

Využití nanomateriálů v sanačních technologiích

Silvie Pekařová

Bakalářská práce
2009/2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav inženýrství ochrany živ. prostředí
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Silvie PEKAŘOVÁ**
Studijní program: **B 2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Chemie a technologie materiálů**
Téma práce: **Využití nanomateriálů v sanačních technologiích**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte dostupnou literaturu a informační zdroje vztahující se k zadanému tématu.
2. Provedte kritické srovnání nalezených informací.
3. Formulujte závěry.



Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Roman Slavík, Ph.D.

Ústav inženýrství ochrany živ. prostředí


Datum zadání bakalářské práce:

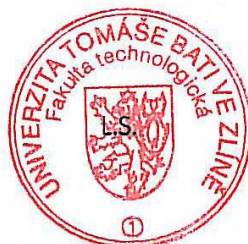
15. února 2010

Termín odevzdání bakalářské práce:

28. května 2010

Ve Zlíně dne 15. února 2010


doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



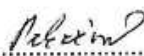

doc. RNDr. Jan Růžička, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 28. 5. 2010


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací;

(1) Vysoká škola nevydávalečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) *Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.*

(3) *Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.*

²⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*

(3) *Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).*

³⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy a užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.*

(2) *Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.*

(3) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá využitím nanomateriálů v sanačních technologiích. V úvodní části je popsáno obecné využití nanomateriálů v různých oborech. Ve druhé části jsou uvedeny různé druhy nanomateriálů a nanočástic, které se používají pro čištění, zejména podzemních vod, od kontaminantů ohrožujících životní prostředí. Jako nejvyhledávanější nanomateriál je v práci popsáno nulavalentní nanoželezo (nZVI).

Klíčová slova: nanomateriály, nanočástice, kontaminanty, životní prostředí, nZVI

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the use of nanomaterials in remediation technologies. The introductory section describes the general use of nanomaterials in various fields. The second part lists the different types of nanomaterials and nanoparticles, which are used for cleaning, especially under-ground water from contaminants that threaten the environment. As the most coveted nanomaterials in the work described nanoscale zero-valent iron. (nZVI).

Keywords: nanomaterials, nanoparticles, contaminants, Enviroment, nZVI

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Romanu Slavíkovi, Ph. D. za cenné připomínky a odborné rady potřebné pro vypracování této práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 CO JSOU TO NANOMATERIÁLY	11
1.1 HISTORIE NANOMATERIÁLŮ.....	11
1.2 VYUŽITÍ NANOMATERIÁLŮ	12
1.2.1 Příklady aplikací nanomateriálů.....	13
2 VYUŽITÍ NANOMATERIÁLŮ V OBLASTI ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ	17
2.1 NANOMATERIÁLY A FILTRACE VODY	17
2.2 NANOMATERIÁLY A DESINFEKCE VODY	19
2.3 APLIKACE NANOMATERIÁLŮ PRO ČIŠTĚNÍ PODZEMNÍ VODY.....	21
2.3.1 nZVI (nanoscale zero-valent iron).....	22
ZÁVĚR	28
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	29
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	33
SEZNAM OBRÁZKŮ	34

ÚVOD

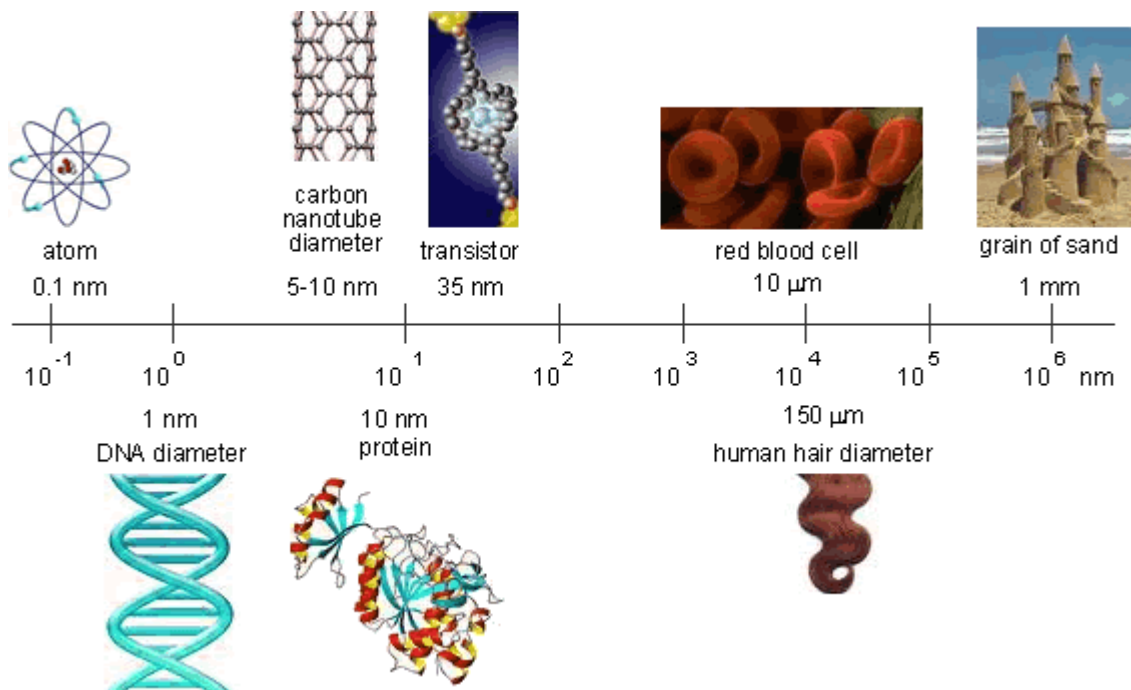
V poslední době jsou nanotechnologie neustále se vyvíjejícím odvětvím. Aplikace nanomateriálů lze nalézt skoro u všech oborů a jsou nejen diskutovaným tématem odborníků, ale i laické veřejnosti.

Tato práce se zaměřuje na využití nanomateriálů v sanačních technologiích především na problematiku čištění vod podzemních, odpadních a technologických. V práci je také sledována oblast potencionálních rizik využití nanomateriálů a jejich dopad na zdraví člověka nebo jiných organismů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CO JSOU TO NANOMATERIÁLY

Jsou to materiály nebo látky jejichž jeden z rozměrů má velikost od 1 nm až 100 nm. S jistým prostorovým uspořádáním mohou vytvářet nanotrubičky, nanokompozity, nanodrátky, tenké filmy nebo vrstvy. Další důležitou vlastností je zvýšení poměru plochy povrchu k objemu částic nanomateriálů. To znamená, že počet atomů, které tvoří povrch nanočástic je mnohem větší než počet atomů uvnitř nanočástice. Tato charakteristika ovlivňuje většinu fyzikálních a chemických vazeb na hranicích zrn v materiálu. Nakonec chování atomů v nanomateriálech se řídí kvantovou fyzikou a ne zákony běžné fyziky, kvantové jevy tedy vedou k novým možnostem. Obrázek 1 prezentuje rozdíl mezi mikro a nanostrukturami. [1]



Obr. 1. Příklady nanostruktur v porovnání s mikrostrukturami [2].

