

Nanorobotika a její využití v medicíně

Bc. Lukáš Madrý

Diplomová práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta managementu a ekonomiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta managementu a ekonomiky
Ústav podnikové ekonomiky
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš MADRÝ**
Osobní číslo: **M090682**
Studijní program: **N 6208 Ekonomika a management**
Studijní obor: **Podniková ekonomika**

Téma práce: **Nanorobotika a její využití v medicíně**

Zásady pro vypracování:

Úvod

I. Teoretická část

- Definujte základní pojmy v oblasti nanotechnologie a nanorobotiky ve vztahu k jejich ekonomickému využití v medicíně.
- Z ekonomického pohledu zhodnoťte na základě známých teorií možný vývoj nanorobotiky v budoucnosti.

II. Praktická část

- Provedte analýzu dosavadního vývoje a úrovně ekonomického využití nanorobotiky v ČR.
- Zpracujte studii proveditelnosti vývoje nanorobota, včetně jeho uvedení na trh.

Závěr

Rozsah diplomové práce: cca 70 stran
Rozsah příloh:
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- [1] CAVALCANTI, A. Nanorobotics Control Design for Nanomedicine. Victoria, Austrálie, 2009. 239 s. Dizertační práce. Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Monash University.
- [2] FREITAS JR., Robert A. Nanomedicine, Volume I: Basic Capabilities . Georgetown : Landes Bioscience, 1999. 509 s. ISBN 978-1570596452.
- [3] FREITAS JR., Robert A. Nanomedicine, Vol. IIA: Biocompatibility. Georgetown: Landes Bioscience, 2003. 330 s. ISBN 978-1570597008.
- [4] KRAUS, L., et al. Nanotechnologie v ČR, 2005. Ostrava: Repronis, 2005. 166 s. ISBN 80-7329-111-6.
- [5] RUBINSTEIN, L. A Practical NanoRobot for Treatment of Various Medical Problems. Foresight Institute [online], [cit. 2010-12-14]. Dostupný z <http://www.foresight.org/Conferences/MNT8/Papers/Rubinstein/index.html>.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. David Tuček, Ph.D.
Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů

Datum zadání diplomové práce: 24. června 2011

Termín odevzdání diplomové práce: 15. srpna 2011

Ve Zlíně dne 24. června 2011

prof. Dr. Ing. Drahomíra Pavelková
děkanka



prof. Ing. Jiří Polách, CSc.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- odevzdáním bakalářské/diplomové 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 obhajoby¹;
- bakalářská/diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí:
 - bez omezení;
 - pouze prezenčně v rámci Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- na mou bakalářskou/diplomovou 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. 3²;
- podle § 60³ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;

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, § 47h Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně 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 o 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.

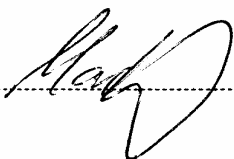
- podle § 60⁴ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou/diplomovou práci - nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské/diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské/diplomové práce využít ke komerčním účelům.

Prohlašuji, že:

- jsem bakalářskou/diplomovou práci zpracoval/a samostatně a použité informační zdroje jsem citoval/a;
- odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

17. 8. 2011



⁴ 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:

- (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 jim 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce „Nanorobotika a její využití v medicíně“ se zabývá především studií aplikace a výroby nanorobota, který by měl být využíván pro diagnózu a léčbu chorob lidského těla. Součástí práce je také výzkum potencionálního zájmu o nanorobota. Další částí práce je analýza současného stavu nanotechnologií a v ČR.

Práce také pojednává o aplikacích, vývoji, bezpečnosti a ekonomickém využití nanotechnologií, dále o nanorobotice, nanomedicíně a nanočásticích.

Klíčová slova: Nanorobotika, Nanotechnologie, Nanomedicína, Nanočástice, Nanorobot, Aplikace, Výzkum, Vývoj

ABSTRACT

Master thesis „Nanorobotics and Its Applications in Medicine“ focuses mainly on studies of applications and manufacturing a nanorobot, which should be used for diagnosis and treatment of diseases of the human body. Thesis also includes a research of potential interest in nanorobot. Another part of the thesis is a current state analysis of nanotechnology in the CR.

The thesis also discusses applications, development, security and economic use of nanotechnologies, as well as nanorobotics, nanomedicine and nanoparticles.

Keywords: Nanorobotics, Nanotechnology, Nanomedicine, Nanoparticles, Nanorobot, Applications, Research, Development

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce, panu docentovi Davidu Tučkovi, za jeho připomínky a odborné rady při zpracování této práce.

Taktéž bych rád poděkoval panu docentovi Mariánovi Lehockému, za poskytnuté podklady ke zpracování práce.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 NANOTECHNOLOGIE	12
1.1 DEFINICE A POJMY	14
1.2 VÝVOJ NANOTECHNOLOGIE	17
1.3 BEZPEČNOST	19
1.3.1 Bezpečnost a ochrana zdraví při práci s nanomateriálů v EU	19
1.3.2 Všeobecná doporučení bezpečnosti nanotechnologií.....	20
1.3.3 Priority výzkumu v oblasti nanotoxikologie a bezpečnosti nanotechnologií.....	21
1.3.4 Současný stav znalostí toxikologie v oblasti nanotechnologií.....	24
1.4 APLIKACE	25
1.5 EKONOMICKÉ VYUŽITÍ.....	29
1.5.1 Výzkumy a prognózy	29
1.5.2 Nanotechnologie a veřejnost	33
1.5.3 Financování.....	34
1.5.4 Analýza ekonomického dopadu: pracovní místa a společnosti v nanotechnologii.....	36
1.6 VÝHLED DO BUDOUCNA	38
2 NANOROBOTIKA	41
2.1 NANOČÁSTICE.....	41
2.2 NANOMEDICÍNA	42
2.3 NANOROBOTI.....	46
2.3.1 Výroba nanorobota	46
2.3.2 Operace a využití	47
II PRAKTICKÁ ČÁST	49
3 NANOTECHNOLOGIE A NANOROBOTIKA V ČR	50
3.1 VÝZKUM A VÝVOJ NANOTECHNOLOGIÍ V ČR.....	50
3.1.1 Pracoviště VaV nanotechnologií v ČR.....	50
3.1.2 Výzkumná pracoviště.....	52
3.1.3 Výrobní podniky	54
3.2 NÁRODNÍ POLITIKA VÝZKUMU, VÝVOJE A INOVACÍ A JEJÍ REALIZACE.....	57
3.2.1 Vstupy Národní politiky VaVaI.....	58
3.2.2 Hlavní výstupy politiky VaV	59
3.2.3 Návaznosti politiky VaV na aktivity Evropské unie	61
3.3 SOUČASNÝ SYSTÉM VEŘEJNÉ PODPORY VÝZKUMU, VÝVOJE A INOVACÍ.....	62
3.4 VÝDAJE STÁTNÍHO ROZPOČTU NA VÝZKUM, VÝVOJ A INOVACE	65
3.4.1 Rozbor financování výzkumu a vývoje z veřejných prostředků.....	66

3.4.2	Vývoj celkové veřejné podpory VaV v jednotlivých regionech.....	71
3.4.3	Srovnání současného stavu v České republice a v zahraničí:	72
4	STUDIE NANOROBOTA	75
4.1	APLIKACE	76
4.2	ZAVEDENÍ ZAŘÍZENÍ DO TĚLA	79
4.3	POHYB ZAŘÍZENÍ PO TĚLE	79
4.4	URČENÍ POLOHY, NAVIGACE A OVLÁDÁNÍ ROBOTA.....	82
4.4.1	Určení polohy	82
4.4.2	Navigace a ovládání zařízení	85
4.5	ŘÍDÍCÍ SYSTÉM ROBOTA, POŽADOVANÉ FUNKCE	87
4.6	ZPŮSOBY LÉČBY.....	89
4.7	ENERGIE, PALIVO	93
4.7.1	Zdroj uvnitř těla hostitele	93
4.7.2	Zdroj umístěný v nanobotovi.....	94
4.8	MATERIÁL	95
4.9	VÝZKUM POTENCIÁLNÍHO ZÁJMU O PRODUKT NANOROBOTA.....	96
4.9.1	Metodika	96
4.9.2	Výsledky dotazování.....	96
	ZÁVĚR	108
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	109
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	115
	SEZNAM TABULEK	117
	SEZNAM PŘÍLOH	118

ÚVOD

Diplomová práce Nanorobotika a její využití v medicíně si klade za úkol zpracovat dva hlavní cíle práce. Prvním z nich je zmapování a analýza současného stavu nanotechnologií v ČR a druhým studie nanorobota, který by byl v budoucnu využíván především v oblasti medicíny.

Teoretická část práce obsahuje kapitoly nanotechnologie a nanorobotika, kde jsou v prvně jmenované kapitole popsány základní znalosti, využití, ekonomický rozvoj a výhled do dalších let z hlediska nanotechnologií a v kapitole druhé nanorobotika a její význam z pohledu medicíny.

V praktické části, jak již bylo nastíněno, bude analyzován současný stav nanotechnologií v ČR, a to z pohledu výzkumu a vývoje těchto technologií, národní politiky výzkumu, veřejné podpory, výzkumných programů a finanční podpory jednotlivým projektům, institucím, výzkumným stavům a podobně.

Podle mého názoru nejzajímavější částí je další kapitola praktické části s názvem studie nanorobota, která pojednává o miniaturním zařízení využitelném především v oblasti zdravotní péče a léčby.

V této kapitole budou probrány jednotlivé funkce nanorobota, využitelnost, aplikace a v poslední části budou vyhodnoceny výsledky dotazníkového šetření, které mělo za úkol zjistit potencionální zájem respondentů o produkt nanorobota.

Ve všech kapitolách práce jsem vycházel ze sekundárních dat zdrojů, které se touto problematikou zabývaly, jedinou výjimkou byla kapitola poslední – již zmiňovaný dotazníkový průzkum.

Vzhledem k tomu, že je nanorobotika poměrně mladým oborem, obzvláště pak její využití v medicíně ve formě uváděného nanorobota, je obtížné odpovědět na určité otázky, protože dosud neexistují materiály či studie, které by na ně dokázaly odpovědět.

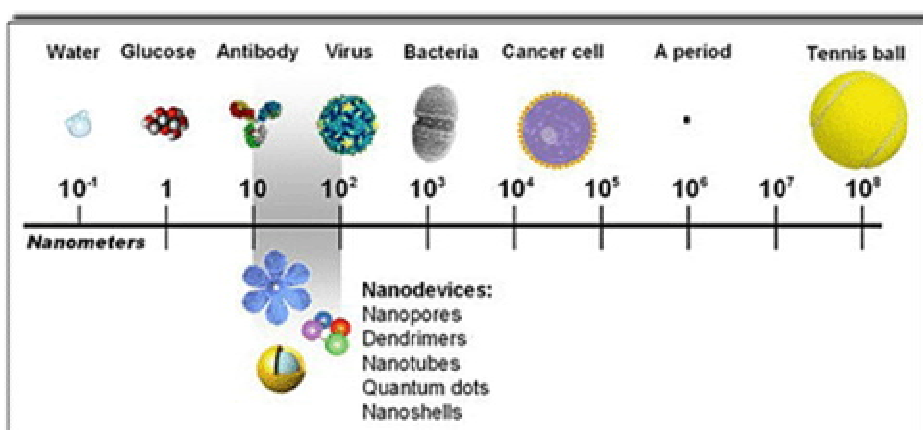
Z tohoto důvodu nemohla být práce koncipována jako posouzení ekonomické náročnosti výroby nanorobota, protože k danému problému nejsou dostatečné podklady, dokonce zmiňovaný produkt nanorobota v současné době ani neexistu-

je. Jedná se o technologii, která vstoupí podle odborných odhadů na trh někdy v příštích 20 až 25 letech.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 NANOTECHNOLOGIE

Nanotechnologie je v současné době jednou z nejprogresivnějších technologií. Obecně ji můžeme označit jako technologii, která se zabývá vytvářením a využitím materiálových konstrukcí a struktur o velikosti pouhých několika nanometrů v jednom z rozměrů (0,1-100 nm). Konstruktivními prvky jsou molekuly i samotné atomy. Pro představu velikosti rozměrů nano je uveden následující obrázek:



Obrázek 1: Přehled velikostí jednotlivých prvků v nanometrech [15]

Nanotechnologie je interdisciplinární vědou a zahrnuje vědní oblasti a technologie, zabývající se přesným ovládním jednotlivých atomů a molekul tak, aby vznikl nějaký objekt (např.: čip, tisíckrát menší než struktury vyráběné doposud běžnou technologií) a nebo struktura s novými vlastnostmi (elektrickými, optickými, fyzikálními apod.), které lze pochopit a ovládat.

Nanotechnologie jsou vědní disciplínou s nesmírně širokým znalostním a aplikačním potenciálem, která překračuje vymezení jednotlivých vědních a technických oborů. Pro pochopení důvodu současného rozvoje tohoto oboru je nezbytná určitá znalost a představa o dějích odehrávajících se na atomární a molekulární úrovni.

Vymezení nanotechnologií

Pojem nanotechnologie je v posledních letech jedním z nejskloňovanějších termínů řady vědních oborů, techniky i laické veřejnosti. Pojem „nano“ je v inženýrské praxi běžně znám a vyjadřuje násobek – jednu miliardtinu (10^{-9}) základní jednot-

ky. Nanotechnologie je pak relativně nový pojem obsahující jevy, techniky, zařízení nebo struktury, jejichž rozměry odpovídají úrovni nanometrů – jedné miliardtiny metru, tedy atomové a molekulární úrovni. Takto zavedený pojem by však byl příliš široký, protože celý hmotný svět včetně nás samých je složen z atomů a molekul, jejichž stavy a ději se již dlouhodobě zabývají obory jako je fyzika, chemie, biologie a další. Nový pojem „nanotechnologie“ tak musí znamenat více, než pouze obsah částí zmíněných vědních disciplín. Za nanotechnologie lze tedy označit jen takové materiály, systémy, jejich aplikace nebo způsoby tvorby, které splňují následující podmínky:

- Mají alespoň jeden rozměr nebo svoji vnitřní strukturu v intervalu velikostí 1 – 100 nm (0,001 – 0,1 μm).
- Využívají fyzikálních nebo chemických vlastností na úrovni atomů a molekul, takže mají neobvyklé charakteristiky v porovnání se stejným materiálem nebo systémem, který nemá složky s nanorozměry.
- Mohou být kombinovány tak, aby vytvářely větší struktury s důsledky do makrosvěta. Omezení spodní rozměrové hranice nanotechnologií na 1 nm slouží k vyčlenění samostatných molekul a atomů, tedy objektů mikrosvěta v klasické terminologii.

Přestože se o nanotechnologiích jako oboru hovoří teprve v posledních dvou desetiletích, některé jevy, které bychom dnes mohli označit za nanotechnologie, jsou známy a využívány již velmi dlouhou dobu. Takovým příkladem jsou například tvary krystalů různých minerálů vzniklých za vhodných podmínek, které jsou důsledkem jejich vnitřního uspořádání na atomové a molekulové úrovni. Stejně tak existence živých organismů je důsledkem přírodou aplikovaného nanotechnologického přístupu označovaného jako samoorganizace a samosestavování. Dokonce i řada rostlin a živočichů využívá mnoho nanostruktur pro svoji potřebu, jejichž princip a funkce byla odhalena teprve nedávno, díky technickému pokroku v oboru nanotechnologií. [5]

Nanotechnologie je v podstatě přírodní záležitostí, bohužel možnosti přírody jsou poměrně omezené - nemůže pracovat s vysokými teplotami, jako zpracovatelé keramiky, ani s kovovými vodiči. Oproti přírodě má moderní technika k dispozici

mnoho umělých podmínek – extrémní čistotu, chlad, vakuum – při nichž hmota odhaluje své překvapivé vlastnosti.

1.1 Definice a pojmy

Nanotechnologie jsou skupina intenzivně se rozvíjejících se oborů, které využívají pozoruhodného pokroku v technologii kontroly struktury materiálů v rozměrech, jež se blíží velikosti jednotlivých molekul a jejich organizovaných celků nebo supramolekulárních struktur. Nanometrické délkové měřítko v zásadě vytváří možnosti pro nové materiály, které lze využít ke konstrukci zařízení a systémů.

Nanotechnologii obvykle odlišujeme od nanovědy, která takovou technologii umožňuje. Nanověda je v podstatě výzkum jevů a materiálových vlastností na nanometrické úrovni. Jsou to vědní oblasti na průsečíku fyziky pevné fáze, chemie, inženýrství a molekulární biologie. Nanotechnologie využívají získané vědomosti a znalosti k vytváření nových materiálů a struktur s novými a leckdy neobvyklými vlastnostmi. Nanostruktury, které jsou základními prvky nanomateriálů, jsou dostatečně malé na to, aby se v nich mohly uplatňovat kvantové jevy. Jsou však i tak rozměrné, že aplikace zákonů kvantové mechaniky při zkoumání jejich vlastností nemá význam. Dnes rozumíme individuálním vlastnostem atomů, ale prozatím málo rozumíme tomu jak se chovají jejich seskupení a tomu, jak vznikají jejich někdy neočekávané vlastnosti. [6]

To nejdůležitější však není jen poznání a charakterizování jevů, ale především praktické využití nových a neobvyklých vlastností nanomateriálů, nanosystémů a nanozařízení, které cílevědomě vytváříme a spojujeme je s objekty větších rozměrů. Jak již bylo zmíněno, nanotechnologie je interdisciplinární a průřezovou technologií rozvíjející se v řadě oblastí.

Díky této interdisciplinární povaze dnes můžeme rozlišit několik nově vzniklých oborů, jako nanochemii, nanoelektroniku, nanooptiku (nanofotoniku), nanobio-technologie, nanoanalytiku a další.

Používání pojmu „nanotechnologie“ je prozatím omezeno na umělé nanostruktury polovodičů, kovů, keramiky a plastů. Na druhé straně, většinu oblastí biologie můžeme považovat za formu nanotechnologií, protože molekulární stavební jed-

notky života (proteiny, nukleové kyseliny, lipidy, uhlohydráty atd.) jsou příklady materiálů majících zvláštní výjimečné vlastnosti vyplývající z jejich rozměrů, způsobu jejich vytváření a funkcí v nanorozměrech. Právě z přírody a biologie může čerpat technický svět elektroniky, počítačů, materiálového inženýrství a technologií výroby poznatky jak sestavovat komplexní funkční zařízení a systémy, které mohou pracovat na molekulární úrovni.

„Nanověda je studium jevů a manipulace s materiály na atomové, molekulární a supramolekulární úrovni, kde se vlastnosti výrazně liší od vlastností ve větších rozměrových škálách.“

„Nanotechnologie jsou projektování, charakterizace, produkce a aplikace struktur, zařízení a systémů řízením tvarů a rozměrů v nanometrické škále.“

Uvedené definice byly zformulovány v rámci zpracovávání britské studie „Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties“ v roce 2004.

Nomenklatura

1. Nanomateriály

Mezi nanomateriály řadíme:

- nanopráškové materiály, nanočástice, kvantové tečky, nanovlákna;
- kompozitní materiály obsahující nanočástice;
- materiály s uhlíkovými nanotrubicemi nebo fullereny;
- tenké vrstvy, nanovrstvy, nanopovlaky;
- nanostrukturní kovy a slitiny;
- nanokeramika;
- polymerní nanokompozity, polymerní nanomateriály.

