

## **Čištění vody využitím nanotechnologií a začlenění tohoto tématu do výuky fyziky**

*LUCIE KOLÁŘOVÁ, JIŘÍ TUČEK*

*Katedra experimentální fyziky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, email: lucie.kolar@gmail.com*

### **Abstrakt**

Čistá voda není na mnohých místech světa samozřejmostí. I ve vyspělých zemích roste počet vodních zdrojů, které jsou kontaminovány průmyslovou nebo zemědělskou činností. K řešení problémů se znečištěním povrchových i podzemních vod můžeme využít nanotechnologií. K čištění kontaminovaných vod se využívají magnetické nanočástice železa a proto můžeme snadno zařadit tyto moderní technologie do výuky fyziky do učiva o magnetických vlastnostech látek a jejich aplikací.

### **Potřeba čisté vody**

Přístup k čisté vodě je důležitým celosvětovým problémem, zejména pokud jde o zdraví obyvatel v rozvojových zemích. I ve vyspělých zemích roste počet vodních zdrojů, které jsou kontaminovány průmyslovou nebo zemědělskou činností, nebo jsou vyčerpány. Mimoto se očekává, že do roku 2030 vzroste celosvětová populace až o jednu třetinu a tím i poptávka po pitné vodě.

Asi jedna miliarda lidí žije ve špatných podmínkách ve slumech a osadách, kde nemají přístup k nezávadné vodě, hygienickým zařízením, bezpečným potravinám, slušnému přístřeší nebo práci. Světová zdravotnická organizace (WHO) odhaduje, že po celém světě přibližně 6% nemocí souvisí s nekvalitní vodou. Také ve vyspělých zemích je potřeba obnovit stárnoucí vodovodní rozvody, kanalizační systémy a modernizovat systémy čištění odpadních vod, aby byla voda i nadále kvalitní a zamezilo se jejím zbytečným únikům. Najít řešení mnohých výše uvedených celosvětových problémů týkajících se kvality pitné vody nám můžou pomoci i nanotechnologie. [1]

### **Nanotechnologie**

I když si to možná neuvědomujeme, nanotechnologie se již staly součástí našeho každodenního života díky mnohým spotřebitelským produktům, jako jsou opalovací krémy, antibakteriální oblečení, hydrofobní povrchy, sportovní náčiní, mobilní telefony, tablety. Na internetových stránkách „The Project on Emerging Nanotechnologies“ (<http://www.nanotechproject.org/cpi/products/>) lze najít seznam asi 1800 nanoproduktů. Nanotechnologie rovněž pomáhají rozvíjet důležité oblasti jako medicína a ochrana životního prostředí.

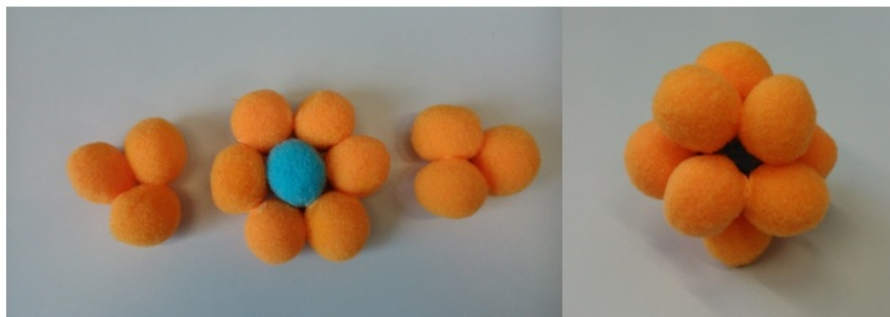
### Definice nanotechnologií

Nanotechnologie jsou postupy vedoucí k vytvoření užitečných funkčních materiálů, zařízení a systémů v nanoškále (přibližně od 1 do 100 nanometrů), které zároveň mají nové fyzikální, chemické a biologické vlastnosti. Tento obor zahrnuje poznatky z celé řady oblastí fyziky, chemie, biologie, nauky o materiálech a inženýrství. Co je na materiálech v nanosvětě tak výjimečného? Nanomateriály mají nové, často neočekávané vlastnosti, které nejsou pozorovány třeba v makrosvětě – některé lépe vedou elektrický proud nebo teplo, některé jsou pevnější, mají odlišné magnetické vlastnosti, lépe odrážejí světlo nebo mění barvu. Nanomateriály mají také daleko větší povrchovou plochu než materiály podobného objemu v makrosvětě. Nanomateriály definujeme jako materiály, které mají alespoň jeden rozměr v nanoškále (1-100 nm). [2]

### Nanočástice

Nanočástice patří mezi nanomateriály, které mají všechny tři rozměry v nanoškále. Některé nanočástice vznikly během eroze a vulkanické činnosti a jsou tak přirozenou součástí našeho životního prostředí, některé byly lidmi záměrně vyrobeny vhodnými fyzikálními nebo chemickými postupy.

