

# ROZVOJ NANOTECHNOLOGIÍ A LIDSKÉ ZDRAVÍ

---

*Vladislav NAVRÁTIL*

**Souhrn:** *Za průkopníka nanotechnologie lze pokládat významného amerického fyzika Richarda Feynmana, který se ve svém příspěvku „There’s Plenty of Room at the Bottom“, předneseném dne 29. 12. 1959 pro účastníky shromáždění Americké fyzikální společnosti, zabýval možností ovládnutí jednotlivých molekul a atomů [1]. Je téměř jisté, že v nadcházejících dekádách dojde právě na základě nanotechnologie kromě jiného k vytvoření superpočítačů, sotva viditelných v optickém mikroskopu. Nanoroboty, menší než buňka, budou v lidském těle ničit bakterie, čistit cévy a omlazovat celý organismus. Levné solární články a baterie nahradí uhlí, ropu a nukleární palivo. Nové levné materiály zlevní cestu do Vesmíru a zajistí blahobyt pro všechny občany Země.*

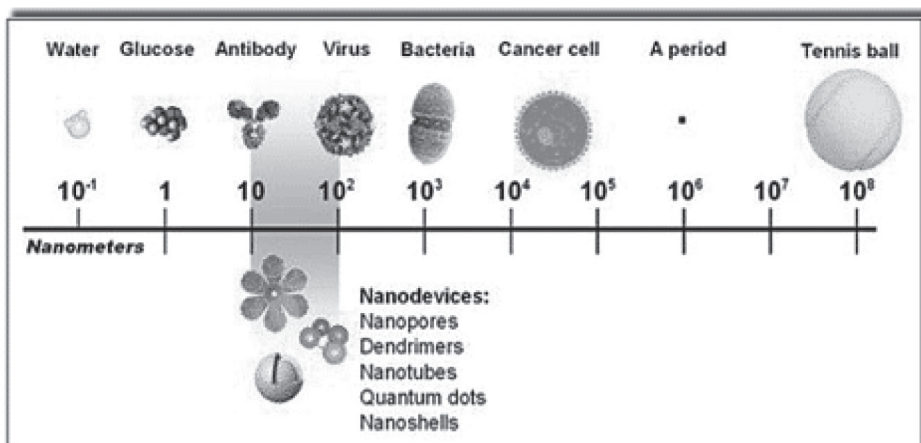
**Klíčová slova:** *nanofyzika, nanomateriály, lidské zdraví, nanomedicína, přírodní vědy, technické vědy, výuka*

## 1. Úvod

Nanotechnologie se řadí k jedněm z nejčastěji diskutovaných technologií současnosti. Jako nanotechnologie se obecně označuje vědní obor výzkumu a vývoje, který se zabývá cíleným vytvářením a využíváním struktur materiálů v měřítku několika nanometrů alespoň v jednom rozměru (0,1–100 nm). Konstrukčními prvky nanotechnologie jsou molekuly, a dokonce i samotné atomy.

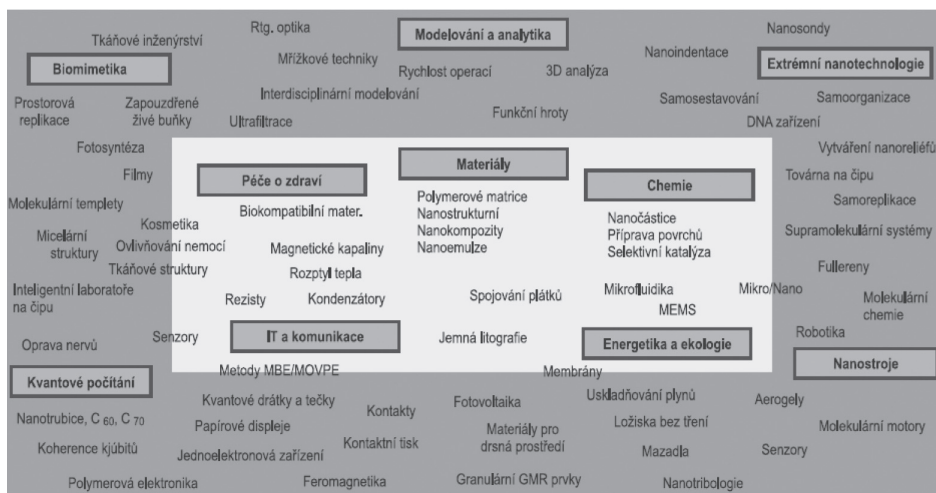
Nanotechnologie zahrnují oblasti vědy a technologie, jejichž cílem je přesné ovládnutí jednotlivých atomů a molekul tak, aby vznikl nějaký objekt (např.: čip tisíckrát menší než struktury vyráběné doposud běžnou technologií), nebo struktura s novými vlastnostmi (elektrickými, optickými, fyzikálními apod.), které lze pochopit a ovládnout.

