

Posudek oponenta doktorské disertační práce

Autor: Ing. Alena Rodová
Název: Interakce nanoželeza s těžkými kovy a jejich využití v sanačních technologiích
Institute: Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
Studijní program: P3901 Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor: 3901V025 Přírodovědné inženýrství

Oponent: doc. RNDr. Josef Zeman, CSc.
Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav geologických věd
Kotlářská 2, 611 37 Brno
e-mail: jzeman@sci.muni.cz, tel.: 549 498 295

Předkládaná doktorská disertační práce „Interakce nanoželeza s těžkými kovy a jejich využití v sanačních technologiích“ má rozsah 103 číslovaných stran, do textu je zařazeno 34 obrázků a 51 tabulek. Pro vypracování práce použila doktorandka 66 literárních pramenů.

Z obsahového hlediska je práce rozdělena na tři hlavní kapitoly. Po *Úvodu*, ve kterém autorka seznamuje čtenáře s náplní a cíli práce, následuje první z hlavních kapitol. Ta je označena jako *Teoretická část* a autorka v ní uvádí čtenáře do poměrně nové problematiky přípravy a vlastností nanočástic nulmocného železa (nZVI). Následně charakterizuje základní interakce nZVI s vodou a uvádí příklady interakce železa s dusičnany a sírany. V další podkapitole už se zabývá kontaminanty, které jsou předmětem doktorské disertační práce, tedy chromem a arzenem. Uvádí jejich klíčové vlastnosti a chování v prostředí, kinetiku reakcí, vliv pH a dosavadní výsledky nasazení nZVI v laboratorním i terénním odstraňování kontaminace chromem a arzenem. Kapitola je uzavřena charakteristikou současného stavu nasazení užívaných technologií.

Následuje druhá hlavní kapitola, označená jako *Experimentální část*, která obsahuje výsledky, kterých doktorandka dosáhla při řešení disertačního tématu. Experimentální práce byly rozděleny do dvou samostatných tematických okruhů. První okruh byl zaměřen na studium imobilizace chromu. Cílem laboratorních testů bylo získat soubor prakticky využitelných podkladů pro provedení pilotní zkoušky na vybrané lokalitě. Druhý tematický okruh byl zacílen na výzkum využití nanočástic při imobilizaci arzenu. Experimentální práce byly zaměřeny více do oblasti základního výzkumu. Vedle studia základních charakteristik imobilizace byl posuzován také vliv spolusrážení vybraných ionů na průběh sanačního procesu.

Nejprve se doktorandka zabývala studiem mobility nanočástic v horninovém prostředí, následně pak uvádí charakteristiku lokalit, vodného prostředí a zvolenou metodiku. Dále jsou uvedeny výsledky klíčových zkoušek pro pilotní testy a provozní aplikace k odstranění kontaminace reálného prostředí chromem na lokalitách PERMON Křivoklát a TRW Jablonec a odstranění či snížení kontaminace arzenem na lokalitách Kaňk u Kutné Hory a Břeclav-Pošterná. Kapitola je doplněna výsledky studia pevných produktů imobilizace arzenu a výsledky laboratorních zkoušek užití experimentálních typů nanočástic.

Poslední hlavní kapitolou je kapitola s názvem *Sanace lokality KARA Trutnov pomocí nanočástic*, ve které jsou kompletně popsány výsledky pilotního testu nasazení nZVI pro reálnou sanaci lokality kontaminované chromem.

Hlavní výsledky dosažené při řešení doktorského tématu jsou shrnuty v kapitole *Závěr*. Poněkud neobvykle následuje přehled použitých analytických metod. Doktorská práce je doplněna použitou *Literaturou* a *Sezná-*

mem publikací v rámci doktorského studia, ve kterém doktorandka uvádí předložené či publikované odborné práce, které se týkají řešeného tématu a seznam příspěvků na odborných konferencích.

Zpracování doktorské práce byla věnována náležitá pozornost, rukopis prakticky neobsahuje překlepy, obrázky i tabulky jsou přehledné a názorné. Všechny dosažené výsledky jsou řádně dokumentovány a závěry řádně odvozeny.