Když se velikost nanočástice zmenšuje, roste počet atomů, které leží na jejím povrchu. Pro představu pro nanočástici o velikosti 100 nm představuje podíl těchto atomů 1-3 % z celkového počtu atomů tvořících tuto nanočástici. Pro nanočástici o velikosti 5 nm už tento podíl představuje 30-60 %. Díky tomu jsou nanočástice vysoce chemicky aktivní. [3]



Obr. 1. Model nanočástice

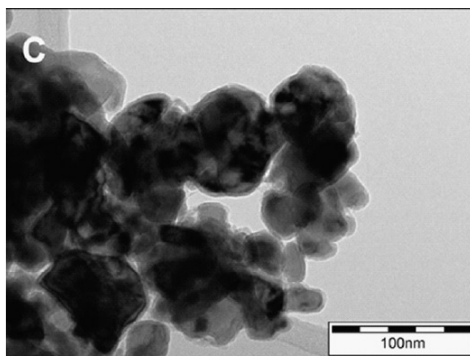
### Čištění kontaminovaných vod

Podzemní i povrchové vody jsou znečištěné různými látkami, které mají negativní vliv na naše zdraví a životní prostředí. Mezi tyto látky patří hlavně chlorované uhlovodíky, pesticidy, fosforečnany, dusičnany a těžké kovy jako například arsen. Právě arsen je klasifikován jako karcinogen a představuje nebezpečí v mnoha zemích po celém světě. Miliony lidí, převážně v rozvojových zemích, každý den pijí vodu, ve které koncentrace arsenu několikanásobně převyšuje limit doporučený Světovou zdravotnickou organizací WHO. Požívání arsenu v pitné vodě může vést k několika formám rakoviny. [4]

K čištění podzemních i povrchových vod lze využít nanotechnologií. Uplatnění těchto moderních technologií k čištění kontaminovaných podzemních vod je ekologicky šetrné s minimálním dopadem na životní prostředí a také finančně výhodnější oproti běžným metodám, které se k čištění vod používají.

### Nanočástice železa

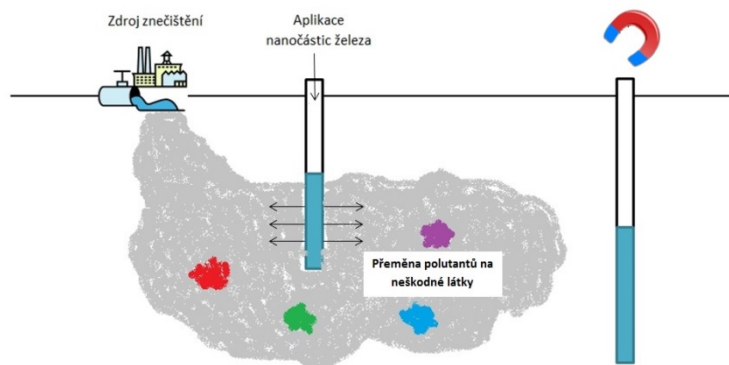
K čištění kontaminovaných podzemních i povrchových vod se úspěšně využívají nanočástice nulamocného (elementárního) železa díky své mimořádně malé velikosti, obrovské povrchové ploše a vysoké reaktivitě. [4]



Obr. 2. Snímek nanočástic nulamocného železa [8]

### Princip čištění

Čištění podzemních vod se provádí metodou *in-situ* (na místě), která je založena na injektáži nanočástic nulamocného železa do malých vrtů přímo ve znečištěné oblasti. Nanočástice se díky své malé velikosti transportují podzemní vodou z místa vstříknutí až do kontaminovaného místa, kde reagují s polutanty (tj. odpadními látkami). Při oxidačně-redukční reakci nanočástic s polutanty dochází ke snížení pohyblivosti a toxicity znečišťujících látek nebo přeměně na netoxické oxidy železa, které se běžně nacházejí v přírodě. Ty zůstávají uložené v dané lokalitě a nejsou pro lidské zdraví a životní prostředí nebezpečné. V případě potřeby lze využít magnetických vlastností nanočástic a spolu s nečistotami je separovat pomocí vnějšího magnetického pole. Pilotní testy aplikace nanočástic nulamocného železa k odstranění kontaminace podzemních vod byly velice úspěšně provedeny v bývalém areálu společnosti KARA Trutnov. Další pilotní testy probíhají v různých oblastech celé České Republiky. [5]