1.1 Historie nanomateriálů

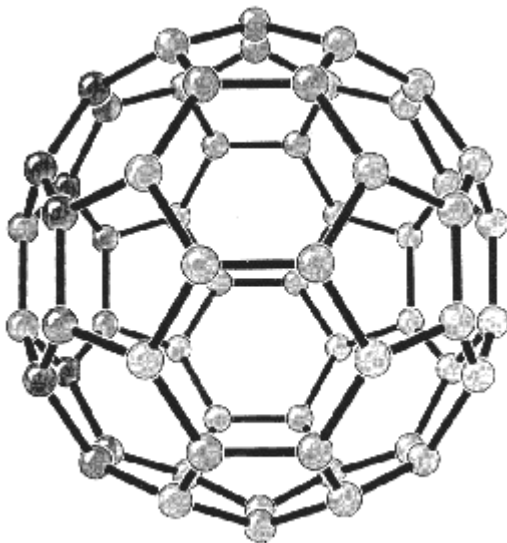
Richard Philips Feynman se narodil v New Yorku 11. května 1918. Tento významný vědec a laureát Nobelovy ceny za fyziku v roce 1965 stál u zrodu nanotechnologie. V roce 1959 na jeho přednášce s názvem "There is plenty room at the bottom" (Tam dole je spousta místa), která se konala American Physical Society v California Institute of Technology (Caltech), předpověděl možnost manipulace s molekulami a atomy, jakmile bude k dispozici technika, která nám dovolí nahlédnout do těchto struktur a umožní měřit jejich

vlastnosti. Tehdy nazýval tento obor mikrotechnologie. Na jeho počest je každoročně udělována Feynmanova cena za přínos v oboru nanotechnologie. [3, 4]

Již v 80. letech byly vynalezeny přístroje jako rastrovací tunelový mikroskop STM (ang. Scanning Tunneling Microscope) nebo mikroskop, který využívá atomových sil AFM (ang. Atomic Force Microscope), které slouží ke zkoumání nanostruktur. V 90. letech došlo k prvním úspěšným pokusům technologií v měřítku nanometrů. [4, 5]

1.2 Využití nanomateriálů

K rozvoji nanomateriálů přispěl v roce 1985 objev třetí formy uhlíku (vedle grafitu a diamantu) Fullereny. Fyzikální vlastnosti fullerenů, jako je vysoká tvrdost, magnetické vlastnosti, supravodivost, lehkost vedly k rozvoji materiálů v nano měřítku. Na obrázku 2 je nejstabilnější molekula fullerenu *buckminsterfulleren*, která se skládá z 60 atomů uhlíku a ty jsou uspořádány do pentagonů a hexagonů. Vypadají jako fotbalový míč. [6, 7]



Obr. 2. Molekula fullerenu z 60 atomů uhlíku [8].

V současné době jsou nanomateriály velice aktuální problematikou a je velká snaha o vyvíjení technologií na principu nanostruktur. Nanomateriály se mohou skládat z kovů, polymerních materiálů nebo kompozitů. A využívají se především částice ve formě nanoprášků.

Nové materiály v nanoměřítku jsou konkurenty již známým materiálům v mikroměřítku díky svým novým a lepším vlastnostem, které jsou odvozeny od jejich velikosti a tvaru. Jsou kladným přínosem ve zlepšení technologií a jejich aplikace jsou možné v prakticky všech oborech.

Jako velice přínosné se nanomateriály ukazují v ochraně životního prostředí a to pro jejich schopnost odstraňovat škodlivé látky z vod, v kosmetickém průmyslu, kde se využívá nanočástic Fe_2O_3 jako přísada do líčidel a rtěnek, v lékařství k detoxikaci tekutin a krve a jiné v elektronice v podobě uhlíkových trubiček, ve stavebnictví, ve vojenském a kosmickém průmyslu a v mnoha dalších odvětvích, kterými jsou lidé obklopeni. [1, 7]

1.2.1 Příklady aplikací nanomateriálů

V medicíně se nanomateriály využívají například k cílené likvidaci tumorů, kde se uplatňuje absorpční schopnosti nanočástic cíleně usazených v nádorových buňkách. Po ozáření (elektromagnetickém nebo infračerveném záření) dojde ke zničení nádorové tkáně. Další z příkladů může být NMR (nukleární magnetická rezonance), zde se využívají nanočástice oxidů jako kontrastní látky. Například k vyšetření jater NMR na bázi oxidů železa. Další z možností je cílená doprava léčiv, nanočástice mají schopnost nést lék a dopravit jej do těla tam, kam je potřeba a přitom chrání samotný lék před zničením v organismu. Také dochází k rychlejší účinnosti. V medicíně se uplatňují i desinfekční roztoky nové generace, implantáty, transplantace, nanoroboti. [1, 5]

Částice nano křemíku se využívají v elektronice pro výrobu procesorové technologie. Tyto procesory pak umožňují rychlejší a spolehlivější přenos dat. Na obrázku 3 je nano procesor od společnosti VIA Technologies.



Obr. 3. Nano procesor [9].

Stejně tak se křemíkové nanokrystaly mohou uplatnit v solární technologii jako křemíkové solární články. [11]

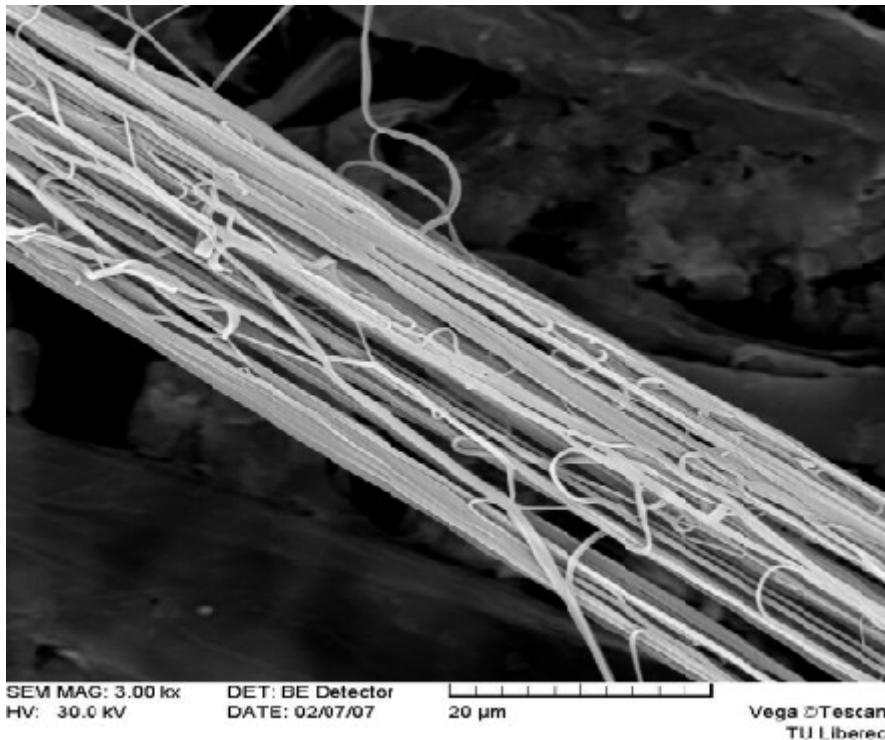
Ve strojírenském průmyslu se uplatňuje nano nikl, který chrání materiál proti oděru a agresivním chemikáliím. Například ocel chráněná povlakem z nanočástic niklu je odolná vůči kyselinám (HNO_3 , H_2SO_4 , HCl), zásadám i rozpouštědlům a dodává materiálu mechanickou stabilitu. [5, 10]

Pro zlepšení kvality a zvýšení trvanlivosti se nanomateriály rozvíjí v potravinářském průmyslu. Stejně tak i na zvýšení účinnosti potravinových doplňků. Příkladem může být nanokoenzym Q10, který má oproti klasické formě koenzymu Q10 mnoho násobně vyšší vstřebatelnost, jeho účinky nastupují rychleji a vstřebává se beze zbytku. Nanomateriály se zde používají i ke značkování potravin, což umožňuje sledovat jejich původ. [1]

Nanovlákná disponují vlastnostmi, které umožňují široké využití v různých odvětvích lidské činnosti.

Nanovlákná jsou vlákna mající tloušťku asi 200 nm a jsou viditelné pouze v elektronovém mikroskopu. Jednou z možných výrobních technologií nanovláken je technologie zvaná „nanospider“.