V rámci řešeného doktorského tématu se podjala doktorandka extrémně náročného úkolu. Použití nanočástic v sanacích, ovlivňování přírodního prostředí či medicíně, abych jmenoval alespoň některé směry výzkumu, je poměrně nový a rychle se rozvíjející vědní obor. Přes principiální potenciál, který mají nové technologie v aplikacích, se jako vždy naráží na celou řadu „drobných“ problémů, které v uplatnění očekávaného potenciálu brání. Předkládaná práce má výrazně aplikační charakter, přesto se doktorandka nebála začít se základním výzkumem sledovaných interakcí, na základě laboratorních experimentů pomocí geochemického modelování a stabilitních diagramů odvodila principiální mechanismus interakcí. Kromě základních experimentálních postupů zvládla i interpretaci výsledků z takových pokročilých metod, jako je metoda laserové difrakce měření velikosti částic či Mössbauerova spektroskopie. Velmi dobře zvládla přechod od laboratorního sledování, kde je několik základních parametrů exaktně kontrolováno, k reálnému prostředí, kde se projevuje celá řada vlivů, které pod kontrolou nejsou.

Protože se jedná o výrazně aplikační práci, která je svou významnou částí vázána na konkrétní lokality, je poměrně obtížné uplatnit výsledky ve světově uznávaném časopise s impaktním faktorem. Je proto pochopitelné, že jsou hlavní publikační výstupy orientovány na domácí konference, věnované sanačním technologiím. Jedna publikace byla nabídnuta do časopisu s impaktním faktorem (o jejím osudu nemám informace) a doktorandka je autorkou jedné kapitoly v knize o chemicky podporovaných in situ technologiích.

K práci mám dvě připomínky:

- Vzhledem k poměrně rozsáhlému využití modelovacího softwaru Geochemist's Workbench by měl být software řádně citován a ne jen zmíněn v rámci oddílu Seznam použitých zkratk a symbolů.
- U zkoušek experimentálních typů nanočástic jsou jednotlivé typy označeny jako „experimentální nanočástice č. 1–10“ bez toho, že by bylo alespoň naznačeno, v čem spočívaly rozdíly v úpravě. Chápu, že se jedná o „výrobní tajemství“, na druhou stranu je otázkou, jaký je pak přínos uvádění takových výsledků kromě dokumentace rozsahu provedených prací.

K práci mám následující otázky:

- Str. 57 a str. 93: Doktorandka uvádí, že hlavními konkurenčními aniony imobilizace arzenu byly fosforečnany a dusičnany. Má autorka nějakou představu, v čem spočívá konkurenční působení těchto anionů?
- Str. 65 a str. 93: Autorka konstatuje, že „Pro vody tohoto typu, obsahující železo, resp. Fe^{2+} řádově v koncentracích g/l, však lze aplikaci nanočástic železa označit za neúčelnou.“ Jako důvod uvádí, že provzdušnění takových vod vede samo o sobě k dostatečnému odstranění arzenu. V čem je podle autorky rozdíl v působení rozpuštěného a oxidovaného Fe^{2+} a částic nZVI?
- Dekontaminace šestimocného chromu působením nZVI v laboratoři i v terénu běží podle uvedených zkoušek bezproblémově a bylo dosaženo výtečných výsledků. Je možné podle zkušeností doktorandky předpokládat problémy v určitých typech prostředí (další těžké kovy, některé aniony)?

Závěr

Podle mého názoru doktorandka splnila cíle disertační práce, prokázala, že je schopna samostatně vědecky pracovat a své výsledky prezentovat odborné veřejnosti. Za přednost považuji, že dokázala propojit práce v řadě teoretická příprava-laboratorní výzkum-terénní výzkum-aplikace. Podle mého názoru odpovídá předlo-

žená doktorská práce nárokům kladeným na doktorské práce. Jsem toho názoru, že doktorandka splnila všechny požadavky kladené na doktorské disertační práce. Doktorskou práci Ing. Aleny Rodové doporučuji k obhajobě před stanovenou komisí a po úspěšném obhájení doporučuji udělení titulu Ph.D.

V Brně 30. 10. 2014


Doc. RNDr. Josef Zeman, CSc.

OPONENTSKÝ POSUDEK

Oponovaná práce: Dizertační práce, Technická univerzita v Liberci,
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
Studijní program: P3901 Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor: 3901V025 Přírodovědné inženýrství

Název práce: **Interakce nanoželeza s těžkými kovy a jejich využití v sanačních technologiích**

Autor práce: **Ing. Alena RODOVÁ**

Vedoucí práce: Doc. Dr. Ing. Miroslav ČERNÍK, CSc.