Obr. 3. Schéma čištění

Tyto nanočástice železa lze použít i při čištění povrchových vod například odpadních a důlních. Velká reaktivita nanočástic poskytuje možnost čištění vod, které mají vysoký obsah uranu a arzenu i v mnoha lokalitách v České Republice. Dají se rovněž využít pro snížení obsahu těžkých kovů, dusičnanů a fosforečnanů v pitné vodě, které nejsou snadno a levně odstranitelné standardními technologiemi. Tyto aplikace se dále rozvíjejí. [5] Mezi znečišťující látky patří také hormony vylučované lidmi, které klasické technologie používané v čističkách odpadních vod nedokáží odstranit na rozdíl od nanočástic nulamocného železa.

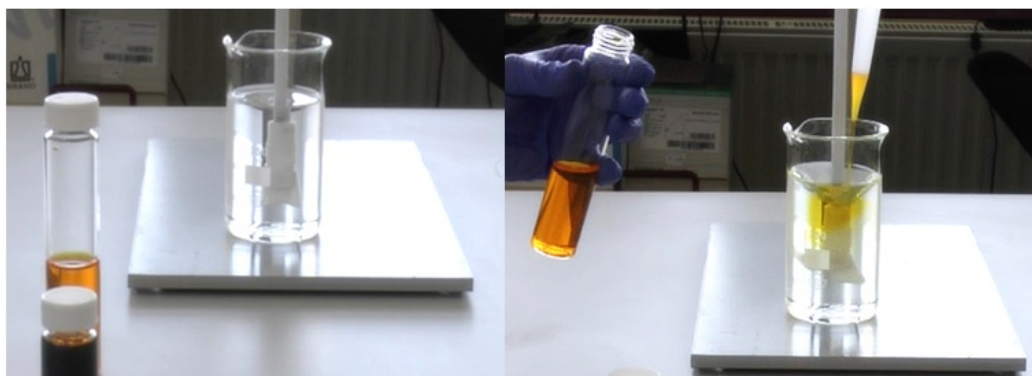
Tímto problémem se také úspěšně zabývají vědci v Regionálním centru pokročilých technologií a materiálů (RCPTM) v Olomouci, což je vědecko-výzkumné pracoviště Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého.

### **Začlenění tématu do výuky fyziky**

Jelikož se k čištění kontaminovaných vod využívají nanočástice železa, je tedy možné začlenit toto zajímavé a zároveň současné téma do učiva o stacionárním magnetickém poli, které uzavírá poznatky o magnetických vlastnostech látek. V průběhu vývoje obsahu školské fyziky bylo toto učivo významně redukováno v souvislosti s vývojem technologií záznamu informací, kde různé nosiče záznamu ztrácí svůj praktický význam. Výklad tohoto učiva je zaměřen na rozdělení látek z hlediska jejich magnetických vlastností (látky diamagnetické, paramagnetické a feromagnetické) a na využití feromagnetických látek v praxi. [6]

Princip čištění lze studentům ukázat prostřednictvím videopokusu, který bude dostupný od prosince 2015 na stránkách <http://pokusy.upol.cz/videopokusy/>. Nanočástice elementárního železa nejsou pro učitele běžně dostupné, i když již existují firmy, které se zabývají jejich výrobou.

Nejprve čistou vodu v kádince smícháme s polutanty, v našem případě jsou to dichromany. Tento roztok představuje znečištěnou podzemní vodou. Míchání představuje proudění podzemní vody.