2. Nanotechnologie pro ukládání a přenos informací, mikro- a nanoelektronika

Do této kategorie řadíme:

- nanoelektronika, materiály a zařízení;

- nanofotonika;
- optické materiály, struktury a zařízení;
- magnetické materiály a zařízení, spintronika;
- organická fotonika, bioelektronika;
- MEMS, NEMS.

3. Nanobiotechnologie, nanomedicína

Do této sféry spadá:

- zapouzdřování léků;
- cílená doprava léků;
- tkáňové inženýrství;
- biokompatibilní a bioanalogické materiály a vrstvy;
- molekulární analýza, analýza DNA;
- biologicko-anorganické rozhraní a hybridy;
- diagnostika, molekulární rozpoznávání.

4. Nanotechnologie pro aplikaci v senzorech

K nanotechnologii v senzorech se řadí:

- senzory využívající nanomateriálů;
- biomolekulární senzory.

5. Nanotechnologie pro (elektro) chemické technologie zpracování

Do těchto technologií řadíme:

- filtrace, membrány, molekulární síta, zeolity;
- katalýza nebo elektrody s nanostrukturními povrchy;
- chemická syntéza, supramolekulární chemie.

6. Dlouhodobý výzkum s širokou oblastí aplikace

K výzkumu řadíme:

- self-assembly (samosestavování);
- kvantová fyzika, kvantové jevy v nanorozměrech, nanofyzika;
- nano- a mezoskopické systémy;
- chemické materiály a procesy – nanochemie;
- ultra-přesné inženýrství.

7. Přístroje a zařízení, výzkum a aplikace technologií

Do této oblasti patří:

- analytické přístroje, metody, techniky a výzkum;
- výroba (příprava) nanoprášků (nanočástic) a jejich zpracování;
- zařízení a metody pro vytváření vrstev a povlaků;
- zařízení a metody vytváření objektů (patterning., ECAP, vytváření vláken ap.);
- ultra-přesné obrábění, nanometrologie.

8. Zdravotní, ekologické, etické, sociální a jiné aspekty nanotechnologií

Do této kategorie spadá:

- toxicita nanočástic;
- ekologické aspekty;
- sociální a etické aspekty;
- standardizace;
- patentování;
- prognózy;
- popularizace nanotechnologie;
- obchod s nanovýrobky. [29]

1.2 Vývoj nanotechnologie

První průkopníci nanotechnologie

Richard Philips Feynman

Richard P. Feynman byl prvním vědcem, který na možnosti z oblasti „nanosvětá“ poukázal. Svou vizi o nanotechnologii nastínil v prosinci roku 1959 při příležitosti zasedání Americké fyzikální společnosti na Kalifornské technologické univerzitě (CALTECH). Jeho přednáška měla název “There’s Plenty of Room at the Bottom” („Tam dole je spousta místa“) a pojednávala o možnostech praktického využití světa atomů v budoucnosti.

Hlavní oblast výzkumů Feynmana spadá do oblasti kvantové mechaniky, konkrétně kvantové elektrodynamiky. Známostou prací jsou tzv. Feynmanovy diagramy, které jsou grafickým vyjádřením matematických vztahů, které popisují chování systémů interagujících částic.

Zpočátku se Feynmana nebral nikdo vážně, ale lidé „nezaháleli“ - Následující dvě desetiletí přinesla miniaturizaci v elektronice, další desetiletí komputizaci a PC se dostaly ze sálů na pracovní stoly. Dalším objevem bylo sledování molekul a atomů pomocí AFM a STM. Počátek 90. let znamenal nástup internetu, rozvoj mikrosystémového a genetického inženýrství a první úspěšné pokusy technologií v měřítku nanometrů.

Kim Eric Drexler

Drexler byl prvním člověkem, který rozpracoval myšlenku nanotechnologické revoluce a popsal svět miniaturních umělých systémů, jakýchsi neuvěřitelně malých strojů neboli nanorobotů. Jeho vize byla taková, že se stroje budou podobat živým organismům nejen schopností reprodukce, ale i vzájemnou komunikací a sebezdokonalováním, přičemž jejich velikost se bude pohybovat na molekulární úrovni.

Feynman, Drexler a Leary byli v tehdejší vědecké komunitě považováni za blázny. Prudký rozvoj v oblastech nových technologií ke konci dvacátého století jim však začal dávat za pravdu:

V roce 1990 vědecký tým společnosti IBM napsal pomocí tunelového skenovacího mikroskopu logo své firmy na niklovou destičku 35 izolovanými xenonovými atomy.

V dalším roce byly vyrobeny první uhlíkové nanotrubičky a bylo demonstrováno vedení elektrického proudu jedinou molekulou.

Velký význam pro vývoj nanotechnologií měly také laboratoře velkých amerických společností a univerzit, kde se podařilo sestrojít první nanomechanismy, jakými jsou například osy desettisíckrát tenčí než lidský vlas, neviditelná molekulová ložiska s ultranízkým třením, nanovláček, který jezdí po jedné koleji, nebo první nanotranzistory využívající výhodných vlastností fullerenu.

Nebyli to pouze tito vědci, kteří vyslovili základní vize nanotechnologií a zároveň přispěli k jejich realizaci, ale také mnohé pracovní skupiny univerzit (např. Purdue University of Indiana, kanadská University of Alberta, aj.) a společností (např. IBM, Intel a Hewlett-Packard), ve kterých se začaly provádět a do současné doby provádí výzkumy a realizace v oblasti „nano“.

Z fantazie Richarda P. Feynmana se tedy začala stávat skutečnost. To, že se objevy a aplikace nanotechnologií objevují pravidelně ve vědeckých periodikách, je již samozřejmostí. [8]

1.3 Bezpečnost

Přes značné pokroky v oblasti výzkumu je problematika bezpečnosti obestřena ještě mnoha otazníky, které souvisí s dosud neodhalenými možnostmi praktického využití. Přesto dnes nanomateriály zasahují téměř do všech oborů lidské činnosti a jsou předmětem diskusí mnoha odborníků, ale i laické veřejnosti. Jednání o ekonomických, sociálních a etických vlivech nanotechnologií probíhají v posledních 10 letech s rostoucí intenzitou zejména v USA, ale i v Evropě.

1.3.1 Bezpečnost a ochrana zdraví při práci s nanomateriály v EU

Jedním z nejpálčivějších témat je otázka bezpečnosti a ochrany zdraví při práci (BOZP) s nanomateriály. Jejími hlavními organizátory jsou PEROSH a NEW OSH ERA. Českou republiku v tomto sdružení zastupuje Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v.v.i., který má také zájem zapojit se aktivně do práce odborné skupiny. Jedná o poměrně širokou oblast a proto je snahou získat ke spolupráci i řadu dalších tuzemských subjektů, a to jak z akademické obce, tak z průmyslu.

Nanotechnologie nabízí nepřeberné možnosti využití v medicíně, dopravě, stavebnictví, komunikacích, textilním, kosmetickém, potravinářské, chemickém a keramickém průmyslu, energetice, kosmonautice, elektrotechnice, při výrobě sportovních náčiní nebo věcí denní potřeby. Lze tedy předpokládat, že stejně jako v případě informačních technologií, zasáhne nanotechnologie téměř do všech oborů lidské činnosti.

Na období 2007-2012 vytyčila Evropská komise pro členské státy jako jeden z úkolů identifikaci zdravotních rizik při práci s novými materiály a technologickými procesy. Projekt je zaměřen na nově vznikající rizika v oblasti BOZP, předvídání a zvládnání změn na pracovištích souvisejících s těmito riziky. Součástí těchto „nových“ rizik, kterých bylo definováno celkem 7, jsou i rizika spojená s expozicí nanočásticím. [9]

1.3.2 Všeobecná doporučení bezpečnosti nanotechnologií

Na základě veřejné diskuse členů zapojených do NEW OSH ERA a sdružení PEROSH, kterou iniciovala Evropská komise, byla stanovena nejzávažnější témata BOZP při práci s nanomateriály:

- vypracovat rejstřík nanomateriálů (polotovarů a konečných výrobků);
- přidělovat vyráběným nanomateriálům všeobecně uznávané číslo v registru CAS;
- urychlit vědecké práce při sběru dat o vlastnostech nanomateriálů a podrobovat je analýze;
- vyvíjet měřicí zařízení;
- vyvinout standardizované metody hodnocení rizik;
- prosazovat „dobré zkušenosti“ při oceňování rizik, zdraví lidí, nebezpečí pro životní prostředí a bezpečnost v celosvětovém měřítku.
- zřídit instituce pro monitorování rozvoje nanotechnologie, pro zavádění laboratorních i výrobních standardů a pro případná regulační opatření;

- rozvinout dialog s veřejností a průmyslem a zajistit účast obou stran při rozhodovacích procesech;
- vypracovat směrnice a standardy pro oceňování rizik, pro výrobu a manipulaci nanomateriálů a pro komercializaci nanomateriálů a jiných nanotechnologických výrobků;
- revidovat stávající regulační opatření s ohledem na specifika nanotechnologie;
- Přikládat nejvyšší význam výrobě a manipulaci s volnými nanočásticemi, dokud nebude identifikována jejich míra nebezpečnosti, případně, dokud nebudou např. zabudovány do matrice jiné látky.
- Snažit se o eliminaci, případně minimalizaci výroby částic o nanorozměrech a jejich nechtěnému uvolňování do životního prostředí, tam kde je to možné. [9]

1.3.3 Priority výzkumu v oblasti nanotoxikologie a bezpečnosti nanotechnologií

Kompetentní autority EU se shodly, že aktuální dostupná data o toxických vlastnostech a možnostech expozice syntetickým nanočásticím jsou pro ucelený, podrobný a potřebný odhad rizik jejich potenciálních účinků na lidské zdraví neadekvátní. Výzkum v oblasti bezpečnosti nanotechnologií by se podle zástupců PEROSH a NEW OSH ERA měl ubírat dvěma hlavními směry:

- (1) směrem odhadu expozice nanočásticím na pracovištích a
- (2) směrem výzkumu potenciálních nebezpečí, které nanočástice pro exponované jedince skýtají.

Mezi další významné cíle výzkum patří i vývoj postupů monitorování a zaznamenávání změn zdravotního stavu exponovaných jedinců. [9]

Priorita 1: Odhad expozice nanočásticím

Nejdůležitějším bodem pro správný a ucelený odhad rizik expozice je získat v první řadě více dat, zejména z oblasti toxikologie a také o vlastním charakteru činností, při kterých k expozicím dochází. Jedná se jak o pracovníky, kteří jsou vystaveni profesionální expozici, tak i o koncové uživatele výrobků obsahujících nanočástice.

Pro všechny typy scénářů vstupu nanočástic do lidského těla je potřeba vyvinout metodiky měření expozice nanočásticím a podrobit je testování a následné validaci. Jednou z překážek při vývinu metodik může být snížená možnost identifikace uměle vyrobených nanočástic kvůli přítomnosti ostatních částic přirozeně se vyskytujících v daném prostředí. Dalším z cílů výzkumu je vývoj metodiky testování prašnosti pro vybrané typy vyráběných nanomateriálů a návrh norem, které by obsahovaly určení velikostní distribuce a schopnosti agregace emitovaných částic. Je nutné, aby získané informace byly následně zahrnuty do bezpečnostních listů všech vyráběných nanomateriálů. Nedílnou součástí výzkumu expozice nanočásticím je také návrh metody či systému, který by umožňoval analyzovat sebrané údaje a vytvářet jejich podrobnou databázi.

Priorita 2: Odhad potenciálních nebezpečí nanočástic a nanomateriálů

Druhým hlavním směrem je odhad potenciálních nebezpečí uměle vyráběných nanočástic pro exponované jedince. Pro řešení tohoto problému je nutná znalost tzv. kritické míry expozice volným nanočásticím v pracovním prostředí a to při různých pracovních procesech (zpracování, výroba, expedice atd.). Zmíněné údaje by měly být stanoveny pro všechny typy vyráběných nanomateriálů, z čehož vyplývají další a mnohem specifičtější požadavky výzkumu. Jedním ze specifických požadavků budoucího výzkumu toxických vlastností nanočástic je provádění testů na laboratorních zvířatech, především inhalačních testů na krysách.

Předpokládá se, že ze všech možných cest vstupu nanočástic do organismu je vstup dýchacími cestami nejpravděpodobnější a je zpravidla spojen s nejzávažnějšími následky na zdraví exponovaného jedince. Pochopitelně není možné, aby byly testy na laboratorních zvířatech prováděny pro všechny typy uměle vyrábě-

ných nanočástic. Bude nutné vyvinout dostatečně robustní a systematické mezilaboratorní porovnávání *in vivo* a *in vitro* inhalačních testů toxicity. [9]

Mnoho nejen uměle vyráběných nanočástic se často vyskytuje v agregované podobě. Velmi malé částice mají vysokou tendenci k adhezi na povrchích větších částic, a to zejména díky přítomnosti povrchového náboje. Je tedy eminentním zájmem zaměřit výzkum na studium toxikokinetiky a toxikodynamiky nanočástic ve styku s většími částicemi. Nemělo by se zapomínat na chování zmíněných aglomerátů a volných nanočástic po vstupu do organismu. Znalosti o jejich průniku kůží, přemístování organismem z plic (po vdechnutí) do ostatních vnitřních orgánů a také o jejich schopnosti se zde akumulovat jsou nedostatečné. Především akumulace těchto částic v periferních a centrálních nervových systémech by mohla nedozírné následky.

V České republice je do problematiky nanotechnologií zapojeno asi přes tisíc odborníků, kteří se zabývají základním i aplikovaným výzkumem zaměřeným především na zkoumání vlastností nanomateriálů a jejich příprav, na techniky zobrazování, na využití v oblasti nanobiotechnologie, nanomedicíně, nanoelektronice a celé řady dalších [11].

V roce 2008 bylo ve spolupráci hlavního hygienika ČR, krajských hygienických stanic a Státního zdravotního ústavu provedeno dotazníkové šetření „Pasportizace pracovišť s nanomateriály v České republice“.

Výsledky tohoto šetření ukázaly, že na 104 šetřených pracovištích (výzkumného i výrobního charakteru) se pracuje se všemi známými typy nanomateriálů. Ve většině výzkumných organizací je expozice osob vyloučená nebo velmi nepravděpodobná. U výrobních podniků je poměr pracovišť s možností expozice nanočásticemi a pracovišť bez pravděpodobné expozice stejný. Ve většině šetřených výrobních podniků je roční spotřeba nanomateriálů menší jak jedna tuna a na žádném z těchto pracovišť nebyly dosud objektivně zaznamenány zdravotní obtíže či poškození zdraví pracovníků v důsledku expozice nanomateriálům, přesto nelze při chronické expozici nežádoucí následky vyloučit [9].

1.3.4 Současný stav znalostí toxikologie v oblasti nanotechnologií

O současném stavu vědění v oblasti toxikologie nanomateriálů a bezpečnosti nanotechnologií jednala na konci listopadu loňského roku mezinárodní konference odborníků ze 16 evropských zemí a Spojených států. Konferenci pořádal Ústav experimentální medicíny AV ČR ve spolupráci s britským velvyslanectvím v Praze a Vědeckým a inovačním centrem britské vlády. Hlavním cílem setkání bylo zhodnotit prováděné studie a projekty a formulovat priority výzkumu, aby byla do pěti let navržena dosud neexistující evropská legislativa v oblasti bezpečného používání nanomateriálů.

Bezpečnost zaostává za vývojem

Dosud platné bezpečnostní standardy vychází z limitních hodnot pro látky, ze kterých jsou nanomateriály složeny, avšak neberou v úvahu experimentálně ověřený fakt, že nanočástice (tj. částice s jedním rozměrem pod 100 nanometrů) mohou v lidském těle na rozdíl od větších částic pronikat do řady orgánů i tkání a zde vyvolávat nežádoucí toxické účinky. Fakt, že bezpečnost nanotechnologií zaostává za jejich vlastním rozvojem, je dán i tím, že se z hlediska chemických a fyzikálních vlastností jedná o nesmírně rozmanité materiály (uhlík, kovy, oxidy), jejichž možné nežádoucí účinky závisí na řadě parametrů. Proto je nalezení společných bezpečnostních standardů tak obtížné.

Výzvy v oblasti bezpečnosti nanotechnologií

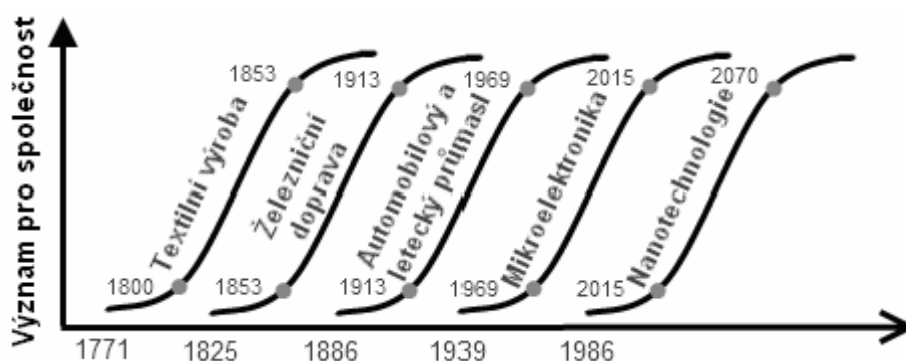
Konference diskutovala i o materiálu s pracovním názvem "Nanosafety Challenges", který hodnotí dosavadní stav vědění v oblasti řízení rizik pro vyráběné nanomateriály. Dokument byl předzpracován formou vyjádření předních světových expertů v dané oblasti, kteří odpověděli na řadu otázek, např.: „Máme dostatečně kvalitní data, abychom mohli alespoň v některých oblastech bezpečnosti nanotechnologií učinit definitivní závěry?“, „Ve kterých důležitých oblastech nanotoxikologie jsou data zcela nedostatečná?“, „Máme již adekvátní metody pro některé oblasti nanotoxikologie?“. To jsou jen některé z otázek, na které se vědci snažili během pražské konference najít konsensuální odpovědi, neboť jejich názory i na takto elementární problémy se značně liší.

