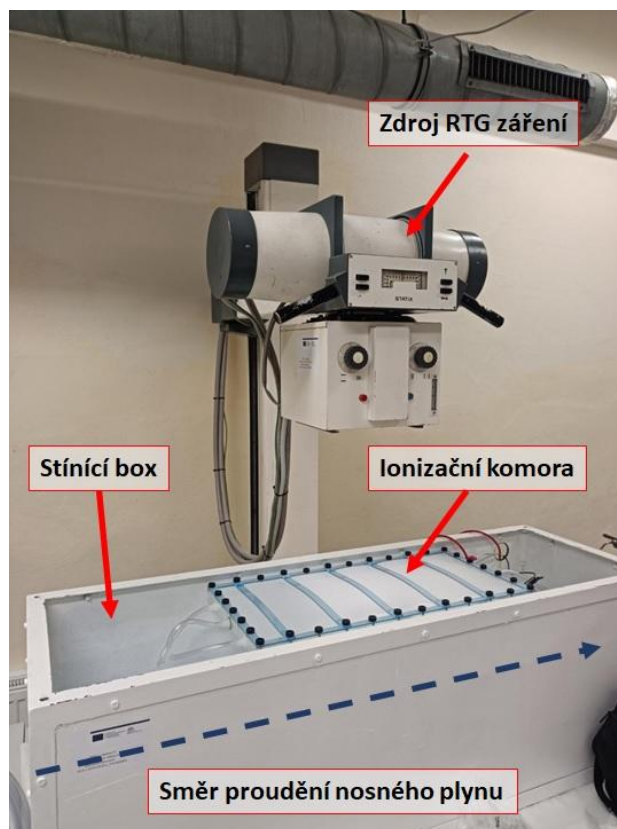
V aparatuře je možné měnit následující parametry:

- Průtok nosného plynu (dusík nebo vzduch)
- Teplota baňky se rtuť
- Poloha (posun uvnitř stínícího boxu, je možné ozařovat kteroukoliv část komory)
- Typ elektrod
- Napětí na elektrodách



Obr.2 Blokové schéma laboratorní aparatury pro separaci rtuti

Nejdůležitější částí aparatury je ionizační komora, která má podobu mělké vany s obdélníkovou podstavou o rozměrech $600 \times 300 \times 24$ mm. Je překrytá teflonovou fólií (tloušťka 0,05 mm) fixovanou šrouby tak, aby celá komora byla správně utěsněná. Ionizační komora je vybavena servisními otvory pro vstup i výstup nosného plynu s obsahem rtuti, stejně jako pro montáž elektrod, které jsou umístěny podélně viz schéma Obr 1. Pro vytvoření napětí na elektrodách byl použit vysokonapěťový zdroj Simco-ION CM-N (P) Lite.



Obr.3 Blokové schéma laboratorní aparatury pro separaci rtuti

Pro experimenty byly používány kovové elektrody ve tvaru úzkého plechu (viz Obr. 4) v základním (holém) stavu. Rozměr elektrody byl $300 \times 20 \times 2$ mm.