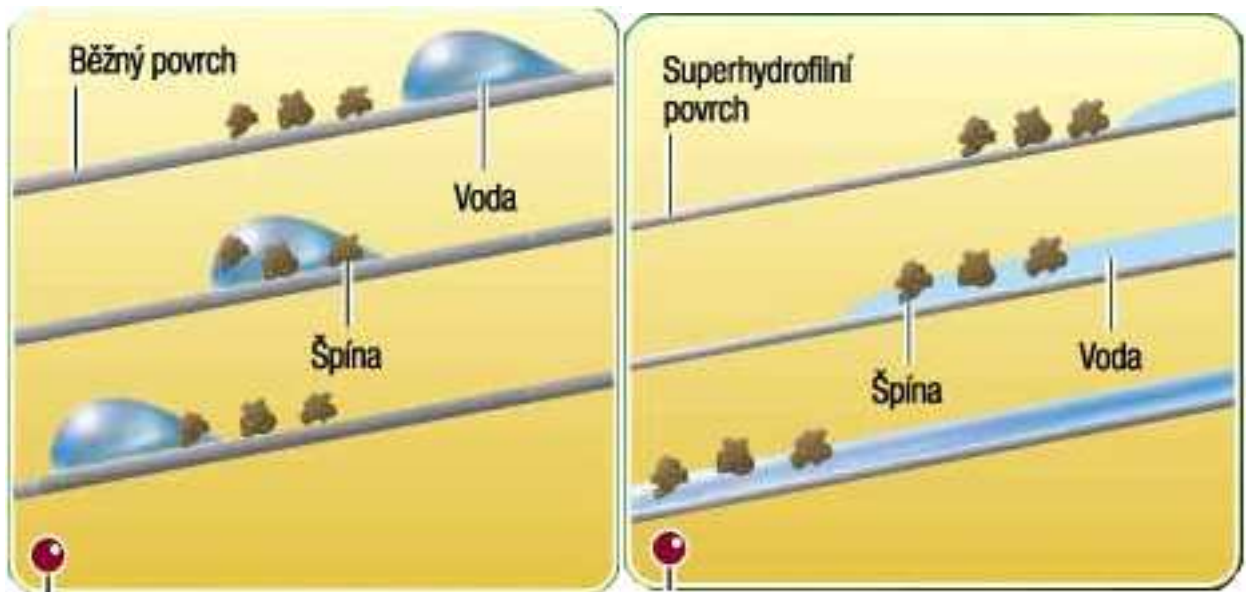
Výroba spočívá v elektrostatickém zvlákňování polymerů, na obrázku 4 je nit získaná touto technologií.



Obr. 4. Nit z nanovláknů [12].

Využívají se například ve stavebnictví, protože nanovláknů mají výborné zvukové izolační vlastnosti. Protože nanovláknů mají velmi malé velikosti pórů, které nepropustí bakterie ani viry, nachází uplatnění jako náplně do filtrů na místech, kde jsou kladeny nároky na nejvyšší čistotu vzduchu (laboratoře, chirurgické sály a jiné). V současnosti se vyvíjejí technologie pro použití nanovláknů v solární energetice. Díky své odolnosti a pevnosti jsou využitelné jako ochranné oděvy. [10, 13]

Nanočástice TiO_2 se uplatňují ve stavebním průmyslu na výrobu samočisticích skel či fasád. Na obrázku 3 je znázorněn rozdíl mezi běžným povrchem, kde kapka navlhčí povrch jen částečně a většinu špíny nechá za sebou a superhydrofilním povrchem, kdy se voda rozprostře rovnoměrně a špína jde pryč.



Obr. 5. Rozdíl mezi běžným povrchem a povrchem pokrytým nano TiO_2 [14].

V kosmetickém průmyslu se nanočástice jako je ZrO_2 a Fe_2O_3 používají v krémech na obličej, jako přísady do rtěnek, opalovací krémy obsahují nanočástice oxidu zinečnatého, které odrážejí UV záření. [1, 10]

Všemi průmyslovými činnostmi dochází k produkci odpadů a to pevných či kapalných. Jednou z možností odstranění odpadů pevných je stabilizace/solidifikace například použitím cementu a následné uložení na skládku. Kapalné odpady, které obsahují širokou škálu nejrůznějších kontaminantů, se dostávají do povrchových i podzemních vod. Zde se uplatňují technologie ochrany životního prostředí, které využívají nanomateriály pro větší efektivitu degradace a odstranění těchto nežádoucích polutantů z vod.

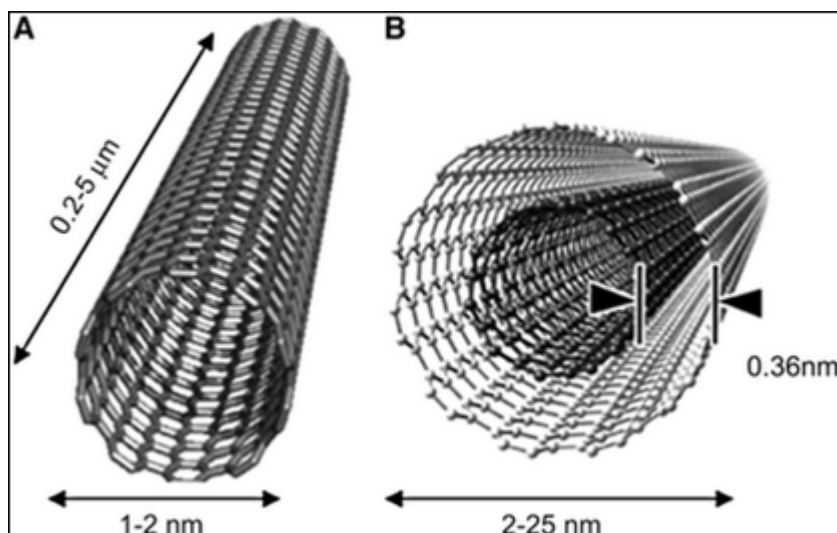
2 VYUŽITÍ NANOMATERIÁLŮ V OBLASTI ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

V současné době se v ochraně životního prostředí využívají nanočástice a nanomateriály, především pro in-situ čištění podzemních vod, které byly znečištěny průmyslovou, komunální či technologickou činností. Tyto vody obsahují širokou škálu obvyklých kontaminantů, jako jsou chlorované organické sloučeniny (TCE), anorganické ionty (nitráty a perchloráty), těžké kovy (As, Pb, Cu, Ni, Cr⁶⁺, U), polychlorované bifenyly (PCB), které patří mezi perzistentí organické polutanty a organofosfáty, což jsou látky toxické a některé je možné zařadit i mezi bojové chemické látky (fosfan). V posledních letech došlo v oblasti sanace životního prostředí k rozvoji technologií a inovací metod. Tyto technologie jsou založené na chemickém rozkladu organických kontaminantů nebo imobilizaci/dekontaminaci anorganických kontaminantů aplikací vhodných činidel přímo do horninového prostředí [15]. Používanými rozkladnými typy je chemická redukce či oxidace. Jako nejvhodnější redukční činidlo se jeví kovové železo připravované v různých formách, dalšími materiály mohou být například oxid titaničitý, jako fotokatalyzátor pro desinfekci podzemních vod, uhlíkové nanotuby, nanozeolity a mnoho dalších. [15, 16]

2.1 Nanomateriály a filtrace vody

Uhlíkové nanotrubky přitáhly pozornost už v okamžiku jejich objevení v roce 1991, kdy Sumio Iijima dokázal připravit fullereny, které byly válcové. Jsou to trubky, které jsou asi 10 000 krát tenčí než lidský vlas a skládají se čistě z uhlíku. Ačkoliv použití uhlíkových nanotrubeček bylo po technologické stránce navrženo vyrobit tyto struktury, aby měly dané geometrické tvary, danou hustotou a rozměry pro specifické aplikace jako je například filtrace, bylo stále zkoumáno. V roce 2004 došlo k výrobě filtrů z uhlíkových nanotrubiček, které se skládaly z dutých cylindrů s radiálně sladěnými stěnami uhlíkové nanotrubičky. Tyto nanotrubičky odstraňovaly bakterie (*Escherichia coli*) a patogeny *poliovirus sabin 1* ze znečištěné vody. Uhlíkové nanotubové filtry byly znovu používány a čištěny ultrazvukem nebo v autoklávu. Na obrázku 6 je znázorněna molekulární struktura jednouhlíkových nanotrubiček a multi-uhlíkových nanotrubiček, které díky svými jedinečnými strukturálními vlastnostem, jako je vysoká tepelná a mechanická stabilita s velkým povrchem, jsou potencionálně efektivní absorbenty pro různé druhy znečištění podzemních vod. Praktické použití je ovšem komplikováno jejich nízkou rozpustností a složitostí je

odloučit od jejich disperzního média. A také je třeba, aby uhlíkové nanotrubičky byly seřazené v jednom směru ve filtračním zařízení. V současné době mají nanotrubičky formaci „mats of ropes“, což znamená, že jednotlivé vlákna jsou ve svazku v různých směrech, takové uspořádání brání vodě procházet vnitřkem trubky a tím omezuje použití pro filtraci vody. Ale i přes tyto nedostatky jsou již vyvinuty filtry, které používají technologii uhlíkových nanotrubiček. Filtr se skládá z nanotrubiček, které jsou ve tvaru sítě vrstveny jedna na druhé různými směry a jsou ovinuté kolem uhlíkového bloku struktury filtru. Nanotrubičky umožňují přejít molekulám vody skrz, zatím co chemické a mikrobiální kontaminanty, jako jsou například těžké kovy nebo chlorované uhlovodíky, nemohou. To se uskutečňuje s velkou rychlostí proudění a pod velmi malým tlakem vstupu vody přes nanotrubičky. Je to tedy velká výhoda oproti stávající technologii. [10, 16, 17]

