

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Gadolinium v životním prostředí

Disertační práce

2024

Ing. Frederika Černíková

Prohlašuji:

Práci s názvem Gadolinium v životním prostředí jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 20.12.2024

Ing. Frederika Černíková v. r.

# PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych vyjádřila své poděkování vedoucí práce, doc. Ing. Anně Krejčové, Ph.D., za její odborné vedení, vědecké nasměrování k fascinujícímu tématu a za cenné rady, trpělivost a podporu nejen během vypracovávání disertační práce, ale i během celého studia. Mé poděkování patří také školiteli specialistovi, Ing. Janu Patočkovi, Ph.D., za jeho pomoc při měření vzorků a za sdílení praktických zkušeností. Dále bych ráda poděkovala všem, kteří mi poskytli vzorky pro výzkum, a těm, kteří mi pomáhali při laboratorní práci, zejména tedy paní laborantce Dagmar Kopicové.

Velké díky náleží mé rodině za její neustálou podporu, jak psychickou, tak finanční, a za to, že mi umožnila splnit si mé životní sny. Mimořádné poděkování patří mému manželovi Ondřejovi Černíkovi za jeho nekonečnou psychickou podporu, neúnavnou motivaci a lásku, která mi pomohla překonat i ty nejtěžší chvíle na cestě za mými cíli. Nakonec bych chtěla poděkovat svým přátelům, doktorandům a doktorům, kteří se podíleli na tom, že závěr mých studijních let byl radostný a inspirující.

Poděkování patří také finanční podpoře výzkumné části této práce, a to studentskému grantu Univerzity Pardubice, projekty č. SGSFChT\_2021\_003, SGSFChT\_2022\_001, SGSFChT\_2023\_002 a SGS\_2024\_003.

Děkuji Vám všem!

## **ANOTACE**

Práce se zaměřuje na gadolinium, jehož přítomnost v životním prostředí a potravním řetězci je důsledkem jak přírodních procesů, tak antropogenní činnosti. Práce představuje gadolinium jako potencionální kontaminant s narůstajícím environmentálním významem. V teoretické části je podrobně rozebrána jeho charakteristika a využití, zejména v kontrastních látkách na bázi gadolinia (GdCA) používaných při magnetické rezonanci (MRI). Diskutovány jsou také regulace a doporučení pro minimalizaci jeho environmentálního znečištění. Práce zároveň poukazuje na jeho toxické účinky na vodní organismy a kontaminaci potravního řetězce. Důraz je kladen na vztah mezi environmentálními podmínkami a toxicitou gadolinia. Experimentální část zahrnuje optimalizaci analytických metod a jejich aplikaci pro stanovení gadolinia, kdy byla použita hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu a optická emisní spektrometrie s buzením v indukčně vázaném plazmatu. Významnou částí experimentů bylo také sledování bilance hmotnostního toku GdCA na MRI pracovištích. Byla vypočtena gadoliniové anomálie, která slouží k identifikaci vstupu gadolinia do prostředí v důsledku lidské činnosti. Výsledky práce prokazují přítomnost gadolinia v potravním řetězci a jeho akumulaci v různých ekosystémech. Zároveň ukazují na potřebu důkladné kontroly odpadu z MRI pracovišť, která mohou přispívat k šíření gadolinia v prostředí. Tato práce přináší nový pohled na problematiku gadolinia jako environmentálního kontaminantu a nabízí postupy pro jeho monitorování a hodnocení vlivů na zdravé ekosystémů.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

gadolinium, potencionální kontaminant, potravní řetězec, kontrastní látky, ekotoxicita

## **TITLE**

Gadolinium in the environment

## **ANNOTATION**

The work focuses on gadolinium, whose presence in the environment and food chain results from natural and anthropogenic activities. The work presents gadolinium as an emerging contaminant with increasing environmental significance. The theoretical part discusses in detail its characteristics and uses, especially in gadolinium-based contrast agents (GdCA) used in magnetic resonance imaging (MRI). Regulations and recommendations for minimising environmental pollution are also discussed. The work also points out its toxic effects on aquatic organisms and contamination of the food chain. Emphasis is placed on the relationship between environmental conditions and gadolinium toxicity. The experimental part includes the optimisation of analytical methods and their application for the determination of gadolinium, utilising inductively coupled plasma mass spectrometry and inductively coupled plasma optical emission spectrometry. A significant part of the experiments was also the monitoring of the mass flow balance of GdCA at MRI facilities. The gadolinium anomaly was calculated to identify the entry of gadolinium into the environment as a result of human activity. The results of the work demonstrate the presence of gadolinium in the food chain and its accumulation in various ecosystems. At the same time, they point to the need for thorough control of waste from MRI facilities, which can contribute to the spread of gadolinium in the environment. This work brings a new perspective on the issue of gadolinium as an environmental contaminant and offers procedures for its monitoring and assessment of the effects on ecosystem health.

## **KEYWORDS**

gadolinium, emerging contaminant, food chain, contrast agents, ecotoxicity

# OBSAH

|   |    |
|---|----|
| SEZNAM ILUSTRACÍ .....  | 8  |
| SEZNAM TABULEK .....  | 9  |
| SEZNAM ZKRATEK .....  | 10 |
| ÚVOD .....  | 14 |
| CÍLE PRÁCE .....  | 15 |
| TEORETICKÁ ČÁST .....   | 16 |
| 1 GADOLINIUM – POTENCIONÁLNÍ KONTAMINANT .....                  | 16 |
| 1.1 Charakteristika gadolinia a jeho využití .....              | 16 |
| 1.2 Kontrastní látky na bázi gadolinia .....                    | 19 |
| 1.3 Gadolinium jako environmentální kontaminant .....           | 22 |
| 1.4 Regulace a doporučení pro minimalizaci znečištění .....     | 24 |
| 2 ANTROPOGENNÍ GADOLINIUM V PROSTŘEDÍ .....                     | 26 |
| 2.1 Gadolinium a jeho vliv na vodní organismy .....             | 26 |
| 2.2 Vliv environmentálních podmínek na toxicitu gadolinia ..... | 33 |
| 2.3 Kontaminace potravního řetězce .....                        | 34 |
| EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....                                       | 37 |
| 3 PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ .....                                    | 37 |
| 3.1 Přehled přístrojového vybavení .....                        | 37 |
| 3.2 oaTOF-ICP-MS spektrometr OptiMass 9500 .....                | 38 |
| 3.3 ICP-OES spektrometr Integra 6000 .....                      | 40 |
| 3.4 Mikrovlnné zařízení Speedwave XPERT .....                   | 41 |
| 4 MATERIÁLY A VZORKY .....                                      | 44 |
| 4.1 Chemikálie, testovací organismy a příprava roztoků .....    | 44 |
| 4.1.1 Živné médium pro kultivaci .....                          | 45 |
| 4.1.2 Testovací organismy – sladkovodní zelené mikrořasy .....  | 45 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 4.1.3 | Roztoky $Gd(NO_3)_3$ a kontrastních látek na bázi gadolinia .....            | 46  |
| 4.1.4 | Kalibrační roztoky .....   | 47  |
| 4.1.5 | Roztok 2M $HNO_3$ .....  | 47  |
| 4.2   | Vzorky a jejich úprava před analýzou.....                                    | 47  |
| 4.2.1 | Potraviny.....   | 47  |
| 4.2.2 | Kontrastní látky na bázi gadolinia .....                                     | 49  |
| 4.3   | Referenční materiály .....   | 51  |
| 5     | EXPERIMENTÁLNÍ POSTUPY .....   | 52  |
| 5.1   | Optimalizace a validace metod .....  | 52  |
| 5.1.1 | Ověření spolehlivosti ICP-MS a ICP-OES metod.....                            | 52  |
| 5.1.2 | Optimalizace postupu výplachů odpadních ampulí GdCA.....                     | 54  |
| 6     | VÝSLEDKY A DISKUZE .....   | 57  |
| 6.1   | Literární průzkum přítomnosti gadolinia v potravním řetězci .....            | 57  |
| 6.2   | Gadolinium v potravním řetězci.....  | 63  |
| 6.2.1 | Gadoliniová anomálie a antropogenní gadolinium v potravinách a nápojích .... | 66  |
| 6.3   | Bilance hmotnostního toku GdCA na MRI pracovištích .....                     | 69  |
| 6.3.1 | ICP-OES analýza výplachů odpadních ampulí GdCA .....                         | 70  |
| 6.3.2 | Dotazníkové šetření na MRI pracovištích .....                                | 72  |
| 6.3.3 | Bilance odpadních GdCA na MRI pracovištích .....                             | 74  |
| 6.4   | Studium environmentálních dopadů gadolinia na vodní organismy.....           | 77  |
| 6.4.1 | Test inhibice růstu sladkovodních zelených řas .....                         | 78  |
|       | ZÁVĚR .....  | 83  |
|       | POUŽITÁ LITERATURA .....   | 84  |
|       | PŘÍLOHY .....  | 100 |

## SEZNAM ILUSTRACÍ

|   |    |
|---|----|
| <b>Obrázek 1</b> Globální produkce oxidů vzácných zemin v průběhu let 1900–2020.....  | 17 |
| <b>Obrázek 2</b> Kontrastní látky na bázi gadolinia a jejich rozdělení dle struktury .....  | 20 |
| <b>Obrázek 3</b> Grafické zobrazení toku a tří zástupců kontrastních látek na bázi gadolinia.....                                     | 21 |
| <b>Obrázek 4</b> Graf normalizovaných koncentrací prvků vzácných zemin (REE) vztažených ke geologickému standardu PAAS .....          | 24 |
| <b>Obrázek 5</b> Nepřímý vstup GdCA do lidského těla prostřednictvím potravinového řetězce ...  | 35 |
| <b>Obrázek 6</b> oaTOF-ICP-MS spektrometr OptiMass 9500 .....   | 40 |
| <b>Obrázek 7</b> ICP-OES spektrometr Integra 6000 .....   | 40 |
| <b>Obrázek 8</b> Mikrovlnné zařízení Speedwave EXPERT.....  | 42 |
| <b>Obrázek 9</b> Schéma systému Multi-Tubes pro nádoby DAC-100S.....  | 43 |
| <b>Obrázek 10</b> Mikrořasy <i>Chlorella vulgaris</i> (a) a <i>Raphidocelis subcapitata</i> (b) .....                                 | 46 |
| <b>Obrázek 11</b> Drcení vzorku rýže na prášek v hmoždíři .....   | 48 |
| <b>Obrázek 12</b> Vybrané druhy sesbíraných kontrastních látek na bázi gadolinia (Gadovist, Dotarem, ProHance, Primovist).....        | 51 |
| <b>Obrázek 13</b> Optimalizace počtu výplachů odpadních ampulí ProHance 279,3 mg mL <sup>-1</sup> , 20 mL .....                       | 56 |
| <b>Obrázek 14</b> Gadoliniová anomálie pro analyzované vzorky potravin a nápojů.....  | 66 |
| <b>Obrázek 15</b> Gadoliniová anomálie pro vzorky potravin s její nejvyšší indikovanou hodnotou .....                                 | 68 |
| <b>Obrázek 16</b> Bilance množství odpadních ampulí na jednotlivých MRI pracovištích .....  | 75 |
| <b>Obrázek 17</b> Bilance množství Gd na jednotlivých MRI pracovištích.....   | 76 |
| <b>Obrázek 18</b> AGI test <i>Raphidocelis subcapitata</i> po 72 hodinách (a – Dotarem, b – Gd(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ) ..... | 79 |
| <b>Obrázek 19</b> Křivky dávka-odpověď pro GdCA (Gadovist, Dotarem, ProHance, MultiHance) .....                                       | 80 |
| <b>Obrázek 20</b> Křivka dávka-odpověď pro Gd(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> .....  | 81 |

## SEZNAM TABULEK

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabulka 1</b> Různé aplikace gadolinia v praxi .....   | 18 |
| <b>Tabulka 2</b> Celková koncentrace gadolinia a gadoliniová anomálie ve vzorcích nekontaminované vody původem z různých geografických lokalit .....  | 27 |
| <b>Tabulka 3</b> Celkové koncentrace gadolinia a gadoliniové anomálie nalezené v odpadních a znečištěných vodách z různých geografických lokalit .....  | 28 |
| <b>Tabulka 4</b> Koncentrace kontrastních látek na bázi gadolinia ve vodách různého původu.....   | 30 |
| <b>Tabulka 5</b> Ekotoxikologická data pro gadolinium – odhad účinků na organismy .....   | 32 |
| <b>Tabulka 6</b> Parametry nastavení oaTOF-ICP-MS spektrometru pro analýzu vzorků .....   | 38 |
| <b>Tabulka 7</b> Vybrané izotopy pro ICP-MS analýzu, jejich instrumentální limity detekce, limity detekce a stanovitelnosti metod .....   | 39 |
| <b>Tabulka 8</b> Parametry nastavení ICP-OES spektrometru Integra 6000 pro analýzu GdCA.....  | 41 |
| <b>Tabulka 9</b> Parametry nastavení pro mineralizaci vzorků pevných potravin a referenčních materiálů za využití mikrovlnného zařízení Speedwave EXPR.....   | 43 |
| <b>Tabulka 10</b> Zásobní roztoky pro přípravu DIN média dle normy EN ISO 8692:2012 .....   | 45 |
| <b>Tabulka 11</b> Dotazník pro vybraná MRI pracoviště .....   | 49 |
| <b>Tabulka 12</b> Výčet rozřizených odpadních ampulí GdCA z vybraných MRI pracovišť .....   | 50 |
| <b>Tabulka 13</b> Výsledky ICP-MS analýzy certifikovaných referenčních materiálů, návratnosti a dlouhodobé opakovatelnosti metod .....  | 53 |
| <b>Tabulka 14</b> Koncentrace Gd v oplachových vodách z odpadních nádob ProHance 279,3 mg mL <sup>-1</sup> , 20 mL po výpláších .....   | 55 |
| <b>Tabulka 15</b> Průměrné koncentrace prvků vzácných zemin (REE) v potravinách a plodinách dostupné z literatury.....  | 60 |
| <b>Tabulka 16</b> Vypočtené hodnoty gadoliniové anomálie a gadolinia antropogenního původu ve vzorcích potravin a plodin dostupných z literatury .....  | 62 |
| <b>Tabulka 17</b> Statistické charakteristiky analýzy prvků vzácných zemin ve vzorcích potravin (mouka, rýže v μg kg <sup>-1</sup> , vzorky mrkve v μg kg <sup>-1</sup> sušiny, vzorky vína v μg L <sup>-1</sup> ).....   | 65 |
| <b>Tabulka 18</b> Statistické charakteristiky stanovení gadoliniové anomálie (Gd <sub>anom</sub> ), obsahu antropogenního gadolinia (Gd <sub>ant</sub> ) a geogenního gadolinia (Gd <sub>geo</sub> ) (Gd <sub>ant</sub> a Gd <sub>geo</sub> v μg kg <sup>-1</sup> , víno v μg L <sup>-1</sup> ) pro vzorky potravin ..... | 67 |
| <b>Tabulka 19</b> Koncentrace a procenta původního obsahu Gd v oplachu odpadních ampulí .....   | 71 |
| <b>Tabulka 20</b> Odpovědi jednotlivých MRI pracovišť v dotazníkovém šetření .....  | 73 |

## SEZNAM ZKRATEK

|                |   |
|----------------|---|
| AGI test       | Test inhibice růstu sladkovodních zelených řas      |
| BIO            | Biopotravina  |
| $c_{AGI}$      | Konečná koncentrace ve zkoušeném roztoku            |
| $c_{Gd}$       | Koncentrace gadolinia                               |
| $c_{ZR}$       | Koncentrace zásobních roztoků                       |
| CRM            | Certifikovaný referenční materiál                   |
| CV             | <i>Chlorella vulgaris</i>                           |
| ČOV            | Čistírna odpadních vod                              |
| ČR             | Česká republika                                     |
| DCP            | 3,5-dichlórfenol                                    |
| DE             | Německo   |
| DIN            | Živné médium dle normy EN ISO 8692:2012             |
| EC50           | Koncentrace látky, která způsobí 50% inhibici růstu |
| EU             | Evropská unie                                       |
| FN HK          | Fakultní nemocnice Hradec Králové                   |
| $Gd_{anom}$    | Gadoliniová anomálie                                |
| $Gd_{ant}$     | Gadolinium antropogenního původu                    |
| $Gd_{geo}$     | Gadolinium geogenního původu                        |
| $Gd_{N-total}$ | Normalizovaná koncentrace celkového gadolinia       |
| $Gd_{N-geo}$   | Normalizovaná koncentrace geogenního gadolinia      |
| $Gd_{total}$   | Celková koncentrace gadolinia                       |
| GdCA           | Kontrastní látky na bázi gadolinia                  |
| Gd-BOPTA       | Gadobenát-dimeglumin (MultiHance)                   |

|                     |  |
|---------------------|--|
| Gd-BT-DO3A          | Gadobutrol (Gadovist)  |
| Gd-DOTA             | Kyselina gadoterová (Dotarem)  |
| Gd-DTPA             | Kyselina gadopentetová (Magnevist)   |
| Gd-DTPA-BMA         | Gadodiamid (Omniscan)  |
| Gd-DTPA-BMEA        | Gadoversetamid (OptiMARK)  |
| Gd-EOB-DTPA         | Dinatrium-gadoxetát (Primovist)  |
| Gd-HP-DO3A          | Gadoteridol (ProHance)   |
| HILIC-ICP-MS        | Hydrofilní interakční chromatografie-hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu           |
| HILIC-ICP-SFMS      | Hydrofilní interakční chromatografie-sektorová hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu |
| HR-ICP-MS           | Hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu a vysokým rozlišením                           |
| ICP-MS              | Hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu  |
| ISK Slovakia        | Značka kvality   |
| L                   | Lahvička   |
| LD50                | Smrtelná dávka pro 50 % populace   |
| LOD                 | Limit detekce  |
| LOD <sub>I-PP</sub> | Instrumentální limit detekce pevných potravin (mouka, rýže, mrkev)   |
| LOD <sub>I-KP</sub> | Instrumentální limit detekce kapalných potravin (víno)   |
| LOD <sub>M-PP</sub> | Limit detekce metody pevných potravin (mouka, rýže, mrkev)   |
| LOD <sub>M-KP</sub> | Limit detekce metody kapalných potravin (víno)   |
| LOD <sub>REE</sub>  | Limit detekce pro všechny prvky vzácných zemin   |
| LOQ                 | Limit stanovitelnosti  |
| LOQ <sub>M-PP</sub> | Limit stanovitelnosti metody pevných potravin (mouka, rýže, mrkev)   |

|                     |  |
|---------------------|--|
| LOQ <sub>M-KP</sub> | Limit stanovitelnosti metody kapalných potravin (víno)   |
| MAX                 | Maximum  |
| MIN                 | Minimum  |
| MP                  | Mouka pšeničná   |
| Mr                  | Mrkev  |
| MRI                 | Zobrazování magnetickou rezonancí  |
| MS                  | Mouka špaldová   |
| MZ                  | Mouka žitná  |
| NOEC                | Koncentrace bez pozorovaného účinku  |
| NPK                 | Nemocnice Pardubického kraje   |
| oaTOF-ICP-MS        | Hmotnostní spektrometr s ionizací v indukčně vázaném plazmatu s průletovým analyzátozem a ortogonální akcelerací iontů |
| p                   | Tlak   |
| P                   | Využitý výkon  |
| PAAS                | Post-Archean Australian Shale  |
| PE                  | Polyetylén   |
| PFA                 | Perfluoralkoxy   |
| PK ČR               | Potravinářská komora České republiky   |
| PTFE                | Polytetrafluoroethylen   |
| R                   | Rýže   |
| REE                 | Prvky vzácných zemin   |
| REE <sub>PAAS</sub> | Normalizovaná koncentrace prvků vzácných zemin na PAAS (post-Archean Australian Shale)                                 |
| RS                  | <i>Raphidocelis subcapitata</i>  |
| RSD                 | Relativní směrodatná odchylka  |

|                 |  |
|-----------------|--|
| S               | Stříkačka  |
| SD              | Směrodatná odchylka  |
| Sm <sub>N</sub> | Normalizovaná koncentrace samaria  |
| SR              | Slovenská republika  |
| T               | Teplota  |
| Tb <sub>N</sub> | Normalizovaná koncentrace terbia   |
| USA             | Spojené státy americké   |
| VB              | Víno bílé  |
| VC              | Víno červené   |
| VR              | Víno růžové  |
| Q-ICP-MS        | Kvadrupólová hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu |

## ÚVOD

Gadolinium patří mezi prvky vzácných zemin a je známé svými jedinečnými fyzikálně-chemickými vlastnostmi, zejména paramagnetismem. Tato vlastnost je využívána ve zdravotnictví, kde slouží jako základní prvek kontrastních látek používaných při magnetické rezonanci (MRI). V přírodě se gadolinium vyskytuje ve velmi nízkých koncentracích a výhradně ve formě sloučenin. V praxi nachází široké uplatnění, a to ve výše zmíněném zdravotnictví, v elektronice, při výrobě luminoforů, optických skel, permanentních magnetů či katalyzátorů a v jaderné energetice jako účinný absorbér neutronů. V zemědělství se objevuje ve fosfátových hnojivech a přidáváno je také do krmiv pro hospodářská zvířata, jako růstový stimulant.

Přestože má mnoho užitečných aplikací, jeho přítomnost v životním prostředí vyvolává obavy. Gadolinium antropogenního původu se do životního prostředí dostává z několika hlavních zdrojů, především z nemocničních odpadních vod obsahujících zbytky kontrastních látek na bázi gadolinia (GdCA). Dalšími zdroji jsou likvidace elektronického odpadu a průmyslové procesy, jako je výroba benzínu. Po uvolnění do prostředí dochází k hromadění antropogenního gadolinia v půdě, odpadních vodách a povrchových vodních zdrojích, což vede k jeho trvalé přítomnosti v ekosystémech. Tento jev, známý jako gadoliniová anomálie, je přímým důkazem antropogenního původu kontaminace. Přítomnost gadolinia v životním prostředí může mít negativní dopady na ekosystémy a lidské zdraví. Gadolinium může ovlivňovat metabolismus nebo reprodukční schopnosti organismů. Významným problémem je i fakt, že GdCA jsou chemicky stabilní a v prostředí se nerozkládají snadno, což zvyšuje jejich potenciál bioakumulace v potravních řetězcích. Ukládání gadolinia v organismech může mít negativní dopad nejen na samotné organismy, ale i na vyšší trofické úrovně, včetně člověka.

Vzhledem k těmto rizikům jsou stále častěji hledány ekologičtější alternativy, které by minimalizovaly environmentální dopady GdCA. Mezi potenciální řešení patří vývoj biologicky rozložitelných kontrastních látek, které by po aplikaci ztratily svou aktivitu, nebo zavedení pokročilých technologií pro odstranění GdCA z odpadních vod. Důležitou roli hraje i prevence nadměrného používání GdCA a hledání alternativních diagnostických metod. Celkově je nezbytné soustředit se nejen na vývoj recyklačních technologií pro prvky vzácných zemin (REE), ale i na prevenci jejich vstupu do životního prostředí, aby bylo možné zmírnit jejich negativní vliv na ekosystémy a minimalizovat zdravotní rizika pro lidskou populaci.

## CÍLE PRÁCE

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.

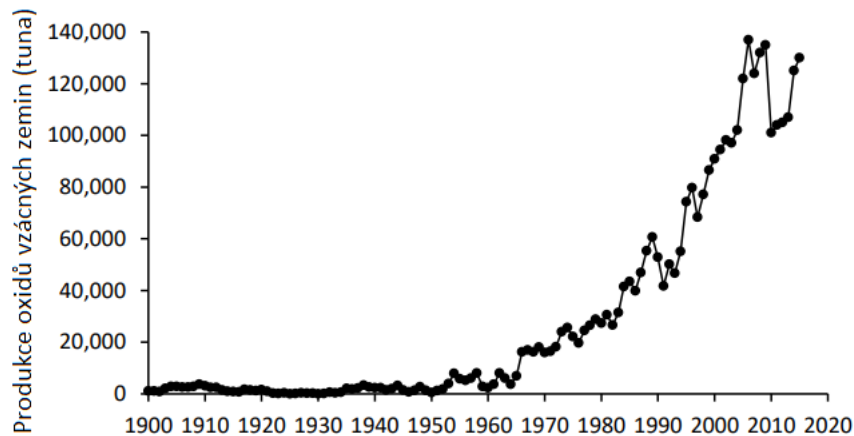
# TEORETICKÁ ČÁST

## 1 GADOLINIUM – POTENCIONÁLNÍ KONTAMINANT

### 1.1 Charakteristika gadolinia a jeho využití

Gadolinium (Gd) je stříbřitě bílý, lesklý, přechodný kov, který patří mezi REE, tedy lanthanoidy společně se skandiem a yttriem. Jedná se o chemický prvek s atomovým číslem 64 a relativní atomovou hmotností  $157,25 \text{ g mol}^{-1}$  [1–5]. Díky svým specifickým fyzikálně-chemickým vlastnostem je považován za velmi významný materiál v různých technologických a vědeckých oborech [6]. Má vysokou hustotu ( $7,9 \text{ g cm}^{-3}$ ), tepelnou stabilitu a specifické magnetické vlastnosti [1]. Jednou z jeho klíčových vlastností je paramagnetismus, což znamená, že je při přítomnosti magnetického pole dočasně magnetické [7–9]. Při pokojové teplotě navíc vykazuje feromagnetické chování, což je u lanthanoidů poměrně vzácné [9, 10]. Chemicky je gadolinium velmi reaktivní, zvláště při styku s vodou nebo kyslíkem, kdy tvoří oxidy a hydroxidy. Ve sloučeninách se nejčastěji vyskytuje v oxidačním stavu +3, což je stabilní konfigurace charakteristická pro většinu lanthanoidů [1]. Gadolinium je pozoruhodné také svým mimořádným neutronovým absorpčním průřezem. Tato vlastnost z něj činí jeden z klíčových prvků používaných v jaderné energetice [1, 2, 10, 11]. Dalším výrazným rysem je schopnost gadolinia tvořit stabilní cheláty, což má zásadní význam pro jeho uplatnění v medicíně [12]. Díky těmto vlastnostem se gadolinium řadí mezi strategické suroviny s vysokým komerčním a technologickým potenciálem [1, 5, 13].

V přírodě se gadolinium vyskytuje ve velmi nízkých koncentracích [14] a výhradně ve formě sloučenin, nikdy jako volný prvek, což je typické pro všechny lanthanoidy. Nejčastěji je přítomné ve směsných minerálech obsahujících další REE, mezi které patří gadolinit, monazit-(Sm) a bastnäsit. Tyto minerály tvoří hlavní zdroje lanthanoidů v průmyslové těžbě a jejich výskyt je geograficky soustředěn do specifických oblastí s významnými ložisky, mezi které patří Čína, Spojené státy americké (USA), Rusko, Turecko, Indie a další země [15]. Čína je přitom největším producentem lanthanoidů včetně gadolinia, přičemž kontroluje většinu globální těžby a zásob těchto minerálů [1]. Obrázek 1 zobrazuje globální produkci oxidů vzácných zemin (v tunách) v průběhu let 1900–2020, kde lze pozorovat exponenciální nárůst jejich produkce. Přírodní gadolinium obsahuje sedm izotopů, z toho šest stabilních ( $^{154}\text{Gd}$ ,  $^{155}\text{Gd}$ ,  $^{156}\text{Gd}$ ,  $^{157}\text{Gd}$ ,  $^{158}\text{Gd}$ ,  $^{160}\text{Gd}$ ) a jeden radioizotop ( $^{152}\text{Gd}$ ) s extrémně dlouhým poločasem přeměny ( $1,08 \times 10^{14}$  let), což ho činí téměř stabilním z hlediska přírodních procesů [1, 16].



**Obrázek 1** Globální produkce oxidů vzácných zemin v průběhu let 1900–2020 [1]

Gadolinium nachází široké uplatnění díky svým jedinečným fyzikálně-chemickým vlastnostem [1, 10, 13]. Ve zdravotnictví je gadolinium klíčovým prvkem při diagnostice pomocí MRI ve formě GdCA [5, 13]. V oblasti elektroniky slouží gadolinium k výrobě luminoforů pro obrazovky, fluorescenčních materiálů používaných v moderních displejích, optických zařízeních a permanentních magnetů [10, 17]. Luminofory obsahující gadolinium nacházejí využití především v barevných televizích, LED osvětlení a pokročilých zobrazovacích technologiích. Permanentní magnety obohacené o gadolinium umožňují výrobu silnějších a efektivnějších elektromotorů a generátorů, což přispívá k rozvoji obnovitelných zdrojů energie. V průmyslu je gadolinium využíváno při výrobě skleněných vláken a optických skel, která jsou nepostradatelná v telekomunikacích a senzorových technologiích [17, 18]. Významnou roli hraje také při výrobě krakovacích katalyzátorů a leštících sloučenin, používaných zejména v petrochemickém průmyslu a výrobě jemné optiky. V jaderné energetice jsou izotopy gadolinia, zejména  $^{157}\text{Gd}$  a  $^{155}\text{Gd}$ , využívány jako vysoce účinné absorbéry neutronů, což zvyšuje bezpečnost a kontrolu reaktorových procesů [1, 10, 11]. V zemědělství se REE včetně gadolinia objevují ve fosfátových hnojivech, která zlepšují růst plodin a výnosy [2, 16, 19–21]. Gadolinium je také přidáváno do krmiv pro hospodářská zvířata, kde jeho růstové stimulační účinky přispívají ke zvýšení efektivity zemědělské výroby [2, 16]. Aplikace gadolinia nacházejí široké uplatnění v různých oblastech průmyslu a vědy, přičemž jejich detailní přehled je prezentován v tabulce 1.

**Tabulka 1** Různé aplikace gadolinia v praxi [1, 2, 10]

| <b>Aplikace</b>         | <b>Použití</b>   |
|-------------------------|--|
| Automobilový průmysl    | třicestné katalyzátory (podpora reakce posunu vodního plynu)   |
| Elektronika             | pro počítačové monitory a barevné televizní trubice, v technologii magnetooptického záznamu ke zpracování počítačových dat, v mikrovlnných troubách, pro magnetické chlazení a testování jiných magnetických chladicích zařízení, permanentní magnety (generátory pro větrné turbíny), ve vysokovýkonných pulzních laserech, při výrobě optických vláken |
| Energetika              | v řídicích tyčích jaderných reaktorů, detekce úniku radiace z elektrárny   |
| Letecký a lodní průmysl | materiál pro konverzní obrazovku (detekce skrytých vad nebo slabých míst v konstrukcích)   |
| Medicína                | kontrastní látky na bázi gadolinia pro zobrazování magnetickou rezonancí   |
| Metalurgie              | do slitin Fe a Cr, kde zlepšuje zpracovatelnost a odolnost proti oxidaci a vysokým teplotám  |
| Sklářský průmysl        | výroba a leštění skleněných výrobků, včetně čoček  |
| Zemědělství             | fosfátová hnojiva s obsahem REE, stimulatory růstu v krmivech  |

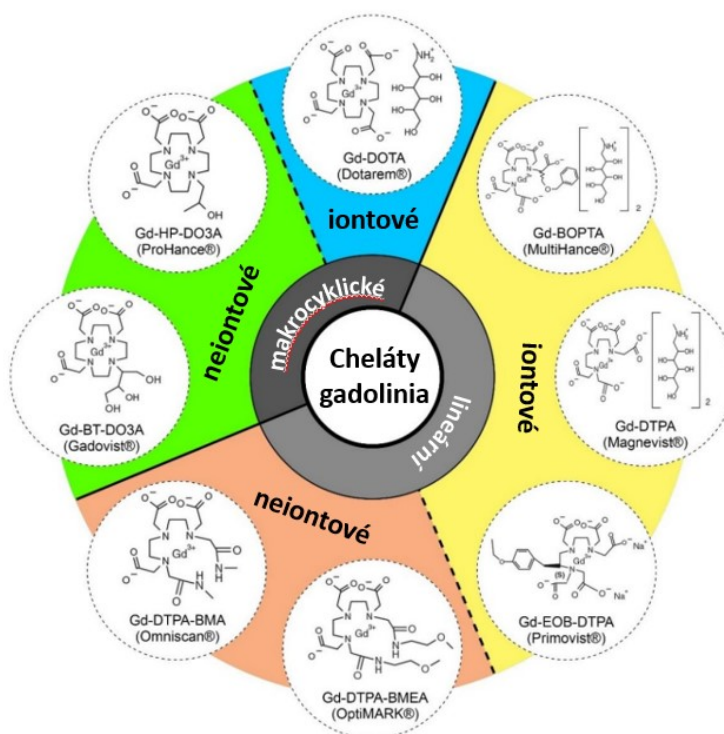
Gadolinium působí jako anorganický blokátor, zpomaluje fyziologické procesy podmíněné přísunem  $\text{Ca}^{2+}$  a inhibuje aktivitu některých enzymů [22–24]. Podobnost poloměrů iontů  $\text{Gd}^{3+}$  a  $\text{Ca}^{2+}$  ( $\text{Gd}^{3+}$  107,8 pm,  $\text{Ca}^{2+}$  114 pm) způsobuje jejich analogické chování [3, 22, 24]. V těle se gadolinium váže na fosfáty, hydroxidy a uhličitany, čímž vytváří nerozpustné komplexy [25]. Tyto sloučeniny se rychle ukládají v játrech, ledvinách a retikuloendoteliálním systému, zatímco jejich transport a ukládání v kostech probíhá pomaleji [3, 24]. Biologický poločas gadolinia se výrazně liší v závislosti na tkáni – v ledvinách činí přibližně 10 dní, zatímco v játrech a anorganických složkách kostí může dosahovat až 3 500 dní [3]. Akutní toxicita gadolinia může být výrazně snížena chelatací vhodnými ligandy, které zabraňují jeho vstřebávání buňkami a zvyšují jeho bezpečnost při použití. Cheláty gadolinia jsou základem pro jeho aplikaci ve zdravotnictví, přičemž právě tato technologie umožnila překonat problémy spojené s biologickou toxicitou a umožnila jeho masivní využití v lékařské diagnostice [23, 26, 27].

## 1.2 Kontrastní látky na bázi gadolinia

GdCA jsou základním nástrojem při MRI, která umožňuje detailní zobrazení měkkých tkání a orgánů [12, 28, 29]. První klinická studie využívající GdCA byla provedena v roce 1984 a od roku 1988 se tyto látky staly běžnou součástí klinické praxe i biomedicínského výzkumu [7, 25, 29, 30]. Zlepšují kontrast mezi zdravými a patologicky změněnými tkáněmi, což usnadňuje diagnostiku závažných onemocnění, jako jsou nádory, cévní malformace nebo zánětlivé procesy [9, 13, 30]. Účinnost GdCA spočívá ve schopnosti zvýraznit tkáň s odlišnými fyziologickými vlastnostmi, čímž umožňují lékařům přesnější posouzení struktur a funkcí organismu [31]. Navzdory své nepostradatelnosti je volné gadolinium ( $Gd^{3+}$ ) ve své hydratované formě vysoce toxické a musí být stabilizováno v komplexech s organickými ligandy, aby bylo bezpečné pro použití v lidském těle [9, 13, 32]. Stabilita těchto komplexů však není absolutní a může být narušena procesy, jako je transmetalace, kdy ionty (např.  $Fe^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ) v těle nahrazují gadolinium v komplexu, což vede k uvolnění volného  $Gd^{3+}$  [9, 12, 24, 25, 33].

Chemická struktura GdCA hraje klíčovou roli v jejich stabilitě a bezpečnosti [12, 13, 23]. Rozdělení GdCA dle struktury je zobrazeno na obrázku 2. Tyto látky se podle typu ligandů dělí na dvě hlavní skupiny: lineární a makrocyclické. Lineární cheláty jsou tvořeny molekulami s otevřenou strukturou, což snižuje jejich stabilitu a zvyšuje pravděpodobnost uvolňování volného  $Gd^{3+}$  do organismu [29, 34, 35]. Tento problém se částečně řeší přidávkem volných ligandů do farmaceutických roztoků, které zachytávají uvolněné  $Gd^{3+}$  během skladování. Na druhé straně makrocyclické cheláty mají uzavřenou strukturu, která výrazně zvyšuje jejich chemickou stabilitu a minimalizuje riziko uvolnění volného gadolinia [23, 34, 36]. Díky těmto vlastnostem jsou makrocyclické GdCA preferovanou volbou v klinické praxi. Mezi lineární GdCA patří tyto kontrastní látky s obchodními názvy Omniscan, OptiMARK, Magnevist, MultiHance a Primovist. K makrocyclickým patří ProHance, Gadovist a Dotarem [1]. Další dělení GdCA je podle způsobu aplikace, přičemž existují tři hlavní skupiny: extracelulární, intravaskulární a orgánově specifické kontrastní látky [26, 29]. Nejčastěji používané GdCA zahrnují sloučeniny jako gadodiamid, kyselina gadopentetová, gadobutrol, gadoterová kyselina a gadobenát dimeglumin [1, 12, 26]. Tyto látky jsou podávány intravenózně nebo orálně, přičemž dávkování se řídí specifickými klinickými indikacemi. Obecně je doporučováno 0,1 mmol Gd na kg tělesné hmotnosti, avšak některé sloučeniny, jako například gadodiamid, umožňují dávkování až 0,3 mmol  $kg^{-1}$  bez zdravotních rizik [24, 26]. Rychlost aplikace

intravenózních GdCA je obvykle nastavena na 2 až 3 mL s<sup>-1</sup> při koncentraci 0,5 mmol mL<sup>-1</sup>, což zajišťuje optimální distribuci látky v organismu [7, 26].

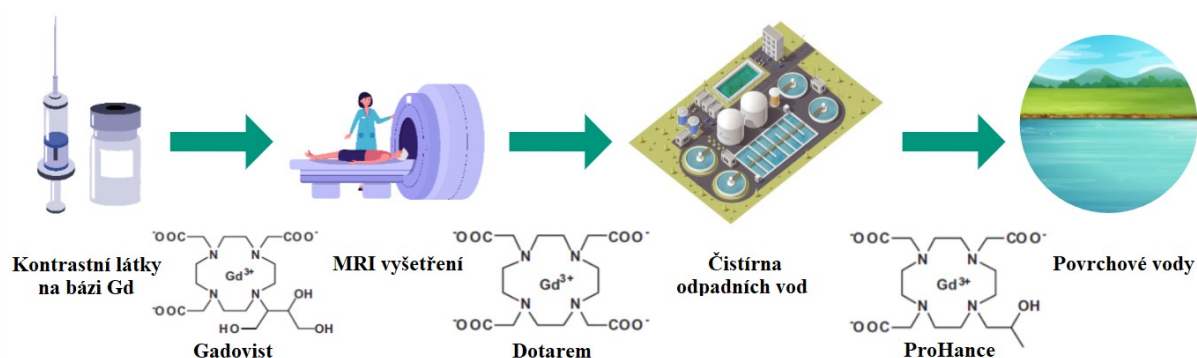


**Gd-BOPTA** – gadobenát-dimeglumin (MultiHance), **Gd-BT-DO3A** – gadobutrol (Gadovist), **Gd-HP-DO3A** – gadoteridol (ProHance), **Gd-EOB-DTPA** – dinatrium-gadoxetát (Primovist), **Gd-DOTA** – kyselina gadoterová (Dotarem), **Gd-DTPA** – kyselina gadopentetová (Magnevist), **Gd-DTPA-BMEA** – gadoversetamid (OptiMARK), **Gd-DTPA-BMA** – gadodiamid (Omniscan)

**Obrázek 2** Kontrastní látky na bázi gadolinia a jejich rozdělení dle struktury [1]

Uvolnění gadolinia do organismu představuje významné riziko zejména u pacientů s poruchou funkce ledvin [28, 34]. Akumulace gadolinia v těle těchto pacientů může způsobit závažné komplikace, jako jsou anafylaktické reakce, nefropatie vyvolaná kontrastem, nefrogenní systémová fibróza nebo lokální nekróza v místě aplikace [22, 28, 30, 34]. Naopak u jedinců s normální funkcí ledvin jsou GdCA rychle eliminovány (až 98 %) [25]. Biologický poločas těchto látek činí přibližně 1,5 až 2 hodiny, přičemž asi 90–95 % podané látky je vyloučeno nemetabolizováno močí během 24 hodin po podání [8, 13, 24, 25]. Při opakovaném podávání GdCA však mohou být stopová množství gadolinia ukládána v tělesných tkáních, včetně mozku, což vyvolává obavy ohledně potenciálních dlouhodobých účinků [25, 27, 31]. Zatímco u pacientů s normální funkcí ledvin nejsou dlouhodobé toxické účinky dostatečně prokázány,

u osob s ledvinovými problémy je doporučeno zvažovat alternativní diagnostické metody nebo využití makrocyclických GdCA, které mají nižší tendenci k uvolňování volného gadolinia [26]. GdCA představují stále větší environmentální problém, zejména kvůli jejich perzistenci a biologické aktivitě po vyloučení z těla. Po aplikaci jsou GdCAs nemetabolizované vylučovány především močí a následně se dostávají do odpadních vod [13, 37]. Grafické zobrazení toku GdCA do povrchových vod spolu se třemi zástupci GdCA je na obrázku 3. Tradiční čističky odpadních vod nejsou schopné tyto látky zcela odstranit, což vede k jejich přítomnosti ve vodních ekosystémech [2, 13]. Studie prokázaly, že stopové koncentrace GdCA byly nalezeny v řekách a jezerech, což vyvolává obavy o jejich dopad na vodní organismy. Gadolinium může například ovlivňovat metabolismus nebo reprodukční schopnosti organismů, které přijdou s těmito látkami do kontaktu [13]. Významným problémem je i fakt, že GdCA jsou chemicky stabilní a v prostředí se nerozkládají snadno [1, 11]. Tento fakt zvyšuje jejich potenciál bioakumulace v potravních řetězcích. Ukládání gadolinia v organismech může mít negativní dopad nejen na samotné organismy, ale i na vyšší trofické úrovně, včetně člověka. Riziko zvyšuje i to, že přítomnost gadolinia v prostředí může být maskována jeho relativně nízkými koncentracemi, které však mohou narůstat ve vyšších patrech trofického řetězce [13].



**Obrázek 3** Grafické zobrazení toku a tři zástupců kontrastních látek na bázi gadolinia

Navíc některé formy GdCA (lineární cheláty) mají vyšší tendenci k uvolňování volného gadolinia, což dále zvyšuje jejich toxicitu. Zároveň jsou lineární látky častější v prostředí právě kvůli jejich širokému použití a nižším výrobním nákladům [13, 23]. Vzhledem k těmto rizikům je stále více odborníků zaměřeno na hledání ekologičtějších alternativ, které by minimalizovaly environmentální dopady GdCA. Mezi potenciální řešení patří vývoj biologicky rozložitelných kontrastních látek, které by po aplikaci ztratily svou aktivitu [25], nebo zavedení pokročilých

technologií pro odstranění GdCA z odpadních vod. Důležitou roli hraje i prevence nadměrného používání těchto látek v klinické praxi a hledání alternativních diagnostických metod [13].

### 1.3 Gadolinium jako environmentální kontaminant

Gadolinium antropogenního původu ( $Gd_{ant}$ ) se do životního prostředí dostává z několika hlavních zdrojů. Nejvýznamnější roli hrají nemocniční odpadní vody, které obsahují zbytky GdCA používaných při MRI [37]. Tato zařízení, běžně využívaná ve zdravotnickém sektoru, představují hlavní cestu uvolňování gadolinia do vodních systémů [10, 11]. Dalšími zdroji jsou likvidace elektronického odpadu z domácností, například staré televizory nebo počítače, a také průmyslové procesy, jako je výroba benzínu, kde se gadolinium využívá jako katalyzátor [10, 19]. Po uvolnění do prostředí dochází k hromadění  $Gd_{ant}$  v půdě, odpadních vodách a povrchových vodních zdrojích, což vede k jeho trvalé přítomnosti v ekosystémech [10, 11, 17]. V přírodním prostředí se koncentrace gadolinia zvyšuje oproti přirozeným hladinám, což vede k tzv. gadoliniové anomálii ( $Gd_{anom}$ ) [2, 11, 38, 39]. Tento jev poprvé popsal výzkum z 80. let 20. století, kdy byly cheláty gadolinia objeveny v čistírnách odpadních vod (ČOV) [11]. Gadoliniová anomálie je přímým důkazem antropogenního původu kontaminace, protože přirozený obsah gadolinia v přírodě koreluje s obsahem ostatních REE. Pozitivní anomálie gadolinia byly od té doby detekovány v mnoha zemích po celém světě, například v Japonsku, Německu, Francii, Nizozemsku i v České republice [11, 18, 40].

Fenomén je typický zejména pro hustě osídlené oblasti s intenzivním používáním MRI, kde dochází k systematickému navyšování koncentrace gadolinia ve vodních zdrojích [2, 7, 41]. V procesu úpravy vody ČOV mohou ionty železa ( $Fe^{3+}$ ) nahrazovat gadolinium v chelátu, což vede k jeho uvolnění jako volného iontu. Tato reakce je výsledkem vyšší stability komplexů  $Fe^{3+}$ -EDTA ( $K = 10^{28}$ ) ve srovnání s  $Gd^{3+}$ -EDTA ( $K = 10^{23}$ ) [7, 25, 27]. Další osud  $Gd_{ant}$  v prostředí závisí na jeho chemických vlastnostech a podmínkách okolního prostředí. Může být imobilizováno na půdních částicích nebo sedimentech, což omezuje jeho pohyblivost, případně zůstává mobilizované jako rozpustná forma, která se může šířit vodními cestami. Ve specifických podmínkách může také docházet k bioakumulaci v organismech a postupnému nárůstu koncentrace ve vyšších patrech potravního řetězce [20, 42].

Pro hodnocení gadoliniové anomálie je klíčové přesné měření koncentrací REE a jejich normalizace vůči referenčním geologickým standardům, jako jsou používanější PAAS (post-Archean Australian Shale) nebo NASC (North American Shale Composite) [11, 32, 43]. Tyto standardy představují průměrné složení REE ve svrchní vrstvě zemské kůry. Výpočet je

založen na poměru skutečné normalizované koncentrace (index  $N$ ) gadolinia a koncentrace gadolinia odpovídající přirozenému pozadí získané interpolací normalizovaných koncentrací 2 sousedních REE (Sm a Tb) [43] podle rovnice (1) [11, 44, 45]:

$$Gd_{\text{anom}} = Gd_{N\text{-total}} / Gd_{N\text{-geo}} = Gd_{N\text{-total}} / (0,33 \times Sm_N + 0,67 \times Tb_N), \quad (1)$$

kde  $Gd_{\text{anom}}$  je gadoliniová anomálie,  $Gd_{N\text{-total}}$  a  $Gd_{N\text{-geo}}$  jsou normalizované koncentrace celkového a geogenního gadolinia,  $Sm_N$  a  $Tb_N$  jsou normalizované koncentrace samaria a terbia [11, 43].

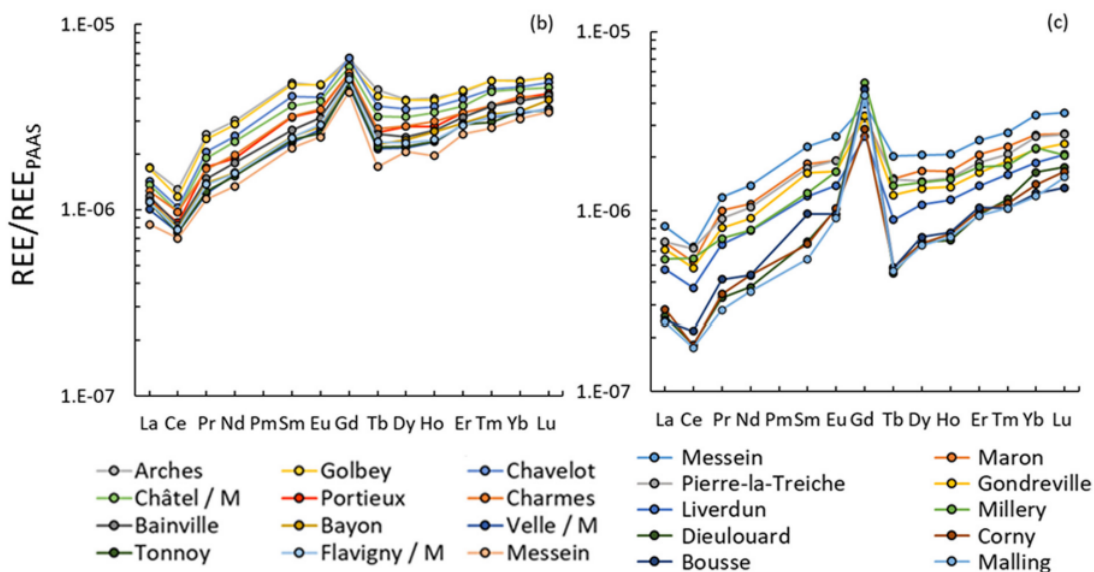
Koncentrace  $Gd_{\text{ant}}$  se následně vypočítá pomocí rovnice (2):

$$Gd_{\text{ant}} = Gd_{\text{total}} - Gd_{\text{geo}}, \quad (2)$$

kde  $Gd_{\text{total}}$  je celková koncentrace gadolinia a  $Gd_{\text{geo}}$  je geogenní koncentrace gadolinia [43, 44].

Výpočetní rovnice umožňuje rozlišit mezi přirozenými a antropogenními zdroji gadolinia. Pokud hodnota gadoliniové anomálie překročí prahovou hodnotu 1,5, jedná se o pozitivní anomálii svědčící o kontaminaci [32, 43]. Grafické znázornění normalizovaných koncentrací REE ukazuje charakteristické navýšení koncentrace gadolinia oproti okolním prvkům, což potvrzuje přítomnost pozitivní anomálie v daném vzorku (viz obrázek 4) [43].

Přítomnost gadolinia antropogenního původu v přírodních ekosystémech vyvolává značné obavy. Díky své vysoké chemické stabilitě a nerozložitelnosti se gadolinium hromadí ve vodních ekosystémech, kde může interagovat s mikroorganismy a ostatními složkami ekosystému. Dlouhodobá kontaminace zvyšuje riziko bioakumulace v potravním řetězci a může nepřímo ovlivnit zdraví lidí. Navíc znečištění povrchových a podzemních vod je obtížně odstranitelné i pomocí pokročilých metod čištění, což přispívá k dlouhodobému trvání tohoto problému [13, 43]. Rozsah environmentálních dopadů zdůrazňuje potřebu zlepšit čištění odpadních vod a hledat alternativní, ekologicky šetrnější způsoby využití gadolinia ve zdravotnictví a průmyslu [13].



REE – prvky vzácných zemin,  $REE_{PAAS}$  – normalizovaná koncentrace prvků vzácných zemin na PAAS (post-Archean Australian Shale)

**Obrázek 4** Graf normalizovaných koncentrací prvků vzácných zemin (REE) vztažených ke geologickému standardu PAAS [44]

#### 1.4 Regulace a doporučení pro minimalizaci znečištění

V současné době neexistují efektivní průmyslové technologie pro recyklaci REE, které by byly použitelné ve velkém měřítku. Vývoj těchto metod zůstává předmětem intenzivního výzkumu [2]. Rozsáhlé používání REE v průmyslu, zemědělství a medicíně, spolu s odpady z těžby, má značný dopad na životní prostředí [15, 20, 46]. Například v Číně bylo v roce 2005 odhadnuto, že do půdy uniklo přibližně 119 000 tun oxidů REE v důsledku těžební činnosti [20]. Kromě toho čínské zemědělství spotřebovává přibližně 1 100 tun REE ročně, což přispívá k jejich akumulaci v půdě a vodních systémech [2, 21]. Několik studií potvrdilo, že koncentrace REE v poslední době vzrostly v různých složkách životního prostředí, jako jsou půda, sedimenty, odpadní a povrchové vody. REE se také hromadí v organismech, například v řasách a mlžích, což může vést k jejich vstupu do potravního řetězce [47]. Rozpustné formy REE v přírodě představují riziko pro lidské zdraví, protože mohou kontaminovat běžně konzumované potraviny, jako jsou obiloviny, maso a zelenina. Proto je nezbytné pravidelně monitorovat obsah REE v potravinách, aby bylo možné posoudit jejich potenciální zdravotní rizika [20].

Regulace vypouštění GdCA a dalších lanthanoidů do vodního prostředí je stále nedostatečná. Omezené pochopení jejich toxicity a dlouhodobých dopadů na ekosystémy zatím neumožnilo

stanovit standardy pro jejich maximální přípustné koncentrace ve vodách [1]. Doporučuje se zlepšit čistírenské procesy, například zavedením pokročilých technologií, jako je reverzní osmóza, membránová filtrace nebo adsorpce. Rovněž je důležité provádět pravidelný monitoring těchto látek ve vodních systémech, aby byla lépe kontrolována jejich akumulace v přírodě [1, 13]. Zvýšené povědomí o environmentálních dopadech gadolinia vedlo k zavádění opatření na jeho omezení. Jedním z klíčových kroků je nahrazení lineárních GdCA stabilnějšími makrocyclickými variantami, které mají nižší riziko uvolňování volného gadolinia do prostředí. Některé země již zavedly opatření na omezení používání méně stabilních GdCA a podporují recyklaci těchto látek z odpadních vod [1]. Důraz je také kladen na vývoj ekologicky šetrnějších GdCA s nižší biologickou dostupností, které by minimalizovaly jejich dopad na vodní ekosystémy [13].

Kromě technických opatření, jako je modernizace čistíren odpadních vod a implementace pokročilých filtračních technologií, se zvažuje zavedení přísnějších regulací zaměřených na sledování a reportování množství REE a gadolinia v odpadech. Mezi doporučené strategie patří také snižování používaných dávek GdCA díky přesnější diagnostice a vývoji biologicky odbouratelných alternativ [13]. Tyto kroky by mohly významně přispět ke snížení znečištění vodních ekosystémů a ochraně životního prostředí. Celkově je nezbytné soustředit se nejen na vývoj recyklačních technologií pro REE, ale i na prevenci jejich vstupu do životního prostředí. Tím by bylo možné zmírnit jejich negativní vliv na ekosystémy a minimalizovat zdravotní rizika pro lidskou populaci [1, 13].

## 2 ANTROPOGENNÍ GADOLINIUM V PROSTŘEDÍ

### 2.1 Gadolinium a jeho vliv na vodní organismy

Gadolinium, zejména jeho antropogenní formy, představuje potencionální hrozbu pro vodní ekosystémy díky schopnosti ovlivňovat základní biologické funkce organismů. Tento prvek může snadno pronikat do organismů přes různé fyziologické systémy, jako jsou žábry, kůže nebo trávicí trakt [48–50]. Jednou z hlavních oblastí jeho působení je enzymatická aktivita a energetický metabolismus, přičemž jeho přítomnost v organismu často vede k narušení růstových procesů [1, 14, 51]. Tyto efekty jsou zvláště patrné u mikroorganismů a planktonických druhů, které hrají zásadní roli v potravních řetězcích vodních ekosystémů [1]. Dlouhodobá expozice vyšším koncentracím gadolinia v ekosystémech byla spojována se snižováním biodiverzity, což má negativní dopady na ekologické služby, jako je přirozené čištění vody a stabilita rybích populací [1, 49, 52]. Narušení těchto klíčových procesů může mít za následek výrazné zhoršení kvality vodního prostředí a schopnosti ekosystému regenerovat se. Citlivost organismů na gadolinium je přitom velmi variabilní a závisí na jejich fyziologických vlastnostech. Některé druhy dokážou tolerovat jeho přítomnost lépe než jiné, což vede k nerovnoměrným dopadům na jednotlivé části ekosystému [1, 14, 52]. Tento faktor podtrhuje složitost hodnocení rizik spojených s přítomností gadolinia ve vodních prostředích.

Antropogenní zdroje, především GdCA, přispívají k jeho zvyšující se koncentraci v přírodním prostředí [1, 14, 52, 53]. Dostupná data týkající se celkové koncentrace gadolinia a gadoliniové anomálie v různých vzorcích nekontaminované vody pocházející z různých geografických lokalit jsou souhrnně uvedena v tabulce 2. V přírodních neznečištěných sladkovodních oblastech se koncentrace lanthanoidů obvykle pohybují v rozmezí mezi  $\mu\text{g L}^{-1}$  (ppb) a  $\text{ng L}^{-1}$  (ppt). V slaných vodách jsou koncentrace lanthanoidů typicky v rozmezí  $\text{fg L}^{-1}$  (ppq) [54]. Chemické zvětrávání je klíčovým procesem, který částečně mobilizuje lanthanoidy v povrchových vodách. Během tohoto procesu hrají fyzikálně-chemické vlastnosti vody (pH, salinita, a průtok) a typ podloží zásadní roli v regulaci koncentrací lanthanoidů ve vodě [55–58]. Tabulka 3 obsahuje celkové koncentrace gadolinia a gadoliniové anomálie hlášené v odpadních vodách a dalších vzorcích kontaminované vody z různých geografických lokalit. V tabulce 4 jsou uvedeny koncentrace několika typů GdCA (v  $\text{ng L}^{-1}$  Gd) v různých vzorcích vody jako složek životního prostředí.