Přínos pro nanotoxikologii v ČR

Jedním ze základních důvodů, proč se takto významná konference konala v České republice, je fakt, že dosavadní zapojení českých vědeckých pracovišť do evropských nanotoxikologických projektů je takřka nulové. Je to tím, že v našem státě je otázka bezpečnosti nanotechnologií stále podceňována, respektive financování takových projektů je špatně nastaveno. Podpora je nesmyslně podmíněna kofinancováním soukromými subjekty, pro které je to především finančně neúnosné (malé soukromé firmy v ČR se nemohou svou finanční silou srovnávat s koncerny typu BASF, DuPont, apod.) a hlavně je k tomu zatím žádná legislativa netlačí. Výsledkem je stav, který ve svém vystoupení na konferenci výstižně popsal profesor Danihelka: „Z asi 500 projektů v oblasti rozvoje nanotechnologií v ČR jich pouze pět zahrnuje otázky jejich bezpečnosti.“ [28]

1.4 Aplikace

Od 70. let minulého století odborníci pravidelně předpovídají, že technika v období deseti až patnácti let narazí na své hranice. Tak je tomu také dnes. Tentokrát má elektronický průmysl samozřejmě pádný důvod předpokládat zlom v tradici pokračujícího zmenšování struktur.“

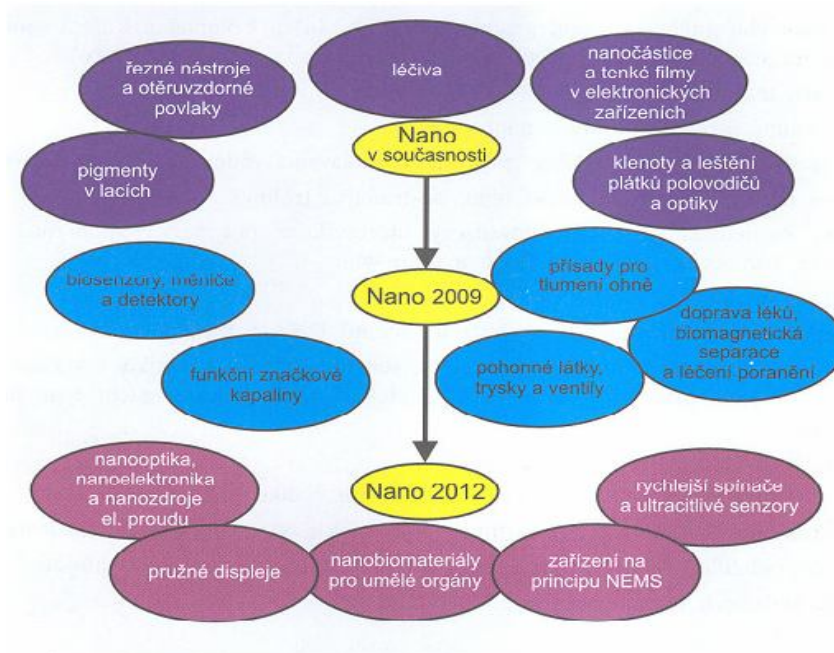


Obrázek 2: Význam nanotechnologií pro společnost [5]

Jak již bylo řečeno, nanotechnologie je oblast s širokou škálou mezivědních činností, které mohou být využity velmi různě, například v optoelektronice, mikrofluidice i v lékařství.

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, desinfekční roztoky nové generace, analyzátory, ochranné roušky);
- strojírenství (super-tvrdé povrchy s nízkým třením, samočisticí nepoškrabatelné laky, obráběcí nástroje);
- stavebnictví (nové izolační materiály, samočisticí fasádní nátěry, antiadhezní obklady);
- chemický průmysl (nanotrubice, nanokompozity, 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). [7]



Obrázek 3: Současné aplikace nanotechnologií [6]

Nanobiotechnologie

Jednou z nejvýznamnějších interdisciplinárních sfér, která začíná nyní sklízet plody ze své činnosti, je rozhraní mezi biologickými vědami a nanotechnologií. Konvergence biologických věd a nanotechnologií je doménou nanobiotechnologie či bionanotechnologie. Nanobiotechnologie je definována jako oblast, která používá principů a technik nanotechnologie pro porozumění biosystémům (živým či neživým) a pro jejich přeměnu. [6]

Od aplikací výsledků výzkumu v oblasti nanobiotechnologie (bionanotechnologie) se očekává významný pokrok v mnoha důležitých oborech, např.:

- Aplikace v medicíně zahrnující miniaturizované diagnostické metody, které by mohly být použity ke včasnému rozpoznávání chorob a stavu organismu.
- Nanotechnologické povrchy, které mohou zlepšit bioaktivitu a biokompatibilitu implantátů. Samoorganizující se struktury otevírající cestu pro nové generace tkáňových technologií a pro biomimetické materiály a poskytují dlouhodobou perspektivu pro syntetické transplantace orgánů.

- Zcela nové systémy pro podávání léků. Nedávno se podařilo transportovat nanočástice do buněk tumoru s cílem jeho likvidace ohřevem.
- Výzkum potravin, vody a životního prostředí a jeho rozvoj využitím biotechnologie zejména při zjišťování a neutralizaci přítomnosti mikroorganismů nebo pesticidů.
- Původ potravin by mohl být sledován pomocí nového způsobu miniaturizovaného „značkování“.
- Vývoj nanotechnologických (např. fotokatalytických) technologií pro odstraňování škodlivin by mohl významně pomoci při odstraňování škod v životním prostředí (např. znečištění vod nebo půdy ropnými produkty).
- Bezpečnost by mohla být zvýšena např. inovovanými systémy rozpoznávání s vysokou přesností a včasným upozorněním na biologické nebo chemické látky na úrovni jednotlivých molekul.
- V dlouhodobé perspektivě by mohly molekulární nebo biomolekulární nanoelektronika, spintronika nebo kvantové počítání ukázat nové cesty, které překonají současné počítačové technologie.

Nanotechnologie taktéž nabízejí nová řešení pro transformaci biosystémů a poskytují širokou technologickou základnu pro využití v několika oblastech:

- v průmyslovém biozpracování;
- v molekulární medicíně (nanomedicíně);
- v biofarmacii při vývoji nových léků, při zkoumání vlivu nanostruktur na zdraví a životní prostředí (vliv znečištění okolí nanočásticemi a ekotoxikologie);
- při zkvalitnění zemědělských systémů (přeprogramovaná / samoregulační dodávka živin, transplantované buňky chráněné membránami, bioseparace, snímače signálu, rychlé odebírání vzorků a péče o zdraví chovných zvířat);
- v potravinářství (při zvyšování výkonů v zemědělství, u nových potravinářských výrobků, při konzervaci potravin, v obalové technice ap.);

- v budoucnosti při zlepšování kvality lidského výkonu (zvyšování smyslové kapacity, propojení mozku a mysli, integrování nervových systémů s nanoelektronikou a nanostrukturovanými materiály). [6]

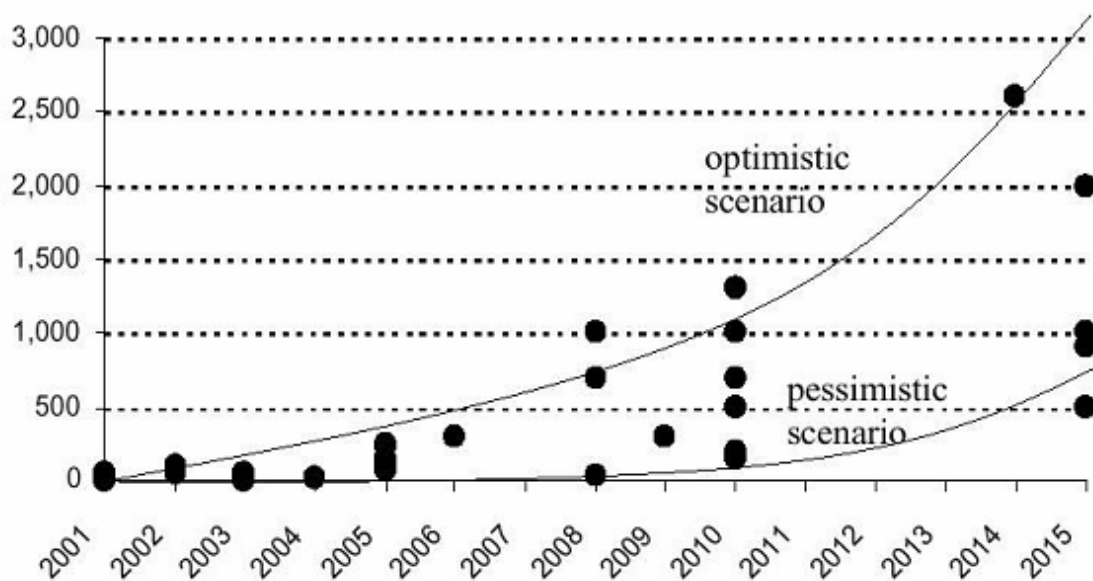
1.5 Ekonomické využití

Nanotechnologie se mohou vyskytovat v téměř jakékoliv oblasti, na kterou si vzpomeneme. Nyní se vyskytují v pneumatikách automobilů, v zubních pastách, v krémech proti slunci, v tenisových raketách a tenisových míčích, v tričkách a kalhotách, v přehrávačích CD a dokonce v površích koupelňových van, záchodových mís a umyvadel. [7]

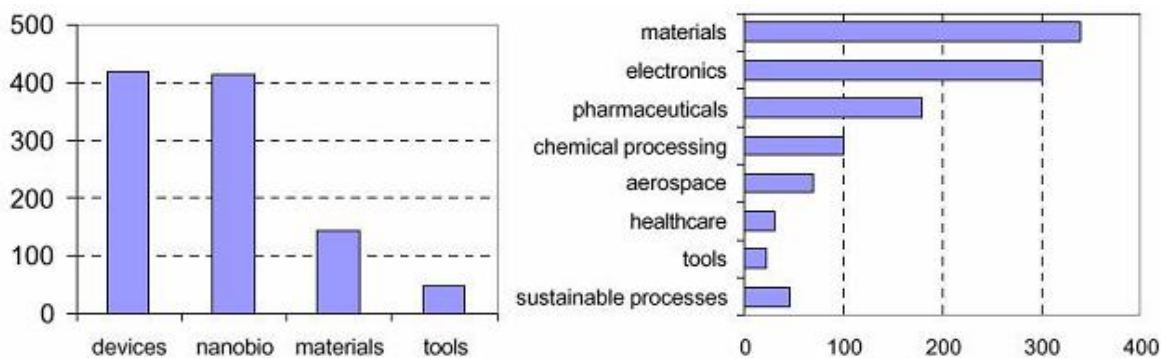
Nanotechnologie nesouvisí s určitým průmyslem, který může být snadno identifikován a kvantitativně určen. Bude-li nanotechnologie úspěšná, může významně přispět ke zlepšení mnoha produktů a umožní výrobu výrobků úplně nových.

1.5.1 Výzkumy a prognózy

Většina prognóz trhu týkajících se nanotechnologie pochází z počátku roku 2000 a dále a jejich konečný časový horizont je až do roku 2015. Snad nejznámější číslo týkající se budoucího trhu nanotechnologie bylo uveřejněno americkou Nadací pro národní vědu (NSF) v roce 2001. Nadace pro národní vědu vyhodnotila, že světový trh s nanotechnologickými výrobky v roce 2015 bude činit 1 bilion amerických dolarů. Tento scénář by naznačoval, že trh s produkty na bázi nanotechnologie by byl větší než u nadějného trhu informačních a komunikačních technologií a desetkrát by v budoucnosti převýšil trh s biotechnologií.



Obrázek 4: předpovědi pro trh s nanotechnologiemi v miliardách US dolarů [14]

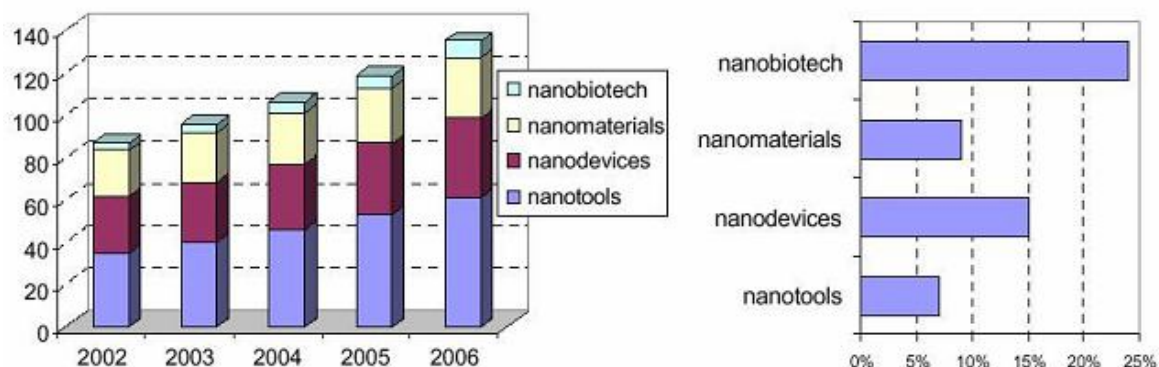


Obrázek 5: Světový trh 1999 – 2003 a prognóza na rok 2015 v miliardách USD [14]

Výše uvedená čísla ukazují možný vývoj, ale pro hlubší analýzu vývoje trhu nanotechnologie nejsou dostačující. Jak Lux Research, tak i NSF vyvinuly určité úsilí, aby specifikovaly hodnoty uvedené pro podoblasti nanotechnologie. Výsledky analýzy Lux Research za 5 let (1999 – 2003) jsou uvedeny na obrázku vlevo. Výsledky analýzy NSF – vpravo - ukazují, že k očekávanému překonání podílu 1 biliónu amerických dolarů na celosvětovém trhu dojde v roce 2015.

V letech 1999 – 2003 činí podíly přibližně 420 miliónů u nanozařízení a 415 miliónů amerických dolarů u nanobiotechnologie. Materiály a nástroje hrají menší úlohu a jejich podíl činí u materiálů 145 miliónů a u nástrojů 50 miliónů amerických dolarů.

Nárůst vidíme i z druhé studie NSF, kde srovnání s prognózami na rok 2015 ukazuje, že u všech oblastí se předpokládá významný nárůst, například u materiálů by stoupl ze 145 miliónů až na 340 miliard amerických dolarů. Nanoelektronika bude činit až 300 miliard dolarů a po ní následují léčiva, chemická výroba a letecký průmysl. [14]



Obrázek 6: Prognóza vývoje světového trhu v různých odvětvích nanotechnologie: vlevo: v miliardách amerických dolarů, vpravo: míra průměrného ročního růstu v letech 2002 – 2006 v % [14]

U těchto odhadů hrají nejvýznamnější roli nanonástroje, i když mají nejnižší míru růstu. Nanozařízení a nanomateriály začínají na lehce nižší úrovni, ale nanozařízení mají daleko vyšší míru růstu. Na rozdíl od výše zmíněných pozorování provedených společností Lux Research je nanobiotechnologie pouze okrajovou záležitostí, která však vykazuje v průběhu srovnávací doby podstatný nárůst. Celkový nárůst dosahuje v průměru 15 % ročně, což ještě neodráží skutečný průlom.

V tomto souhrnu různých nanotechnologických podoblastí, aplikací a trhů se předpokládá, že výrobky s využitím nanotechnologie budou mít nejvyšší podíl. Odhady týkající se celého odvětví nanoelektroniky se pohybují kolem 300 miliard USD za rok 2015 a zahrnují polovodiče, ultrakondenzátory, nanopaměti a nanosenzory.

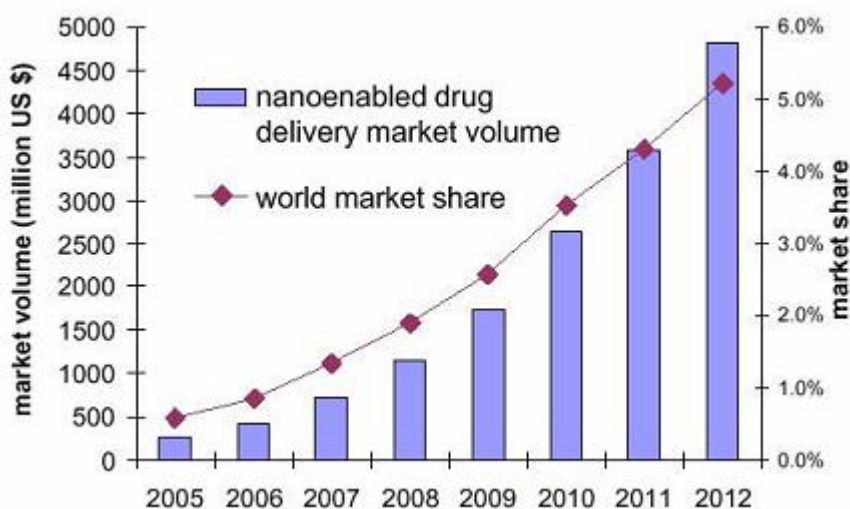
Ve třetí fázi, která probíhá nyní (od roku 2010 a dále), se nanotechnologie stane všední věcí ve vyrobeném zboží, týkajícím se péče o zdraví, stejně tak jako v aplikacích týkajících se věd o životě, které budou přicházet na trh s farmaceutickými a lékařskými přístroji. [14]

Podle dostupných dat a informací můžeme potvrdit, že se předpoklad naplnil, protože je možné zakoupit si výrobky, které nanomateriály obsahují, či byly pomocí těchto materiálů vyrobeny. Ovšem je to záležitost, která v současné době rozhodně nemá potenciál na to, aby způsobila revoluci ve smyslu masivního přechodu výrobních podniků na metody nanotechnologie.

Lux Research (2004) odhaduje, že podíl nanotechnologických výrobků na trhu bude v roce 2014 činit 4 % všech celkově vyrobených produktů, přičemž nanotechnologie bude u počítačů (PC) zastoupena 100 %, u spotřební elektroniky 85 %, u léčiv 23 % a u automobilů 21 %. To by vedlo k tomu, že nanotechnologie se v roce 2014 bude celkově podílet 15 % na celkovém výkonu výroby. [14]

Zaměřím se nyní na oblast týkající se nanomedicíny, kterou je dodávka léků a účinných látek přímo do organismu. Na trhu již existuje několik firem, které se touto problematikou zabývají. Pocházejí především z U.S.A.

Je to určitá předzvěst a posun směrem blíže k nanorobotům a jejich využití právě na poli medicíny.



Obrázek 7: Objem a podíl trhu s produkty dodávky léků do organismu na světovém trhu. [14]

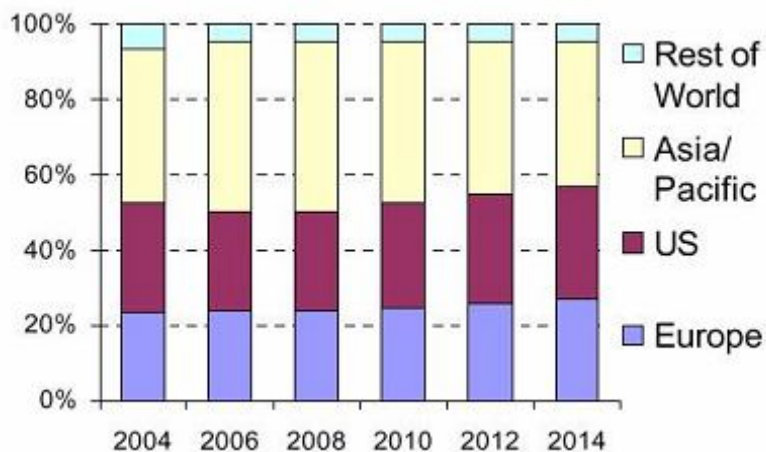
Očekávaný vývoj trhu u produktů dodávky léku do organismu na bázi nanotechnologie vykazuje v letech 2005 až 2012 průměrný roční vzrůst o 50 %. Zvyšování podílu na trhu má podobný trend, ale míra růstu je poněkud nižší. V roce 2012 bude výnos v oblasti nanotechnologie a trhu s produkty dodávky léků do orga-

nismu činit přibližně 4,8 miliard amerických dolarů, přičemž bude představovat 5,2 % podílu na trhu. Bude – li rozvoj pokračovat, pak podíl na trhu stoupne na 7 % v roce 2015 a na 10 % v roce 2020. [14]

1.5.2 Nanotechnologie a veřejnost

Zkušenost ukazuje, že očekávání a obavy ze strany občanů stejně jako vnímání rizik a přínosu těchto technologií se musí brát v úvahu, jelikož tyto faktory mají výrazný dopad na přijímání nových technologií na trhu a mohou být rozhodující v tom, zda budou mít úspěch nebo ne.