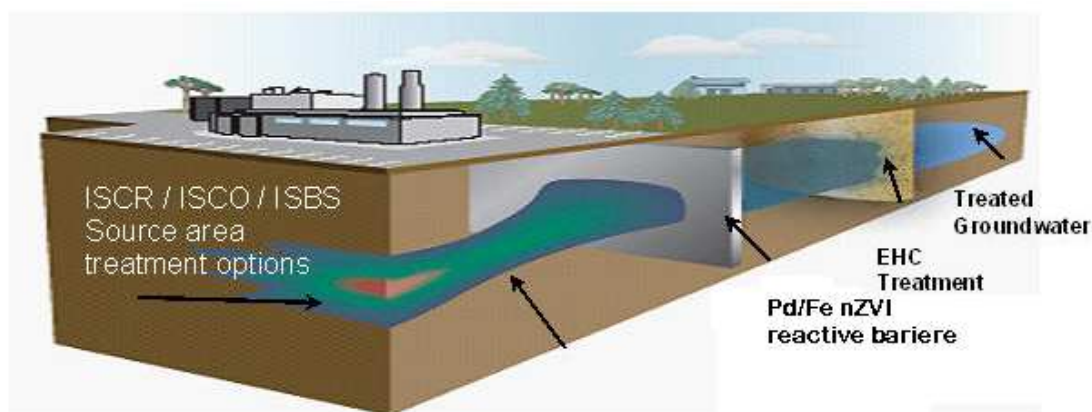


Obr. 6. Single-walled carbon nanotube, multi-walled carbon nanotube (S/MWNT) [18].

Pro procesy filtrace byly rovněž vyvinuty reaktivní a funkční membrány. Úspěšná je výroba hliníkových membrán s použitím hliníkových nanočástic. Tyto membrány vykazují vysoký tok a vysokou účinnost uchování dvojmocných kationů (Ca^{2+} , Mg^{2+}) (DeFriend et al. 2003).

Použitím železných (Fe) nanočástic nebo bimetalických nanočástic, je možné docílit dechlorace halogenovaných organických sloučenin. Ačkoliv pozorovaná reaktivita Fe nanočástic se ztratila rapidní oxidací a hydrolyzou, dlouhodobá stabilita může být zvýšena imobilizací. Z tohoto důvodu došlo k rozšíření reaktivních membrán zabudováním částic nula valentního nano-železa (nZVI) do celulozových acetátových filmů. nZVI byl synteti-

zován v mikroemulzi olej-voda a smíchan s aceton-acetátem celulózy, poté byl vpraven do reaktivní membrány. Účinek takových reaktivních membrán byl zkoumán a byl prokázán jejich účinek na dechloraci trichlorethylenu ve vodě (Wu et al. 2005). Redukční reaktivní membrány byly také připravovány inkorporací bimetalických nanočástic (Pt/Fe, Pd/Fe..). Na obrázku 7 je reaktivní membrána s bimetalickými nanočásticemi Pd/Fe, kdy kontaminovaná voda prochází membránou bez polutantů. Použitím bimetalických nanočástic železa bylo prokázáno rychlé snížení trichlorethylenu a až na ethan, jako vedlejší produkt (Sehrick et al. 2002). [16]



Obr. 7. Reaktivní bariéra z Pd/Fe nanočástic [19].

2.2 Nanomateriály a desinfekce vody

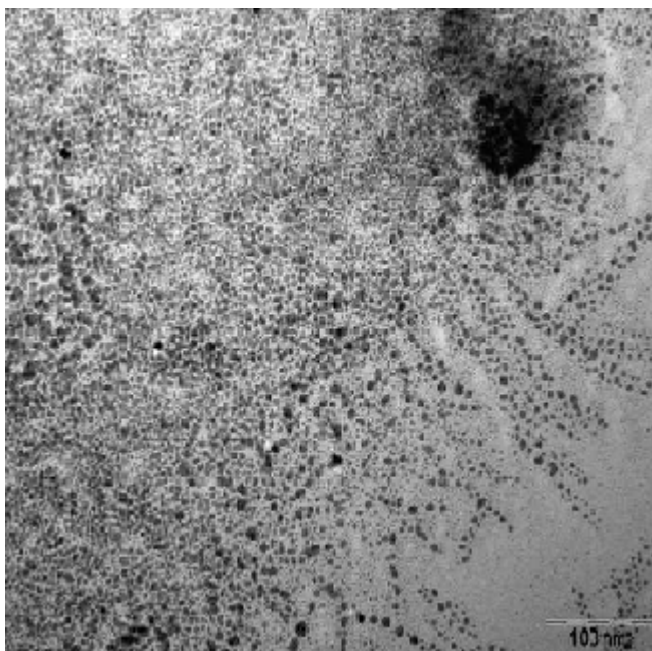
Desinfekce pitné vody je obvykle prováděna přidavkem silného oxidantu jako je chlor, který poskytuje trvalou ochranu proti růstu bakterií a patogenů po určitou časovou periodu. Avšak použití takové látky může vést k nežádoucím příchutím a pachům ošetřené vody. Tyto sloučeniny mají tendenci generovat toxické vedlejší produkty dezinfekce jako kyseliny a aldehydy. Z tohoto důvodu dochází k rozvoji alternativních technologií. Nejvíce slibnými nanomateriály s antimikrobiálními vlastnostmi jsou kovové a oxidokovové částice. [16]

Stříbrné ionty i sloučeniny byly dlouho známy tím, že mají toxické účinky na širokou škálu mikroorganismů a různé preparáty na bázi stříbra byly využívány jako antimikrobiální látky v rozličných lékařských technikách. Stabilizace a imobilizace kovových nanočástic v různých maticích také dosáhla zvýšené důležitosti, protože takové nanočástice prezentují vysokou antibakteriální aktivitu, nízkou toxicitu, tepelnou odolnost, chemickou stabilitu a

dlouhotrvající akční období. Z tohoto důvodu byla popsána příprava stříbrných (Ag) nanočástic redukcí roztoku stříbrného nitrátu s kyselinou askorbovou za přítomnosti Daxad 19 jako stabilizačního činidla. [16]

Ačkoliv antibakteriální aktivita stříbra byla extenzivně studována, efekt Ag nanočástic na bakteriální mechanismy byl pochopen pouze částečně. Potvrzeno ale je, že výsledné strukturální změny v člankové membráně může způsobit růst prostupnosti článků a jejich zničení. Bylo také prokázáno zničení bakteriálních membrán, ve kterých je indukováno formování volných radikálů. [16]

Na obrázku 8 jsou nanočástice stříbra pozorovány pod transmisním elektronovým mikroskopem.

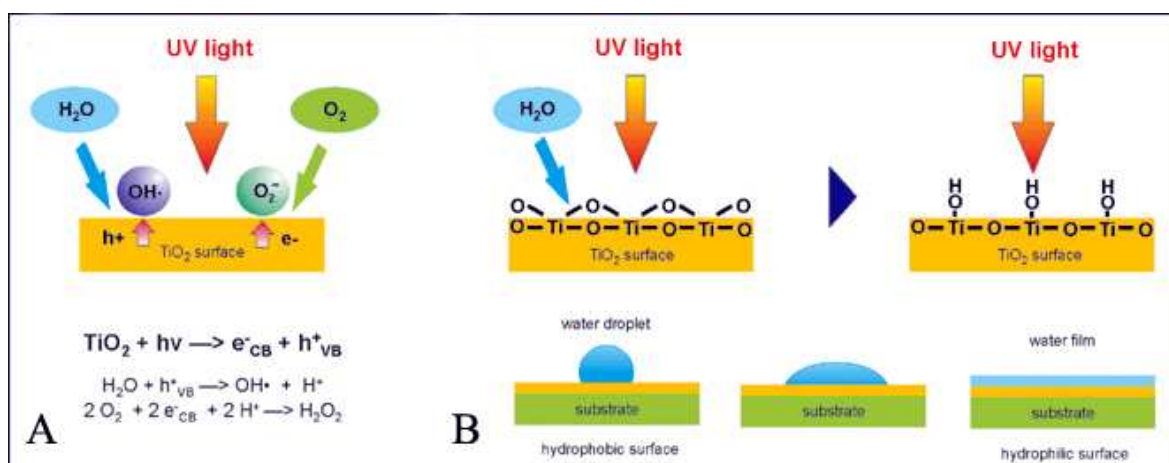


Obr. 8. Nanočástice stříbra pozorované mikroskopem [20].