**Tabulka 2** Celková koncentrace gadolinia a gadoliniová anomálie ve vzorcích nekontaminované vody původem z různých geografických lokalit

| Vzorek        | Původ                    | Instrumentace | LOD (ng L <sup>-1</sup> ) | c <sub>Gd</sub> (ng L <sup>-1</sup> ) | Gd <sub>anom</sub> | Ref.     |
|---------------|--------------------------|---------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------|----------|
| Pitná voda    | Austrálie                | ICP-MS        | 0,076                     | 1,75–36,66                            | 1,04–1,09          | [59]     |
|               | Česká republika          | ICP-MS        | -                         | 0,33                                  | 1,20               | [66]     |
|               | Německo                  | ICP-MS        | -                         | 0,36–0,66                             | 0,95–1,70          | [60]     |
| Říční voda    | Japonsko                 | ICP-MS        | 0,027                     | 1,2–5,3                               | 1,20–1,41          | [32, 61] |
|               | Jižní Korea              | Q-ICP-MS      | -                         | 4,09–5,60                             | 1,21–1,39          | [53]     |
|               | Německo                  | ICP-MS        | -                         | 1,5                                   | 0,98               | [62]     |
|               | Švédsko                  | ICP-MS        | -                         | 41,7                                  | 1,20               | [32]     |
|               | USA                      | ICP-MS        | 0,01–0,1                  | 3,76–4,13                             | 1,15–1,47          | [63]     |
| Jezerní voda  | Švédsko                  | ICP-MS        | -                         | 36,5                                  | 1,20               | [32]     |
| Podzemní voda | Česká republika          | ICP-MS        | -                         | 3,05                                  | 1,00               | [64]     |
|               | Havaj                    | HR-ICP-MS     | 0,078–0,93                | 6,47                                  | 1,08               | [65]     |
|               | Německo                  | ICP-MS        | -                         | 1,32                                  | 1,12               | [60]     |
| Mořská voda   | Japonské moře            | ICP-MS        | 0,027                     | 1,9                                   | 0,96               | [61]     |
|               | Severní Atlantický oceán | ICP-MS        | -                         | 0,85                                  | 1,60               | [45]     |
|               | Severní tichý oceán      | ICP-MS        | -                         | 0,33                                  | 1,05               | [66]     |

**c<sub>Gd</sub>** – koncentrace gadolinia, **Gd<sub>anom</sub>** – gadoliniová anomálie, **ICP-MS** – hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu, **LOD** – limit detekce, **Q-ICP-MS** – kvadrupólová hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu, **HR-ICP-MS** – hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu a vysokým rozlišením, **USA** – Spojené státy americké

**Tabulka 3** Celkové koncentrace gadolinia a gadoliniové anomálie nalezené v odpadních a znečištěných vodách z různých geografických lokalit

| Vzorek       | Původ           | Instrumentace | LOD (ng L <sup>-1</sup> ) | c <sub>Gd</sub> (ng L <sup>-1</sup> ) | Gd <sub>anom</sub> | Ref.         |
|--------------|-----------------|---------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------|
| Přítok ČOV   | Česká republika | ICP-MS        | -                         | 68,7                                  | 35                 | [64]         |
|              | Jižní Korea     | Q-ICP-MS      | -                         | 19,8–583                              | 4,2–297            | [53]         |
| Odtok z ČOV  | Austrálie       | ICP-MS        | 0,0756                    | 18,8–282                              | 9,0–99             | [59]         |
|              | Brazílie        | ICP-MS        | 1,4                       | 86                                    | 9,5                | [67]         |
|              | Česká republika | ICP-MS        | -                         | 40,1–43,6                             | 55,4–61,7          | [64]         |
|              | Jižní Korea     | Q-ICP-MS      | -                         | 42,7–199                              | 56,7–271           | [53]         |
|              | Německo         | ICP-MS        | -                         | 1,17–31,6                             | 64–2014            | [68]         |
|              | USA             | ICP-MS        | -                         | 68–120                                | 20,0–62,7          | [69]         |
|              | Brazílie        | ICP-MS        | 1,4                       | 13,0–207                              | 1,1–86,7           | [67]         |
| Říční voda   | Česká republika | ICP-MS        | -                         | 5,58                                  | 1,8                | [67]         |
|              | Japonsko        | ICP-MS        | -                         | 1,61–14,0                             | 1,6–9,4            | [61, 70]     |
|              | Jižní Korea     | Q-ICP-MS      | -                         | 7,21–89,9                             | 1,6–34,8           | [53]         |
|              | Německo         | ICP-MS        | -                         | 24,2–490                              | 3,6–644            | [45, 60, 62] |
|              | Rakousko        | ICP-MS        | -                         | 7,63                                  | 2,3                | [60]         |
|              | USA             | ICP-MS        | -                         | 25,4–342                              | 1,1–4,0            | [63, 71]     |
|              | Velká Británie  | ICP-MS        | -                         | 4,4                                   | 2,5                | [60]         |
|              | Brazílie        | ICP-MS        | -                         | 7,9–35,2                              | 18,5–40,9          | [72]         |
| Jezerní voda | Česká republika | ICP-MS        | -                         | 4,31                                  | 2,8                | [64]         |

| Vzorek          | Původ          | Instrumentace | LOD (ng L <sup>-1</sup> ) | c <sub>Gd</sub> (ng L <sup>-1</sup> ) | Gd <sub>anom</sub> | Ref. |
|-----------------|----------------|---------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------|------|
| Podzemní voda   | Havaj          | HR-ICP-MS     | 0,078–0,936               | 30,1                                  | 5,1                | [65] |
|                 | Německo        | ICP-MS        | 0.01–0.1                  | 17,3–119                              | 3,6–53             | [68] |
| Mořská voda     | Brazílie       | HR-ICP-MS     | -                         | 0,7–1,9                               | 1,0–3,4            | [73] |
|                 | Japonsko       | ICP-MS        | -                         | 1,32–2,42                             | 1,5–2,1            | [70] |
|                 | Německo        | ICP-MS        | -                         | 1,75–23,6                             | 1,6–7,4            | [45] |
|                 | Severní moře   | ICP-MS        | -                         | 1,75–2,21                             | 1,6–2,1            | [45] |
|                 | USA            | HR-ICP-MS     | 0,005                     | 2,21–26,9                             | 1,6–3,9            | [74] |
| Kohoutková voda | Německo        | ICP-MS        | -                         | 0,55–17,8                             | 1,4–33,7           | [60] |
|                 | Velká Británie | ICP-MS        | -                         | 1,92                                  | 1,5                | [60] |

ČOV – čistírna odpadních vod, **HR-ICP-MS** – hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu a vysokým rozlišením, **ICP-MS** – hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu, **LOD** – limit detekce, **Q-ICP-MS** – kvadrupolová hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu, **USA** – Spojené státy americké

**Tabulka 4** Koncentrace kontrastních látek na bázi gadolinia ve vodách různého původu

| Vzorek  | Gd-DTPA<br>(ng L <sup>-1</sup> Gd) | Gd-BT-DO3A<br>(ng L <sup>-1</sup> Gd) | Gd-BOPTA<br>(ng L <sup>-1</sup> Gd) | Gd-DOTA<br>(ng L <sup>-1</sup> Gd) | Instrumentace  | LOD<br>(ng L <sup>-1</sup> ) | Ref. |
|---|------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|----------------|------------------------------|------|
| Nemocniční odpadní voda, DE                         | -                                  | <LOD–3,63                             | -                                   | -                                  | HILIC-ICP-MS   | 0,16                         | [75] |
| Vzorky z ČOV odebrané v různých krocích čištění, DE | -                                  | 0,31–1,16                             | 0,17–0,19                           | 0,28–0,33                          | HILIC-ICP-MS   | 0,16                         | [75] |
| Řeka Spréva (Dämeritzsee), DE                       | -                                  | 12                                    | -                                   | -                                  | HILIC-ICP-MS   | 17–27                        | [76] |
| Jezero Wannsee, DE                                  | 106                                | 184                                   | 12                                  | 110                                | HILIC-ICP-MS   | 17–27                        | [76] |
| Řeka Havel (Jungfernsee), DE                        | 54                                 | 89                                    | -                                   | 50                                 | HILIC-ICP-MS   | 17–27                        | [76] |
| Přítok ČOV, DE                                      | 29                                 | 36                                    | -                                   | 34                                 | HILIC-ICP-MS   | 17–27                        | [77] |
| Odpad z ČOV, DE                                     | 27                                 | 34                                    | -                                   | 36                                 | HILIC-ICP-MS   | 17–27                        | [77] |
| Povrchová voda, DE                                  | <LOD–0,33                          | <LOD–0,56                             | -                                   | <LOD–0,12                          | HILIC-ICP-SFMS | 13–16                        | [78] |
| Odpad z ČOV, DE                                     | 0,25                               | 0,42                                  | -                                   | 0,09                               | HILIC-ICP-SFMS | 13–16                        | [78] |
| Teltow kanál, DE                                    | -                                  | 18–471                                | -                                   | 16–456                             | HILIC-ICP-MS   | 40–62                        | [79] |
| Voda z kohoutku, DE                                 | -                                  | <LOD–17,6                             | <LOD–11,7                           | <LOD–19,2                          | HILIC-ICP-MS   | 1,4–3,5                      | [35] |
| Povrchová voda, DE                                  | 13,8–25,3                          | <LOD–7,6                              | -                                   | <LOD–13,1                          | HILIC-ICP-MS   | 1,3–2,2                      | [80] |
| Pitná voda, DE                                      | 12,9–24,9                          | <LOD                                  | -                                   | <LOD–11,4                          | HILIC-ICP-MS   | 1,3–2,2                      | [80] |

ČOV – čistírna odpadních vod, DE – Německo, Gd-BOPTA – gadobenát-dimeglumin (MultiHance), Gd-BT-DO3A – gadobutrol (Gadovist), Gd-DOTA – kyselina gadoterová (Dotarem), Gd-DTPA – kyselina gadopentetová (Magnevist), HILIC-ICP-MS – Hydrofilní interakční chromatografie-hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu, HILIC-ICP-SFMS – Hydrofilní interakční chromatografie-sektorová hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu, LOD – limit detekce

Nejvyšší hodnota gadoliniové anomálie, a to 2 014 byla nalezena ve vzorku z odtoku z ČOV původem z Německa [68]. Koncentrace gadolinia pocházející z GdCA, konkrétně Gadovistu v odpadních vodách a vodních vzorcích znečištěných lidskou činností byla až 471 ng L<sup>-1</sup> Gd [79]. Zatímco GdCA jsou navrženy jako chemicky stabilní komplexy, degradace těchto látek v přírodních podmínkách vede k uvolnění biologicky aktivních iontů Gd<sup>3+</sup> [81–83]. Tyto ionty mají schopnost interferovat s buněčnými membránami, narušovat transport iontů a inhibovat klíčové enzymatické procesy, což má zásadní dopady na základní fyziologické funkce vodních organismů, včetně bakterií, řas, žahavců, vířniců a kůrovců [4, 81, 84]. Ačkoliv jsou makrocyclické GdCA považovány za bezpečnější díky své vyšší chemické stabilitě, jejich dlouhodobé environmentální dopady nejsou dosud plně prozkoumány [85, 86]. Tato situace podtrhuje naléhavost dalšího výzkumu zaměřeného na minimalizaci rizik a vývoj ekologicky přijatelnějších alternativ [13].

Přirozené koncentrace gadolinia ve vodních prostředích jsou velmi nízké, ale antropogenní aktivity vedou k jejich dramatickému nárůstu [14, 40]. Tato situace má závažné dopady na různé druhy vodních organismů. Například expozice sladkovodní řasy *Desmodesmus subspicatus* vedla k inhibici růstu při koncentracích vyšších než 4,9 mg L<sup>-1</sup> gadolinia ve formě GdCl<sub>3</sub> [14]. Bylo zjištěno, že vystavení bakterie *Nitrosomonas europaea* 300 μM (47,2 mg kg<sup>-1</sup>) GdCA inhibuje denitrifikaci [87]. Planktonické druhy a mikroorganismy vykazují vyšší citlivost na přítomnost gadolinia než korýši nebo ryby, což naznačuje, že nižší patra potravních řetězců jsou nejvíce zasaženy [4, 14]. Studie zkoumající vliv gadolinia na vývoj larev čtyř druhů mořských ježovek z Evropy a Austrálie zjistila, že gadolinium narušuje růst kostry u larev, přičemž citlivost jednotlivých druhů se značně lišila. Hodnota EC50 (koncentrace látky, která způsobí 50% inhibici růstu) se u všech čtyř druhů pohybovala od 56 nM (8,81 μg kg<sup>-1</sup>) do 132 μM (20,76 mg kg<sup>-1</sup>), což poukazuje na nutnost testování toxicity u více druhů pro posouzení rizik [51]. Tabulka 5 slučuje ekotoxikologická data pro gadolinium, tj. odhad účinků gadolinia nejom na vodní organismy. Mechanismus toxicity spočívá v podobnosti iontů Gd<sup>3+</sup> s vápníkem (Ca<sup>2+</sup>), což narušuje základní fyziologické procesy, jako je kontrakce hladkého, kosterního a srdečního svalu, přenos nervového přítoku a srážení krve [88, 89]. Ačkoliv se cheláty gadolinia vyznačují relativně nízkou toxicitou díky své chemické stabilitě, interakce s dalšími látkami v odpadních vodách může tento stabilizační efekt narušit, což zvyšuje rizika spojená s uvolňováním volného Gd<sup>3+</sup> [33, 88, 90]. To podtrhuje důležitost zajištění efektivních čisticích procesů a prevence jeho šíření do přírodních vod.

**Tabulka 5** Ekotoxikologická data pro gadolinium – odhad účinků na organismy

| Testovací organismus                   | Kmen           | Forma Gd                            | Parametr/efekt   | Výsledek (mg L <sup>-1</sup> ) | Ref. |
|--|----------------|-------------------------------------|------------------|--------------------------------|------|
| <i>Desmodesmus subspicatus</i>         | zelené řasy    | GdCl <sub>3</sub>                   | NOEC             | 4,9                            | [14] |
|  |                | Gd-DTPA                             | EC50 / NOEC      | >100 / 100                     |      |
|  |                | Gd-DTPA-BMA                         | NOEC             | 20                             |      |
|  |                | Gd-HP-DO3A                          | NOEC             | >100                           |      |
|  |                | Gd-BT-DO3A                          | EC50 / NOEC      | 937                            |      |
| <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> | zelené řasy    | GdCl <sub>3</sub>                   | EC50/72 h        | 3,11                           | [4]  |
|  |                | Gd <sup>3+</sup>                    | EC50/72 h        | 1,26                           |      |
| <i>Vibrio fisheri</i>                  | proteobakterie | GdCl <sub>3</sub>                   | EC50/30 min      | >6,4                           | [91] |
|  |                | Gd <sub>0,97</sub> CoO <sub>3</sub> | EC50/30 min      | >500                           |      |
| <i>Skeletonema costatum</i>            | rozsivky       | Gd(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>   | EC50/72 h        | 4,69                           | [84] |
| <i>Tetrahymena shanghaiensis</i>       | nálevníci      | Gd(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>   | EC50/24 h        | 53,47– 135                     | [92] |
| <i>Tetrahymena thermophila</i>         |                | Gd <sub>0,97</sub> CoO <sub>3</sub> | EC50/30 min      | >100                           | [91] |
| <i>Hydra attenuata</i>                 | žahavci        | GdCl <sub>3</sub>                   | EC50/96 h        | 2,55                           |      |
| <i>Brachionus calyciflorus</i>         | vířníci        | GdCl <sub>3</sub>                   | EC50/48 h        | 1,12                           | [4]  |
|  |                | Gd <sup>3+</sup>                    | EC50/48 h        | 0,914                          |      |
| <i>Heterocypris incongruens</i>        | členovci       | GdCl <sub>3</sub>                   | EC50/6 dnů       | >6,4                           |      |
| <i>Daphnia magna</i>                   |                | GdCl <sub>3</sub>                   | EC50/48 h        | >6,4                           |      |
| <i>Caenorhabditis elegans</i>          | hlístice       | Gd-DTPA                             | ne smrtelně/24 h | 200 000                        | [93] |
| <i>Mice</i>                            | strunatci      | GdCl <sub>3</sub>                   | LD50             | 15,7 mg kg <sup>-1</sup>       | [94] |
|  |                | Gd-DOTA                             | LD50             | 2359 mg kg <sup>-1</sup>       |      |
|  |                | Gd-HP-DO3A                          | LD50             | 1887 mg kg <sup>-1</sup>       |      |
|  |                | Gd-DTPA                             | LD50             | 881 mg kg <sup>-1</sup>        |      |
|  |                | Gd-DTPA-BMA                         | LD50             | 2326 mg kg <sup>-1</sup>       |      |

EC50 – koncentrace látky, která způsobí 50% inhibici růstu, **Gd-BT-DO3A** – gadobutrol (Gadovist), **Gd-DOTA** – kyselina gadoterová (Dotarem), **Gd-DTPA** – kyselina gadopentetová (Magnevist), **Gd-DTPA-BMA** – gadodiamid (Omniscan), **Gd-EOB-DTPA** – dinatrium-gadoxetát (Primovist), **Gd-HP-DO3A** – gadoteridol (ProHance), **LD50** - smrtelná dávka pro 50 % populace, **NOEC** – koncentrace bez pozorovaného účinku

## 2.2 Vliv environmentálních podmínek na toxicitu gadolinia

Toxicita gadolinia ve vodním prostředí je komplexním fenoménem, který závisí na fyzikálně-chemických podmínkách. Jedním z klíčových faktorů ovlivňujících toxicitu je pH vody [88, 95, 96]. Nízké pH (kyselé prostředí), zvyšuje rozpustnost a dostupnost iontů  $Gd^{3+}$ , což vede k jejich vyšší biologické aktivitě a toxicitě [88, 97]. To se obvykle vyskytuje v oblastech ovlivněných kyselými dešti nebo důlními vodami, kde jsou sladkovodní organismy vystaveny vyšším koncentracím biologicky dostupného gadolinia [16, 52]. V zásaditém prostředí je naopak mobilita  $Gd^{3+}$  omezena, protože se váže na nerozpustné částice nebo tvoří stabilní komplexy, což snižuje jeho toxicitu. Tento vliv pH ukazuje, jak zásadní je posuzovat lokální podmínky při hodnocení ekologických rizik gadolinia [52].

Dalším důležitým faktorem je přítomnost organických látek, jako jsou huminové kyseliny, které mají schopnost tvořit stabilní komplexy s ionty  $Gd^{3+}$  [98–100]. Tyto komplexy snižují jeho biologickou dostupnost, což na jedné straně zmírňuje přímé toxické účinky na organismy, ale na druhé straně zvyšuje transportovatelnost gadolinia na větší vzdálenosti. Výsledkem je vyšší pravděpodobnost, že se gadolinium dostane do vzdálenějších ekosystémů a případně do vyšších trofických úrovní, což může mít dlouhodobé dopady na biodiverzitu [52, 81, 98, 100]. Sedimenty přitom hrají zásadní roli jako rezervoár gadolinia. Změny v oxidačně-redukčních podmínkách, například během sezónních výkyvů nebo cirkulace vody, mohou vést k uvolňování gadolinia ze sedimentů zpět do vodního sloupce, což může přechodně zvýšit jeho koncentraci ve vodě a způsobit akutní toxické účinky [16, 81, 95, 101].

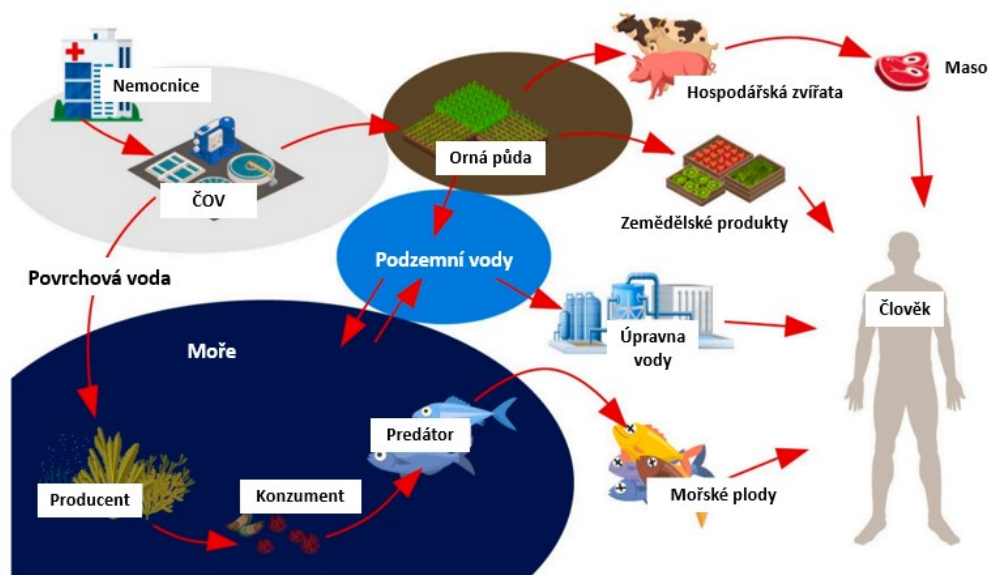
Chemické interakce mezi gadolínem a dalšími ionty ve vodě, jako jsou železo, zinek nebo měď, rovněž přispívají ke změnám jeho dostupnosti a toxicity [86, 102, 103]. Transmetalace může vést k uvolnění volného  $Gd^{3+}$  z chelátových komplexů, čímž se zvyšuje jeho toxicita [14, 52]. Například přítomnost iontů zinku v odpadních vodách může způsobit degradaci stabilních chelátů a zvýšit koncentraci toxických iontů  $Gd^{3+}$  ve vodním prostředí [33, 52, 104].

Teplota vody je dalším faktorem, který ovlivňuje chování gadolinia v prostředí [88, 96]. Vyšší teploty urychlují chemické reakce, což může zvýšit mobilitu gadolinia a jeho dostupnost pro organismy. Současně mohou vyšší teploty zesilovat metabolické procesy vodních organismů, což je činí citlivějšími na toxické látky [1, 96]. Přítomnost organického materiálu však může tento efekt částečně zmírnit tím, že váže volné ionty  $Gd^{3+}$  a omezuje jejich interakci s organismy [1, 13, 25, 81].

Vliv environmentálních podmínek na toxicitu gadolinia zdůrazňuje potřebu podrobného hodnocení jeho chování v různých ekosystémech. Lokální faktory, jako je pH, přítomnost organických a anorganických látek, redox potenciál a teplota, mohou výrazně měnit ekologická rizika spojená s gadoliniem [88, 95, 98, 101]. Zvláštní pozornost je třeba věnovat kyselým vodním prostředím, kde je biologická dostupnost gadolinia nejvyšší, a sladkovodním ekosystémům, kde mikroorganismy a sedimenty hrají zásadní roli v jeho distribuci a účincích [16, 52, 81].

### **2.3 Kontaminace potravního řetězce**

Gadolinium proniká do potravního řetězce prostřednictvím bioakumulačních procesů, které začínají u nižších organismů, jako jsou mikrořasy, plankton a bakterie [81, 105]. Tyto organismy adsorbují gadolinium z vodního prostředí, kde se nachází v důsledku antropogenních aktivit, zejména vypouštění GdCA [52, 53]. Proces je posilován perzistencí GdCA v životním prostředí, protože jejich chemická stabilita brání jejich rychlé degradaci [23, 34]. Akumulace v těchto organismech tvoří základ pro přenos gadolinia na vyšší trofické úrovně. Mikrořasy a bakterie jsou totiž hlavní složkou potravy pro plankton, měkkýše, ryby a další vodní živočichy [1, 14, 49]. Tímto způsobem se gadolinium šíří v ekosystému a vytváří riziko pro vyšší trofické úrovně [6, 14, 49]. Konzumace kontaminovaných ryb a mořských plodů představuje významné riziko pro člověka, zejména v oblastech, kde rybolov tvoří hlavní složku stravy. Ryby pocházející z oblastí s intenzivním používáním GdCA, mohou obsahovat stopová množství gadolinia, což může vést k jeho nepřímé konzumaci lidmi [81, 106–108]. Mechanismy difúzně řízeného transportu/absorpce, stejně jako aktivního transportu/bioakumulace chelátů gadolinia živými organismy, hrají klíčovou roli zejména při zkoumání možných nepříznivých dopadů na lidské zdraví, pokud se tyto sloučeniny dostanou do potravinového řetězce [48, 109]. Ačkoli jsou koncentrace gadolinia často nízké, dlouhodobá expozice vyvolává obavy z jeho kumulativních účinků na lidské zdraví. Současné výzkumy naznačují, že chemická stabilita lineárních chelátů gadolinia zvyšuje jejich potenciál k bioakumulaci, což podporuje jejich setrvávání v potravních řetězcích [13, 14, 29, 34]. Obrázek 5 zobrazuje schéma nepřímého vstupu gadolinia antropogenního původu (z GdCA) až do lidského těla prostřednictvím různých potravních řetězců. Množství gadolinia v lidském těle není známo, ale odhaduje se na nízké hladiny (vyšší v kostech a nižší v tkáních jater a ledvin) [14].



**Obrázek 5** Nepřímý vstup GdCA do lidského těla prostřednictvím potravinového řetězce [81]

Kontaminovaná povrchová nebo podzemní voda může být využívána k zavlažování zemědělských plodin [38]. Během zavlažování může gadolinium interagovat s půdními částicemi nebo být přímo přístupné pro kořenovým systémem rostlin [20, 42]. Gadolinium má tendenci se vázat na minerální a organické látky, což má vliv na jeho dostupnost pro rostliny [25, 98–100]. Rozpustné formy gadolinia, zejména volné ionty  $Gd^{3+}$  nebo jeho komplexy s organickými látkami, mohou být absorbovány kořeny rostlin. Tento proces je částečně ovlivněn vlastnostmi rostliny, jako je její schopnost akumulovat těžké kovy a lanthanoidy [110].

Rýže není přímo vodní rostlina, ale je to rostlina, která vyžaduje velké množství vody pro svůj růst, a proto může být rizikovou plodinou z pohledu kontaminace gadoliniem. Studie v Austrálii uvádí koncentrace gadolinia v rýži v rozmezí  $0,003\text{--}18,62 \mu\text{g kg}^{-1}$  [111]. Kubánská studie zjistila průměrnou koncentraci gadolinia v zrnu rýže  $0,12 \pm 0,08 \text{ mg kg}^{-1}$  [110]. Makedonská studie odhalila, že koncentrace REE v neleštěné rýži byly  $6,6 \times 10^3$ krát nižší než v rýžové půdě, což naznačuje, že se REE hromadí více v kořenech rostlin než v zrnech rýže [112]. Jak potvrdily další studie, REE v rostlinách dodržují toto pořadí akumulace: kořen>list>stonka>zrno/plod [110, 113, 114]. Gadolinium v nízkých koncentracích podporuje růst sazenic rýže, zatímco vyšší hladiny inhibují růst a vedou ke kompartmentaci buněčné stěny [115]. U pšenice byly REE spojeny s růstem a výnosem plodiny, přičemž jejich akumulace závisí na koncentraci v hnojivech a na vlastnostech půdy [116–118]. Makroskopické houby, často konzumované jako

potraviny, vykazují schopnost akumulace REE [119], přičemž jejich obsah v plodnicích závisí na geochemickém složení půdy, pH a organickém obsahu. Nejvyšší koncentrace REE (včetně gadolinia) byla zjištěna v kloboucích hub [120, 121]. Vzhledem k možným důsledkům pro lidské zdraví se mnoho publikací zaměřuje na akumulaci toxických a radioaktivních prvků v houbách, které obsahují minerály nezbytné pro lidskou výživu [122, 123]. Výzkum na dalších rostlinách, včetně zeleniny, ukazuje přítomnost REE hlavně v podzemních částech, přičemž biologická dostupnost závisí na pH půdy, což může ovlivnit jejich přítomnost v potravinách [124]. Analýzy REE ve vínech jsou nejčastěji prováděny z důvodu autentifikace vín a určení jejich geografického původu [125, 126].

I když neexistují potvrzené případy otravy člověka prostřednictvím potravinového řetězce [127], stále se objevují obavy ohledně dlouhodobých účinků expozice nízkým hladinám REE na lidské zdraví, protože se tyto prvky akumulují v krvi, mozku a kostech po vstupu do lidského těla [128]. Předchozí studie ukázaly, že vysoké úrovně expozice REE mohou být spojeny se zdravotními problémy, jako je snížená funkce jater [129]. Kromě toho může být expozice REE při práci a v životním prostředí pro lidské zdraví také riziková [130]. Dosud je k dispozici pouze omezené množství informací o tom, jaký vliv má příjem REE z potravy na lidské zdraví [110].

# EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

## 3 PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ

### 3.1 Přehled přístrojového vybavení

- Hmotnostní spektrometr s ionizací v indukčně vázaném plazmatu s průletovým analyzátozem a ortogonální akcelerací iontů (oaTOF-ICP-MS spektrometr) OptiMass 9500 (GBC Scientific Equipment, Austrálie)
- Optický emisní spektrometr s buzením v indukčně vázaném plazmatu (ICP-OES spektrometr) Integra 6000 (GBC Scientific Equipment, Austrálie)
- Mikrovlnné rozkladné zařízení Speedwave XPERT (Berghof, Německo)
- Podvarové destilační zařízení distillacid BSB-939-IR (Berghof, Německo)
- Zařízení pro přípravu ultra-čisté vody Ultra Clear GP TWF UV UF TM (vodivost 0,07  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Evoqua Water Technologies, Německo)
- Odstředivka Eppendorf Centrifuge 5804 R (Eppendorf, Německo)
- Odstředivka Thermo Heraeus Multifuge 1SR (Thermo Fisher Scientific, USA)
- Autokláv Systec DE-23 (Systec, Německo)
- Čtečka mikrodestiček Tecan Infinite F200 (Tecan, Švýcarsko)
- Laboratorní inkubátor CLN115 (POL-EKO, Polsko)
- Sterilní skříň MSC Advantage, EN 12469:200, třída II (Thermo Fisher Scientific, USA)
- Třepačka pro mikrotitrační destičky IKA MTS 2/4 digital (IKA-Werke, Německo)
- pH metr FiveEasy Plus FP20 pH/mV (Mettler Toledo, ČR)
- Laboratorní váhy VIBRA SA-120CE (Shinko Denshi Co., Japonsko)
- Laboratorní váhy Precisa BJ 1000C (Precisa, Švýcarsko)
- Laboratorní sušárna UM 400 (Memmert, Německo)
- Vícepolohová magnetická míchadla Labomag (SHP Steriltechnik AG, Německo)

### 3.2 oaTOF-ICP-MS spektrometr OptiMass 9500

Pro ultra-stopovou analýzu vzorků potravin a referenčního materiálu byl použit hmotnostní spektrometr OptiMass 9500. Přístroj pracuje na principu buzení v indukčně vázaném plazmatu s ortogonální akcelerací iontů a průletovým analyzátozem (viz obrázek 6). Součástí přístroje jsou: systém pro vnášení vzorků, zdroj indukčně vázaného plazmatu, interface a hmotnostní spektrometr. Nasávání vzorku probíhá pomocí peristaltické pumpy a dále je vzorek zmlžován (tvorba aerosolu) v koncentrickém zmlžovači. Aerosol je zbaven velkých kapek ve vodou chlazené dvouplášťové mlžné komoře. Do indukčně vázaného plazmového zdroje, kde se odpařuje rozpouštědlo, dochází k destrukci vzorku a vzniku převážně jedenkrát ionizovaných iontů, je vnášena pouze jemná část aerosolu. Interface, který zajišťuje extrakci iontů z vysokoteplotního plazmatu (atmosférický tlak) do spektrometru (vakuum) je tvořen třemi kužely (tříkónusovým systémem). Snižování tlaku mezi těmito prostředními zajišťuje rotační pumpa a tři výkonné turbomolekulární pumpy. V první fokusační zóně spektrometru se nachází brána „Smart Gate“. Jejím úkolem je filtrovat všechny nežádoucí izotopy z analyzovaného spektra, čímž snižuje pozadí hmotnostního spektra a prodlužovat životnost detektoru. V rámci použitých metod byly z detekce vyloučeny nežádoucí rozsahy  $m/z$ : 5–87,8; 91,5–112; 118–137,3; 179–260. Ionty procházející filtrem pokračují průletovou zónou. Zde jsou iontovým reflektorem odraženy a směřovány na detektor. Přístroj umožňuje vysokou citlivost a selektivitu při analýze ultra-stopových koncentrací kovů v biologických a potravinářských vzorcích [131–133].

Tabulka 6 zobrazuje přístrojové parametry nastavení oaTOF-ICP-MS spektrometru OptiMass 950, které byly optimalizovány pro zvolené typy vzorků analyzované v této práci, aby byla zajištěna vysoká přesnost a citlivost měření.

**Tabulka 6** Parametry nastavení oaTOF-ICP-MS spektrometru pro analýzu vzorků

| Parametr                     | Hodnota                | Parametr              | Hodnota                  |
|------------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Příkon plazmatu              | 1200 W                 | Průtok vnějšího plynu | 0,55 L min <sup>-1</sup> |
| Průtok plazmového plynu      | 12 L min <sup>-1</sup> | Průtok nosného plynu  | 0,91 L min <sup>-1</sup> |
| Napětí na detektoru          | 2500 V                 | Doba akvizice signálu | 5 s                      |
| Rychlost peristaltické pumpy | 10 rpm                 | Repliky               | 3                        |
| Skimmer 1                    | Ni/Cu 1,0 mm           | Sampler               | Ni 1,0 mm                |
| Skimmer 2                    | Cr-Ni ocel 1,0 mm      |                       |                          |

Limity stanovitelnosti (LOQ) a limity detekce (LOD) jak instrumentální, tak metodické, byly definovány a shrnuty v tabulce 7 společně s izotopy REE zvolenými pro ICP-MS analýzu. Instrumentální LOD byly vypočteny jako koncentrace odpovídající trojnásobku směrodatné odchylky šumu pro nejnižší kalibrační standard. Hodnoty LOD metody byly odvozeny z instrumentálních LOD, vynásobených faktorem ředění vzniklým při přípravě vzorku. LOQ byly vypočteny jako koncentrace odpovídající desetinásobku směrodatné odchylky šumu nejnižšího kalibračního standardu. Instrumentální LOD získané v této práci jsou srovnatelné s hodnotami uváděnými v australské studii, která se zaměřila na kvantifikaci REE ve vzorcích rýže pomocí ICP-MS, což potvrzuje kvalitu použité metodiky [111].

*Tabulka 7 Vybrané izotopy pro ICP-MS analýzu, jejich instrumentální limity detekce, limity detekce a stanovitelnosti metod*

| <b>Izotop</b>     | <b>LOD<sub>I-PP</sub></b><br><b>(ng L<sup>-1</sup>)</b> | <b>LOD<sub>I-KP</sub></b><br><b>(ng L<sup>-1</sup>)</b> | <b>LOD<sub>M-PP</sub></b><br><b>(μg kg<sup>-1</sup>)</b> | <b>LOD<sub>M-KP</sub></b><br><b>(μg L<sup>-1</sup>)</b> | <b>LOQ<sub>M-PP</sub></b><br><b>(mg kg<sup>-1</sup>)</b> | <b>LOQ<sub>M-KP</sub></b><br><b>(μg L<sup>-1</sup>)</b> |
|-------------------|---|---|--|---|--|---|
| <sup>139</sup> La | 0,54  | 0,54  | 0,138  | 0,005   | 0,0005   | 0,017   |
| <sup>140</sup> Ce | 0,42  | 0,33  | 0,108  | 0,003   | 0,0004   | 0,010   |
| <sup>141</sup> Pr | 0,36  | 0,15  | 0,091  | 0,001   | 0,0003   | 0,003   |
| <sup>146</sup> Nd | 0,48  | 0,54  | 0,122  | 0,005   | 0,0004   | 0,017   |
| <sup>147</sup> Sm | 0,74  | 0,79  | 0,190  | 0,008   | 0,0006   | 0,027   |
| <sup>153</sup> Eu | 0,34  | 0,40  | 0,086  | 0,004   | 0,0003   | 0,013   |
| <sup>158</sup> Gd | 0,38  | 0,44  | 0,098  | 0,004   | 0,0003   | 0,013   |
| <sup>159</sup> Tb | 0,12  | 0,10  | 0,031  | 0,001   | 0,0001   | 0,003   |
| <sup>163</sup> Dy | 0,35  | 0,38  | 0,088  | 0,004   | 0,0003   | 0,013   |
| <sup>165</sup> Ho | 0,12  | 0,30  | 0,030  | 0,003   | 0,0001   | 0,010   |
| <sup>166</sup> Er | 0,14  | 0,40  | 0,035  | 0,004   | 0,0001   | 0,013   |
| <sup>169</sup> Tm | 0,24  | 0,14  | 0,062  | 0,001   | 0,0002   | 0,003   |
| <sup>173</sup> Yb | 0,33  | 0,38  | 0,084  | 0,004   | 0,0003   | 0,013   |
| <sup>175</sup> Lu | 0,10  | 0,14  | 0,026  | 0,001   | 0,0001   | 0,003   |

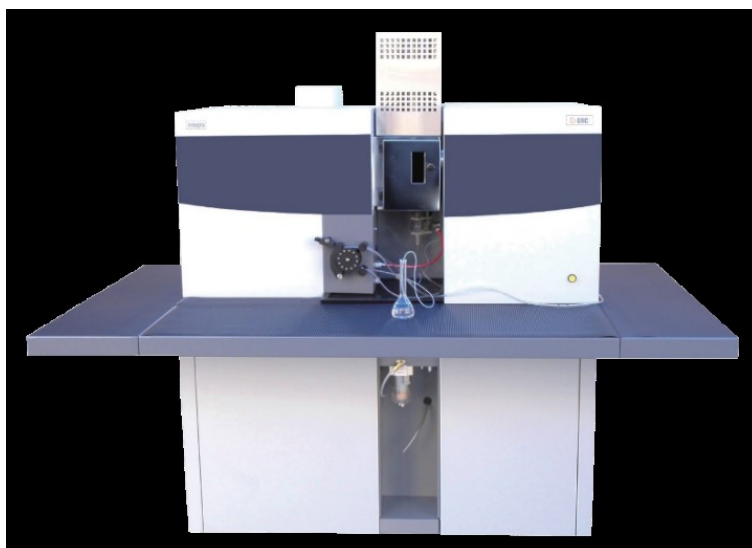
**LOD<sub>I-PP</sub>** – instrumentální limit detekce pevných potravin (mouka, rýže, mrkev), **LOD<sub>I-KP</sub>** – instrumentální limit detekce kapalných potravin (víno), **LOD<sub>M-PP</sub>** – limit detekce metody pevných potravin (mouka, rýže, mrkev), **LOD<sub>M-KP</sub>** – limit detekce metody kapalných potravin (víno), **LOQ<sub>M-PP</sub>** – limit stanovitelnosti metody pevných potravin (mouka, rýže, mrkev), **LOQ<sub>M-KP</sub>** – limit stanovitelnosti metody kapalných potravin (víno)



**Obrázek 6** *oaTOF-ICP-MS spektrometr OptiMass 9500 [131]*

### **3.3 ICP-OES spektrometr Integra 6000**

Analýza obsahu Gd ve vzorcích odpadních ampulí GdCA byla provedena pomocí optického emisního spektrometru s buzením v indukčně vázaném plazmatu Integra 6000, vzhledem k předpokládaně vyšším koncentracím Gd v tomto typu vzorků. ICP-OES spektrometr je zobrazen na obrázku 7.



**Obrázek 7** *ICP-OES spektrometr Integra 6000 [134]*

Mezi části systému pro vnášení vzorků patří peristaltická pumpa, skleněná cyklonická mlžná komora a pneumatický zmlžovač. Dávkování vzorku do pneumatického zmlžovače (tvorba

jemného aerosolu) probíhá prostřednictvím peristaltické pumpy. Odstranění velkých kapek z aerosolu probíhá ve skleněné cyklonické mlžné komoře a následně je upravený jemný aerosol nosným plynem vnášen do argonového indukčně vázaného plazmatu. Volně běžící vysokofrekvenční generátor plazmatu s frekvencí 40,68 MHz a maximálním výkonem 1500 W formuje plazma, ve kterém dochází k odpaření rozpouštědla, atomizaci vzorku, ionizaci na jedenkrát ionizované ionty a extrakci valenčních elektronů. Do proudu argonu (99,999 %) je přenos vysokofrekvenčního proudu zabezpečen měděnou cívkou se třemi závity chlazenou vodou. Monochromátor typu Czerny-Turner, argonem proplachovaný a termicky stabilizovaný, je optickou jednotkou spektrometru. Monochromátor pracuje v rozsahu vlnových délek 160 až 800 nm s hustotou 1800 vrypy/mm. V celém rozsahu spektra je dosažena optimální citlivost díky přítomnosti dvou fotonásobičů v detekčním systému. Selektivita a citlivost přístroje jsou vysoké, naopak meze detekce nízké (1–10  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) [133, 134].

V tabulce 8 jsou uvedeny parametry nastavení pro měření na ICP-OES spektrometru Integra 6000 pro účel analýzy oplachových vod z odpadních obalů GdCA po aplikaci kontrastní látky pacientům při MRI vyšetření. Pro kvantifikaci Gd byly využity nejcitlivější spektrální čáry na vlnových délkách 342,247 nm (s korekcí pozadí +0,0382 nm) a 336,223 nm (s korekcí pozadí +0,0376 nm), které vykazovaly minimální interference s jinými prvky. Limit detekce metody byl stanoven na 0,006  $\text{mg L}^{-1}$ . Tato hodnota dokládá schopnost metody detekovat i velmi nízké koncentrace Gd.

**Tabulka 8** Parametry nastavení ICP-OES spektrometru Integra 6000 pro analýzu GdCA

| <b>Parametr</b>         | <b>Hodnota</b>           | <b>Parametr</b>   | <b>Hodnota</b> |
|-------------------------|--------------------------|-------------------|----------------|
| Příkon plazmatu         | 1000 W                   | Rychlost pumpy    | 10 rpm         |
| Výška pozorování        | 5 mm                     | Odečítání signálu | 1 s            |
| Průtok plazmového plynu | 10 $\text{L min}^{-1}$   | Korekce pozadí    | 0,0376 nm      |
| Průtok vnějšího plynu   | 0,4 $\text{L min}^{-1}$  | Počet opakování   | 3              |
| Průtok nosného plynu    | 0,52 $\text{L min}^{-1}$ |                   |                |

### 3.4 Mikrovlnné zařízení Speedwave XPERT

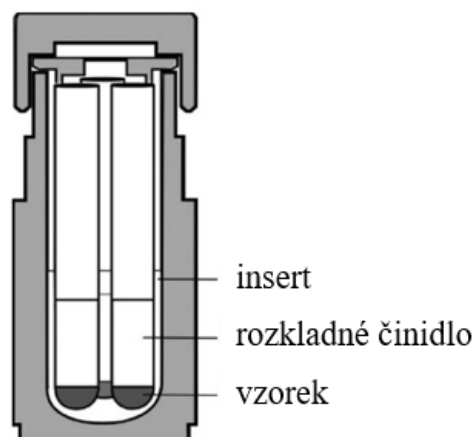
Uzavíratelné mikrovlnné zařízení s fokusovaným mikrovlnným polem Speedwave XPERT (obrázek 8) bylo využito pro účely mikrovlnné mineralizace vzorků pevných potravin (mouka, rýže, mrkev) a referenčního materiálu pro kontrolu kvality analytických výsledků za vysoké

teploty a tlaku. Součástí zařízení je kruhová pec potažena PFA (perfluoralkoxy) teflonem s karuselem a možností vložení osmi rozkladných nádob z PTFE (polytetrafluoroethylen) teflonu o objemu 100 mL, které jsou odolné vůči teplotě 260 °C a tlaku 130 barů. Během rozkladu je ve všech nádobách zajištěna kontrola teploty v rozmezí 50–300 °C a tlaku 0–150 barů.



**Obrázek 8** Mikrovlnné zařízení Speedwave EXPERT [135]

Systém Multi-Tubes (obrázek 9) lze využít v kombinaci s nádobami typu DAC-100S nebo DAK-100X při rozklad velmi malých množství vzorků. Při využití tohoto systému se do PFA nádoby vkládají jeden až tři inserty (teflonové nádobky) s objemem 10 mL. Rozkladné činidlo se přidává do insertů spolu se vzorkem. Vnitřek PFA nádoby se naplní zvoleným činidlem tak, aby jeho hladina byla vyšší než v insertech [132, 135].



**Obrázek 9** Schéma systému Multi-Tubes pro nádoby DAC-100S [132]

Parametry nastavení mineralizace vzorků pevných potravin a referenčních materiálů pomocí mikrovlnného zařízení Speedwave EXPERT vycházejí z předchozích zkušeností pracoviště a shrnuje je tabulka 9 [133].

**Tabulka 9** Parametry nastavení pro mineralizaci vzorků pevných potravin a referenčních materiálů za využití mikrovlnného zařízení Speedwave EXPERT [133]

| Krok | T (°C) | p (bar) | Nárůst (min) | Držení (min) | P (%) |
|------|--------|---------|--------------|--------------|-------|
| 1    | 170    | 50      | 5            | 10           | 30    |
| 2    | 200    | 75      | 5            | 10           | 30    |
| 3    | 50     | 75      | 0            | 30           | 0     |
| 4    | 50     | 40      | 0            | 0            | 0     |
| 5    | 50     | 40      | 0            | 0            | 0     |

**p** – tlak, **P** – využitý výkon, **T** – teplota

## 4 MATERIÁLY A VZORKY

### 4.1 Chemikálie, testovací organismy a příprava roztoků

- Multielementární kalibrační standard M 008:  $20 \pm 0,02 \text{ mg L}^{-1}$  Dy, Er, Eu, Gd, Ho, Lu, Sm, Tb, Tm, Yb a  $100 \pm 0,02 \text{ mg L}^{-1}$  Ce, La, Nd, Pr (Analytika, ČR)
- Jednoprvkové kalibrační standardy  $1.000 \pm 0,002 \text{ g L}^{-1}$ : Gd, In (SCP Science, Kanada)
- Chemikálie pro přípravu kultivačního média:  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ;  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaHCO}_3$  (p.a., LachNer, ČR; SCP Science, Kanada; Merck, Německo)
- Injekční roztoky kontrastních látek: Gadovist (gadobutrol,  $1 \text{ mmol mL}^{-1}$ , Bayer Pharma AG, Německo), Dotarem (kyselina gadoterová,  $279,32 \text{ mg mL}^{-1}$ , Guerbet, USA), ProHance (gadoteridol,  $279,3 \text{ mg mL}^{-1}$ , Bracco, Německo), MultiHance (gadobenát-dimeglumin,  $529 \text{ mg mL}^{-1}$ , Bracco, Německo)
- $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  p.a. (Sigma Aldrich, USA)
- Zásobní roztok  $100 \text{ mg L}^{-1}$  3,5-dichlórfenol (DCP) (Merck, Německo)
- Referenční materiály: GBW 10052 Green Tea (GBW, Čína), GBW 07603 Bush Twigs and Leaves (GBW, Čína)
- 65% kyselina dusičná, p.p. (Lach-Ner, s.r.o., ČR)
- 96% ethanol, p.a. (Lach-Ner, s.r.o., ČR)
- 30% peroxid vodíku, pro ultrastopovou analýzu (Sigma-Aldrich, Německo)
- Roztoky pro úpravu pH  $1 \text{ mmol L}^{-1}$ : kyselina chlorovodíková (HCl), hydroxid sodný (NaOH)
- Testovací organismy: *Chlorella vulgaris*, *Raphidocelis subcapitata*, *Daphnia magna* (Department of Medical Technology, Faculty of Life Sciences, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW), Německo)

#### 4.1.1 Živné médium pro kultivaci

Složení živného média DIN pro test inhibice růstu sladkovodních zelených řas (AGI test) je uvedeno v tabulce 10 a bylo připraveno podle normy EN ISO 8692:2012 [136]. Měřením bylo určeno pH a dle potřeby upraveno na hodnotu  $8,1 \pm 0,2$  za použití roztoků HCl ( $1 \text{ mmol L}^{-1}$ ) nebo NaOH ( $1 \text{ mmol L}^{-1}$ ).

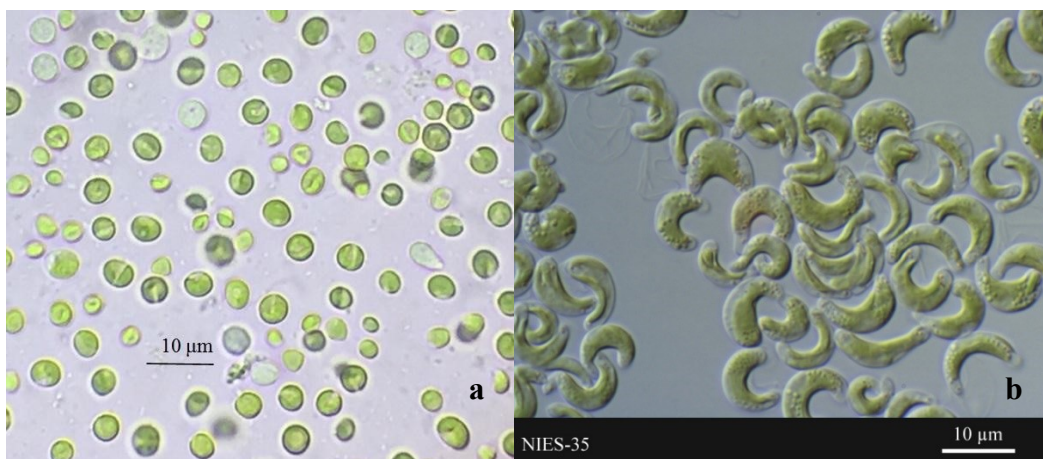
**Tabulka 10** Zásobní roztoky pro přípravu DIN média dle normy EN ISO 8692:2012 [136]

| Zásobní roztok        | Živina  | CZR                     | CAGI                    |
|-----------------------|---|-------------------------|-------------------------|
| 1. makrosložky        | NH <sub>4</sub> Cl                                  | 1,5 g L <sup>-1</sup>   | 15 mg L <sup>-1</sup>   |
|                       | MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O                | 1,2 g L <sup>-1</sup>   | 12 mg L <sup>-1</sup>   |
|                       | CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O                | 1,8 g L <sup>-1</sup>   | 18 mg L <sup>-1</sup>   |
|                       | MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O                | 1,5 g L <sup>-1</sup>   | 15 mg L <sup>-1</sup>   |
|                       | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>                     | 0,16 g L <sup>-1</sup>  | 1,6 mg L <sup>-1</sup>  |
| 2. Fe-EDTA            | FeCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O                | 64 mg L <sup>-1</sup>   | 64 µg L <sup>-1</sup>   |
|                       | Na <sub>2</sub> EDTA·2H <sub>2</sub> O              | 100 mg L <sup>-1</sup>  | 100 µg L <sup>-1</sup>  |
| 3. stopové prvky      | H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                      | 185 mg L <sup>-1</sup>  | 185 µg L <sup>-1</sup>  |
|                       | MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O                | 415 mg L <sup>-1</sup>  | 415 µg L <sup>-1</sup>  |
|                       | ZnCl <sub>2</sub>                                   | 3 mg L <sup>-1</sup>    | 3 µg L <sup>-1</sup>    |
|                       | CoCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O                | 1,5 mg L <sup>-1</sup>  | 1,5 µg L <sup>-1</sup>  |
|                       | CuCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O                | 0,01 mg L <sup>-1</sup> | 0,01 µg L <sup>-1</sup> |
|                       | Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O | 7 mg L <sup>-1</sup>    | 7 µg L <sup>-1</sup>    |
| 4. NaHCO <sub>3</sub> | NaHCO <sub>3</sub>                                  | 50 g L <sup>-1</sup>    | 50 mg L <sup>-1</sup>   |

CZR – koncentrace zásobních roztoků, CAGI – konečná koncentrace ve zkoušeném roztoku

#### 4.1.2 Testovací organismy – sladkovodní zelené mikrořasy

Sladkovodní zelené mikrořasy *Chlorella vulgaris* (CV) a *Raphidocelis subcapitata* (RS), také známá jako *Pseudokirchneriella subcapitata*, zobrazeny na obrázku 10, byly vybrány jako testovací organismy pro účely AGI testu dle normy EN ISO 8692:2012 [136] pro sloučeniny Gd (GdCA a Gd(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>). Tyto mikrořasy jsou primárními producenty a klíčovými organismy v potravním řetězci [137], a proto jsou vhodnými zástupci pro testování vlivu Gd na růst sladkovodních zelených mikrořas.



**Obrázek 10** Mikrořasy *Chlorella vulgaris* (a) [138] a *Raphidocelis subcapitata* (b) [139]

Předkultivace mikrořas pro AGI test byla vždy provedena podle normy EN ISO 8692:2012, dva až čtyři dny před začátkem testu. Ve sterilní skříní bylo 100 ml růstového média DIN (ve 250ml Erlenmayerově baňce) inokulováno 1 mL husté kmenové kultury CV nebo RS (asi tři měsíce stará). Následně byla předkultura umístěna do inkubátoru při teplotě 20 °C na magnetickou míchačku až do zahájení testu. V den testu byly kultury CV a RS převedeny do 50ml zkumavek, odstředěny v odstředivce (10 000 x g, 20 min, 20 °C) a eluáty byly odstraněny pipetou. Následně byla změřena hustota buněk pomocí čtečky mikrodestiček Tecan, která změřila fluorescenci (vlnová délka excitace 465 nm, emisní vlnová délka 680 nm). Podle potřeby byla kultura ředěna DIN médiem na požadovanou hustotu pro test, která nesměla přesáhnout hustotu  $10^4$  buněk  $\text{mL}^{-1}$  [136].

#### 4.1.3 Roztoky $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3$ a kontrastních látek na bázi gadolinia

Pro účely AGI testu byly použity roztoky  $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3$  a GdCA, konkrétně Gadovist (gadobutrol), Dotarem (kyselina gadoterová), ProHance (gadoteridol) a MultiHance (gadobenát-dimeglumin). Nejprve byly připraveny roztoky  $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  a GdCA o koncentraci  $5 \text{ g L}^{-1} \text{ Gd}^{3+}$ . Následně byla připravena koncentrační řada o koncentracích 0,01; 0,1; 1; 10 a  $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ Gd}^{3+}$ , a to za použití sterilní ultra-čisté vody. Tato koncentrační řada byla proměřena pH metrem a pH bylo dle potřeby upraveno na požadovanou hodnotu  $8,1 \pm 0,2$  za použití roztoků HCl ( $1 \text{ mmol L}^{-1}$ ) nebo NaOH ( $1 \text{ mmol L}^{-1}$ ).

#### 4.1.4 Kalibrační roztoky

Příprava kalibračních standardů pro ICP-MS a ICP-OES analýzy vzorků potravin a GdCA byla provedena za použití komerčně dostupných kalibračních standardů. Byly použity multielementární kalibrační standard M 008 o koncentraci 100 mg L<sup>-1</sup> prvků „A“ (Ce, La, Nd, Pr) a 20 mg L<sup>-1</sup> prvků „B“ (Dy, Er, Eu, Gd, Ho, Lu, Sm, Tb, Tm, Yb) a jednoprvkové kalibrační standardy Gd a In o koncentraci 1 g L<sup>-1</sup>.

Pro ICP-MS analýzu vzorků potravin byly připraveny multielementární kalibrační roztoky obsahující 10; 5; 1; 0,5; 0,1; 0,05; 0,01 µg L<sup>-1</sup> prvků „A“ a 2; 1; 0,2; 0,1; 0,02; 0,01; 0,002 µg L<sup>-1</sup> prvků „B“. Vnitřní standard indium o koncentraci 1 µg L<sup>-1</sup> byl ve všech pracovních roztocích (slepé pokusy, kalibrační roztoky a vzorky). Pro analýzu vzorků vína byla připravena kalibrační řada a slepý pokus s přidavkem 96% ethanolu s konečným obsahem 1,4 % ethanolu v roztoku, což odpovídá odhadovanému obsahu ethanolu v desetkrát zředěných vzorcích vína pro analýzu (1,2–1,4 % ethanolu). K přípravě slepých pokusů a standardních roztoků byla použita ultra-čistá voda.