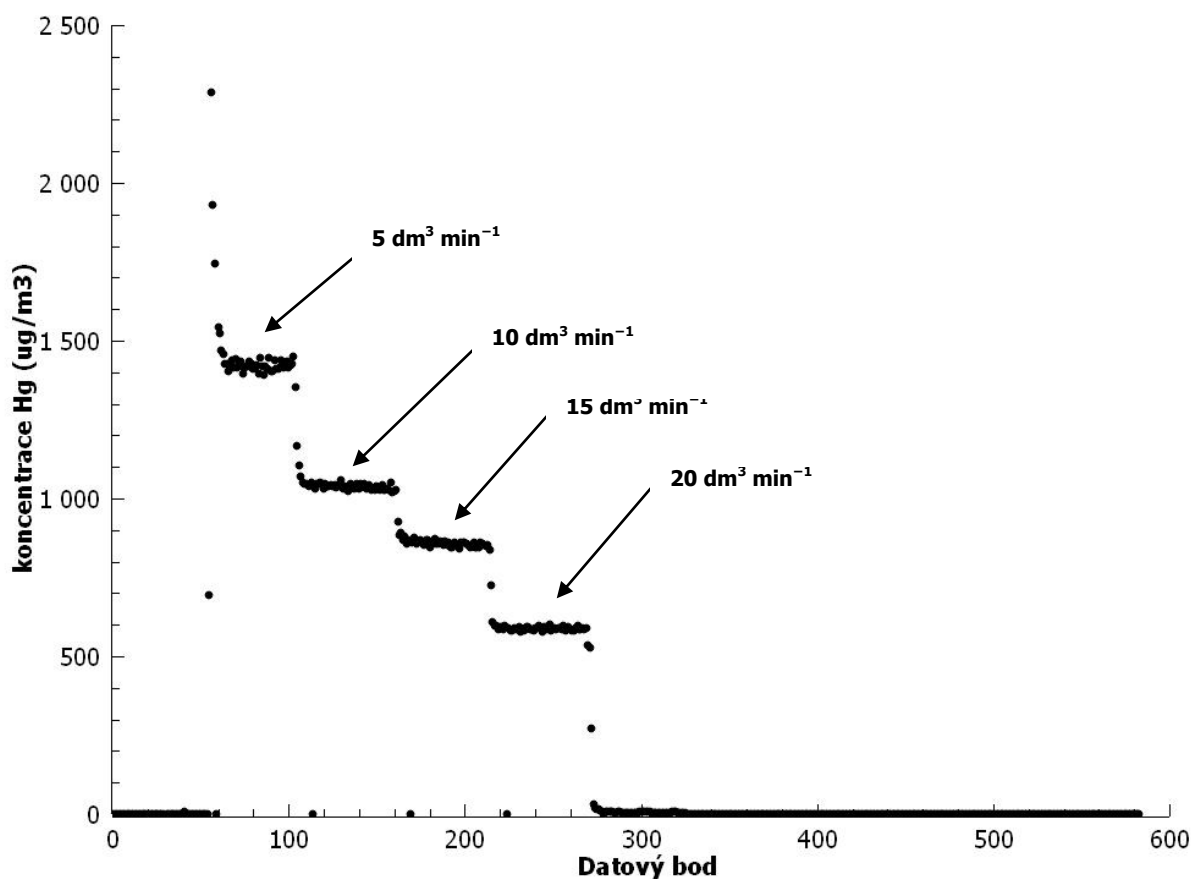


Obr.4 Ukázka kovových elektrod vhodných pro elektroseparatori rtuti

Výsledky

Otestování průtoku nosného plynu ionizační komorou a možnost detekce rtuti na výstupu

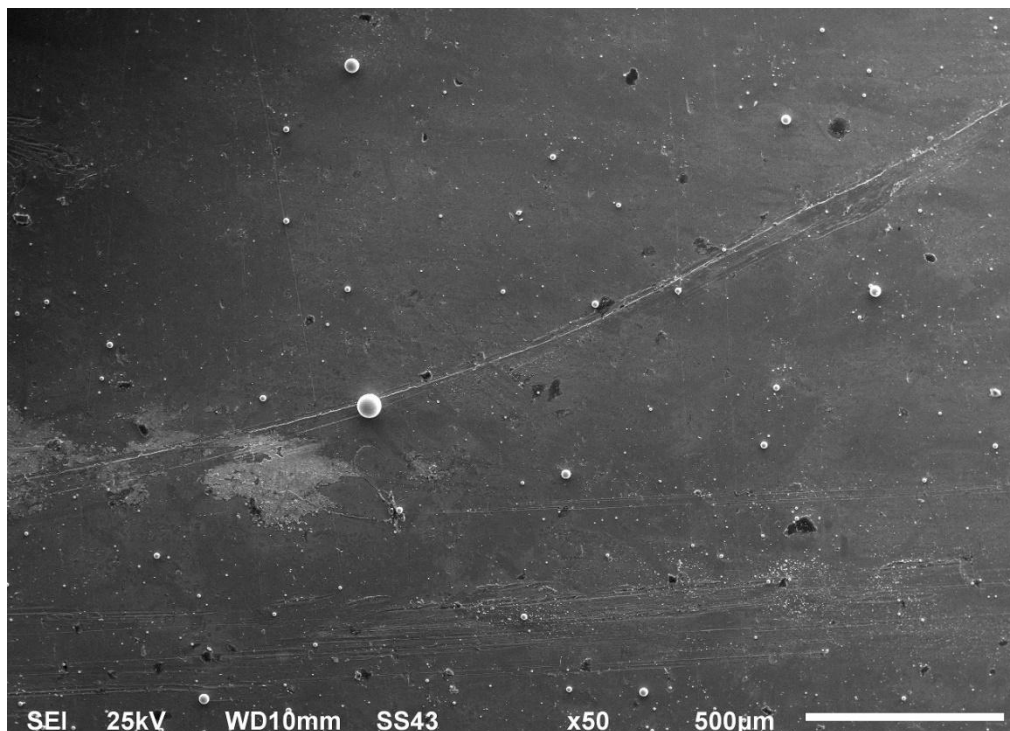
Nezbytnou podmínkou smysluplné interpretace výsledků měření množství rtuti zachycené na elektrodách je stabilní obsah rtuti v proudu dusíku v průběhu experimentu. Tento předpoklad byl ověřen s analýzou nosného plynu na přítomnost rtuti. Záznam z analyzátoru je na Obr. 5 a patrná je stabilita koncentrace rtuti i rychlá a jasně definovaná reakce na změnu průtoku nosného plynu. Toto tvrzení platí v celém testovaném rozsahu průtoků, tj. od 0 do $20 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$. Proudění zjevně žádným způsobem neovlivňuje ani přítomnost elektrod v prostoru ionizační komory.