V současné době se zvýšil zájem o oxid titaničitý (TiO_2), jako homogenního fotokatalyzátoru pro dezinfekci vod vzhledem k jeho potenciálu odstraňovat široké spektrum organických i anorganických sloučenin.

Oxid titaničitý tvoří dvě krystalické formy rutil a anatas. Rutil se běžně používá jako anorganický pigment, který je součástí nátěrových hmot a plastů a je známý jako titanová běloba už delší dobu. Ovšem aplikace založené na využití nanokrystalického anatasu se začaly rozvíjet teprve v nedávné době [21]. Nejvíce žádané jsou dvě vlastnosti TiO_2 , fotokatalytická aktivita a fotokatalycky indukovaná superhydrofilita. Na obrázku 9 v části A je zná-

zorněno, jak působí TiO_2 na nežádoucí látky a mikroorganismy obsažené ve vodě. Po ozáření ultrafialovým zářením (vlnová délka je menší než 390 nm) dojde na povrchu nanočástic TiO_2 k degradaci celé organické struktury včetně mikroorganismů. Tento děj je založen na absorpci UV záření polovodičovou elektronovou strukturou TiO_2 , tím dojde ke vzniku kladných a záporných nábojů. Tyto částice se na povrchu oxidu titaničitého, za přítomnosti vody a kyslíku, přemění na radikály, vykazující vysokou reaktivitu (OH^\cdot a $\text{O}_2^\cdot^-$). Vznikem reaktivních radikálů, které působí na organické látky a mikroorganismy, dojde k několika degradačním reakcím, jejichž produktem je vznik neškodných minerálních produktů. Druhou vlastností anatasu je fotokatalicky indukovaná superhydrofilita, kterou ilustruje obrázek B. Po ozáření UV zářením se povrch TiO_2 přemění z hydrofobního na vysoce hydrofilní a na povrchu se vytvoří tenký film, díky spojení kapek vody. Voda tedy po tomto filmu snadno stéká. [21]



Obr. 9. Popis funkce nanočástic TiO_2 k dezinfekci vody [21].

Díky chemické a fyzické stabilitě, nižším nákladům a odolnosti vůči korozi je TiO_2 nejvíce používaným fotokatalyzátorem pro aplikace v ochraně v životním prostředí pro čištění a dezinfekci jak povrchových, tak podzemních vod. Na druhou stranu je využitelnost omezena jeho širokým odstupem pásma, které tak poskytuje ultrafialové záření pro fotokatalickou aktivaci. [11, 13]

2.3 Aplikace nanomateriálů pro čištění podzemní vody

Podzemní voda je často znečištěna zemědělskými činnostmi, odpadovými činnostmi, neutěsněnými podzemními skladovacími nádržemi apod. Přítomnost různých organických kontaminantů a těžkých kovů má významný dopad na životní prostředí, zdraví člověka i

ekonomiku. Téměř všechny chlorované organické sloučeniny, které jsou nalezeny v podzemních vodách vykazují vysokou toxicitu a některé jsou i karcinogenní. Trichlorethen (TCE) je dnes považován za jednu z nejnebezpečnějších škodlivin v podzemních vodách a je spojován s poškozením jater u lidí. Halogenované sloučeniny se staly vážnou hrozbou pro životní prostředí, protože mají dlouhou životnost, jsou bio-neodbouratelné a jsou chemicky stabilní. Většina běžných technologií, jako extrakce, adsorpce na aktivním uhlí nebo běžná chemická oxidace jsou sice použitelné, ale velmi náročné na náklady i na čas. Proto přicházejí na řadu nanočástice, jejichž použití by měly být tyto nedostatky odstraněny. Benefity z využití nanomateriálů můžeme odvodit z jejich zvýšené reaktivity povrchové plochy, velkého měrného povrchu a izolační charakteristiky. Výhodou také je, že samotné nanočástice, například kovové, mají velkou migrační schopnost v podzemní vodě, což znamená, že dokáží doputovat až do místa kontaminace. [16]

Pro čištění podzemních vod obsahující toxické kovy (Cu, Pb, As...) byly použity nanozeolity. I když konvenční metody syntézy produkují zeolity v rozmezí 1 až 10 μm , nanozeolity obsahují oddělené krystaly a o rozměrech 5 až 100 nm. Oproti zeolitům s mikrometrickými rozměry, tyto materiály mají větší vnější měrný povrch a menší difuzní délku, to dává nanozeolitům nové a učenější možnosti využití (sorbety, katalyzátory). Je možné je také zkombinovat s jinými nanomateriály (fotochemické materiály, separační membrány, chemické senzory). [16]

Příkladem větší sorpční kapacity může být adsorpce toluenu, která byla a o 50 % vyšší než u zeolitů s mikrorozměry. [22]

Nanozeolity mohou být využity například k čištění vod obsahující radioaktivní látky, které se nacházely v odpadních vodách z jaderných elektráren, k adsorbci trichlorethanu (TCE) a chromanu z podzemních vod a k odstranění látek jako je benzen, toluen, xylen z odpadních vod na ropných polích. [16, 22]

2.3.1 nZVI (nanoscale zero-valent iron)

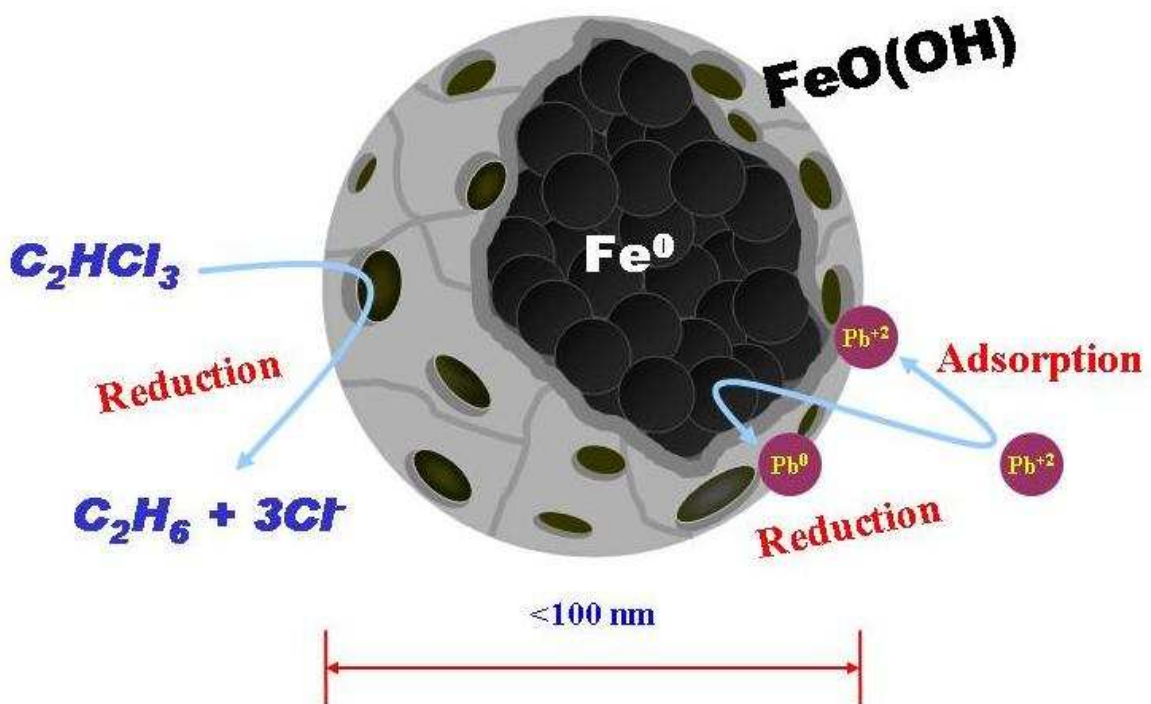
Všechny výše uvedené nanočástice a nanomateriály je možné uplatnit v in-situ environmentálních technologiích, avšak nejvíce využívané, jak v zahraničí tak i v České Republice, je nZVI. Nanočástice nulamocného železa (nZVI) se jeví jako efektivní redukční činidlo pro širokou škálu kontaminantů podzemních vod a je také šetrný k životnímu prostředí. Výhodou nanočástic oproti makročásticím je vyšší reaktivita a velký měrný povrch, který je

v řádu několik desítek metrů čtverečných na gram. To způsobuje výrazně rychlejší reakci na povrchu nanočástic v horninovém prostředí. Další příznivou vlastností je velká mobilita nanočástic v podzemní vodě díky svým nano rozměrům. [23]

