

Doc. MVDr. Helena Zlámalová Gargošová, Ph.D.  
Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí  
Fakulta chemická, Vysoké učení technické v Brně  
Purkyňova 464/118  
612 00 Brno

---

## **OPONENTSKÝ POSUDEK na disertační práci Ing. Frederiky Černíkové „Gadolinium v životním prostředí“**

Předložená disertační práce řeší environmentální problematiku kontrastních látek na bázi gadolinia (GdCA). Práce představuje ucelený vědecký spis s víceméně klasickým členěním (Úvod, Teoretická část, Experimentální část, Materiály a vzorky, Experimentální postupy, Výsledky a diskuse, Závěr) v rozsahu 99 stran. Seznam citované literatury obsahuje 152 položek vesměs odborných časopisů. Závěrečnou část práce tvoří Přílohy v rozsahu 29 stran obsahující seznam analyzovaných vzorků (16 stran) a výsledky jejich analýz (13 stran). Dále je prezentován přehled publikačních výstupů autorky a rovněž jsou přiloženy dvě publikace, kde je uchazečka první autorkou.

Téma práce je vzhledem k řešené problematice aktuální, neboť kontaminace jednotlivých složek životního prostředí GdCA se promítá do jejich kvality a vzhledem k persistenci, kumulativnímu charakteru a biologické aktivitě gadolinia i do kvality potravinových zdrojů. Teoretická část práce se věnuje problematice přítomnosti gadolinia v životním prostředí, pojednává o zdrojích a osudu gadolinia v životním prostředí a o environmentálních podmínkách, které ovlivňují toxicitu jeho různých forem. Prostřednictvím přehledných tabulek jsou sumarizovány informace o environmentálních hladinách tohoto prvku ve vodách různého původu a ekotoxicitě jeho sloučenin. Rovněž jsou zde obecně uvedeny přístupy vedoucí ke snížení jeho vstupu a takto i vlivu na ekosystémy,

Jelikož práce je strukturovaná v souladu s jednotlivými cíli, dovolím si komentovat jednotlivé z nich a rovněž postupně klást dotazy.

**První cíl práce:** *“Literární rešerše s cílem sloučit dostupné vědecké poznatky o environmentálním a toxikologickém působení gadolinia a nabídnout přehled metodik a přístupů pro snížení jeho negativního vlivu na ekosystémy a lidské zdraví“*, **lze více méně pokládat za splněný vypracováním kapitoly 1 a 2 v Teoretické části práce.**

- Poznámku mám k obr. 5 na str. 35 „Nepřímý vstup GdCA do lidského těla prostřednictvím potravinového řetězce“, kde jedním z vyobrazených vstupů je pitná voda ze zdrojů podzemní vody. Nicméně v naší zemi se významný podíl pitné vody připravuje z vody povrchové – téměř 50 %, což ilustrace opomíjí.
- K této části mám dotaz: na str. 25 autorka píše cituji: “Některé země již zavedly opatření na omezení používání méně stabilních GdCA a podporují recyklaci těchto látek z odpadních vod [1].“ Mohla by autorka konkretizovat jakým způsobem v současnosti recyklace těchto látek z odpadních vod probíhá?

**Druhým cílem bylo:** *„Shromáždit a vyhodnotit dostupné informace a teoretická data z literatury o přítomnosti prvků vzácných zemin v potravinách, s důrazem na gadolinium, a kvantifikovat podíl gadolinia antropogenního původu. Na základě těchto údajů vypočítat a vyhodnotit existenci gadoliniové anomálie“.*

Autorka se této problematice věnovala v kapitole **2.3 Kontaminace potravního řetězce (která je součástí teoretické části práce)** a dále pak v kapitole **6.1 Literární průzkum přítomnosti gadolinia v potravním řetězci (která je již součástí Kapitoly 6 Výsledky a diskuse)**. Zde přehledně sumarizovala informace z literárních zdrojů o průměrné koncentraci prvků vzácných zemin (REE) ve vybraných

potravinách a plodinách prostřednictvím tabulky č. 15 a rovněž výsledky své experimentální práce, která spočívala ve výpočtech hodnot gadoliniové anomálie pro dané potraviny, které uvedla v tab. č.16.