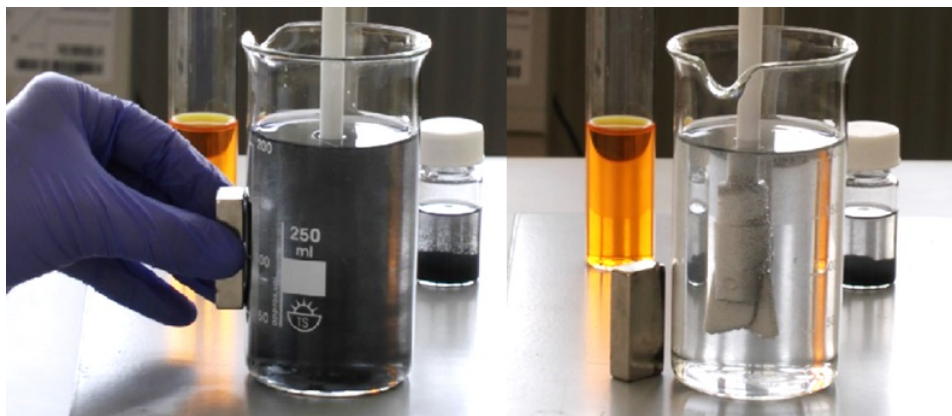
Obr. 4. Znečištění vody

Do roztoku přidáme nanočástice železa a necháme je působit. Nanočástice železa reagují s polutanty a přemění tyto látky na neškodné, které již nemají škodlivé účinky na životní prostředí a naše zdraví.



Obr. 5. Aplikace nanočástic železa

Nyní využijeme magnetické vlastnosti nanočástic elementárního železa a oddělíme je pomocí vnějšího magnetického pole, tedy magnetu. Po separaci částic je voda vyčištěná.



Obr. 6. Separace nanočástic po reakci polutanty

Učitel může žákům představit nanočástice železa ve formě ferrofluidu, což je magnetická kapalina běžně dostupná v internetových obchodech s magnety. Ferrofluidy byly původně vyvinuty v šedesátých letech ve výzkumném centru NASA. Vědci vytvořili nový druh kapaliny, která mohla být ovládána a kontrolována prostřednictvím magnetického pole. Při aplikaci vnějšího pole na ferrofluid se částice uspořádají během několika milisekund ve směru vnějšího magnetického pole a vytvoří strukturu připomínající jezečka. Bodliny mají směr magnetických indukčních čar aplikovaného magnetického pole. Žáci mohou srovnat chování ferrofluidu s chováním železných pilin. Po odstranění vnějšího magnetického pole (magnetu) vykazují piliny na rozdíl od ferrofluidu zbytkovou magnetizaci. Ferrofluid i železné piliny jsou vyrobeny z přesně stejného materiálu – magnetitu ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Rozdíl je jen ve velikosti částic. Ferrofluid je suspenze obsahující nanočástice o velikosti okolo 10 nanometrů, surfaktant a nosnou kapalinu. Žáci tedy mohou pozorovat, jak se mění vlastnosti materiálu v nanosvětě.





Obr. 7. Ferrofluid po aplikaci magnetu

Nabízí se zde možnost vyměnit „staré“ a již nepoužívané aplikace za ty nové, aktuální. Učitelé mohou využít příležitost a rozšířit učivo o další jevy (superparamagnetismus, jednodomérovost, obří magnetorezistence) a aplikace (ferrofluidy, cílená doprava léčiv, ukládání dat) týkající se magnetismu nanomateriálů.

Tento námět může být součástí jedné z problémových otázek tematického okruhu Člověk a životní prostředí průřezového tématu Environmentální výchova týkající se využívání a znečištění vody člověkem.

## **Závěr**

Nejen pro zájem a motivaci žáků o přírodovědné obory je důležité, aby učitelé integrovali do své výuky fyziky současné špičkové vědecké poznatky. Je docela možné, že nás čeká svět, ve kterém budou vévodit nanotechnologie. Tento směr už zřejmě nikdo nezmění, ale školská fyzika může na to naše žáky zodpovědně připravit, protože to bude svět, ve kterém budou žít. [7]

## **Literatura**

- [1] Fostering Nanotechnology to Address Global Challenges: Water, OECD 2011
- [2] Nanotechnology: Big Things from a Tiny World, dostupné (online) na <http://www.nano.gov/node/240>
- [3] Baláž, P., Baláž, M., Turianicová, E.: *Chémia materiálů*, VEDA Vydavateľstvo SAV Bratislava, 2014
- [4] Kanel S.R., Manning B., Charlet L. a Choi H., Removal of Arsenic (III) from Groundwater by Nanoscale Zero-Valent Iron, *Environ. Sci. Technol.* 2005, 39
- [5] [www.nanoiron.cz](http://www.nanoiron.cz)
- [6] Lepil O., Svobody E.: *Příručka pro učitele fyziky na střední škole*. Prometheus Praha, 2007, s. 190-191
- [7] [www.nanoyou.eu](http://www.nanoyou.eu)
- [8] Soukupova J., Zboril R., Medrik I., Filip J., Safarova K., Ledl R., Mashlan M., Nosek J., Cernik M., Highly concentrated, reactive and stable dispersion of zero-valent ironnanoparticles: Direct surface modification and site application, *Chemical Engineering Journal* 262 (2015) 813–822