Autor posudku: Dr. Ing. Petr ANTOŠ, Ph.D., EURING, EurChem

Vypracováno v: Ústí nad Labem, 9. 10. 2014

1. Zhodnocení průběhu, výsledků a splnění cílů práce

Cílem disertační práce Ing. Aleny Rodové bylo zpracovat laboratorní studii o možnostech a rizicích využití různých typů nanočástic elementárního železa pro odstraňování chrómu a arzenu z podzemních a odpadních vod v tuzemských podmínkách. V oblasti imobilizace chrómu bylo cílem doplnit dosavadní publikované výsledky a ověřit klíčové parametry pro konkrétní podmínky a typy nanočástic pro případné nasazení technologie na tuzemské kontaminované lokality. V oblasti imobilizace arzenu bylo cílem posouzení vlivu koprecipitace vybraných iontů na průběh sanačního procesu a přínos aplikace nanočástic ve srovnání se stávajícími způsoby zpracování kontaminovaných vod. Disertační práce má 103 strany, neobsahuje žádné přílohy a obsahuje 66 literárních odkazů včetně seznamu publikovaných prací.

Autorka v první části práce provedla literární rešerši týkající se nanočástic elementárního železa a jejich interakce s prostředím. Teoretická část obsahuje též kapitoly věnované sloučeninám chrómu a arzenu a principům interakce těchto prvků s nanočásticemi. Teoretická část vzhledem k celkovému rozsahu práce není nikterak obsáhlá, ale vystihuje řešenou problematiku dostatečně, je napsaná srozumitelně a na dobré odborné úrovni.

Ve druhé části práce se již autorka věnovala experimentální práci. Zkoušky účinnosti nanočástic železa při imobilizaci šestimocného chrómu byly provedeny ve vsádkovém uspořádání na modelových vodách a podzemních vodách z kontaminovaných lokalit Permon Křivoklát a TRW Jablonec. Schopnosti nanočástic železa byly prověřovány z pohledu optimálního dávkování, vlivu pH na sanační proces a rychlost stárnutí a ztráty aktivity nanočástic Fe. Zkoušky účinnosti nanočástic železa při imobilizaci trojmocného a pětímocného arzenu byly provedeny ve vsádkovém uspořádání na modelových vodách a podzemních vodách z kontaminovaných lokalit Kaňk u Kutné Hory a Břeclav Poštorná. Byly sledovány změny složení vod v důsledku změny redoxních podmínek a vliv změny pH na koncentraci arzenu. Značná pozornost byla věnována studiu pevných produktů imobilizace arzenu s využitím metod XPS, práškové difrakce a Mössbauerovy

spektroskopie na specializovaných pracovištích. V závěru experimentální části jsou testovány vývojové typy nanočástic železa z Palackého univerzity v Olomouci.

Výsledky analýz a experimentálních testů včetně jejich diskuse jsou uvedeny na závěr příslušných kapitol, za nimi následují výsledky pilotního testu na lokalitě Kara Trutnov a závěr s uvedením nových poznatků. Výsledky jsou uvedeny přehledně, mají logickou návaznost a jsou diskutovány odpovídajícím způsobem. Cíle práce jsou uvedeny v úvodu. Práce končí přehledem použitých analytických metod, seznamem použité literatury a seznamem autorkou publikovaných prací.

2. Připomínky a dotazy

- a) Z jakých důvodů a čím se stabilizují nanočástice elementárního železa?
- b) Jaké jsou další možné metody měření velikosti částic nanočástic a částic mikronových velikostí?
- c) Na jakých kontaminovaných lokalitách v České republice připadá v úvahu využití zkoumané technologie?

3. Celkové zhodnocení práce

Výsledky práce svým obsahem naplňují cíle disertační práce. Při řešení úkolů práce bylo použito odpovídajících metod zkoumání, které jsou ve velké většině normované a v technologii vody používané. Dosažené výsledky mají dobrou vypovídací hodnotu a jsou použitelné pro další vývoj a výzkum v oblasti sanačních technologií. Výsledky získané při aplikaci v reálném horninovém prostředí v lokalitě Kara Trutnov jsou významné pro průmyslovou praxi. Vnější úprava a formální náležitosti práce jsou na požadované úrovni, práce je přehledná a dobře členěná, je napsaná dobrou češtinou s minimem pravopisných chyb.

4. Závěr

Předloženou disertační práci doporučuji k obhajobě.



Ústí nad Labem, 9. 10. 2014

Petr Antoš