Další výzkumy ohledně nanotechnologie ukazují, že určitá kontroverzní témata existují a že úspěch na trhu by mohl být ohrožen v případě, že veřejnost cítí, že není brána v potaz, v důsledku čehož zaujímá kritický postoj k nanotechnologii jako takové a říká, že by nanočástice mohly představovat riziko pro zdraví a životní prostředí, nebo bude mít z etického hlediska obavy týkající se ztráty soukromí.



Obrázek 8: Celosvětový prodej výrobků, které mají v sobě začleněnou nastupující nanotechnologii na danou oblast – prognóza v procentech [14]

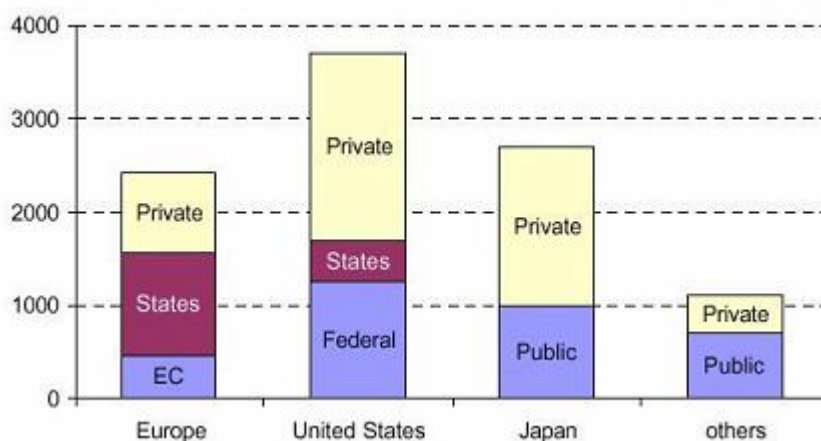
Velmi zajímavé je, že nejdůležitější oblastí prodeje nanotechnologických výrobků je Asie a Tichomořská oblast, poté následuje USA a Evropa na podobné úrovni. Zatímco u Evropy se předpokládá, že bude mít malý, ale pokračující nárůst svého podílu na trhu, v USA zaznamenají do roku 2008 pokles a poté nárůst a Asie a

Tichomořská oblast projde opačným vývojem. Důvody, které Lux Research uvádí u tohoto vývoje, se vztahují ke třífázovému modelu nanotechnologického rozvoje: v nejbližší budoucnosti ovládnou trh výrobky, které původně pocházejí z mocných asijských společností, a jsou to například počítače, mobilní zařízení nebo vozidla. Po roce 2008 půjdou do popředí léčiva, které ovládnou americké společnosti. [14]

1.5.3 Financování

Největší organizací zajišťující financování nanotechnologického výzkumu v Evropě a jako samostatná agentura dokonce i na celém světě je Evropská komise. V 6. Evropském rámcovém programu pro výzkum a technologický rozvoj byla nanotechnologie definována spolu s technologiemi materiálů a jejich výrobou (NMP) jako prioritní pro evropský výzkum. Odhaduje se, že v letech 2004 – 2006 (2004: 370 miliónů euro, 2005: 470 miliónů euro, 2006: 500 miliónů euro) bylo na nanotechnologické projekty věnováno 1,3 miliard euro, a rovněž i na jiné priority než je NMP, jsou to například informační technologie pro společnost, infrastruktury či na výzkumné a školicí aktivity. Také v letech 1994 až 2002 byly v rámci 4. a 5. Evropského rámcového programu financovány projekty týkající se nanotechnologie v celkové hodnotě 300 miliónů euro.

V rámci 7. rámcového programu bude nanotechnologie i nadále prioritou. V rámci tématu NMP a očekává se, že alespoň zdvojnásobí rozpočet spolu s dalšími příčně propojenými aktivitami, které se vztahují k dalším tématům FP7. Kromě toho bude kladen určitý důraz na nanoelektroniku a nanomedicínu jako na témata, kterými se zabývají evropské technologické platformy a na bezpečnost, ekologické a zdravotní aspekty, na nanometrologii, konvergující technologie a mezinárodní spolupráci.



Obrázek 9: Odhad veřejných a soukromých financí na výzkum a vývoj nanotechnologie v roce 2005 [14]

Nanotechnologie byla tématem sdělení Komise („Na cestě k evropské strategii pro nanotechnologie“). V tomto sdělení se navrhuje, aby byl podpořen výzkum nejen v oblasti nanovědy a nanotechnologií, ale rovněž poukazuje na několik dalších, vzájemně závislých, hybných sil:

- Větší koordinace národních výzkumných programů a investic, aby Evropa měla týmy a infrastruktury („póly excelence“), které mohou soutěžit na mezinárodní úrovni. Současně je nezbytná spolupráce výzkumných organizací ve veřejném a soukromém sektoru v celé v Evropě pro dosažení dostatečného kritického množství.
- Neměly by se přehlížet ani další činitele konkurenceschopnosti, například odpovídající metrologie, předpisy a práva k duševnímu vlastnictví, aby se připravila cesta pro průmyslové inovace a dosáhlo se konkurenčních výhod, a to jak pro velké, tak i malé a střední podniky.
- Velký význam mají činnosti související se vzděláváním a odbornou přípravou. Velký prostor existuje zejména v oblasti zlepšení podnikatelských schopností výzkumných pracovníků a zajištění kladného postoje výrobních inženýrů ke změně. Realizace interdisciplinárního výzkumu na poli nanotechnologie může rovněž vyžadovat nové přístupy ke vzdělávání a odborné přípravě pro výzkum a průmysl.

Dalšími důležitými činiteli k zajištění odpovědného rozvoje nanotechnologie a ke splnění očekávání lidí jsou sociální aspekty (například poskytování informací veřejnosti a komunikace s ní, otázky zdraví a ochrany životního prostředí a posuzování rizik). Důvěra veřejnosti i investorů v nanotechnologii bude rozhodující pro její dlouhodobý rozvoj a úspěšné využívání. [14]

Pro srovnání předchozích údajů může posloužit rozpočet Spojených států týkající se nanotechnologií za rok 2010. Se všemi jednotlivými i dvojnásobnými rozpočtovými přírůstky na program National Nanotechnology Initiative (NNI), vypadá poměrně skromně. NNI je směsí rozpočtů na výzkum nanotechnologií v rámci 25 agentur, které se programu zúčastňují. Celkově lze říci, že hromadný požadavek na rozpočet pro výzkum se v zásadě neliší od roku 2009, v průměru je asi jen o 5% vyšší. V loňském roce rozpočet činil 1,7 miliardy USD. Pokud se na věc podíváme blíže, např. u oddělení Energy je nárůst „nano“ rozpočtu o 17% na 438 milionů dolarů na financování projektů, jako je využití nanotechnologií ke zlepšení solárních článků. Další, jako National Institutes of Health a jiné subjekty působící ve zdravotnictví a sociálních službách obdržely „zdravou“ podporu navýšenou oproti minulému roku o 9,5%, na 414 milionů amerických dolarů. Agentura pro potraviny a léčiva a Komise pro bezpečnost spotřebního zboží žádaly podporu na nano-výzkum poprvé, rozpočet však činí jen několik milionů dolarů. Naproti tomu ministerstvu obrany byl rozpočet na nano výzkum snížen o 20%, na 349 milionů dolarů. Oproti tomu Výzkum Environmentální bezpečnosti a ochrany zdraví (EHS), který studuje vlivy nanomateriálů na životní prostředí a zdraví si významně polepšil. Ve Spojených státech se na tento výzkum vynakládá více peněz než ve zbytku světa dohromady. Obamova administrativa navýšila podporu EHS výzkumu na 119 milionů dolarů, což je nárůst o 35% více než v loňském roce.

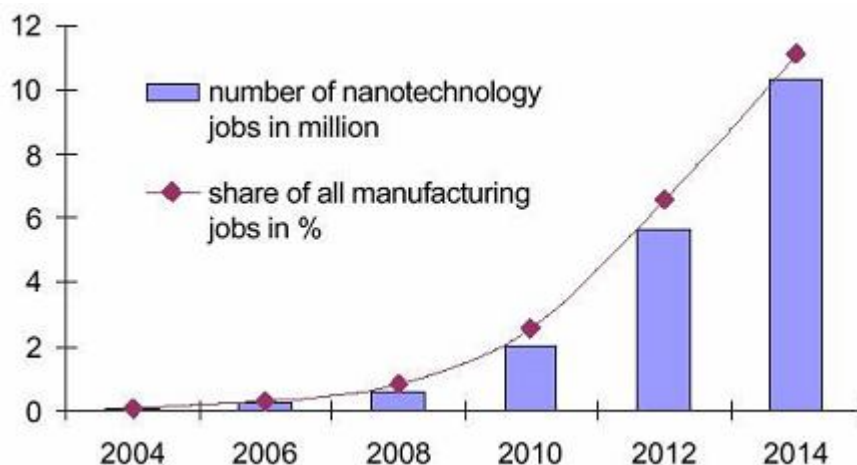
1.5.4 Analýza ekonomického dopadu: pracovní místa a společnosti v nanotechnologii

Vznik společností je důležitým indikátorem vývoje a ekonomického významu nové technologie. Obvykle jsou novými společnostmi start-up firmy, které mají jednu hlavní přednost: patent na novou technologii, který mohou sami využít ne-

bo mohou prodat licenci jiným společnostem, které jsou schopnější ve smyslu výroby nebo distribuce. Rizikový kapitál je hlavním zdrojem financování tohoto odvětví špičkové technologie, které je proto samo vysoce rizikové.

Co se týče vytváření nových pracovních míst, zde nejvíce přispívají právě společnosti start-up a malé a střední podniky. Odhaduje se, že do roku 2015 bude potřeba přibližně 2 milióny pracovníků v nanotechnologii. Tito pracovníci budou rozděleni do různých oblastí ve světě následujícím způsobem: 0,8 -0,9 miliónů bude pracovat v USA, 0,5 – 0,6 miliónů v Japonsku, 0,3 – 0,4 miliónů v Evropě, přibližně 0,2 milióny v oblasti Asie a Tichomoří s výjimkou Japonska a 0,1 miliónu bude v dalších oblastech. Kromě toho bude vytvořeno 5 miliónů podpůrných pracovních míst ve vazbě na nanotechnologii nebo průměrně 2,5 pracovních míst na jednoho pracovníka v nanotechnologii.

Společnost Lux Research je dokonce optimističtější a předpokládá, že do roku 2014 vznikne 10 miliónů pracovních míst ve výrobě, které se vážou k nanotechnologii. [14]



Obrázek 10: Počet pracovních míst v nanotechnologii v miliónech a podíl pracovních míst v nanotechnologii na všech pracovních místech ve výrobě v procentech. [14]

1.6 Výhled do budoucna

Podle dosavadního vývoje je budoucnost nanotechnologií poměrně dobře zajištěna, ať již po stránce finanční, výzkumné či otázce vzniku nových společností zabývajících se touto technologií.

Každým rokem vzniká velké množství nových podniků, výzkumných ústavů, zakládají se nové studijní obory, což můžeme sledovat i u nás v ČR.

V této kapitole uvedu několik příkladů, které by se mohly stát díky nanotechnologii skutečností, ale v současné době působí spíše úsměvně.

Kývající se ulice

Díky nanotechnologii jsou myslitelné i zcela utopicky vypadající dopravní systémy, například „kývající se ulice“. Ulice vyložené kývajícími se prvky, jakými jsou prsty, které pohybují předměty v ulici jednoduše pomocí kývání. Jako buněčné výběžky, řasinky, které jemným vlněním ze strany na stranu odstraňují nečistoty z plic. Nebo jako ty, které zajišťují pohyb prvka trepky. Tato myšlenka má prostor pro mnoho příkrášlení; v každém případě se již vážně uvažuje o malinkých, na tomto principu pracujících lineárních motorech, které pracují s rostlinnými svaly „forisomy“.

Výtah ke hvězdám

Další myšlenkou je výtah k planetám, který zcela vážně zkoumá NASA. Poprvé na něj pomýšlel ruský průkopník letů do vesmíru, Konstantin Eduardovič Ciolkovskij.

NASA studuje projekt výtahu s naprostou vážností, který – využívaje jistý druh indického triku s provazy – usiluje o vytvoření „výtahu ke hvězdám“. Podle jednoho scénáře se pomocí konvenční raketové a družicové technologie natáhne do vesmíru pás z kompozitního materiálu z nanotrubiček o šířce jednoho metru, který bude tenčí než papír. Jeden konec by se nacházel ve vesmíru ve výšce přibližně 100 000 km, druhý by byl ukotven v Tichém oceánu blízko rovníku. Pás by byl natažený díky gravitační síle Země a odstředivé síle směřující od Země. Na něm by se mohl dopravovat užitečný náklad vážící tuny na oběžnou dráhu Země a dokonce na oběžné dráhy mezi Venuší a pásem asteroidů.

Tato vize vesmírného výtahu je podle mého názoru v současnosti naprosto nerealizovatelná, nicméně by měla i jedno praktické využití ve vedlejších produktech, a to vysoce pevné konstrukční materiály pro výškové domy, mosty atp., a samozřejmě pro výtahy.

Snídaně v roce 2020

Na obalu běžně používaných nápojů by mohlo být umístěno zvláštní zařízení, něco jako „elektronický jazyk“, který ochutnává šťávu, aby zjistil, zda není zkažená. Nebo čidlo na straně vnější, které z potu prstů držících obal zjistí, že nedostatek vápníku nebo jiných látek, který by bylo možno odstranit konzumací „funkčních potravin“.

OLED štítek na obalu by doporučil ten správně uzrálý, tradiční kozí sýr. Zrcadlo v koupelně by bylo napěchováno nanoelektronikou, na žádost by i informovalo.

V zubní pastě (již je k dispozici) jsou obsaženy nanokuličky z apatitu a proteinu, přírodního zubního materiálu, které opět pomohou obnovit normální stav zubu.

Denní krémy (již existují) obsahující nanokuličky oxidu zinečnatého proti škodlivému UV záření. Kuličky jsou neviditelné, jelikož jsou to nanočástice, krém tedy není bílý, ale naprosto průhledný.

Špióni na konečku prstu

Díky nanotechnologii, nanoelektronice, mikrosystémové technice apod. bude možné vyrábět složité analytické přístroje, které budou finančně dostupné i pro soukromé domácnosti. Pro rozbor krve bude v budoucnu stačit maličký vpich do prstu a okamžitě se zjistí, zda je v pořádku hladina cholesterolu či cukru. Výsledky budou zaslány přes internet do nejbližšího nanomedicínského centra, kde by bylo možno vyžádat si přesnější rozbor a zcela individuální léčbu s použitím mikroreaktoru pro přípravu léku. Lék v těle budou dopravovat nanočástice, jejichž povrch je ošetřen tak, že se zachytí pouze v místě původu nemoci. „Cílené doručování léčiv“, precizní do nejmenšího detailu.

Domácí péče

Lepší výživa a dokonalejší medicína umožní stále více lidem, aby se dožívali vyššího věku. Tento vlastně velmi žádoucí vývoj má svou přirozenou nevýhodu v

tom, že stále více lidí bude odkázáno na pomoc. Tu bude moci poskytovat částečně nanoelektronika. Uvažuje se například o čidlech a počítačích vetkaných v oděvech, které umožní trvale sledovat zdravotní stav – tep, dech a metabolismus především starších osob. Pokud se objeví problémy, informuje tato „zdravotní vesta“ ošetřujícího lékaře nebo příbuzné. Místo pobytu bude hlásit zabudovaný GPS modul nebo modul systému Galileo (Galileo je budoucí evropská varianta GPS).

Automatický ošetřovatel

Evropa má ke strojovým pomocníkům zatím spíše rezervovaný postoj, zato v Japonsku již nezávisle se pohybující roboti čekají na průmyslovou hromadnou výrobu. Je možné, že se z nich podaří vyvinout ošetřovatele vhodné pro každodenní použití. Robotika bude moci bez problémů a ve velkém měřítku zvládnout stále rostoucí výpočetní výkon nanoelektroniky. [7]

2 NANOROBOTIKA

Od doby, kdy Karel Čapek jako první použil slovo „robot“ ve své hře R.U.R. se objevilo obrovské množství autonomních elektromechanických systémů, které byly nejdříve zkoumány v laboratoři, aby si posléze našly svou cestu na výrobní linky. Své využití našly robotické přístroje v průmyslu, v hračkářství a dokonce i v domácnosti kvůli výpomoci s menšími domácími pracemi.

Zatímco se hlavní část výzkumu robotiky snaží o to vytvořit roboty ještě užitečnější a schopnější, stejně jako zvýšit míru jejich samostatnosti, několik laboratoří se snaží, aby se robotické systémy staly mnohem menšími. Jednou z neaktivnějších oblastí tohoto výzkumu je lékařská nanorobotika, která se ocitá na průsečíku několika věd. V dalších částech práce se budu zabývat především lékařskou nanorobotikou. [20]

2.1 Nanočástice

Nanočástice je definována jako nejmenší jednotka, která může i nadále chovat jako jeden celek z hlediska vlastností a dopravy. Typicky bude průměrná nanočástice měřit okolo 100 až 2500 nanometrů. Existují ovšem ještě menší částice, které jsou označovány jako tzv. ultra-jemné nanočástice s pouhými 1 až 100 nanometry velikosti v průměru.

Tato mikroskopická částice je klíčem ke spoustě vizí, které by se jednou měly díky vědě stát skutečností. V některých případech, když je látka rozdělena do jednotlivých nanočástic, dostane se těmito částicím chování a vlastností, které dříve látka jako jeden celek neměla.

Tato unikátní velikost a chování vytváří most přes vědeckou mezeru mezi mikro a makrosvětlem. Jde o spojení mezi velkými materiály, které jsou často příliš velké pro reakce na jemné úrovni a molekulami či atomy, které nemají vlastnosti velkých materiálů, jichž jsou nanočástice schopné.

Mít takové možnosti znamená velkou univerzálnost, takže je obtížné určit jeden všeobecný účel, který budou nanočástice v budoucích technologiích zastávat. Ve skutečnosti budou pravděpodobně nanočástice pracovat „všude a na všem“. [24]

2.2 Nanomedicína

Nanomedicína je definována jako soubor věd a technologií využívaných pro diagnózu, terapii, prevenci chorob a traumatických poranění, utišení bolesti, dále nahrazování částí lidského těla, regeneraci apod. K jednomu z oborů patří i tzv. zdravotní nanorobotika, což znamená využití nanorobotů v medicíně.

Jako disciplína je zdravotní nanorobotika mladým oborem, ale již dnes poukazuje mnoho vědců na vývoj a metody, které jak říkají, položí základ pro zásadní průlom v oblasti zdravotnictví. Tento objev by mohl vést k novým aplikacím, které nabízejí nové způsoby přístupu do malých prostorů v lidském těle, které by byly jinak nedostupné.