- K této části mám připomínku týkající se jednak nadpisu kapitoly 2.3 neb vybrané komodity (např. bedla, dýňová semínka) nepředstavují potravní řetězec. Prolínají se zde informace, které by měly obsahově spadat do teoretické části (Kap. 6.1 Literární průzkum přítomnosti gadolinia v potravním řetězci a také Tab. 15, která sumarizuje informace z literárních zdrojů). Nicméně, vzhledem k tomu, že autorka vychází z dat v tab. 15 při výpočtu hodnot  $Gd_{anom}$ , které sumarizuje v kapitole **6 Výsledky a diskuse** (Tab.16) je toto řešení přijatelné.
- Otázka: Proč byla pro výpočet geogenní koncentrace Gd použita normalizace podle “Post-Archean Australian Shale” (PAAS), založená na distribuci prvků vzácných zemin v průměru z 23 australských břidlic? Austrálie má v porovnání s Evropou poněkud odlišnou geologickou historii, a tudíž i tamní distribuce těchto elementů nemusí postihovat evropskou realitu. Nebyl by vhodnější například “European Shale” (EUS) dataset?

**Třetí cíl:** *Analýza gadolinia v běžně konzumovaných potravinách (mouka, rýže, mrkev, víno) pomocí techniky hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu a vyhodnocení antropogenního vlivu prostřednictvím výpočtu gadoliniové anomálie. Zjistit rozsah přítomnosti gadolinia antropogenního původu v potravinách.*

**Tento cíl byl rovněž naplněn**, jak dokumentují výsledky v kap **6.2. Gadolinium v potravním řetězci**. Pro tyto účely bylo prostřednictvím optimalizované metody (mikrovlnný rozklad vzorků a analýza pomocí moderní instrumentace ICP/TOF-MS a ICP/OES) analyzováno významné množství vzorků (celkem 225 vzorků pevných potravin; mouka, rýže a mrkev a 200 vzorků tichých vín). Autorka vybírala analyzované komodity na základě spotřeby reportované Českým statistickým úřadem, což poukazuje na smysluplný přístup. Lze konstatovat, že cíle této části byly naplněny a přináší rovněž nové poznatky neb konkrétně koncentrace Gd ve vzorcích mouky nebo mrkve nebyly dle autorky dosud zmapovány. Opět mám poznámku k nadpisu – vybrané potraviny nepředstavují potravní řetězec.

- Otázka: Lze dovodit vysoké hodnoty gadoliniové anomálie pro pšeničné mouky v souvislosti s jejich původem?
- Otázka: Proč zrovna víno bylo vybráno jako zástupce kapalných potravin? Spotřeba vína (z vinné révy, nejsou v tom ovocná vína) v ČR je zhruba 17 litrů na osobu za rok. Spotřeba konzumního mléka je zhruba 60 litrů/osobu/rok. Piva se vypije zhruba 130 litrů/osobu/rok. Spotřeba nealkoholických nápojů v ČR je zhruba 212 litrů/osobu/rok. Z tohoto pohledu je víno docela nevýznamné.

**Čtvrtým cílem** bylo: *Zhodnotit bilanci hmotnostního toku kontrastních látek na bázi gadolinia na pracovišti se službami zobrazování magnetickou rezonancí v regionu východních Čech, zahrnující analýzu spotřeby, produkce odpadu a zbytkového gadolinia v obalech. Vyhodnotit množství nespotřebovaných odpadních GdCA za určené časové období).*

Jak z výsledků v kapitole **6.3 Bilance hmotnostního toku GdCA na MRI pracovištích**, vyplývá studentka pro tyto účely oslovila 3 pracoviště ve východočeském regionu, která poskytují služby MRI. Vypracovala dotazník, který měl poskytnout informace pro bilanci hmotnostního toku kontrastních látek na bázi gadolinia. Analyzovala výplachy ampulí s cílem kvantifikovat rezidua těchto látek v prázdných odpadních ampulích a rovněž provedla analýzy za účelem optimalizace počtu výplachů různých typů odpadních ampulí s GdCA. Na základě výsledků provedla analýzu spotřeby GdCA, produkce odpadu a zbytkového gadolinia v odpadních obalech. Výsledky této části DisP mohou sloužit MRI pracovištím jako cenná informace pro výběr vhodných typů obalů GdCA pro optimalizaci využití kontrastní látky a minimalizaci zbytkového odpadu. Na str. 73 mě zaujala odpověď na dotazníkovou otázku č. 6: Jaká je obvyklá dávka GdCA na 1 pacienta, kdy pouze jedno pracoviště uvedlo, že obvyklá dávka je v závislosti na hmotnosti.