Pro ICP-OES analýzu obsahu Gd v odpadních GdCA byla zvolena koncentrační řada kalibračních roztoků na 10; 5; 1; 0,1; 0,01 mg L<sup>-1</sup> Gd. Všechny kalibrační roztoky byly doplněny ultra-čistou vodou.

#### 4.1.5 Roztok 2M HNO<sub>3</sub>

Z podvarově destilované 65% HNO<sub>3</sub> byla připravena 2M HNO<sub>3</sub> (140 mL 65% HNO<sub>3</sub> se doplnilo na objem 1000 mL ultra-čistou vodou). Roztok byl použit k loužení veškerého laboratorního nádobí po dobu alespoň 24 hodin. Následně bylo nádobí třikrát promyto ultra-čistou vodou a vysušeno.

## 4.2 Vzorky a jejich úprava před analýzou

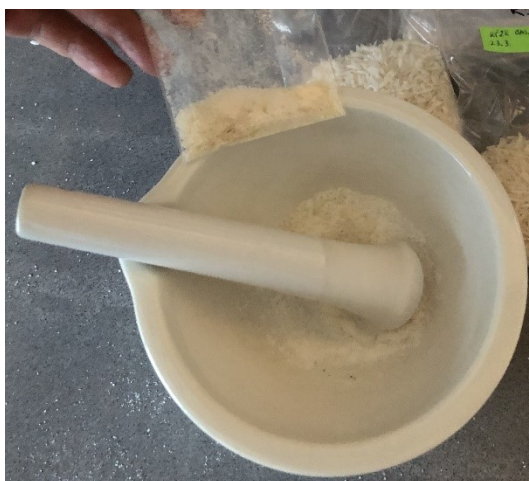
### 4.2.1 Potraviny

Pro účely sledování obsahu Gd antropogenního původu v potravinách běžně konzumovaných lidmi byly zvoleny 4 typy vzorků, a to 3 typy pevných potravin, konkrétně mouka (pšeničná, žitná, špaldová), rýže a mrkev a 1 typ kapalné potraviny, konkrétně víno (bílé, růžové a červené).

Celkem bylo odebráno 225 vzorků pevných potravin, a to 120 vzorků mouky (82 mouka pšeničná, 10 mouka špaldová, 20 mouka žitná), 65 vzorků rýže a 40 vzorků mrkve. Mouka

pocházela především z České republiky (> 70 %), Slovenska a několik vzorků z Itálie, Izraele a Německa. Rýže pocházela hlavně z Itálie, Myanmaru a Pákistánu, méně vzorků pocházelo z Vietnamu, Thajska, Polska, Kambodže, Guyany, Číny a Indie, 28 % vzorků bylo bez určení země původu. Mrkev byla převážně z České republiky (> 60 %), dále Slovenska, Itálie, Polska a Nizozemska. Vzorky byly zakoupeny v obchodech a supermarketech, několik vzorků mrkve pocházelo ze soukromých zahrad. V příloze A lze najít seznam všech použitých vzorků pevných potravin pro ICP-MS analýzu, jejich název, původ a podrobnější informace.

Vzorky rýže byly před rozkladem mikrovlnným zářením rozdrceny na prášek v hmoždíři (viz obrázek 11). Vzorky mrkve byly omyty, nakrájeny keramickým nožem a následně sušeny v laboratorní sušárně při teplotě 105 °C po dobu 48 hodin. Sušina byla stanovena jako poměr hmotnosti vysušeného vzorku k hmotnosti toho čerstvého. Vzorky mouky se již před rozkladem neupravovaly. Vzorky byly skladovány v plastových sáčkích na suchém a temném místě při pokojové teplotě.



**Obrázek 11** Drcení vzorku rýže na prášek v hmoždíři

Za využití mikrovlnného zařízení Speedwave XPERT byly rozloženy všechny typy vzorků pevných potravin. Rozklad proběhl v nádobách DAC-100S se systémem Multi Tube. Ve třech replikách bylo zpracováno 0,1 g vzorku v 65% podvarové  $\text{HNO}_3$  (3 mL) a 30%  $\text{H}_2\text{O}_2$  (0,5 mL) v 10mL PFA zkuševkách (insertech) a vloženo do teflonových rozkladných nádob. Do nádob bylo přidáno 20 mL 65%  $\text{HNO}_3$ , aby byla zajištěna vyšší hladina kapaliny v nádobách než v zkuševkách. Parametry nastavení mikrovlnného rozkladu jsou uvedeny v tabulce 9. Finální objem vzorků byl 25 mL a mineralizáty byly skladovány v polyetylenových (PE) lahvičkách bez dalšího ředění před analýzou.

Soubor vzorků kapalných potravin obsahoval celkem 200 vzorků tichých vín, konkrétně 131 bílých, 18 růžových a 51 červených vín. Vína pocházela z největší části z České republiky (75 %), dále pak jednotky vzorků pocházely z Rumunska, Francie, Maďarska, Slovenska a Rakouska. Vína z České republiky byly z 92 % z vinařské oblasti Morava a z 8 % z vinařské oblasti Čechy. U 38 vzorků nebyl známý původ. Vzorky byly získány na vinném festivalu v Pardubicích a Hradci Králové a několik vzorků pocházelo přímo z vinných sklepů soukromých vinařství. Moštové odrůdy zahrnovaly širokou škálu 31 různých odrůd, doplněnou o vzorky vín typu cuvée (směsi několika odrůd). Detailnější informace o vzorcích vín jsou sepsány v příloze B. Vzorky vín byly odebrány a následně skladovány ve 100mL polyethylenových lahvičkách v mrazícím boxu při teplotě  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Před ICP-MS analýzou byly vzorky rozmrazeny, vytemperovány na pokojovou teplotu a zředěny desetkrát ultra-čistou vodou.

#### **4.2.2 Kontrastní látky na bázi gadolinia**

Bilance hmotnostního toku GdCA na pracovištích s MRI službami byla provedena oslovením tří takových pracovišť ve východočeském regionu (Pardubice, Hradec Králové), konkrétně Oddělení Magnetické rezonance v Nemocnici Pardubického kraje, a.s., Radiologické centrum Multiscan, s.r.o. v Pardubicích a Radiologická klinika Fakultní nemocnice Hradec Králové. V průběhu listopadu 2021 na těchto pracovištích probíhal sběr odpadních ampulí po aplikaci kontrastní látky pacientům a zároveň dotazníkové šetření pro následnou bilanci. Dotazník je uveden v tabulce 11. Získané odpadní GdCA ampule byly následně skladovány v temné místnosti, v nádobách na nebezpečný odpad, při pokojové teplotě.

*Tabulka 11 Dotazník pro vybraná MRI pracoviště*

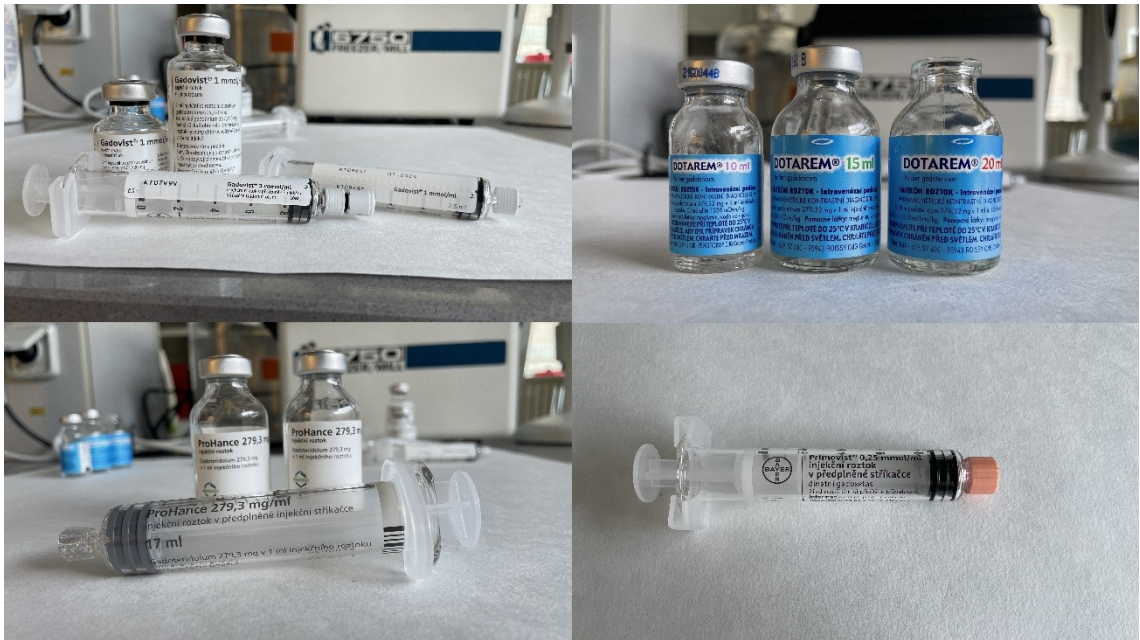
| <b>Otázka</b>  |
|--|
| 1. Název a místo MRI pracovišť                                   |
| 2. Jaké GdCA používáte   |
| 3. Kolik průměrně GdCA nakoupíte za 1 měsíc?                     |
| 4. Průměrně kolik MRI vyšetření provedete za 1 měsíc?            |
| 5. Průměrně kolik z těchto vyšetření je za použití GdCA?         |
| 6. Jaká je obvyklá dávka GdCA na 1 pacienta?                     |
| 7. Průměrně kolik odpadu (ampulí s GdCA) vyprodukuje za 1 měsíc? |
| 8. Jak a kde se tohoto odpadu zbavujete?                         |

Získané odpady byly dále roztřízeny a spočteny dle názvu kontrastní látky, druhu obalu a objemu zbylé GdCA. Výčet a rozdělení odpadních ampulí je shrnut v tabulce 12 a obrázek 12 zobrazuje vybrané obaly sesbíraných GdCA. Mezi sesbíranými vzorky byly tyto GdCA: Gadovist 1 mmol mL<sup>-1</sup> (gadobutrol), Dotarem 0,5 mmol mL<sup>-1</sup> (kyselina gadoterová), ProHance 279,3 mg mL<sup>-1</sup> (gadoteridol), Primovist 0,25 mmol mL<sup>-1</sup> (dinatrium-gadoxetát) a Clariscan 0,5 mmol mL<sup>-1</sup> (gadoterát-meglumin). Pomocí injekční stříkačky byl z ampulí se zjevným obsahem GdCA zbylý objem nasán a kvantitativně převeden do jednotlivých označených PE zásobních lahví, zvlášť pro každý druh GdCA. Takto získané GdCA byly uchovávány v lednici při teplotě 4 °C.

**Tabulka 12** Výčet roztřízených odpadních ampulí GdCA z vybraných MRI pracovišť

| Název GdCA                                     | Objem GdCA (mL) | Typ obalu | Počet (ks) |           |       |        |                |               |
|--|-----------------|-----------|------------|-----------|-------|--------|----------------|---------------|
|  |                 |           | NPK        | Multiscan | FN HK | Celkem | Z toho prázdné | Z toho s GdCA |
| <b>Gadovist</b><br>1 mmol mL <sup>-1</sup>     | 7,5             | S         | 19         | 58        | 58    | 135    | 107            | 28            |
|  | 10              | S         | 22         | 45        | 58    | 125    | 89             | 36            |
|  | 15              | L         | 6          | 5         | 16    | 27     | 1              | 26            |
|  | 30              | L         | -          | -         | 15    | 15     | 0              | 15            |
| <b>Dotarem</b><br>0,5 mmol mL <sup>-1</sup>    | 10              | L         | 13         | -         | -     | 13     | 1              | 12            |
|  | 15              | L         | 6          | -         | -     | 6      | 0              | 6             |
|  | 20              | L         | 9          | 1         | -     | 10     | 2              | 8             |
| <b>ProHance</b><br>279,3 mg mL <sup>-1</sup>   | 10              | L         | 5          | -         | -     | 5      | 0              | 5             |
|  | 17              | S         | 5          | -         | -     | 5      | 0              | 5             |
|  | 20              | L         | 9          | -         | 8     | 17     | 1              | 16            |
| <b>Primovist</b><br>0,25 mmol mL <sup>-1</sup> | 10              | S         | 8          | 31        | 7     | 46     | 39             | 7             |
| <b>Clariscan</b><br>0,5 mmol mL <sup>-1</sup>  | 15              | L         | -          | -         | 3     | 3      | 3              | 0             |

FN HK – Fakultní nemocnice Hradec Králové, GdCA – kontrastní látka na bázi gadolinia, L – lahvička, NPK – Nemocnice Pardubického kraje, S – stříkačka



*Obrázek 12 Vybrané druhy sesbíraných kontrastních látek na bázi gadolinia (Gadovist, Dotarem, ProHance, Primovist)*

### 4.3 Referenční materiály

Ověření přesnosti a správnosti analytických výsledků proběhlo použitím certifikovaných referenčních materiálů (CRM) GBW 10052 Green Tea a GBW 07603 Bush Twigs and Leaves (GBW, Čína). V obou případech šlo o jemný zelený prášek. Referenční materiály byly vždy ve třech replikách mineralizovány a následně upraveny před ICP-MS analýzou shodným způsobem jako vzorky pevných potravin.

## 5 EXPERIMENTÁLNÍ POSTUPY

### 5.1 Optimalizace a validace metod

Optimalizace a validace analytických metod jsou klíčovými kroky při zajištění spolehlivých a přesných výsledků, zejména u techniky ICP-MS, která je citlivá na provozní podmínky a vyžaduje pravidelné zařazení prvků řízení jakosti. Validace metod umožňuje prokázat, že používané postupy poskytují spolehlivé údaje, zatímco optimalizace zajišťuje vhodné pracovní podmínky s nejnižšími možnými detekčními limity pro konkrétní analýzu. Kapitola je věnována úpravám postupů pro stanovení Gd a dalších REE a jejich kvantifikaci ve složitých maticích, přičemž hlavním cílem je zajistit maximální reprodukovatelnost a přesnost analytických výsledků při nízkých detekčních limitech.

#### 5.1.1 Ověření spolehlivosti ICP-MS a ICP-OES metod

Zvolenou ICP-MS metodu bylo nutné ověřit z hlediska spolehlivosti, protože tato technika vyžaduje vyšší pozornost při provozu a častější začleňování prvků řízení jakosti (například recalibrace). Vyvinutá metoda ICP-MS byla ověřena použitím CRM, konkrétně GBW 10052 Green Tea a GBW 07603 Bush Twigs and Leaves pro všechny sledované prvky. Příprava CRM (ve třech replikách) pro analýzu se shodovala s přípravou vzorků pevných potravin. Pro zajištění přesnosti a správnosti analýzy byl do všech pracovních roztoků přidán vnitřní standard indium o koncentraci  $1 \mu\text{g L}^{-1}$ . Koncentrace sledovaných prvků (v  $\text{mg kg}^{-1}$ ) získané analýzou byly porovnány s hodnotami uvedenými pro CRM v certifikátech a uvedeny v tabulce 13. Výsledky analýz CRM se shodovaly s hodnotami deklarovanými výrobcem. Obsahy prvků Dy, Nd a Yb byly nižší než certifikované hodnoty, avšak tyto prvky nejsou zásadní pro výpočet gadoliniové anomálie.

Analýzou kalibračních roztoků o koncentraci 0,5/0,1 a 0,1/0,02  $\mu\text{g L}^{-1}$  prvků „A“/“B“ (A: Ce, La, Nd, Pr; B: Dy, Er, Eu, Gd, Ho, Lu, Sm, Tb, Tm, Yb) během celé analýzy po každém 20. vzorku byla sledována návratnost (poměr nalezené a teoretické koncentrace) a dlouhodobá opakovatelnost (relativní směrodatná odchylka, RSD) ICP-MS analýzy. Hodnocení návratnosti a dlouhodobé opakovatelnosti je uvedeno v tabulce 13.

**Tabulka 13** Výsledky ICP-MS analýzy certifikovaných referenčních materiálů, návratnosti a dlouhodobé opakovatelnosti metod

| Prvek     | GBW 10052 (mg kg <sup>-1</sup> ) |                       | GBW 07603 (mg kg <sup>-1</sup> ) |                       | Návratnost | Návratnost | RSD       | RSD       |
|-----------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|------------|------------|-----------|-----------|
|           | Certifikováno <sup>A</sup>       | Nalezeno <sup>B</sup> | Certifikováno <sup>A</sup>       | Nalezeno <sup>B</sup> | PP (%)     | KP (%)     | PP (%)    | KP (%)    |
| <b>La</b> | 0,54 ±0,04                       | 0,53 ±0,05            |                                  |                       | 96–125     | 100–111    | 3,61–4,87 | 0,34–7,88 |
| <b>Ce</b> | 0,81 ±0,03                       | 0,80 ±0,09            |                                  |                       | 94–119     | 96–109     | 1,66–2,51 | 0,14–6,72 |
| <b>Pr</b> |                                  |                       | 0,24                             | 0,22 ±0,03            | 94–127     | 94–110     | 3,62–3,43 | 0,27–6,92 |
| <b>Nd</b> | 0,35 ±0,04                       | 0,19 ±0,03            |                                  |                       | 94–118     | 95–117     | 3,33–2,98 | 0,53–12,8 |
| <b>Sm</b> | 0,066 ±0,010                     | 0,059 ±0,004          |                                  |                       | 93–120     | 85–120     | 6,04–3,58 | 1,10–11,5 |
| <b>Eu</b> |                                  |                       | 0,039 ±0,003                     | 0,040 ±0,004          | 93–119     | 99–115     | 2,85–3,35 | 1,04–9,04 |
| <b>Gd</b> | 0,076 ±0,011                     | 0,064 ±0,013          |                                  |                       | 91–117     | 94–111     | 9,43–3,39 | 0,14–13,5 |
| <b>Tb</b> | 0,0114 ±0,0019                   | 0,0092 ±0,0007        | 0,025 ±0,003                     | 0,020 ±0,002          | 96–116     | 98–113     | 3,37–3,03 | 0,27–10,3 |
| <b>Dy</b> |                                  |                       | 0,13                             | 0,09 ±0,006           | 95–120     | 81–116     | 4,52–2,86 | 0,24–15,0 |
| <b>Ho</b> | 0,013 ±0,002                     | 0,009 ±0,001          |                                  |                       | 92–117     | 95–117     | 1,91–3,51 | 0,60–10,7 |
| <b>Er</b> | 0,037 ±0,006                     | 0,028 ±0,004          |                                  |                       | 95–120     | 100–115    | 1,91–3,65 | 0,54–10,4 |
| <b>Tm</b> | 0,0059 ±0,0011                   | 0,0048 ±0,0002        |                                  |                       | 95–117     | 100–114    | 1,37–3,38 | 0,07–9,35 |
| <b>Yb</b> | 0,038 ±0,005                     | 0,026 ±0,002          | 0,063 ±0,009                     | 0,039 ±0,005          | 92–117     | 96–115     | 2,49–4,39 | 0,44–14,2 |
| <b>Lu</b> | 0,0062 ±0,0009                   | 0,0051 ±0,0006        |                                  |                       | 94–125     | 99–114     | 1,33–3,67 | 0,54–11,4 |

<sup>A</sup> – hodnota ± směrodatná odchylka, <sup>B</sup> – hodnota ± dvakrát směrodatná odchylka, **GBW 10052** – certifikovaný referenční materiál GBW 10052 Green Tea, **GBW 07603** – certifikovaný referenční materiál GBW 07603 Bush Twigs and Leaves, **KP** – kapalné potraviny, **PP** – pevné potraviny, **RSD** – relativní směrodatná odchylka

Návratnost výsledků byla v rozmezí 91–127 % pro pevné potraviny a 81–120 % pro kapalné potraviny. Dlouhodobá opakovatelnost se pohybovala mezi 1,33–7,80 % pro pevné potraviny a 0,07–15,0 % pro kapalné potraviny. Kalibrační křivky ve stanovených rozsazích koncentrací vykazovaly dobrou linearitu, přičemž korelační koeficienty byly vyšší než 0,999. Prokázána byla dostatečná spolehlivost a citlivost použité ICP-MS metody pro stanovení Gd a ostatních REE.

Analýza metodou ICP-OES je spolehlivější, stabilnější a během běžného provozu nevyžaduje časté recalibrace ani zařazení kontrolních vzorků. Tento přístup byl založen na dlouholetých zkušenostech pracovníků laboratoře prvkové analýzy s využíváním daného přístroje a metoda se v laboratoři používá rutinně [11]. Dlouhodobá opakovatelnost a návratnost ICP-OES analýz byla ověřena po každé sérii 15 vzorků provedením recalibrace, která zahrnovala kalibrační standard s koncentrací 10 mg L<sup>-1</sup> Gd a slepý pokus. Dlouhodobá opakovatelnost analýzy dosahovala hodnot v rozmezí 1,86–2,78 %, což svědčí o vysoké přesnosti metody při opakovaném měření. Návratnost výsledků se pohybovala mezi 89–103 %, což ukazuje na spolehlivost analýzy a schopnost metody přesně kvantifikovat koncentrace Gd v analyzovaných vzorcích.

### **5.1.2 Optimalizace postupu výplachů odpadních ampulí GdCA**

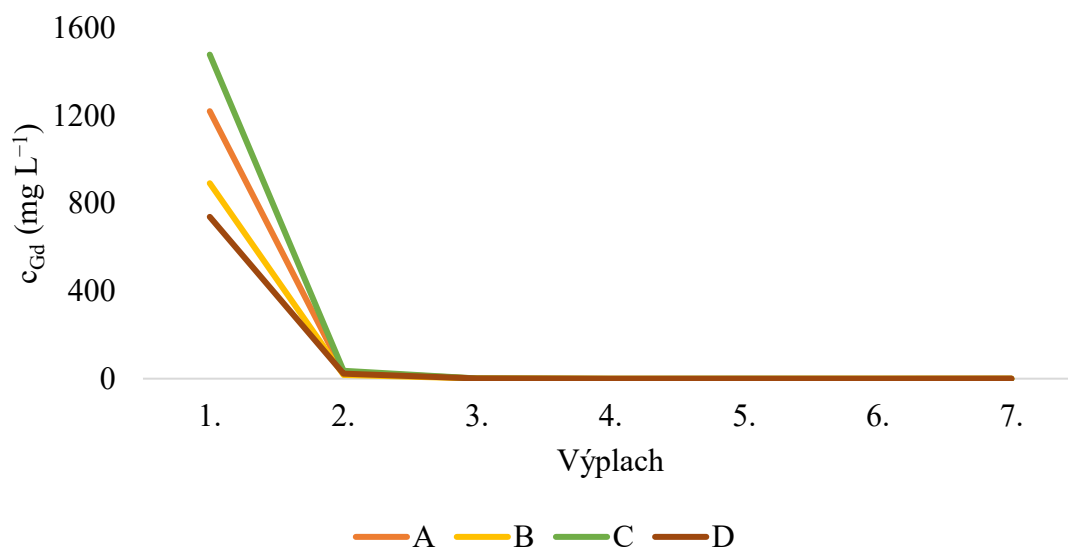
Za účelem kvantifikace obsahu Gd v zjevně prázdných ampulích GdCA po odběru zbylého obsahu bylo nutné ampule vypláchnout. Optimalizace postupu vyplachování ampulí ultra-čistou vodou byla provedena na čtyřech skleněných lahvičkách kontrastní látky ProHance 279,3 mg mL<sup>-1</sup>, 20 mL (A, B, C, D). Do očividně prázdné lahvičky bylo pipetováno 10 mL ultra-čisté vody, která byla uzavřena PE zátkou a následně protřepána. Pro jednu skleněnou lahvičku GdCA byl postup opakován 7x, tzn. 7 po sobě jdoucích výplachů. Každý výplach byl převeden do PE lahvičky a uskladněn v mrazicím boxu při teplotě -18 °C. Oplachové vody byly před ICP-OES analýzou rozmrazeny a teplota ustálena na pokojovou. Na základě zkušebních skenů metody bylo rozhodnuto, že první dva výplachy (1. a 2.) z dané lahvičky se zředí 100x a další výplachy (3.–7.) již ředění nepotřebovaly, a to z důvodu vyšší koncentrace Gd v těchto oplachových vodách. Parametry stanovení Gd pomocí ICP-OES spektrometru jsou uvedeny v kapitole 3.3 a tabulce 8. Analýza obsahu Gd proběhla na dvou spektrálních čarách a získané výsledky z jednotlivých čar byly zprůměrovány a shrnuty v tabulce 14.

**Tabulka 14** Koncentrace Gd v oplachových vodách z odpadních nádob ProHance 279,3 mg mL<sup>-1</sup>, 20 mL po výplacích

| ProHance lahvička | Výplach | c <sub>Gd</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) | ProHance lahvička | Výplach | c <sub>Gd</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) |
|-------------------|---------|---------------------------------------|-------------------|---------|---------------------------------------|
| <b>A</b>          | 1.      | 1220                                  | <b>C</b>          | 1,      | 1480                                  |
|                   | 2.      | 30,8                                  |                   | 2,      | 35,6                                  |
|                   | 3.      | 1,58                                  |                   | 3,      | 1,04                                  |
|                   | 4.      | 0,0243                                |                   | 4,      | 0,0378                                |
|                   | 5.      | 0,00475                               |                   | 5,      | <LOD                                  |
|                   | 6.      | 0,0143                                |                   | 6,      | <LOD                                  |
|                   | 7.      | <LOD                                  |                   | 7,      | <LOD                                  |
| <b>B</b>          | 1.      | 892                                   | <b>D</b>          | 1,      | 739                                   |
|                   | 2.      | 16,6                                  |                   | 2,      | 22,8                                  |
|                   | 3.      | 0,347                                 |                   | 3,      | 0,858                                 |
|                   | 4.      | <LOD                                  |                   | 4,      | 0,0703                                |
|                   | 5.      | <LOD                                  |                   | 5,      | 0,0374                                |
|                   | 6.      | <LOD                                  |                   | 6,      | <LOD                                  |
|                   | 7.      | <LOD                                  |                   | 7,      | <LOD                                  |

**A, B, C, D** – skleněné lahvičky kontrastní látky ProHance 279,3 mg mL<sup>-1</sup> (20 mL), **c<sub>Gd</sub>** – koncentrace gadolinia, **LOD** – limit detekce (0,006 mg L<sup>-1</sup>)

Následně byly výsledky graficky zpracovány (obrázek 13). Byl zaznamenán rychlý pokles koncentrace Gd s opakovým výplachem dané lahvičky. Vyhodnocení určilo pět po sobě jdoucích výplachů jako dostatečný počet, kdy už je lahvička vymyta od zbytků GdCA na 99,9 %.



A, B, C, D – skleněné lahvičky kontrastní látky ProHance  $279,3 \text{ mg mL}^{-1}$  (20 mL),  $c_{Gd}$  – koncentrace gadolinia

**Obrázek 13** Optimalizace počtu výplachů odpadních ampulí ProHance  $279,3 \text{ mg mL}^{-1}$ , 20 mL

## 6 VÝSLEDKY A DISKUZE

Disertační práce naplňuje stanovené cíle (viz kapitola CÍLE PRÁCE), a to jak komplexně prozkoumat dosavadní poznatky o přítomnosti Gd antropogenního původu v potravinách a jeho vlivu na vznik gadoliniové anomálie tak provést samostatné experimentální šetření. Experimentální část se zaměřuje na sledování přítomnosti Gd antropogenního původu v potravním řetězci prostřednictvím prvkové analýzy vybraných REE a následným vyhodnocením jeho obsahu a gadoliniové anomálie ve vzorcích pevných (mouka, rýže, mrkev) i kapalných (víno) potravin. Studie také analyzuje bilanci hmotnostního toku kontrastních látek na bázi Gd na pracovištích MRI. V neposlední řadě je zkoumána i ekotoxicita GdCA a Gd(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> na sladkovodních mikrořasách, které představují vstupní článek kontaminace potravního řetězce.

### 6.1 Literární průzkum přítomnosti gadolinia v potravním řetězci

Tato kapitola se zaměřuje na shromáždění a vyhodnocení dostupných literárních dat týkajících se přítomnosti REE v potravinách, přičemž hlavní pozornost je věnována gadolinu, jednomu z nejvíce studovaných prvků této skupiny. V současné době roste zájem o výzkum vzácných zemin, zejména v kontextu jejich možného vlivu na lidské zdraví a environmentální dopady spojené s jejich antropogenním původem. REE, včetně gadolinia, jsou přítomny v přírodních ekosystémech, ale jejich koncentrace v potravních řetězcích může být ovlivněna lidskou činností, například těžbou, průmyslovými procesy a znečištěním. Cílem je kvantifikovat podíl gadolinia antropogenního původu v potravinách a na základě těchto údajů vyhodnotit existenci gadoliniové anomálie jako parametru indikujícího jeho přítomnost.

Tabulka 15 poskytuje přehled o koncentracích REE v různých potravinách a plodinách, přičemž výsledky byly získány především pomocí metod ICP-MS, HR-ICP-MS a Q-ICP-MS. Koncentrace jsou vyjádřeny v jednotkách  $\mu\text{g kg}^{-1}$  nebo  $\mu\text{g L}^{-1}$  podle typu vzorku. Data zahrnují jak rostlinné produkty, tak houby a mořské řasy, které jsou významnými akumulátory nejen REE, ale obecně kontaminantů z prostředí a často jsou využívány jako biomonitory. U hub jsou prezentovány výsledky pro různé druhy, včetně bedly vysoké, kde koncentrace La a Ce dosahují hodnot až 130 a 280  $\mu\text{g kg}^{-1}$  [121], což ukazuje na jejich schopnost akumulace REE z půdy. Vyšší koncentrace byly naměřeny v houbách z různých lokalit, kde například La dosahuje až 1 370  $\mu\text{g kg}^{-1}$  a Ce 4 140  $\mu\text{g kg}^{-1}$ . Rovněž Gd (80–300  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) bylo detekováno ve vyšších koncentracích v závislosti na lokalitě a typu houby [120]. Tyto výsledky naznačují, že houby

mohou sloužit jako indikátory environmentálního znečištění REE. Výrazně odlišné výsledky byly zaznamenány u rajčat, kde se koncentrace REE liší podle části rostliny. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v kořenech, kde Ce dosahoval  $613 \mu\text{g kg}^{-1}$  a Gd  $150 \mu\text{g kg}^{-1}$  [140], což naznačuje silnou bioakumulaci REE z půdy. Naproti tomu plody obsahují nižší koncentrace, což je pravděpodobně dáno omezeným transportem těchto prvků v rámci rostliny. Podobný trend lze pozorovat i u rýže, kde koncentrace REE v kořenech významně převyšují hodnoty naměřené v zrně. Například koncentrace Gd dosahuje v kořenech  $4\,400 \mu\text{g kg}^{-1}$ , zatímco v zrně se pohybuje na hladině  $120 \mu\text{g kg}^{-1}$  [110]. U pomerančové kůry pocházející z různých regionů byly detekovány nižší koncentrace REE, s hodnotami Gd v rozmezí  $6\text{--}85 \mu\text{g kg}^{-1}$  [114]. Tyto výsledky ukazují na variabilitu v akumulaci REE v závislosti na geografickém původu a podmínkách pěstování. Dýňová semínka a jejich olej vykazují minimální koncentrace REE, například Gd bylo detekováno pouze  $0,064 \mu\text{g kg}^{-1}$  [141], což potvrzuje nízkou afinitu olejů k REE. Zajímavé výsledky přinášejí také analýzy vína a hroznového moštu, kde byly koncentrace REE relativně nízké, s hodnotami Gd v rozmezí  $0,005\text{--}0,202 \mu\text{g kg}^{-1}$  pro víno a  $0,222\text{--}0,434 \mu\text{g kg}^{-1}$  pro mošt [142]. To naznačuje, že plody vinné révy mají omezenou schopnost akumulace těchto prvků z půdy. Naopak mořské řasy, zejména kelpa a aonori, obsahují významné koncentrace REE, což je důsledkem jejich schopnosti akumulace prvků z mořské vody. U kelpy bylo naměřeno  $13,6 \mu\text{g kg}^{-1}$  Gd a pro aonori  $19,5 \mu\text{g kg}^{-1}$  [143].

Lze konstatovat, že nejvyšší koncentrace REE byly zjištěny v kořenech rostlin, jako jsou rajčata a rýže, což potvrzuje význam kořenového systému v akumulaci prvků z půdy. Naopak plody a oleje vykazují výrazně nižší koncentrace pravděpodobně kvůli omezené mobilitě těchto prvků v rostlinných tkáních. Houby a mořské řasy představují specifické skupiny s vysokou schopností bioakumulace, což z nich činí vhodné indikátory znečištění životního prostředí REE a zároveň i potenciální nebezpečí pro konzumenty. Tato data přispívají k hlubšímu pochopení distribuce REE v potravinových řetězcích a jejich možného antropogenního původu.

Pro stanovení distribuce REE je obvyklé normalizovat množství REE vzhledem k referenčnímu geologickému standardu. Běžně se v geochemii používá normalizační standard PAAS (Post-Archean Australian Shale) díky své reprezentativnosti průměrného složení hornin v horní vrstvě zemské kůry a stabilním koncentracím REE. Zkreslení při výpočtech anomálií se tak minimalizuje. Univerzálnost jeho použití umožňuje porovnání dat mezi různými studiemi a zejména přesnou detekci odchylek, jako je například gadoliniová anomálie. PAAS se používá k normalizaci koncentrací REE pro výpočet gadoliniové anomálie v evropských [32, 41, 64,

144] i v asijských studiích [61]. Hodnota  $Gd_{anom}$  je rovna poměru hodnot naměřené koncentrace Gd (normalizované na geologický standard PAAS) a geogenní koncentrace Gd ( $Gd_{geo}$ ), vypočtené podle rovnice:  $Gd_{anom} = Gd_{PAAS} / Gd_{geo}$ , kde  $Gd_{geo}$  se počítá následovně:  $Gd_{geo} = (0,33 Sm_{PAAS} + 0,67 Tb_{PAAS})$ . Pro výpočet  $Gd_{geo}$  se používají koncentrace prvků Sm a Tb normalizované na PAAS [32]. Koncentrace  $Gd_{ant}$  v potravinách a plodinách byly dále vypočteny odečtením koncentrace  $Gd_{geo}$  od celkové koncentrace Gd ( $Gd_{tot}$ ) naměřené ve vzorcích následovně:  $Gd_{ant} = Gd_{tot} - Gd_{geo}$  [41, 64].

Vypočtené hodnoty gadoliniové anomálie a gadolinia antropogenního původu ve vzorcích různých potravin a plodin dostupných z literatury jsou obsáhnuty v tabulce 16. Koncentrace jsou také vyjádřeny v jednotkách  $\mu\text{g kg}^{-1}$  nebo  $\mu\text{g L}^{-1}$  podle typu vzorku. Výsledky ukazují rozmanitost koncentrací  $Gd_{ant}$  a rozdíly mezi jednotlivými typy potravin nebo plodin, což naznačuje, že přítomnost Gd může být ovlivněna nejen biologickými faktory, ale i antropogenními vlivy. Olej z dýňových semínek vykazuje hodnotu 1,2 pro gadoliniovou anomálii a pouze  $0,009 \mu\text{g kg}^{-1}$  pro  $Gd_{ant}$ , což indikuje převahu přírodních zdrojů Gd s minimálním vlivem antropogenních znečišťujících látek. Rajče vykazuje různé koncentrace podle specifikace části rostliny, například u kořene je hodnota gadoliniové anomálie 1,3, zatímco koncentrace  $Gd_{ant}$  ( $34,9 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) je nejvyšší ze všech sledovaných vzorků. Jediný typ vzorku s potvrzenou pozitivní gadoliniovou anomálií bylo Ucho Jidášovo s hodnotou 1,6 překračující prahovou hodnotu 1,5. U vzorků rýže nebylo možné vypočítat sledované parametry z důvodu nedetekovaných koncentrací Tb potřebných pro výpočet. Výsledky jsou důležité pro hodnocení vlivu antropogenních aktivit na obsah REE v potravinách a mohou být základem pro další výzkum v této oblasti. Významným předpokladem pro hodnocení antropogenního vstupu gadolinia do prostředí a všech jeho součástí je využití pokročilých analytických postupů, které umožňují detekci tohoto prvku ve velmi nízkých koncentracích, tedy mají dostatečně nízké detekční limity, aby bylo možné přesně identifikovat jeho přítomnost i ve zdánlivě zanedbatelných množstvích. Moderní analytické metody, jako například hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem i ve spojení s prekoncentračními technikami tento požadavek splňují a umožňují efektivní a spolehlivý monitoring gadolinia i na velmi nízkých koncentračních hladinách v různých matricích a jsou vhodným nástrojem pro výzkum jeho transportu, akumulace a potenciálních dopadů na ekosystémy.

**Tabulka 15** Průměrné koncentrace prvků vzácných zemin (REE) v potravinách a plodinách dostupné z literatury

| Metoda    | LOD <sub>REE</sub>                 | Potravina/<br>Plodina | Specifikace   | Koncentrace REE ( $\mu\text{g kg}^{-1}/\mu\text{g L}^{-1}$ ) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Ref.  |
|-----------|------------------------------------|-----------------------|---------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           |                                    |                       |               | La   | Ce    | Pr    | Nd    | Sm    | Eu    | Gd    | Tb    | Dy    | Ho    | Er    | Tm    | Yb    | Lu    |       |
| Q-ICP-MS  | -                                  | bedla<br>vysoká       | kloubouk      | 83   | 180   | 17    | 63    | 12    | 2,7   | 11    | 1,8   | 10    | 2,3   | 7     | 1,1   | 7,3   | 1,1   | [121] |
|           |                                    |                       | celá          | 130  | 280   | 28    | 96    | 17    | 4,6   | 16    | 2,5   | 14    | 3,2   | 9     | 1,4   | 10    | 1,5   |       |
| ICP-MS    | 0,0003–0,32<br>$\text{ng g}^{-1}$  | dýňová<br>semínka     | olej          | 0,371  | 0,784 | 0,090 | 0,346 | 0,069 | 0,015 | 0,064 | 0,009 | 0,047 | 0,009 | 0,022 | 0,003 | 0,017 | 0,003 | [141] |
| HR-ICP-MS | -                                  | houby                 | lokality A    | 1370   | 4140  | 530   | 2140  | 470   | 100   | 300   | 60    | 290   | 60    | 160   | 30    | 150   | 30    | [120] |
|           |                                    |                       | lokality B    | 520  | 1060  | 120   | 470   | 90    | 30    | 80    | 20    | 60    | 10    | 30    | 10    | 30    | 10    |       |
| ICP-MS    | -                                  | houby                 | ektomykorhiza | 23,1   | 42,1  | 5,56  | 19,9  | 4,06  | 0,68  | 2,35  | 0,59  | 2,16  | 0,42  | 1,28  | 0,17  | 1,26  | 0,13  | [145] |
|           |                                    |                       | saprobní      | 13,4   | 21,8  | 2,53  | 10,9  | 2,46  | 0,68  | 1,37  | 0,27  | 1,24  | 0,21  | 0,79  | *     | 0,87  | 0,1   |       |
| ICP-MS    | 0,03–1,07<br>$\text{ng g}^{-1}$    | pomeranč<br>(kůra)    | Jiangxi       | 798  | 494   | 121   | 421   | 78    | 22    | 85    | 15    | 66    | 9     | 21    | 7     | 25    | 2     | [114] |
|           |                                    |                       | Hunan         | 843  | 586   | 91    | 303   | 68    | 30    | 62    | 11    | 40    | 6     | 15    | 2     | 8     | 3     |       |
|           |                                    |                       | Hubei         | 184  | 77    | 44    | 157   | 35    | 18    | 32    | 17    | 52    | 9     | 19    | 5     | 17    | 5     |       |
|           |                                    |                       | Chongqing     | 90   | 27    | 31    | 99    | 19    | 11    | 16    | 16    | 36    | 7     | 14    | 17    | 15    | 3     |       |
| Q-ICP-MS  | 0,02–2,02<br>$\mu\text{g kg}^{-1}$ | rajče                 | kořen         | 341  | 613   | 133   | 562   | 152   | 27    | 150   | 18,1  | 112   | 19,2  | 56,7  | 6,19  | 43,9  | 5,59  | [140] |
|           |                                    |                       | stonka        | 95,3   | 161   | 34,8  | 103   | 27,8  | 5,37  | 25,7  | 3,5   | 18,5  | 3,39  | 8,91  | 1,15  | 7,2   | 1,0   |       |
|           |                                    |                       | list          | 322  | 469   | 52,2  | 280   | 42,2  | 9,12  | 41,4  | 5,91  | 28,7  | 5,84  | 14,4  | 2,11  | 11,2  | 1,82  |       |
|           |                                    |                       | plod          | 7,49   | 7,97  | 2,0   | 4,61  | 1,58  | 0,4   | 1,02  | 0,31  | 1,4   | 0,24  | 0,61  | 0,06  | 0,43  | 0,04  |       |
| Q-ICP-MS  | -                                  | rajče                 | list          | 93,5   | 162   | 18,9  | 210   | 13,8  | 5,06  | 14,1  | 2,17  | 11    | 1,99  | 23,8  | 0,83  | 5,01  | 0,8   | [146] |
|           |                                    |                       | plod          | 2,84   | 6,58  | 0,89  | 32    | 0,82  | 0,42  | 0,66  | 0,14  | 0,46  | 0,08  | 3,68  | 0,05  | 0,28  | 0,11  |       |

| Metoda  | LOD <sub>REE</sub>        | Potravina/<br>Plodina | Specifikace | Koncentrace REE ( $\mu\text{g kg}^{-1}/\mu\text{g L}^{-1}$ ) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Ref.  |
|---------|---------------------------|-----------------------|-------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         |                           |                       |             | La   | Ce    | Pr    | Nd    | Sm    | Eu    | Gd    | Tb    | Dy    | Ho    | Er    | Tm    | Yb    | Lu    |       |
| ICP-MS  | 0,05 ng kg <sup>-1</sup>  | rýže                  | kořen       | 11100  | 28600 | 3200  | 13600 | 3200  | 1000  | 4400  | *     | 3100  | 800   | 1800  | 500   | 1810  | 410   | [110] |
|         |                           |                       | list        | 520  | 540   | 460   | 290   | 290   | 640   | 690   | *     | 760   | 320   | 460   | 2210  | 1310  | 1340  |       |
|         |                           |                       | zrno        | 80   | 50    | 70    | 90    | 90    | 340   | 120   | *     | 180   | 110   | 120   | 570   | 450   | 1820  |       |
| ICP-MS  | 1,8–80 ng g <sup>-1</sup> | hroznový<br>mošt      | Dão         | 1,690  | 1,820 | 0,222 | 0,89  | 0,230 | 0,051 | 0,222 | 0,030 | 0,152 | 0,030 | 0,071 | 0,010 | 0,040 | 0,010 | [142] |
|         |                           |                       | Obidos      | 1,964  | 1,403 | 0,325 | 1,439 | 0,291 | 0,071 | 0,314 | 0,035 | 0,166 | 0,031 | 0,083 | 0,009 | 0,046 | 0,007 |       |
|         |                           |                       | Óbidos      | 1,663  | 1,571 | 0,263 | 1,052 | 0,233 | 0,055 | 0,241 | 0,027 | 0,136 | 0,024 | 0,062 | 0,006 | 0,035 | 0,005 |       |
|         |                           |                       | Palmela     | 3,060  | 5,010 | 0,580 | 2,170 | 0,460 | 0,091 | 0,434 | 0,051 | 0,232 | 0,040 | 0,111 | 0,020 | 0,081 | 0,010 |       |
|         |                           | víno                  | Dão         | 1,380  | 0,400 | 0,090 | 0,370 | 0,130 | 0,040 | 0,100 | 0,010 | 0,070 | 0,020 | 0,060 | 0,010 | 0,060 | 0,010 |       |
|         |                           |                       | Obidos      | 1,163  | 1,166 | 0,230 | 0,967 | 0,236 | 0,055 | 0,202 | 0,024 | 0,116 | 0,023 | 0,064 | 0,007 | 0,043 | 0,007 |       |
|         |                           |                       | Óbidos      | 1,181  | 1,229 | 0,211 | 0,866 | 0,233 | 0,053 | 0,187 | 0,022 | 0,113 | 0,021 | 0,061 | 0,006 | 0,046 | 0,007 |       |
| Palmela | 0,985                     | 0,065                 | 0,007       | 0,023  | 0,077 | 0,013 | 0,005 | *     | 0,008 | 0,003 | 0,012 | *     | 0,022 | 0,004 |       |       |       |       |
| ICP-MS  | 2–34 pg g <sup>-1</sup>   | brambory              |             | 17,7   | 38,90 | 7,6   | 15,6  | 8,8   | 1,8   | 7,2   | 1,0   | 2,9   | 0,8   | 2,2   | 0,2   | 1,9   | 0,2   | [143] |
|         |                           |                       | lilek       | 1,9  | 7,2   | 0,3   | 1,2   | 1,4   | *     | 0,1   | *     | 1,0   | *     | 0,3   | 0,5   | *     | *     |       |
|         |                           | ucho<br>Jidášovo      | houba       | 17,6   | 67,7  | 4,5   | 38,9  | 5,7   | 0,5   | 3,9   | 0,2   | 4,6   | 0,6   | 1,6   | 0,1   | 1,4   | 0,1   |       |
|         |                           | kelpa                 | mořská řasa | 59,8   | 85,0  | 17,5  | 56,5  | 11,9  | 2,1   | 13,6  | 2,3   | 13,9  | 3,0   | 10,4  | 1,6   | 11,1  | 2,0   |       |
|         |                           | aonori                | mořská řasa | 54,0   | 55,1  | 26,6  | 46,5  | 36,3  | 6,6   | 19,5  | 3,5   | 68,7  | 30,6  | 2,4   | 10,0  | 5,9   | 7,6   |       |

**ICP-MS** – hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu, **LOD<sub>REE</sub>** – limit detekce pro všechny prvky vzácných zemin, **Q-ICP-MS** – kvadrupolová hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu, **HR-ICP-MS** – hmotnostní spektrometrie s ionizací v indukčně vázaném plazmatu a vysokým rozlišením, \* – nebylo detekováno

**Tabulka 16** Vypočtené hodnoty gadoliniové anomálie a gadolinia antropogenního původu ve vzorcích potravin a plodin dostupných z literatury

| Potravina/Plodina | Specifikace   | Gd <sub>anom</sub> | Gd <sub>ant</sub> (μg kg <sup>-1</sup> /μg L <sup>-1</sup> ) | Ref.  | Potravina/Plodina    | Specifikace | Gd <sub>anom</sub> | Gd <sub>ant</sub> (μg kg <sup>-1</sup> /μg L <sup>-1</sup> ) | Ref.  |
|-------------------|---------------|--------------------|--|-------|----------------------|-------------|--------------------|--|-------|
| Bedla vysoká      | kloubouk      | 1,0                | 0,414  | [121] | Rýže                 | kořen       | **                 | **   | [110] |
|                   | celá          | 1,1                | 1,20   |       |                      | list        | **                 | **   |       |
| Dýňová semínka    | olej          | 1,2                | 0,009  | [141] |                      | zrno        | **                 | **   |       |
| Houby             | lokalita A    | 0,81               | **   | [120] | Hroznový mošt        | Dão         | 1,2                | 0,037  | [142] |
|                   | lokalita B    | 0,76               | **   |       |                      | Obidos      | 1,4                | 0,092  |       |
| Houby             | ektomykorhiza | 0,67               | **   | [145] |                      | Óbidos      | 1,4                | 0,068  |       |
|                   | saprobní      | 0,77               | **   |       |                      | Palmela     | 1,3                | 0,101  |       |
| Pomeranč (kůra)   | Jiangxi       | 1,0                | 2,88   | [114] | Vino                 | Dão         | 1,3                | 0,024  |       |
|                   | Hunan         | 0,98               | **   |       |                      | Obidos      | 1,2                | 0,040  |       |
|                   | Hubei         | 0,41               | **   |       |                      | Óbidos      | 1,2                | 0,034  |       |
|                   | Chongqing     | 0,23               | **   |       |                      | Palmela     | **                 | **   |       |
| Rajče             | kořen         | 1,3                | 34,9   | [140] | Brambory             |             | 1,1                | 0,728  |       |
|                   | stonka        | 1,2                | 3,88   |       | Lilek                |             | **                 | **   |       |
|                   | list          | 1,2                | 5,87   |       | Ucho Jidášovo        | houba       | 1,6                | 1,51   | [143] |
|                   | plod          | 0,60               | **   |       | Kelpa (chaluha)      | mořská řasa | 1,1                | 1,02   |       |
| Rajče             | list          | 1,1                | 1,52   | [146] | Aonori (mořské zeli) | mořská řasa | 0,8                | **   |       |
|                   | plod          | 0,83               | **   |       |                      |             |                    |  |       |

Gd<sub>anom</sub> – gadoliniová anomálie, Gd<sub>ant</sub> – gadolinium antropogenního původu, \*\* – na základě výpočtu nebylo Gd<sub>anom</sub> nebo Gd<sub>ant</sub> v potravině/plodině nalezeno

## 6.2 Gadolinium v potravním řetězci

Vzorky využití v této práci, konkrétně mouka (pšeničná, špaldová, žitná), rýže, mrkev a víno (bílé, růžové, červené), byly vybrány z důvodu, že jsou zástupci běžně používaných potravin v evropských kuchyních a jsou součástí stravy mnoha lidí. Český statistický úřad uvádí spotřebu vybraných potravin za rok 2022 (na obyvatele za rok): pšeničná mouka 93,2 kg; žitná mouka 8,3 kg; rýže 9,0 kg; mrkev 7,2 kg; víno hroznové 16,5 L. Údaj pro špaldovou mouku není uveden. Vyšší spotřebu, než pšeničná mouka mají pouze vejce a kravské mléko a spolu s žitnou moukou jsou první 2 nejpoužívanější mouky v ČR. Rýže je po pšenici a žitu třetí nejpoužívanější obilovina. Mrkev je mezi zeleninou na čtvrtém místě po bramborách, rajčatech a cibuli. Víno je druhým nejčastěji konzumovaným alkoholickým nápojem po pivu [147]. Pokud by zvolené druhy potravin byly kontaminovány škodlivou látkou, mělo by to v důsledku závažný vliv na zdraví lidí. Mouka se používá v pekárenství, cukrářství i domácí kuchyni. Kontaminace mouky by ovlivnila širokou škálu produktů, od chleba a pečiva po těstoviny, koláče a další výrobky. Rýže je základní potravinou mnoha evropských kuchyní, zejména tedy italské a španělské, kde se používá jako hlavní chod (rizoto, paella) nebo také často používaná jako příloha i v české kuchyni. Zcela běžnou zeleninou v evropské stravě je mrkev, používaná hlavně v polévkách, salátech i jako příloha. Kontaminace vína a jeho následná pravidelná konzumace by mohly vést k hromadění Gd v těle a zvýšit tak riziko chronických zdravotních problémů. Kontaminace těchto základních potravin by měla závažné důsledky pro potravní řetězec a zdraví lidí, protože jde o klíčové složky evropské stravy.

Tabulka 17 shrnuje výsledky ICP-MS analýzy, konkrétně statistické parametry vyjádřené jako minimum, medián a maximum naměřených výsledků pro všechny REE ve všech typech vzorků potravin. Minimální hodnoty všech změřených REE, s výjimkou La a Eu u růžového a červeného vína, byly nižší než stanovený LOQ použité metody. Kompletní data z této analýzy vzorku jsou k dispozici v příloze C. Všechny hodnoty pro vzorky mrkve jsou vyjádřeny pro její sušinu. Ve vzorcích byla stanovena průměrná suchá hmotnost vzorků na 12 %. Mediány koncentrací Gd ve vzorcích byly 13,2  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (pšeničná mouka), 3,98  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (špaldová mouka), 8,07  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (žitná mouka), 4,74  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (rýže), 11,4  $\mu\text{g kg}^{-1}$  sušiny (mrkev), 0,16  $\mu\text{g L}^{-1}$  (bílé víno), 0,129  $\mu\text{g L}^{-1}$  (růžové víno), 0,043  $\mu\text{g L}^{-1}$  (červené víno). Celkově byly zjištěné koncentrace Gd v rozmezí 2,57–154 (pšeničná mouka), 3,33–35,3 (špaldová mouka), 2,72–70,0 (žitná mouka), 2,08–35,3 (rýže) vše v  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ; 5,03–30,3  $\mu\text{g kg}^{-1}$  v sušině (mrkev), 0,013–1,79  $\mu\text{g L}^{-1}$  (bílé víno), 0,017–0,902  $\mu\text{g L}^{-1}$  (růžové víno), 0,014–0,413  $\mu\text{g L}^{-1}$  (červené víno).

Ve srovnání s jinými studiemi, které uvádějí obsah Gd v rýži od 0,003 do 18,620  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (pro vzorky z Austrálie, Indie, Itálie, Pákistánu, Srí Lanky, Thajska, Vietnamu a USA) [111] a  $120 \pm 80 \mu\text{g kg}^{-1}$  (pro vzorky z Kuby) [110], jsou koncentrace Gd v rýži naměřené v rámci této studie v podobném rozmezí, tedy srovnatelné. Portugalské studie reportují průměrné koncentrace Gd ve vzorcích vína v rozsahu 0,0046–0,202  $\mu\text{g L}^{-1}$  [142] a 0,016–0,085  $\mu\text{g L}^{-1}$  [148], kde námi naměřené hodnoty byly na srovnatelné spodní hranici avšak vrchní hranice byla pro bílá vína skoro devítinásobně vyšší než maximální nalezené hodnoty v portugalských vínech. Průměrná koncentrace Gd v ostatních zemědělských a potravinářských produktech byla stanovena na 0,064  $\mu\text{g kg}^{-1}$  pro dýňový olej [141], 16–88  $\mu\text{g kg}^{-1}$  pro pomerančovou kůru [114],  $0,1 \pm 0,001 \mu\text{g kg}^{-1}$  pro lilek,  $3,9 \pm 0,2 \mu\text{g kg}^{-1}$  pro ucho Jidášovo,  $7,2 \pm 0,1 \mu\text{g kg}^{-1}$  pro brambor,  $13,6 \pm 0,1 \mu\text{g kg}^{-1}$  pro kelpu (mořská řasa, chaluha),  $19,5 \pm 0,1 \mu\text{g kg}^{-1}$  pro aonori (zelená mořská řasa, tzv. mořské zelí) [143], 0,46–1,67  $\mu\text{g kg}^{-1}$  pro rajče [140] a  $16 \pm 8,9 \mu\text{g kg}^{-1}$  pro jedlé lesní houby [121]. Studie zaměřené na REE nebo konkrétně koncentrace Gd ve vzorcích mouky nebo mrkve nebyly nalezeny, jde o nezmapované téma.

Na obsah Gd nebo celkový obsah REE v potravinách aktuálně nejsou stanoveny specifické limity v legislativě Evropské unie ani v USA [149, 150]. Regulace, jako je evropské nařízení (EU) 2023/915, se zaměřují na limity pro některé těžké kovy (např. Pb, Cd, Hg) a další kontaminanty, ale Gd ani REE nejsou zahrnuty [149]. Nedostatek specifických limitů zdůrazňuje mezeru v legislativních rámcích, zejména s ohledem na rostoucí výskyt REE v prostředí způsobený antropogenními aktivitami.