"Nanorobotika může hrát významnou roli v oblasti zdravotnických zařízení, především pro cílené zásahy do lidského těla skrze cévní síť," říká Sylvain Martel, ředitel nanorobotické laboratoře na École Polytechnique de Montréal. " U mnoha typů zásahů chybí lékařům vhodné nástroje k tomu, aby odvedli dobrou práci, a věřím, že nanorobotika by mohla přinést nové metody a nástroje pro tyto konkrétní případy." [20]

Nedávné ukázky výroby, ovládání a řízení nanorobotů představují první zásadní kroky k vývoji reálných aplikací pro cílené podávání léků a jiné použití. Vědci říkají, že po vypořádání se s mnoha strojírenskými a lékařskými problémy, které je nutno splnit, by mohla být první verze nanorobota hotova už po několika letech práce v této oblasti. "Věřím, že první skutečná aplikace této metody, která bude mít obrovský dopad, je léčba rakoviny, především kvůli dodání léčebné látky přímo do nádoru," říká Martel.

V současné době jsou Martel a jeho tým zaměřeni na vývoj lékařského zařízení určeného k dosahování oblastí nepřístupných pro tradiční katetrizační techniky. Vytvořená platforma používá magnetickou rezonanci (MRI) k zasílání informací regulátoru, který je zodpovědný za řízení nanobotů podél krevních cév. Nanoboti, kteří se skládají z magnetických nosičů a bičíkaté bakterie, kterou je možné ovládat pomocí počítače a může být naložena léčebnými prostředky a snímači, v podstatě slouží jako bezdrátové robotické paže, které mohou provádět těžko dosažitelné úkoly.

"Na rozdíl od známých magnetických metod nám současná platforma umožňuje díky řízení v reálném čase dosáhnout míst, která jsou hluboko v lidském těle," říká Martel. Přesto se předpokládá, že bude trvat minimálně tři až pět let, než dosáhne systém dospělosti, což znamená kompletní počítačové řízení pohonu a řídicích mechanismů. [20]

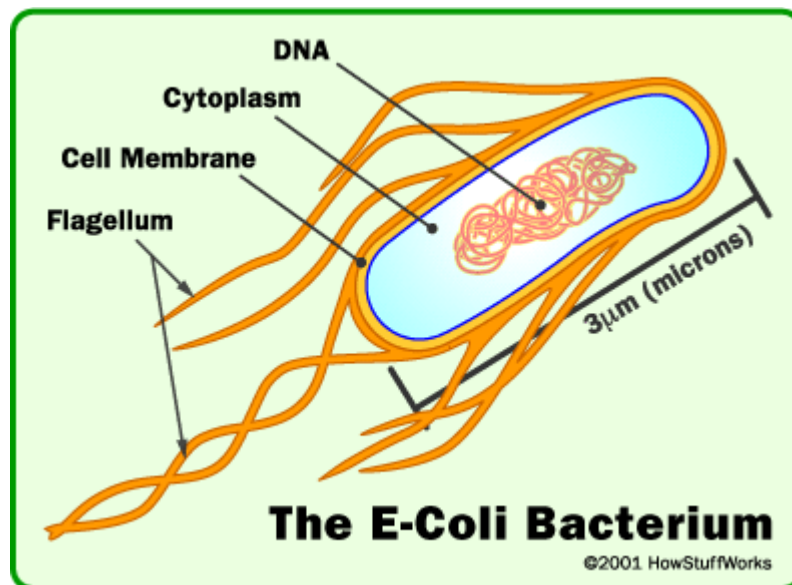
Další výzkumník, jehož návrh má obdobný přístup ke kontrole nanobotů je Metin Sitti, ředitel nanobotické laboratoře na Carnegie Mellon University. Sitti a jeho tým pracují na budování nanobotů podávajících léky. V jednom projektu použili k pohybu nanobotů bakterie, přičemž je využíváno chemického prostředí uvnitř bakterií a vnějšího prostředí k pohonu nanobota. Kromě tohoto způsobu pohonu Sitti experimentoval s optickými a magnetickými podněty k zpomalení a zastavení bakterií a poté k jejich opětovnému uvedení do pohybu.

Ale stejně jako u jiných podobných projektů v této oblasti, stojí Sitti a jeho tým před několika základními problémy. Tito nanoboti pohánění bakteriemi jsou omezeni stochastickou povahou buněčného pohybu a relativně krátkou životností bakterií. Kromě toho Sitti říká, že musí se svým týmem vyvinout účinnější způsoby komunikace s nanoboty. "Musí být nalezeny metody, jak programovat a řídit velký počet nanobotů," říká Sitti. "To bude nezbytné především v případech, když budou tato zařízení využívána k léčbě velkých ploch těla, dále ke zvýšení rychlosti a úspěšnosti lékařských zákroků a také k poskytování dostatečného množství léků pro cílovou oblast." [20]

Vědci pracující v této oblasti tvrdí, že nanobotické systémy vyvinuté Martelem, Sittim a dalšími vědci by mohly vést k novým operačním technikám, daleko sofistikovanějším a mnohem méně invazním, než jsou ty současné. Tyto techniky by se opíraly o zařízení schopná vstupu do lidského těla přes přirozené otvory nebo velmi malé řezy, která by prováděla diagnostické postupy nebo opravu tkání. "Přírodní mechanismy mohou pracovat v řádu nanometrů," říká Aristides Requicha, ředitel laboratoře pro molekulární robotiku na univerzitě v Jižní Kalifornii. "Pokud bychom vybudovali zařízení jejich rozsahu, mohli bychom s těmito mechanismy úzce spolupracovat."

Jedním z cílů práce Requicha v této oblasti je převrátit základní paradigma současné medicíny, a to posun od modelu léčení k modelu prevence pomocí senzorů v těle, které by kontrolovaly a zabily patogeny dříve, než by se u pacienta objevily příznaky. Requichanova vize znamená přehodnocení tradičního pořadí – potvrzení příznaků, léčba. "Z dlouhodobého hlediska bych vystavěl umělé a pokud možno programovatelné buňky."

Mezitím pracuje Requicha a jeho tým na dalším projektu, a to na síti z bezdrátových nanosenzorů schopných pracovat v biologickém prostředí. "Tato síť by nám poskytla nebývalé možnosti ke studiu biologie buňky tím, že by bylo možné získat data v reálném čase a na delší dobu," říká. [20]



Obrázek 11: Bakterie E-coli, díky níž by bylo možné sestrojít bionanobota [26]

Aplikace v krátkodobém časovém horizontu

Zatímco některé výzkumy zůstávají v této oblasti spíše v teoretické rovině a možná nikdy přímo nepovedou ke vzniku reálného zařízení, několik nanorobotických laboratoří se zaměřuje zejména na projekty, které by mohly být v krátkodobém horizontu uvedeny do praxe. "Jedním z aspektů, pro který jsem do této oblasti vstoupil a který pro mě byl zvláště důležitý jako pro inženýra, bylo ujistění, že skutečné aplikace, které mají smysl, na sebe nenechají dlouho čekat" říká Nelson Bradley, ředitel Ústavu robotiky a inteligentních systémů na ETH Zürich. "Rychle se ukázalo, že v biologickém výzkumu jsou aplikace možné, ale byl to

potenciál v medicíně, který se stal tím pravým důvodem, proč jsem se ubral touto cestou" tvrdí Bradley.

I s nanobotickými laboratořemi, které usilovně pracují na řešení základních otázek ve fyzice, biologii a informatice při snaze vytvořit životaschopné lékařské zařízení, zůstává nevyřešen jeden velký problém, čímž je jeden z nejčastěji citovaných problémů práce v této oblasti, a to interdisciplinární charakter výzkumu samotného, který vyžaduje nejen kombinaci moderní vědy ve zdravotnictví s pokročilou vědou v robotice, ale také schopnost komunikovat v jazyce, který lékaři používají.

Kupříkladu Nelsonova skupina se sestává z expertů na robotiku, strojních inženýrů, elektrotechniků, softwarových inženýrů, vědců zabývajících se „zrakem“ nanobota, vědců zabývajících se materiálem a chemiků. Navíc tým pracuje přímo s lékaři a biology. "Snažit se pochopit, v čem je podstata všech těchto disciplín a jak mohou společně pracovat, je pro mě velkou výzvou a jeden z nejvíce stimulujících aspektů této oblasti," říká Nelson. Martel ukazuje na podobnou zkušenost. "V mé kanceláři mohu mluvit o novém zobrazovacím algoritmu na MRI stroji a o pět minut později se bavím o mikroelektronických obvodech, o připojení protilátek na miniaturní nanočástice robotů, nebo o genetice a zlepšení molekulárního motoru bičíkaté bakterie." [20]

Kromě problémů spojených s interdisciplinárním charakterem výzkumu, vědci uvádějí problémy bezpečnosti, zdraví, nařízení vlád a další. Polykání nebo injekční zavedení miniaturních robotů není něco, s čím by mnozí pacienti snadno souhlasili bez záruky bezpečnosti, nebo alespoň nějakých prokazatelných důkazů, že potenciální výhody převažují nad možnými riziky. Vzhledem k tomu, že je fyziologie člověka složitá, dynamická a dokonce se liší od člověka k člověku, zůstane pravděpodobně otázkou vyprodukování prokazatelného důkazu výzvou pro další roky.

Navzdory mnoha problémům, vědci tvrdí, že úsilí přinese na konci pozitivní výsledky s technologií, která způsobí revoluci na poli medicíny tím, že se zdravotní péče stane levnější a méně bolestivou a umožní zdravotníkům zaměřit se na diagnózu a léčbu, přesně a lokálně. [20]

2.3 Nanoroboti

Nanoroboti jsou nanozařízení, které budou používány za účelem zachování a ochrany lidského těla proti patogenům. Budou mít průměr asi 0,5 až 3 mikrony a budou sestavovány z dílů s rozměry v rozmezí 1 až 100 nanometrů. Hlavním stavebním prvkem bude nejpravděpodobněji uhlík ve formě diamantu / fullerenu kvůli síle a chemické inertnosti této formy. [22]

2.3.1 Výroba nanorobota

K dnešnímu dni učinili vědci významný pokrok, ale nebyli zatím schopni vyvinout konečný produkt nanorobota, který funguje na zcela mechanické bázi.

Mnoho z prototypů nanobotů funguje velmi dobře, ale v určitých ohledech jsou většinou nebo částečně biologické povahy, přičemž konečným cílem a dokonalou definicí nanorobota je mít mikroskopické jednotky vyrobené celé z elektromechanických komponentů.

Vědci předpokládají, že vzhledem ke složité povaze konstrukce se nejdříve objeví několik generací předchůdců plnohodnotných nanorobotů, kteří budou částečně založeni na biologické bázi a poté nanoboti mechaničtí.

Nanoroboti jsou v podstatě upravené mechanické verze bakterií. Jsou navrženy tak, aby fungovali na stejném principu jako bakterie a běžné viry což vede k tomu, že se vzájemně odpuzují a vylučují škodlivé bakterie a viry z lidského systému.

Nejlepší způsob, jak vytvořit nanobota, je použít jiné nanoboty, tudíž problém se vyskytuje již na začátku. Lidé jsou schopni provést jednu nanofunkci najednou, ale provádět tisíce různých úkonů ručně by bylo mimořádně zdlouhavé bez ohledu na to, jak vyspělé technologie laboratoře používají. Tím pádem bude nutné vytvořit celou řadu specializovaných strojů, aby se celý proces budování nanobotů zrychlil.

Ideální nanobot se skládá z přepravního mechanismu, interního procesoru a palivové jednotky určitého druhu, který jí umožní fungovat. S potřebným palivem je to ovšem složitější, protože většinu známých paliv nelze zmenšit do nanorozměrů

žádnou ze současných technologií. Další problém pro úspěšné zhotovení nanorobota spočívá v rozdělení základních materiálů pro jejich konstrukci na dostatečně malé kousky. Kov, který může být použit pro konstrukci robota se chová určitým způsobem v relativně velkých velikostech a zcela odlišným způsobem v měřítku nanometrů. Ve skutečnosti se dají zákonitosti v nanosvětě označit za samostatnou vědní disciplínu. [21]

Práce na sestavování pokračují, ale pomalým tempem. První nanoboti by mohli být podle současných odhadů uvedeni na trh za 20 – 25 let.

2.3.2 Operace a využití

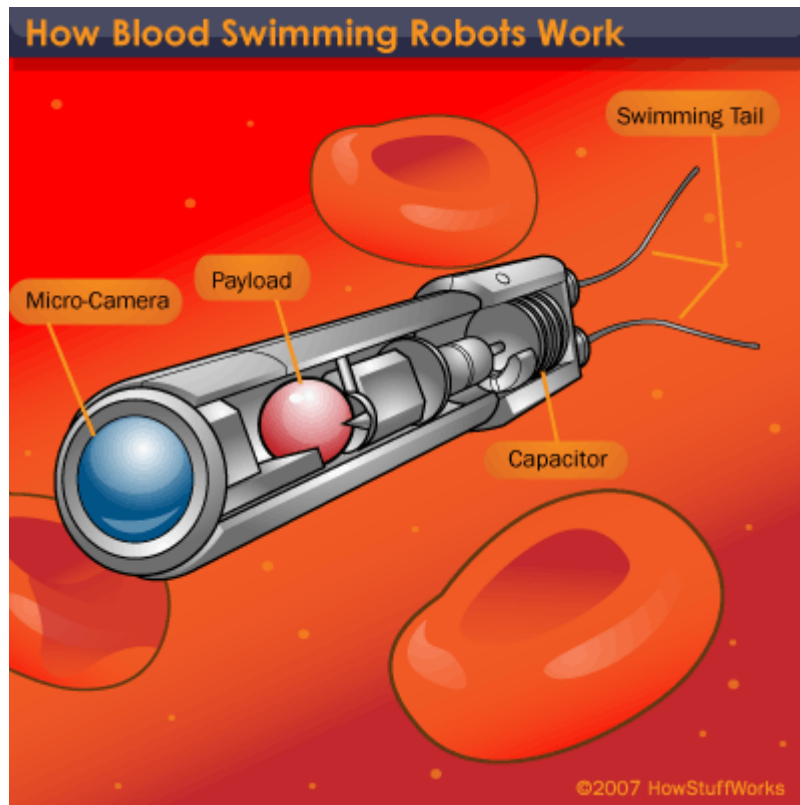
Rychle se rozvíjející oblast nanotechnologií má mnoho užitečných aplikací v oblasti zdravotnictví a nanoroboti nejsou výjimkou. Lékařská věda chce vytvořit nanoboty, které mohou opravit poškozenou tkáň bez bolesti a traumatu.

Nanoroboti by měli být stejně velcí jako jsou bakterie a viry, tudíž by byli schopni pracovat s nejmenšími částicemi našeho těla - atomy a molekulami. Díky tomu by mohli efektivně obnovit poškozenou tkáň, stejně jako odstranit mikroskopické částice cholesterolu nebo nádorů.

Nanoboti by taktéž snížili rizika chirurgických zásahů a nebezpečí spojená s podáváním léků. Pacienti mohou být alergičtí na anestetika, jejich orgány se mohou nakazit, nebo může tělo odmítnout orgán, který mu je implantován při transplantaci. V případě operace nádoru může i pouhých několik buněk mikroskopické velikosti představovat naprosté selhání v boji s rakovinou. [23]

Jednoduše řečeno, lékaři jsou lidé a lidé jsou příliš velcí a nedokonalí k tomu, aby prováděli takovéto druhy velmi jemných a náročných operací. Pro lidské oko je navíc nemožné odhalit mikroskopické částice rakovinných buněk.

Vědci dokonce očekávají, že jednoho dne bude design nanobotů tak rafinovaný, že budou ovládání dálkově za účelem provádění milionů užitečných úkolů. Bez ohledu na jednotlivé detaily, je zřejmé, že příchod nanobotů zcela určitě změní tvář medicíny navždy.



Obrázek 12: Ilustrační obrázek nanorobota [25]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 NANOTECHNOLOGIE A NANOROBOTIKA V ČR

3.1 Výzkum a vývoj nanotechnologií v ČR

Výzkum a vývoj (VaV) je v ČR financován z veřejných a soukromých prostředků. V roce 2007 bylo na VaV věnováno 1,42 % hrubého domácího produktu (HDP), z toho z veřejných zdrojů 0,62 %. Prostředky věnované na výzkum nanotechnologií nelze odpovědně odhadnout, protože tato oblast se statisticky nesleduje a existují výše uvedené problémy s identifikací projektů.

Základní výzkum nanotechnologií je v ČR financován v podstatě pouze z veřejných zdrojů, aplikovaný výzkum, zejména jeho část – průmyslový výzkum, může být financován z obou zdrojů. Podpora průmyslového výzkumu se přitom v ČR řídí pravidly Evropské unie a příslušné programy podpory schvaluje Úřad pro ochranu hospodářské soutěže. [11]

3.1.1 Pracoviště VaV nanotechnologií v ČR

Zde budou popsána pracoviště, jejichž podstatnou činností je výzkum a vývoj. Jsou to především:

- ústavy AV ČR, které jsou veřejnými výzkumnými institucemi;
- pracoviště univerzit a vysokých škol (fakulty, katedry, ústavy), které souběžně s pedagogickou činností provádějí výzkum a vývoj;
- příspěvkové organizace resortů, které souběžně s jinými činnostmi provádějí výzkum a vývoj;
- výzkumné organizace soukromého sektoru.

U každého pracoviště bude uveden výčet jednotlivých ústavů, fakult apod. a několik příkladů, zaměřených především na pracoviště zabývající se projekty z oblasti nanomedicíny. [11]

Pracoviště AV ČR

Akademie věd České republiky je nástupcem dřívější Československé akademie věd. Skládá se z 53 veřejných výzkumných institucí a tří servisních pracovišť,

včetně Kanceláře AV ČR. Pracuje zde téměř 7 tisíc zaměstnanců, z nichž více než polovina jsou výzkumní pracovníci s vysokoškolským vzděláním.

Ústavy zabývající se nanotechnologiemi:

- Biofyzikální ústav AV ČR, v. v. i.;
- Biologické centrum AV ČR, v. v. i.;
- Biotechnologický ústav AV ČR, v. v. i.;
- Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.;
- Fyziologický ústav AV ČR, v. v. i.;
- Mikrobiologický ústav AV ČR, v. v. i.;
- Technologické centrum AV ČR, v. v. i.;
- Ústav analytické chemie AV ČR, v. v. i.;
- Ústav anorganické chemie AV ČR, v. v. i.;
- Ústav experimentální botaniky AV ČR, v. v. i.;
- Ústav experimentální medicíny AV ČR, v. v. i.;
- Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v. v. i.;
- Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR, v. v. i.;
- Ústav fyziky materiálu AV ČR, v. v. i.;
- Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v. v. i.;
- Ústav chemických procesů AV ČR, v. v. i.;
- Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.;
- Ústav makromolekulární chemie AV ČR, v. v. i.;
- Ústav molekulární genetiky AV ČR, v. v. i.;
- Ústav organické chemie a biochemie AV ČR, v. v. i.;
- Ústav přístrojové techniky AV ČR, v. v. i.;
- Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v. v. i.;
- Ústav systémové biologie a ekologie AV ČR, v. v. i.;
- Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v. v. i.;
- Ústav termomechaniky AV ČR, v. v. i.;
- Ústav živočišné fyziologie a genetiky AV ČR, v. v. i.; [11]

Univerzity

- Univerzita Karlova v Praze;
- Masarykova univerzita v Brně;
- České vysoké učení technické v Praze;
- Vysoké učení technické v Brně;
- Vysoká škola chemicko-technologická v Praze;
- Západočeská univerzita v Plzni;
- Technická univerzita v Liberci;
- Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem;
- Univerzita Pardubice;
- VŠB – Technická univerzita v Ostravě;
- Univerzita Palackého v Olomouci;
- Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně;

- Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích;
- Veterinární a farmaceutická univerzita v Brně;
- Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně; [11]

Příspěvkové organizace resortů

- Institut klinické a experimentální medicíny v Praze;
- Ústav hematologie a krevní transfuze v Praze;
- Masarykův onkologický ústav v Brně;
- Endokrinologický ústav v Praze;
- Psychiatrické centrum Praha;
- Výzkumný ústav veterinárního lékařství, v. v. i., Brno;
- Státní zdravotní ústav v Praze;
- Český metrologický institut v Brně;
- Textilní zkušební ústav, s. p., Brno; [11]

3.1.2 Výzkumná pracoviště

Nanomedic, a.s.