Využití nanotechnologií a nanomateriálů je velmi rozsáhlé. Již v současnosti nalézají uplatnění v mnoha oblastech běžného života, jako je elektronika (paměťová média, spintronika, bioelektronika, kvantová elektronika), zdravotnictví (cílená doprava léčiv, umělé klouby, chlopně, náhrada tkání, dezinfekční roztoky nové generace, analyzátoři, ochranné roušky), strojírenství (supertvrdé povrchy s nízkým třením, samočisticí nepoškrabatelné laky, obráběcí nástroje), stavebnictví (nové izolační materiály, samočisticí fasádní nátěry, antiadhezní obklady), chemický průmysl (nanotrubičky, nanokompozity,



Obr. 1. K vymezení pojmu nanotechnologie [2].

selektivní katalýza, aerogely), textilní průmysl (nemačkávé, hydrofóbní a nešpinící se tkaniny), elektrotechnický průmysl (vysokokapacitní záznamová média, fotomateriály, palivové články), optický průmysl (optické filtry, fotonické krystaly a fotonická vlákna, integrovaná optika), automobilový průmysl (nesmáčivé povrchy, filtry čelních skel), kosmický průmysl (katalyzátory, odolné povrchy satelitů), vojenský průmysl (nanosenzory, konstrukční prvky raketoplánů), životní prostředí (odstraňování nečistot, biodegradace, značkování potravin). V posledních deseti letech je vyvíjeno enormní úsilí v oblasti základního výzkumu, zejména v oblasti nanoelektroniky. Některé objevy ve fyzice, např. objev obří magnetické rezistence (GMR) ve vrstvách rozměru nanometrů, vedl již k praktickému využití jevu při konstrukci senzorů nové generace při nádorových onemocněních mozku, proudových senzorů nebo tenzometrů (Obr. 2).



Obr. 2. Současnost (žlutá oblast) a budoucnost (modrá oblast) nanotechnologie [2].

## 2. Nanotechnologie a nanomateriály.

Definice pojmu „nanotechnologie“ se v podání různých autorů poněkud liší. Společná charakteristika všech takových definic bere v úvahu skutečnost, že se jedná o výzkum a popis aktivit na úrovni atomů a molekul, které mají uplatnění v reálném světě. Zkoumané struktury mají rozměr 0,1 – 100 nm alespoň v jednom směru. Na obrovské možnosti nanotechnologií poukázal jako jeden z prvních významný americký fyzik a nositel Nobelovy ceny Richard Feynman (Obr. 3). Ve své přednášce „There is Plenty of Room at the Bottom“, přednesené dne 29. 12. 1959 pro účastníky shromáždění Americké fyzikální společnosti (CALTEC, California)[1], poukázal na skutečnost, že celá příroda funguje na úrovni atomů a molekul. Člověk odedávna přírodu kopíruje a všimněme si skutečnosti, že pokud tomu tak není, dopadá to zpravidla pro člověka i přírodu špatně (problémy s neodbouratelnými chemikáliemi, ozónovou vrstvou, apod.). Proto není důvod, abychom se i v tomto případě přírodou neinspirovali.