Nevýhodou je rychlá oxidace nanočástic, ta způsobuje shlukování částic a dochází k tvorbě větších útvarů, které se v horninovém prostředí pohybují obtížně anebo vůbec. Nanočástice, které zoxidovaly jen částečně nesou kladný náboj a mohou se tak vázat na jílové minerály v půdním prostředí obdobně jako kovy. [23, 24]

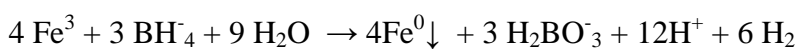
Elementární železo se chová jako donor elektronů, zatímco oxidované sloučeniny slouží jako akceptory elektronů [23]. Základem je oxidační reakce mezi nanoželezem a kontaminantem, kdy nanoželezo redukuje kontaminant na méně škodlivé až neškodné formy a samotné nulamocné železo Fe^0 se oxiduje na dvoj a troj mocné kationty (Fe^{2+} , Fe^{3+}). [23]

Na obrázku 10 je znázorněna core-shell struktura železa (jádro-obal), kde jádro je složeno z Fe^0 a obal se skládá z oxidů železa. Jádro slouží k poskytování elektronů, které pak reagují s kontaminanty. Na obalu se tvoří komplexy. Nanoželezo tak vyniká dvěma vlastnostmi adsorpcí a redukcí. [23, 25]



Obr. 10. Schéma core-shell struktury nZVI [26].

Na zkoumání a vynalezení nula valentních nanočástic železa se zaměřil Wei-xian Zhang ve své laboratoři na universitě Lehigh. V roce 1996 vyvinul metodu syntézy železných nanočástic. Za laboratorních podmínek se nanočástice připravují pomocí tetrahydroboritanu sodného, jako klíčového redukčního činidla. Jde o smíchání NaBH_4 (0,02 M) a $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,05 M) roztoku v poměru 1:1. Po smíchání probíhá tato reakce :



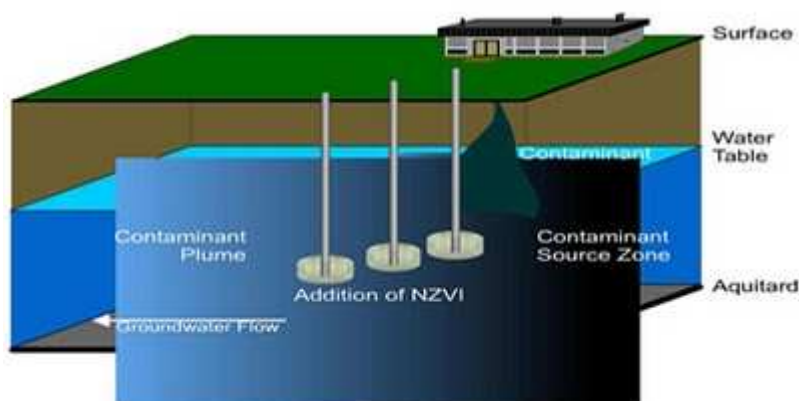
Tetrahydroboritan sodný je třeba přidávat v nadbytku k urychlení syntézy reakce a zajištění jednotného růstu krystalů. nZVI částice vyrobené touto metodou mají povrchovou plochu 20-40 m^2/g . [27]

Na obrázku 11 je vidět nanoželezo zobrazené po mikroskopem a také míchání nZVI nanočástic předtím než jsou vstřikovány do podzemní vody.



Obr. 11. nZVI pod mikroskopem, příprava nZVI před vypuštěním do podzemní vody [28].

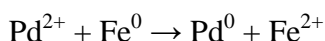
Pomocí vrtů dochází k vstřikování rozmíchaných nanočástic do podzemní vody, kde se částice rozptýlí a ve směru toku vody ji čistí od toxických látek, to je ilustrováno na obrázku 12



Obr. 12. Čištění kontaminovaného podzemního mraku pomocí nZVI vpraveného do vrtů [28].

I když částice nZVI jsou efektivní pro snižování kontaminantů podzemních vod jejich rychlá oxidace, která způsobuje snížení reaktivity a snížení mobility v horninovém prostředí, vedla k objevu bimetalických nanočástic železa, které zvyšují rychlost a účinnost sanace. Přimícháním vzácného kovu jako je palladium nebo nikl přináší lepší reduktanty pro řadu polutantů a dochází k větší stabilitě na vzduchu zabráněním oxidaci a ke zvýšení reaktivity. Například použitím bimetalických nZVI byla dehalogenace trichlorethylenu 30 krát vyšší ve srovnání ze samotnými nZVI. Bylo také zjištěno, že u CCl_4 dochází k rychlejší dechloraci za použití Pd/Fe nanočástic a vzniká více methanu než při použití samotného nZVI. [23, 24]

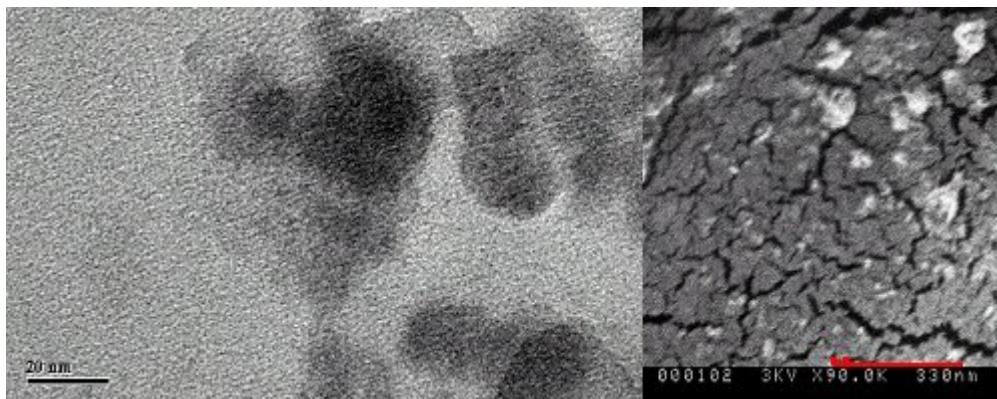
Palladiové železné nanočástice jsou připravovány namáčením čerstvě připravených nanočástic železa s ethanolem obsahujícím 1 hm % octanu paladnatého ($[\text{Pd}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2]^{3+}$). To způsobí, že se paladium vyredukuje na povrchu částic nZVI podle reakce :



Stejnou metodou jdou připravit Fe/Pt, Fe/Ag, Fe/Ni, Fe/Co bimetalické nanočástice. [27]

V systému bimetalických nZVI částic železo vystupuje jako redukční činitel a vzácné kovy (Ni, Pd, Ag...) vystupují jako katalyzátor. Železo tedy slouží jako elektronový dárce a reaguje přednostně s kontaminanty, čímž je vzácný kov chráněn. [24]