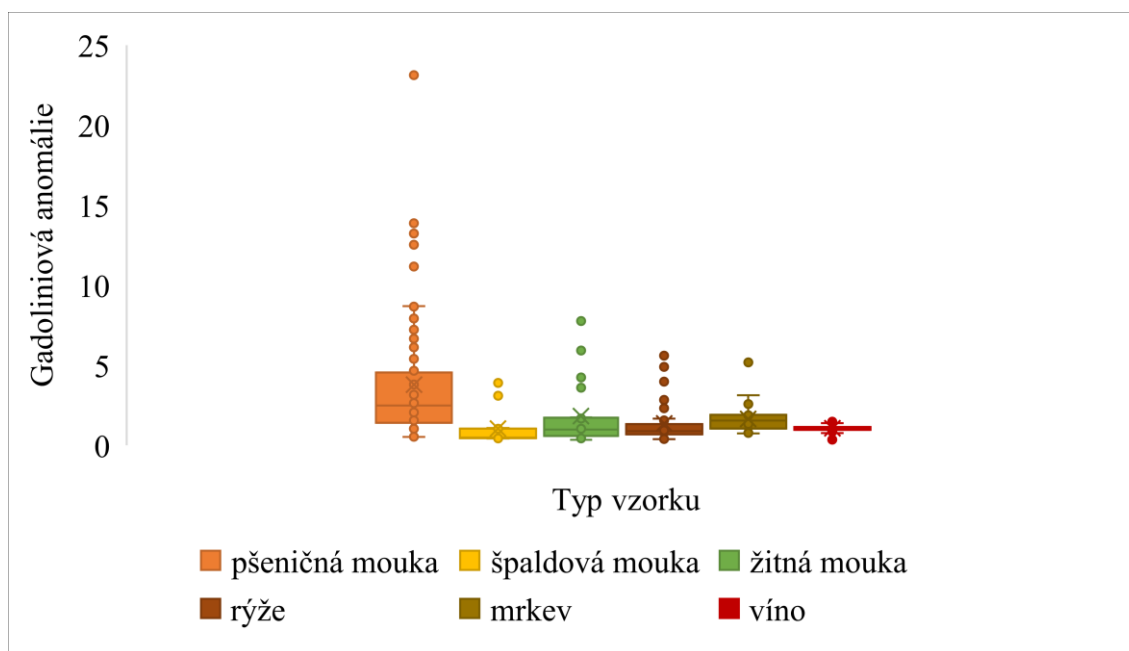
**Tabulka 17** Statistické charakteristiky analýzy prvků vzácných zemin ve vzorcích potravin (mouka, rýže v  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , vzorky mrkve v  $\mu\text{g kg}^{-1}$  sušiny, vzorky vína v  $\mu\text{g L}^{-1}$ )

| Typ vzorku     | La    |        |       | Ce    |        |       | Pr    |        |       | Nd    |        |       | Sm    |        |       | Eu    |        |       | Gd    |        |       |
|----------------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|
|                | MIN   | Medián | MAX   | MIN   | Medián | MAX   | MIN   | Medián | MAX   | MIN   | Medián | MAX   | MIN   | Medián | MAX   | MIN   | Medián | MAX   | MIN   | Medián | MAX   |
| pšeničná       | 2,67  | 9,49   | 34,9  | 3,75  | 9,54   | 25,8  | 2,83  | 8,76   | 11,2  | 1,70  | 6,27   | 12,3  | 0,677 | 2,45   | 6,04  | 1,19  | 1,88   | 5,30  | 2,57  | 13,2   | 154   |
| Mouka špaldová | 11,2  | 13,2   | 22,8  | 10,6  | 13,6   | 30,8  | 11,0  | 11,3   | 13,7  | 7,91  | 8,61   | 14,1  | 2,10  | 2,47   | 3,50  | 2,15  | 2,94   | 5,93  | 3,33  | 3,98   | 35,3  |
| žitná          | 11,0  | 14,1   | 41,7  | 8,72  | 14,2   | 66,9  | 7,49  | 12,1   | 16,4  | 4,83  | 10,4   | 23,1  | 2,09  | 2,41   | 6,37  | 1,71  | 3,23   | 6,04  | 2,72  | 8,07   | 70,0  |
| Rýže           | 4,09  | 10,0   | 27,5  | 7,06  | 9,75   | 28,7  | 3,84  | 9,02   | 11,9  | 4,21  | 7,31   | 11,5  | 0,633 | 1,38   | 14,1  | 0,85  | 1,34   | 4,08  | 2,08  | 4,74   | 35,3  |
| Mrkev (sušina) | 12,8  | 33,7   | 116   | 11,3  | 30,2   | 179   | 6,54  | 12,1   | 27,6  | 5,09  | 11,5   | 53,1  | 1,38  | 4,33   | 15,6  | 4,05  | 12,3   | 39,3  | 5,03  | 11,4   | 30,3  |
| bílé           | 0,026 | 0,449  | 7,85  | *     | 1,07   | 15,2  | *     | 0,100  | 1,62  | *     | 0,371  | 4,80  | *     | 0,171  | 1,49  | *     | 0,091  | 0,527 | *     | 0,160  | 1,79  |
| Víno růžové    | 0,060 | 0,295  | 4,03  | *     | 0,639  | 9,94  | *     | 0,094  | 0,948 | *     | 0,308  | 2,79  | *     | 0,109  | 0,943 | 0,016 | 0,059  | 0,311 | *     | 0,129  | 0,902 |
| červené        | 0,023 | 0,171  | 2,71  | *     | 0,240  | 5,01  | *     | 0,039  | 0,556 | *     | 0,098  | 1,55  | *     | 0,074  | 0,394 | 0,016 | 0,079  | 0,338 | *     | 0,043  | 0,413 |
| Typ vzorku     | Tb    |        |       | Dy    |        |       | Ho    |        |       | Er    |        |       | Tm    |        |       | Yb    |        |       | Lu    |        |       |
|                | MIN   | Medián | MAX   | MIN   | Medián | MAX   | MIN   | Medián | MAX   | MIN   | Medián | MAX   | MIN   | Medián | MAX   | MIN   | Medián | MAX   | MIN   | Medián | MAX   |
| pšeničná       | 0,708 | 1,12   | 1,44  | 0,708 | 1,34   | 3,18  | 0,490 | 1,09   | 1,43  | 0,499 | 1,16   | 3,10  | 0,411 | 1,17   | 1,41  | 0,502 | 1,96   | 5,01  | 0,395 | 0,975  | 1,28  |
| Mouka špaldová | 1,79  | 1,83   | 2,18  | 1,45  | 1,65   | 2,30  | 1,48  | 1,52   | 1,99  | 1,49  | 1,56   | 2,38  | 1,46  | 1,47   | 1,74  | 1,23  | 1,35   | 2,70  | 1,62  | 1,65   | 2,18  |
| žitná          | 0,968 | 1,98   | 2,31  | 1,45  | 1,71   | 4,06  | 0,892 | 1,86   | 1,96  | 1,24  | 1,77   | 2,75  | 0,756 | 1,65   | 1,71  | 1,18  | 1,97   | 3,27  | 0,819 | 1,93   | 2,16  |
| Rýže           | 0,563 | 1,30   | 1,68  | 0,777 | 1,21   | 3,47  | 0,707 | 1,28   | 1,59  | 1,02  | 1,48   | 2,65  | 0,654 | 1,26   | 1,62  | 0,734 | 1,60   | 4,21  | 0,554 | 1,23   | 1,80  |
| Mrkev (sušina) | 0,633 | 1,52   | 3,25  | 1,16  | 2,08   | 11,3  | 0,701 | 1,46   | 3,16  | 1,02  | 1,61   | 6,24  | 0,661 | 1,33   | 1,99  | 0,697 | 1,89   | 6,35  | 0,740 | 1,23   | 1,85  |
| bílé           | *     | 0,029  | 0,307 | *     | 0,175  | 2,17  | *     | 0,054  | 0,472 | *     | 0,152  | 1,47  | *     | 0,032  | 0,239 | *     | 0,264  | 1,62  | *     | 0,050  | 0,302 |
| Víno růžové    | *     | 0,023  | 0,140 | *     | 0,122  | 0,906 | *     | 0,046  | 0,178 | *     | 0,158  | 0,588 | *     | 0,028  | 0,081 | *     | 0,226  | 0,644 | *     | 0,049  | 0,096 |
| červené        | *     | 0,015  | 0,062 | *     | 0,049  | 0,397 | *     | 0,022  | 0,099 | *     | 0,039  | 0,237 | *     | 0,015  | 0,039 | *     | 0,069  | 0,371 | *     | 0,015  | 0,058 |

MAX – maximum, MIN – minimum, \* – naměřené minimum bylo pod hodnotou limitu kvantifikace (LOQ) daného prvku

### 6.2.1 Gadoliniová anomálie a antropogenní gadolinium v potravinách a nápojích

Výpočet hodnot gadoliniové anomálie a koncentrace gadolinia antropogenního původu bylo provedeno shodným způsobem jako v kapitole 6.1 pro vzorky potravin a plodin získané z dostupné literatury. Pozitivní gadoliniová anomálie byla potvrzena u několika vzorků a celkově u všech typů vzorků potravin (pevné i kapalné). Pro soubor vzorků vín byla anomálie vypočtena pouze pro 116 z původních 200 vzorků. Důvodem byla koncentrace prvků Sm a Tb potřebných pro výpočet gadoliniové anomálie nižší nežli LOQ těchto prvků. Obrázek 14 graficky znázorňuje gadoliniovou anomálii v jednotlivých typech vzorků formou krabicových grafů. Podle grafu je možné vyhodnotit, že nejvyšší hodnoty gadoliniové anomálie byly zjištěny ve vzorcích pšeničné mouky. U ostatních typů vzorků (kromě vína) byly rozsahy hodnot v podobné škále. Ve vzorcích vína byly pozorovány nejnižší hodnoty gadoliniové anomálie v porovnání s ostatními typy vzorků potravin.



**Obrázek 14** Gadoliniová anomálie pro analyzované vzorky potravin a nápojů

Statistické charakteristiky stanovení gadoliniové anomálie spolu s hodnotami obsahu antropogenního a geogenního Gd, ve formě minima, mediánu a maxima, jsou uvedeny v tabulce 18. K výpočtu těchto hodnot byla použita data uvedená v příloze C.

**Tabulka 18** Statistické charakteristiky stanovení gadoliniové anomálie ( $Gd_{anom}$ ), obsahu antropogenního gadolinia ( $Gd_{ant}$ ) a geogenního gadolinia ( $Gd_{geo}$ ) ( $Gd_{ant}$  a  $Gd_{geo}$  v  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , víno v  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) pro vzorky potravin

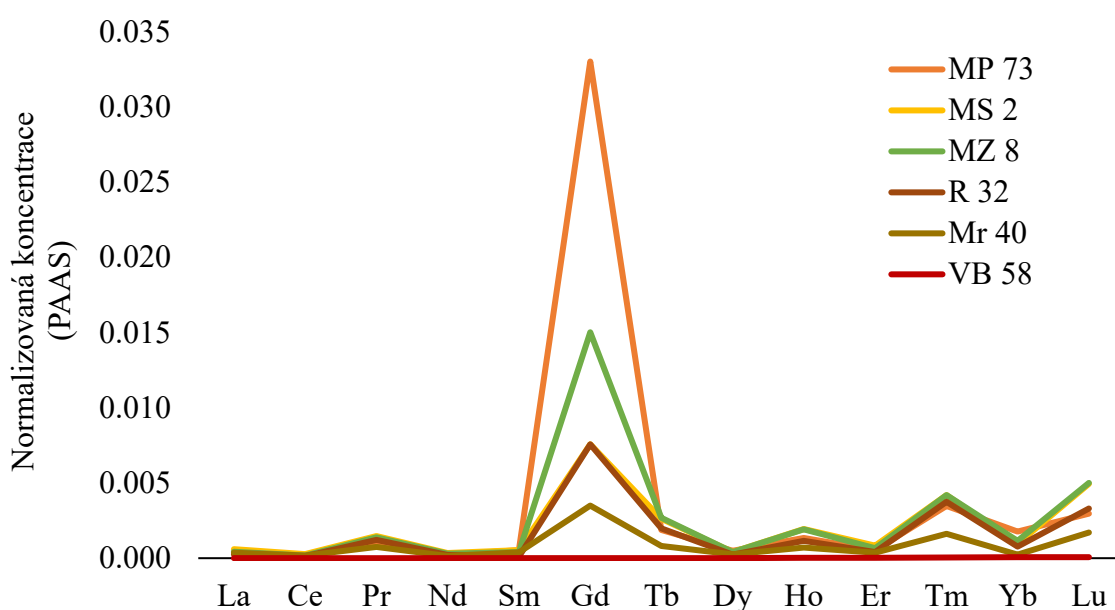
| Typ vzorku     | $Gd_{anom}$ |        |     | $Gd_{ant}$ |        |       | $Gd_{geo}$ |        |      |
|----------------|-------------|--------|-----|------------|--------|-------|------------|--------|------|
|                | MIN         | Medián | MAX | MIN        | Medián | MAX   | MIN        | Medián | MAX  |
| pšeničná       | 0,52        | 2,5    | 23  | 0,188      | 9,83   | 147   | 3,56       | 4,83   | 6,74 |
| Mouka špaldová | 0,42        | 0,49   | 3,9 | 0,291      | 10,5   | 26,2  | 7,84       | 8,11   | 9,78 |
| žitná          | 0,35        | 0,98   | 7,8 | 0,310      | 5,87   | 60,9  | 4,65       | 8,57   | 11,1 |
| Rýže           | 0,38        | 0,88   | 5,6 | 0,103      | 3,05   | 29,0  | 2,61       | 5,60   | 10,1 |
| Mrkev (sušina) | 0,74        | 1,5    | 5,2 | 0,142      | 4,32   | 14,5  | 3,15       | 7,27   | 17,4 |
| Víno           | 0,36        | 1,0    | 1,7 | 0,0012     | 0,0199 | 0,136 | 0,0241     | 0,177  | 1,65 |

MAX – maximum, MIN – minimum

Hodnoty gadoliniové anomálie se pohybovaly v rozmezí 0,52–23 (pšeničná mouka), 0,42–3,9 (špaldová mouka), 0,35–7,8 (žitná mouka), 0,38–5,6 (rýže), 0,74–5,2 (mrkev) a 0,36–1,7 (víno). Hodnoty vyšší než 1,5 jsou považovány za pozitivní gadoliniovou anomálii a naznačují kontaminaci, což může vyvolávat obavy o kvalitu prostředí a bezpečnost potravin [32]. Vzorek pšeničné mouky (MP 73) s celkově nejvyšší hodnotou gadoliniové anomálie byla polohrubá pšeničná mouka z České republiky, což byl 1 ze 6 vzorků pšeničné mouky od stejného dodavatele, kde více než polovina vzorků vykazovala gadoliniovou anomálii vyšší než prahová hodnota 1,5. Vzorkem špaldové mouky s nejvyšší hodnotou gadoliniové anomálie byla celozrnná špaldová mouka (MS 2) z České republiky, která měla jako jediná ze 4 vzorků od stejného dodavatele zvýšenou tuto hodnotu. Ze vzorků žitné mouky dosáhla nejvyšší gadoliniovou anomálii žitná celozrnná hladká mouka z ČR (MZ 8), kde většina vzorků od stejného dodavatele měla prokazatelně pozitivní gadoliniovou anomálii. Vzorek R 32, sushi rýže původem z Vietnamu, byl ze vzorků rýže jako jediný vzorek od tohoto dodavatele s nejvyšší hodnotou gadoliniové anomálie. Avšak nelze říci, že by zvýšené hodnoty gadoliniové anomálie souvisely s určitou oblastí původu. Vzorky s hodnotou gadoliniové anomálie nad 1,5 pocházely z různých zemí (zejména Itálie, Vietnamu a Pákistánu). Ze sady vzorků mrkve měl nejvyšší hodnotu anomálie vzorek Mr 40 původem z Itálie a byl jediným zástupcem tohoto dodavatele. Pozitivní gadoliniová anomálie byla však detekována i ve vzorcích mrkve z ostatních zemí (Česká republika, Slovenská republika, Polsko). Ze vzorků vín byly pouze tři, u kterých byla potvrzena pozitivní gadoliniová anomálie. Nejvyšší hodnota byla nalezena ve vzorku VB 58, což je bílé víno odrůdy Neuburské z vinařské oblasti Morava, ČR. Druhý

vzorek od stejného dodavatele nevykazoval známky pozitivní gadoliniové anomálie. Celkově lze říci, že v dalších 72 vzorcích vín bylo přítomno antropogenní gadolinium, ale pouze v množství, které nepřekročilo prahovou hodnotu anomálie gadolinia.

Graf gadoliniové anomálie znázorňující jednotlivé výše uvedené vzorky s její nejvyšší hodnotou je zobrazen na obrázku 15. Lze zde pozorovat (kromě vzorku VB 58) typickou křivku koncentrací měřených REE normalizovaných k referenčnímu geologickému standardu PAAS, kde koncentrace Gd je zřetelně vyšší naproti ostatním REE, což je důsledkem přítomnosti antropogenního Gd. V měřítku grafu nízké normalizované koncentrace vzorku VB 58 zanikají. Dle literatury, pozitivní gadoliniová anomálie byla nalezena i v dýňovém oleji [141].



MP – mouka pšeničná, Mr – mrkev, MS – mouka špaldová, MZ – mouka žitná, R – rýže, VB – víno bílé

**Obrázek 15** Gadoliniová anomálie pro vzorky potravin s její nejvyšší indikovanou hodnotou

Antropogenní Gd bylo detekováno ve všech typech vzorků (pšeničná, špaldová a žitná mouka, rýže, mrkev a víno) a hodnoty vykazují značnou variabilitu mezi jednotlivými vzorky. Nejvyšší hodnota byla zjištěna v pšeničné mouce ( $147 \mu\text{g kg}^{-1}$ , konkrétně vzorek MP 73), což naznačuje silnou antropogenní kontaminaci v tomto vzorku naproti ostatním. Nejnižší detekované hodnoty se objevily u vína ( $0,0012 \mu\text{g kg}^{-1}$ , konkrétně vzorek VB 97) a obecně mají vzorky vína i nejmenší hodnotu mediánu ( $0,0199 \mu\text{g kg}^{-1}$ ). Nízké koncentrace  $\text{Gd}_{\text{anth}}$  mohou naznačovat souvislost s kombinací výrobního procesu, geografických a půdních faktorů, a menší expozicí kontaminovaným vodním zdrojům. Pokud jde o rozdíl mezi obsahem geogenního a antropogenního Gd u pevných potravin, není vždy pravidlem, že obsah

antropogenního Gd je vyšší nebo naopak nižší než toho geogenního při porovnání hodnot pro jednotlivé vzorky. Tyto hodnoty jsou někdy na stejné úrovni a někdy je úroveň antropogenního proti geogennímu Gd v násobně vyšší. V případě vína byl obsah geogenního Gd vždy vyšší než obsah antropogenního Gd, a to v násobcích 2 až 232krát vyšší. Gadoliniová anomálie může souviset i s částí plodiny, která je konzumována a do které je Gd z půdy distribuováno. Téma by mohlo být předmětem dalšího vědeckého zkoumání.

Obecně lze říci, že pozitivní gadoliniová anomálie byla přítomna napříč celým souborem vzorků jak podle druhu (mouka, rýže, mrkev, víno), tak podle zemí původu vzorků (Evropa, Asie). Data jasně ukazují významnou přítomnost  $Gd_{ant}$  v pevných potravinách, a to zejména v obilninách. Víno vykazuje nejnižší hodnoty  $Gd_{ant}$ , což by mohlo být indikátorem odlišných environmentálních vlivů nebo zpracování. Tato zjištění jsou v souladu s důkazy z vědecké literatury, která v současnosti označuje Gd za nově se objevující kontaminant přítomný v různých složkách životního prostředí. Rostoucí koncentrace  $Gd_{ant}$  v životním prostředí pochází z různých průmyslových a technologických aplikací, zejména medicíny (GdCA), jaderné energetiky (kontrolní tyče v jaderných reaktorech), automobilového (katalyzátory) a sklářského průmyslu, které jsou hlavními zdroji  $Gd_{ant}$  v Evropě. Mezi další důležité zdroje patří elektronika (permanentní magnety a optická vlákna) a metalurgie (zlepšení odolnosti kovů) [1, 11, 111, 151]. Studie ukázaly, že GdCA používané při MRI se uvolňují do vodních systémů a mohou přetrvávat při konvenčním čištění odpadních vod, což vede k detekovatelným hladinám Gd v přírodních vodních tocích [11]. Následně se Gd může dostat do zemědělských půd a potravin běžně konzumovaných širokou populací. Existence Gd anomálie, tedy zvýšení množství  $Gd_{ant}$  v povrchových vodách, byla již vědecky prokázána v mnoha publikacích napříč Evropou, například v Německu [7, 32, 45, 60], Velké Británii [60], Francii [43, 47] a České republice [11]. Sledování tohoto jevu v potravinách je však prozatím neprobádané téma. Nejvyšší hodnota  $Gd_{ant}$  v obilninách naznačuje potřebu dalšího sledování potravinového řetězce v souvislosti s tímto kontaminantem, zejména v oblastech s rozšířeným používáním GdCA v medicíně. Fenomén gadoliniové anomálie by měl být dále zkoumán z důvodu toxicity  $Gd^{3+}$  iontu, tedy i bezpečnosti potravin.

### **6.3 Bilance hmotnostního toku GdCA na MRI pracovištích**

Bilance hmotnostního toku GdCA na MRI pracovištích je důležitým aspektem výzkumu znečištění životního prostředí, protože umožňuje sledovat úniky Gd jak do odpadních vod, tak množství kontaminovaného odpadu po aplikaci látky. Může být i popudem pro sběr odpadního

materiálu a jeho dalšího využití při zavedení principů cirkulární ekonomiky. Jak v odpadních vodách, tak i ve zdravotnických odpadech může docházet k jeho akumulaci s potenciálními ekologickými dopady. Oslovená pracoviště, která poskytují služby MRI ve východočeském regionu (Pardubice, Hradec Králové) byly Oddělení Magnetické rezonance v Nemocnici Pardubického kraje, a.s. (NPK), Radiologické centrum Multiscan, s.r.o. v Pardubicích (Multiscan) a Radiologická klinika Fakultní nemocnice Hradec Králové (FN HK). Tato zařízení byla zvolena z důvodu jejich geografické dostupnosti, objemu prováděných MRI vyšetření a různorodosti používaných GdCA. Výběr zajišťuje reprezentativní přehled o praxi a nakládání s odpady v rámci regionu. Kromě toho sledování bilance na různých typech zařízení umožňuje porovnat rozdíly ve spotřebě kontrastních látek a efektivitě jejich využití. Na vybraných MRI pracovištích byl proveden sběr odpadních ampulí po aplikaci kontrastní látky pacientovi a dotazníkové šetření za účelem vyhodnocení bilance hmotnostního toku GdCA. Soubor vzorků obsahoval 5 různých GdCA, a to Gadovist 1 mmol mL<sup>-1</sup> (Gadovist), Dotarem 0,5 mmol mL<sup>-1</sup> (Dotarem), ProHance 279,3 mg mL<sup>-1</sup> (ProHance), Clariscan 0,5 mmol mL<sup>-1</sup> (Clariscan) jako makrocyclické GdCA a Primovist 0,25 mmol mL<sup>-1</sup> (Primovist) jako lineární GdCA. V laboratoři proběhla kvantifikace sesbíraného odpadu, vyhodnocení dotazníků, optimalizace počtu výplachů ampulí GdCA a ICP-OES analýza výplachů všech typů odpadních ampulí.

Shromážděné informace o bilanci hmotnostního toku GdCA na MRI pracovištích poskytují cenný podklad pro tvorbu ekologických strategií v oblasti nakládání s odpady obsahujícími Gd. Identifikace obalů s nejvyšším množstvím zbytkového Gd umožňuje optimalizaci používání kontrastních látek, a tím snížení zbytkového odpadu. Tyto poznatky lze zároveň využity pro zlepšení praxe recyklace a bezpečné likvidace odpadu ve zdravotnických zařízeních, čímž lze snížit potenciální znečištění povrchových vod a minimalizovat ekologické dopady.

### **6.3.1 ICP-OES analýza výplachů odpadních ampulí GdCA**

Za účelem zjištění obsahu Gd v relativně prázdných odpadních ampulích GdCA byly provedeny výplachy ampulí a jejich následná ICP-OES analýza. Optimalizace postupu výplachů odpadních ampulí určila 5 po sobě jdoucích výplachů jedné ampule jako dostačující počet opakování. Ze všech typů obalů získaných GdCA (viz tabulka 12) byly náhodně vybrány vždy tři kusy. Každá z ampulí byla 5x vypláchnuta 10 mL ultra-čisté vody, výjimkou byla pouze lahvička Gadovist 30 mL, která byla vyplachována 15 mL ultra-čisté vody. Větší lahvičky vyžadovaly použití většího množství vyplachovací kapaliny, aby bylo zajištěno důkladné odstranění zbytkového obsahu Gd. Výplachy 1.–5. byly převedeny do 100mL

odměrné baňky a doplněny po rysku ultra-čistou vodou. Dále byly takto připravené výplachy ředěny ještě 25x, výjimkou byly výplachy lahvíček Gadovist 15 mL a Gadovist 30 mL, které byly ředěny 100krát. Odlišné ředění vzorků bylo zvoleno s ohledem na rozdílné objemy a koncentrace Gd v jednotlivých typech obalů. Samotná ICP-OES analýza obsahu zbytkového Gd proběhla za podmínek shodných s analýzou předešlých optimalizačních výplachů. Výsledky ICP-OES analýzy všech typů odpadních ampulí byly shrnuty do tabulky 19.

Koncentrace Gd v odpadních ampulích se pohybovaly v rozmezí 2,58–16,4 mg L<sup>-1</sup> pro lahvíčky a 0,16–12,7 mg L<sup>-1</sup> pro stříkačky, což je 6,45–41,1 a 0,393–31,9 mg Gd ve výplachu (100 mL) z daného typu obalu. Procentuálně se pohyboval obsah zbylého Gd v zřetelně prázdných ampulích mezi 0,23 až 5,2 % u lahvíček a 0,10 až 2,4 % u stříkaček.

**Tabulka 19** Koncentrace a procenta původního obsahu Gd v oplachu odpadních ampulí

| Typ obalu | GdCA           | Opakování | c <sub>Gd</sub><br>(mg L <sup>-1</sup> ) | c <sub>Gd</sub><br>(mg 100 mL <sup>-1</sup> ) | % původního obsahu<br>Gd v GdCA |
|-----------|----------------|-----------|--|---|---------------------------------|
| Lahvičky  | Gadovist 15 mL | 1         | 4,76                                     | 11,9  | 0,50                            |
|           |                | 2         | 5,21                                     | 13,0  | 0,55                            |
|           |                | 3         | 3,48                                     | 8,71  | 0,37                            |
|           | Gadovist 30 mL | 1         | 4,70                                     | 11,7  | 0,25                            |
|           |                | 2         | 5,48                                     | 13,7  | 0,29                            |
|           |                | 3         | 4,37                                     | 10,9  | 0,23                            |
|           | Dotarem 10 mL  | 1         | 16,4                                     | 41,1  | 5,22                            |
|           |                | 2         | 3,78                                     | 9,45  | 1,2                             |
|           |                | 3         | 5,78                                     | 14,5  | 1,8                             |
|           | Dotarem 15 mL  | 1         | 4,59                                     | 11,5  | 0,97                            |
|           |                | 2         | 4,16                                     | 10,4  | 0,88                            |
|           |                | 3         | 3,01                                     | 7,52  | 0,64                            |
|           | Dotarem 20 mL  | 1         | 3,19                                     | 7,98  | 0,51                            |
|           |                | 2         | 3,23                                     | 8,08  | 0,51                            |
|           |                | 3         | 2,58                                     | 6,45  | 0,41                            |
|           | ProHance 10 mL | 1         | 3,99                                     | 10,0  | 1,3                             |
|           |                | 2         | 7,17                                     | 17,9  | 2,3                             |
|           |                | 3         | 5,68                                     | 14,2  | 1,8                             |
|           | ProHance 20 mL | 1         | 3,35                                     | 8,37  | 0,53                            |
|           |                | 2         | 5,39                                     | 13,5  | 0,86                            |
|           |                | 3         | 3,93                                     | 9,84  | 0,63                            |

| Typ obalu | GdCA            | Opakování | $c_{Gd}$<br>(mg L <sup>-1</sup> ) | $c_{Gd}$<br>(mg 100 mL <sup>-1</sup> ) | % původního obsahu<br>Gd v GdCA |
|-----------|-----------------|-----------|-----------------------------------|--|---------------------------------|
| Stříkačky | Gadovist 7,5 mL | 1         | 1,34                              | 3,35                                   | 0,28                            |
|           |                 | 2         | 1,66                              | 4,16                                   | 0,35                            |
|           |                 | 3         | 2,14                              | 5,36                                   | 0,45                            |
|           | Gadovist 10 mL  | 1         | 2,73                              | 6,84                                   | 0,43                            |
|           |                 | 2         | 3,25                              | 8,13                                   | 0,52                            |
|           |                 | 3         | 2,55                              | 6,38                                   | 0,41                            |
|           | ProHance 17 mL  | 1         | 8,93                              | 22,3                                   | 1,7                             |
|           |                 | 2         | 12,7                              | 31,9                                   | 2,4                             |
|           |                 | 3         | 9,69                              | 24,2                                   | 1,8                             |
|           | Primovist 10 mL | 1         | 0,37                              | 0,934                                  | 0,24                            |
|           |                 | 2         | 0,16                              | 0,393                                  | 0,10                            |
|           |                 | 3         | 0,16                              | 0,394                                  | 0,10                            |
|           | Clariscan 15 mL | 1         | 6,47                              | 16,2                                   | 1,4                             |
|           |                 | 2         | 2,12                              | 5,31                                   | 0,45                            |
|           |                 | 3         | 1,62                              | 4,06                                   | 0,34                            |

Dle výsledků analýzy lze zhodnotit, že průměrně byla stříkačka Primovist 10 mL s nejnižším zbytkovým obsahem Gd ze všech typů obalů, a naopak stříkačka ProHance 17 mL byla s nejvyšším zbytkovým obsahem Gd. Obecně nelze vyhodnotit, zda je typ obalu stříkačka nebo lahvička výhodnější z pohledu využitelnosti obsahu GdCA v maximální míře.

### 6.3.2 Dotazníkové šetření na MRI pracovištích

Na vybraných třech MRI pracovištích proběhlo dotazníkové šetření založeno na dotazníku skládajícího se z osmi otázek ohledně chodu pracoviště a využívání, spotřebě a nakládání s GdCA odpady. Odpovědi jsou shrnuty v tabulce 20. Dle dotazníku lze vyhodnotit druhy GdCA, se kterými jednotlivé pracoviště pracují, v jakých objemech je spotřebovávají, kolik MRI vyšetření měsíčně průměrně provádějí a jaká část je za využití GdCA ale také kolik odpadu vyprodukují a jak s ním nakládají. Používané GdCA jednotlivými pracovišti se shodovaly s druhy nalezenými ve sběru odpadů. Pravidelný nákup GdCA je na většině pracovišť prováděn dle potřeby, pouze NPK má zcela přesné záznamy o pravidelných nákupech zásob. Pracoviště Multiscan provádí měsíčně nejvíce MRI vyšetření, avšak poměrově nejméně z toho je za využití GdCA, pouze 6 %, což přímo snižuje množství generovaného odpadu. Naproti tomu pracoviště FN HK provádí až polovinu svých MRI vyšetření za využití GdCA, což přirozeně vede k vyššímu objemu odpadu. Obvyklá dávka GdCA pacientovi zohledňuje hmotnost

pacienta proto nelze přesně určit její objem. Množství odpadních ampulí GdCA se pohyboval mezi 100–165 ks. S odpadními GdCA je nakládáno dle předpisů jednotlivých pracovišť ohledně nakládání s odpadem ve zdravotnických zařízeních.

**Tabulka 20** Odpovědi jednotlivých MRI pracovišť v dotazníkovém šetření

| Otázka   | NPK   | Multiscan   | FN HK   |
|--|---|---|---|
| 1. Název a místo MRI pracoviště                                  | Oddělení Magnetické rezonance v Nemocnici Pardubického kraje, a.s. v Pardubicích  | Radiologické centrum Multiscan, s.r.o. v Pardubicích          | Radiologická klinika Fakultní nemocnice Hradec Králové v Hradci Králové                                   |
| 2. Jaké GdCA používáte?  | Gadovist: 7,5; 10; 15 mL<br>Dotarem: 10, 15, 20 mL<br>ProHance: 10, 17, 20 mL<br>Primovist: 10 mL   | Gadovist: 7,5; 10; 15 mL<br>Primovist: 10 mL                  | Gadovist: 7,5; 10; 15; 30 mL<br>ProHance: 20 mL<br>Primovist: 10 mL<br>Clariscan: 10, 15 mL               |
| 3. Kolik průměrně GdCA nakoupíte za 1 měsíc?                     | Gadovist: 7,5; 10; 15 mL – 4, 4, 7 balení<br>Dotarem: 10, 15, 20 mL – 8, 8, 5 balení<br>ProHance: 10, 17, 20 mL – 4, 8, 5 balení<br>Primovist: 10 mL – 8 balení | Gadovist: 7,5; 10; 15 mL<br>Primovist: 10 mL<br>– dle potřeby | Gadovist: 7,5; 10; 15; 30 mL<br>ProHance: 20 mL<br>Primovist: 10 mL<br>Clariscan: 10, 15 mL – dle potřeby |
| 4. Průměrně kolik MRI vyšetření provedete za 1 měsíc?            | 553 vyšetření   | 2 400 vyšetření   | 1 200 vyšetření   |
| 5. Průměrně kolik z těchto vyšetření je za použití GdCA?         | 126 vyšetření   | 140 vyšetření   | > polovina  |
| 6. Jaká je obvyklá dávka GdCA na 1 pacienta?                     | 10 ml GdCA  | Gadovist: 7,5; 10; 15 mL<br>Primovist: 10 mL                  | v závislosti na hmotnosti pacienta  |
| 7. Průměrně kolik odpadu (ampulí s GdCA) vyprodukuje za 1 měsíc? | 100 ampulí  | 140 ampulí  | 165 ampulí  |
| 8. Jak a kde se tohoto odpadu zbavujete?                         | spalovna, NPK, Pardubice  | sklad biologického odpadu, Poliklinika Vektor, Pardubice      | svoz odpadu FN HK   |

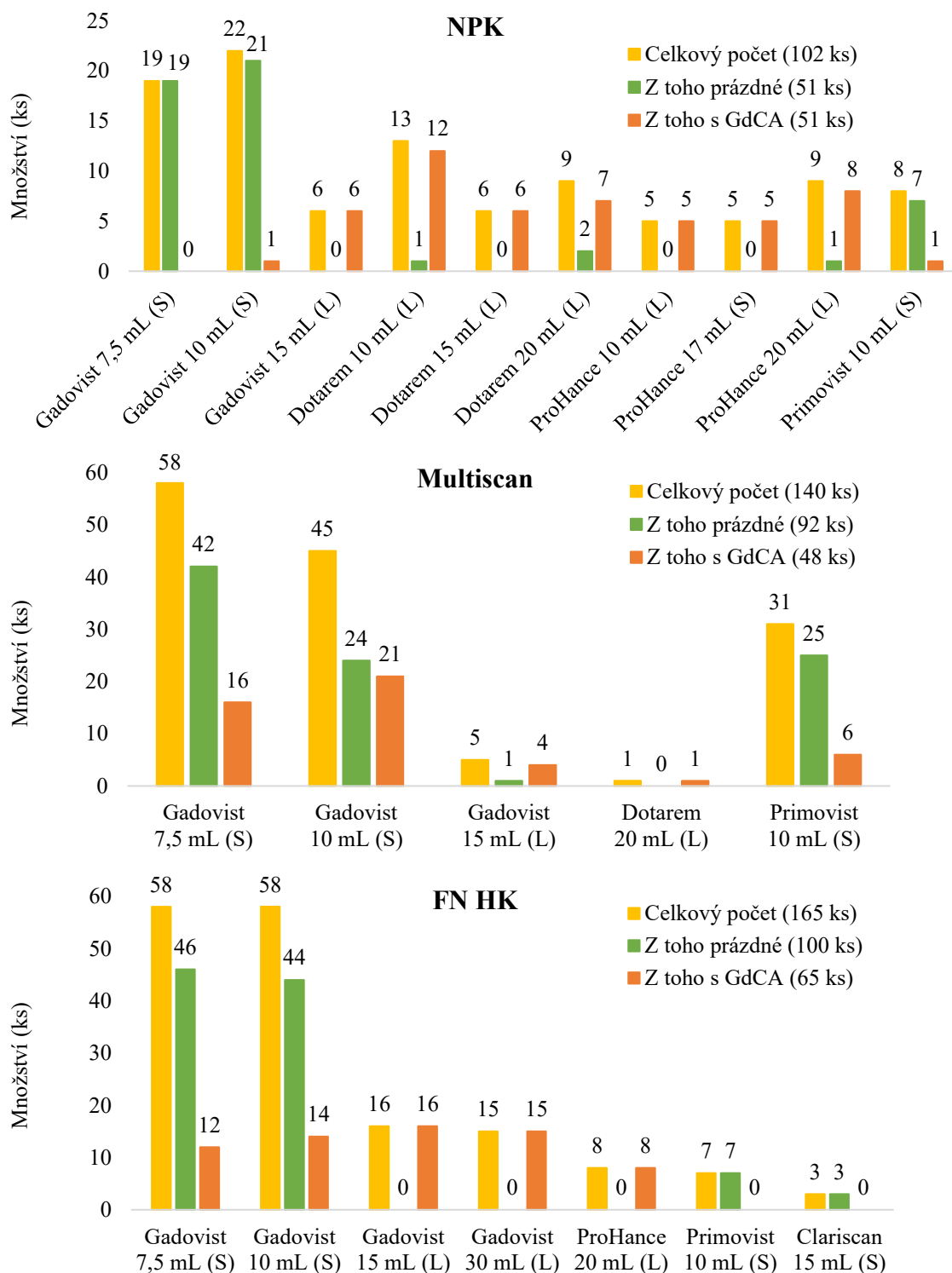
**FN HK** – Fakultní nemocnice Hradec Králové, **GdCA** – kontrastní látky na bázi gadolinia, **NPK** – Nemocnici Pardubického kraje, **MRI** – zobrazování magnetickou rezonancí

Dotazníkové šetření ukázalo jasné rozdíly v množství odpadu obsahujícího GdCA, které lze přičíst konkrétním organizačním a provozním postupům. Klíčovým faktorem ovlivňujícím

produkci odpadu jsou také rozdíly v evidenci a manipulaci s GdCA. NPK, které má přesné záznamy o pravidelných nákupech zásob, může vykazovat vyšší množství odpadu kvůli detailnímu sledování využití a manipulace s kontrastními látkami. Naproti tomu Multiscan pravděpodobně optimalizuje množství skladovaných zásob a minimalizuje zbytky, což se odráží v jeho nižší produkci odpadu. Celkové závěry zdůrazňují důležitost zavedení jednotných standardů nakládání s odpady obsahujícími GdCA. Doporučení zahrnují optimalizaci dávkování na základě hmotnosti pacientů, efektivnější manipulaci s obaly a pravidelnou analýzu produkce odpadu. Tato opatření mohou přispět k minimalizaci odpadu a snížení ekologického dopadu bez ohrožení kvality diagnostických služeb.

### **6.3.3 Bilance odpadních GdCA na MRI pracovištích**

Bilance množství odpadních ampulí GdCA na vybraných MRI pracovištích poskytuje důležitý přehled o spotřebě a efektivitě využití těchto látek. Analýza dat ze tří různých zařízení, Nemocnice Pardubického kraje (NPK), Multiscan a Fakultní nemocnice Hradec Králové (FN HK), ukazuje rozdíly v preferencích objemů a typů obalů, které ovlivňují množství reziduí GdCA v odpadu. Obrázek 16 zobrazuje bilance množství odpadních ampulí na jednotlivých MRI pracovištích, jak celkový počet, tak počty prázdných ampulí a ampulí se zjevným obsahem GdCA. V případě NPK se na tomto pracovišti nejčastěji používají GdCA Gadovist o objemu 7,5 mL a 10 mL v podobě stříkaček. Oba typy jsou také z pohledu využitelnosti obsahu GdCA nejlépe vyprázdněnými obaly společně se stříkačkou Primovist 10 mL. U ostatních typů obalů GdCA převažují ampule se zbytkovým obsahem GdCA naproti těm prázdným. Celkově jsou prázdné ampule a ampule s obsahem GdCA v poměru 1:1. Na pracovišti Multiscan je stejně jako v NPK nejvíce využívána GdCA Gadovist ve velikostech 7,5 mL a 10 mL stříkaček. Třetí nejpoužívanější je stříkačka Primovist 10 mL. Stříkačky Gadovist 7,5 mL a Primovist 10 mL převládají v počtech prázdných obalů naproti těm s reziduí GdCA. Nedochozí však k tak úspěšnému využití celého obsahu GdCA, zřejmě z důvodu přesunu GdCA z těchto stříkaček do jiné sterilní stříkačky, aby odpadní stříkačky, které nám byly sbírány, nebyly pacienty kontaminovány. Lahvičky Gadovist 15 mL a Dotarem 20 mL jsou zde používány pouze okrajově. Poměr ampulí prázdných a s obsahem GdCA je na tomto pracovišti přibližně 2:1. Ve FN HK je patrná shodně vysoká preference využívání stříkaček Gadovist 7,5 a 10 mL. V menších počtech jsou využívány i další typy odpadních ampulí.



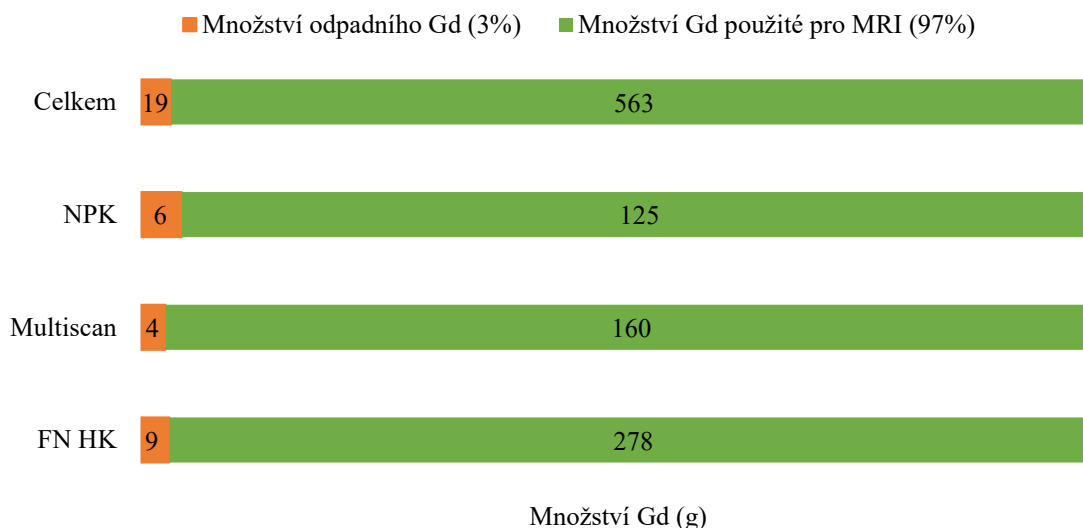
L – lahvička, S – stříkačka

**Obrázek 16** *Bilance množství odpadních ampulí na jednotlivých MRI pracovištích*

Pro všechny typy odpadních stříkaček pocházejících z FN HK platí, že jsou lépe využitelné nežli lahvičky z pohledu zbytků rezidui GdCA, což dokazuje i celkový poměr odpadních ampulí 3:2 (prázdné : s rezidui).

Tato zjištění ukazují, že všechny tři MRI pracoviště převážně používají menší objemy Gadovistu ve stříkačkách (7,5 a 10 mL), což může být odrazem specifických diagnostických potřeb a preferencí v daných zařízeních. Dle zjištění jsou tyto obaly zároveň nejhodnější pro snížení množství zbytkových rezidui GdCA v odpadních ampulích. Tato analýza zdůrazňuje význam výběru vhodných typů obalů GdCA pro optimalizaci využití kontrastní látky a minimalizaci zbytkového odpadu, což přispívá k efektivnějšímu a ekologičtějšímu provozu MRI pracovišť.

Na obrázku 17 je zobrazen graf bilance množství Gd na jednotlivých MRI pracovištích a poskytuje přehled o využití a odpadu Gd. Zobrazuje celkové množství Gd pocházejícího z GdCA, v rozpadu na podíl Gd, které bylo reálně využito pro diagnostické účely, a podílu odpadu Gd, které zůstalo jako reziduum v nevyužitých obalech. Celkem bylo na třech vybraných MRI pracovištích za období 1 měsíce použito 563 g Gd (97 %) a v podobě reziduí bylo vyhozeno 19 g Gd (3 %) v odpadních ampulích, což ukazuje vysokou efektivitu využitelnosti Gd z GdCA ampulí pro zobrazovací účely.



**Obrázek 17** *Bilance množství Gd na jednotlivých MRI pracovištích*

NPK vykazuje celkové množství použitého Gd ve výši 125 g, přičemž odpad činí 6 g. Tento podíl odpovídá 4,6 %, což je nejvyšší míra odpadu ze všech sledovaných pracovišť a může být způsoben specifickými postupy či preferencemi v NPK, které mohou vést k vyššímu podílu zbytkového Gd ve srovnání s ostatními zařízeními. Na pracovišti Multiscan činí celkově použité množství Gd 160 g, zatímco odpad obsahuje 4 g Gd, což odpovídá 2,4 % z celkového objemu Gd na tomto pracovišti. Multiscan tedy vykazuje nejlepší efektivitu využití Gd. Důvodem pro toto zjištění může být i skutečnost, že se jedná o soukromé zařízení. Ve FN HK bylo použito 278 g Gd, přičemž odpad zde činí 9 g, tedy 3,1 % z celkového množství Gd na tomto pracovišti. Tento poměr je konzistentní s celkovým trendem a potvrzuje vysokou míru využití GdCA. Celkově data ukazují, že pracoviště MRI ve všech sledovaných zařízeních efektivně využívají kontrastní látky obsahující Gd.

Zjištění z bilance odpadních GdCA na MRI pracovištích mohou zásadně ovlivnit postupy nakládání s odpady a jejich regulaci. Identifikace typů obalů, které generují nejmenší množství zbytkových reziduí Gd, umožňuje zdravotnickým zařízením zvolit efektivnější strategie pro manipulaci s GdCA. Použití menších objemů stříkaček, jako jsou Gadovist 7,5 mL a 10 mL, které vykazují nejnižší rezidua, by mohlo být standardizováno, čímž by se snížilo množství odpadu s GdCA. Navíc by mohla být zavedena opatření pro jednotné procesy manipulace s odpadem, jako je důsledné vyplachování obalů (recyklace Gd) nebo přesnější dávkování GdCA, což by přispělo k minimalizaci zbytkového odpadu. Tyto poznatky mohou být také základem pro formulaci regulačních politik, například zavedení povinnosti reportování množství odpadu GdCA nebo standardizovaných postupů jeho likvidace. Tímto způsobem lze nejen snížit environmentální zátěž způsobenou zbytkovým Gd, ale také optimalizovat ekologickou udržitelnost provozu zdravotnických zařízení. Přehledová studie o strategii snížení kontaminace vodního prostředí GdCA se shoduje v doporučení opatření zaměřených na snížení environmentální zátěže způsobené GdCA. Navrhuje snižování použití GdCA prostřednictvím optimalizace klinických aplikací, jako je redukce objemu na základě hmotnosti pacienta, použití GdCA s vyšší relaxivitou a efektivnějších obrazových sekvencí. Dále zdůrazňuje význam sběru zbytků GdCA a využití větších balení ke snížení odpadu [83].

#### **6.4 Studium environmentálních dopadů gadolinia na vodní organismy**

S narůstajícím uvolňováním Gd do životního prostředí především prostřednictvím odpadních vod se zvyšuje potřeba pochopit jeho potenciální dopady na vodní organismy a ekosystémy. V posledních letech přibývají studie zaměřené na toxicitu Gd ve sladkovodním prostředí. Tyto

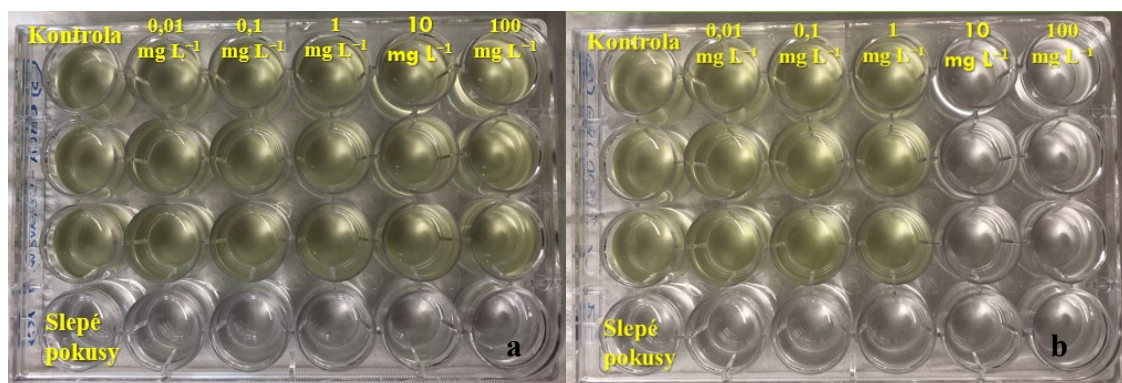
studie se snaží identifikovat úroveň ohrožení významných sladkovodních organismů a navrhují strategie k minimalizaci rizik spojených s přítomností Gd ve vodních ekosystémech. Naše práce se zabývá možným vlivem Gd na sladkovodní mikrořasy, které jsou klíčovou složkou primární produkce a základem fungování vodních ekosystémů. Standardizovaný test inhibice růstu sladkovodních zelených řas (AGI test) je klíčovým nástrojem pro posuzování toxicity chemických látek na růst mikrořas. Test poskytuje relevantní údaje o ekologických rizicích spojených s různými formami Gd a přispívá k lepšímu pochopení jejich vlivu na vodní prostředí.

#### **6.4.1 Test inhibice růstu sladkovodních zelených řas**

Kvalita vod – Zkouška inhibice růstu sladkovodních zelených řas popsána v normě EN ISO 8692:2012 (AGI test) je environmentální test určený k hodnocení toxicity chemických látek, odpadních vod nebo jiných materiálů na růst sladkovodních mikrořas. Cílem testu je posoudit, do jaké míry testovaná látka ovlivňuje růst mikrořas, přičemž se sleduje změna biomasy v průběhu experimentu. Tento test je klíčový při posuzování vlivů chemických látek na vodní ekosystémy a přispívá k ochraně životního prostředí [136].

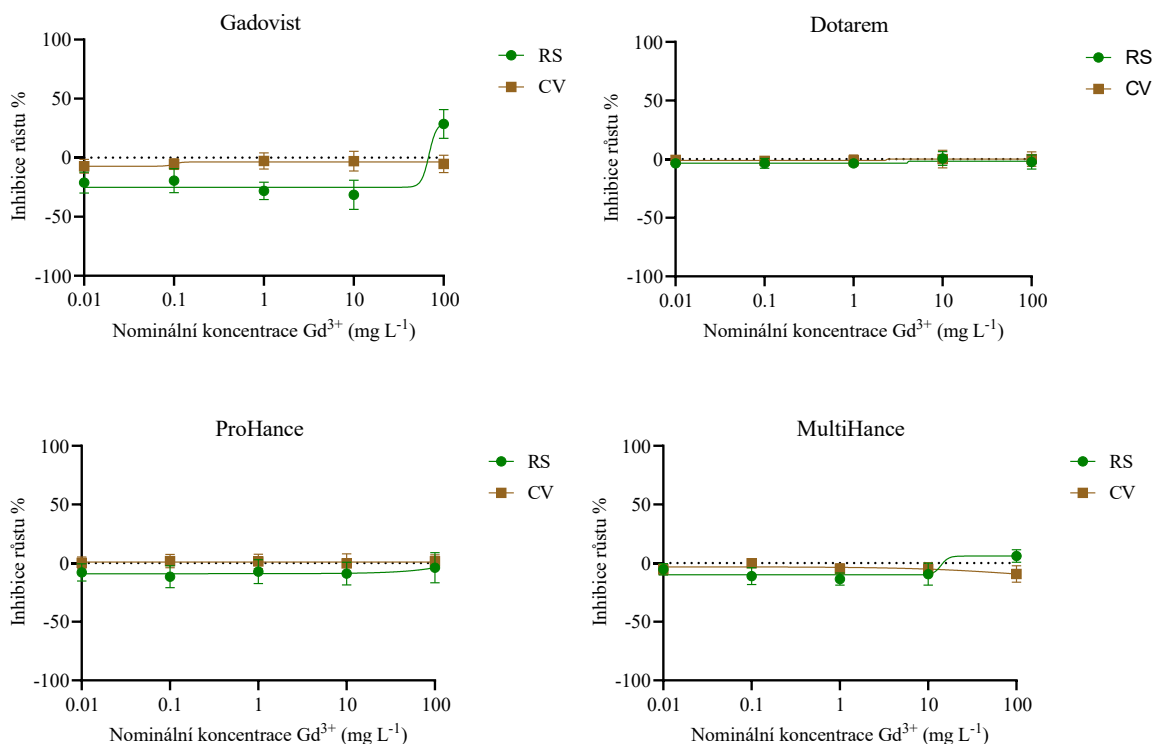
Pro účely testování byly vybrány čtyři GdCA, a to Gadovist (gadobutrol), Dotarem (kyselina gadoterová) a ProHance (gadoteridol) ze skupiny makrocyclických GdCA a MultiHance (gadobenát-dimeglumin) ze skupiny lineárních GdCA. Pro porovnání byla vybrána anorganická sůl Gd, a to  $Gd(NO_3)_3$ . Výběr testovaných GdCA reflektuje jejich široké využití v klinické praxi, zatímco  $Gd(NO_3)_3$  slouží jako modelová sloučenina reprezentující anorganické Gd. Norma doporučuje připravit testovanou látku v různých koncentracích tak, aby pokryla celé spektrum od nízkých až po vysoké koncentrace s potenciálním toxickým účinkem. Zvolená byla tedy koncentrační řada 0,01; 0,1; 1; 10 a 100 mg L<sup>-1</sup> Gd. Test byl proveden dle normy ve 24-jamkových kultivačních destičkách, vždy ve dvou řadách, kdy jedna byla pro *Chlorella vulgaris* (CV) a jedna pro *Raphidocelis subcapitata* (RS). Jedna řada testovacích destiček se skládala z 1x negativní kontrola (blank), 1x pozitivní kontrola (DCP), 3x testovací látka (GdCA nebo  $Gd(NO_3)_3$ ). Každá testovací látka byla otestována ve 3 opakováních. Kultury byly inkubovány za standardních podmínek v inkubátoru při teplotě 20 °C, za konstantního osvětlení po dobu 72 hodin. Během testu se v pravidelných intervalech měřila fluorescence, a to v čase zahájení testu (t<sub>0</sub>), po 24 hodinách (t<sub>1</sub>), po 48 hodinách (t<sub>2</sub>) a po 72 hodinách (t<sub>3</sub>), ze kterých se následně vypočítá hustota biomasy. Ukázka destiček s AGI testem RS po 72 hodinách s testovacími látkami Dotarem a  $Gd(NO_3)_3$  je na obrázku 18.

Destička se vždy skládá z části pro kontrolu (nekontaminovaná mikrořasa), části s koncentrační řadou sledované látky (kontaminovaná mikrořasa) a z části slepých pokusů (DIN médium bez mikrořasy). Růstová inhibice se vypočítává porovnáním růstu v přítomnosti testované látky s růstem v kontrolních vzorcích. Klíčovou metrikou je EC50 (koncentrace látky, která způsobí 50% inhibici růstu).



**Obrázek 18** AGI test *Raphidocelis subcapitata* po 72 hodinách (a – Dotarem, b –  $Gd(NO_3)_3$ )

Grafy křivek dávka-odpověď zobrazené na obrázku 19 ukazují vztah mezi nominální koncentrací  $Gd^{3+}$  a mírou inhibice růstu mikrořas. Výsledky se liší pro jednotlivé GdCA (Gadovist, Dotarem, ProHance, MultiHance) i mezi oběma indikátorovými organismy (CV a RS). U RS v případě Gadovistu je vidět mírný nárůst inhibice růstu při koncentracích nad  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , kde inhibice dosahuje přibližně 20 %. U CV je inhibice růstu minimální (okolo 0 %) napříč celým rozsahem koncentrací. Gadovist vykazuje mírnou toxicitu pro RS při vyšších koncentracích, ale na CV nemá téměř žádný vliv. Míra inhibice růstu pro Dotarem u RS i CV je konstantní a blízko 0 % napříč všemi koncentracemi. Dotarem nevykazoval žádné významné toxické účinky na růst RS ani CV, což naznačuje jeho nízkou ekotoxicitu. Křivky pro RS i CV u ProHance neprokázaly žádnou závislost, s mírou inhibice okolo 0 % ve všech koncentracích. Podobně jako u Dotaremu, ani ProHance nezpůsobuje inhibici růstu, což naznačuje jeho ekologickou šetrnost. U RS je při koncentracích MultiHance nad  $10 \text{ mg L}^{-1}$  pozorován mírný nárůst inhibice růstu, který dosahuje přibližně 10–15 %. U CV je inhibice růstu blízka 0 % napříč všemi koncentracemi. MultiHance má mírný toxický účinek na RS při vyšších koncentracích, avšak na CV nemá žádný významný vliv.