Obr. 3. Richard Feynman

Dalšími významnými propagátory nanotechnologií a nanofyziky byli F. Drexler (Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology, 1986) a T. Leary. Oba tito fyzikové byli zprvu pokládáni za snílky a teprve prudký rozvoj vědy a techniky v posledních dvou desetiletích dává nejen jmenovaným třem vědcům za pravdu a jejich zdánlivě fantastické myšlenky se rychle stávají realitou (uvědomme si, že ve své době tak fantastické vize J. Vernea jsou dnes překonány a mnohdy vzbuzují shovívavý úsměv). Tak se fantazie stává skutečností, a to tak rychle, že prakticky každý týden dochází k nějakému významnému v oblasti nanotechnologií a i pouhé sledování tohoto pokroku je komplikovanou a zejména časově náročnou činností. Výzkum nanomateriálů je podmíněn rozvojem moderních fyzikálních metod materiálové fyziky. V další kapitole uvedeme stručný přehled těchto metod [3].

## 3. Moderní zobrazovací a analytické metody ve fyzice nanosystémů.

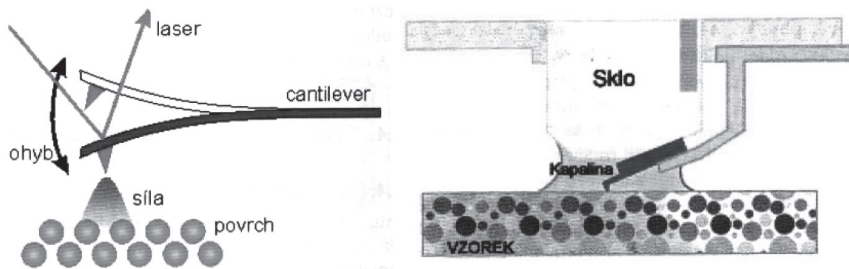
Za historický počátek zobrazovacích metod lze pokládat vynález mikroskopu v roce 1590. Dále uvedeme stručný přehled základních mezníků v této vědní oblasti [4]:

- 1663 – objev buňky v korku (Hooke)
- 1675 – objev bakterie (Leeuwenhoek)
- 1830 – objev proteinu
- 1868 – izolována DNA ve spermatu lososa (Miescher)
- 1925 – položeny základy elektronové mikroskopie
- 1929 – zkonstruován encefalograf (Berger)
- 1932 – vynalezen elektronový mikroskop (Ruska, Knoll)
- 1934 – provedena první rtg. difrakce vzorků proteinu (Černal, Cowfoot)

- 1939 – první fotografie virů v elektronovém mikroskopu (Kausách, Rusk)
- 1942 – vyvinuta chromatografie (Martin, Syne)
- 1953 – popis dvojšroubovicové struktury DNA (Watson, Crick)
- 1957 – patentován konfokální mikroskop (Minsky)
- 1965 – vyroben první skenování elektronový mikroskop (Cambridge Instruments)
- 1966 – objasněn genetický kód
- 1974 – patentováno využití nukleární magnetické rezonance (Damadian)
- 1978 – objev principu optické pinzety
- 1984 – vyvinuta technika DNA otisků
- 1986 – zkonstruován mikroskop atomárních sil (AFM – Binning, Rohrer)
- 2000 – úspěšně ukončeny práce na rozluštění lidského genomu

Podobně uvedeme stručný přehled v současné době užívaných vědeckých metod, které umožnily bouřlivý rozvoj nanotechnologií [6]:

- LSCM (Laser Scanning Confocal Microscope)
- STED (Stimulated Emission Depletion Microscopy)
- TIRFM (Total Internal Reflection Fluorescence Microscope)
- FRET (Fluorescence/Förster Resonance Energy Transfer)
- FRAP (Fluorescence Recovery After Photobleaching)
- FLIM (Fluorescence Lifetime Imaging Microscopy)
- FCS (Fluorescence Correlation Spectroscopy)
- FT-IR (Fluorescence/Fourier Transform Infrared Spectroscopy)
- NIRS (Near Infrared Spectroscopy)
- RS (Raman Spectroscopy)
- SERS (Surface Enhanced Raman Scattering)
- SEM (Scanning Elektron Microscope)
- TEM (Transmission Elektron Microscope)
- STEM (Scanning Transmission Elektron Microscope)
- ET (Elektron Tomography)
- AFM (Atomic Force Microscopy) – viz Obr.4.
- CT (Computerized Tomography)
- MRI (Magnetic Resonance Imaging)
- MS (Mass Spektrometry) a další.



Obr. 4. Princip AFM

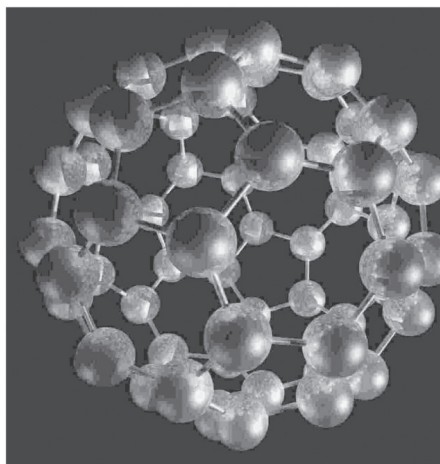
Již v úvodu práce byly nastíněny některé možnosti využití nanotechnologií. V další kapitole uvedeme jako příklad využití uhlíkových nanomateriálů.

## 4. Uhlíkové nanomateriály

Uhlík je prvek, který má schopnost vytvářet materiály s různými vlastnostmi. Nejznámějšími modifikacemi uhlíku jsou saze, grafit a diamant, mající zcela odlišné fyzikální a chemické vlastnosti. Vlastnosti uhlíku však umožňují i modifikace další, s vlastnostmi opět zcela jinými:

### 4.1. Fullereny ( $C_{60}$ )

Fullereny byly objeveny v roce 1985 a tím byla otevřena zcela nová cesta ve výzkumu a využití uhlíku. Po geometrické stránce má molekula fullerenu 60 vrcholů s atomy uhlíku, je omezena 32 plochami, z nichž 12 je pětiúhelníkových a 20 šestiúhelníkových (Obr. 5).

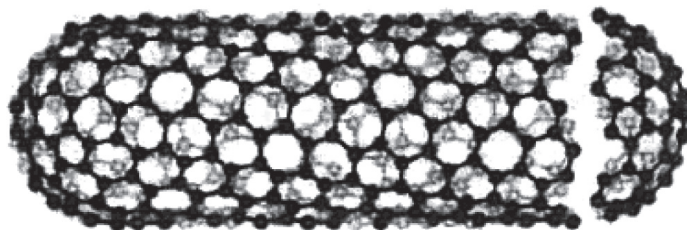


Obr. 5. Molekula fullerenu.

Dosud bylo patentováno několik metod výroby fullerénu a v současné době je nejproduktivnější metodou hoření uhlovodíkového paliva za podtlaku. Fulleren má zajímavé fyzikální a chemické vlastnosti, mezi nimi i supravodivost. Do mikroskopické dutiny fullerenu lze umístit různé prvky a molekuly (např. molekuly léků) a tak je použit jako transportní médium. Další jejich vlastnosti, např. vlastnosti biologické a farmakologické, jsou předmětem intenzivního výzkumu.

### 4.2. Uhlíkové nanotrubičky.

Uhlíkové nanotrubičky (Obr. 6) lze považovat za protažené fullereny, přičemž jejich délka není omezena. Vyrábějí se buď v elektrickém oblouku mezi dvěma uhlíkovými elektrodami, nebo laserovou ablací grafitového terčíku.