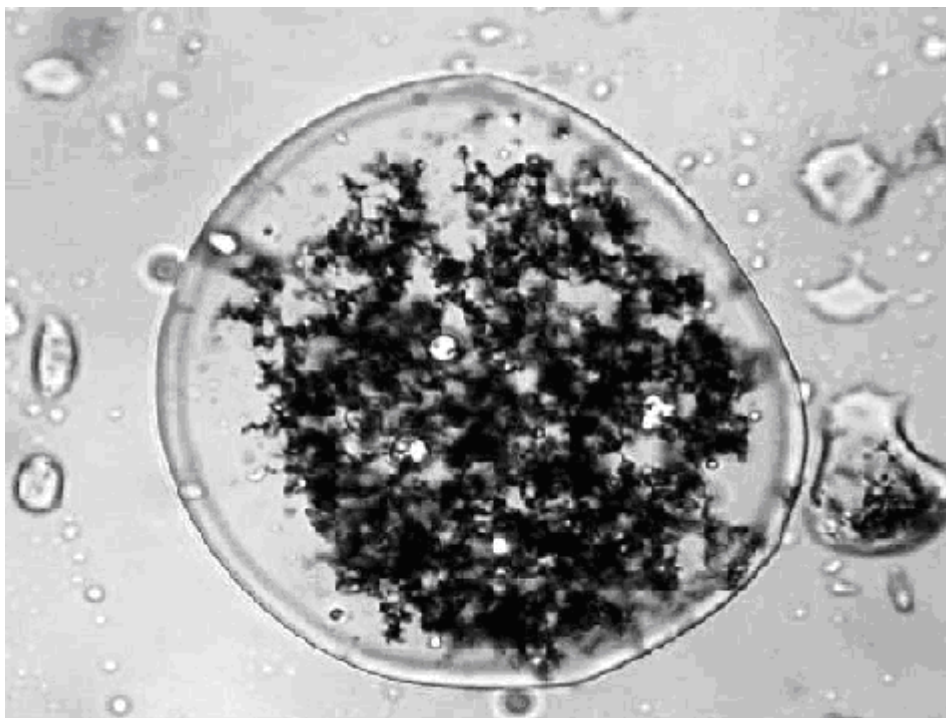
Fe/Ni bimetalické nanočástice, jsou na obrázku 13. Vlevo jsou zobrazeny pod transmisním elektronovým mikroskopem (TEM) a vpravo pod rastrovacím tunelovým mikroskopem (STM). Průměrná velikost částic jak na povrchu, tak i v průřezu je asi 30 nm.



Obr. 13. Fe/Ni nanočástic pod TEM a STM [29].

Dalším typem nulvalentního nanoželeza může být emulgované nanoželezo (EZVI). Tento typ nanoželeza vynalezla NASA a univerzita Central Florida. Takto upravené nZVI, také zvyšuje účinnost sanace. Je vhodné hlavně pro odstraňování hydrofobních látek z kontaminované podzemní vody. Jestliže je polutant nemísitelná organická látka s vodou (DNAPL-dense nonaqueous-phase liquids), tak nZVI jej neodbourá dostatečně rychle, protože je hydrofilní a nedostane se hlouběji do kontaminačního mraku. Emulgované nanoželezo se skládá s emulze oleje ve vodě spolu s tenzidem a nZVI, které je uloženo uvnitř emulzní kapky. Funkce emulgovaného nanoželeza spočívá v tom, že tvoří blízký kontakt mezi nanočásticemi železa a chlorovanými ethyleny. Vnější membrána micely má stejné hydrofobní vlastnosti jako chlorované ethyleny, a proto je emulze mísitelná s polutanty [30]. Chlorovaná ethylen difunduje skrz olejovou membránu a je reduktivně dehalogenován nulamocným nanoželezem v micelle [30]. Protože nanočástice nZVI zůstávají aktivní, chlorovaný ethylen je kontinuálně odbouráván v micelle, takže je udržován koncentrační gradient v olejové membráně, což zaručuje energii pro transport chlorovaných ethylenů do micely [30]. Nehalogenované produkty jako například ethen, odcházejí ven z micely do okolní vody. [23, 30, 31]

Pod mikroskopem zobrazená emulzní kapka EZVI je ilustrována na obrázku 14.



Obr. 14. Emulgované nZVI [31].

Další možnou modifikací nZVI je povrchová úprava pomocí makromolekul. Vhodná látka musí splňovat řadu požadavků, aby mohla být použita s nanoželezem. Například by měla být ekologicky nezávadná, neměla by snižovat reaktivitu samotného nZVI, měla by být cenově dostupná atd. Firma Nanopin již takové částice nabízí. Nanočástice nulavalentního nanoželeza jsou povrchově upraveny látkou s obchodním názvem TWEEN 60, je to potravinářská látka, konkrétně polyoxyethylen – sorbitan – monooleat. Pilotní studie, na mnoha odlišných místech ukazují zvýšení reaktivity a mobility takto modifikovaného nZVI. [23]

V české republice se v praxi převážně setkáme s třemi typy nZVI. Prvním z nich je RNIP (Reactive nanoscale iron particles). Jsou to částice nulavalentního nanoželeza s průměrem částic 70 nm a s průměrným reaktivním povrchem $30 \text{ m}^2/\text{g}$. RNIP jsou složeny z jádra α Fe a obalu, který je tvořen magnetitem (Fe_3O_4). Dalším typem je FEBH, jedná se o nanoželezo připraveného borhydridovou metodou jehož příprava je popsána výše (str. 22). Posledním typem jsou železné nanočástice typu NANOFER. Výzkumem těchto částic se zabývají v Centru pro výzkum nanomateriálů na Univerzitě Palackého v Olomouci. Nanočástice jsou připravovány suchou redukční cestou z oxidu železitého nebo přírodního ferrihydritu [32]. [32, 33]

ZÁVĚR

Čištění životního prostředí pomocí nanomateriálů má z hlediska využití velký potenciál. Protože sanace jsou prováděny in-situ, tedy přímo na místě, jsou náklady na dekontaminaci velkoplošných znečištěných míst menší. Další značnou výhodou je doba potřebná k vyčištění daného místa, která je značně nižší oproti materiálům a částicím s mikro rozměry. A samozřejmě nanočástice a nanomateriály, mají schopnost redukovat některé kontaminanty téměř k nule, proto je jejich využití a snaha o začlenění do enviromentálních technologií v posledních letech velice žádaná a výroba částic a materiálů s nano rozměry se neustále rozvíjí. [34]

Vliv vyrobených nanomateriálů na životní prostředí a lidské zdraví je pravděpodobně závislý na jejich vlastnostech (velikost a tvar částic, povrch, rozpustnost, náboj, metoda výroby a další vlastnosti). Ovšem vědomosti o jejich potencionální toxicitě a dopadu jak na zdraví člověka, tak na životní prostředí jsou stále diskutovaným a aktuálním problémem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Krajská hygienická stanice Moravskoslezského kraje. *Nanotechnologie a nanomateriály* [online]. 18. 3. 2009 [cit. 2. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.khsova.cz/01_aktuality/nanotechnologie.php?datum=2009-03-18>
- [2] Massey University. *Nanoscience* [online]. 1998 - 2008 [cit. 20. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://nanoscience.massey.ac.nz/>>
- [3] BUREŠ, J. *Richard Philips Feynman* [online]. 2002 [cit. 2.5.2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.converter.cz/fyzici/feynman.htm>>
- [4] VŠB-TU Ostrava. *Historie moderních technologií* [online]. 6. 11. 2007 [cit. 2.5.2010]. Dostupné na World Wide Web: <http://nanotechnologie.vsb.cz/Historie/nano_historie.pdf>
- [5] NanoTrade s.r.o. *Co jsou nanotechnologie?* [online]. [200?] [cit. 2.5.2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.nanosilver.cz/co-jsou-nanotechnologie>>
- [6] KAPOUN, J. *Co jsou to vlastně nanotechnologie: Rozsáhlý "manuál" o historii i budoucnosti* [online]. 2001 [cit. 13. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.revprirody.cz/data/0102/nanotechnologie.htm>>
- [7] KUBÍNEK, R., STRÁNSKÁ, V. *Úvod do problematiky nanotechnologií* [online]. 3. 7. 2007 [cit. 2. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://exfyz.upol.cz/didaktika/oprlz/nanotechnologie.pdf>>
- [8] University of Constanz. *Project A7: Deposition of clusters on surface* [online]. 2007 [cit. 20. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.uni-konstanz.de/FuF/Physik/SFB513/abstracts/A7.html.en>>
- [9] PARM, N. *VIA unveils Nano 3000 series processors* [online]. 3. 11. 2009 [cit. 20. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.hexus.net/content/item.php?item=20986>>
- [10] MOUDRÁ, L. *Ambivalence nanotechnologie*. Diplomová práce. Masarykova Univerzita, Brno, 2006, 108 p.