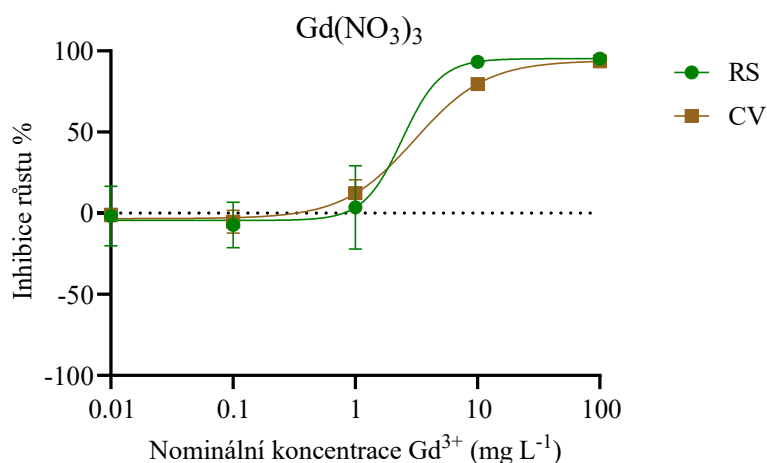


**Obrázek 19** Křivky dávka-odpověď pro GdCA (Gadovist, Dotarem, ProHance, MultiHance)

Největší toxicitu pro RS vykazuje Gadovist, následovaný MultiHance, přičemž toxicita je patrná pouze při vyšších koncentracích ( $>10 \text{ mg L}^{-1}$ ). Dle výsledků testů nelze zhodnotit, zda jsou lineární GdCA více toxické nežli makrocyclické. Pro CV nevykazují žádné z testovaných GdCA významný toxický účinek, což naznačuje odolnost tohoto organismu vůči GdCA. Dotarem a ProHance nevykazují žádné toxické účinky ani na RS, ani na CV, což je činí ekologicky přijatelnějšími a méně škodlivými GdCA pro vodní ekosystémy. Tato zjištění naznačují, že ekotoxicita GdCA závisí na jejich složení a testovaném organismu, přičemž výsledky testů ukazují, že se toxicita liší mezi jednotlivými GdCA. Tyto rozdíly by mohly sloužit jako podklad pro doporučení preferovat v klinické praxi méně toxické látky, jako jsou Dotarem a ProHance. Studie sledující ekotoxicitu GdCA na shodných zelených mikrořasách prostřednictvím AGI testu nebyla zatím publikována. Získaná data je možné porovnat pouze s výsledky získanými prostřednictvím AGI testu (72 hodin) na zelené mikrořase *Desmodesmus subspicatus*, která byla vystavena působení pěti různých GdCA (Gadovist, Magnevist, Omniscan, Primovist, ProHance). Všechny GdCA kromě Omniscanu ( $\text{NOEC } 20 \text{ mg L}^{-1}$ ) neměly inhibiční účinky na růst mikrořasy při koncentracích nižších než  $100 \text{ mg L}^{-1}$  [14]. Tato

zjištění jsou téměř shodné s našimi ale existují drobné rozdíly, které mohou být způsobeny odlišným testovacím organizmem.

AGI test byl proveden rovněž pro  $Gd(NO_3)_3$  a výsledná křivka dávka-odpověď zobrazena na obrázku 20. Pro obě mikrořasy (RS i CV) je inhibice růstu při nízkých koncentracích ( $<0,1 \text{ mg L}^{-1}$ ) zanedbatelná a pohybuje se blízko 0 %, což naznačuje absenci toxických účinků při nízkých koncentracích. Inhibice růstu postupně narůstá při koncentracích  $0,1\text{--}10 \text{ mg L}^{-1}$ . U CV je nárůst inhibice plynulejší, zatímco u RS dochází k větší variabilitě (větší rozptyl měření). Při koncentraci  $10 \text{ mg L}^{-1}$  a více je inhibice růstu výrazná a dosahuje přibližně 80–100 % u obou organismů, což naznačuje vysokou toxicitu  $Gd(NO_3)_3$  při těchto koncentracích. RS a CV vykazovaly podobnou citlivost, přičemž křivky mají shodný průběh. Při koncentraci  $100 \text{ mg L}^{-1}$  je inhibice růstu téměř 100 %, což značí úplnou toxicitu látky. Hodnoty EC50 byly stanoveny na  $2,4 \text{ mg L}^{-1}$  pro RS a  $3,1 \text{ mg L}^{-1}$  pro CV.



**Obrázek 20** Křivka dávka-odpověď pro  $Gd(NO_3)_3$

Hodnoty EC50 pro  $Gd(NO_3)_3$  potvrzují vysokou toxicitu této anorganické formy Gd, což kontrastuje s nízkou nebo žádnou toxicitou GdCA. Tento rozdíl poukazuje na zásadní roli chemického složení a v důsledku i biologické dostupnosti při hodnocení environmentálních rizik, přičemž vyšší toxicita  $Gd(NO_3)_3$ , zejména při koncentracích nad  $1 \text{ mg L}^{-1}$ , může být způsobena rozdíly v biologické dostupnosti Gd z různých chemických forem. Studie zaměřená na sledování účinku Ce, Gd, La a Nd na různé druhy rostlin, včetně AGI testu na RS, potvrzuje vysokou toxicitu anorganické soli Gd, která měla ze zkoumaných REE nejvyšší toxicitu. Zároveň popisuje snižování toxicity se zvyšujícím se pH. Při pH 4 byla hodnota EC50

0,267 mg L<sup>-1</sup>, zatímco při pH 6 bylo za daných podmínek AGI testu na RS možné stanovit pouze hodnoty EC5 (0,553 mg L<sup>-1</sup>) a EC10 (1,136 mg L<sup>-1</sup>). Toxicita anorganického Gd byla výrazně vyšší při kyselém pH, což bylo způsobeno vyšší koncentrací volných iontů Gd<sup>3+</sup> [152]. Naopak při mírně zásaditém pH 8 (naše studie) byla toxicita anorganického Gd nižší, což naznačuje významný vliv podmínek prostředí na jeho účinek. Studie sledující ekotoxicitu lanthanoidů se zaměřením na environmentální riziko pro vodní organizmy popisuje v případě Gd nominální hodnotu EC50 3,11 mg L<sup>-1</sup> a experimentálně stanovenou 2,22 mg L<sup>-1</sup> pro RS (AGI test, 72 hodin) [4], což se shoduje s výsledky naší studie, která pro RS stanovila hodnotu EC50 na podobné úrovni. Vysoká toxicita Gd(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> zdůrazňuje riziko pro sladkovodní ekosystémy a potřebu regulace anorganických forem Gd, zejména v oblastech s kyselými vodami (např. důlní odpadní vody). Nízká toxicita GdCA naznačuje, že tyto látky jsou méně environmentálně zatěžující, avšak dlouhodobé studie jejich akumulace v ekosystémech jsou stále nezbytné.

## ZÁVĚR

Tato práce se zaměřila na komplexní analýzu přítomnosti gadolinia v životním prostředí a jeho vlivu na ekosystémy a lidské zdraví. Klíčovým cílem bylo propojit dostupné vědecké poznatky o environmentálním a toxikologickém působení gadolinia, s důrazem na jeho antropogenní zdroje, a nabídnout strategie ke zmírnění jeho negativních dopadů. Součástí práce byla analýza přítomnosti gadolinia v potravinách, přičemž podíl jeho antropogenního původu byl kvantifikován prostřednictvím výpočtu gadoliniové anomálie.

Jedním z hlavních zjištění je potvrzení akumulace gadolinia antropogenního původu v ekosystémech a potravinových řetězcích. Pochází zejména z nemocničních odpadních vod obsahujících zbytky kontrastních látek na bázi gadolinia, elektronického odpadu a průmyslových procesů. Analýzy ukázaly, že koncentrace gadolinia se v potravinách liší podle jejich typu a geografického původu, což odráží rozdíly v expozici a distribuci kontaminace.

Experimentální část práce rovněž potvrdila, že efektivní řízení spotřeby a odpadu GdCA na pracovištích magnetické rezonance může výrazně přispět k minimalizaci ekologické zátěže. Výpočty bilance hmotnostního toku GdCA v regionu východních Čech ukázaly, že optimalizované postupy vedou k nižšímu množství zbytkového odpadu a minimalizují uvolňování gadolinia do prostředí. Tato zjištění zdůrazňují nutnost důsledné kontroly nakládání s těmito látkami na lokální i globální úrovni.

Výsledky ekotoxikologické studie ukázaly, že složení gadoliniových látek souvisí s jejich ekotoxicitou. Zatímco některé GdCA vykazují nízkou nebo žádnou toxicitu, jiné mohou představovat ekologické riziko pro vodní organismy, což podtrhuje význam hledání ekologičtějších alternativ.

Navzdory jeho širokému využití, zejména ve zdravotnictví, je zřejmé, že je nutné hledat řešení minimalizující environmentální dopady gadolinia. Mezi perspektivní opatření patří vývoj biologicky rozložitelných kontrastních látek, zavedení pokročilých technologií čištění odpadních vod a prevence nadměrného používání gadolinia v klinické praxi. Celkově tato práce přinesla nové poznatky o přítomnosti gadolinia v potravinách, jeho antropogenním původu a vlivu na ekosystémy. Výsledky představují důležitý krok k lepšímu pochopení environmentálních dopadů gadolinia a poskytují základ pro budoucí výzkum, směřující k vývoji udržitelnějších řešení a ochraně životního prostředí i lidského zdraví.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] EBRAHIMI, Pooria a Maurizio BARBIERI. Gadolinium as an Emerging Microcontaminant in Water Resources: Threats and Opportunities. *Geosciences* [online]. 2019, **9**(2), 93. ISSN 2076-3263. Dostupné z: doi:10.3390/geosciences9020093
- [2] SAATZ, Jessica, Doris VETTERLEIN, Jürgen MATTUSCH, Matthias OTTO a Birgit DAUS. The influence of gadolinium and yttrium on biomass production and nutrient balance of maize plants. *Environmental Pollution* [online]. 2015, **204**, 32–38. ISSN 0269-7491. Dostupné z: doi:10.1016/j.envpol.2015.03.052
- [3] GRÄFE, J.L., F.E. MCNEILL, S.H. BYUN, D.R. CHETTLE a M.D. NOSEWORTHY. The feasibility of in vivo detection of gadolinium by prompt gamma neutron activation analysis following gadolinium-based contrast-enhanced MRI. *Applied Radiation and Isotopes* [online]. 2011, **69**(1), 105–111. ISSN 09698043. Dostupné z: doi:10.1016/j.apradiso.2010.07.023
- [4] GONZÁLEZ, Verónica, Davide A. L. VIGNATI, Marie-Noelle PONS, Emmanuelle MONTARGES-PELLETIER, Clément BOJIC a Laure GIAMBERINI. Lanthanide ecotoxicity: First attempt to measure environmental risk for aquatic organisms. *Environmental Pollution* [online]. 2015, **199**, 139–147. ISSN 0269-7491. Dostupné z: doi:10.1016/j.envpol.2015.01.020
- [5] BLOMQVIST, Lennart, Gunnar F. NORDBERG, Valeria M. NURCHI a Jan O. AASETH. Gadolinium in Medical Imaging—Usefulness, Toxic Reactions and Possible Countermeasures—A Review. *Biomolecules* [online]. 2022, **12**(6), 742. ISSN 2218-273X. Dostupné z: doi:10.3390/biom12060742
- [6] TRAPASSO, Giacomo, Stefania CHIESA, Rosa FREITAS a Eduarda PEREIRA. What do we know about the ecotoxicological implications of the rare earth element gadolinium in aquatic ecosystems? *Science of The Total Environment* [online]. 2021, **781**, 146273. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2021.146273
- [7] KÜMMERER, Klaus a Eckard HELMERS. Hospital Effluents as a Source of Gadolinium in the Aquatic Environment. *Environmental Science & Technology* [online]. 2000, **34**(4), 573–577. ISSN 0013-936X. Dostupné z: doi:10.1021/es990633h
- [8] COBANOGLU, Hayal. Assessment of genetic damage induced by gadolinium-based radiocontrast agents. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* [online]. 2022, **70**, 126914. ISSN 0946-672X. Dostupné z: doi:10.1016/j.jtemb.2021.126914
- [9] MAHMOOD, Faisal, Ulla Gro NIELSEN, Christian Brandt JØRGENSEN, Carsten BRINK, Henrik S. THOMSEN a Rasmus Hvass HANSEN. Safety of gadolinium based contrast agents in magnetic resonance imaging-guided radiotherapy – An investigation of chelate stability using relaxometry. *Physics and Imaging in Radiation Oncology* [online]. 2022, **21**, 96–100. ISSN 2405-6316. Dostupné z: doi:10.1016/j.phro.2022.02.015
- [10] ZARE-DORABEI, R., P. NOROUZI a M. R. GANJALI. Design of a novel optical sensor for determination of trace gadolinium. *Journal of Hazardous Materials* [online]. 2009, **171**(1), 601–605. ISSN 0304-3894. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhazmat.2009.06.044

- [11] BENDA KOVSKÁ, Lenka, Anna KREJČOVÁ, Tomáš ČERNOHORSKÝ a Jana ZELENKOVÁ. Development of ICP-MS and ICP-OES methods for determination of gadolinium in samples related to hospital waste water treatment. *Chemical Papers* [online]. 2016, **70**(9), 1155–1165. ISSN 1336-9075. Dostupné z: doi:10.1515/chempap-2016-0057
- [12] IBRAHIM, Michael A., Bitá HAZHIRKARZAR a Arthur B. DUBLIN. Gadolinium Magnetic Resonance Imaging. In: *StatPearls* [online]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2024 [vid. 2024-12-11]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482487/>
- [13] RAMALHO, Joana, Miguel RAMALHO, Michael JAY, Lauren M. BURKE a Richard C. SEMELKA. Gadolinium toxicity and treatment. *Magnetic Resonance Imaging* [online]. 2016, **34**(10), Gadolinium Bioeffects and Toxicity, 1394–1398. ISSN 0730-725X. Dostupné z: doi:10.1016/j.mri.2016.09.005
- [14] ROGOWSKA, Justyna, Ewa OLKOWSKA, Wojciech RATAJCZYK a Lidia WOLSKA. Gadolinium as a new emerging contaminant of aquatic environments. *Environmental Toxicology and Chemistry* [online]. 2018, **37**(6), 1523–1534. ISSN 1552-8618. Dostupné z: doi:10.1002/etc.4116
- [15] WEI, Binggan, Yonghua LI, Hairong LI, Jiangping YU, Bixiong YE a Tao LIANG. Rare earth elements in human hair from a mining area of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online]. 2013, **96**, 118–123. ISSN 0147-6513. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoenv.2013.05.031
- [16] MIGASZEWSKI, Zdzisław M. a Agnieszka GALUSZKA. The Characteristics, Occurrence, and Geochemical Behavior of Rare Earth Elements in the Environment: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* [online]. 2015, **45**(5), 429–471. ISSN 1064-3389. Dostupné z: doi:10.1080/10643389.2013.866622
- [17] ZAMANI, Hassan Ali, Ghadir RAJABZADEH, Mohammad Reza GANJALI a Parviz NOROUZI. Determination of gadolinium(III) ions in soil and sediment samples by a novel gadolinium membrane sensor based on 6-methyl-4-{{1-(2-thienyl)methylidene}amino}3-thioxo-3,4-dihydro-1,2,4-triazin-5-(2H)-one. *Analytica Chimica Acta* [online]. 2007, **598**(1), 51–57. ISSN 0003-2670. Dostupné z: doi:10.1016/j.aca.2007.07.028
- [18] ZHANG, Jue, Zhuhong WANG, Qixin WU, Yanling AN, Huipeng JIA a Yuanyi SHEN. Anthropogenic Rare Earth Elements: Gadolinium in a Small Catchment in Guizhou Province, Southwest China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 2019, **16**(20), 4052. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph16204052
- [19] PANG, Xin, Decheng LI a An PENG. Application of rare-earth elements in the agriculture of China and its environmental behavior in soil. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. 2002, **9**(2), 143–148. ISSN 1614-7499. Dostupné z: doi:10.1007/BF02987462
- [20] LI, Xiaofei, Zhibiao CHEN, Zhiqiang CHEN a Yonghe ZHANG. A human health risk assessment of rare earth elements in soil and vegetables from a mining area in Fujian Province, Southeast China. *Chemosphere* [online]. 2013, **93**(6), 1240–1246. ISSN 0045-6535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2013.06.085

- [21] RUÍZ-HERRERA, León F., Lenin SÁNCHEZ-CALDERÓN, Luis HERRERA-ESTRELLA a José LÓPEZ-BUCIO. Rare earth elements lanthanum and gadolinium induce phosphate-deficiency responses in Arabidopsis thaliana seedlings. *Plant and Soil* [online]. 2012, **353**(1), 231–247. ISSN 1573-5036. Dostupné z: doi:10.1007/s11104-011-1026-1
- [22] SHERRY, A. Dean, Peter CARAVAN a Robert E. LENKINSKI. Primer on gadolinium chemistry. *Journal of Magnetic Resonance Imaging* [online]. 2009, **30**(6), 1240–1248. ISSN 1522-2586. Dostupné z: doi:10.1002/jmri.21966
- [23] ROGOSNITZKY, Moshe a Stacy BRANCH. Gadolinium-based contrast agent toxicity: a review of known and proposed mechanisms. *BioMetals* [online]. 2016, **29**(3), 365–376. ISSN 1572-8773. Dostupné z: doi:10.1007/s10534-016-9931-7
- [24] RAMALHO, J., R. C. SEMELKA, M. RAMALHO, R. H. NUNES, M. ALOBAIDY a M. CASTILLO. Gadolinium-Based Contrast Agent Accumulation and Toxicity: An Update. *AJNR. American journal of neuroradiology* [online]. 2016, **37**(7), 1192–1198. ISSN 1936-959X. Dostupné z: doi:10.3174/ajnr.A4615
- [25] IYAD, Nebal, Muntaser S.AHMAD, Sanaa G. ALKHATIB a Mohammad HJOUJ. Gadolinium contrast agents- challenges and opportunities of a multidisciplinary approach: Literature review. *European Journal of Radiology Open* [online]. 2023, **11**, 100503. ISSN 2352-0477. Dostupné z: doi:10.1016/j.ejro.2023.100503
- [26] BELLIN, Marie-France a Aart J. VAN DER MOLEN. Extracellular gadolinium-based contrast media: An overview. *European Journal of Radiology* [online]. 2008, **66**(2), 160–167. ISSN 0720-048X. Dostupné z: doi:10.1016/j.ejrad.2008.01.023
- [27] KARTAMIHARDJA, Achmad A. P., Soma KUMASAKA, Lukman HILFI, Satomi KAMEO, Hiroshi KOYAMA a Yoshito TSUSHIMA. Biosorption of different gadolinium (Gd) complexes from water by Eichhornia crassipes (water hyacinth). *International Journal of Phytoremediation* [online]. 2021, **0**(0), 1–9. ISSN 1522-6514. Dostupné z: doi:10.1080/15226514.2021.1984388
- [28] RUDNICK, Michael R., Ihab M. WAHBA, Amanda K. LEONBERG-YOO, Dana MISKULIN a Harold I. LITT. Risks and Options With Gadolinium-Based Contrast Agents in Patients With CKD: A Review. *American Journal of Kidney Diseases: The Official Journal of the National Kidney Foundation* [online]. 2021, **77**(4), 517–528. ISSN 1523-6838. Dostupné z: doi:10.1053/j.ajkd.2020.07.012
- [29] XIAO, Yu-Dong, Ramchandra PAUDEL, Jun LIU, Cong MA, Zi-Shu ZHANG a Shun-Ke ZHOU. MRI contrast agents: Classification and application (Review). *International Journal of Molecular Medicine* [online]. 2016, **38**(5), 1319–1326. ISSN 1107-3756. Dostupné z: doi:10.3892/ijmm.2016.2744
- [30] RAMALHO, Miguel, Joana RAMALHO, Lauren M. BURKE a Richard C. SEMELKA. Gadolinium Retention and Toxicity—An Update. *Advances in Chronic Kidney Disease* [online]. 2017, **24**(3), Topics in Renal Imaging, 138–146. ISSN 1548-5595. Dostupné z: doi:10.1053/j.ackd.2017.03.004
- [31] JOST, Gregor, Thomas FRENZEL, Janina BOYKEN, Laura SCHOECKEL a Hubertus PIETSCH. Gadolinium Presence in the Brain After Administration of the Liver-Specific

- Gadolinium-Based Contrast Agent Gadoxetate: A Systematic Comparison to Multipurpose Agents in Rats. *Investigative Radiology* [online]. 2019, **54**(8), 468–474. ISSN 1536-0210. Dostupné z: doi:10.1097/RLI.0000000000000559
- [32] BAU, Michael a Peter DULSKI. Anthropogenic origin of positive gadolinium anomalies in river waters. *Earth and Planetary Science Letters* [online]. 1996, **143**(1), 245–255. ISSN 0012-821X. Dostupné z: doi:10.1016/0012-821X(96)00127-6
- [33] CACHERIS, W. P., S. C. QUAY a S. M. ROCKLAGE. The relationship between thermodynamics and the toxicity of gadolinium complexes. *Magnetic Resonance Imaging* [online]. 1990, **8**(4), 467–481. ISSN 0730-725X. Dostupné z: doi:10.1016/0730-725x(90)90055-7
- [34] DAVIES, Julie, Petra SIEBENHANDL-WOLFF, Francois TRANQUART, Paul JONES a Paul EVANS. Gadolinium: pharmacokinetics and toxicity in humans and laboratory animals following contrast agent administration. *Archives of Toxicology* [online]. 2022, **96**(2), 403–429. ISSN 1432-0738. Dostupné z: doi:10.1007/s00204-021-03189-8
- [35] BIRKA, Marvin, Kristina S. WENTKER, Elke LUSMÖLLER, Brigit ARHEILGER, Christoph A. WEHE, Michael SPERLING, Rudolf STADLER a Uwe KARST. Diagnosis of Nephrogenic Systemic Fibrosis by means of Elemental Bioimaging and Speciation Analysis. *Analytical Chemistry* [online]. 2015, **87**(6), 3321–3328. ISSN 0003-2700, 1520-6882. Dostupné z: doi:10.1021/ac504488k
- [36] SEMELKA, Richard C., John P. PRYBYLSKI a Miguel RAMALHO. Influence of excess ligand on Nephrogenic Systemic Fibrosis associated with nonionic, linear gadolinium-based contrast agents. *Magnetic Resonance Imaging* [online]. 2019, **58**, 174–178. ISSN 0730-725X. Dostupné z: doi:10.1016/j.mri.2018.11.015
- [37] LENKINSKI, Robert E., Neil M. ROFSKY, Linda MOY a Sarah ATZEN. Contrast Media–driven Anthropogenic Gadolinium: Knowns and Unknowns. *Radiology* [online]. 2024, **311**(1), e240020. ISSN 0033-8419. Dostupné z: doi:10.1148/radiol.240020
- [38] LAWRENCE, Michael Glen a David Guimerà BARIEL. Tracing treated wastewater in an inland catchment using anthropogenic gadolinium. *Chemosphere* [online]. 2010, **80**(7), 794–799. ISSN 0045-6535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2010.05.001
- [39] TEPE, N., M. ROMERO a M. BAU. High-technology metals as emerging contaminants: Strong increase of anthropogenic gadolinium levels in tap water of Berlin, Germany, from 2009 to 2012. *Applied Geochemistry* [online]. 2014, **45**, 191–197. ISSN 0883-2927. Dostupné z: doi:10.1016/j.apgeochem.2014.04.006
- [40] HENNEBRÜDER, Kristina, Rainer WENNRICH, Jürgen MATTUSCH, Hans-Joachim STÄRK a Werner ENGEWALD. Determination of gadolinium in river water by SPE preconcentration and ICP-MS. *Talanta* [online]. 2004, **63**(2), 309–316. ISSN 0039-9140. Dostupné z: doi:10.1016/j.talanta.2003.10.053
- [41] MORTEANI, Giulio, Peter MÖLLER, Andrea FUGANTI a Tomas PACES. Input and fate of anthropogenic estrogens and gadolinium in surface water and sewage plants in the hydrological basin of Prague (Czech Republic). *Environmental Geochemistry and*

- Health* [online]. 2006, **28**(3), 257–264. ISSN 1573-2983. Dostupné z: doi:10.1007/s10653-006-9040-6
- [42] MENAHEM, Adi, Ishai DROR a Brian BERKOWITZ. Transport of gadolinium- and arsenic-based pharmaceuticals in saturated soil under various redox conditions. *Chemosphere* [online]. 2016, **144**, 713–720. ISSN 0045-6535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2015.09.044
- [43] RABIET, M., F. BRISSAUD, J. L. SEIDEL, S. PISTRE a F. ELBAZ-POULICHET. Positive gadolinium anomalies in wastewater treatment plant effluents and aquatic environment in the Hérault watershed (South France). *Chemosphere* [online]. 2009, **75**(8), 1057–1064. ISSN 0045-6535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2009.01.036
- [44] LOUIS, Pauline, Abdelkrim MESSAOUDENE, Hayfa JRAD, Barakat A. ABDOUL-HAMID, Davide A. L. VIGNATI a Marie-Noëlle PONS. Understanding Rare Earth Elements concentrations, anomalies and fluxes at the river basin scale: The Moselle River (France) as a case study. *Science of The Total Environment* [online]. 2020, **742**, 140619. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2020.140619
- [45] KULAKSIZ, Serkan a Michael BAU. Contrasting behaviour of anthropogenic gadolinium and natural rare earth elements in estuaries and the gadolinium input into the North Sea. *Earth and Planetary Science Letters* [online]. 2007, **260**(1), 361–371. ISSN 0012-821X. Dostupné z: doi:10.1016/j.epsl.2007.06.016
- [46] GONZALEZ, Laetitia, Enrico CUNDARI, Luc LEYNS a Micheline KIRSCH-VOLDERS. Towards a New Paradigm in Nano-Genotoxicology: Facing Complexity of Nanomaterials' Cellular Interactions and Effects. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology* [online]. 2017, **121**(S3), 23–29. ISSN 1742-7843. Dostupné z: doi:10.1111/bcpt.12698
- [47] LERAT-HARDY, Antoine, Alexandra COYNEL, Lionel DUTRUCH, Clément PERETO, Cécile BOSSY, Teba GIL-DIAZ, Marion-Justine CAPDEVILLE, Gérard BLANC a Jörg SCHÄFER. Rare Earth Element fluxes over 15 years into a major European Estuary (Garonne-Gironde, SW France): Hospital effluents as a source of increasing gadolinium anomalies. *Science of The Total Environment* [online]. 2019, **656**, 409–420. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2018.11.343
- [48] KULAKSIZ, Serkan a Michael BAU. Anthropogenic dissolved and colloid/nanoparticle-bound samarium, lanthanum and gadolinium in the Rhine River and the impending destruction of the natural rare earth element distribution in rivers. *Earth and Planetary Science Letters* [online]. 2013, **362**, 43–50. ISSN 0012-821X. Dostupné z: doi:10.1016/j.epsl.2012.11.033
- [49] LINGOTT, Jana, Uwe LINDNER, Lena TELGMANN, Diego ESTEBAN-FERNÁNDEZ, Norbert JAKUBOWSKI a Ulrich PANNE. Gadolinium-uptake by aquatic and terrestrial organisms-distribution determined by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. *Environmental Science: Processes & Impacts* [online]. 2016, **18**(2), 200–207. ISSN 2050-7895. Dostupné z: doi:10.1039/C5EM00533G

- [50] KULAKSIZ, Serkan. *Rare earth elements as emerging contaminants in the Rhine River, Germany and its tributaries* [online]. B.m., 2013 [vid. 2024-12-14]. Jacobs University Bremen. Dostupné z: <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:579-opus-1002727>
- [51] MARTINO, Chiara, Rosa BONAVENTURA, Maria BYRNE, Maria ROCCHERI a Valeria MATRANGA. Effects of exposure to gadolinium on the development of geographically and phylogenetically distant sea urchins species. *Marine Environmental Research* [online]. 2017, **128**, 98–106. ISSN 1879-0291. Dostupné z: [doi:10.1016/j.marenvres.2016.06.001](https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.06.001)
- [52] BRÜNJES, Robert a Thilo HOFMANN. Anthropogenic gadolinium in freshwater and drinking water systems. *Water Research* [online]. 2020, **182**, 115966. ISSN 00431354. Dostupné z: [doi:10.1016/j.watres.2020.115966](https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115966)
- [53] SONG, Hyeongseok, Woo-Jin SHIN, Jong-Sik RYU, Hyung Seon SHIN, Heesun CHUNG a Kwang-Sik LEE. Anthropogenic rare earth elements and their spatial distributions in the Han River, South Korea. *Chemosphere* [online]. 2017, **172**, 155–165. ISSN 0045-6535. Dostupné z: [doi:10.1016/j.chemosphere.2016.12.135](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.135)
- [54] LAWRENCE, M. G., A. GREIG, K. D. COLLERSON a B. S. KAMBER. Direct quantification of rare earth element concentrations in natural waters by ICP-MS. *Applied Geochemistry*. 2006, **21**(5), 839–848. ISSN 0883-2927.
- [55] BRAUN, Jean-Jacques, Maurice PAGEL, Jean-Pierre MULLER, Paul BILONG, Annie MICHARD a Bernard GUILLET. Cerium anomalies in lateritic profiles. *Geochimica et Cosmochimica Acta* [online]. 1990, **54**(3), 781–795. ISSN 0016-7037. Dostupné z: [doi:10.1016/0016-7037\(90\)90373-S](https://doi.org/10.1016/0016-7037(90)90373-S)
- [56] SHOLKOVITZ, Edward R, William M LANDING a Brent L LEWIS. Ocean particle chemistry: The fractionation of rare earth elements between suspended particles and seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta* [online]. 1994, **58**(6), 1567–1579. ISSN 0016-7037. Dostupné z: [doi:10.1016/0016-7037\(94\)90559-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)90559-2)
- [57] CIDU, Rosa a Riccardo BIDDAU. Transport of trace elements under different seasonal conditions: Effects on the quality of river water in a Mediterranean area. *Applied Geochemistry* [online]. 2007, **22**(12), Biogeochemical Gradients: Microbes, Measurements, and Modeling, 2777–2794. ISSN 0883-2927. Dostupné z: [doi:10.1016/j.apgeochem.2007.06.017](https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2007.06.017)
- [58] ZHANG, Chaosheng, Lijun WANG, Shen ZHANG a Xiuxia LI. Geochemistry of rare earth elements in the mainstream of the Yangtze River, China. *Applied Geochemistry* [online]. 1998, **13**(4), 451–462. ISSN 0883-2927. Dostupné z: [doi:10.1016/S0883-2927\(97\)00079-6](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(97)00079-6)
- [59] LAWRENCE, Michael G., Christoph ORT a Jürg KELLER. Detection of anthropogenic gadolinium in treated wastewater in South East Queensland, Australia. *Water Research* [online]. 2009, **43**(14), 3534–3540. ISSN 0043-1354. Dostupné z: [doi:10.1016/j.watres.2009.04.033](https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.04.033)
- [60] KULAKSIZ, Serkan a Michael BAU. Anthropogenic gadolinium as a microcontaminant in tap water used as drinking water in urban areas and megacities. *Applied Geochemistry* [online]. 2011, **26**(11), Sources, Transport and Fate of Trace and Toxic Elements in the

- Environment – IAGS 2009, 1877–1885. ISSN 0883-2927. Dostupné z: doi:10.1016/j.apgeochem.2011.06.011
- [61] ZHU, Yanbei, Masuki HOSHINO, Hiroshi YAMADA, Akihide ITOH a Hiroki HARAGUCHI. Gadolinium Anomaly in the Distributions of Rare Earth Elements Observed for Coastal Seawater and River Waters around Nagoya City. *Bulletin of the Chemical Society of Japan* [online]. 2004, **77**(10), 1835–1842. ISSN 0009-2673. Dostupné z: doi:10.1246/bcsj.77.1835
- [62] KULAKSIZ, Serkan a Michael BAU. Rare earth elements in the Rhine River, Germany: First case of anthropogenic lanthanum as a dissolved microcontaminant in the hydrosphere. *Environment International* [online]. 2011, **37**(5), 973–979. ISSN 0160-4120. Dostupné z: doi:10.1016/j.envint.2011.02.018
- [63] BAU, Michael, Andrea KNAPPE a Peter DULSKI. Anthropogenic gadolinium as a micropollutant in river waters in Pennsylvania and in Lake Erie, northeastern United States. *Geochemistry* [online]. 2006, **66**(2), 143–152. ISSN 0009-2819. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemer.2006.01.002
- [64] MÖLLER, P., T. PACES, P. DULSKI a G. MORTEANI. Anthropogenic Gd in Surface Water, Drainage System, and the Water Supply of the City of Prague, Czech Republic. *Environmental Science & Technology* [online]. 2002, **36**(11), 2387–2394. ISSN 0013-936X. Dostupné z: doi:10.1021/es010235q
- [65] JOHANNESSON, Karen H., C. Dianne PALMORE, Joseph FACKRELL, Nancy G. PROUTY, Peter W. SWARZENSKI, Darren A. CHEVIS, Katherine TELFEYAN, Christopher D. WHITE a David J. BURDIGE. Rare earth element behavior during groundwater–seawater mixing along the Kona Coast of Hawaii. *Geochimica et Cosmochimica Acta* [online]. 2016, **198**(C) [vid. 2024-12-14]. ISSN 0016-7037. Dostupné z: doi:10.1016/j.gca.2016.11.009
- [66] ALIBO, Dia Sotto a Yoshiyuki NOZAKI. Rare earth elements in seawater: particle association, shale-normalization, and Ce oxidation. *Geochimica et Cosmochimica Acta* [online]. 1999, **63**(3), 363–372. ISSN 0016-7037. Dostupné z: doi:10.1016/S0016-7037(98)00279-8
- [67] DE CAMPOS, Francisco Ferreira a Jacinta ENZWEILER. Anthropogenic gadolinium anomalies and rare earth elements in the water of Atibaia River and Anhumas Creek, Southeast Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* [online]. 2016, **188**(5), 281. ISSN 1573-2959. Dostupné z: doi:10.1007/s10661-016-5282-7
- [68] KNAPPE, Andrea, Peter MÖLLER, Peter DULSKI a Asaf PEKDEGER. Positive gadolinium anomaly in surface water and ground water of the urban area Berlin, Germany. *Geochemistry* [online]. 2005, **65**(2), 167–189. ISSN 0009-2819. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemer.2004.08.004
- [69] VERPLANCK, Philip L., Howard E. TAYLOR, D. Kirk NORDSTROM a Larry B. BARBER. Aqueous Stability of Gadolinium in Surface Waters Receiving Sewage Treatment Plant Effluent, Boulder Creek, Colorado. *Environmental Science & Technology* [online]. 2005, **39**(18), 6923–6929. ISSN 0013-936X. Dostupné z: doi:10.1021/es048456u

- [70] NOZAKI, Yoshiyuki, Dorte LERCHE, Dia Sotto ALIBO a Makoto TSUTSUMI. Dissolved indium and rare earth elements in three Japanese rivers and Tokyo Bay: Evidence for anthropogenic Gd and In. *Geochimica et Cosmochimica Acta* [online]. 2000, **64**(23), 3975–3982. ISSN 0016-7037. Dostupné z: doi:10.1016/S0016-7037(00)00472-5
- [71] SMITH, Coley a Xiao-Ming LIU. Spatial and temporal distribution of rare earth elements in the Neuse River, North Carolina. *Chemical Geology* [online]. 2018, **488**, 34–43. ISSN 0009-2541. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemgeo.2018.04.003
- [72] MERSCHEL, Gila, Michael BAU, Linda BALDEWEIN, Elton Luiz DANTAS, Detlef WALDE a Bernhard BÜHN. Tracing and tracking wastewater-derived substances in freshwater lakes and reservoirs: Anthropogenic gadolinium and geogenic REEs in Lake Paranoá, Brasilia. *Comptes Rendus Geoscience* [online]. 2015, **347**(5), Geochemical and isotopic record of anthropogenic activities (Part 1), 284–293. ISSN 1631-0713. Dostupné z: doi:10.1016/j.crte.2015.01.004
- [73] PEDREIRA, Rodrigo M. A., Katharina PAHNKE, Philipp BÖNING a Vanessa HATJE. Tracking hospital effluent-derived gadolinium in Atlantic coastal waters off Brazil. *Water Research* [online]. 2018, **145**, 62–72. ISSN 0043-1354. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2018.08.005
- [74] HATJE, Vanessa, Kenneth W. BRULAND a A. Russell FLEGAL. Increases in Anthropogenic Gadolinium Anomalies and Rare Earth Element Concentrations in San Francisco Bay over a 20 Year Record. *Environmental Science & Technology* [online]. 2016, **50**(8), 4159–4168. ISSN 0013-936X. Dostupné z: doi:10.1021/acs.est.5b04322
- [75] KÜNNEMEYER, Jens, Lydia TERBORG, Björn MEERMANN, Christine BRAUCKMANN, Ines MÖLLER, Andy SCHEFFER a Uwe KARST. Speciation Analysis of Gadolinium Chelates in Hospital Effluents and Wastewater Treatment Plant Sewage by a Novel HILIC/ICP-MS Method. *Environmental Science & Technology* [online]. 2009, **43**(8), 2884–2890. ISSN 0013-936X. Dostupné z: doi:10.1021/es803278n
- [76] RAJU, Chinthalapati Siva Kesava, Antje COSSMER, Holger SCHARF, Ulrich PANNE a Detlef LÜCK. Speciation of gadolinium based MRI contrast agents in environmental water samples using hydrophilic interaction chromatography hyphenated with inductively coupled plasma mass spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* [online]. 2009, **25**(1), 55–61. ISSN 1364-5544. Dostupné z: doi:10.1039/B919959D
- [77] TELGMANN, Lena, Christoph A. WEHE, Marvin BIRKA, Jens KÜNNEMEYER, Sascha NOWAK, Michael SPERLING a Uwe KARST. Speciation and Isotope Dilution Analysis of Gadolinium-Based Contrast Agents in Wastewater. *Environmental Science & Technology* [online]. 2012, **46**(21), 11929–11936. ISSN 0013-936X. Dostupné z: doi:10.1021/es301981z
- [78] BIRKA, Marvin, Christoph A. WEHE, Lena TELGMANN, Michael SPERLING a Uwe KARST. Sensitive quantification of gadolinium-based magnetic resonance imaging contrast agents in surface waters using hydrophilic interaction liquid chromatography and inductively coupled plasma sector field mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* [online]. 2013, **1308**, 125–131. ISSN 0021-9673. Dostupné z: doi:10.1016/j.chroma.2013.08.017

- [79] LINDNER, Uwe, Jana LINGOTT, Silke RICHTER, Norbert JAKUBOWSKI a Ulrich PANNE. Speciation of gadolinium in surface water samples and plants by hydrophilic interaction chromatography hyphenated with inductively coupled plasma mass spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* [online]. 2013, **405**(6), 1865–1873. ISSN 1618-2650. Dostupné z: doi:10.1007/s00216-012-6643-x
- [80] BIRKA, Marvin, Christoph A. WEHE, Oliver HACHMÖLLER, Michael SPERLING a Uwe KARST. Tracing gadolinium-based contrast agents from surface water to drinking water by means of speciation analysis. *Journal of Chromatography A* [online]. 2016, **1440**, 105–111. ISSN 00219673. Dostupné z: doi:10.1016/j.chroma.2016.02.050
- [81] ZHANG, Zhaolin, Wei JIANG, Tingwu GU, Ning GUO, Ruipeng SUN, Yang ZENG, Yansong HAN a Kefu YU. Anthropogenic gadolinium contaminations in the marine environment and its ecological implications. *Environmental Pollution* [online]. 2024, **359**, 124740. ISSN 0269-7491. Dostupné z: doi:10.1016/j.envpol.2024.124740
- [82] BENDSZUS, Martin, Andrea LAGHI, Josep MUNUERA, Lawrence N. TANENBAUM, Bachir TAOULI a Harriet C. THOENY. MRI Gadolinium-Based Contrast Media: Meeting Radiological, Clinical, and Environmental Needs. *Journal of Magnetic Resonance Imaging* [online]. 2024, **60**(5), 1774–1785. ISSN 1522-2586. Dostupné z: doi:10.1002/jmri.29181
- [83] DEKKER, Helena M., Gerard J. STROOMBERG, Aart J. VAN DER MOLEN a Mathias PROKOP. Review of strategies to reduce the contamination of the water environment by gadolinium-based contrast agents. *Insights into Imaging* [online]. 2024, **15**(1), 62. ISSN 1869-4101. Dostupné z: doi:10.1186/s13244-024-01626-7
- [84] TAI, Peidong, Qing ZHAO, Dan SU, Peijun LI a Frank STAGNITTI. Biological toxicity of lanthanide elements on algae. *Chemosphere* [online]. 2010, **80**(9), 1031–1035. ISSN 0045-6535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2010.05.030
- [85] FRENZEL, Thomas, Philipp LENGSELD, Heiko SCHIRMER, Joachim HÜTTER a Hanns-Joachim WEINMANN. Stability of gadolinium-based magnetic resonance imaging contrast agents in human serum at 37 degrees C. *Investigative Radiology* [online]. 2008, **43**(12), 817–828. ISSN 1536-0210. Dostupné z: doi:10.1097/RLI.0b013e3181852171
- [86] SEMELKA, Richard C., Clayton W. COMMANDER, Michael JAY, Lauren M. B. BURKE a Miguel RAMALHO. Presumed Gadolinium Toxicity in Subjects With Normal Renal Function: A Report of 4 Cases. *Investigative Radiology* [online]. 2016, **51**(10), 661–665. ISSN 1536-0210. Dostupné z: doi:10.1097/RLI.0000000000000318
- [87] FUJITA, Yoshiko, Michelle WALTON, Gaurav DAS, Alice DOHNALKOVA, Gary VANZIN a Andre ANDERKO. Impacts of anthropogenic gadolinium on the activity of the ammonia oxidizing bacterium *Nitrosomonas europaea*. *Chemosphere* [online]. 2020, **257**, 127250. ISSN 0045-6535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2020.127250
- [88] IDÉE, Jean-Marc, Marc PORT, Christelle MEDINA, Eric LANCELOT, Emmanuelle FAYOUX, Sébastien BALLETT a Claire COROT. Possible involvement of gadolinium chelates in the pathophysiology of nephrogenic systemic fibrosis: a critical review.

- Toxicology* [online]. 2008, **248**(2–3), 77–88. ISSN 0300-483X. Dostupné z: doi:10.1016/j.tox.2008.03.012
- [89] GRIES, H. Extracellular MRI Contrast Agents Based on Gadolinium. In: Werner KRAUSE, ed. *Contrast Agents I* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2002 [vid. 2024-12-14], Topics in Current Chemistry, s. 1–24. ISBN 978-3-540-42247-1. Dostupné z: doi:10.1007/3-540-45733-X\_1
- [90] ZHU, Yanbei, Tomonari UMEMURA, Hiroki HARAGUCHI, Kazumi INAGAKI a Koichi CHIBA. Determination of REEs in seawater by ICP-MS after on-line preconcentration using a syringe-driven chelating column. *Talanta* [online]. 2009, **78**(3), 891–895. ISSN 0039-9140. Dostupné z: doi:10.1016/j.talanta.2008.12.072
- [91] KURVET, Imbi, Katre JUGANSON, Heiki VIJA, Mariliis SIHTMÄE, Irina BLINOVA, Guttorm SYVERTSEN-WIIG a Anne KAHRU. Toxicity of Nine (Doped) Rare Earth Metal Oxides and Respective Individual Metals to Aquatic Microorganisms *Vibrio fischeri* and *Tetrahymena thermophila*. *Materials* [online]. 2017, **10**(7), 754. ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma10070754
- [92] WANG, Y., M. ZHANG a X. WANG. Population growth responses of *Tetrahymena shanghaiensis* in exposure to rare earth elements. *Biological Trace Element Research* [online]. 2000, **75**(1–3), 265–275. ISSN 0163-4984. Dostupné z: doi:10.1385/BTER:75:1-3:265
- [93] WILLIAMS, P. L., G. L. ANDERSON, J. L. JOHNSTONE, A. D. NUNN, M. F. TWEEDLE a P. WEDEKING. *Caenorhabditis elegans* as an alternative animal species. *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part A* [online]. 2000, **61**(8), 641–647. ISSN 1528-7394. Dostupné z: doi:10.1080/00984100050195125
- [94] CHANG, C. A. Magnetic resonance imaging contrast agents. Design and physicochemical properties of gadodiamide. *Investigative Radiology* [online]. 1993, **28 Suppl 1**, S21-27. ISSN 0020-9996. Dostupné z: doi:10.1097/00004424-199303001-00003
- [95] CAO, Xinde, Ying CHEN, Xiaorong WANG a Xihai DENG. Effects of redox potential and pH value on the release of rare earth elements from soil. *Chemosphere* [online]. 2001, **44**(4), 655–661. ISSN 0045-6535. Dostupné z: doi:10.1016/S0045-6535(00)00492-6
- [96] SHOLKOVITZ, Edward R. The aquatic chemistry of rare earth elements in rivers and estuaries. *Aquatic Geochemistry* [online]. 1995, **1**(1), 1–34. ISSN 1573-1421. Dostupné z: doi:10.1007/BF01025229
- [97] WANG, Xiangyun, Tianzhu JIN, Vinciane COMBLIN, Antonio LOPEZ-MUT, Emile MERCINY a Jean F. DESREUX. A kinetic investigation of the lanthanide DOTA chelates. Stability and rates of formation and of dissociation of a macrocyclic gadolinium(III) polyaza polycarboxylic MRI contrast agent. *Inorganic Chemistry* [online]. 1992, **31**(6), 1095–1099. ISSN 0020-1669. Dostupné z: doi:10.1021/ic00032a034
- [98] DAVRANCHE, Mélanie, Olivier POURRET, Gérard GRUAU, Aline DIA, Dan JIN a Dominique GAERTNER. Competitive binding of REE to humic acid and manganese oxide: Impact of reaction kinetics on development of cerium anomaly and REE

- adsorption. *Chemical Geology* [online]. 2008, **247**(1), 154–170. ISSN 0009-2541. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemgeo.2007.10.010
- [99] SOMMER, Karolin, Michael SPERLING a Uwe KARST. Species-dependent interaction of Gd-based contrast agents with humic substances. *Chemosphere* [online]. 2022, **300**, 134528. ISSN 0045-6535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2022.134528
- [100] PÉDROT, Mathieu, Aline DIA a Mélanie DAVRANCHE. Dynamic structure of humic substances: Rare earth elements as a fingerprint. *Journal of Colloid and Interface Science* [online]. 2010, **345**(2), 206–213. ISSN 0021-9797. Dostupné z: doi:10.1016/j.jcis.2010.01.069
- [101] ZHANG, Yong, Xuelu GAO a Chen-Tung ARTHUR CHEN. Rare earth elements in intertidal sediments of Bohai Bay, China: Concentration, fractionation and the influence of sediment texture. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online]. 2014, **105**, 72–79. ISSN 0147-6513. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoenv.2014.04.006
- [102] LE FUR, Mariane a Peter CARAVAN. The biological fate of gadolinium-based MRI contrast agents: a call to action for bioinorganic chemists. *Metallomics* [online]. 2019, **11**(2), 240–254. ISSN 1756-5901. Dostupné z: doi:10.1039/c8mt00302e
- [103] SWAMINATHAN, Sundararaman. Gadolinium toxicity: Iron and ferroportin as central targets. *Magnetic Resonance Imaging* [online]. 2016, **34**(10), Gadolinium Bioeffects and Toxicity, 1373–1376. ISSN 0730-725X. Dostupné z: doi:10.1016/j.mri.2016.08.016
- [104] IDÉE, Jean-Marc, Marc PORT, Isabelle RAYNAL, Michel SCHAEFER, Soizic LE GRENEUR a Claire COROT. Clinical and biological consequences of transmetallation induced by contrast agents for magnetic resonance imaging: a review. *Fundamental & Clinical Pharmacology* [online]. 2006, **20**(6), 563–576. ISSN 0767-3981. Dostupné z: doi:10.1111/j.1472-8206.2006.00447.x
- [105] SZABÓ, Sándor, Györgyi ZAVANYI, Gergő KOLESZÁR, Dahlia DEL CASTILLO, Viktor OLÁH a Mihály BRAUN. Phytoremediation, recovery and toxic effects of ionic gadolinium using the free-floating plant *Lemna gibba*. *Journal of Hazardous Materials* [online]. 2023, **458**, 131930. ISSN 0304-3894. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhazmat.2023.131930
- [106] PIARULLI, Stefania, Juliane A. RIEDEL, Frida N. FOSSUM, Florence KERMEN, Bjørn Henrik HANSEN, Bjarne KVÆSTAD, Pål A. OLSVIK a Julia FARKAS. Effects of gadolinium (Gd) and a Gd-based contrast agent (GBCA) on early life stages of zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere* [online]. 2024, **350**, 140950. ISSN 0045-6535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2023.140950
- [107] QIANG, Tu, Wang XIAO-RONG, Tian LI-QING a Dai LE-MEI. Bioaccumulation of the rare earth elements lanthanum, gadolinium and yttrium in carp (*Cyprinus carpio*). *Environmental Pollution* [online]. 1994, **85**, 345–350. Dostupné z: doi:10.1016/0269-7491(94)90057-4
- [108] CHEN, Y., X. D. CAO, Y. LU a X. R. WANG. Effects of rare earth metal ions and their EDTA complexes on antioxidant enzymes of fish liver. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* [online]. 2000, **65**(3), 357–365. ISSN 0007-4861. Dostupné z: doi:10.1007/s0012800136

- [109] GWENZI, Willis, Lynda MANGORI, Concilia DANHA, Nhamo CHAUKURA, Nothando DUNJANA a Edmond SANGANYADO. Sources, behaviour, and environmental and human health risks of high-technology rare earth elements as emerging contaminants. *Science of The Total Environment* [online]. 2018, **636**, 299–313. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2018.04.235
- [110] MESA-PÉREZ, María Aurora, Oscar DIAZ RIZO, Marie J. TAVELLA, David BAQUÉ a Jose-Miguel SANCHEZ-PEREZ. Soil-to-Plant Transfer Factors of Rare Earth Elements in Rice (*Oryza sativa* L.). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2018, **27**, 2071–0054.
- [111] IMRAN, Maryam, Ai NGUYEN a Yasmina SULTANBAWA. Quantification of rare earth elements in Australian and imported rice samples from different origins using ICP-MS. *Science of The Total Environment* [online]. 2023, **895**, 164865. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2023.164865
- [112] ŠMUC, Nastja Rogan, Tadej DOLENEC, Todor SERAFIMOVSKI, Matej DOLENEC a Petra VRHOVNIK. Geochemical characteristics of rare earth elements (REEs) in the paddy soil and rice (*Oryza sativa* L.) system of Kočani Field, Republic of Macedonia. *Geoderma* [online]. 2012, **183–184**, 1–11. ISSN 0016-7061. Dostupné z: doi:10.1016/j.geoderma.2012.03.009
- [113] DING, ShiMing, Tao LIANG, JunCai YAN, ZiLi ZHANG, ZeChun HUANG a YaNing XIE. Fractionations of rare earth elements in plants and their conceptive model. *Science in China. Series C, Life Sciences* [online]. 2007, **50**(1), 47–55. ISSN 1006-9305. Dostupné z: doi:10.1007/s11427-007-2040-7
- [114] HU, Shanling, Jun XUE, Yan LIN, Jian-Ping YU a Jianguang ZHOU. Determination of Rare Earth Elements in Navel Oranges from Different Geographical Regions of China by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *Analytical Letters* [online]. 2014, **47**(8), 1400–1408. ISSN 0003-2719. Dostupné z: doi:10.1080/00032719.2013.867500
- [115] ZHANG, Caiyun, Dongwu LIU, Kailun SHI, Chengkun LIU, Keliang LYU, Jie CHEN a Xue WANG. Gadolinium accumulation, distribution, chemical forms, and influence on the growth of rice seedlings. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online]. 2019, **179**, 265–271. ISSN 0147-6513. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoenv.2019.04.074
- [116] RANDHAWA, Muhammad Atif, Anwaar AHMED a Muhammad Sameem JAVED. Chapter 20 - Wheat Contaminants (Pesticides) and their Dissipation during Processing. In: Ronald Ross WATSON, Victor R. PREEDY a Sherma ZIBADI, ed. *Wheat and Rice in Disease Prevention and Health* [online]. San Diego: Academic Press, 2014 [vid. 2024-12-15], s. 263–277. ISBN 978-0-12-401716-0. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-401716-0.00020-9
- [117] ANITHA, S. a E.S. Challaraj Emmanuel P. SARANRAJ. A Study on Impact of Rare Earth Elements and Bacteria in Growth of Wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Ecobiotechnology* [online]. 2010 [vid. 2024-03-04]. ISSN 2077-0464. Dostupné z: <https://updatepublishing.com/journal/index.php/jebt/article/view/77>
- [118] ZHANG, S. a X. Q. SHAN. Speciation of rare earth elements in soil and accumulation by wheat with rare earth fertilizer application. *Environmental Pollution (Barking, Essex:*

- 1987) [online]. 2001, **112**(3), 395–405. ISSN 0269-7491. Dostupné z: doi:10.1016/s0269-7491(00)00143-3
- [119] ZOCHER, Anna-Lena, Dennis KRAEMER, Gila MERSCHER a Michael BAU. Distribution of major and trace elements in the bolete mushroom *Suillus luteus* and the bioavailability of rare earth elements. *Chemical Geology* [online]. 2018, **483**, 491–500. ISSN 0009-2541. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemgeo.2018.03.019
- [120] FIKET, Željka, Gordana MEDUNIĆ, Martina FURDEK TURK, Maja IVANIĆ a Goran KNIEWALD. Influence of soil characteristics on rare earth fingerprints in mosses and mushrooms: Example of a pristine temperate rainforest (Slavonia, Croatia). *Chemosphere* [online]. 2017, **179**, 92–100. ISSN 0045-6535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2017.03.089
- [121] FALANDYSZ, Jerzy, Atindra SAPKOTA, Małgorzata MĘDYK a Xinbin FENG. Rare earth elements in parasol mushroom *Macrolepiota procera*. *Food Chemistry* [online]. 2017, **221**, 24–28. ISSN 0308-8146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2016.10.047
- [122] FALANDYSZ, Jerzy a Jan BOROVIČKA. Macro and trace mineral constituents and radionuclides in mushrooms: health benefits and risks. *Applied Microbiology and Biotechnology* [online]. 2013, **97**(2), 477–501. ISSN 1432-0614. Dostupné z: doi:10.1007/s00253-012-4552-8
- [123] KALÁČ, Pavel. Trace element contents in European species of wild growing edible mushrooms: A review for the period 2000–2009. *Food Chemistry* [online]. 2010, **122**(1), 2–15. ISSN 0308-8146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2010.02.045
- [124] CARPENTER, David, Céline BOUTIN, Jane E. ALLISON, Jessica L. PARSONS a Deanna M. ELLIS. Uptake and Effects of Six Rare Earth Elements (REEs) on Selected Native and Crop Species Growing in Contaminated Soils. *PLOS ONE* [online]. 2015, **10**(6), e0129936. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0129936
- [125] ZAVA, Andrea, Pedro J. SEBASTIÃO a Sofia CATARINO. Wine traceability and authenticity: approaches for geographical origin, variety and vintage assessment. *Ciência e Técnica Vitivinícola* [online]. 2020, **35**(2), 133–147. ISSN 2416-3953. Dostupné z: doi:10.1051/ctv/20203502133
- [126] GONZÁLVEZ, A., A. LLORENS, M. L. CERVERA, S. ARMENTA a M. DE LA GUARDIA. Elemental fingerprint of wines from the protected designation of origin Valencia. *Food Chemistry* [online]. 2009, **112**(1), 26–34. ISSN 0308-8146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2008.05.043
- [127] LIU, D., X. WANG, X. ZHANG a Z. GAO. Effects of lanthanum on growth and accumulation in roots of rice seedlings. *Plant, Soil and Environment* [online]. 2013, **59**(5), 196–200. ISSN 12141178, 18059368. Dostupné z: doi:10.17221/760/2012-PSE
- [128] D'AQUINO, Luigi, Maria Concetta DE PINTO, Luca NARDI, Massimo MORGANA a Franca TOMMASI. Effect of some light rare earth elements on seed germination, seedling growth and antioxidant metabolism in *Triticum durum*. *Chemosphere* [online]. 2009, **75**(7), 900–905. ISSN 0045-6535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2009.01.026