Klaster Nanomedic sdružuje celkem 16 obchodních společností a 6 univerzit a výzkumných ústavů, které úzce spolupracují v uvedených oblastech výzkumu a vývoje:

- přípravky na hojení ran;
- tkáňové náhrady;
- přípravky pro cílenou distribuci léčiv;
- přípravky pro genovou terapii.

Činnost v oblasti nanotechnologií:

1) Vývoj a výroba nových přípravků pro medicínu:

- externí kryty ran a popálenin na bázi biologicky aktivních materiálů připravených využitím nanotechnologií;
- interní kryty ran, tkáňové separační materiály a interní dočasné záplaty na bázi biopolymerů připravených pomocí nanotechnologií;
- materiály a soupravy pro tkáňové inženýrství a genovou terapii;

- nosiče různých léků pro jejich cílenou distribuci na bázi nanočástic, liposomů atd.
- 2) vývoj nových technologií umožňujících průmyslovou realizaci výše uvedených přípravků;
 - 3) vývoj nových analytických a zkušebních postupů pro testování a kontrolu výše uvedených přípravků.

Řešené projekty v oblasti nanotechnologií

Jde o tyto výzkumné projekty řešené v rámci klastru a financované z prostředků jeho členů:

- vývoj nanovláken na bázi nativních či chemicky modifikovaných biopolymerů nebo jejich směsí s dalšími biodegradabilními látkami;
- vývoj plošných textilií obsahujících strukturně jednoduchá eventuálně derivatizovaná nano-vlákna či bioaktivní nanovrstvy;
- vývoj mikrovláken na bázi nativních či chemicky modifikovaných biopolymerů nebo jejich směsí s dalšími biodegradabilními látkami;
- vývoj externích biologicky aktivních bandáží;
- vývoj scaffoldů pro náhradu chrupavky;
- vývoj nosičů pro cílenou distribuci léčiva na bázi liposomů značených biopolymerem;
- vývoj nosičů pro cílenou distribuci léčiva na bázi biopolymeru se strukturou „micelle-like structure“;
- polysacharidy jako nosiče pro genová terapeutika.

Výsledky výzkumu a vývoje v oblasti nanotechnologií:

- patentová přihláška na nový typ biologických bandáží podaná jedním členem klastru;
- patentová přihláška na speciální postup přípravy nanovláken na bázi nativních i chemicky modifikovaných polysacharidů podaná jedním členem klastru. [11]

3.1.3 Výrobní podniky

V této části bude uvedeno několik příkladů výrobních podniků, které se zabývají výrobou látek a výrobků využitelných především v medicíně a farmacii.

Velké podniky (Nad 250 Pracovníků)

Zentiva, a.s.

Farmaceutická firma zaměřená na vývoj, výrobu a prodej moderních generických farmaceutických produktů. Jeden z největších výrobců léčiv ve střední a východní Evropě.

Počet zaměstnanců: 4700

Roční obrat: 10,9 mld. Kč (2006)

Činnost v oblasti nanotechnologií

Nanomedicína – vývoj cíleného léku proti rakovině prsu ve spolupráci s ÚMG AV ČR a MBÚ AV ČR.

Řešené projekty v oblasti nanotechnologií:

- program „Nanotechnologie pro společnost“ – projekt „Nanočásticové a supramolekulární systémy pro cílený transport léčiv“;
- program „Nanotechnologie pro společnost“ – projekt „Bioaktivní biokompatibilní povrchy a nové nanostrukturované kompozity pro aplikace v medicíně a farmacii“. [11]

Malé a střední podniky (do 250 pracovníků)

Altermed Corporation, a.s.

Altermed Corporation a.s. je rychle se rozvíjející firma zabývající se výrobou a prodejem lékárenské kosmetiky, zdravotnických prostředků a doplňků stravy.

Řešené projekty v oblasti nanotechnologií:

- projekt MŠMT, program EUREKA – projekt „Aplikace antimikrobiálních účinků nanotechnologicky zpracovaných částic stříbra v léčivech (humáních a veterinárních), zdravotnických prostředcích a kosmetice“.

Biomedica, spol. s r.o.

Výrobce léčiv, doplňků stravy a kosmetiky s obsahem rostlinných extraktů, silic či vitamínů.

Počet zaměstnanců: 75

Roční obrat: 126 mil. Kč (2005)

Činnost v oblasti nanotechnologií

Vývoj technologických postupů přípravy lipidových emulzí a tuhých lipidických nanodispezí a jejich využití jako nosičů lipofilních léčiv, a to zejména pro perorální a topické podání.

Řešené projekty v oblasti nanotechnologií:

- projekt MPO, program „Trvalá prosperita“ – projekt „Nové postupy formulace mikrodisperzních a nanodisperzních lipidových soustav jako transportních systémů farmakologicky účinných látek“.

CPN spol., s r.o

Společnost CPN spol. s r.o. je součástí holdingu Contipro Group, který je zaměřen na výzkum, vývoj a výrobu biopolymerů a jejich derivátů pro použití ve farmacii a kosmetice a výzkum, vývoj a výrobu finálních farmaceutických výrobků na nich založených. Holding Contipro Group vyrábí řadu biopolymerů biotechnologickým způsobem a je jedním z největších výrobců kyseliny hyaluronové na světě (jde o aktivní látku užívanou ve farmacii, kosmetice i výživě). Ve firmě CPN spol. s r.o. je soustředěna výzkumná a vývojová základna holdingu, včetně špičkového technologického vybavení. Pracuje v ní více než jedna třetina zaměstnanců holdingu.

Počet zaměstnanců: 124 (2007)

Roční obrat: 247 mil. Kč (2006)

Činnost v oblasti nanotechnologií

Vývoj nanovláken a mikrovláken z biopolymerů (polysacharidů a bílkovin), přípravků pro hojení ran, vývoj nosičů pro cílenou distribuci biologicky aktivních látek a přípravků pro tkáňové inženýrství na bázi biopolymerů.

Řešené projekty v oblasti nanotechnologií

- program IMPULS – projekt „Nanotechnologie v medicíně – tkáňový nosič pro rekonstrukci pojiva“;
- program „Nanotechnologie pro společnost“ – projekt „Použití ultrazvuku v nanomedicíně“;

Elmarco, s.r.o.

Firma Elmarco se zabývá vývojem a výrobou technologií pro polovodičový a nanovláknový průmysl. Jde o dodávky CDS systémů – systémů pro dávkování chemikálií, které jsou součástí technologie na povrchovou úpravu křemíkových desek. Firma dále vyvíjí a vyrábí stroje na průmyslovou výrobu nanovláken pomocí technologie electrospinningu.

Počet zaměstnanců: 170 (2007)

Roční obrat: 500 mil. Kč (2006)

Činnost v oblasti nanotechnologií

Výroba a prodej strojů Nanospider pro průmyslovou výrobu nanovláknových netkaných textilií, výzkum a vývoj materiálů a finálních produktů z nanovláken.

Aplikace jednotlivých výrobků můžeme vidět jako:

- fotokatalytická nanovláknna;
- kožní náhrady;
- nanovláknna pro tepelně izolační aplikace;
- nanovláknna z anorganických materiálů;
- implementace nanovláken do cigaretových filtrů.

Řešené projekty v oblasti nanotechnologií:

- program „Nanotechnologie pro společnost“ – projekt Bioaktivní, biokompatibilní povrchy a nové nanostrukturované kompozity pro aplikace v medicíně a farmacii“;

- program „Nanotechnologie pro společnost“ – projekt „Biokompatibilní nanovlákné konstrukty vytvářející nové lékové formy pro aplikaci biologicky a farmakologicky aktivních látek“;
- program „Trvalá prosperita“ – projekt „Návrh speciálních textilních strojů pro nanovlákná“;
- program TANDEM – projekt „Výzkum a vývoj nové generace ochranných filtrů“;
- program „Trvalá prosperita“ – projekt „Zařízení pro přípravu nanovláken z tavenin polymerů“;
- program „Trvalá prosperita“ – projekt „Iontovyměnné materiály ve formě membrán a nanovláken připravené na bázi nanotechnologie“.

Výsledky výzkumu a vývoje v oblasti nanotechnologií/spolupráce

hotové výrobky: NS AcousticWeb™

- zvukoabsorpční materiál s vynikající absorpcí zvuku;
- filtrační materiál s antimikrobiálními účinky;

Spolupráce s MIT, NCRC a s koncernem BASF. [11]

3.2 Národní politika výzkumu, vývoje a inovací a její realizace

System veřejné podpory VaVaI je založen na realizaci opatření vyplývajících z Národní politiky VaVaI a na plnění úkolů vyplývajících z dalších usnesení vlády k problematice VaVaI. Realizace politiky VaVaI probíhá v rámci platných právních předpisů pro tyto oblasti.

Usnesením vlády ze dne 8. června 2009 č. 729 byla schválena jediná politika pro celou oblast výzkumu, vývoje a inovací - „Národní politika výzkumu, vývoje a inovací ČR na léta 2009-2015“.

Jsou charakterizovány aktivity, které se týkají:

- vstupů pro Národní politiku VaV; tj. priorit aplikovaného výzkumu, vývoje a inovací (dříve dlouhodobých základních směrů výzkumu - DZSV) a

„Analýz stavu výzkumu, vývoje a inovací v České republice a jejich srovnání se zahraničím“;

- vlastní Národní politiky VaVaI;
- hodnocení výsledků VaV jako jednoho z hlavních nástrojů pro zvýšení výkonnosti a efektivnosti VaV;
- zabezpečení návazností na politiku VaV a související politiky Evropské unie a jejich realizaci;
- dalších významných opatření ve VaV. [13]

3.2.1 Vstupy Národní politiky VaVaI

Jak již bylo uvedeno, k základním vstupům patří priority aplikovaného výzkumu, vývoje a inovací a pravidelné každoroční Analýzy stavu VaVaI v ČR a jejich srovnání se zahraničím.

Priority aplikovaného výzkumu, vývoje a inovací

Do roku 2009 byly priority výzkumu a vývoje formulovány jako dlouhodobé základní směry výzkumu (DZSV). Návrhy DZSV připravovaly odborné komise Rady pro výzkum, vývoj a inovace (RVVI). Po projednání v RVVI byly předkládány ke schválení vládě. DZSV stanovovaly priority perspektivních výzkumných směrů z hlediska potenciálních přínosů pro ekonomiku a společnost.

Návazně na úkoly vyplývající z Reformy a přípravu NP VaVaI ČR 2009-2015 proběhlo v roce 2008 přehodnocení a aktualizace DZSV. Cílem bylo provázat návrhy DZSV se zájmy a potřebami uživatelů výsledků VaV a promítnout do návrhů i VaV prováděný v předpokládaných nových výzkumných kapacitách. Tyto kapacity budou v období 2009-2013 vybudovány s podporou ze strukturálních fondů EU, zejm. v rámci operačního programu

Analýzy stavu výzkumu, vývoje a inovací v ČR a jejich srovnání se zahraničím (analýzy VaVaI)

Analýzy VaV se zpracovávají od roku 1999. Od roku 2003 je každoročně zpracovává a vládě předkládá RVVI.

Analýzy VaVaI nenavrhují žádná opatření pro odstranění nedostatků či pro další rozvoj zjištěných předností, jsou však plně využívány při přípravě významných koncepčních a strategických dokumentů jak pro VaV a inovace, tak i pro ekonomiku jako celek. Analýzy VaVaI opakovaně konstatují, že dochází k mírnému zlepšování jak vstupů, tak i výstupů VaV v Česku, ale zaostávání za vyspělými zeměmi je však stále značné.

Národní politika výzkumu, vývoje a inovací ČR na léta 2009 až 2015 (NP VaVaI)

V roce 2007 zahájilo Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy (MŠMT) ve spolupráci s RVVI práce na přípravě nové politiky. V přípravných pracích byly využity i výsledky veřejné diskuse, kterou organizovala Asociace výzkumných organizací (AVO). AVO je obecně prospěšná společnost, která sdružuje organizace a jednotlivce zabývající se aplikovaným výzkumem. Pověření AVO organizací a vyhodnocením veřejné diskuse k obsahu příští Národní politiky VaV bylo vyjádřením snahy zapojit do přípravy strategického dokumentu širší odbornou veřejnost.

Při přípravě nové politiky se ukázalo, že problémy a nedostatky veřejné podpory VaV jsou natolik závažné, že náprava bude vyžadovat zásadnější změny celého systému. RVVI proto připravila návrh již zmíněné Reformy systému výzkumu, vývoje a inovací. Pro návrh nové politiky byly využity i dokumenty, které v rámci strategických studií vypracovalo Technologické centrum AV ČR:

- Zelená kniha výzkumu vývoje a inovací v ČR;
- Bílá kniha výzkumu, vývoje a inovací v ČR;
- Modrá kniha výzkumu vývoje a inovací v ČR.

3.2.2 Hlavní výstupy politiky VaV

Národní politika výzkumu a vývoje České republiky na léta 2004-2008 a předchozí NP VaV byly realizovány podle zákona zejména formou Národních programů výzkumu. Ty se od počátku potýkaly s vysokou decentralizací systému

podpory VaV v ČR. V Národním programu výzkumu I bylo zahrnuto 7 resortů jako poskytovatelů a kompetence gestora NPV I byly velmi omezené.

V Národním programu výzkumu II byli zahrnuti jen tři poskytovatelé, což vedlo k částečnému zlepšení řízení NPV II, ale zase řada programů byla realizována mimo NPV II. Tato situace byla jedním z důvodů změny systému podpory v Reformě a ke zrušení NPV.

Změny v účelové podpoře, které zavádí vládou schválená reforma (snížení počtu rozpočtových kapitol, zřízení Technologické agentury ČR aj.), již nepočítají s další existencí Národních programů výzkumu. Práce na přípravě NPV III byly proto usměrněny tak, aby tento program zajistil provoz a činnost výzkumných kapacit vybudovaných v rámci operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace (OP VaVpI). OP VaVpI je z podstatné části financován ze strukturálních fondů EU. [12,13]

Hodnocení VaV

Hodnocení návrhů výzkumných projektů a programů má v ČR dobrou úroveň. Poněkud nižší úroveň mají průběžná hodnocení, hodnocení závěrečná mají stále ještě dosti silný administrativní a formální charakter. Opakovaně se ukázalo, že ministerstva a ústřední správní úřady, které vykonávají funkci poskytovatelů účelové podpory VaV, nehodnotí ukončené projekty, výzkumné záměry a další aktivity VaV s dostatečnou náročností a objektivností.

Na zasedání dne 9. října 2009 RVVI zadala Komisi pro hodnocení výsledků VaV hlavní principy pro přípravu Metodiky 2010, která byla ve druhém čtvrtletí 2010 schválena vládou. Metodika 2010 byla doplněna zejména v definicích týkajících se ověřitelnosti výsledků a o část týkající se přepočtu bodů na institucionální prostředky:

- Poměr institucionálních výdajů výzkumným organizacím získaných za výsledky základního výzkumu a za výsledky aplikovaného výzkumu a vývoje se v Metodice 2010 nezmění, zůstane 85:15.

- V Metodice 2010 zavést stanovení poměru institucionálních výdajů na jednotlivé skupiny druhů výsledků tak, aby nedocházelo k neopodstatněnému meziročnímu nárůstu u některých z nich.
- V Metodice 2010 stanovení poměru institucionálních výdajů výzkumným organizacím za výsledky podle deseti skupin oborů tak, aby k soutěži o prostředky docházelo uvnitř skupin oborů a ne mezi nimi.

Metodika 2010 byla připravena s platností na léta 2010 až 2012. [13]

3.2.3 Návaznosti politiky VaV na aktivity Evropské unie

ČR jako řádný člen EU se podílí na přípravě a realizaci politiky VaV EU a unijních politik bezprostředně souvisejících s VaV. V návaznosti na Lisabonskou strategii se ČR podílí na vytváření a rozvoji Evropského výzkumného prostoru. RVVI a v řadě případů i vláda reagují na dokumenty orgánů EU, které se zabývají VaV a inovacemi, zpracovávají k nim stanoviska, popřípadě zavádějí i odpovídající národní opatření.

Významné možnosti poskytuje VaV a inovacím v ČR politika soudržnosti EU v rozpočtovém období 2007-2013. V souladu s Lisabonskou strategií umožňuje nová politika soudržnosti ve zvýšené míře využít finančních prostředků ze Strukturálních fondů a z Fondu soudržnosti i na rozvoj kapacit VaV.