- Otázka: Jaká je běžně používaná dávka GdCA na 1 kg hmotnosti pacienta?
- Ze závěrů práce na str. str. 76 vyplývá, že za 1 měsíc bylo ve třech MRI pracovištích 3 % (19 g) Gd v podobě reziduí vyhozeno. Je možné orientačně kvantifikovat za celou ČR, kolik je průměrně za rok využito a v podobě reziduí vyhozeno GdCA na pracovištích MRI?
- Otázka: Seznámila jste s výsledky své práce pracoviště MRI, na kterých bylo vzorkováno a pokud ano, byla vaše doporučení reflektována?

**Pátým cílem bylo:** *Posoudit environmentální dopady gadolinia na vodní ekosystémy se zaměřením na jeho toxicitu pro sladkovodní mikrořasy. Vyhodnocení ekologických rizik spojených s různými formami gadolinia, včetně kontrastních látek na bázi gadolinia a anorganického gadolinia.*

Naplnění tohoto cíle bylo realizováno prostřednictvím dvou testovacích organismů z řad zelených mikrořas. Testovány byly čtyři vybrané kontrastní látky (3 ze skupiny makrocyclických GdCA, jedna ze skupiny lineárních GdCA) a jedna anorganická sůl Gd ( $Gd(NO_3)_3$ ) pro porovnání toxicit různých forem gadolinia.

- Zde mám drobnou poznámku k terminologii organismus je testovací (ne testovaný) testovaná je chemická látka nikoli testovací (Str. 78).
- Otázka: na str. 44 je v experimentální části uveden organismus *Daphnia magna*, ale v popisu experimentů ani ve výsledcích zmíněn není. Jsou známy hodnoty EC50 pro vámi testované GdCA na tomto organismu?

Lze konstatovat, že práce je psána spisovnou češtinou, s minimem překlepů. K práci mám následující poznámky; Seznam zkratk zaujímá zbytečně 4 strany, neuváděla bych autorkou zavedené vlastní zkratky (např. pro mrkev-M, lahvička-L apod.), které jsou vysvětleny pod grafy. Pro HILIC je vhodnější název „chromatografie hydrofilních interakcí“, nikoliv „hydrofilní interakční chromatografie“, jak uvádí autorka. Skladba zkratk pro hmotnostně spektrometrické metody je nelogická – nejprve se uvádí ionizace a pak analyzátor: takže např. ne HR-ICP-MS, ale ICP-HRMS (vysokorozlišovací je analyzátor, ne iontový zdroj). Další připomínky mám ohledně terminologie, která je v některých případech nepřesná - např. v práci je několikrát použit pojem „patra trofického řetězce“ správně články potravního řetězce. Na str. 31 jako vodní organismus je uveden kůrvec, patrně má být korýš. Str. 24: výraz organismy adsorbují gadolinium z vodního prostředí, patrně má být absorbují. Str. 38 nahoře: Spektrometr OptiMass 9500 - správná zkratka není oaTOF-ICP-MS, ale ICP-TOFMS (příp. ICP-oaTOFMS). Pojem ultrastopová je jedno slovo. Zdroj není indukčně vázaný plazmový, ale zdroj s indukčně vázaným plazmatem. Spojení "ionizované ionty" je nesmyslné, když je ion, tak je ionizovaný. V práci je nesprávně používán termín „citlivost“ ve smyslu poskytnutí měřitelné odezvy na nepatrná množství analytů. Podle současné terminologie je citlivost směrnice kalibrační závislosti (neboli změna odezvy při jednotkové změně koncentrace nebo množství analytu), schopnost poskytnutí měřitelné odezvy při malých množstvích analytu postihuje mez detekce (LOD) a mez kvantifikace (LOQ).

Závěrem konstatuji, že výše uvedené poznámky nesnižují hodnotu disertační práce, která postihuje aktuální tematiku a v mnohém přináší nové poznatky. Z práce je patrný zájem autorky o danou tematiku, jak vyplývá ze značného množství analyzovaných vzorků, ale i ze snahy zhodnotit bilanci hmotnostního toku kontrastních látek na bázi gadolinia na pracovištích MRI v dotazníkovém šetření. Na základě uvedených skutečností doporučuji disertační práci k obhajobě a na základě úspěšné obhajoby udělení akademického titulu „philosophiae doctor“ - „Ph.D.“.

V Brně 25. března 2025

.....

Doc. MVDr. Helena Zlámalová Gargošová, Ph.D.