- [129] ZHU, Weifang, Suqin XU, Pinpin SHAO, Hui ZHANG, Donseng WU, Wenjia YANG, Jia FENG a Lei FENG. Investigation on Liver Function Among Population in High Background of Rare Earth Area in South China. *Biological Trace Element Research* [online]. 2005, **104**(1), 001–008. ISSN 0163-4984. Dostupné z: doi:10.1385/BTER:104:1:001
- [130] SABBIONI, E., R. PIETRA, P. GAGLIONE, G. VOCATURO, F. COLOMBO, M. ZANONI a F. RODI. Long-term occupational risk of rare-earth pneumoconiosis A case report as investigated by neutron activation analysis. *Science of The Total Environment* [online]. 1982, **26**(1), 19–32. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:10.1016/0048-9697(82)90093-6
- [131] *OptiMass 9500 – GBC* [online]. [vid. 2024-09-09]. Dostupné z: <https://www.gbcsoci.com/product/optimass-9500/>
- [132] SVÍZELOVÁ, Monika. *Multiprvková analýza kostí metodou oa-TOF-ICP-MS*. Pardubice, 2018, 82 s, 2018. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická. Vedoucí práce Ing. Lenka Husáková, Ph.D.
- [133] MIŠÍKOVÁ, Frederika. *Prvková analýza vína a transport živin a těžkých kovů z půdy do vinné révy*. Pardubice, 2020. 103 s, 2020. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická. Vedoucí práce doc. Ing. Anna Krejčová, Ph.D.
- [134] *Integra 6000 – GBC* [online]. [vid. 2024-09-11]. Dostupné z: <https://www.gbcsoci.com/product/integra-6000/>
- [135] speedwave XPERT and XTRACT – The professional. <https://www.berghof-instruments.com/en/products/speedwave-xpert/> [online]. [vid. 2024-09-11]. Dostupné z: <https://www.berghof-instruments.com/en/products/speedwave-xpert/>
- [136] ISO 8692:2012 Water quality — Fresh water algal growth inhibition test with unicellular green algae. *ISO* [online]. 2012 [vid. 2024-11-17]. Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/54150.html>
- [137] SICILIANO, Antonietta, Marco GUIDA, Sara SERAFINI, Maria MICILLO, Emilia GALDIERO, Simona CARFAGNA, Giovanna SALBITANI, Franca TOMMASI, Giusy LOFRANO, Edith Guadalupe PADILLA SUAREZ, Isidora GJATA, Antonios Apostolos BROUZOTIS, Marco TRIFUOGGI, Renato LIGUORI, Marco RACE, Massimiliano FABBRICINO a Giovanni LIBRALATO. Long-term multi-endpoint exposure of the microalga *Raphidocelis subcapitata* to lanthanum and cerium. *Science of The Total Environment* [online]. 2021, **790**, 148229. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2021.148229
- [138] RAMARAJ, R., Y. UNPAPROM a N. DUSSADEE. Cultivation of Green Microalga, *Chlorella vulgaris* for Biogas Purification. In: [online]. 2016 [vid. 2024-11-17]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Cultivation-of-Green-Microalga%2C-Chlorella-vulgaris-Ramaraj-Unpaprom/4d2a82ba04efaa52226c67e8d9798997a3ba0b1c>
- [139] NIES collection MICROBIAL CULTURE COLLECTION | National Institute for Environmental Studies. *NIES collection CULTURE COLLECTION | National Institute for Environmental Studies* [online]. [vid. 2024-11-17]. Dostupné z: <https://mcc.nies.go.jp/strainList.do?strainId=26>

- [140] SPALLA, S., C. BAFFI, C. BARBANTE, C. TURETTA, G. COZZI, G. M. BEONE a M. BETTINELLI. Determination of rare earth elements in tomato plants by inductively coupled plasma mass spectrometry techniques. *Rapid communications in mass spectrometry: RCM* [online]. 2009, **23**(20), 3285–3292. ISSN 1097-0231. Dostupné z: doi:10.1002/rcm.4244
- [141] JOEBSTL, D., D. BANDONIENE, T. MEISEL a S. CHATZISTATHIS. Identification of the geographical origin of pumpkin seed oil by the use of rare earth elements and discriminant analysis. *Food Chemistry* [online]. 2010, **123**(4), 1303–1309. ISSN 0308-8146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2010.06.009
- [142] CATARINO, Sofia, Trancoso I.M, Manuel MADEIRA, Fernando MONTEIRO, Raul SOUSA a António CURVELO-GARCIA. Rare earths data for geographical origin assignment of wine: a Portuguese case study. *Bulletin de l'OIV*,. 2011, **84**, 223–246.
- [143] LI, Yan, Jia-lin YANG a Yan JIANG. Trace rare earth element detection in food and agricultural products based on flow injection walnut shell packed microcolumn preconcentration coupled with inductively coupled plasma mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2012, **60**(12), 3033–3041. ISSN 1520-5118. Dostupné z: doi:10.1021/jf2049646
- [144] PIPER, David a Michael BAU. Normalized Rare Earth Elements in Water, Sediments, and Wine: Identifying Sources and Environmental Redox Conditions. *American Journal of Analytical Chemistry* [online]. 2013, **04**, 69–83. Dostupné z: doi:10.4236/ajac.2013.410A1009
- [145] BOROVIČKA, Jan, Jaroslava KUBROVÁ, Jan ROHOVEC, Zdeněk ŘANDA a Colin E. DUNN. Uranium, thorium and rare earth elements in macrofungi: what are the genuine concentrations? *BioMetals* [online]. 2011, **24**(5), 837–845. ISSN 1572-8773. Dostupné z: doi:10.1007/s10534-011-9435-4
- [146] BANDONIENE, Donata, Thomas MEISEL, Alessandra RACHETTI a Christoph WALKNER. A tool to assure the geographical origin of local food products (glasshouse tomatoes) using labeling with rare earth elements. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [online]. 2018, **98**(12), 4769–4777. ISSN 1097-0010. Dostupné z: doi:10.1002/jsfa.9124
- [147] Spotřeba potravin - 2022. *Produkty* [online]. [vid. 2024-09-13]. Dostupné z: <https://csu.gov.cz/produkty/spotreba-potravin-2022>
- [148] CATARINO, Sofia, Manuel MADEIRA, Fernando MONTEIRO, Ilda CALDEIRA, Raúl BRUNO DE SOUSA a António CURVELO-GARCIA. Mineral Composition through Soil-Wine System of Portuguese Vineyards and Its Potential for Wine Traceability. *Beverages* [online]. 2018, **4**(4), 85. ISSN 2306-5710. Dostupné z: doi:10.3390/beverages4040085
- [149] *Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006 (Text with EEA relevance)* [online]. 25. duben 2023 [vid. 2024-11-29]. Dostupné z: <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/915/oj/eng>. Legislative Body: COM, SANTE

- [150] PROGRAM, Human Foods. Environmental Contaminants in Food. *FDA.gov* [online]. 9. září 2024 [vid. 2024-11-29]. Dostupné z: <https://www.fda.gov/food/chemical-contaminants-pesticides/environmental-contaminants-food>
- [151] MIHAJLOVIC, Julia a Jörg RINKLEBE. Rare earth elements in German soils - A review. *Chemosphere* [online]. 2018, **205**, 514–523. ISSN 0045-6535. Dostupné z: [doi:10.1016/j.chemosphere.2018.04.059](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.059)
- [152] SICILIANO, Antonietta, Marco GUIDA, Giovanni PAGANO, Marco TRIFUOGGI, Franca TOMMASI, Giusy LOFRANO, Edith Guadalupe PADILLA SUAREZ, Isidora GJATA, Antonios Apostolos BROUZIOTIS, Renato LIGUORI a Giovanni LIBRALATO. Cerium, gadolinium, lanthanum, and neodymium effects in simplified acid mine discharges to *Raphidocelis subcapitata*, *Lepidium sativum*, and *Vicia faba*. *Science of The Total Environment* [online]. 2021, **787**, 147527. ISSN 0048-9697. Dostupné z: [doi:10.1016/j.scitotenv.2021.147527](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147527)

## PŘÍLOHY

**Příloha A** Seznam vzorků pevných potravin (mouka, rýže, mrkev) a jejich podrobné specifikace

**Příloha B** Seznam vzorků kapalných potravin (víno) a jejich podrobné specifikace

**Příloha C** Koncentrace měřených prvků vzácných zemin (REE), hodnoty gadoliniové anomálie ( $Gd_{anom}$ ) a koncentrace antropogenního gadolinia ( $Gd_{ant}$ ) pro všechny typy vzorků potravin (víno v  $ng\ L^{-1}$ ) a obsah sušiny ve vzorcích mrkve

**Příloha D** Seznam všech publikovaných prací, včetně přednášek a posterů prezentovaných na vědeckých konferencích

**Příloha A Seznam vzorků pevných potravin (mouka, rýže, mrkev) a jejich podrobné specifikace**

| Č. | Vzorek | Obchodní značka               | Název potraviny                             | Původ                    | Původní množství | Speciální označení                    |
|----|--------|-------------------------------|---|--------------------------|------------------|---------------------------------------|
| 1  | MP 1   | Babiččina volba               | Mouka polohrubá pšeničná                    | Litoměřice, ČR           | 1 kg             | ano                                   |
| 2  | MP 2   | Belbake                       | Pšeničná mouka hladká světlá                | ČR                       | 1 kg             | -                                     |
| 3  | MP 3   | Penny                         | Polohrubá mouka pšeničná                    | ČR                       | 1 kg             | Česká potravina                       |
| 4  | MP 4   | Penny                         | Hladká mouka pšeničná                       | ČR                       | 1 kg             | Česká potravina                       |
| 5  | MP 5   | Verso natura Conad            | Farina di Grano Tenero Tipo 00<br>Biologica | Itálie                   | 1 kg             | BIO                                   |
| 6  | MP 6   | Babiččina volba               | Hladká múka na kysnuté cesto<br>pšeničná    | Kyjov, ČR                | 1 kg             | -                                     |
| 7  | MP 7   | Babiččina volba               | Múka polohrubá pšeničná výberová            | ČR                       | 1 kg             | -                                     |
| 8  | MP 8   | Babiččina volba               | Múka pšeničná hrubá                         | ČR                       | 1 kg             | -                                     |
| 9  | MP 9   | Babiččina volba               | Múka hladká pšeničná speciál 00<br>extra    | Kyjov, ČR                | 1 kg             | -                                     |
| 10 | MP 10  | Pernerka                      | Pšeničná hladká                             | Svijany, ČR              | 1 kg             | Regionální produkt, Český ráj         |
| 11 | MP 11  | Coop Jednota                  | Múka pšeničná hrubá                         | SR                       | 1 kg             | -                                     |
| 12 | MP 12  | Babiččina volba               | Hladká múka na kysnuté cesto<br>pšeničná    | Kyjov, ČR                | 1 kg             | -                                     |
| 13 | MP 13  | Coop Jednota                  | Pšeničná polohrubá výberová                 | SR                       | 1 kg             | -                                     |
| 14 | MP 14  | Mlyn Pohronský Ruskov<br>a.s. | Pšeničná múka hladká speciál 00<br>extra    | Pohronský Ruskov, SR     | 1 kg             | -                                     |
| 15 | MP 15  | Penam                         | Pšeničná múka hladká T 650                  | SR                       | 1 kg             | -                                     |
| 16 | MP 16  | Mlýnárov výber                | Pšeničná múka hrubá                         | Pohronský Ruskov, SR     | 1 kg             | -                                     |
| 17 | MP 17  | Předměřická                   | Mouka pšeničná světlá hladká                | Předměřice nad Labem, ČR | 1 kg             | KLASA                                 |
| 18 | MP 18  | Ramill                        | Hladká pšeničná mouka – světlá              | ČR                       | 1 kg             | -                                     |
| 19 | MP 19  | Babiččina volba               | Mouka polohrubá pšeničná                    | Kyjov, ČR                | 1 kg             | KLASA                                 |
| 20 | MP 20  | VITAFLÓRA                     | Pšeničná mouka Hladká speciál 00<br>Extra   | Kolárovo, SR             | 1 kg             | -                                     |
| 21 | MP 21  | Pernerka                      | Bio pšeničná celozrnná hladká               | Svijany, ČR              | 1 kg             | BIO, Regionální produkt, Český<br>ráj |

| Č. | Vzorek | Obchodní značka                | Název potraviny                                  | Původ                    | Původní množství | Speciální označení                        |
|----|--------|--------------------------------|--|--------------------------|------------------|---|
| 22 | MP 22  | Penam                          | Mouka pšeničná polohrubá                         | ČR                       | 1 kg             | KLASA, Český výrobek<br>garantováno PK ČR |
| 23 | MP 23  | Penam                          | Mouka pšeničná hladká                            | ČR                       | 1 kg             | KLASA, Český výrobek<br>garantováno PK ČR |
| 24 | MP 24  | dmBIO                          | Weizen Mehl type 405                             | Německo                  | 1 kg             | BIO                                       |
| 25 | MP 25  | Penam                          | Mouka pšeničná hladká                            | Znojmo, ČR               | 1 kg             | -   |
| 26 | MP 26  | Penam                          | Mouka pšeničná polohrubá                         | Znojmo, ČR               | 1 kg             | -   |
| 27 | MP 27  | Penam                          | Mouka pšeničná hrubá                             | Znojmo, ČR               | 1 kg             | -   |
| 28 | MP 28  | Mlýn Janderov, spol.<br>s.r.o. | Pšeničná mouka hladká chlebová                   | Janderov, ČR             | 3 kg             | -   |
| 29 | MP 29  | Babiččina volba                | Mouka hladká pšeničná světlá 00<br>extra         | Kyjov, ČR                | 1 kg             | KLASA                                     |
| 30 | MP 30  | Babiččina volba                | Mouka hladká pšeničná světlá 00<br>extra         | Kyjov, ČR                | 2 kg             | KLASA                                     |
| 31 | MP 31  | Mlynářův výběr                 | Pšeničná mouka polohrubá                         | Pohronský Ruskov, SR     | 1 kg             | -   |
| 32 | MP 32  | K-Classic                      | Pšeničná mouka polohrubá výběrová                | Kolárovo, SR             | 1 kg             | -   |
| 33 | MP 33  | K-Classic                      | Pšeničná mouka hrubá Zlatý klas                  | Kolárovo, SR             | 1 kg             | -   |
| 34 | MP 34  | K-Classic                      | Pšeničná mouka hladká                            | Slatinice, ČR            | 1 kg             | -   |
| 35 | MP 35  | Ramill                         | Pšeničná mouka hladká světlá speciál<br>00 extra | Litoměřice, ČR           | 1 kg             | -   |
| 36 | MP 36  | Clever                         | Pšeničná mouka polohrubá výběrová<br>T400        | ČR                       | 1 kg             | -   |
| 37 | MP 37  | My price                       | Polohrubá pšeničná mouka                         | Znojmo, ČR               | 1 kg             | -   |
| 38 | MP 38  | Předměřická                    | Mouka pšeničná hrubá                             | Předměřice nad Labem, ČR | 1 kg             | Česká potravina, KLASA                    |
| 39 | MP 39  | Předměřická                    | Mouka pšeničná polohrubá                         | Předměřice nad Labem, ČR | 1 kg             | Česká potravina, KLASA                    |
| 40 | MP 40  | Belbake                        | Mouka pšeničná hladká                            | ČR                       | 1 kg             | -   |
| 41 | MP 41  | Babiččina volba                | Hladká mouka pšeničná chlebová                   | Kyjov, ČR                | 1 kg             | -   |
| 42 | MP 42  | Penny                          | Hrubá mouka pšeničná                             | ČR                       | 1 kg             | Česká potravina                           |
| 43 | MP 43  | Předměřická                    | Mouka pšeničná světlá hladká                     | Předměřice nad Labem, ČR | 1 kg             | Česká potravina, KLASA                    |
| 44 | MP 44  | Tesco                          | Mouka polohrubá pšeničná                         | ČR                       | 1 kg             | -   |
| 45 | MP 45  | Belbake                        | Pšeničná mouka hladká světlá                     | ČR                       | 1 kg             | -   |

| Č. | Vzorek | Obchodní značka            | Název potraviny                               | Původ                | Původní množství | Speciální označení            |
|----|--------|----------------------------|---|----------------------|------------------|-------------------------------|
| 46 | MP 46  | Tesco                      | Mouka polohrubá pšeničná                      | ČR                   | 1 kg             | -                             |
| 47 | MP 47  | Albert                     | Hladká mouka pšeničná                         | ČR                   | 1 kg             | -                             |
| 48 | MP 48  | Clever                     | Pšeničná polohrubá mouka                      | ČR                   | 1 kg             | Česká potravina               |
| 49 | MP 49  | Babiččina volba            | Mouka hladká pšeničná světlá 00 extra         | Litoměřice, ČR       | 1 kg             | KLASA                         |
| 50 | MP 50  | CBA                        | Pšeničná mouka polohrubá výběrová             | ČR                   | 1 kg             | -                             |
| 51 | MP 51  | Aviv                       | Matzo meal (Macesová moučka košer na Pesach)  | Izrael               | 454 g            | košer                         |
| 52 | MP 52  | -                          | Mouka hladká speciál 00 extra                 | ČR                   | 1 kg             | -                             |
| 53 | MP 53  | K-Classic                  | Pšeničná mouka polohrubá                      | ČR                   | 1 kg             | -                             |
| 54 | MP 54  | Babiččina volba            | Mouka hladká pšeničná světlá 00 extra         | Litoměřice, ČR       | 1 kg             | KLASA                         |
| 55 | MP 55  | Clever                     | Pšeničná mouka hladká                         | ČR                   | 1 kg             | -                             |
| 56 | MP 56  | Ramill                     | Hladká  | Litoměřice, ČR       | 1 kg             | -                             |
| 57 | MP 57  | Ramill                     | Polohrubá                                     | Litoměřice, ČR       | 1 kg             | -                             |
| 58 | MP 58  | Ramill                     | Hrubá pšeničná mouka                          | Litoměřice, ČR       | 1 kg             | -                             |
| 59 | MP 59  | Babiččina volba            | Mouka polohrubá pšeničná                      | Kyjov, ČR            | 1 kg             | KLASA                         |
| 60 | MP 60  | Penny                      | Hladká mouka pšeničná                         | ČR                   | 1 kg             | Česká potravina               |
| 61 | MP 61  | Vitaflóra                  | Pšeničná múka polohrubá výberová              | Kolárovo, SR         | 1 kg             | -                             |
| 62 | MP 62  | Mlyn Pohronský Ruskov a.s. | Pšeničná múka hladká speciál 00 extra         | Pohronský Ruskov, SR | 1 kg             | -                             |
| 63 | MP 63  | Mlyn Pohronský Ruskov a.s. | Pšeničná múka hrubá                           | Pohronský Ruskov, SR | 1 kg             | -                             |
| 64 | MP 64  | Pernerka                   | Pšeničná polohrubá                            | Svijany, ČR          | 1 kg             | Regionální produkt, Český ráj |
| 65 | MP 65  | K-Classic                  | Pšeničná mouka polohrubá výběrová             | ČR                   | 1 kg             | -                             |
| 66 | MP 66  | Ramill                     | Pšeničná mouka hladká světlá speciál 00 extra | Litoměřice, ČR       | 1 kg             | -                             |
| 67 | MP 67  | Babiččina volba            | Mouka polohrubá pšeničná                      | Kyjov, ČR            | 2 kg             | KLASA                         |
| 68 | MP 68  | Babiččina volba            | Mouka polohrubá pšeničná                      | Kyjov, ČR            | 2 kg             | KLASA                         |
| 69 | MP 69  | Babiččina volba            | Mouka hladká pšeničná světlá 00 extra         | Kyjov, ČR            | 2 kg             | KLASA                         |

| Č. | Vzorek | Obchodní značka     | Název potraviny                        | Původ              | Původní množství | Speciální označení                 |
|----|--------|---------------------|--|--------------------|------------------|------------------------------------|
| 70 | MP 70  | Vitaflóra           | Pšeničná mouka hladká speciál 00 Extra | Kolárovo, SR       | 1 kg             | -                                  |
| 71 | MP 71  | Karlova koruna      | Mouka hladká pšeničná                  | ČR                 | 1 kg             | Česká potravina                    |
| 72 | MP 72  | Mlýn Havlíčkův Brod | Pšeničná mouka polohrubá               | Havlíčkův Brod, ČR | 1 kg             | KLASA                              |
| 73 | MP 73  | K-Classic           | Pšeničná mouka polohrubá               | ČR                 | 1 kg             | -                                  |
| 74 | MP 74  | Penny               | Hladká mouka pšeničná                  | ČR                 | 1 kg             | Česká potravina                    |
| 75 | MP 75  | Penny               | Hrubá mouka pšeničná                   | ČR                 | 1 kg             | Česká potravina                    |
| 76 | MP 76  | Tesco               | Mouka hladká pšeničná                  | ČR                 | 1 kg             | -                                  |
| 77 | MP 77  | Mlýn Havlíčkův Brod | Pšeničná mouka hrubá                   | Havlíčkův Brod, ČR | 1 kg             | KLASA                              |
| 78 | MP 78  | Penny               | Hladká mouka pšeničná                  | ČR                 | 1 kg             | Česká potravina                    |
| 79 | MP 79  | Mlýn Havlíčkův Brod | Pšeničná mouka polohrubá               | Havlíčkův Brod, ČR | 1 kg             | KLASA                              |
| 80 | MP 80  | Mlýn Havlíčkův Brod | Pšeničná mouka hladká                  | Havlíčkův Brod, ČR | 1 kg             | KLASA                              |
| 81 | MP 81  | Mlýn Havlíčkův Brod | Pšeničná mouka hrubá                   | Havlíčkův Brod, ČR | 1 kg             | KLASA                              |
| 82 | MP 82  | Pernerka            | Pšeničná hladká                        | Svijany, ČR        | 1 kg             | Regionální produkt, Český ráj      |
| 83 | MS 1   | Pernerka            | Bio špaldová hladká                    | Svijany, ČR        | 1 kg             | BIO, Regionální produkt, Český ráj |
| 84 | MS 2   | Belbake             | Špaldová mouka celozrnná               | ČR                 | 1 kg             | -                                  |
| 85 | MS 3   | Pernerka            | Bio špaldová celozrnná hladká          | Svijany, ČR        | 1 kg             | BIO, Regionální produkt, Český ráj |
| 86 | MS 4   | Pernerka            | Špaldová mouka polohrubá               | Svijany, ČR        | 1 kg             | Regionální produkt, Český ráj      |
| 87 | MS 5   | Pernerka            | Bio špaldová celozrnná hladká          | Svijany, ČR        | 1 kg             | BIO, Regionální produkt, Český ráj |
| 88 | MS 6   | Pernerka            | Bio špaldová hladká                    | Svijany, ČR        | 1 kg             | BIO, Regionální produkt, Český ráj |
| 89 | MS 7   | Belbake             | Špaldová mouka hladká                  | ČR                 | 1 kg             | -                                  |
| 90 | MS 8   | Pernerka            | Bio špaldová hladká                    | Svijany, ČR        | 1 kg             | BIO, Regionální produkt, Český ráj |
| 91 | MS 9   | Pernerka            | Špaldová celozrnná hladká              | Svijany, ČR        | 1 kg             | Regionální produkt, Český ráj      |
| 92 | MS 10  | Pernerka            | Špaldová hladká                        | Svijany, ČR        | 1 kg             | Regionální produkt, Český ráj      |
| 93 | MS 11  | Pernerka            | Špaldová celozrnná hladká              | Svijany, ČR        | 1 kg             | Regionální produkt, Český ráj      |
| 94 | MS 12  | dmBIO               | BIO mouka špaldová typ 630             | EU                 | 1 kg             | BIO                                |

| Č.  | Vzorek | Obchodní značka      | Název potraviny                   | Původ                    | Původní množství | Speciální označení                 |
|-----|--------|----------------------|-----------------------------------|--------------------------|------------------|------------------------------------|
| 95  | MS 13  | Belbake              | Špaldová mouka hladká             | ČR                       | 1 kg             | -                                  |
| 96  | MS 14  | Mlyn - PD Sokolce    | 100 % špaldová múka hladká biela  | Sokolice, SR             | 1 kg             | ISK Slovakia                       |
| 97  | MS 15  | Belbake              | Špaldová mouka celozrnná          | ČR                       | 1 kg             | -                                  |
| 98  | MS 16  | Pernerka             | Špaldová hladká                   | Svijany, ČR              | 1 kg             | Regionální produkt, Český ráj      |
| 99  | MS 17  | Pernerka             | Bio špaldová celozrnná hladká     | Svijany, ČR              | 1 kg             | BIO, Regionální produkt, Český ráj |
| 100 | MS 18  | Pernerka             | Bio špaldová celozrnná hladká     | Svijany, ČR              | 1 kg             | BIO, Regionální produkt, Český ráj |
| 101 | MZ 1   | Předměřická          | Mouka žitná tmavá chlebová        | Předměřice nad Labem, ČR | 1 kg             | Český výrobek garantováno PK ČR    |
| 102 | MZ 2   | Pernerka             | Žitná celozrnná hladká            | Svijany, ČR              | 1 kg             | Regionální produkt, Český ráj      |
| 103 | MZ 3   | Babiččina volba      | Mouka žitná hladká tmavá          | Kyjov, ČR                | 1 kg             | -                                  |
| 104 | MZ 4   | Pernerka             | Žitná celozrnná hladká            | Svijany, ČR              | 1 kg             | Regionální produkt, Český ráj      |
| 105 | MZ 5   | Nature's Promise Bio | Mouka žitná celozrnná             | EU                       | 1 kg             | BIO                                |
| 106 | MZ 6   | Pernerka             | Žitná celozrnná hladká            | Svijany, ČR              | 1 kg             | Regionální produkt, Český ráj      |
| 107 | MZ 7   | Babiččina volba      | Mouka žitná hladká tmavá          | Kyjov, ČR                | 1 kg             | -                                  |
| 108 | MZ 8   | Pernerka             | Žitná celozrnná hladká            | Svijany, ČR              | 1 kg             | Regionální produkt, Český ráj      |
| 109 | MZ 9   | Předměřická          | Mouka žitná tmavá chlebová        | Předměřice nad Labem, ČR | 1 kg             | Český výrobek garantováno PK ČR    |
| 110 | MZ 10  | Babiččina volba      | Hladká mouka žitná chlebová       | Kyjov, ČR                | 1 kg             | -                                  |
| 111 | MZ 11  | Pernerka             | Žitná celozrnná hladká            | Svijany, ČR              | 1 kg             | Regionální produkt, Český ráj      |
| 112 | MZ 12  | Předměřická          | Mouka žitná celozrnná             | Předměřice nad Labem, ČR | 1 kg             | -                                  |
| 113 | MZ 13  | Babiččina volba      | Hladká mouka žitná chlebová       | Kyjov, ČR                | 1 kg             | -                                  |
| 114 | MZ 14  | Mlyn Trenčan         | Ražná múka chlebová 7 930         | Trenčianská Turná, SR    | 1 kg             | Značka kvality                     |
| 115 | MZ 15  | Pernerka             | Žitná celozrnná hladká            | Svijany, ČR              | 1 kg             | Regionální produkt, Český ráj      |
| 116 | MZ 16  | Pernerka             | Žitná celozrnná hladká            | Svijany, ČR              | 1 kg             | Regionální produkt, Český ráj      |
| 117 | MZ 17  | Mlýn Havlíčkův Brod  | Mouka hladká žitná tmavá chlebová | Havlíčkův Brod, ČR       | 1 kg             | KLASA                              |
| 118 | MZ 18  | Vítaflóra            | Celozrnná ražná múka              | Kolárovo, SR             | 750 g            | -                                  |
| 119 | MZ 19  | Babiččina volba      | Mouka žitná hladká tmavá          | Kyjov, ČR                | 1 kg             | -                                  |

| Č.  | Vzorek | Obchodní značka      | Název potraviny                   | Původ                                  | Původní množství | Speciální označení                 |
|-----|--------|----------------------|-----------------------------------|--|------------------|------------------------------------|
| 120 | MZ 20  | Pernerka             | Bio žitná celozrnná hladká        | Svijany, ČR                            | 1 kg             | BIO, Regionální produkt, Český ráj |
| 121 | R 1    | noname               | noname                            | -                                      | -                | -                                  |
| 122 | R 2    | Golden Sun           | Dlouhozrnná rýže, loupaná         | Guyana                                 | 1 kg             | -                                  |
| 123 | R 3    | Golden Sun           | Basmati rice                      | Pákistán                               | 500 g            | -                                  |
| 124 | R 4    | arax                 | Rýže na Risotto                   | Itálie                                 | 500 g            | -                                  |
| 125 | R 5    | dmBio                | Milchreis                         | Itálie                                 | 500 g            | BIO                                |
| 126 | R 6    | Golden Sun           | Rýže Basmati dlouhozrnná, loupaná | Pákistán                               | 4,5 kg           | -                                  |
| 127 | R 7    | BioGourmet           | Natureis                          | Itálie                                 | 500 g            | BIO                                |
| 128 | R 8    | Campanini            | Riso arborio                      | Itálie                                 | 5 kg             | -                                  |
| 129 | R 9    | Metro chef           | Italian arborio rice              | Itálie                                 | 5 kg             | -                                  |
| 130 | R 10   | Coop Jednota         | Ryža lúpaná guľatozrnná           | Čína                                   | 1 kg             | -                                  |
| 131 | R 11   | BASK                 | Rýže loupaná dlouhozrnná          | neuvedeno                              | 1 kg             | -                                  |
| 132 | R 12   | Extrudo              | Rýžová mouka jednodruhová         | neuvedeno                              | 400 g            | -                                  |
| 133 | R 13   | Lagris               | Rýže parboiled                    | Myanmar                                | 500 g            | -                                  |
| 134 | R 14   | Menu gold            | Rýže loupaná                      | Myanmar                                | 1 kg             | Český výrobek                      |
| 135 | R 15   | Giana                | Rýže jasmínová                    | Thajsko/ Vietnam/ Kambodža/<br>Myanmar | 5 kg             | -                                  |
| 136 | R 16   | -                    | Rýže Arborio                      | -                                      | -                | -                                  |
| 137 | R 17   | -                    | Rýže Nature                       | -                                      | -                | -                                  |
| 138 | R 18   | -                    | Rýže Jasmínová                    | -                                      | -                | -                                  |
| 139 | R 19   | Nature's Promise BIO | Rýže basmati bílá                 | Mimo EU                                | 500 g            | BIO                                |
| 140 | R 20   | Lagris               | Rýže natural                      | Itálie                                 | 500 g            | -                                  |
| 141 | R 21   | THAI LY              | Lepkávná hnědá rýže               | Vietnam                                | 1 kg             | -                                  |
| 142 | R 22   | Fine Life            | Rýže jasmínová                    | Thajsko/ Vietnam/ Laos /<br>Kambodža/  | 500 g            | -                                  |
| 143 | R 23   | Penny                | Rýže loupaná dlouhozrnná          | Polsko                                 | 1 kg             | -                                  |
| 144 | R 24   | Lagris               | Rýže dlouhozrnná parboiled        | Myanmar                                | 1 kg             | -                                  |
| 145 | R 25   | ESSA                 | Rýže dlouhozrnná                  | Myanmar                                | 1 kg             | -                                  |

| Č.  | Vzorek | Obchodní značka | Název potraviny                   | Původ    | Původní množství | Speciální označení |
|-----|--------|-----------------|-----------------------------------|----------|------------------|--------------------|
| 146 | R 26   | Menu Gold       | Rýže loupaná střednězrná          | Myanmar  | 1 kg             | Český výrobek      |
| 147 | R 27   | Vitana          | Rýže parboiled ve varných sáčcích | -        | 4 x 100 g        | -                  |
| 148 | R 28   | arax            | Basmati rýže                      | Pákistán | 500 g            | -                  |
| 149 | R 29   | Golden Sun      | Long Grain Parboiled Rice         | Myanmar  | 1 kg             | -                  |
| 150 | R 30   | Vitasia         | Sushi Rice                        | Itálie   | 500 g            | -                  |
| 151 | R 31   | ASIA flavours   | Sticky rice                       | Vietnam  | 500 g            | -                  |
| 152 | R 32   | ASIA flavours   | Ryz do sushi                      | Vietnam  | 500 g            | -                  |
| 153 | R 33   | Scotti          | Risotto rýže                      | Itálie   | 1 kg             | -                  |
| 154 | R 34   | Golden Sun      | Long Grain Rice                   | Myanmar  | 1 kg             | -                  |
| 155 | R 35   | Menu Gold       | Rýže parboiled                    | Guyana   | 1 kg             | Český výrobek      |
| 156 | R 36   | Lagris          | Rýže parboiled                    | Myanmar  | 8 x 120 g        | KLASA              |
| 157 | R 37   | White elephant  | Thajská jasmínová rýže            | Thajsko  | 1 kg             | -                  |
| 158 | R 38   | Golden Sun      | Basmati rice                      | Pákistán | 500 g            | -                  |
| 159 | R 39   | Menu Golg       | Rýže jasmínová                    | Kambodža | 1 kg             | Český výrobek      |
| 160 | R 40   | Vitana          | Rýže parboiled                    | -        | 4 x 100 g        | -                  |
| 161 | R 41   | Penny           | Dlouhozrná rýže parboiled         | Polsko   | 1 kg             | -                  |
| 162 | R 42   | ITA-SAN         | Sushi Rice                        | Itálie   | 500 g            | -                  |
| 163 | R 43   | Clever          | Rýže loupaná                      | -        | 4 x 100 g        | -                  |
| 164 | R 44   | BASK            | Ryža lúpaná guľatozrná            | -        | 1 kg             | -                  |
| 165 | R 45   | Vitasia         | Sushi Rice                        | Itálie   | 500 g            | -                  |
| 166 | R 46   | Vitasia         | Basmati rýže Indian style         | Indie    | 3 kg             | -                  |
| 167 | R 47   | Golden Sun      | Long Grain Rice                   | Myanmar  | 1 kg             | -                  |
| 168 | R 48   | Grizly          | Rýže Basmati parboiled            | Pakistán | 1 kg             | -                  |
| 169 | R 49   | Italiamo        | Riso arborio                      | Itálie   | 1 kg             | -                  |
| 170 | R 50   | Golden Sun      | Basmati rice                      | Pákistán | 4,5 kg           | -                  |
| 171 | R 51   | Billa           | Long grain rice                   | -        | 1 kg             | -                  |
| 172 | R 52   | Giana           | Rýže dlouhozrná parboiled         | Thajsko  | 1 kg             | -                  |
| 173 | R 53   | K-Classic       | Round grain rice                  | -        | 1 kg             | -                  |

| Č.  | Vzorek | Obchodní značka                   | Název potraviny                 | Původ                  | Původní množství | Speciální označení |
|-----|--------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------|------------------|--------------------|
| 174 | R 54   | Vitana                            | Parboiled rýže                  | -                      | 1 kg             | -                  |
| 175 | R 55   | Arax                              | Rýže parboiled                  | Myanmar                | 5 kg             | -                  |
| 176 | R 56   | Golden Sun                        | Basmati rice                    | Pákistán               | 500 g            | -                  |
| 177 | R 57   | Penny                             | Rýže dlouhozrná loupaná         | Polsko                 | 1 kg             | -                  |
| 178 | R 58   | SOS                               | Jasmine – dlhozrná ryža bielená | Vietnam                | 1 kg             | -                  |
| 179 | R 59   | BASK                              | Ryža lúpaná guľatozrná          | -                      | 1 kg             | -                  |
| 180 | R 60   | Menu Gold                         | Ryže basmati                    | Pákistán               | 2 kg             | Český výrobek      |
| 181 | R 61   | Varoma                            | Rýže parboiled                  | -                      | 4 x 120 g        | -                  |
| 182 | R 62   | Penny                             | Rýže dlouhozrná loupaná         | -                      | 1 kg             | -                  |
| 183 | R 63   | Varoma                            | Rýže dlouhozrná                 | -                      | 4 x 100 g        | -                  |
| 184 | R 64   | Varoma                            | Rýže dlouhozrná                 | -                      | 4 x 100 g        | -                  |
| 185 | R 65   | Albert Excellent everyday special | Jasmínová rýže                  | Thajsko                | 500 g            | -                  |
| 186 | Mr 1   | -                                 | Mrkev                           | ČR                     | Na váhu          | -                  |
| 187 | Mr 2   | -                                 | Mrkev                           | ČR                     | Na váhu          | -                  |
| 188 | Mr 3   | Wentink Groenten                  | Mrkev praná (Class I)           | Holandsko              | 1 kg             | -                  |
| 189 | Mr 4   | -                                 | Mrkev                           | Valašské Meziříčí, ČR  | -                | -                  |
| 190 | Mr 5   | Lidl stánek                       | Polévková směs                  | ČR                     | -                | -                  |
| 191 | Mr 6   | -                                 | Mrkev                           | ČR                     | Na váhu          | -                  |
| 192 | Mr 7   | -                                 | Mrkva                           | SR                     | Na váhu          | -                  |
| 193 | Mr 8   | -                                 | Mrkev                           | Turčianske Kľačany, SR | -                | -                  |
| 194 | Mr 9   | Zeleninárská s.r.o.               | Mrkva                           | Králová při Senci, SR  | 3 kg             | -                  |
| 195 | Mr 10  | -                                 | Mrkev                           | Martin, SR             | -                | -                  |
| 196 | Mr 11  | -                                 | Mrkva                           | SR                     | Na váhu          | -                  |
| 197 | Mr 12  | K Jarmark                         | Karotka                         | Hradec Králové, ČR     | 1 kg             | Česká potravina    |
| 198 | Mr 13  | Hanka Mochov                      | Karotka praná                   | ČR                     | 1 kg             | Česká potravina    |
| 199 | Mr 14  | Hanka Mochov                      | Karotka praná                   | ČR                     | 1 kg             | Česká potravina    |
| 200 | Mr 15  | -                                 | Mrkev volná                     | ČR                     | Na váhu          | -                  |
| 201 | Mr 16  | Albertova tržnice                 | Mrkev                           | ČR                     | 1 kg             | Česká potravina    |

| Č.  | Vzorek | Obchodní značka                     | Název potraviny               | Původ              | Původní množství | Speciální označení |
|-----|--------|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| 202 | Mr 17  | -                                   | Mrkev balená                  | ČR                 | 1 kg             | -                  |
| 203 | Mr 18  | -                                   | Mrkev nová sklizeň, I. jakost | Itálie             | 1 kg             | -                  |
| 204 | Mr 19  | Bakker s.r.o.                       | Mrkev                         | ČR                 | 1 kg             | Česká potravina    |
| 205 | Mr 20  | -                                   | Mrkev volná                   | ČR                 | Na váhu          | -                  |
| 206 | Mr 21  | Družstvo BRAMKO CZ                  | Mrkev balená                  | ČR                 | 1 kg             | -                  |
| 207 | Mr 22  | -                                   | Mrkev                         | Holice, ČR         | -                | -                  |
| 208 | Mr 23  | Agrico Bohemia a partneři, družstvo | Mrkev                         | ČR                 | 1 kg             | -                  |
| 209 | Mr 24  | -                                   | Karotka volně                 | ČR                 | Na váhu          | -                  |
| 210 | Mr 25  | -                                   | Mrkev                         | ČR                 | Na váhu          | -                  |
| 211 | Mr 26  | -                                   | Mrkev žlutá                   | ČR                 | Na váhu          | -                  |
| 212 | Mr 27  | -                                   | Mrkev fialová                 | ČR                 | Na váhu          | -                  |
| 213 | Mr 28  | Clever                              | Mrkev z Piletic               | Hradec Králové, ČR | 1 kg             | -                  |
| 214 | Mr 29  | -                                   | Mrkev                         | Mělice, ČR         | Ze zahrádky      | -                  |
| 215 | Mr 30  | -                                   | Mrkev                         | ČR                 | Na váhu          | -                  |
| 216 | Mr 31  | P+P s.r.o.                          | Mrkev volná                   | ČR                 | 15 kg            | -                  |
| 217 | Mr 32  | -                                   | Mrkva                         | SR                 | Na váhu          | -                  |
| 218 | Mr 33  | RuCOLA SP Z.O.O.                    | Marchew luz                   | Polsko             | 10 kg            | -                  |
| 219 | Mr 34  | -                                   | Marchew                       | Polsko             | Na váhu          | -                  |
| 220 | Mr 35  | Nature's promise                    | Bio karotka                   | Itálie             | 750 g            | BIO                |
| 221 | Mr 36  | Brop s.r.o.                         | Mrkev volná                   | SR                 | 15 kg            | -                  |
| 222 | MR 37  | Tesco                               | BIO mrkev                     | Itálie             | 500 g            | BIO Organic        |
| 223 | Mr 38  | Bramko Semice                       | Mrkev baby sladká             | ČR                 | 1 kg             | -                  |
| 224 | Mr 39  | -                                   | Mrkev – Svazek s natí         | Itálie             | Svazek           | -                  |
| 225 | Mr 40  | Tirapelle G.& D. s.r.l.             | Mrkev Nová sklizeň            | Itálie             | 1 kg             | -                  |

**BIO** – biopotravina, **ČR** – Česká republika, **EU** – Evropská unie, **ISK Slovakia** – Značka kvality, **MP** – mouka pšeničná, **Mr** – mrkev, **MS** – mouka špaldová, **MZ** – mouka žitná, **PK ČR** – Potravinářská komora České republiky, **R** – rýže, **SR** – Slovenská republika

**Příloha B** Seznam vzorků kapalných potravin (víno) a jejich podrobné specifikace

| Číslo | Vzorek | Odrůda            | Vinařství                        | Ročník | Původ       |
|-------|--------|-------------------|----------------------------------|--------|-------------|
| 1     | VB 1   | Ryzlink vlašský   | Vinařství Lůbalovi               | 2017   | ČR – Morava |
| 2     | VB 2   | Ryzlink vlašský   | Vinařství Jaroslav Pavka         | 2017   | ČR – Morava |
| 3     | VB 3   | Ryzlink vlašský   | Vinařství Na Soutoku Karel Průša | 2016   | ČR – Morava |
| 4     | VB 4   | Veltlínské zelené | Vinařství Na Soutoku Karel Průša | 2017   | ČR – Morava |
| 5     | VB 5   | Müller Thurgau    | Vinařství Petr Bunža             | 2017   | ČR – Morava |
| 6     | VB 6   | Chardonnay        | Tanzberg Mikulov                 | 2015   | ČR – Morava |
| 7     | VB 7   | Chardonnay        | Polivka winery                   | 2016   | ČR – Morava |
| 8     | VB 8   | Chardonnay        | BMVinařství                      | 2017   | ČR – Morava |
| 9     | VB 9   | Chardonnay        | Cramele Recas                    | 2015   | Rumunsko    |
| 10    | VB 10  | Ryzlink rýnský    | Vinařství Žáček                  | 2016   | ČR – Čechy  |
| 11    | VB 11  | Sauvignon         | Vinařství Na Soutoku Karel Průša | 2017   | ČR – Morava |
| 12    | VB 12  | Savilon           | Vinařství Štěpán Maňák           | 2017   | ČR – Morava |
| 13    | VB 13  | Tramín červený    | Fedor Malik                      | 2016   | Slovensko   |
| 14    | VB 14  | Cuvée             | Vinné sklepy Skalák              | 2017   | ČR – Morava |
| 15    | VB 15  | Cuvée             | Vignobles                        | 2013   | Maďarsko    |
| 16    | VB 16  | -                 | Vinařství Maňák                  | 2017   | ČR – Morava |
| 17    | VB 17  | Veltlínské zelené | Vinařství Málek                  | 2017   | ČR – Morava |
| 18    | VB 18  | Veltlínské zelené | Vinařství Petr Bunža             | 2017   | ČR – Morava |
| 19    | VB 19  | Veltlínské zelené | Vinařství Kolby                  | 2017   | ČR – Morava |
| 20    | VB 20  | Sylvánské zelené  | Vinařství Popelka                | 2017   | ČR – Morava |
| 21    | VB 21  | Sylvánské zelené  | RB Harmonia Vini s.r.o.          | 2016   | ČR – Čechy  |
| 22    | VB 22  | Neuburské         | Vinařství Jaroslav Pavka         | 2017   | ČR – Morava |
| 23    | VB 23  | Chardonnay        | Vinařství Hanuš                  | 2017   | ČR – Morava |
| 24    | VB 24  | Chardonnay        | Vinařství Rochůz                 | 2017   | ČR – Morava |
| 25    | VB 25  | Rulandské šedé    | BMVinařství                      | 2017   | ČR – Morava |
| 26    | VB 26  | -                 | -                                | -      | -           |
| 27    | VB 27  | Ryzlink rýnský    | Vinařství Rochůz                 | 2017   | ČR – Morava |
| 28    | VB 28  | Ryzlink rýnský    | Vinařství Rochůz                 | 2017   | ČR – Morava |

| Číslo | Vzorek | Odrůda            | Vinařství                | Ročník | Původ       |
|-------|--------|-------------------|--------------------------|--------|-------------|
| 29    | VB 29  | Ryzlink rýnský    | Vinařství Konečný        | 2016   | ČR – Morava |
| 30    | VB 30  | Veritas           | Vinařství Agrolip        | 2017   | ČR – Morava |
| 31    | VB 31  | Muškat moravský   | Vinařství Hanuš          | 2017   | ČR – Morava |
| 32    | VB 32  | Muškat moravský   | Vinařství Konečný        | 2017   | ČR – Morava |
| 33    | VB 33  | Tramín červený    | Vinařství Jaroslav Pavka | 2017   | ČR – Morava |
| 34    | VB 34  | Tramín červený    | Vignobles                | 2016   | Maďarsko    |
| 35    | VB 35  | Frankovka         | Vinařství Agrolip        | 2017   | ČR – Morava |
| 36    | VB 36  | -                 | Cramele Recas            | 2017   | Rumunsko    |
| 37    | VB 37  | Sylvánské zelené  | Vinařství Hanuš          | 2017   | ČR – Morava |
| 38    | VB 38  | Muškat moravský   | Vinařství Žerotín        | 2017   | ČR – Morava |
| 39    | VB 39  | Rulandské modré   | Víno Hruška              | 2017   | ČR – Morava |
| 40    | VB 40  | Veltlínské zelené | Víno Homola              | 2017   | ČR – Morava |
| 41    | VB 41  | Veltlínské zelené | Vinařství Zbyněk Osička  | 2017   | ČR – Morava |
| 42    | VB 42  | Chardonnay        | Vinařství Zbyněk Osička  | 2017   | ČR – Morava |
| 43    | VB 43  | Rulandské šedé    | Víno Homola              | 2017   | ČR – Morava |
| 44    | VB 44  | Rulandské bílé    | Víno Homola              | 2017   | ČR – Morava |
| 45    | VB 45  | Chardonnay        | Víno Homola              | 2017   | ČR – Morava |
| 46    | VB 46  | -                 | -                        | -      | -           |
| 47    | VB 47  | -                 | -                        | -      | -           |
| 48    | VB 48  | Rulandské šedé    | Vinařství Kněží hora     | 2017   | ČR – Morava |
| 49    | VB 49  | Chardonnay        | Vinařství Žerotín        | 2015   | ČR – Morava |
| 50    | VB 50  | Tramín červený    | Winberg Mikulov          | 2015   | ČR – Morava |
| 51    | VB 51  | Rulandské šedé    | Vinařství PPS            | 2016   | ČR – Morava |
| 52    | VB 52  | Chardonnay        | Znovín Znojmo            | 2016   | ČR – Morava |
| 53    | VB 53  | Rulandské šedé    | Víno Hruška              | 2015   | ČR – Morava |
| 54    | VB 54  | Sauvignon         | Vinařství pod Hradem     | 2014   | ČR – Morava |
| 55    | VB 55  | Veltlínské zelené | Znovín Znojmo            | 2016   | ČR – Morava |
| 56    | VB 56  | Sylvánské zelené  | Via Vini                 | 2016   | ČR – Morava |
| 57    | VB 57  | Sauvignon         | Vinařství PPS            | 2016   | ČR – Morava |
| 58    | VB 58  | Neuburské         | Víno Vachta              | -      | ČR – Morava |

| Číslo | Vzorek | Odrůda                  | Vinařství                      | Ročník | Původ       |
|-------|--------|-------------------------|--------------------------------|--------|-------------|
| 59    | VB 59  | Chardonnay              | Vinařství Válka                | 2016   | ČR – Morava |
| 60    | VB 60  |                         |                                |        |             |
| 61    | VB 61  | Ryzlink rýnský          | Vino Andrusiów                 | 2016   | ČR – Morava |
| 62    | VB 62  | Sauvignon               | Vinařství Málek                | 2016   | ČR – Morava |
| 63    | VB 63  | -                       | -                              | -      | -           |
| 64    | VB 64  | Ryzlink vlašský         | Vinařství Zbyněk Osička        | 2016   | ČR – Morava |
| 65    | VB 65  | Ryzlink vlašský         | Vinařství Maděřič spol. s r.o. | 2016   | ČR – Morava |
| 66    | VB 66  | Ryzlink vlašský         | Stanislav Málek                | 2016   | ČR – Morava |
| 67    | VB 67  | Veltlínské zelené       | Vinařství Žerotín              | 2016   | ČR – Morava |
| 68    | VB 68  | Veltlínské červené rané | Vinařství Petr Bunža           | 2016   | ČR – Morava |
| 69    | VB 69  | Rulandské bílé          | Vinařství Maděřič              | 2016   | ČR – Morava |
| 70    | VB 70  | Rulandské bílé          | Vinařství Kolby                | 2010   | ČR – Morava |
| 71    | VB 71  | Neuburské               | Vinařství Maděřič              | 2015   | ČR – Morava |
| 72    | VB 72  | Rulandské bílé          | Rodinné vinařství Skoupil      | 2014   | ČR – Morava |
| 73    | VB 73  | Rulandské šedé          | Via Vini                       | 2016   | ČR – Morava |
| 74    | VB 74  | -                       | -                              | -      | -           |
| 75    | VB 75  | Ryzlink rýnský          | Vinařství Popelka              | 2016   | ČR – Morava |
| 76    | VB 76  | Ryzlink rýnský          | Vinařství Hanzel               | 2014   | ČR – Morava |
| 77    | VB 77  | Hibernal                | Rodinné vinařství Skoupil      | 2015   | ČR – Morava |
| 78    | VB 78  | Cabernet Moravia        | Vinařství Josef Kořínek        | 2015   | ČR – Morava |
| 79    | VB 79  | Chardonnay              | Vinařství Maděřič              | 2016   | ČR – Morava |
| 80    | VB 80  | -                       | KASSIMEX                       | 2016   | Rumunsko    |
| 81    | VB 81  | -                       | -                              | -      | -           |
| 82    | VB 82  | Saphira                 | Vinařství Jan Cícha            | 2016   | ČR – Morava |
| 83    | VB 83  | Zéta                    | Vinařství Žáček                | 2016   | ČR – Čechy  |
| 84    | VB 84  | -                       | -                              | -      | -           |
| 85    | VB 85  | Ryzlink rýnský          | -                              | -      | -           |
| 86    | VB 86  | Rulandské šedé          | Vinařství Maděřič              | 2016   | ČR – Morava |
| 87    | VB 87  | Rulandské šedé          | Vinařství Rauš                 | -      | ČR – Morava |
| 88    | VB 88  | -                       | -                              | -      | -           |

| Číslo | Vzorek | Odrůda                  | Vinařství                   | Ročník | Původ       |
|-------|--------|-------------------------|-----------------------------|--------|-------------|
| 89    | VB 89  | Rulandské šedé          | Vinné sklepy Kutná Hora     | 2015   | ČR – Čechy  |
| 90    | VB 90  | Ryzlink Vlašský         | Vinařství Kolby             | 2013   | ČR – Morava |
| 91    | VB 91  | Veltlínské zelené       | Víno Andrusiówe             | 2014   | ČR – Morava |
| 92    | VB 92  | Ryzlink rýnský          | Víno Vachta                 | -      | -           |
| 93    | VB 93  | Sauvignon               | PPS Argo                    | 2015   | -           |
| 94    | VB 94  | Rulandské modré         | Vinařství Kněží Hora        | 2015   | ČR – Morava |
| 95    | VB 95  | Svatovavřínecké         | Vinařství Zemčik            | 2015   | ČR – Morava |
| 96    | VB 96  | Veltlínské červené rané | Vinařství Zemčik            | -      | ČR – Morava |
| 97    | VB 97  | -                       | -                           | -      | -           |
| 98    | VB 98  | Ryzlink rýnský          | Vinařství Žerotín           | 2015   | ČR – Morava |
| 99    | VB 99  | Sauvignon               | Víno Hruška                 | 2015   | ČR – Morava |
| 100   | VB 100 | Muškat moravský         | Rodinné vinařství Jedlička  | 2015   | ČR – Morava |
| 101   | VB 101 | -                       | -                           | -      | -           |
| 102   | VB 102 | Chardonnay              | Vinařství U svatého Martina | 2015   | ČR – Morava |
| 103   | VB 103 | Sauvignon               | Vinařství U svatého Martina | -      | ČR – Morava |
| 104   | VB 104 | Sauvignon               | Vinařství Žerotín           | 2015   | ČR – Morava |
| 105   | VB 105 | Tramín červený          | Vinařství Plešinger         | 2015   | ČR – Morava |
| 106   | VB 106 | Tramín červený          | Vinařství Kněží hora        | 2015   | ČR – Morava |
| 107   | VB 107 | Tramín červený          | Rodinné vinařství Skoupil   | -      | ČR – Morava |
| 108   | VB 108 | Chardonnay              | Nikolsburg                  | 2015   | ČR – Morava |
| 109   | VB 109 | Ryzlink rýnský          | Tanzberg Mikulov            | 2015   | ČR – Morava |
| 110   | VB 110 | Tramín červený          | Znovín Znojmo               | 2015   | ČR – Morava |
| 111   | VB 111 | Veltlínské zelené       | Vinný sklep U Otáhalů       | 2015   | ČR – Morava |
| 112   | VB 112 | Veltlínské zelené       | Víno Hruška                 | 2015   | ČR – Morava |
| 113   | VB 113 | Sauvignon               | Znovín Znojmo               | 2015   | ČR – Morava |
| 114   | VB 114 | Sauvignon               | Znovín Znojmo               | 2015   | ČR – Morava |
| 115   | VB 115 | Sauvignon               | Umathum                     | 2014   | Rakousko    |
| 116   | VB 116 | Ryzlink rýnský          | Vinařství Kněží hora        | 2015   | ČR – Morava |
| 117   | VB 117 | Ryzlink vlašský         | Kamil Prokeš                | 2015   | ČR – Morava |
| 118   | VB 118 | Rulandské bílé          | Vinařství Maděříč           | 2015   | ČR – Morava |

| Číslo | Vzorek | Odrůda             | Vinařství                           | Ročník | Původ       |
|-------|--------|--------------------|-------------------------------------|--------|-------------|
| 119   | VB 119 | Rulandské bílé     | Výzkumná stanice vinařská Karlštejn | 2015   | ČR – Čechy  |
| 120   | VB 120 | Ryzlink vlašský    | Vino Andrusiów                      | 2015   | ČR – Morava |
| 121   | VB 121 | -                  | -                                   | -      | -           |
| 122   | VB 122 | -                  | -                                   | -      | -           |
| 123   | VB 123 | -                  | -                                   | -      | -           |
| 124   | VB 124 | -                  | -                                   | -      | -           |
| 125   | VB 125 | Rulandské šedé     | Vinařství Mayer                     | 2019   | ČR – Morava |
| 126   | VB 126 | Pálava             | Vinařství Hanuš                     | 2019   | ČR – Čechy  |
| 127   | VB 127 | Sylvánské zelené   | Vinařství Hanuš                     | 2019   | ČR – Čechy  |
| 128   | VB 128 | Ryzlink rýnský     | Altenberk Vini, a.s.                | 2019   | ČR – Morava |
| 129   | VB 129 | Rulandské šedé     | Altenberk Vini, a.s.                | 2019   | ČR – Morava |
| 130   | VB 130 | Ryzlink rýnský     | Vinařství Košulič                   | 2019   | ČR – Morava |
| 131   | VB 131 | Ryzlink rýnský     | Rodinné vinařství Melkusovi         | 2019   | ČR – Morava |
| 132   | VR 1   | Rulandské modré    | Vinařství Zbyněk Osička             | 2016   | ČR – Morava |
| 133   | VR 2   | Merlot             | Vino Hruška                         | 2017   | ČR – Morava |
| 134   | VR 3   | Svatovavřínecké    | Vino Hruška                         | 2017   | ČR – Morava |
| 135   | VR 4   | Frankovka          | Vinařství Válka                     | 2017   | ČR – Morava |
| 136   | VR 5   | Cabernet Moravia   | Vinařství Josef Kořínek             | 2017   | ČR – Morava |
| 137   | VR 6   | Rulandské šedé     | Cramele Recas                       | 2016   | Rumunsko    |
| 138   | VR 7   | Zweigeltrebe       | Vinařství Josef Kořínek             | 2017   | ČR – Morava |
| 139   | VR 8   | Cabernet Sauvignon | Vinařství Kolby                     | 2017   | ČR – Morava |
| 140   | VR 9   | Frankovka          | BMVinařství                         | 2017   | ČR – Morava |
| 141   | VR 10  | Cuvée              | Střední vinařská škola Valtice      | 2017   | ČR – Morava |
| 142   | VR 11  | Frankovka          | Vinařství Josef Kořínek             | 2017   | ČR – Morava |
| 143   | VR 12  | Frankovka          | Vinařství Zbyněk Osička             | 2017   | ČR – Morava |
| 144   | VR 13  | Zweigeltrebe       | Winberg Mikulov                     | 2015   | ČR – Morava |
| 145   | VR 14  | -                  | -                                   | -      | -           |
| 146   | VR 15  | -                  | -                                   | -      | -           |
| 147   | VR 16  | -                  | -                                   | -      | -           |
| 148   | VR 17  | -                  | -                                   | -      | -           |

| Číslo | Vzorek | Odrůda             | Vinařství                                      | Ročník | Původ       |
|-------|--------|--------------------|--|--------|-------------|
| 149   | VR 18  | -                  | -  | -      | -           |
| 150   | VC 1   | Cuvée              | Via Vini                                       | 2014   | Francie     |
| 151   | VC 2   |                    | Vinařství Žáček                                | 2016   | ČR – Čechy  |
| 152   | VC 3   | Cuvée              | Cramele Recas                                  | 2017   | Rumunsko    |
| 153   | VC 4   | Modrý Portugal     | Vinařství Petr Bunža                           | 2016   | ČR – Morava |
| 154   | VC 5   | Agni               | Šlechtitelská stanice vinařská Velké Pavlovice | 2017   | ČR – Morava |
| 155   | VC 6   | Cabernet Moravia   | Vinařství Válka                                | 2016   | ČR – Morava |
| 156   | VC 7   | Cuvée              | Via Vini                                       | 2016   | Francie     |
| 157   | VC 8   | Cabernet Sauvignon | Konečný Winery                                 | 2016   | ČR – Morava |
| 158   | VC 9   | Cuvée              | Konečný Winery                                 | 2017   | ČR – Morava |
| 159   | VC 10  | Cuvée              | Cramele Recas                                  | 2016   | Rumunsko    |
| 160   | VC 11  | Cuvée              | Vinařství Válka                                | 2017   | ČR – Morava |
| 161   | VC 12  | Cuvée              | Vinařství Žerotín                              | 2016   | ČR – Morava |
| 162   | VC 13  | Zweigeltrebe       | Konečný Winery                                 | 2016   | ČR – Morava |
| 163   | VC 14  | Cabernet Moravia   | Vinařství Žáček                                | 2016   | ČR – Čechy  |
| 164   | VC 15  | Modrý Portugal     | Vinařství Kolby                                | 2017   | ČR – Morava |
| 165   | VC 16  | Cabernet Sauvignon | Rodinné vinařství Skoupil                      | 2015   | ČR – Morava |
| 166   | VC 17  | Merlot             | Vinařství Filip Mlýnek                         | 2016   | ČR – Morava |
| 167   | VC 18  | Rulandské modré    | Vinařství Maděrič                              | 2017   | ČR – Morava |
| 168   | VC 19  | Rulandské modré    | Rodinné vinařství Jedlička                     | 2015   | ČR – Morava |
| 169   | VC 20  | André              | Vinařství Lůbalovi                             | 2017   | ČR – Morava |
| 170   | VC 21  | Zweigeltrebe       | Vinařství Lůbalovi                             | 2017   | ČR – Morava |
| 171   | VC 22  | Cabernet Moravia   | Vinařství Lůbalovi                             | 2018   | ČR – Morava |
| 172   | VC 23  | Cuvée              | Vinařství Púrynky                              | 2016   | ČR – Morava |
| 173   | VC 24  | -                  | -  | -      | -           |
| 174   | VC 25  | Merlot             | Vino Hruška                                    | 2015   | ČR – Morava |
| 175   | VC 26  | Rulandské modré    | Vinařství Petr Bunža                           | 2015   | ČR – Morava |
| 176   | VC 27  | -                  | -  | -      | -           |
| 177   | VC 28  | -                  | -  | -      | -           |
| 178   | VC 29  | -                  | -  | -      | -           |

| Číslo | Vzorek | Odrůda          | Vinařství                   | Ročník | Původ       |
|-------|--------|-----------------|-----------------------------|--------|-------------|
| 179   | VC 30  | -               | -                           | -      | -           |
| 180   | VC 31  | -               | -                           | -      | -           |
| 181   | VC 32  | -               | -                           | -      | -           |
| 182   | VC 33  | -               | -                           | -      | -           |
| 183   | VC 34  | -               | -                           | -      | -           |
| 184   | VC 35  | -               | -                           | -      | -           |
| 185   | VC 36  | -               | -                           | -      | -           |
| 186   | VC 37  | -               | -                           | -      | -           |
| 187   | VC 38  | Frankovka       | Vinařství Ludwig            | 2015   | ČR – Čechy  |
| 188   | VC 39  |                 |                             |        |             |
| 189   | VC 40  | Dornfelder      | Vinařství Zemčik            |        | ČR – Morava |
| 190   | VC 41  | Neronet         | PPS Argo                    | 2015   | ČR – Morava |
| 191   | VC 42  | -               | -                           | -      | -           |
| 192   | VC 43  | -               | -                           | -      | -           |
| 193   | VC 44  | Modrý Portugal  | Vinařství Mayer             | 2019   | ČR – Morava |
| 194   | VC 45  | Dornfelder      | Vinařství Hanuš             | 2019   | ČR – Čechy  |
| 195   | VC 46  | Rulandské modré | Vinařství Hanuš             | 2019   | ČR – Čechy  |
| 196   | VC 47  | Frankovka       | Altenberk Vini, a.s.        | 2019   | ČR – Morava |
| 197   | VC 48  | Rulandské modré | Altenberk Vini, a.s.        | 2019   | ČR – Morava |
| 198   | VC 49  | Frankovka       | Vinařství Košulič           | 2019   | ČR – Morava |
| 199   | VC 50  | Frankovka       | Rodinné vinařství Melkusovi | 2019   | ČR – Morava |
| 200   | VC 51  | Rulandské modré | Rodinné vinařství Melkusovi | 2019   | ČR – Morava |