Předpokládá se, že ČR bude z operačních programů - OP VaV pro inovace, OP Podnikání a inovace, OP Vzdělání pro konkurenceschopnost z fondů EU v období 2007-2013 získávat pro VaV a inovace ročně cca 13 mld. korun. Problémy s ustavením nové vlády po volbách v roce 2006 a některé další problémy na odpovědných ministerstev vedly k tomu, že uvedené operační programy byly schváleny Evropskou komisí až v roce 2008. Výzvy pro předkládání návrhů projektů do tohoto programu byly vyhlášeny 15. prosince 2008. Návrhy projektů byly přijímány do 30. dubna 2009. Čerpání prostředků z fondů EU se opozdilo o více než rok. [12,13]

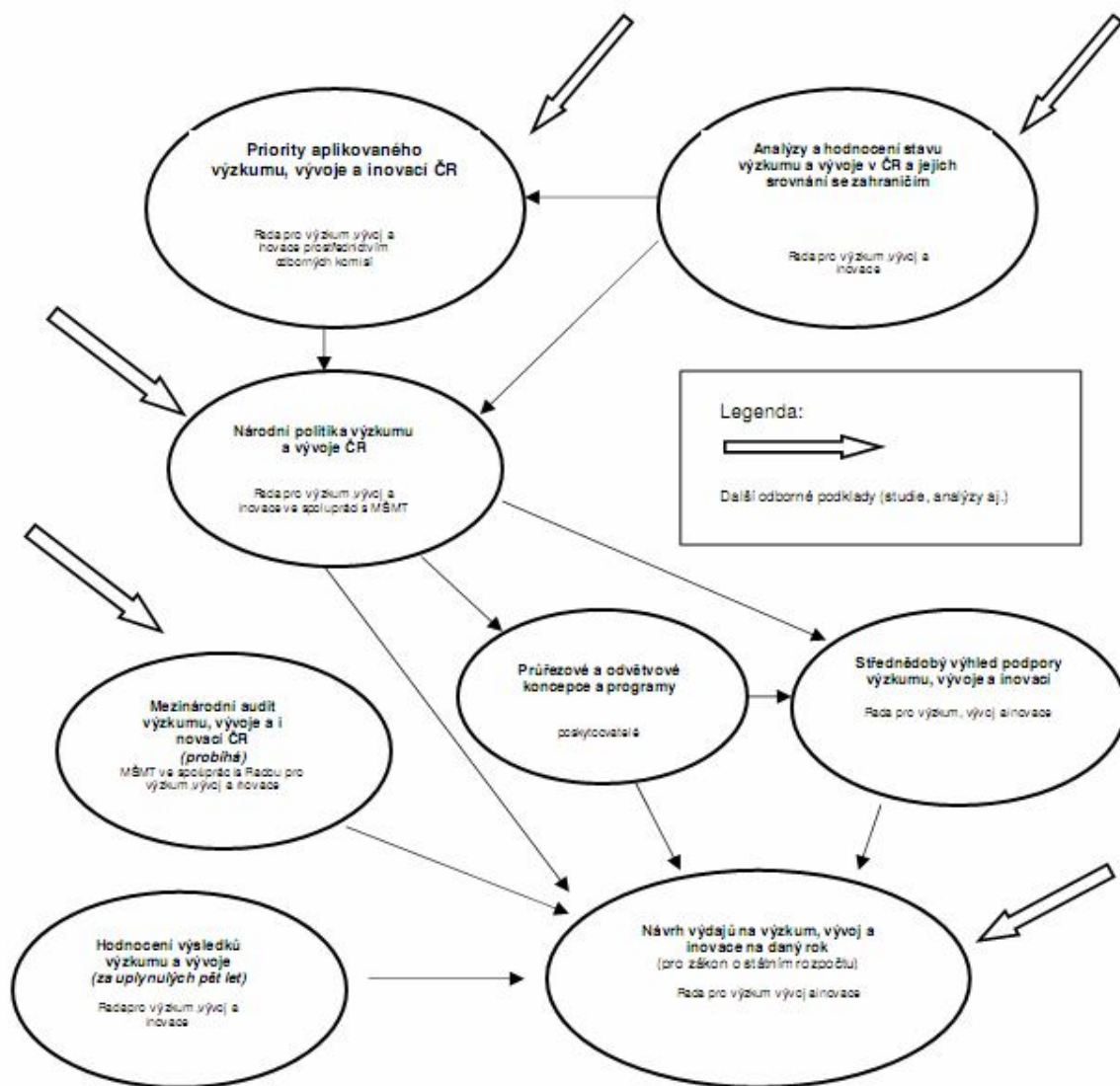
3.3 Současný systém veřejné podpory výzkumu, vývoje a inovací

Všeobecně se uznává, že systém podpory VaV v ČR je příliš diverzifikovaný, VaV jsou podporovány z rozpočtu příliš velkého počtu ministerstev a ústředních správních úřadů. Přes opakované úsilí o zjednodušení systému je poskytování podpory zbytečně náročné na administrativu a čas. Příliš složitý systém v posledních letech již nedokázal poskytovat efektivně a včas prostředky na VaV a efektivně využívat disponibilní prostředky EU, především prostředky ze strukturálních fondů EU. Dalším vážným problémem, a to nejen VaV, je uspokojování se průměrem, neusilování o excelenci a nedostatečná podpora excelence.

Hodnocení VaV v ČR prováděná opakovaně na národní i mezinárodní úrovni ukazují, že ČR se sice postupně přibližuje průměru zemí EU-15, ale stále ještě silně zaostává v úrovni ukazatelů výstupů VaV. V řadě dokumentů schválených vládou se opakovaně konstatovalo, že přínosy VaV a inovací pro českou ekonomiku a společnost jsou nízké.

Systém veřejné podpory VaVaI v ČR je značně decentralizovaný. V podstatě všechna ministerstva a ústřední správní úřady podporují ze svých rozpočtových kapitol VaVaI, postupně jejich počet poklesne do r. 2012 na polovinu. Nejvýznamnější působnosti v systému mají Rada pro výzkum, vývoj a inovace (RVVI) a Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy (MŠMT).

Je zřejmé, že při vytváření rozpočtu pro výzkum, vývoj a inovace hraje největší roli Rada pro výzkum, vývoj a inovace a při navrhování definitivní výše rozpočtu pak Ministerstvo financí. Po schválení státního rozpočtu Poslaneckou sněmovnou přiděluje Ministerstvo financí finanční prostředky jednotlivým správcům rozpočtových kapitol - poskytovatelům podpory. [13]



Obrázek 13: Etapy přípravy státní podpory Výzkumu, vývoje a inovací [13]

Cyklus znázorněný na obrázku výše trvá obvykle několik let. Návrhy jednotlivých kapitol rozpočtu se zpracovávají pro každý příští rok v období únor - červen daného roku a přidělené finanční prostředky jsou uvolňovány od počátku následujícího roku.

Veřejná podpora výzkumu a vývoje se provádí dvěma formami:

a) účelovým financováním, tj. podporou výzkumných projektů a dalších aktivit:

- „Grantových projektů“ základního výzkumu, tj. projektů navržených fyzickými nebo právníckými osobami, kde si cíle a způsob řešení stanovuje příjemce sám.
- „Programových projektů“ aplikovaného výzkumu, vývoje a inovací, tj. projektů naplňujících cíle programů vyhlášených poskytovateli. Programy navrhují a vyhláší správci rozpočtových kapitol, posuzuje je Rada pro výzkum, vývoj a inovace a schvaluje vláda. Některé programy jsou realizovány podporou „projektů pro státní správu“, tj. projektů, kde státní

správa určuje parametry jejich výsledků. Jelikož jediným uživatelem je stát, vyhláší se veřejná soutěž podle zákona č. 137/2006 Sb.

- Specifického vysokoškolského výzkumu, kterým je výzkum prováděný studenty při uskutečňování akreditovaných doktorských nebo magisterských studijních programů a který je bezprostředně spojen s jejich vzděláváním.
- Velké infrastruktury pro výzkum, vývoj a inovace, kde jednotlivé projekty schvaluje vláda. [13]

Účelové finanční prostředky poskytují správci kapitol státního rozpočtu jako dotace právníkům nebo fyzickým osobám nebo zvýšením výdajů organizačních složek státu, organizačních složek územních samosprávných celků nebo organizačních jednotek ministerstva zabývajících se výzkumem a vývojem.

b) institucionálním financováním, tj. poskytnutím institucionálních prostředků na:

- dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace na základě zhodnocení jí dosažených výsledků a po přechodné období na řešení výzkumných záměrů;
- Mezinárodní spolupráci České republiky ve výzkumu a vývoji, realizovanou na základě mezinárodních smluv, která zahrnuje poplatky za účast České republiky v mezinárodních programech a organizacích a dále podporu projektů mezinárodní spolupráce, kde výběr projektů provádí Evropská unie nebo jiný stát, popřípadě mezinárodní organizace (např. Rámcové programy EU).
- Operační programy ve výzkumu, vývoji a inovacích nebo na jejich část zajišťující cíle ve výzkumu, vývoji a inovacích, kde výběr projektů probíhá na základě soutěže podle nařízení Evropské komise. Ze státních výdajů na výzkum, vývoj a inovace jsou hrazeny tři operační programy - „Výzkum a vývoj pro inovace“ (MŠMT), část „Vzdělávání pro konkurenceschopnost“ (MŠMT) a část „Podnikání a inovace“ (MPO).
- náklady systému podpory výzkumu, vývoje a inovací, zejména na zajištění veřejných soutěží a hodnocení projektů, ocenění výsledků atd. a náklady

spojené s činností Rady pro výzkum, vývoj a inovace, Grantové agentury České republiky, Technologické agentury České republiky a Akademie věd České republiky. [13]

Od r. 2007 (Rámcem Společenství) je institucionální podpora výzkumných záměrů a nyní i prostředků na rozvoj výzkumných organizací určena pouze výzkumným organizacím, kterými mohou být všechny veřejné i soukromé právnické osoby, ale pouze za splnění určitých podmínek (od 1. července 2009 jsou uvedeny přímo v zákoně č. 130/2002 Sb.):

- Jejichž hlavním účelem je provádět základní výzkum, aplikovaný výzkum nebo vývoj a šířit jejich výsledky prostřednictvím výuky, publikování nebo převodu technologií.
- Které zisk zpětně investují do činností podle bodu 1.
- K jejichž výzkumným kapacitám nebo výsledkům nemají přednostní přístup subjekty provádějící ekonomickou činnost spočívající v nabídce zboží nebo služeb, které by na výzkumnou organizaci mohly uplatňovat vliv.

Splnění podmínek pro výzkumné organizace hodnotí poskytovatel prostředků, projednává je nejprve s Úřadem na ochranu hospodářské soutěže (zejména z hlediska článku 87 Smlouvy o ES) a potom s Radou pro výzkum, vývoj a inovace (zejména z hlediska podpory výzkumných organizací podle dosahovaných výsledků). [13]

3.4 Výdaje státního rozpočtu na výzkum, vývoj a inovace

Výdaje státního rozpočtu na VaV do roku 2009 trvale rostly. VaV patří k jedné z hlavních priorit vlády, na kterou vláda zvyšuje výdaje i v období hospodářské krize a snižování veřejných výdajů v řadě jiných oblastí.

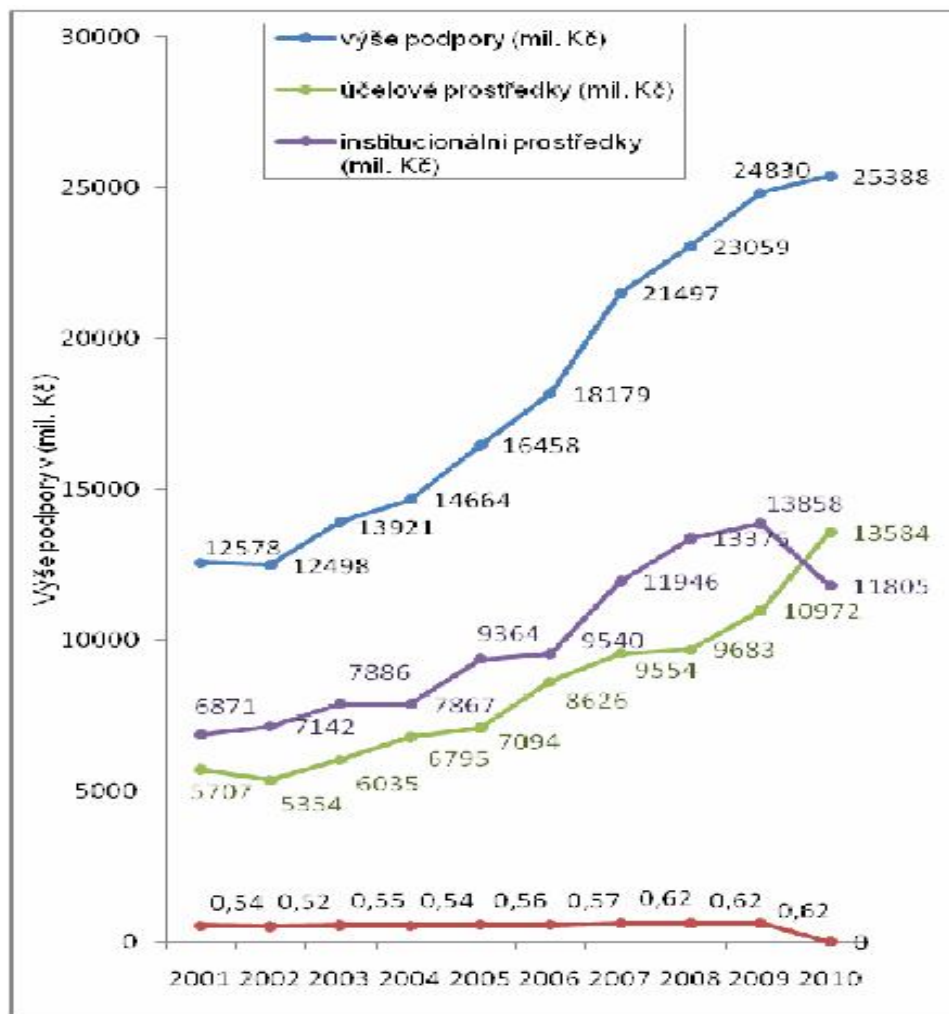
Vláda usnesením ze dne 29. června 2009 č. 838 schválila návrh výdajů státního rozpočtu České republiky na výzkum a vývoj na rok 2010, s výhledem na léta 2011 a 2012. Pro rok 2010 byly výdaje upřesněny usnesením vlády ze dne 9. září 2009 č. 1175:

- pro rok 2009 ve výši 25 388,736 mil. Kč, resp. 29 396,861 mil. Kč (včetně předfinancování programů EU)
- pro rok 2010 ve výši 24 844,844 mil. Kč;
- pro rok 2011 ve výši 24 830,804 mil. Kč.

Výdaje státního rozpočtu na VaV budou v letech 2010 až 2012 vzhledem v hospodářské krizi a sníženým příjmům státního rozpočtu zachovány na úrovni r. 2009 s tím, že pro rok 2010 byly výdaje zvýšeny o 538 mil. Kč na činnost AV ČR. Tento schválený návrh výdajů byl schválen jako zákon o státního rozpočtu České republiky na rok 2010. [12,13]

3.4.1 Rozbor financování výzkumu a vývoje z veřejných prostředků

Základním nástrojem realizace politiky VaV je všude ve světě přímá finanční podpora z prostředků veřejných rozpočtů. Výše celkové přímé finanční podpory VaV a podpory z veřejných prostředků jsou základními ukazateli pro hodnocení VaV v jednotlivých zemích. Je známo, že EU jako celek zaostává ve výši výdajů na VaV za USA a Japonskem. Lisabonská strategie, která byla schválena na jařním zasedání Evropské rady v roce 2000 v Lisabonu, stanovila cíl, že EU se do roku 2010 stane ekonomikou s nejvyšší konkurenceschopností na světě. V roce 2002 na jařním zasedání Evropské rady v Barceloně byl vyhlášen konkrétní cíl ve VaV, a to zvýšit celkové výdaje na VaV do roku 2010 na 3 % hrubého domácího produktu (HDP), z toho by jedna třetina (1 %) byla hrazena ze zdrojů veřejných a dvě třetiny (2 %) ze zdrojů soukromých (podnikatelských).



Obrázek 14: Vývoj celkové podpory VaV z veřejných prostředků [13]

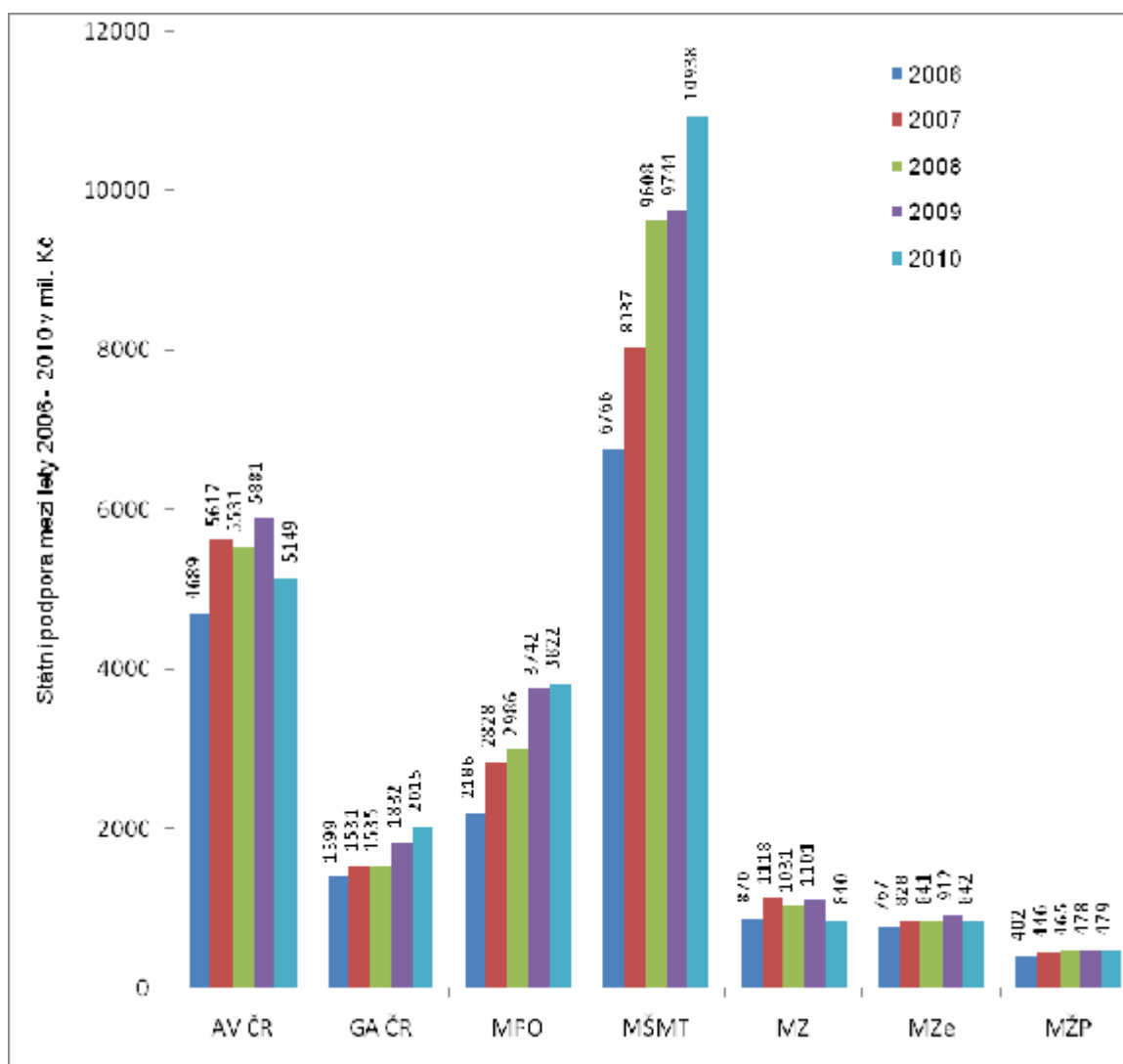
v letech 2000-2010 je znázorněn vývoj:

- celkové podpory z veřejných prostředků v milionech Kč;
- celkové podpory z veřejných prostředků v % HDP;
- institucionální podpory v milionech Kč;
- účelové podpory v milionech Kč.

Účelová podpora je poskytována na základě veřejné soutěže vybraným projektům výzkumu, a to buď grantovým, u kterých si cíle a postupy stanovují výzkumní pracovníci sami, nebo programovým, u kterých projekty usilují o naplnění předem stanovených cílů a směrů, a popřípadě projektům výzkumu pro potřeby státu (veřejné zakázky ve výzkumu). Institucionální podpora je poskytována výzkum-

ným organizacím a větším výzkumným týmům na základě schválených výzkumných záměrů a specifickému výzkumu na vysokých školách.