- [11] GREEN, H. *Silicon Nano Crystals Could Triple Solar Efficiency* [online]. 16. 8. 2007 [cit. 13. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.ecogeek.org/content/view/889/83/>>
- [12] Technická Univerzita v Liberci. *Vlákně nanomateriály* [online]. 2007 [cit. 20. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://nano.tul.cz/assets/files/knt/original/nit-z-orientovanych-elektrostaticky-zvlaknenych-nanovlaken.jpg>>
- [13] PETER, R. *Nanovlákná – materiál budoucnosti?* [online]. 18. 12. 2008 [cit. 13. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.inovace.cz/for-high-tech/nanotechnologie/clanek/nanovlakna-material-budoucnosti-/>>
- [14] VLČKOVÁ, E. *Nanočásticemi proti špíně* [online]. 7. 2. 2009 [cit. 20. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://ekonom.ihned.cz/c1-33886550-nanocasticemi-proti-spine>>
- [15] NOVÁKOVÁ, T., ŠVÁB, M., ŠVÁBOVÁ, M. Využití nanočástic v dekontaminačních technologiích: současný stav. *Chemické listy*. 2009, no. 103, p. 524-532.
- [16] THERON, J., WALKER, J. A., CLOETE, T. E. Nanotechnology and Water Treatment: Applications and Emerging Opportunities. *Critical Reviews in Mikrobiology*. 2008, vol. 34, no. 1, p. 43-69, ISSN 1549-7828
- [17] U.S. Army Public Health Command. *Carbon nanotubes in drinking water treatment* [online]. 19. 4. 2010 [cit. 14. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://usachppm.apgea.army.mil/Documents/FACT/CarbonnanotubesApr10.pdf>>
- [18] The Journal of Nuclear Medicine. *Carbon Nanotubes: Potential Benefits and Risks of Nanotechnology in Nuclear Medicine* [online]. 17. 4. 2007 [cit. 22. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://jnm.snmjournals.org/cgi/content/full/48/7/1039#FIG1>>
- [19] The Adventus Group. *ISCR vs. ISCO? THE CHOICE IS USUALLY CLEAR* [online]. 7. 3. 2006 [cit. 22. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.engforum.com/articles/remediation/adventus.htm>>

- [20] NanoTrade s. r. o. *Produkty s antibakteriálními účinky* [online]. 2008 [cit. 22. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://www.nanotrade.cz/produkty/produkty-s-antibakterialnimi-ucinky-2>>
- [21] Výzkumné centrum pro nanopovrchové inženýrství. *Vlastnosti fotokatalytického TiO₂* [online]. 2006 [cit. 14. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web:
<http://www.nanopin.cz/cz/cz_page01.html>
- [22] KOLEKTIV AUTORŮ. *Kompendium sanačních technologií*. 1st ed. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor spol s r.o., 2006, p. 280, ISBN 80-86832-15-5
- [23] ČERNÍK, M. Použití nanomateriálů při ochraně a čištění životního prostředí. *Vesmír*. 2010, vol. 89, no. 140, p. 316–317, ISSN 0042-4544
- [24] ANTOŠ, V. *Imobilizace anorganických kontaminantů ve vodných roztocích pomocí nanoFe⁰*. Bakalářská práce. Technická Univerzita, Liberec, 2009, 63 p.
- [25] GeoNano Environmental Technology (GNET), INC. *Nanoscale Zero-Valent Iron particles, NZVI* [online]. 2007 [cit. 18. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://gnet.myweb.hinet.net/product2%28E%29.html>>
- [26] GeoNano Environmental Technology (GNET), INC. *Nanoscale Zero-Valent Iron particles, NZVI* [online]. 2007 [cit. 18. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://gnet.myweb.hinet.net/product2%28E%29.html>>
- [27] ZHANG, W.X. Journal of Nanoparticle Research. *Nanoscale iron particles for environmental remediation: An overview*. 2003, vol. 5, p. 323-332.
- [28] ALTON, P. *\$250 Billion Cost Estimate to Clean 350,000 Toxic Sites in the US, Nano Zero Valent Iron May Be Cheaper Solution* [online]. 28. 12. 2009 [cit. 20. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://nanopatentsandinnovations.blogspot.com/2009/12/250-billion-cost-estimate-to-clean.html>>
- [29] U.S. Environmental Protection Agency. *Membrane-Based Nanostructured Metals for Reductive Degradation of Hazardous Organics at Room Temperature* [online]. 7. 10. 2003 [cit. 20. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web:
<http://cfpub.epa.gov/ncer_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.abstractDetail/abstract/2172/report/2002>

- [30] Ministerstvo životního prostředí. *Metodická příručka MŽP pro použití reduktivních technologií in-situ při sanaci kontaminovaných míst* [online]. 2007 [cit. 20. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://odpady.mesto-zatec.cz/pages/akce/servefile.php?filename=2>>
- [31] DR. QUINN, J. W. *Groundwater Remediation Using Emulsified Zero-Valent Iron (EZVI)* [online]. 2002 [cit. 20. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://rtreport.ksc.nasa.gov/techreports/2002report/200%20Biological%20Sciences/214.html>>
- [32] KLÍMKOVÁ, Š., ČERNÍK, M., NOSEK, J., PLUHAŘ, T., LACINOVÁ, L. *Povrchově modifikované nanočástice železa pro dechloraci organických kontaminantů* [online]. 2009 [cit. 21. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web:
<http://centrum-sanace.cs.cas.cz/.download/tmp.uTVfsIX/upload-ISTII2009pr_klimkova.2009-10-19.14-17-26.pdf>
- [33] Toda America Inc. *Reactive Nanoscale Iron Particles For Rapid Remediation of Contaminated Groundwater and Soil* [online]. 2005 [cit. 22. 5. 2010]. Dostupné na World Wide Web:
<<http://www.todaamerica.com/products/eco/rnip/src/RNIP-1M07-05.pdf>>
- [34] KARN, B., KUKLEN, T., OTTO, M. Nanotechnology and in Situ Remediation: A Review of the Benefits and Potential Risks. *Environmental Health Perspectives*. 2009, vol. 117, no. 12, p. 1823-1831.

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

AFM	Atomový elektronový mikroskop (Atomic force microscopy)
DNAPL	S vodou nemísitelné organické kapaliny těžší než voda (Dense nonaqueous phase liquid)
EZVI	Emulgované nanoželezo
FEBH	Nanoželezo připravené borhydridovou metodou
NMR	Nukleární magnetická rezonance
nZVI	Nulavalentní nanočástice železa (nanoscale zero-valent iron)
PCB	Polychlorované bifenyly
RNIP	Reaktivní nanočástice železa (Reactive nanoscale iron particles)
STM	Rastrovací tunelový mikroskop (Scanning tunneling microscope)
TCE	Trichlorethen
TEM	Transmisní elektronový mikroskop (Transmission electron microscopy)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Příklady nanostruktur v porovnání s mikrostrukturami.....	11
Obr. 2. Molekula fullerenu z 60 atomů uhlíku.....	12
Obr. 3. Nano procesor.....	14
Obr. 4. Nit z nanovláknů.....	15
Obr. 5. Rozdíl mezi běžným povrchem a povrchem pokrytým nano TiO ₂	16
Obr. 6. Single-walled carbon nanotube, multi-walled karbon nanotube (S/MWNT)	18
Obr. 7. Reaktivní bariéra z Pd/Fe nanočástic.....	19
Obr. 8. Nanočástice stříbra pozorované mikroskopem.....	20
Obr. 9. Popis funkce nanočástic TiO ₂ k dezinfekci vody.	21
Obr. 10. Schéma core-shell struktury nZVI.....	23
Obr. 11. nZVI pod mikroskopem, příprava nZVI před vypuštěním do podzemní vody.....	24
Obr. 12. Čištění kontaminovaného podzemního mraku pomocí nZVI vpraveného do vrtů.....	25
Obr. 13. Fe/Ni nanočástic pod TEM a STM.....	26
Obr. 14. Emulgované nZVI.....	27

EVIDENČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Sigla	Ústřední knihovna UTB
Název bakalářské práce	Využití nanomateriálů v sanačních technologiích
Autor bakalářské práce	Silvie Pekařová
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Roman Slavík, Ph. D.
Vysoká škola	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Adresa vysoké školy	Nám. T.G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín
Fakulta	Technologická fakulta
Katedra	Nám. T.G. Masaryka 275, 762 72 Zlín
Rok obhájení BP	2010
Počet stran	35
Počet svazků	1
Vybavení (obrázky)	14
Klíčová slova	Nanomateriály, nanočástice, kontaminanty, životní prostředí, nulvalentní nanoželezo nZVi