ČR – Česká republika, VB – víno bílé, VC – víno červené, VR – víno růžové

**Příloha C** Koncentrace měřených prvků vzácných zemin (REE), hodnoty gadoliniové anomálie ( $Gd_{anom}$ ) a koncentrace antropogenního gadolinia ( $Gd_{ant}$ ) pro všechny typy vzorků potravin (víno v  $ng L^{-1}$ ) a obsah sušiny ve vzorcích mrkve

| Vzorek | Koncentrace REE [ $\mu g kg^{-1}$ ] |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |       |       |       | $Gd_{anom}$ | $Gd_{ant}$<br>[ $\mu g kg^{-1}$ ] | % sušiny |
|--------|-------------------------------------|------|------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-----------------------------------|----------|
|        | La                                  | Ce   | Pr   | Nd   | Sm    | Eu   | Gd   | Tb    | Dy    | Ho    | Er    | Tm    | Yb    | Lu    |             |                                   |          |
| MP 1   | 6,59                                | 12,0 | 3,64 | 3,47 | 3,56  | 1,80 | 34,7 | 0,835 | 1,19  | 0,573 | 1,18  | 0,503 | 3,19  | 0,461 | 8,0         | 30,4                              |          |
| MP 2   | 4,71                                | 7,08 | 3,24 | 2,46 | 2,79  | 2,17 | 27,7 | 0,729 | 1,12  | 0,501 | 1,12  | 0,421 | 2,88  | 0,422 | 7,4         | 24,0                              |          |
| MP 3   | 9,07                                | 8,57 | 8,93 | 6,29 | 1,27  | 1,45 | 17,2 | 1,13  | 1,30  | 1,13  | 0,943 | 1,21  | 1,37  | 1,04  | 3,5         | 12,3                              |          |
| MP 4   | 7,20                                | 9,51 | 3,77 | 3,40 | 3,57  | 2,07 | 6,32 | 0,768 | 1,12  | 0,522 | 1,26  | 0,431 | 2,22  | 0,395 | 1,5         | 2,23                              |          |
| MP 5   | 11,2                                | 23,4 | 5,14 | 8,61 | 6,04  | 2,37 | 7,84 | 1,15  | 3,18  | 0,712 | 1,68  | 0,481 | 2,65  | 0,526 | 1,2         | 1,51                              |          |
| MP 6   | 3,96                                | 6,52 | 3,29 | 2,30 | 3,80  | 2,02 | 47,7 | 0,798 | 0,890 | 0,504 | 1,13  | 0,411 | 3,11  | 0,416 | 11          | 43,4                              |          |
| MP 7   | 8,69                                | 7,75 | 8,79 | 5,95 | 1,08  | 1,52 | 24,2 | 1,09  | 1,25  | 1,10  | 0,876 | 1,19  | 1,41  | 0,994 | 5,1         | 19,5                              |          |
| MP 8   | 9,58                                | 22,4 | 4,70 | 6,07 | 4,19  | 1,62 | 53,6 | 0,890 | 1,87  | 0,651 | 1,39  | 0,472 | 3,36  | 0,435 | 11          | 48,8                              |          |
| MP 9   | 9,03                                | 7,99 | 8,93 | 6,29 | 1,04  | 1,55 | 7,49 | 1,09  | 1,18  | 1,10  | 0,885 | 1,19  | 1,06  | 0,972 | 1,6         | 2,82                              |          |
| MP 10  | 6,40                                | 10,7 | 3,46 | 3,30 | 3,15  | 2,09 | 35,5 | 0,801 | 1,25  | 0,554 | 1,39  | 0,467 | 3,32  | 0,454 | 8,7         | 31,4                              |          |
| MP 11  | 9,14                                | 7,77 | 8,72 | 6,07 | 1,10  | 1,42 | 13,5 | 1,07  | 1,08  | 1,09  | 1,78  | 1,17  | 1,15  | 0,968 | 2,9         | 8,88                              |          |
| MP 12  | 6,81                                | 11,7 | 3,75 | 3,69 | 3,18  | 1,87 | 32,9 | 0,813 | 1,40  | 0,556 | 1,33  | 0,476 | 3,32  | 0,471 | 7,9         | 28,8                              |          |
| MP 13  | 2,67                                | 3,99 | 2,83 | 1,76 | 2,54  | 1,36 | 13,0 | 0,708 | 0,905 | 0,490 | 1,06  | 0,432 | 2,40  | 0,437 | 3,6         | 9,42                              |          |
| MP 14  | 7,38                                | 10,0 | 3,74 | 2,96 | 3,90  | 5,30 | 14,9 | 0,777 | 1,21  | 0,556 | 1,31  | 0,499 | 2,81  | 0,456 | 3,5         | 10,7                              |          |
| MP 15  | 9,36                                | 8,35 | 8,91 | 6,24 | 1,24  | 1,64 | 4,23 | 1,08  | 1,24  | 1,12  | 0,953 | 1,20  | 1,11  | 1,02  | 0,90        | **                                |          |
| MP 16  | 3,23                                | 3,75 | 2,85 | 1,70 | 3,17  | 1,66 | 20,5 | 0,721 | 1,04  | 0,503 | 1,07  | 0,445 | 2,72  | 0,428 | 5,4         | 16,7                              |          |
| MP 17  | 7,62                                | 5,54 | 2,96 | 2,09 | 3,13  | 1,98 | 9,13 | 0,737 | 1,09  | 0,513 | 1,14  | 0,465 | 2,44  | 0,457 | 2,4         | 5,29                              |          |
| MP 18  | 9,22                                | 8,58 | 8,93 | 6,38 | 1,28  | 1,68 | 3,27 | 1,07  | 1,18  | 1,11  | 0,858 | 1,18  | 1,03  | 1,00  | 0,70        | **                                |          |
| MP 19  | 4,83                                | 6,85 | 3,07 | 2,53 | 3,08  | 1,46 | 18,0 | 0,743 | 1,38  | 0,529 | 1,27  | 0,473 | 2,75  | 0,433 | 4,7         | 14,1                              |          |
| MP 20  | 5,89                                | 6,29 | 3,13 | 2,58 | 3,13  | 2,41 | 26,7 | 0,778 | 1,28  | 0,543 | 3,10  | 0,508 | 2,77  | 0,455 | 6,7         | 22,7                              |          |
| MP 21  | 11,5                                | 10,5 | 9,23 | 6,79 | 1,89  | 3,72 | 2,57 | 1,10  | 1,37  | 1,14  | 0,879 | 1,20  | 1,21  | 1,01  | 0,52        | **                                |          |
| MP 22  | 11,1                                | 7,34 | 6,83 | 3,13 | 0,755 | 1,67 | 11,9 | 1,07  | 0,782 | 0,859 | 0,799 | 0,957 | 0,852 | 0,944 | 2,6         | 7,37                              |          |
| MP 23  | 10,3                                | 9,64 | 9,19 | 7,26 | 2,18  | 2,05 | 6,27 | 1,19  | 1,67  | 1,25  | 1,23  | 1,31  | 1,86  | 1,09  | 1,2         | 0,87                              |          |
| MP 24  | 17,7                                | 24,5 | 8,54 | 7,86 | 2,46  | 1,71 | 14,8 | 1,38  | 1,70  | 0,957 | 0,767 | 0,986 | 1,02  | 0,961 | 2,4         | 8,59                              |          |
| MP 25  | 9,09                                | 8,28 | 7,01 | 3,74 | 0,848 | 1,65 | 6,03 | 1,08  | 0,882 | 0,860 | 0,626 | 0,965 | 0,587 | 0,929 | 1,3         | 1,43                              |          |
| MP 26  | 7,96                                | 6,24 | 6,71 | 2,99 | 0,912 | 1,19 | 11,1 | 1,08  | 0,871 | 0,864 | 0,564 | 0,952 | 0,808 | 0,945 | 2,4         | 6,47                              |          |
| MP 27  | 9,26                                | 8,63 | 6,96 | 3,70 | 0,764 | 1,44 | 5,27 | 1,10  | 1,03  | 0,878 | 0,642 | 0,953 | 0,641 | 0,934 | 1,1         | 0,616                             |          |
| MP 28  | 9,30                                | 7,88 | 6,94 | 3,30 | 0,805 | 2,07 | 4,41 | 1,10  | 0,870 | 0,864 | 0,577 | 0,945 | 0,502 | 0,940 | 0,95        | **                                |          |
| MP 29  | 10,3                                | 10,4 | 9,12 | 7,17 | 1,92  | 1,82 | 2,71 | 1,13  | 1,55  | 1,18  | 1,07  | 1,24  | 1,44  | 1,03  | 0,53        | **                                |          |
| MP 30  | 10,1                                | 9,78 | 9,17 | 7,45 | 1,97  | 1,82 | 3,46 | 1,15  | 1,60  | 1,22  | 1,11  | 1,27  | 1,38  | 1,07  | 0,67        | **                                |          |

| Vzorek | Koncentrace REE [ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] |      |      |      |       |      |      |      |       |       |       |       |       |       | Gd <sub>anom</sub> | Gd <sub>ant</sub><br>[ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] | % sušiny |
|--------|---|------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|--|----------|
|        | La  | Ce   | Pr   | Nd   | Sm    | Eu   | Gd   | Tb   | Dy    | Ho    | Er    | Tm    | Yb    | Lu    |                    |  |          |
| MP 31  | 8,84                                      | 7,48 | 8,88 | 6,37 | 1,78  | 1,85 | 5,32 | 1,15 | 1,50  | 1,20  | 0,993 | 1,27  | 1,46  | 1,07  | 1,0                | 0,188  |          |
| MP 32  | 8,87                                      | 6,91 | 6,77 | 3,16 | 0,677 | 1,52 | 62,6 | 1,13 | 0,906 | 0,858 | 0,523 | 0,955 | 1,73  | 0,946 | 13                 | 57,9   |          |
| MP 33  | 8,54                                      | 7,28 | 8,84 | 6,39 | 1,68  | 1,40 | 2,79 | 1,13 | 1,45  | 1,17  | 1,04  | 1,27  | 1,39  | 1,06  | 0,55               | **   |          |
| MP 34  | 9,40                                      | 7,41 | 7,06 | 3,66 | 0,768 | 1,88 | 26,6 | 1,12 | 0,802 | 0,857 | 0,529 | 0,948 | 0,880 | 0,945 | 5,6                | 21,9   |          |
| MP 35  | 9,16                                      | 7,19 | 6,89 | 3,53 | 1,08  | 1,58 | 67,8 | 1,14 | 0,801 | 0,865 | 0,539 | 0,948 | 1,74  | 0,953 | 14                 | 63,0   |          |
| MP 36  | 9,04                                      | 7,79 | 6,90 | 3,31 | 0,728 | 1,37 | 59,9 | 1,13 | 0,926 | 0,907 | 0,613 | 0,945 | 1,73  | 0,977 | 13                 | 55,1   |          |
| MP 37  | 8,38                                      | 6,59 | 6,74 | 3,15 | 0,939 | 1,37 | 17,2 | 1,12 | 0,852 | 0,860 | 0,536 | 0,961 | 0,830 | 0,973 | 3,6                | 12,5   |          |
| MP 38  | 10,8                                      | 11,4 | 9,40 | 7,69 | 2,14  | 1,75 | 3,09 | 1,24 | 1,84  | 1,29  | 1,34  | 1,30  | 1,72  | 1,10  | 0,55               | **   |          |
| MP 39  | 8,78                                      | 7,13 | 6,83 | 3,32 | 0,728 | 1,57 | 17,4 | 1,07 | 0,832 | 0,888 | 0,529 | 0,947 | 0,792 | 0,954 | 3,9                | 12,9   |          |
| MP 40  | 9,41                                      | 7,60 | 6,91 | 3,26 | 0,867 | 1,78 | 40,5 | 1,09 | 0,843 | 0,869 | 0,573 | 0,957 | 1,21  | 0,941 | 8,7                | 35,8   |          |
| MP 41  | 20,1                                      | 25,8 | 11,2 | 12,3 | 3,60  | 2,92 | 3,54 | 1,31 | 2,20  | 1,34  | 1,55  | 1,34  | 1,82  | 1,15  | 0,56               | **   |          |
| MP 42  | 9,07                                      | 8,64 | 6,90 | 3,45 | 0,990 | 1,41 | 22,3 | 1,11 | 0,889 | 0,886 | 0,652 | 0,967 | 1,05  | 0,943 | 4,7                | 17,5   |          |
| MP 43  | 11,8                                      | 12,5 | 9,46 | 8,18 | 2,83  | 2,14 | 3,79 | 1,29 | 1,95  | 1,28  | 1,31  | 1,34  | 1,97  | 1,17  | 0,63               | **   |          |
| MP 44  | 9,10                                      | 7,53 | 9,00 | 6,79 | 2,64  | 2,05 | 6,71 | 1,24 | 1,87  | 1,29  | 1,36  | 1,36  | 2,12  | 1,17  | 1,2                | 0,972  |          |
| MP 45  | 8,90                                      | 7,20 | 6,86 | 3,08 | 1,02  | 1,82 | 28,8 | 1,10 | 0,818 | 0,861 | 0,523 | 0,934 | 1,28  | 0,929 | 6,1                | 24,1   |          |
| MP 46  | 8,00                                      | 6,23 | 6,72 | 3,04 | 0,955 | 1,19 | 9,00 | 1,06 | 0,708 | 0,844 | 0,519 | 0,955 | 0,662 | 0,957 | 2,0                | 4,45   |          |
| MP 47  | 11,4                                      | 11,8 | 7,31 | 4,61 | 1,14  | 1,84 | 10,1 | 1,10 | 1,05  | 0,865 | 0,619 | 0,964 | 0,708 | 0,942 | 2,1                | 5,33   |          |
| MP 48  | 8,53                                      | 6,63 | 6,85 | 3,31 | 0,999 | 1,75 | 6,26 | 1,06 | 0,813 | 0,850 | 0,526 | 0,950 | 0,615 | 0,935 | 1,4                | 1,70   |          |
| MP 49  | 8,58                                      | 7,09 | 6,87 | 3,10 | 0,776 | 1,68 | 35,2 | 1,08 | 0,782 | 0,840 | 0,569 | 0,937 | 1,12  | 0,941 | 7,7                | 30,6   |          |
| MP 50  | 8,73                                      | 8,13 | 6,77 | 3,48 | 1,16  | 1,25 | 19,7 | 1,12 | 0,812 | 0,864 | 0,499 | 0,946 | 0,918 | 0,927 | 4,1                | 14,9   |          |
| MP 51  | 10,6                                      | 10,3 | 7,16 | 3,92 | 1,12  | 2,13 | 19,2 | 1,12 | 0,828 | 0,862 | 0,659 | 0,959 | 1,01  | 0,942 | 4,0                | 14,4   |          |
| MP 52  | 9,77                                      | 9,55 | 7,07 | 3,34 | 0,969 | 1,90 | 10,5 | 1,09 | 0,872 | 0,854 | 0,528 | 0,961 | 0,672 | 0,963 | 2,3                | 5,89   |          |
| MP 53  | 8,97                                      | 9,14 | 6,84 | 3,48 | 0,783 | 1,30 | 5,01 | 1,05 | 0,863 | 0,848 | 0,546 | 0,943 | 0,630 | 0,925 | 1,1                | 0,539  |          |
| MP 54  | 9,23                                      | 9,52 | 6,98 | 3,50 | 1,23  | 1,43 | 6,57 | 1,08 | 0,938 | 0,879 | 0,624 | 0,957 | 0,595 | 0,928 | 1,4                | 1,88   |          |
| MP 55  | 12,4                                      | 13,3 | 7,26 | 4,48 | 1,06  | 1,52 | 12,7 | 1,12 | 1,08  | 0,867 | 0,595 | 0,957 | 0,944 | 0,945 | 2,6                | 7,87   |          |
| MP 56  | 14,8                                      | 11,1 | 9,26 | 7,58 | 2,54  | 2,19 | 18,3 | 1,27 | 1,91  | 1,28  | 1,38  | 1,35  | 2,11  | 1,15  | 3,2                | 12,5   |          |
| MP 57  | 13,7                                      | 13,3 | 9,38 | 7,46 | 2,71  | 2,14 | 8,81 | 1,27 | 1,89  | 1,29  | 1,42  | 1,35  | 1,95  | 1,17  | 1,5                | 2,92   |          |
| MP 58  | 11,4                                      | 10,5 | 9,27 | 7,10 | 2,45  | 2,01 | 11,9 | 1,29 | 2,12  | 1,34  | 1,46  | 1,38  | 2,31  | 1,20  | 2,0                | 6,03   |          |
| MP 59  | 34,9                                      | 14,6 | 9,55 | 8,49 | 2,99  | 2,09 | 11,1 | 1,37 | 2,21  | 1,35  | 1,80  | 1,39  | 2,46  | 1,20  | 1,8                | 4,78   |          |
| MP 60  | 12,1                                      | 13,3 | 9,33 | 7,28 | 2,66  | 2,27 | 7,01 | 1,27 | 2,05  | 1,28  | 1,33  | 1,34  | 2,08  | 1,17  | 1,2                | 1,14   |          |
| MP 61  | 13,7                                      | 13,6 | 9,39 | 8,04 | 3,34  | 2,31 | 12,4 | 1,31 | 2,22  | 1,33  | 2,04  | 1,38  | 2,35  | 1,21  | 2,0                | 6,15   |          |
| MP 62  | 11,1                                      | 11,7 | 9,33 | 7,70 | 2,72  | 2,36 | 8,38 | 1,27 | 2,04  | 1,28  | 1,53  | 1,33  | 1,98  | 1,17  | 1,4                | 2,52   |          |
| MP 63  | 16,6                                      | 18,5 | 10,3 | 10,5 | 3,64  | 2,06 | 17,8 | 1,42 | 2,87  | 1,43  | 2,08  | 1,39  | 2,37  | 1,18  | 2,6                | 11,1   |          |
| MP 64  | 16,0                                      | 13,4 | 9,67 | 9,35 | 3,48  | 2,37 | 9,03 | 1,32 | 2,27  | 1,36  | 1,49  | 1,37  | 2,20  | 1,19  | 1,4                | 2,75   |          |
| MP 65  | 14,0                                      | 13,8 | 9,40 | 7,75 | 2,99  | 2,23 | 9,77 | 1,31 | 2,18  | 1,30  | 1,64  | 1,36  | 2,36  | 1,17  | 1,6                | 3,66   |          |

| Vzorek | Koncentrace REE [ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Gd <sub>anom</sub> | Gd <sub>ant</sub><br>[ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] | % sušiny |
|--------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|--|----------|
|        | La  | Ce   | Pr   | Nd   | Sm   | Eu   | Gd   | Tb   | Dy   | Ho   | Er   | Tm   | Yb   | Lu   |                    |  |          |
| MP 66  | 12,4                                      | 11,9 | 9,29 | 7,44 | 2,74 | 2,28 | 15,0 | 1,27 | 2,01 | 1,32 | 1,48 | 1,36 | 2,14 | 1,19 | 2,6                | 9,14   |          |
| MP 67  | 12,5                                      | 15,3 | 9,27 | 7,79 | 2,88 | 1,95 | 22,6 | 1,28 | 2,18 | 1,29 | 1,48 | 1,35 | 2,37 | 1,14 | 3,8                | 16,6   |          |
| MP 68  | 10,3                                      | 10,1 | 9,02 | 7,19 | 2,68 | 1,88 | 19,4 | 1,26 | 1,87 | 1,29 | 1,44 | 1,34 | 2,49 | 1,18 | 3,3                | 13,6   |          |
| MP 69  | 12,2                                      | 10,4 | 9,21 | 7,32 | 2,86 | 2,36 | 16,2 | 1,28 | 2,22 | 1,35 | 1,68 | 1,38 | 2,21 | 1,20 | 2,7                | 10,2   |          |
| MP 70  | 12,0                                      | 9,52 | 9,15 | 7,17 | 2,86 | 2,20 | 14,6 | 1,32 | 2,12 | 1,34 | 1,40 | 1,38 | 2,33 | 1,18 | 2,4                | 8,53   |          |
| MP 71  | 10,8                                      | 9,68 | 9,27 | 7,41 | 2,95 | 2,23 | 12,9 | 1,30 | 2,00 | 1,32 | 1,43 | 1,40 | 2,36 | 1,17 | 2,1                | 6,78   |          |
| MP 72  | 12,8                                      | 10,4 | 9,41 | 7,55 | 2,79 | 2,81 | 12,4 | 1,29 | 2,05 | 1,32 | 1,48 | 1,37 | 2,25 | 1,16 | 2,1                | 6,38   |          |
| MP 73  | 10,6                                      | 9,55 | 9,18 | 7,36 | 2,97 | 2,11 | 15,4 | 1,44 | 2,33 | 1,34 | 1,55 | 1,41 | 5,01 | 1,28 | 23                 | 147  |          |
| MP 74  | 11,2                                      | 11,8 | 9,35 | 7,91 | 2,82 | 2,21 | 43,9 | 1,32 | 2,21 | 1,34 | 1,48 | 1,34 | 2,73 | 1,15 | 7,2                | 37,8   |          |
| MP 75  | 12,1                                      | 7,97 | 8,99 | 7,00 | 2,43 | 1,88 | 17,7 | 1,32 | 1,96 | 1,30 | 1,58 | 1,36 | 2,30 | 1,17 | 3,0                | 11,7   |          |
| MP 76  | 13,3                                      | 9,98 | 9,15 | 7,11 | 2,64 | 2,26 | 18,0 | 1,28 | 1,81 | 1,33 | 1,37 | 1,36 | 2,22 | 1,17 | 3,1                | 12,1   |          |
| MP 77  | 10,2                                      | 9,83 | 9,06 | 7,10 | 2,29 | 2,11 | 23,9 | 1,26 | 1,90 | 1,28 | 1,39 | 1,33 | 2,25 | 1,15 | 4,2                | 18,2   |          |
| MP 78  | 10,7                                      | 10,1 | 9,22 | 7,47 | 3,27 | 2,29 | 14,0 | 1,27 | 2,04 | 1,35 | 1,41 | 1,37 | 2,56 | 1,19 | 2,3                | 8,02   |          |
| MP 79  | 11,0                                      | 9,73 | 9,22 | 7,36 | 3,06 | 2,21 | 25,6 | 1,31 | 2,03 | 1,28 | 1,51 | 1,38 | 2,95 | 1,19 | 4,2                | 19,5   |          |
| MP 80  | 11,2                                      | 9,07 | 9,15 | 7,28 | 3,46 | 2,57 | 9,30 | 1,33 | 2,12 | 1,35 | 1,57 | 1,41 | 2,43 | 1,22 | 1,5                | 2,97   |          |
| MS 1   | 12,2                                      | 12,1 | 11,2 | 8,32 | 2,29 | 2,42 | 4,46 | 1,81 | 1,52 | 1,48 | 1,53 | 1,46 | 1,31 | 1,63 | 0,56               | **   |          |
| MS 2   | 22,8                                      | 21,6 | 13,0 | 11,9 | 2,99 | 5,93 | 35,3 | 2,03 | 1,89 | 1,92 | 2,38 | 1,70 | 2,70 | 2,14 | 3,9                | 26,2   |          |
| MS 3   | 21,9                                      | 30,8 | 13,7 | 14,1 | 3,50 | 5,12 | 30,2 | 2,18 | 2,30 | 1,99 | 2,12 | 1,74 | 2,69 | 2,18 | 3,1                | 20,4   |          |
| MS 4   | 14,4                                      | 15,6 | 12,1 | 10,5 | 2,22 | 2,43 | 30,3 | 2,01 | 1,85 | 1,90 | 1,83 | 1,70 | 2,45 | 2,15 | 3,5                | 21,6   |          |
| MS 5   | 16,6                                      | 19,7 | 12,0 | 10,6 | 3,06 | 3,71 | 3,92 | 1,85 | 1,90 | 1,54 | 1,55 | 1,47 | 1,33 | 1,65 | 0,47               | **   |          |
| MS 6   | 12,8                                      | 13,9 | 11,3 | 8,57 | 2,28 | 2,15 | 3,33 | 1,83 | 1,55 | 1,53 | 1,56 | 1,46 | 1,23 | 1,66 | 0,42               | **   |          |
| MS 7   | 11,8                                      | 11,5 | 11,1 | 8,14 | 2,44 | 2,55 | 5,46 | 1,83 | 1,54 | 1,52 | 1,51 | 1,48 | 1,28 | 1,66 | 0,68               | **   |          |
| MS 8   | 11,5                                      | 11,3 | 11,0 | 8,12 | 2,36 | 2,25 | 3,44 | 1,81 | 1,52 | 1,51 | 1,53 | 1,46 | 1,28 | 1,64 | 0,43               | **   |          |
| MS 9   | 13,5                                      | 13,3 | 11,4 | 8,50 | 2,57 | 3,43 | 3,75 | 1,84 | 1,68 | 1,53 | 1,65 | 1,49 | 1,38 | 1,67 | 0,46               | **   |          |
| MS 10  | 12,4                                      | 12,1 | 11,2 | 8,40 | 2,10 | 2,62 | 8,53 | 1,82 | 1,79 | 1,52 | 1,62 | 1,50 | 1,48 | 1,66 | 1,1                | 0,604  |          |
| MS 11  | 15,0                                      | 16,3 | 11,6 | 9,04 | 2,80 | 3,72 | 3,54 | 1,84 | 1,73 | 1,55 | 1,63 | 1,48 | 1,41 | 1,65 | 0,43               | **   |          |
| MS 12  | 11,2                                      | 10,6 | 11,0 | 7,91 | 2,16 | 2,27 | 3,53 | 1,80 | 1,45 | 1,48 | 1,50 | 1,46 | 1,27 | 1,64 | 0,45               | **   |          |
| MS 13  | 12,6                                      | 13,1 | 11,2 | 8,64 | 2,45 | 2,31 | 3,57 | 1,82 | 1,62 | 1,50 | 1,51 | 1,48 | 1,29 | 1,63 | 0,44               | **   |          |
| MS 14  | 11,3                                      | 10,7 | 11,0 | 8,12 | 2,24 | 2,21 | 3,74 | 1,79 | 1,47 | 1,49 | 1,49 | 1,46 | 1,27 | 1,62 | 0,48               | **   |          |
| MS 15  | 14,1                                      | 14,6 | 11,5 | 9,10 | 2,75 | 3,79 | 3,67 | 1,83 | 1,64 | 1,50 | 1,51 | 1,46 | 1,30 | 1,65 | 0,45               | **   |          |
| MS 16  | 12,4                                      | 11,6 | 11,1 | 8,12 | 2,49 | 3,25 | 4,04 | 1,82 | 1,56 | 1,52 | 1,50 | 1,47 | 1,48 | 1,63 | 0,50               | **   |          |
| MS 17  | 15,4                                      | 16,6 | 11,7 | 9,63 | 3,03 | 4,15 | 4,21 | 1,84 | 1,75 | 1,56 | 1,68 | 1,47 | 1,38 | 1,64 | 0,51               | **   |          |
| MS 18  | 15,0                                      | 16,3 | 11,6 | 9,09 | 2,61 | 3,82 | 8,49 | 1,85 | 1,67 | 1,56 | 1,68 | 1,47 | 1,56 | 1,66 | 1,0                | 0,291  |          |
| MZ 1   | 26,0                                      | 29,5 | 13,5 | 13,7 | 2,70 | 3,02 | 11,7 | 2,07 | 1,73 | 1,90 | 1,90 | 1,70 | 2,13 | 2,14 | 1,3                | 2,59   |          |
| MZ 2   | 15,2                                      | 17,7 | 12,4 | 11,2 | 2,46 | 3,80 | 13,2 | 2,01 | 2,04 | 1,89 | 1,92 | 1,70 | 2,27 | 2,15 | 1,5                | 4,41   |          |

| Vzorek | Koncentrace REE [ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] |      |      |      |       |      |      |       |       |       |      |       |      |       | Gd <sub>anom</sub> | Gd <sub>ant</sub><br>[ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] | % sušiny |
|--------|---|------|------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|--------------------|--|----------|
|        | La  | Ce   | Pr   | Nd   | Sm    | Eu   | Gd   | Tb    | Dy    | Ho    | Er   | Tm    | Yb   | Lu    |                    |  |          |
| MZ 3   | 13,1                                      | 13,7 | 12,1 | 10,4 | 2,09  | 3,17 | 5,96 | 1,97  | 1,66  | 1,87  | 1,79 | 1,68  | 2,01 | 2,12  | 0,70               | **   |          |
| MZ 4   | 16,8                                      | 18,3 | 12,8 | 11,3 | 2,58  | 6,04 | 9,15 | 2,01  | 1,80  | 1,88  | 1,80 | 1,69  | 1,93 | 2,11  | 1,0                | 0,310  |          |
| MZ 5   | 12,7                                      | 13,1 | 12,0 | 10,2 | 2,20  | 2,71 | 5,45 | 1,98  | 1,63  | 1,85  | 1,75 | 1,70  | 2,02 | 2,13  | 0,63               | **   |          |
| MZ 6   | 13,1                                      | 12,8 | 11,3 | 8,34 | 2,18  | 3,37 | 13,2 | 1,80  | 1,53  | 1,49  | 1,50 | 1,46  | 1,40 | 1,64  | 1,7                | 5,35   |          |
| MZ 7   | 14,8                                      | 15,8 | 12,2 | 10,9 | 2,30  | 3,39 | 15,1 | 1,99  | 1,79  | 1,88  | 1,83 | 1,69  | 2,15 | 2,13  | 1,7                | 6,38   |          |
| MZ 8   | 16,7                                      | 14,2 | 12,2 | 10,5 | 2,28  | 3,45 | 70,0 | 2,08  | 1,93  | 1,89  | 1,86 | 1,70  | 3,27 | 2,16  | 7,8                | 60,9   |          |
| MZ 9   | 12,1                                      | 11,9 | 11,0 | 8,23 | 2,26  | 2,53 | 3,38 | 1,81  | 1,54  | 1,49  | 1,49 | 1,46  | 1,19 | 1,62  | 0,43               | **   |          |
| MZ 10  | 13,7                                      | 14,1 | 11,4 | 8,70 | 2,34  | 2,78 | 3,56 | 1,81  | 1,59  | 1,51  | 1,53 | 1,45  | 1,23 | 1,64  | 0,45               | **   |          |
| MZ 11  | 41,7                                      | 66,9 | 16,4 | 23,1 | 6,37  | 4,60 | 9,72 | 2,31  | 4,06  | 1,96  | 2,75 | 1,62  | 2,25 | 1,75  | 0,88               | **   |          |
| MZ 12  | 16,6                                      | 16,9 | 12,5 | 11,3 | 2,82  | 4,92 | 38,5 | 2,06  | 1,76  | 1,87  | 1,83 | 1,71  | 2,76 | 2,16  | 4,2                | 29,4   |          |
| MZ 13  | 12,7                                      | 12,6 | 11,2 | 8,26 | 2,20  | 2,81 | 3,53 | 1,79  | 1,49  | 1,49  | 1,50 | 1,45  | 1,19 | 1,64  | 0,45               | **   |          |
| MZ 14  | 14,4                                      | 16,2 | 12,2 | 11,1 | 2,46  | 2,73 | 32,1 | 2,05  | 1,83  | 1,90  | 1,82 | 1,71  | 2,53 | 2,14  | 3,6                | 23,1   |          |
| MZ 15  | 12,7                                      | 12,0 | 11,2 | 8,10 | 2,30  | 3,30 | 2,72 | 1,78  | 1,45  | 1,49  | 1,50 | 1,45  | 1,18 | 1,62  | 0,35               | **   |          |
| MZ 16  | 16,2                                      | 16,4 | 12,5 | 11,3 | 2,37  | 5,13 | 52,7 | 2,04  | 1,92  | 1,91  | 1,82 | 1,70  | 2,77 | 2,13  | 5,9                | 43,8   |          |
| MZ 17  | 19,1                                      | 23,4 | 12,5 | 11,0 | 3,24  | 3,84 | 4,86 | 1,88  | 1,89  | 1,54  | 1,62 | 1,45  | 1,32 | 1,64  | 0,57               | **   |          |
| MZ 18  | 11,6                                      | 9,15 | 7,74 | 4,96 | 3,10  | 3,16 | 6,99 | 1,02  | 1,65  | 0,960 | 1,38 | 0,791 | 1,89 | 0,860 | 1,4                | 2,01   |          |
| MZ 19  | 11,0                                      | 8,72 | 7,49 | 4,86 | 2,71  | 1,71 | 4,29 | 0,968 | 1,52  | 0,892 | 1,24 | 0,756 | 1,61 | 0,819 | 0,92               | **   |          |
| MZ 20  | 12,0                                      | 9,84 | 7,62 | 4,83 | 3,24  | 2,43 | 4,21 | 1,02  | 1,70  | 0,948 | 1,34 | 0,798 | 1,77 | 0,836 | 0,84               | **   |          |
| R 1    | 8,65                                      | 11,1 | 7,98 | 6,32 | 1,22  | 1,50 | 28,6 | 1,31  | 0,777 | 1,16  | 1,02 | 1,21  | 1,74 | 1,33  | 5,1                | 22,9   |          |
| R 2    | 8,51                                      | 8,51 | 8,02 | 6,32 | 0,974 | 2,45 | 11,9 | 1,21  | 0,841 | 1,16  | 1,02 | 1,21  | 1,33 | 1,33  | 2,3                | 6,76   |          |
| R 3    | 27,5                                      | 28,7 | 10,3 | 11,5 | 2,34  | 4,08 | 25,4 | 1,42  | 1,56  | 1,31  | 1,71 | 1,28  | 2,03 | 1,38  | 4,0                | 19,0   |          |
| R 4    | 15,0                                      | 20,4 | 9,15 | 10,3 | 2,19  | 2,07 | 27,1 | 1,40  | 1,48  | 1,30  | 1,46 | 1,31  | 2,27 | 1,47  | 4,3                | 20,9   |          |
| R 5    | 10,6                                      | 12,7 | 8,31 | 7,04 | 1,38  | 2,18 | 28,9 | 1,34  | 1,18  | 1,21  | 1,38 | 1,26  | 1,99 | 1,39  | 5,0                | 23,1   |          |
| R 7    | 11,3                                      | 12,8 | 8,65 | 8,35 | 2,97  | 2,39 | 6,57 | 1,46  | 1,93  | 1,39  | 1,79 | 1,41  | 2,79 | 1,55  | 0,98               | **   |          |
| R 8    | 10,3                                      | 11,4 | 8,49 | 8,14 | 3,41  | 2,24 | 5,94 | 1,55  | 2,21  | 1,45  | 1,91 | 1,48  | 3,19 | 1,61  | 0,83               | **   |          |
| R 9    | 9,80                                      | 11,4 | 8,42 | 8,15 | 3,46  | 2,33 | 5,13 | 1,62  | 2,36  | 1,52  | 2,15 | 1,57  | 3,40 | 1,72  | 0,69               | **   |          |
| R 10   | 10,1                                      | 10,2 | 8,42 | 7,90 | 3,05  | 2,23 | 5,83 | 1,51  | 2,12  | 1,44  | 1,97 | 1,45  | 3,05 | 1,62  | 0,84               | **   |          |
| R 11   | 12,2                                      | 11,7 | 8,57 | 7,93 | 3,23  | 2,38 | 7,18 | 1,53  | 2,12  | 1,43  | 1,86 | 1,47  | 2,88 | 1,58  | 1,0                | 0,117  |          |
| R 12   | 9,06                                      | 8,14 | 8,20 | 7,85 | 2,89  | 2,00 | 5,48 | 1,49  | 2,00  | 1,42  | 1,77 | 1,43  | 2,97 | 1,64  | 0,80               | **   |          |
| R 13   | 11,9                                      | 9,44 | 8,39 | 7,95 | 3,00  | 2,11 | 5,19 | 1,53  | 2,12  | 1,45  | 1,84 | 1,47  | 2,99 | 1,62  | 0,74               | **   |          |
| R 14   | 11,2                                      | 12,0 | 8,53 | 8,13 | 2,88  | 2,15 | 8,13 | 1,50  | 2,13  | 1,44  | 1,89 | 1,43  | 3,00 | 1,62  | 1,2                | 1,28   |          |
| R 15   | 10,2                                      | 10,7 | 8,38 | 7,88 | 3,02  | 2,35 | 8,51 | 1,49  | 2,03  | 1,46  | 1,87 | 1,50  | 3,18 | 1,63  | 1,2                | 1,66   |          |
| R 16   | 10,6                                      | 8,96 | 8,32 | 7,59 | 3,15  | 2,11 | 5,30 | 1,52  | 2,07  | 1,45  | 1,89 | 1,48  | 3,08 | 1,64  | 0,76               | **   |          |
| R 17   | 12,9                                      | 8,54 | 8,41 | 7,93 | 3,49  | 2,52 | 25,3 | 1,68  | 2,24  | 1,50  | 2,28 | 1,52  | 3,78 | 1,68  | 3,3                | 17,6   |          |
| R 18   | 8,67                                      | 8,00 | 8,39 | 8,19 | 4,07  | 2,49 | 9,21 | 1,67  | 2,79  | 1,59  | 2,42 | 1,62  | 4,12 | 1,80  | 1,2                | 1,34   |          |

| Vzorek | Koncentrace REE [ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] |      |      |      |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       | Gd <sub>anom</sub> | Gd <sub>ant</sub><br>[ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] | % sušiny |
|--------|---|------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|--------------------|--|----------|
|        | La  | Ce   | Pr   | Nd   | Sm    | Eu    | Gd   | Tb    | Dy    | Ho    | Er   | Tm    | Yb    | Lu    |                    |  |          |
| R 19   | 10,9                                      | 10,0 | 7,53 | 4,91 | 2,81  | 0,974 | 4,36 | 1,03  | 1,71  | 0,954 | 1,38 | 0,805 | 1,78  | 0,840 | 0,88               | **   |          |
| R 20   | 11,1                                      | 10,6 | 7,62 | 5,27 | 3,09  | 1,04  | 3,75 | 1,02  | 1,72  | 0,956 | 1,32 | 0,835 | 1,91  | 0,847 | 0,75               | **   |          |
| R 21   | 13,7                                      | 14,6 | 8,13 | 6,10 | 3,72  | 1,47  | 8,68 | 1,08  | 1,90  | 0,972 | 1,35 | 0,835 | 1,83  | 0,853 | 1,6                | 3,30   |          |
| R 22   | 10,1                                      | 7,76 | 7,38 | 4,60 | 2,84  | 0,863 | 6,22 | 0,998 | 1,63  | 0,950 | 1,28 | 0,802 | 1,82  | 0,847 | 1,3                | 1,40   |          |
| R 23   | 9,67                                      | 7,13 | 7,38 | 4,48 | 3,26  | 1,09  | 4,66 | 1,05  | 1,85  | 1,01  | 1,49 | 0,859 | 2,02  | 0,908 | 0,90               | **   |          |
| R 24   | 10,6                                      | 8,74 | 7,50 | 5,01 | 2,94  | 0,913 | 4,42 | 1,03  | 1,72  | 0,988 | 1,46 | 0,841 | 1,91  | 0,863 | 0,89               | **   |          |
| R 25   | 9,97                                      | 7,58 | 7,24 | 4,39 | 2,71  | 0,889 | 2,90 | 0,969 | 1,46  | 0,892 | 1,20 | 0,775 | 1,57  | 0,816 | 0,62               | **   |          |
| R 26   | 10,4                                      | 8,94 | 8,15 | 9,62 | 14,1  | 1,76  | 4,13 | 1,53  | 3,47  | 1,45  | 2,65 | 1,16  | 4,21  | 1,21  | 0,41               | **   |          |
| R 27   | 4,59                                      | 9,82 | 3,88 | 4,44 | 1,50  | 0,848 | 2,89 | 0,585 | 1,13  | 0,729 | 1,39 | 0,662 | 1,23  | 0,554 | 1,0                | 0,112  |          |
| R 28   | 4,09                                      | 7,55 | 3,84 | 4,23 | 1,57  | 0,867 | 2,70 | 0,587 | 1,27  | 0,711 | 1,37 | 0,711 | 1,24  | 0,601 | 0,96               | **   |          |
| R 29   | 4,76                                      | 9,69 | 3,84 | 4,21 | 1,24  | 0,868 | 3,50 | 0,563 | 1,17  | 0,707 | 1,34 | 0,654 | 1,39  | 0,572 | 1,3                | 0,886  |          |
| R 30   | 10,1                                      | 11,4 | 10,8 | 7,13 | 0,929 | 0,935 | 2,90 | 1,51  | 0,977 | 1,12  | 1,10 | 1,53  | 1,62  | 1,41  | 0,46               | **   |          |
| R 31   | 10,0                                      | 11,1 | 10,7 | 7,12 | 0,526 | 0,872 | 3,06 | 1,47  | 0,926 | 1,13  | 1,04 | 1,53  | 1,57  | 1,40  | 0,50               | **   |          |
| R 32   | 9,87                                      | 11,2 | 10,7 | 7,21 | 0,539 | 0,889 | 35,3 | 1,53  | 1,12  | 1,13  | 1,18 | 1,52  | 2,15  | 1,43  | 5,6                | 29,0   |          |
| R 33   | 10,0                                      | 11,3 | 10,8 | 7,05 | 0,809 | 0,934 | 4,37 | 1,50  | 1,08  | 1,13  | 1,19 | 1,53  | 1,64  | 1,43  | 0,70               | **   |          |
| R 34   | 10,2                                      | 12,0 | 10,8 | 7,41 | 0,809 | 0,986 | 16,9 | 1,53  | 1,15  | 1,13  | 1,15 | 1,54  | 1,91  | 1,44  | 2,6                | 10,5   |          |
| R 35   | 16,1                                      | 27,3 | 11,9 | 10,3 | 1,32  | 1,29  | 3,89 | 1,57  | 1,36  | 1,19  | 1,36 | 1,53  | 1,70  | 1,42  | 0,58               | **   |          |
| R 36   | 11,1                                      | 13,5 | 11,0 | 7,50 | 0,669 | 0,913 | 8,46 | 1,51  | 1,19  | 1,13  | 1,15 | 1,53  | 1,79  | 1,41  | 1,3                | 2,17   |          |
| R 37   | 10,5                                      | 12,1 | 10,8 | 7,35 | 0,887 | 1,07  | 4,01 | 1,50  | 0,968 | 1,14  | 1,06 | 1,52  | 1,68  | 1,41  | 0,64               | **   |          |
| R 38   | 10,5                                      | 12,1 | 10,8 | 7,17 | 0,731 | 0,911 | 17,5 | 1,49  | 1,01  | 1,13  | 1,12 | 1,53  | 1,75  | 1,39  | 2,8                | 11,3   |          |
| R 39   | 10,5                                      | 11,5 | 10,8 | 7,35 | 0,820 | 1,25  | 4,70 | 1,50  | 1,00  | 1,15  | 1,11 | 1,52  | 1,71  | 1,41  | 0,75               | **   |          |
| R 40   | 10,6                                      | 12,5 | 9,35 | 7,90 | 1,26  | 1,27  | 4,75 | 1,28  | 1,14  | 1,27  | 1,47 | 1,23  | 0,822 | 1,21  | 0,86               | **   |          |
| R 41   | 10,8                                      | 12,0 | 9,37 | 7,93 | 1,04  | 1,37  | 7,67 | 1,29  | 1,20  | 1,27  | 1,48 | 1,22  | 0,814 | 1,20  | 1,4                | 2,18   |          |
| R 42   | 8,78                                      | 8,73 | 8,97 | 7,09 | 1,05  | 1,23  | 4,67 | 1,23  | 0,996 | 1,25  | 1,45 | 1,23  | 0,744 | 1,19  | 0,89               | **   |          |
| R 43   | 9,25                                      | 8,01 | 9,08 | 7,10 | 1,07  | 1,32  | 4,65 | 1,25  | 0,995 | 1,26  | 1,48 | 1,22  | 0,734 | 1,19  | 0,87               | **   |          |
| R 44   | 9,00                                      | 7,81 | 9,04 | 7,00 | 0,947 | 1,25  | 3,88 | 1,26  | 1,07  | 1,27  | 1,47 | 1,23  | 0,776 | 1,21  | 0,73               | **   |          |
| R 45   | 8,98                                      | 7,68 | 9,02 | 7,10 | 0,994 | 1,21  | 4,73 | 1,25  | 1,03  | 1,25  | 1,46 | 1,23  | 0,789 | 1,19  | 0,89               | **   |          |
| R 46   | 9,78                                      | 9,41 | 9,20 | 7,60 | 1,19  | 1,35  | 5,16 | 1,28  | 1,13  | 1,29  | 1,52 | 1,25  | 0,914 | 1,23  | 0,94               | **   |          |
| R 47   | 11,3                                      | 11,7 | 9,38 | 7,86 | 1,36  | 1,31  | 5,70 | 1,29  | 1,42  | 1,34  | 1,67 | 1,27  | 0,999 | 1,22  | 1,0                | 0,103  |          |
| R 48   | 10,5                                      | 10,5 | 9,34 | 7,93 | 1,48  | 1,33  | 3,42 | 1,29  | 1,21  | 1,30  | 1,49 | 1,24  | 0,850 | 1,21  | 0,61               | **   |          |
| R 49   | 9,83                                      | 9,84 | 9,18 | 7,73 | 1,16  | 1,30  | 9,11 | 1,28  | 1,15  | 1,29  | 1,48 | 1,25  | 0,951 | 1,22  | 1,7                | 3,63   |          |
| R 50   | 10,3                                      | 9,02 | 9,26 | 7,56 | 1,52  | 1,92  | 3,31 | 1,28  | 1,11  | 1,29  | 1,57 | 1,24  | 0,799 | 1,21  | 0,59               | **   |          |
| R 51   | 8,86                                      | 7,73 | 9,00 | 6,99 | 1,15  | 1,26  | 4,38 | 1,25  | 1,08  | 1,26  | 1,45 | 1,24  | 0,862 | 1,21  | 0,82               | **   |          |
| R 52   | 11,4                                      | 12,7 | 9,50 | 8,58 | 1,49  | 1,43  | 6,56 | 1,32  | 1,48  | 1,33  | 1,66 | 1,25  | 1,07  | 1,22  | 1,1                | 0,840  |          |
| R 53   | 9,03                                      | 7,63 | 9,02 | 7,02 | 1,33  | 1,48  | 3,67 | 1,25  | 1,16  | 1,27  | 1,46 | 1,23  | 0,758 | 1,21  | 0,68               | **   |          |