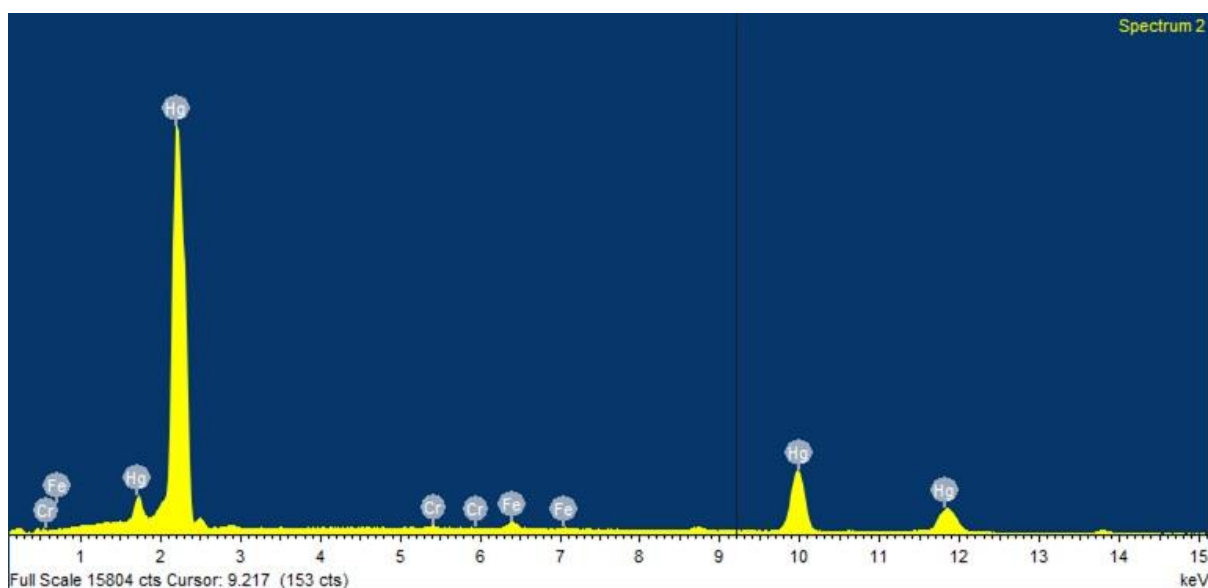
Obr.5 Odezva analyzátoru rtuti na změny koncentrace Hg v nosném plynu na výstupu z aparatury v závislosti na průtoku

Detekce rtuti na povrchu elektrody

Pomocí elektronového mikroskopu byly analyzovány elektrody použité experimentu. Na následujícím snímku (Obr. 6) je patrný povrch elektrody, která byla zápornou elektrodou v experimentu. Nalezené kulové útvary vytvořily předpoklad, že se jedná kapičky rtuti, což je potvrzeno EDX analýzou, viz Obr. 7.