Obr. 6. Nanotrubiice

Dnes, nedlouho po jejich objevu, existuje několik druhů nanotrubic a rýsuje se jejich mnohostranné použití. Nanotrubiice jsou velmi pevné a mají vysoký Youngův modul pružnosti. Mají vysokou elektrickou a tepelnou vodivost a jsou chemicky inertní. Mají nízkou hustotu a významné elektrokatalytické vlastnosti. Všechny tyto výjimečné vlastnosti je předurčují k využití při tvorbě kvalitních kompozitních materiálů (letectví, výroba jízdních kol a automobilů, výroba sportovního náčiní apod.). Jejich výjimečné elektrické vlastnosti se začínají využívat v elektrotechnickém průmyslu (ploché obrazovky, speciální světelné zdroje, přístrojová technika atd.). Velmi perspektivní je využití nanotrubic v molekulární biologii (např. rozpoznání antigenů a tzv. DNA hybridizace) a v lékařství (např. jako zobrazovací markery při laboratorním výzkumu příčin rakoviny).

## 5. Využití nanotechnologií v medicíně

### 5.1. Nanotechnologie ve farmakologii.

V současné době je známo asi 30 000 nemocí, z nichž lékařská věda umí léčit necelé dvě třetiny. Ukazuje se, že je stále obtížnější nacházet vhodný lék a to zejména proto, že každý lék musí být pečlivě prověřen (cca 12 let), než je uveden na trh. Žádný z nutných kroků, doprovázejících vývoj nelze vynechat, neboť medicína má smutné zkušenosti s případy, kdy byl tento proces zkrácen a nebyly dokonale známy vedlejší účinky léku (např. Thalidomid).

Nanotechnologie nabízejí významné zlepšení této situace a to v několika směrech:

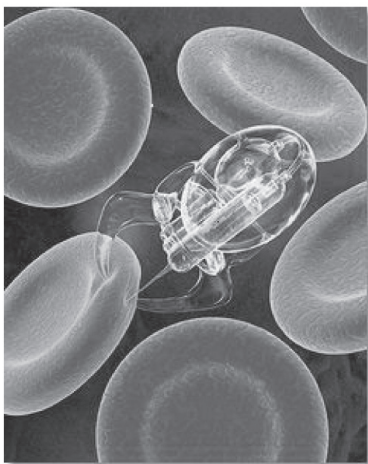
- Aplikace moderních zobrazovacích a analytických metod (viz kap. 3.).
- Zlepšení identifikace a prověřování targetů nových léků (zejména vývojem nových biosenzorů).
- Zlepšování zviditelňování interakce léků s tkáněmi (výraznou roli zde hrají kvantové tečky, které mají podstatně větší intenzitu světla, než tradiční fluorescenční barviva).
- Cílená doprava léků do organismu (dodávka léků v tzv. nanopouzdrech – vyhneme se tak často nutnému zkrácení účinnosti léků, způsobenému např. interakcí léku se sliznicí žaludku a střev, apod.). Jako nosiče léků mohou sloužit fullerény, polymerní nanočástice, smektické krystaly, nanočástice  $\text{SiO}_2$ , atd.

## 5.2. Využití nanotechnologií v medicíně (nanomedicína)

Kromě již uvedené oblasti farmakologie budou hrát (a již hrají) nanotechnologie důležitou roli i v dalších oblastech medicíny:

- Zobrazovací a diagnostické metody a zařízení. Zde se jedná o vývoj tzv. biosenzorů, které umožní detekovat nemoci *in vitro* (tyto biosenzory budou schopné detekovat 5 – 10 rakovinných buněk ve 100 ml moči).
- Neméně důležité jsou i techniky detekce *in vivo*. Ta může odhalit např. místa zánětu, umožnit odhad distribuce léku, vizuálně znázornit cévní strukturu, apod. K tomu mohou s úspěchem sloužit tzv. kvantové tečky (světélkující fluorescenční nanokrystaly).
- Téměř jako sci fi se jeví využití tzv. nanorobotů, tj. velmi malých „inteligentních“ zařízení, schopných např. „opravit“ některé tkáně (Obr. 7). Ze zkušenosti však víme, že to, co se dnes jeví jako fantazie, může být za několik let realitou.
- Materiály pro rekonstrukci kostí a tkání. Do této oblasti nanomedicíny lze zařadit využití biomateriálů, které mají vlastnosti podobné živým tkáním (hydrogely, speciální textilie, apod.).
- Nanotechnologie a terapie rakoviny. V současné době se rakovina léčí čtyřmi způsoby: chirurgická léčba, radioterapie, genotoxická chemoterapie, bioterapie.