| Vzorek | Koncentrace REE [ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      | Gd <sub>anom</sub> | Gd <sub>ant</sub><br>[ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] | % sušiny |
|--------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|--------------------|--|----------|
|        | La  | Ce   | Pr   | Nd   | Sm   | Eu   | Gd   | Tb   | Dy   | Ho   | Er   | Tm   | Yb    | Lu   |                    |  |          |
| R 54   | 9,31                                      | 7,90 | 9,09 | 7,32 | 1,16 | 1,52 | 4,19 | 1,29 | 1,17 | 1,29 | 1,57 | 1,26 | 0,868 | 1,23 | 0,76               | **   |          |
| R 55   | 9,08                                      | 7,72 | 9,08 | 7,18 | 1,31 | 1,37 | 2,08 | 1,27 | 1,14 | 1,28 | 1,57 | 1,25 | 0,829 | 1,22 | 0,38               | **   |          |
| R 56   | 9,21                                      | 7,93 | 9,09 | 7,30 | 1,20 | 1,43 | 27,3 | 1,30 | 1,21 | 1,31 | 1,86 | 1,26 | 1,29  | 1,26 | 4,9                | 21,7   |          |
| R 57   | 9,08                                      | 7,93 | 9,13 | 7,29 | 1,26 | 1,37 | 4,07 | 1,28 | 1,13 | 1,29 | 1,51 | 1,25 | 0,925 | 1,23 | 0,74               | **   |          |
| R 58   | 8,79                                      | 7,19 | 8,98 | 7,00 | 1,05 | 1,25 | 5,85 | 1,27 | 1,11 | 1,29 | 1,48 | 1,24 | 0,805 | 1,21 | 1,1                | 0,460  |          |
| R 59   | 8,62                                      | 7,06 | 8,98 | 7,14 | 1,36 | 1,28 | 8,52 | 1,26 | 1,09 | 1,30 | 1,49 | 1,25 | 0,876 | 1,23 | 1,6                | 3,05   |          |
| R 60   | 8,89                                      | 7,64 | 9,03 | 7,22 | 1,34 | 1,35 | 2,80 | 1,27 | 1,17 | 1,29 | 1,56 | 1,24 | 0,928 | 1,23 | 0,51               | **   |          |
| R 61   | 8,88                                      | 7,25 | 9,04 | 7,33 | 1,74 | 1,34 | 2,34 | 1,31 | 1,25 | 1,34 | 1,63 | 1,28 | 0,989 | 1,27 | 0,41               | **   |          |
| R 62   | 10,8                                      | 10,5 | 9,41 | 8,15 | 2,03 | 1,75 | 4,29 | 1,31 | 1,38 | 1,32 | 1,58 | 1,26 | 0,966 | 1,26 | 0,73               | **   |          |
| R 63   | 8,72                                      | 7,10 | 9,01 | 7,15 | 1,49 | 1,30 | 3,38 | 1,28 | 1,18 | 1,30 | 1,59 | 1,26 | 0,910 | 1,23 | 0,61               | **   |          |
| R 64   | 9,54                                      | 8,34 | 9,16 | 7,50 | 1,54 | 1,41 | 3,51 | 1,30 | 1,25 | 1,32 | 1,61 | 1,26 | 0,967 | 1,23 | 0,62               | **   |          |
| R 65   | 9,07                                      | 7,46 | 9,04 | 7,25 | 1,39 | 1,52 | 2,26 | 1,29 | 1,22 | 1,30 | 1,56 | 1,26 | 1,07  | 1,25 | 0,40               | **   |          |
| Mr 1   | 68,0                                      | 85,6 | 20,5 | 28,6 | 10,0 | 25,3 | 11,9 | 2,03 | 5,35 | 2,07 | 3,71 | 1,55 | 3,09  | 1,49 | 1,1                | 0,936  | 10,9     |
| Mr 2   | 49,3                                      | 67,3 | 16,3 | 23,5 | 6,66 | 8,47 | 10,6 | 2,04 | 4,98 | 2,02 | 3,60 | 1,56 | 3,28  | 1,51 | 1,0                | 0,480  | 12,6     |
| Mr 3   | 20,1                                      | 19,1 | 10,9 | 10,2 | 3,47 | 8,32 | 9,0  | 1,44 | 1,90 | 1,47 | 2,01 | 1,32 | 1,73  | 1,33 | 1,3                | 2,24   | 10,2     |
| Mr 4   | 56,9                                      | 55,3 | 18,2 | 20,5 | 8,98 | 31,6 | 7,04 | 1,73 | 3,26 | 1,74 | 2,67 | 1,44 | 2,11  | 1,41 | 0,74               | **   | 13,8     |
| Mr 5   | 14,2                                      | 11,3 | 9,94 | 8,27 | 2,37 | 5,82 | 6,14 | 1,36 | 1,50 | 1,36 | 1,68 | 1,30 | 1,34  | 1,30 | 1,00               | **   | 11,7     |
| Mr 6   | 12,8                                      | 14,0 | 9,24 | 7,22 | 1,38 | 4,83 | 5,03 | 1,38 | 1,24 | 1,31 | 1,02 | 1,28 | 1,38  | 1,19 | 0,84               | **   | 11,5     |
| Mr 7   | 22,2                                      | 25,5 | 11,0 | 10,2 | 2,81 | 11,1 | 5,31 | 1,51 | 1,71 | 1,44 | 1,32 | 1,30 | 1,70  | 1,23 | 0,77               | **   | 12,6     |
| Mr 8   | 51,1                                      | 59,5 | 16,5 | 18,9 | 6,94 | 26,9 | 9,40 | 1,76 | 3,13 | 1,66 | 2,19 | 1,42 | 2,59  | 1,34 | 1,0                | 0,356  | 10,0     |
| Mr 9   | 21,9                                      | 22,6 | 10,9 | 9,49 | 2,84 | 12,7 | 6,81 | 1,45 | 1,55 | 1,37 | 1,33 | 1,31 | 1,66  | 1,20 | 1,0                | 0,165  | 11,5     |
| Mr 10  | 41,6                                      | 52,2 | 14,8 | 19,3 | 5,47 | 15,2 | 9,11 | 1,85 | 3,72 | 1,72 | 2,28 | 1,42 | 2,54  | 1,34 | 1,0                | 0,142  | 13,4     |
| Mr 11  | 28,5                                      | 31,0 | 12,0 | 11,7 | 3,98 | 15,1 | 7,72 | 1,53 | 1,86 | 1,47 | 1,36 | 1,33 | 1,90  | 1,23 | 1,1                | 0,465  | 11,1     |
| Mr 12  | 20,6                                      | 21,6 | 10,7 | 9,14 | 2,90 | 10,6 | 14,1 | 1,49 | 1,64 | 1,35 | 1,23 | 1,30 | 1,58  | 1,18 | 2,1                | 7,26   | 11,1     |
| Mr 13  | 20,3                                      | 23,3 | 10,4 | 9,74 | 2,73 | 8,47 | 7,98 | 1,42 | 1,50 | 1,36 | 1,17 | 1,29 | 1,34  | 1,21 | 1,2                | 1,50   | 15,4     |
| Mr 14  | 23,3                                      | 24,9 | 11,0 | 10,4 | 3,60 | 10,4 | 11,0 | 1,52 | 2,02 | 1,44 | 1,38 | 1,33 | 1,69  | 1,23 | 1,6                | 3,92   | 10,2     |
| Mr 15  | 51,9                                      | 56,0 | 16,0 | 19,1 | 7,67 | 28,4 | 10,3 | 1,95 | 3,67 | 1,75 | 2,17 | 1,45 | 2,49  | 1,29 | 1,0                | 0,334  | 10,4     |
| Mr 16  | 36,5                                      | 35,9 | 13,3 | 13,9 | 4,82 | 17,6 | 15,5 | 1,66 | 2,33 | 1,54 | 1,63 | 1,33 | 1,94  | 1,23 | 1,9                | 7,44   | 10,8     |
| Mr 17  | 16,0                                      | 16,2 | 9,6  | 7,27 | 1,94 | 6,75 | 8,74 | 1,37 | 1,24 | 1,36 | 1,03 | 1,29 | 1,59  | 1,17 | 1,4                | 2,66   | 10,8     |
| Mr 18  | 20,2                                      | 18,6 | 10,4 | 8,00 | 2,32 | 11,4 | 14,6 | 1,42 | 1,26 | 1,34 | 1,10 | 1,27 | 1,60  | 1,17 | 2,3                | 8,25   | 10,7     |
| Mr 19  | 41,3                                      | 35,2 | 13,6 | 14,1 | 5,26 | 25,8 | 15,2 | 1,62 | 2,55 | 1,59 | 1,61 | 1,39 | 2,34  | 1,27 | 1,9                | 7,20   | 10,9     |
| Mr 20  | 16,1                                      | 15,5 | 9,73 | 7,60 | 2,34 | 6,78 | 9,62 | 1,38 | 1,50 | 1,38 | 1,24 | 1,32 | 1,57  | 1,21 | 1,5                | 3,39   | 9,13     |
| Mr 21  | 57,2                                      | 77,4 | 16,6 | 23,6 | 6,57 | 13,4 | 9,97 | 1,91 | 3,21 | 1,63 | 2,15 | 1,37 | 2,13  | 1,25 | 1,0                | 0,442  | 10,7     |
| Mr 22  | 33,3                                      | 28,5 | 12,1 | 9,80 | 4,26 | 23,2 | 11,3 | 1,48 | 1,37 | 1,33 | 1,17 | 1,30 | 1,81  | 1,21 | 1,6                | 4,15   | 10,2     |
| Mr 23  | 19,2                                      | 19,2 | 10,2 | 8,39 | 2,71 | 8,87 | 8,25 | 1,46 | 1,44 | 1,36 | 1,17 | 1,31 | 1,54  | 1,22 | 1,2                | 1,62   | 10,5     |

| Vzorek | Koncentrace REE [ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] |       |      |      |      |      |      |       |      |       |      |       |       |       | Gd <sub>anom</sub> | Gd <sub>ant</sub><br>[ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] | % sušiny |
|--------|---|-------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|--------------------|--|----------|
|        | La  | Ce    | Pr   | Nd   | Sm   | Eu   | Gd   | Tb    | Dy   | Ho    | Er   | Tm    | Yb    | Lu    |                    |  |          |
| Mr 24  | 16,1                                      | 15,3  | 9,68 | 7,57 | 1,98 | 7,95 | 13,5 | 1,41  | 1,16 | 1,34  | 1,06 | 1,32  | 1,84  | 1,21  | 2,2                | 7,26   | 10,7     |
| Mr 25  | 45,2                                      | 46,7  | 14,1 | 16,6 | 5,04 | 19,1 | 14,7 | 1,76  | 2,94 | 1,53  | 1,88 | 1,39  | 2,14  | 1,25  | 1,7                | 6,24   | 12,1     |
| Mr 26  | 90,2                                      | 77,1  | 21,1 | 27,6 | 10,7 | 39,3 | 23,1 | 2,30  | 5,00 | 2,07  | 3,10 | 1,50  | 2,84  | 1,39  | 1,9                | 10,9   | 11,0     |
| Mr 27  | 69,6                                      | 56,3  | 16,9 | 20,5 | 8,02 | 28,4 | 11,5 | 1,90  | 4,16 | 1,94  | 2,87 | 1,60  | 2,81  | 1,41  | 1,2                | 1,65   | 16,7     |
| Mr 28  | 34,0                                      | 37,8  | 12,9 | 13,5 | 4,99 | 15,8 | 14,1 | 1,62  | 2,41 | 1,61  | 1,89 | 1,38  | 2,24  | 1,32  | 1,8                | 6,20   | 10,4     |
| Mr 29  | 116                                       | 179   | 27,6 | 53,1 | 15,6 | 13,1 | 30,3 | 3,25  | 11,3 | 3,16  | 6,24 | 1,99  | 6,35  | 1,85  | 1,7                | 12,9   | 11,9     |
| Mr 30  | 24,9                                      | 29,3  | 11,5 | 11,3 | 3,45 | 9,23 | 13,7 | 1,58  | 2,14 | 1,47  | 1,73 | 1,35  | 2,10  | 1,27  | 1,9                | 6,36   | 12,2     |
| Mr 31  | 24,4                                      | 23,3  | 10,9 | 10,0 | 3,87 | 11,8 | 13,0 | 1,59  | 1,98 | 1,45  | 1,46 | 1,35  | 1,88  | 1,23  | 1,7                | 5,46   | 10,2     |
| Mr 32  | 36,2                                      | 41,7  | 13,1 | 14,1 | 5,07 | 14,1 | 16,3 | 1,63  | 2,48 | 1,61  | 1,70 | 1,41  | 1,95  | 1,30  | 2,0                | 8,32   | 11,7     |
| Mr 33  | 39,4                                      | 27,1  | 12,9 | 10,0 | 4,72 | 29,1 | 17,1 | 1,48  | 1,59 | 1,35  | 1,11 | 1,30  | 1,53  | 1,20  | 2,4                | 9,87   | 13,2     |
| Mr 34  | 47,6                                      | 44,1  | 13,9 | 15,2 | 5,79 | 17,8 | 12,7 | 1,69  | 2,64 | 1,57  | 1,61 | 1,36  | 2,23  | 1,26  | 1,5                | 4,29   | 12,9     |
| Mr 35  | 25,0                                      | 21,1  | 10,9 | 9,01 | 2,84 | 11,0 | 12,0 | 1,47  | 1,88 | 1,42  | 1,39 | 1,33  | 1,75  | 1,22  | 1,8                | 5,31   | 11,6     |
| Mr 36  | 29,7                                      | 24,1  | 11,8 | 9,45 | 3,27 | 20,3 | 11,3 | 1,50  | 1,42 | 1,36  | 1,22 | 1,33  | 1,79  | 1,21  | 1,6                | 4,36   | 11,4     |
| Mr 37  | 37,0                                      | 42,4  | 13,4 | 17,1 | 4,41 | 8,07 | 20,9 | 1,70  | 3,58 | 1,65  | 2,38 | 1,43  | 2,47  | 1,36  | 2,6                | 12,8   | 13,2     |
| Mr 38  | 46,4                                      | 72,9  | 13,0 | 20,9 | 6,51 | 7,91 | 21,3 | 1,23  | 4,52 | 1,31  | 2,62 | 0,878 | 1,92  | 0,964 | 3,1                | 14,5   | 11,8     |
| Mr 39  | 58,9                                      | 69,4  | 11,7 | 18,1 | 4,58 | 4,05 | 8,35 | 1,02  | 2,85 | 0,927 | 1,60 | 0,713 | 0,730 | 0,796 | 1,5                | 2,95   | 11,3     |
| Mr 40  | 13,9                                      | 14,0  | 6,54 | 5,09 | 2,14 | 7,14 | 16,3 | 0,633 | 1,21 | 0,701 | 1,06 | 0,661 | 0,697 | 0,740 | 5,2                | 13,2   | 11,9     |
| VB 1   | *   | 2610  | 333  | 981  | 320  | 142  | 346  | 48,8  | 361  | 75,4  | 287  | 42,5  | 349   | 59,2  | 1,2                | 60,5   |          |
| VB 2   | 57,1                                      | 10,5  | *    | *    | *    | 25,3 | *    | *     | 31,4 | *     | 35,6 | 3,63  | 90,8  | 7,22  | **                 | **   |          |
| VB 3   | 2750                                      | 5940  | 642  | 2120 | 720  | 308  | 796  | 140   | 865  | 212   | 633  | 101   | 822   | 143   | 1,0                | 33,9   |          |
| VB 4   | 1600                                      | 2990  | 256  | 709  | 236  | 160  | 201  | 32,2  | 255  | 39,9  | 169  | 29,2  | 246   | 34,0  | 1,0                | 5,87   |          |
| VB 5   | 201                                       | 281   | 23,9 | 49,1 | 44,1 | 34,3 | 32,2 | 4,02  | 65,9 | *     | 33,6 | *     | 42,5  | *     | 1,1                | 3,80   |          |
| VB 6   | 1310                                      | 2520  | 265  | 712  | 236  | 94,1 | 213  | 27,4  | 175  | 25,9  | 106  | 19,4  | 137   | 18,0  | 1,2                | 37,5   |          |
| VB 7   | 2510                                      | 6390  | 505  | 1430 | 480  | 156  | 594  | 95,8  | 701  | 146   | 531  | 72,1  | 585   | 93,8  | 1,1                | 74,8   |          |
| VB 8   | 1120                                      | 2200  | 239  | 736  | 217  | 120  | 247  | 38,7  | 267  | 54,0  | 232  | 47,7  | 352   | 53,0  | 1,1                | 30,8   |          |
| VB 9   | 109                                       | 55,2  | *    | *    | *    | 67,9 | *    | *     | 31,5 | *     | 29,7 | *     | 60,9  | 5,53  | **                 | **   |          |
| VB 10  | 39,0                                      | 19,3  | *    | *    | *    | *    | *    | *     | *    | *     | *    | *     | *     | *     | **                 | **   |          |
| VB 11  | 2260                                      | 5290  | 452  | 1210 | 337  | 130  | 343  | 51,1  | 333  | 64,8  | 209  | 31,1  | 256   | 27,0  | 1,1                | 43,1   |          |
| VB 12  | 107                                       | 159   | 10,6 | 33,0 | *    | 25,7 | *    | *     | 65,6 | *     | 40,3 | *     | 40,4  | *     | **                 | **   |          |
| VB 13  | 237                                       | 403   | 33,2 | 69,7 | 38,7 | 54,2 | 28,7 | 4,75  | 97,2 | 15,4  | 131  | 20,0  | 235   | 41,7  | 1,0                | **   |          |
| VB 14  | 81,3                                      | 118   | 5,11 | *    | *    | 31,0 | *    | *     | 27,6 | *     | 26,5 | *     | 75,6  | 3,37  | **                 | **   |          |
| VB 15  | 7850                                      | 11800 | 1540 | 4600 | 1488 | 339  | 1790 | 307   | 2170 | 472   | 1470 | 219   | 1500  | 220   | 1,1                | 135  |          |
| VB 16  | 647                                       | 1520  | 192  | 620  | 297  | 62,3 | 321  | 58,5  | 430  | 84,5  | 256  | 29,3  | 201   | 24,4  | 1,0                | 3,00   |          |
| VB 17  | 499                                       | 1130  | 114  | 330  | 148  | 61,3 | 135  | 25,5  | 292  | 60,0  | 254  | 50,7  | 451   | 73,8  | 0,9                | **   |          |
| VB 18  | 395                                       | 579   | 68,1 | 158  | 70,5 | 48,0 | 101  | 18,2  | 150  | 21,3  | 104  | 11,5  | 158   | 16,4  | 1,1                | 7,60   |          |

| Vzorek | Koncentrace REE [ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Gd <sub>anom</sub> | Gd <sub>ant</sub><br>[ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] | % sušiny |
|--------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|--|----------|
|        | La  | Ce   | Pr   | Nd   | Sm   | Eu   | Gd   | Tb   | Dy   | Ho   | Er   | Tm   | Yb   | Lu   |                    |  |          |
| VB 19  | 506                                       | 988  | 100  | 293  | 119  | 52,7 | 145  | 29,4 | 227  | 43,2 | 186  | 25,4 | 227  | 32,9 | 1,0                | **   |          |
| VB 20  | 437                                       | 869  | 96,4 | 222  | 112  | 120  | 115  | 23,0 | 193  | 45,1 | 217  | 33,2 | 311  | 48,9 | 0,9                | **   |          |
| VB 21  | 329                                       | 550  | 62,8 | 178  | 52,2 | 53,5 | 27,8 | *    | 64,1 | *    | 25,8 | *    | 27,2 | *    | **                 | **   |          |
| VB 22  | 331                                       | 555  | 58,4 | 116  | 60,7 | 54,3 | 47,9 | 6,70 | 102  | 16,1 | 121  | 14,5 | 179  | 21,9 | 1,1                | 4,02   |          |
| VB 23  | 111                                       | 210  | 11,0 | 21,9 | *    | 19,3 | 17,7 | 5,04 | 60,6 | *    | 55,5 | 6,86 | 107  | 27,2 | **                 | **   |          |
| VB 24  | 106                                       | 113  | 15,2 | *    | *    | 22,5 | *    | *    | 32,2 | *    | *    | *    | *    | *    | **                 | **   |          |
| VB 25  | 4120                                      | 8770 | 973  | 2920 | 1010 | 297  | 904  | 153  | 1020 | 183  | 678  | 102  | 744  | 113  | 1,0                | 9,27   |          |
| VB 26  | 1350                                      | 3130 | 241  | 699  | 266  | 100  | 332  | 67,7 | 553  | 119  | 506  | 68,7 | 631  | 102  | 1,0                | **   |          |
| VB 27  | 219                                       | 358  | 36,5 | 105  | 84,4 | 47,0 | 47,2 | 9,42 | 115  | *    | 63,2 | *    | 37,1 | *    | 0,77               | **   |          |
| VB 28  | 122                                       | 191  | 19,3 | 33,4 | *    | 24,1 | *    | 3,78 | 47,5 | *    | 52,8 | *    | 36,5 | *    | **                 | **   |          |
| VB 29  | 1150                                      | 2650 | 219  | 601  | 236  | 100  | 245  | 35,6 | 380  | 63,7 | 277  | 40,3 | 327  | 50,6 | 1,2                | 35,6   |          |
| VB 30  | 144                                       | 267  | 21,1 | 53,1 | *    | 25,1 | *    | *    | 58,7 | *    | 43,7 | *    | 88,3 | 8,17 | **                 | **   |          |
| VB 31  | 382                                       | 721  | 71,2 | 187  | 78,7 | 63,4 | 94,8 | 21,1 | 146  | 17,4 | 75,6 | 9,08 | 59,6 | *    | 0,89               | **   |          |
| VB 32  | 163                                       | 254  | 11,1 | 23,2 | *    | 38,4 | *    | 6,69 | 95,6 | 19,0 | 135  | 19,5 | 230  | 34,3 | **                 | **   |          |
| VB 33  | 443                                       | 679  | 74,4 | 174  | 109  | 76,6 | 82,0 | 14,3 | 165  | 32,8 | 138  | 24,3 | 244  | 37,1 | 0,93               | **   |          |
| VB 34  | 279                                       | 296  | 25,3 | 58,8 | 36,3 | 105  | 14,3 | *    | 36,3 | *    | 21,0 | *    | *    | *    | **                 | **   |          |
| VB 35  | 140                                       | 258  | 15,2 | 36,6 | 35,3 | 24,1 | *    | *    | 39,1 | *    | 36,2 | 3,89 | 50,3 | *    | **                 | **   |          |
| VB 36  | 94,3                                      | 104  | *    | *    | *    | 133  | *    | *    | *    | *    | 14,7 | 4,06 | 69,0 | 7,19 | **                 | **   |          |
| VB 37  | 1860                                      | 3460 | 367  | 1130 | 383  | 193  | 356  | 44,3 | 300  | 57,2 | 190  | 31,5 | 263  | 45,5 | 1,3                | 71,7   |          |
| VB 38  | 211                                       | 437  | 36,1 | 228  | 71,0 | 97,2 | 58,9 | 5,05 | 64,4 | 29,2 | 91,1 | 20,5 | 264  | 50,1 | 1,5                | 18,8   |          |
| VB 39  | 90,3                                      | 180  | *    | 36,8 | *    | 90,6 | 31,5 | *    | 38,0 | 22,6 | 64,9 | 21,0 | 267  | 39,7 | **                 | **   |          |
| VB 40  | 1190                                      | 1860 | 233  | 723  | 241  | 98,4 | 297  | 63,2 | 408  | 109  | 390  | 71,8 | 625  | 111  | 0,92               | **   |          |
| VB 41  | 631                                       | 1510 | 132  | 490  | 208  | 103  | 235  | 37,9 | 328  | 82,3 | 272  | 40,2 | 377  | 69,6 | 1,1                | 24,4   |          |
| VB 42  | 139                                       | 391  | *    | 120  | 55,1 | 86,1 | 44,0 | 9,52 | 87,4 | 25,6 | 59,6 | 19,2 | 193  | 34,1 | 0,82               | **   |          |
| VB 43  | 730                                       | 1260 | 133  | 409  | 120  | 93,9 | 178  | 36,8 | 213  | 59,5 | 188  | 26,7 | 286  | 45,0 | 1,0                | **   |          |
| VB 44  | 350                                       | 745  | 34,9 | 170  | 50,0 | 85,7 | 70,4 | 13,0 | 113  | 33,3 | 107  | 18,5 | 232  | 41,3 | 1,1                | 4,11   |          |
| VB 45  | 666                                       | 1160 | 114  | 506  | 172  | 91,1 | 161  | 28,8 | 233  | 65,1 | 200  | 46,6 | 369  | 61,8 | 1,0                | **   |          |
| VB 46  | 1590                                      | 3780 | 366  | 1130 | 377  | 147  | 357  | 60,2 | 456  | 102  | 325  | 60,9 | 383  | 68,0 | 1,0                | 9,94   |          |
| VB 47  | 818                                       | 1460 | 137  | 512  | 170  | 141  | 186  | 28,9 | 164  | 39,6 | 111  | 15,1 | 140  | 9,46 | 1,1                | 22,0   |          |
| VB 48  | 2820                                      | 5920 | 676  | 1930 | 593  | 237  | 589  | 101  | 587  | 141  | 462  | 72,8 | 493  | 79,1 | 1,0                | 16,5   |          |
| VB 49  | 376                                       | 777  | 53,7 | 223  | 49,2 | 104  | 65,7 | 8,43 | 75,8 | 33,6 | 91,2 | 22,1 | 248  | 40,3 | 1,4                | 18,1   |          |
| VB 50  | 299                                       | 689  | 59,7 | 180  | 75,6 | 53,4 | 76,8 | 10,9 | 217  | 30,6 | 183  | 33,7 | 378  | 64,3 | 1,2                | 12,0   |          |
| VB 51  | 3650                                      | 6480 | 762  | 2180 | 670  | 284  | 746  | 140  | 990  | 210  | 612  | 100  | 710  | 104  | 1,0                | **   |          |
| VB 52  | 355                                       | 631  | 16,9 | 148  | 64,5 | 62,7 | 67,9 | 9,74 | 93,9 | 36,0 | 142  | 37,2 | 347  | 54,7 | 1,2                | 10,8   |          |
| VB 53  | 131                                       | 193  | *    | 71,9 | *    | 82,1 | 17,3 | 4,38 | 13,8 | 17,1 | 57,2 | 9,5  | 107  | 19,5 | **                 | **   |          |

| Vzorek | Koncentrace REE [ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Gd <sub>anom</sub> | Gd <sub>ant</sub><br>[ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] | % sušiny |
|--------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|--|----------|
|        | La  | Ce   | Pr   | Nd   | Sm   | Eu   | Gd   | Tb   | Dy   | Ho   | Er   | Tm   | Yb   | Lu   |                    |  |          |
| VB 54  | 603                                       | 1610 | 184  | 732  | 189  | 110  | 201  | 32,0 | 210  | 56,4 | 162  | 24,5 | 233  | 32,1 | 1,1                | 19,9   |          |
| VB 55  | 322                                       | 770  | 23,4 | 200  | 55,0 | 59,7 | 84,8 | 18,2 | 163  | 53,3 | 204  | 32,6 | 394  | 71,5 | 1,0                | **   |          |
| VB 56  | 117                                       | 442  | *    | 102  | 33,9 | 82,4 | 33,8 | 4,05 | 80,0 | 28,6 | 125  | 15,4 | 227  | 44,5 | 1,3                | 8,04   |          |
| VB 57  | 186                                       | 244  | 8,62 | *    | *    | 39,9 | *    | *    | 40,5 | *    | 24,1 | *    | 20,3 | *    | **                 | **   |          |
| VB 58  | 182                                       | 339  | *    | 114  | 49,8 | 60,9 | 48,2 | 3,77 | 58,7 | 24,6 | 93,2 | 16,8 | 190  | 27,2 | 1,7                | 19,2   |          |
| VB 59  | 25,5                                      | *    | *    | *    | *    | 54,9 | *    | *    | 58,4 | 22,0 | 74,7 | 25,1 | 235  | 36,9 | **                 | **   |          |
| VB 60  | 682                                       | 1740 | 81,9 | 321  | 101  | 145  | 151  | 25,9 | 191  | 67,8 | 233  | 39,1 | 343  | 64,1 | 1,1                | 18,8   |          |
| VB 61  | 1090                                      | 2890 | 262  | 950  | 271  | 209  | 357  | 52,9 | 422  | 110  | 358  | 82,5 | 547  | 105  | 1,2                | 68,4   |          |
| VB 62  | 423                                       | 1130 | 63,6 | 371  | 166  | 80,0 | 159  | 33,1 | 253  | 89,0 | 244  | 49,3 | 492  | 72,8 | 0,88               | **   |          |
| VB 63  | 101                                       | 123  | *    | 54,2 | *    | 66,4 | 116  | *    | *    | 12,7 | 29,3 | 7,21 | 64,7 | 8,37 | **                 | **   |          |
| VB 64  | 2520                                      | 5450 | 618  | 2040 | 783  | 225  | 771  | 147  | 1010 | 229  | 723  | 121  | 825  | 126  | 1,0                | **   |          |
| VB 65  | 1851                                      | 3820 | 356  | 1080 | 354  | 165  | 301  | 62,8 | 433  | 82,1 | 344  | 56,6 | 452  | 63,6 | 0,86               | **   |          |
| VB 66  | 75,4                                      | 187  | *    | 24,3 | *    | 70,0 | 25,6 | *    | 67,6 | 24,6 | 91,8 | 17,5 | 219  | 39,2 | **                 | **   |          |
| VB 67  | 1580                                      | 3760 | 330  | 1000 | 309  | 137  | 369  | 68,9 | 494  | 111  | 399  | 67,6 | 601  | 100  | 1,0                | 5,27   |          |
| VB 68  | 828                                       | 1440 | 161  | 405  | 172  | 76,2 | 153  | 24,6 | 187  | 24,9 | 109  | 17,8 | 193  | 30,1 | 1,0                | 5,59   |          |
| VB 69  | 1820                                      | 4130 | 417  | 1220 | 389  | 151  | 383  | 70,8 | 441  | 94,3 | 306  | 59,5 | 491  | 89,1 | 1,0                | **   |          |
| VB 70  | 1460                                      | 3320 | 332  | 912  | 297  | 99,1 | 270  | 53,9 | 382  | 79,9 | 280  | 49,5 | 468  | 72,9 | 0,90               | **   |          |
| VB 71  | 1780                                      | 2660 | 310  | 983  | 348  | 206  | 400  | 58,9 | 411  | 114  | 331  | 55,3 | 441  | 73,9 | 1,2                | 66,3   |          |
| VB 72  | 1850                                      | 4650 | 428  | 1310 | 475  | 142  | 455  | 83,6 | 549  | 115  | 423  | 62,6 | 524  | 81,9 | 1,0                | **   |          |
| VB 73  | 186                                       | 366  | 5,61 | 140  | *    | 99,3 | 45,3 | *    | 61,0 | 27,6 | 123  | 28,2 | 242  | 49,2 | **                 | **   |          |
| VB 74  | 1270                                      | 2990 | 244  | 842  | 274  | 82,9 | 311  | 57,9 | 431  | 116  | 381  | 54,0 | 411  | 73,2 | 1,0                | 1,51   |          |
| VB 75  | 2040                                      | 3830 | 422  | 1250 | 408  | 232  | 419  | 70,8 | 401  | 89,4 | 253  | 33,7 | 299  | 54,0 | 1,1                | 20,2   |          |
| VB 76  | 1140                                      | 1880 | 176  | 590  | 165  | 159  | 227  | 42,1 | 339  | 93,5 | 282  | 50,2 | 465  | 82,0 | 1,1                | 11,4   |          |
| VB 77  | 3210                                      | 7730 | 710  | 2040 | 806  | 232  | 884  | 163  | 1170 | 272  | 845  | 132  | 1107 | 193  | 1,0                | 3,79   |          |
| VB 78  | 4390                                      | 8610 | 994  | 2970 | 894  | 397  | 899  | 131  | 740  | 164  | 410  | 59,1 | 478  | 94,9 | 1,2                | 123  |          |
| VB 79  | 2240                                      | 5920 | 508  | 1370 | 374  | 226  | 416  | 70,2 | 516  | 126  | 450  | 86,0 | 656  | 136  | 1,1                | 28,9   |          |
| VB 80  | 125                                       | 67,8 | *    | *    | *    | 122  | *    | *    | *    | *    | *    | *    | 50,7 | 10,0 | **                 | **   |          |
| VB 81  | 4410                                      | 5160 | 952  | 3130 | 945  | 253  | 1140 | 209  | 1380 | 311  | 1100 | 139  | 1090 | 171  | 1,0                | 36,9   |          |
| VB 82  | 62  | 133  | 0    | 24,3 | *    | 44,1 | 18,0 | 5,75 | 55,5 | 27,6 | 88,3 | 23,1 | 191  | 38,2 | **                 | **   |          |
| VB 83  | 1090                                      | 1960 | 201  | 589  | 195  | 69,2 | 204  | 30,9 | 261  | 69,4 | 181  | 26,6 | 261  | 42,3 | 1,1                | 25,1   |          |
| VB 84  | 671                                       | 1460 | 83,4 | 303  | 74,3 | 81,5 | 134  | 15,6 | 148  | 49,8 | 188  | 33,0 | 308  | 50,4 | 1,6                | 50,5   |          |
| VB 85  | 266                                       | 560  | 32,6 | 222  | 103  | 93,6 | 84,2 | 18,0 | 136  | 42,5 | 175  | 36,8 | 318  | 63,9 | 0,83               | **   |          |
| VB 86  | 1360                                      | 3200 | 279  | 887  | 243  | 157  | 280  | 49,2 | 414  | 103  | 383  | 71,6 | 606  | 102  | 1,1                | 14,6   |          |
| VB 87  | 962                                       | 1550 | 162  | 477  | 141  | 117  | 131  | 21,0 | 174  | 22,0 | 113  | 8,96 | 98,2 | 9,02 | 1,1                | 6,71   |          |
| VB 88  | 611                                       | 1320 | 63,3 | 230  | 155  | 102  | 124  | 19,8 | 128  | 56,6 | 196  | 36,5 | 363  | 67,1 | 1,0                | 1,71   |          |

| Vzorek | Koncentrace REE [ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Gd <sub>anom</sub> | Gd <sub>ant</sub><br>[ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] | % sušiny |
|--------|---|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|--|----------|
|        | La  | Ce    | Pr   | Nd   | Sm   | Eu   | Gd   | Tb   | Dy   | Ho   | Er   | Tm   | Yb   | Lu   |                    |  |          |
| VB 89  | 35,1                                      | *     | *    | *    | *    | 53,8 | *    | *    | *    | *    | *    | *    | 26,2 | *    | **                 | **   |          |
| VB 90  | 575                                       | 1110  | 38,8 | 184  | 61,6 | 90,6 | 85,5 | 13,5 | 107  | 36,0 | 140  | 21,4 | 265  | 44,2 | 1,2                | 13,9   |          |
| VB 91  | 798                                       | 1280  | 95,0 | 362  | 156  | 142  | 121  | 25,9 | 169  | 44,9 | 151  | 27,9 | 238  | 49,0 | 0,82               | **   |          |
| VB 92  | 568                                       | 1070  | 82,2 | 343  | 79,0 | 106  | 109  | 14,5 | 97,8 | 40,4 | 105  | 23,8 | 224  | 36,3 | 1,4                | 28,6   |          |
| VB 93  | 7790                                      | 15200 | 1620 | 4800 | 1398 | 527  | 1720 | 296  | 2020 | 458  | 1370 | 239  | 1550 | 276  | 1,1                | 136  |          |
| VB 94  | 49,0                                      | 26,6  | *    | *    | *    | 35,1 | *    | *    | 15,3 | *    | *    | *    | *    | *    | **                 | **   |          |
| VB 95  | 2650                                      | 8280  | 992  | 3530 | 1060 | 518  | 1150 | 201  | 1400 | 336  | 1130 | 185  | 1620 | 302  | 1,0                | 45,5   |          |
| VB 96  | 1340                                      | 3230  | 288  | 735  | 215  | 92,9 | 241  | 33,7 | 295  | 47,4 | 203  | 25,2 | 224  | 27,2 | 1,2                | 45,5   |          |
| VB 97  | 444                                       | 691   | 47,6 | 119  | 83,2 | 94,3 | 56,8 | 8,08 | 119  | 17,0 | 113  | 21,7 | 171  | 32,3 | 1,0                | 1,20   |          |
| VB 98  | 2140                                      | 5280  | 385  | 1240 | 378  | 214  | 483  | 73,6 | 690  | 167  | 600  | 90,2 | 881  | 169  | 1,2                | 81,2   |          |
| VB 99  | 492                                       | 469   | 38,3 | 88,5 | 77,0 | 45,6 | 13,4 | 4,07 | 65,6 | *    | 113  | 18,8 | 214  | 40,5 | 0,36               | **   |          |
| VB 100 | 776                                       | 1460  | 153  | 443  | 177  | 80,6 | 147  | 25,6 | 191  | 17,8 | 112  | 16,7 | 164  | 35,0 | 1,0                | **   |          |
| VB 101 | 302                                       | 531   | 19,5 | 160  | 48,0 | 37,4 | 50,1 | *    | 47,7 | 24,6 | 56,0 | 14,5 | 166  | 26,5 | **                 | **   |          |
| VB 102 | 412                                       | 383   | 37,5 | 120  | 78,0 | 47,4 | 30,0 | 4,46 | 112  | 15,5 | 133  | 30,7 | 338  | 62,7 | 0,76               | **   |          |
| VB 103 | 1090                                      | 1800  | 177  | 554  | 188  | 170  | 165  | 26,9 | 220  | 37,5 | 178  | 30,7 | 285  | 52,0 | 1,0                | 4,80   |          |
| VB 104 | 5260                                      | 5850  | 1060 | 3250 | 982  | 253  | 1190 | 223  | 1490 | 338  | 1140 | 146  | 1170 | 192  | 1,0                | 17,7   |          |
| VB 105 | 89,7                                      | 56,3  | *    | *    | *    | 20,8 | *    | *    | 23,8 | *    | *    | *    | 28,5 | *    | **                 | **   |          |
| VB 106 | 134                                       | 346   | *    | 115  | 70,7 | 113  | 78,8 | 15,6 | 146  | 47,9 | 154  | 30,8 | 255  | 30,4 | 1,0                | **   |          |
| VB 107 | 187                                       | 305   | 7,25 | 120  | 95,0 | 83,8 | 56,1 | 11,8 | 99,0 | 39,1 | 148  | 31,7 | 331  | 76,2 | 0,76               | **   |          |
| VB 108 | 226                                       | 377   | 21,6 | 64,9 | 36,6 | 46,5 | *    | *    | 84,3 | 12,8 | 115  | 19,9 | 256  | 47,3 |                    | **   |          |
| VB 109 | 395                                       | 349   | 29,8 | 84,4 | 96,4 | 46,0 | 23,8 | 4,31 | 79,9 | 14,8 | 125  | 33,0 | 329  | 59,5 | 0,54               | **   |          |
| VB 110 | 507                                       | 902   | 44,2 | 165  | 84,3 | 117  | 84,9 | 17,4 | 127  | 42,9 | 139  | 29,1 | 383  | 63,8 | 0,91               | **   |          |
| VB 111 | 2850                                      | 6130  | 688  | 2150 | 645  | 299  | 603  | 92,9 | 549  | 96,2 | 339  | 40,2 | 319  | 40,3 | 1,1                | 49,2   |          |
| VB 112 | 169                                       | 167   | 10,5 | *    | 66,7 | 41,4 | *    | *    | 39,7 | *    | 37,3 | *    | 72,6 | *    | **                 | **   |          |
| VB 113 | 445                                       | 696   | 49,9 | 119  | 57,8 | 69,4 | 51,8 | 11,5 | 154  | 25,1 | 152  | 27,1 | 264  | 45,7 | 0,83               | **   |          |
| VB 114 | 522                                       | 997   | 39,5 | 388  | 92,3 | 97,3 | 120  | 19,5 | 149  | 49,7 | 177  | 37,1 | 325  | 63,9 | 1,1                | 15,6   |          |
| VB 115 | 83,0                                      | 48,4  | *    | *    | *    | 26,3 | *    | *    | 15,5 | *    | 16,2 | *    | 29,8 | *    | **                 | **   |          |
| VB 116 | 223                                       | 442   | 10,3 | *    | *    | 73,2 | *    | *    | 70,8 | *    | 62,8 | 6,61 | 112  | 11,6 | **                 | **   |          |
| VB 117 | 1900                                      | 5320  | 313  | 909  | 368  | 186  | 423  | 74,7 | 612  | 142  | 542  | 81,3 | 635  | 108  | 1,0                | 19,9   |          |
| VB 118 | 1720                                      | 3680  | 419  | 1140 | 381  | 173  | 400  | 78,6 | 577  | 150  | 549  | 100  | 790  | 136  | 0,95               | **   |          |
| VB 119 | 2400                                      | 5460  | 614  | 1970 | 581  | 269  | 621  | 92,3 | 602  | 124  | 412  | 60,5 | 501  | 89,4 | 1,2                | 87,4   |          |
| VB 120 | 612                                       | 1220  | 120  | 365  | 165  | 124  | 194  | 35,3 | 322  | 65,6 | 291  | 40,2 | 356  | 55,0 | 1,0                | 5,47   |          |
| VB 121 | 449                                       | 839   | 50,6 | 284  | 59,1 | 85,3 | 114  | 14,4 | 131  | 30,4 | 93,9 | 13,3 | 134  | 15,9 | 1,5                | 39,8   |          |
| VB 122 | 84,8                                      | 163   | *    | *    | *    | 68,6 | *    | *    | *    | *    | *    | *    | 26,6 | *    | **                 | **   |          |
| VB 123 | 1000                                      | 2630  | 266  | 968  | 305  | 164  | 394  | 67,8 | 491  | 133  | 488  | 76,6 | 739  | 150  | 1,1                | 35,7   |          |

| Vzorek | Koncentrace REE [ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Gdanom | Gdant<br>[ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] | % sušiny |
|--------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------------------------------------|----------|
|        | La  | Ce   | Pr   | Nd   | Sm   | Eu   | Gd   | Tb   | Dy   | Ho   | Er   | Tm   | Yb   | Lu   |        |                                    |          |
| VB 124 | 148                                       | 314  | 8,01 | 193  | 118  | 78,0 | 143  | 18,6 | 183  | 51,7 | 104  | 22,6 | 146  | 18,9 | 1,3    | 35,5                               |          |
| VB 125 | 72,9                                      | 26,4 | 46,1 | 19,9 | *    | 42,6 | *    | *    | *    | *    | 23,2 | *    | *    | 4,72 | **     | **                                 |          |
| VB 126 | 53,9                                      | *    | 29,9 | *    | *    | 26,4 | *    | *    | *    | *    | 17,5 | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VB 127 | 71,5                                      | *    | 30,9 | *    | *    | 58,6 | *    | *    | *    | *    | 23,1 | *    | 14,1 | 5,44 | **     | **                                 |          |
| VB 128 | 74,8                                      | *    | 34,4 | *    | *    | 63,0 | *    | *    | *    | *    | 18,1 | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VB 129 | 66,5                                      | *    | 27,8 | *    | *    | 37,8 | *    | *    | *    | *    | 18,1 | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VB 130 | 74,7                                      | *    | 33,0 | *    | *    | 52,1 | *    | *    | *    | *    | 14,2 | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VB 131 | 103                                       | *    | 28,8 | *    | *    | 38,0 | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VR 1   | 187                                       | 493  | 32,9 | 61,4 | 35,9 | 40,3 | 17,8 | 3,50 | 68,6 | *    | 43,9 | 3,75 | 49,9 | *    | 0,74   | **                                 |          |
| VR 2   | 72,9                                      | 75,1 | *    | *    | *    | 34,0 | *    | *    | 35,4 | *    | 29,1 | 5,86 | 86,5 | 11,5 | **     | **                                 |          |
| VR 3   | 70,8                                      | 42,6 | *    | *    | *    | 54,1 | *    | *    | 23,5 | *    | 21,0 | *    | 54,5 | *    | **     | **                                 |          |
| VR 4   | 4030                                      | 9940 | 948  | 2790 | 943  | 311  | 902  | 140  | 906  | 178  | 588  | 80,6 | 644  | 95,6 | 1,1    | 76,8                               |          |
| VR 5   | 192                                       | 466  | 35,3 | 83,0 | 31,5 | 15,8 | 26,2 | *    | 80,3 | *    | 71,6 | 14,0 | 160  | 23,1 | **     | **                                 |          |
| VR 6   | 62,2                                      | *    | *    | *    | *    | 36,3 | *    | *    | 17,5 | *    | *    | *    | 28,5 | *    | **     | **                                 |          |
| VR 7   | 195                                       | 240  | 33,1 | 70,9 | 35,7 | 18,7 | 17,4 | *    | 53,6 | *    | 30,4 | *    | 22,1 | *    | **     | **                                 |          |
| VR 8   | 556                                       | 1160 | 150  | 374  | 138  | 87,9 | 171  | 31,7 | 248  | 45,1 | 187  | 27,6 | 226  | 28,8 | 1,0    | 5,04                               |          |
| VR 9   | 3300                                      | 7790 | 815  | 2470 | 725  | 210  | 747  | 117  | 751  | 143  | 480  | 61,5 | 435  | 53,3 | 1,1    | 76,0                               |          |
| VR 10  | 670                                       | 1330 | 135  | 376  | 130  | 85,0 | 147  | 23,1 | 225  | 44,2 | 215  | 40,6 | 286  | 51,2 | 1,1    | 18,3                               |          |
| VR 11  | 291                                       | 526  | 62,9 | 161  | 55,2 | 24,3 | 67,4 | 7    | 139  | 25,4 | 158  | 28,2 | 287  | 47,1 | 1,5    | 22,2                               |          |
| VR 12  | 60,1                                      | *    | *    | *    | *    | 39,5 | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VR 13  | 299                                       | 397  | *    | 64,1 | *    | 55,7 | 61,0 | 6,15 | 52,5 | 27,9 | 99,1 | 25,3 | 221  | 35,3 | **     | **                                 |          |
| VR 14  | 182                                       | 260  | *    | 123  | *    | 63,3 | 25,8 | *    | 34,1 | *    | *    | *    | 58,1 | *    | **     | **                                 |          |
| VR 15  | 1710                                      | 2990 | 328  | 1010 | 385  | 190  | 343  | 59,0 | 338  | 81,9 | 318  | 56,0 | 485  | 77,9 | 1,0    | **                                 |          |
| VR 16  | 354                                       | 753  | 55,8 | 255  | 69,3 | 72,6 | 112  | 17,4 | 136  | 46,9 | 162  | 40,0 | 423  | 84,0 | 1,3    | 22,6                               |          |
| VR 17  | 617                                       | 1150 | 105  | 410  | 88,8 | 110  | 146  | 20,4 | 122  | 41,2 | 133  | 27,5 | 258  | 45,1 | 1,4    | 38,7                               |          |
| VR 18  | 476                                       | 1250 | 81,7 | 361  | 165  | 78,5 | 172  | 35,2 | 305  | 89,0 | 319  | 51,4 | 520  | 79,8 | 0,92   | **                                 |          |
| VC 1   | 492                                       | 843  | 91,9 | 220  | 85,8 | 57,5 | 42,9 | 5,07 | 49,2 | *    | 28,2 | *    | *    | *    | 1,0    | **                                 |          |
| VC 2   | 54,4                                      | 38,7 | *    | *    | *    | 18,3 | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VC 3   | 171                                       | 19,1 | *    | *    | *    | 170  | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VC 4   | 307                                       | 467  | 45,8 | 98,4 | 55,4 | 74,8 | 46,4 | *    | 70,5 | *    | 23,3 | *    | 20,7 | *    | **     | **                                 |          |
| VC 5   | 338                                       | 614  | 51,9 | 121  | 72,6 | 73,2 | 44,0 | 13,9 | 153  | 21,6 | 157  | 24,3 | 173  | 22,3 | 0,58   | **                                 |          |
| VC 6   | 300                                       | 449  | 37,7 | 48,1 | *    | 96,0 | 16,9 | *    | 48,8 | *    | 13,8 | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VC 7   | 256                                       | 131  | 11,2 | *    | 30,0 | 208  | *    | *    | 20,4 | *    | *    | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VC 8   | 111                                       | 118  | *    | *    | *    | 46,4 | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VC 9   | 261                                       | 522  | 39,6 | 93,2 | 33,9 | 48,7 | 39,8 | 8,29 | 122  | 17,3 | 108  | 20,5 | 220  | 29,6 | 0,93   | **                                 |          |

| Vzorek | Koncentrace REE [ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Gdanom | Gdant<br>[ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] | % sušiny |
|--------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------------------------------------|----------|
|        | La  | Ce   | Pr   | Nd   | Sm   | Eu   | Gd   | Tb   | Dy   | Ho   | Er   | Tm   | Yb   | Lu   |        |                                    |          |
| VC 10  | 45,3                                      | *    | *    | *    | *    | 40,2 | *    | *    | *    | *    | *    | *    | 17,6 | *    | **     | **                                 |          |
| VC 11  | 1740                                      | 3520 | 396  | 1150 | 355  | 158  | 347  | 50,6 | 344  | 60,0 | 207  | 34,1 | 245  | 31,5 | 1,1    | 45,0                               |          |
| VC 12  | 748                                       | 1560 | 165  | 598  | 312  | 107  | 299  | 55,2 | 397  | 98,6 | 237  | 39,5 | 371  | 46,3 | 1,0    | **                                 |          |
| VC 13  | 78,5                                      | 36,6 | *    | *    | *    | 55,6 | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VC 14  | 107                                       | 14,5 | *    | *    | *    | 77,5 | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VC 15  | 74,9                                      | 25,4 | *    | *    | *    | 46,1 | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VC 16  | 126                                       | 87,7 | *    | *    | *    | 76,6 | *    | *    | 21,5 | *    | *    | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VC 17  | 193                                       | 254  | 22,3 | 17,4 | *    | 24,3 | *    | *    | 30,3 | *    | *    | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VC 18  | 196                                       | 271  | *    | 83,5 | 35,0 | 157  | 28,6 | 4    | 27,1 | 17,5 | 38,8 | 4,36 | 97,4 | 10,2 | 1,1    | 1,39                               |          |
| VC 19  | 171                                       | 192  | 16,7 | *    | *    | 83,9 | *    | *    | 34,9 | *    | 24,5 | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VC 20  | 27,3                                      | *    | *    | *    | *    | 27,7 | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VC 21  | 23,5                                      | *    | *    | *    | *    | 30,1 | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VC 22  | 31,2                                      | *    | *    | *    | *    | 16,2 | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |
| VC 23  | 1320                                      | 2670 | 282  | 822  | 260  | 163  | 252  | 41,8 | 261  | 34,7 | 132  | 15,4 | 106  | 3,50 | 1,0    | 10,9                               |          |
| VC 24  | 414                                       | 655  | 39,1 | 187  | 74,2 | 117  | 56,3 | 7,43 | 49,7 | 14,7 | 16,1 | *    | 47,4 | *    | 1,1    | 5,76                               |          |
| VC 25  | 81,2                                      | 103  | *    | *    | *    | 87,4 | *    | *    | *    | *    | 15,0 | 5,61 | 59,7 | 6,87 | **     | **                                 |          |
| VC 26  | 2710                                      | 5010 | 556  | 1550 | 394  | 253  | 413  | 62,5 | 302  | 58,2 | 160  | 22,6 | 154  | 13,8 | 1,1    | 52,2                               |          |
| VC 27  | 267                                       | 540  | 24,7 | 134  | *    | 73,6 | 53,5 | *    | 32,5 | 13,7 | 26,8 | 8,09 | 39,5 | *    | **     | **                                 |          |
| VC 28  | 648                                       | 1080 | 80,5 | 337  | 80,4 | 115  | 100  | 15,5 | 73,1 | 23,9 | 44,0 | *    | 69,2 | *    | 1,2    | 15,6                               |          |
| VC 29  | 190                                       | 197  | *    | 31,6 | *    | 136  | 14,0 | *    | *    | 10,6 | *    | *    | 46,4 | *    | **     | **                                 |          |
| VC 30  | 258                                       | 440  | 9,5  | 122  | 34,3 | 112  | 53,9 | *    | 43,0 | 21,2 | 39,2 | 4,41 | 97,4 | 5,36 | **     | **                                 |          |
| VC 31  | 51,6                                      | 10,7 | *    | *    | *    | 91,3 | *    | *    | *    | *    | *    | *    | 20,0 | *    | **     | **                                 |          |
| VC 32  | 338                                       | 614  | 51,9 | 121  | 72,6 | 73,2 | 44,0 | 13,9 | 153  | 21,6 | 157  | 24,3 | 173  | 22,3 | 0,58   | **                                 |          |
| VC 33  | 40,8                                      | 10,4 | *    | *    | *    | 68,1 | *    | *    | *    | *    | *    | *    | 23,8 | *    | **     | **                                 |          |
| VC 34  | 1690                                      | 2570 | 327  | 970  | 323  | 189  | 308  | 48,0 | 264  | 69,3 | 141  | 19,6 | 159  | 14,9 | 1,1    | 24,8                               |          |
| VC 35  | 210                                       | 44,9 | *    | *    | *    | 338  | *    | *    | *    | *    | *    | *    | 27,1 | *    | **     | **                                 |          |
| VC 36  | 177                                       | 151  | *    | 29,5 | *    | 154  | 20,9 | *    | *    | *    | *    | 5,87 | 35,0 | *    | **     | **                                 |          |
| VC 37  | 195                                       | 240  | *    | 42,1 | *    | 92,2 | 32,2 | *    | 17,5 | 10,3 | 20,6 | 3,66 | 39,9 | *    | **     | **                                 |          |
| VC 38  | 1310                                      | 2840 | 255  | 749  | 227  | 114  | 219  | 42,6 | 277  | 59,9 | 233  | 36,0 | 320  | 57,5 | 0,94   | **                                 |          |
| VC 39  | 197                                       | 330  | 10,6 | *    | *    | 79,1 | *    | *    | 28,6 | *    | 25,0 | 4,20 | 98,5 | 15,6 | **     | **                                 |          |
| VC 40  | 168                                       | 299  | *    | 71,1 | *    | 94,7 | 42,8 | *    | 16,5 | 19,0 | 38,7 | 5,15 | 91,9 | 16,0 | **     | **                                 |          |
| VC 41  | 325                                       | 330  | 26,0 | 42,2 | 70,8 | 38,4 | 19,0 | 4,86 | 75,1 | *    | 62,6 | 6,05 | 71,0 | *    | 0,48   | **                                 |          |
| VC 42  | 75,3                                      | 185  | *    | *    | *    | 52,2 | *    | *    | *    | *    | *    | *    | 40,0 | *    | **     | **                                 |          |
| VC 43  | 123                                       | 204  | *    | 58,6 | *    | 66,6 | 35,6 | *    | 49,7 | 26,9 | 61,9 | 20,5 | 199  | 36,1 | **     | **                                 |          |
| VC 44  | 96,0                                      | 29,8 | 36,6 | *    | *    | 84,3 | *    | *    | *    | *    | 21,2 | *    | *    | *    | **     | **                                 |          |

| Vzorek | Koncentrace REE [ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] |      |      |      |    |      |      |    |      |    |      |    |      |      | Gd <sub>anom</sub> | Gd <sub>ant</sub><br>[ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ] | % sušiny |
|--------|---|------|------|------|----|------|------|----|------|----|------|----|------|------|--------------------|--|----------|
|        | La  | Ce   | Pr   | Nd   | Sm | Eu   | Gd   | Tb | Dy   | Ho | Er   | Tm | Yb   | Lu   |                    |  |          |
| VC 45  | 95,0                                      | 57,4 | 37,7 | 41,9 | *  | 72,3 | 17,6 | *  | 22,3 | *  | 23,7 | *  | 19,0 | 4,10 | **                 | **   |          |
| VC 46  | 116                                       | 89,4 | 43,5 | 47,5 | *  | 74,3 | 25,3 | *  | 33,9 | *  | 38,7 | *  | 17,4 | 5,38 | **                 | **   |          |
| VC 47  | 99,5                                      | *    | 31,4 | *    | *  | 113  | *    | *  | *    | *  | 15,0 | *  | *    | *    | **                 | **   |          |
| VC 48  | 94,3                                      | 76,4 | 41,4 | 47,1 | *  | 116  | 29,5 | *  | 41,9 | *  | 39,3 | *  | 25,4 | 5,18 | **                 | **   |          |
| VC 49  | 80,8                                      | *    | 31,2 | *    | *  | 68,6 | *    | *  | *    | *  | 17,3 | *  | *    | *    | **                 | **   |          |
| VC 50  | 50,3                                      | *    | 26,7 | *    | *  | 24,2 | *    | *  | *    | *  | *    | *  | *    | *    | **                 | **   |          |
| VC 51  | 91,7                                      | *    | 27,5 | *    | *  | 87,9 | *    | *  | *    | *  | 17,2 | *  | *    | *    | **                 | **   |          |

\* – naměřená koncentrace byla pod hodnotou limitu kvantifikace (LOQ), \*\* – na základě výpočtu nebylo Gd<sub>anom</sub> nebo Gd<sub>anth</sub> ve vzorku nalezeno, **MP** – mouka pšeničná, **Mr** – mrkev, **MS** – mouka špaldová, **MZ** – mouka žitná, **R** – rýže, **VB** – víno bílé, **VC** – víno červené, **VR** – víno růžové

**Příloha D** Seznam všech publikovaných prací, včetně přednášek a posterů prezentovaných na vědeckých konferencích

### 1. Články v odborných časopisech související s tématem disertační práce

**Mišíková F.**, Patočka J., Krejčová A.: *Multi-elemental analysis of wine sample using ICP-OES and ICP-MS methods. Anthropogenic gadolinium in wine*. Scientific Papers of the University of Pardubice, Series A, Faculty of Chemical Technology, 2021, vol. 27, no. 2021, s. 103-118. ISSN: 1211-5541.

**Černíková F.**, Krejčová A., Patočka J.: *Quantification of Gadolinium Presence in Flour, Rice, and Carrot Samples Using ICP-MS*. Journal of Food Composition and Analysis (2024). DOI: 10.1016/j.jfca.2024.107106. **Q2 (dle WOS), IF<sub>2024</sub> 4,0**.

### 2. Další články v odborných časopisech

Josefová D., **Mišíková F.**, Krejčová A., Patočka J.: *Gadolinium of anthropogenic origin in food crops*. Scientific Papers of the University of Pardubice, Series A, Faculty of Chemical Technology, 2022, vol. 28, no. 2022, s. 61-75. ISSN: 1211-5541.

### 3. Příspěvky ve sbornících z mezinárodních i domácích konferencí – prezentující autor

**Mišíková F.**, Krejčová A., Patočka J.: *Monitoring of Gadolinium Anomaly in Soil, Grapevine and Wine Samples from the Czech Republic*. Studentská odborná konference Chemie je život 2020, Vysoké učení technické v Brně (online konference), 26. – 27. 11. 2020, Sborník abstraktů, str. 108–109, ISBN 978-80-214-5920-0.

**Mišíková F.**, Borovská L., Krejčová A.: *Determination of trace elements in pure manganese matrix using inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)*. 73. Zjazd chemikov, Horný Smokovec, Vysoké Tatry, Slovensko, 6. – 10. 9. 2021, online sborník ChemZi 17/1 (2021), str. 169-170, ISSN 1336-7242.

**Mišíková F.**, Krejčová A., Patočka J.: *Determination of Anthropogenic Gadolinium and Correlation of Elements between Vineyard Soil, Vine, and Wine*. 21st European Meeting on Environmental Chemistry, Novi Sad, Srbsko, 30.11 – 3.12. 2021, Book of Abstracts str. 171, ISBN 978-86-7132-078-8.

**Mišíková F.**, Van Drimmelen Ch., Revel M., Heise S., Krejčová A.: *Vliv kontrastních látek na bázi gadolinia a hexahydrátu dusičnanu gadolinitého na růst dvou druhů sladkovodních mikrořas*. 74. sjezd chemiků, Olomouc, 4. – 7.9. 2022, Sborník příspěvků, str. 293, ISSN 2336-7210.

**Mišíková F.**, Kubitová P., Krejčová A.: *Mass Flow Balance of Gadolinium-Based Contrast Agents in Workplaces with Magnetic Resonance Imaging Services*. 22nd European Meeting on Environmental Chemistry, Lublaň, Slovinsko, 5. – 8. 12. 2022, Book of Abstracts, str. 119, ISBN 978-961-297-035-2 (PDF).

**Mišíková F.**, Krejčová A., Patočka J.: *Sledování gadoliniové anomálie a vstupu antropogenního gadolinia do potravních řetězců ve vybraných vzorcích mouky*. CoNFeReNCe, Rosteme s chemií, Pardubice, 15. – 16. 6. 2023, Sborník přednášek, str. 35, ISBN 978-80-7560-461-3.

**Mišíková F.**, Krejčová A., Patočka J.: *Antropogenní gadolinium vstupující do potravního řetězce*; 75. Zjazd chemikov, Vysoké Tatry, Slovensko, 4. – 8. 9. 2023, online sborník ChemZi 19/1 (2023), str. 177, ISSN 1336-7242.