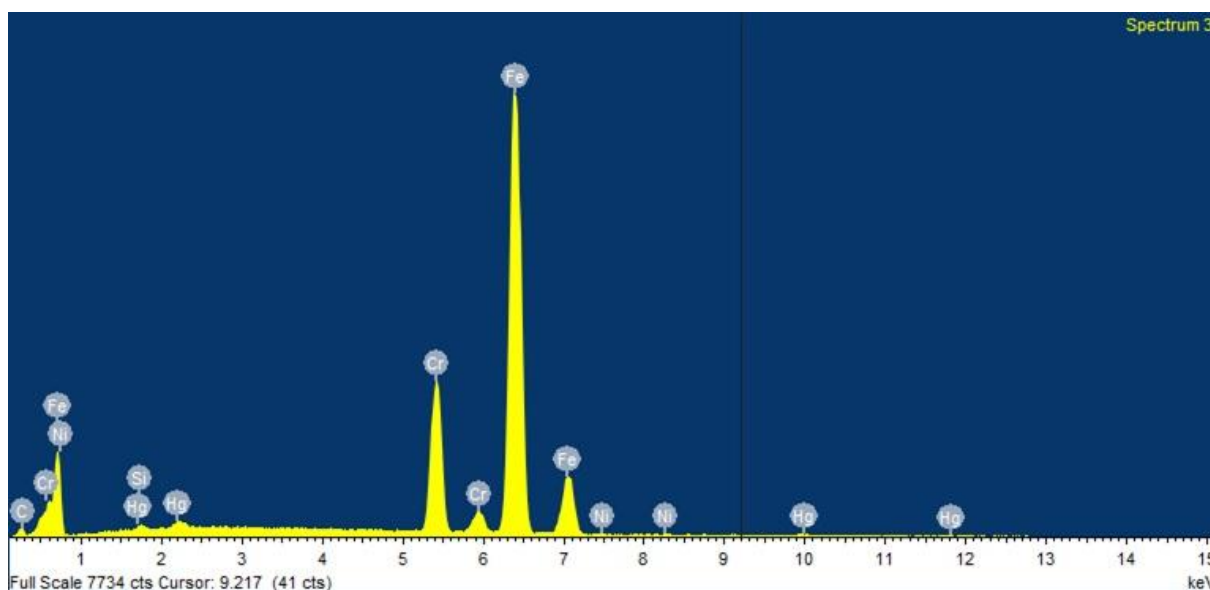


Obr.6 Snímek SEM s kapičkami rtuti



Obr.7 Výsledky EDX analýzy elektrody s přítomností rtuti

Pro porovnání byla analyzována též kladná elektroda, na které byla rtuť detekována pouze ve stopovém množství a lze tak dovodit, že přítomnost rtuti na záporné elektrodě je důsledkem pohybu nabitých částic v elektrickém poli. Kontrolní měření s druhou elektrodou, na které nebyla rtuť detekována v relevantním množství, viz Obr. 8:



Obr.8 Výsledky EDX analýzy na vzorku protielektrody po experimentu v ionizační komoře

Závěr

Získané výsledky potvrzují schopnost měřicí aparatury detektovat atomy rtuti v nosném plynu, byla také potvrzena stabilita koncentrace rtuti během měření. To vytvořilo předpoklady pro úspěšnou separaci ionizovaných atomů rtuti. Lze považovat za prokázané, že působením rentgenového záření dochází k ionizaci atomů rtuti, které jsou následně elektroseparačně zachyceny na elektrodě. Efektivita tohoto procesu byla limitována typem a výkonnostními charakteristikami použitého zdroje rentgenového záření.

Na základě ověření základních předpokladů by bylo v dalším kroku třeba použít vhodnější typ zdroje rentgenového záření. Stejně tak bylo ukázáno, že pro dostatečný záchyt rtuti na elektrodách s vloženým napětím by byl vhodnější systém s více elektrodami, mezi kterými by byla vzdálenost v řádu několika milimetrů.

System jako celek nicméně prokázal svoji funkčnost a ionizace atomů rtuti rentgenovým zářením je metodou využitelnou pro snižování koncentrace rtuti v proudu nosného plynu.

Poděkování

Předkládané výsledky byly získány s využitím infrastruktury CICRR, která je finančně podporována MŠMT – projekt LM2023041.