První tři z nich jsou tradiční, ale jejich účinnost není stoprocentní. Navíc způsobují pacientům značné potíže a jsou bolestivé. Velmi perspektivní se do budoucna jeví právě bioterapie, využívající poznatků z genetiky a molekulární biologie a jako nástroje nanotechnologií.



Obr. 7. Nanorobot

## 6. Závěr

Příchod věku nanotechnologií bude mít kromě uvedených oblastí techniky a medicíny i své sociální dopady. Někteří filozofové, sociologové a politologové navr-

huji, aby příchod nanotechnologií byl uměle zpomalen. Tím by připomínal nástup průmyslové revoluce v 18. a 19. století. Potom by nedošlo k tak prudké změně ekonomiky, mezinárodních vztahů, sociálních struktur a ekologie, jaká by byla v případě rychlého nástupu nanotechnologií [7, 8].

Existuje však i opačný názor, srovnávající příchod nanotechnologií s “technologickým tsunami”, které smete vše předcházející.

Nástup nanotechnologií se nutně projeví i ve škole. Ze zkušenosti víme, že mladí lidé přijímají výsledky nových technologií velmi rychle a bez problémů (PC, mobilní telefony). Je však rozdíl v tom, naučíme-li se ovládat nějakou technologii jako černou skříňku, nebo jsme-li schopni tyto technologie tvůrčím způsobem rozvíjet. Protože nám jde právě o toto pochopení funkce a podstaty nových technologií, bude třeba od základů změnit zejména výuku přírodovědných předmětů na všech stupních škol (pravděpodobně směrem k jejich integraci).

## Literatura

- [1] FEYNMAN, R. [www.its.caltech.edu/feynman/plenty.html](http://www.its.caltech.edu/feynman/plenty.html)
- [2] TANIGUCHI, N. Proc. of the Int. Congress on Prod. Eng. Tokyo, Japan, 974
- [3] ERHARDT, D. [www.ismn.cnr.it/Symp-O-NatureMaterials.pdf](http://www.ismn.cnr.it/Symp-O-NatureMaterials.pdf)
- [4] KROTO, H. W.; HEATH, J. R.; O'BRIEN, S. C.; CURL, R. F. Nature 318, s. 162
- [5] MIT (2004) [web.mit.edu/isn](http://web.mit.edu/isn)
- [6] RENN, O. Environmental Science and Technology, 33, 1999, s. 3049–3055
- [7] SERVICE, R. F. Science, 304, 2004, s. 1732–1734
- [8] VALLYATHAN, V. Environmental Health Perspectives, 102, 1994, s. 111–115

## FUTURE DEVELOPMENT OF NANOTECHNOLOGY AND HUMAN HEALTH

**Abstract:** The first use of the distinguishing concepts in ‘nanotechnology’ a talk given by physicist Richard Feynman at an American Physical Society meeting at Caltech on December 29, 1959. Feynman described a process by which the ability to manipulate individual atoms and molecules might be developed. In the coming decades nanotechnology could make a supercomputer so small it could barely be seen in a light microscope. Fleets of medical nanorobots smaller than a cell could roam our bodies eliminating bacteria, clearing out clogged arteries, and reversing the ravages of old age. Low cost solar cells and batteries could replace coal, oil and nuclear fuels with clean, cheap and abundant solar power. New inexpensive materials could open up space and material abundance for all the people of the earth could become a reality.

**Key words:** nanophysics, nanomaterials, human health, nanomedicine, science, technology, education