Z prostředků na institucionální podporu jsou hrazeny i některé aktivity mezinárodní spolupráce ve VaV. Institucionální podpora VaV na základě schválených výzkumných záměrů byla do roku 2003 poskytována jen ústavům AV ČR, vysokým školám a resortním výzkumným pracovištím. Od roku 2004 ji mohou při splnění předepsaných podmínek získat i výzkumné organizace podnikatelského charakteru. Výzkum musí být uveden v jejich zřizovací listině nebo obdobném dokumentu a veškerý zisk po zdanění musí být reinvestován do VaV.

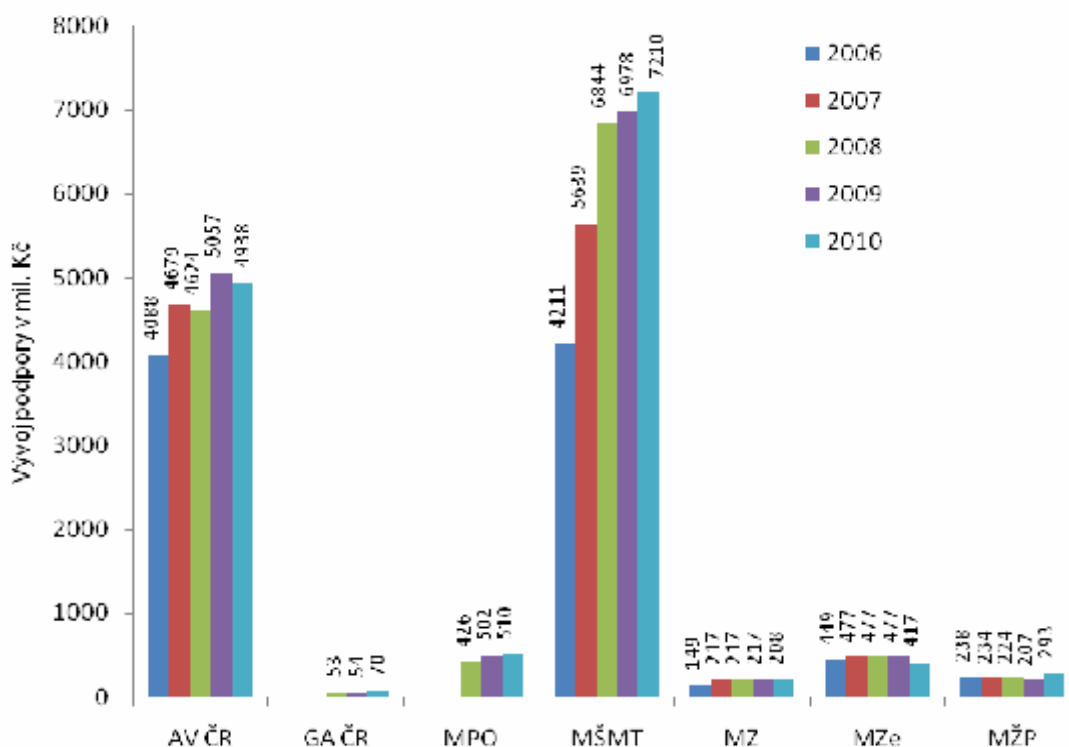


Obrázek 15: Vývoj celkové podpory VaV z veřejných prostředků u vybraných poskytovatelů v letech 2006 - 2010 [13]

Na obrázku je uveden vývoj celkové podpory, kterou poskytují sedm největších poskytovatelů, a to:

- AV ČR - Akademie věd České republiky;
- GA ČR - Grantová agentura České republiky;
- MPO - Ministerstvo průmyslu a obchodu;
- MŠMT - Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy;
- MZ - Ministerstvo zdravotnictví;
- MZE - Ministerstvo zemědělství;
- MŽP - Ministerstvo životního prostředí.

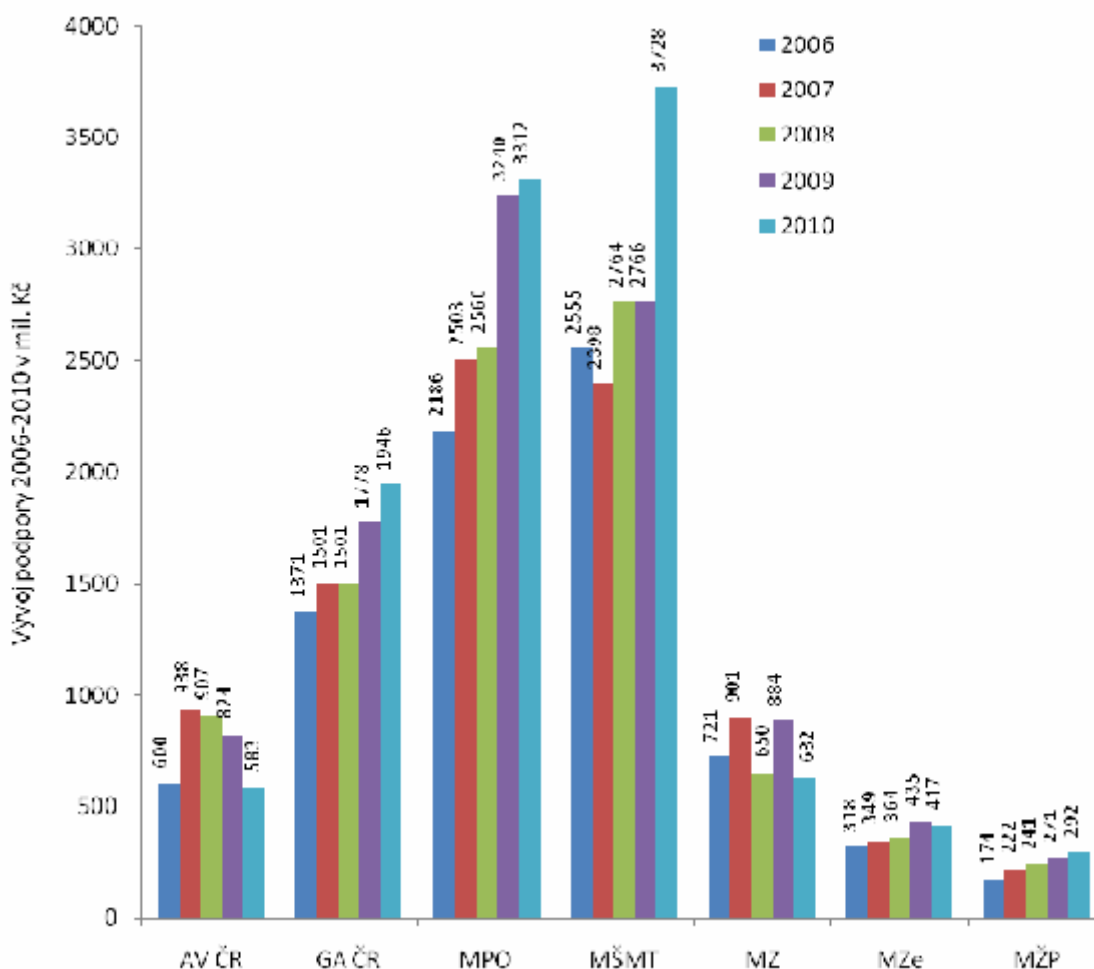
Kromě poskytovatelů uvedených na obrázku poskytuje podporu VaV z veřejných ještě dalších čtrnáct poskytovatelů - ministerstev a ústředních správních úřadů.



Obrázek 16: Vývoj institucionální podpory VaV u vybraných poskytovatelů v letech 2006 – 2010 [13]

Rozhodující část institucionální podpory rozdělují MŠMT a AV ČR. MŠMT poskytuje institucionální podporu výzkumným záměrům vysokých škol a vybraných organizací v podnikatelské sféře, specifickému výzkumu na vysokých školách a financuje vybrané aktivity mezinárodní spolupráce VaV. Institucionální podpora AV ČR je určena na výzkumné záměry ústavů AV ČR, které jsou od 1. ledna 2007 veřejnými výzkumnými institucemi. Od r. 2010 je část institucionální podpory určena na rozvoj výzkumných organizací.

Institucionální podpora GA ČR je určena na krytí nákladů kanceláře GA ČR. Institucionální podpora MZ, MZe a MŽP je určena na institucionální podporu VaV prováděného v tzv. „resortních ústavech“ těchto ministerstev.



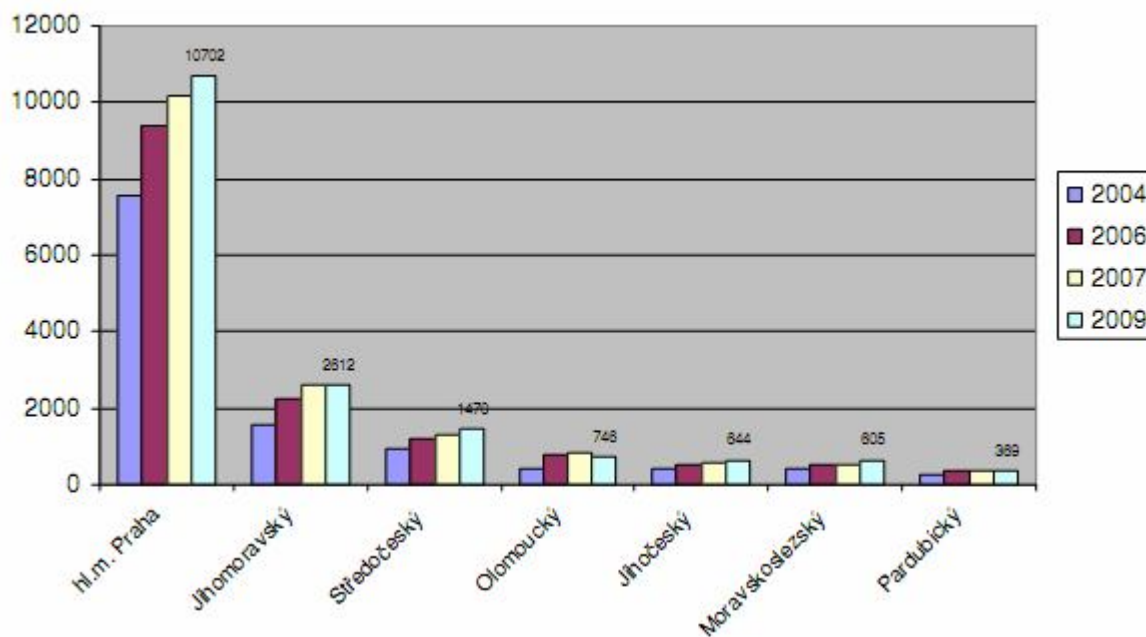
Obrázek 17: Vývoj účelové podpory VaV u vybraných poskytovatelů v letech 2006 – 2010 [13]

Zde je znázorněna výše účelové podpory z veřejných prostředků u vybraných poskytovatelů v letech 2006-2010. Účelová podpora VaV je poskytována projek-

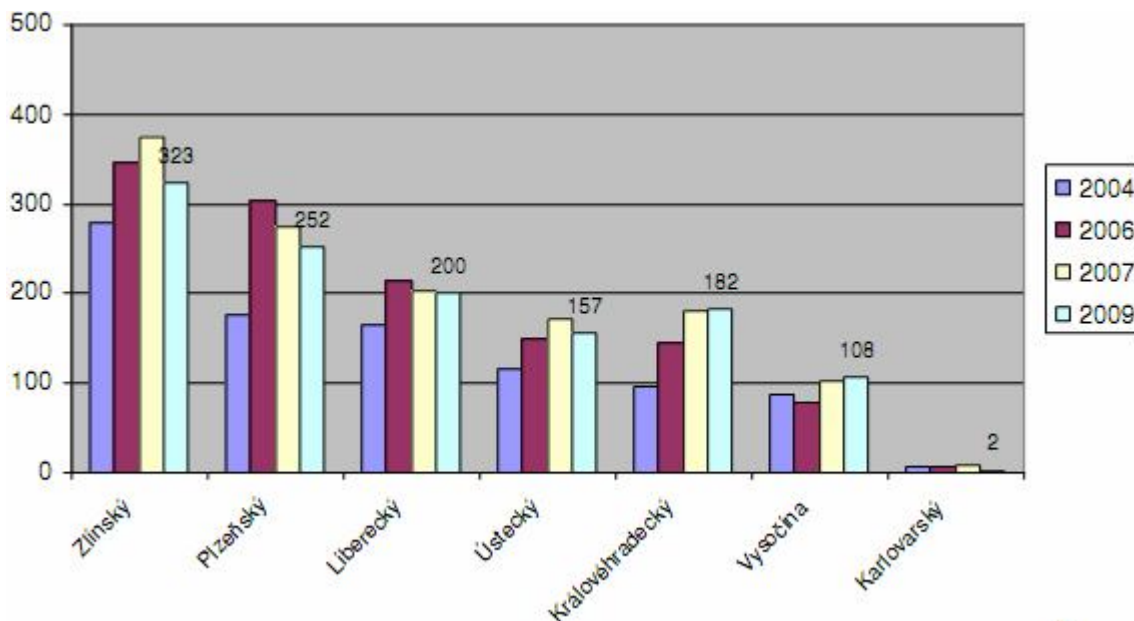
tům VaV na základě výsledků veřejných soutěží. GA ČR a AV ČR poskytují podporu grantovým projektům. Ostatní poskytovatelé včetně AV ČR podporují programové projekty, které jsou součástí jimi vyhlášených programů VaV, a veřejné zakázky ve VaV. [13]

3.4.2 Vývoj celkové veřejné podpory VaV v jednotlivých regionech

Podpora VaV z veřejných prostředků je na území ČR rozdělena velice nerovnoměrně. Nerovnoměrnost rozdělení veřejné podpory VaV je samozřejmě dána nerovnoměrným rozdělením kapacit pro provádění VaV na území ČR. Ke zmírnění velkých rozdílů by měla napomoci výstavba nových kapacit VaV v regionech s výjimkou hl.m. Prahy. Výstavba bude podpořena ze zdrojů EU v rámci operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.



Obrázek 18: Vývoj celkové veřejné podpory VaV v jednotlivých regionech ČR č.
1 (mil. Kč) [13]



Obrázek 19: Vývoj celkové veřejné podpory VaV v jednotlivých regionech ČR č. 2 (mil. Kč) [13]

V celkové veřejné podpoře VaV je zahrnuta veškerá účelová podpora. Z institucionální podpory je zahrnuta jen podpora poskytovaná na základě výzkumných záměrů. Není zahrnuta institucionální podpora specifického výzkumu na vysokých školách ani podpora vybraným aktivitám mezinárodní spolupráce ve VaV. Mezinárodní spolupráce České republiky v oblasti výzkumu a vývoje (MSVV)

3.4.3 Srovnání současného stavu v České republice a v zahraničí:

Oblast vysoce progresivních technologií se ve vyspělých zemích, zvláště v USA a v Japonsku, velmi rychle rozvíjí. EU jako celek ve výzkumu v řadě oborů zaostává. O překonání zaostávání výzkumu vyspělých technologií zejména biotechnologií a nanotechnologií usilují různé národní programy členských zemí EU i nadnárodní programy. Z nadnárodních programů jde především o 7. rámcový program Evropského společenství pro výzkum, technologický rozvoj a demonstrace 2007 až 2013 (dále jen 7. rámcový program), konkrétně tematické priority:

- nanovědy, materiály a nové technologie;
- zemědělství, potraviny a biotechnologie;
- zdraví, informační a komunikační technologie.

Tematická priorita Nanovědy, materiály a nové výrobní technologie mj. podporuje výzkum a vývoj materiálů a systémů s předem definovanými vlastnostmi a chováním a zdokonalených materiálů a povrchů s novými funkcemi a zlepšeným výkonem.

V tematické prioritě Zdraví je z oblasti progresivních technologií podporován např. výzkum a vývoj zaměřený na strukturní a funkční genomiku, bioinformatiku či detekční a diagnostické metody. Tematická priorita Informační a komunikační technologie z progresivních technologií upřednostňuje výzkum a vývoj v nanoelektronice, fotonice, integrovaných mikrosystémech, komunikačních sítích s neomezenou kapacitou, znalostních a kognitivních systémech apod. [10]

Ve výzkumu a vývoji vysoce vyspělých technologií, materiálů a postupů obecně Česká republika zaostává za světovou špičkou reprezentovanou již uvedenými USA, Japonskem i za evropskou špičkou. Přesto v České republice existuje několik pracovišť ve výzkumných organizacích i několik firem realizujících špičkový aplikovaný výzkum a experimentální vývoj v některých progresivních oborech. Programy, kterými byla v ČR podpořena první fáze rozvoje (např. „Informační technologie pro znalostní společnost“ nebo „Nanotechnologie pro společnost“), však v roce 2011 resp. 2012 končí s výrazným útlumem státní podpory a od roku 2009 již nejsou přijímány nové projekty. Rozvoji progresivních oborů napomáhá kvalitní výuka na technicky a přírodovědně zaměřených vysokých školách připravující kvalifikované lidské zdroje pro výzkumné a vývojové aktivity i pro aplikaci poznatků v praxi.

Vzhledem k faktu, že jsou malé inovativní firmy ve zmíněných oblastech v České republice spíše výjimkou, bude jedním z vedlejších efektů programu stimulace institucí, zabývajících se výzkumem a vývojem (univerzit a veřejných výzkumných institucí) k zakládání spin off firem.

Z procedurálního hlediska patří mezinárodní smluvní dokumenty v oblasti výzkumu a vývoje v ČR mezi takové, které schvaluje vláda ČR formou usnesení a které vyžadují souhlas Parlamentu ČR s ratifikací prezidentem republiky a to ve všech případech, kdy by se smluvní strany měly dohodnout na pravidlech spolupráce odlišných od stávající právní úpravy. Mezinárodní spolupráce ve výzkumu a

vývoji (MSVV) probíhá na základě dlouhodobé koncepce. Základem a hlavní součástí mezinárodní spolupráce ve VaV jsou vždy společné projekty výzkumných a vývojových prací nebo účast v mezinárodních mnohostranných projektech (aktivitách). V některých případech je dvoustranná dohoda o spolupráci omezena na podporu mobility výzkumných a vývojových pracovníků - viz spolupráci s konkrétními státy. Pro Českou republiku patří mezi hlavní priority zapojení do struktur výzkumu a vývoje Evropské unie, především co nejefektivnější účast v Rámcových programech výzkumu a vývoje ES a EURATOM, od roku 2007 do roku 2013 (některé projekty však mohou probíhat až do roku 2017) v 7. rámcových programech ES a EURATOM. Kromě oblasti vyspělých zemí Evropy, je nutno při tvorbě politiky MSVV přihlížet také k legislativnímu prostředí v zemích střeoevropského regionu a dále k politice VaV v USA, Kanadě a ve vyspělých zemích Asie. [11,13]

4 STUDIE NANOROBOTA

Tato část práce popisuje využití a vzhled nanorobota využitelného v medicíně v rozsahu současné strojírenské technologie. Je určen pro léčbu či odstranění zdravotních problémů, kde dochází k hromadění nežádoucích organických látek a narušení normálních tělesných funkcí, jako jsou například:

- nádory;
- arterioskleróza;
- krevní sraženiny;
- zjizvené tkáně;
- infekce.

Zatímco bylo zveřejněno hodně spekulací o případných budoucích aplikacích nanotechnologií za použití moderních materiálů a výrobních postupů, poměrně málo bylo zveřejněno k řešení daných problémů pomocí používání stávajících strojírenských technologií. Cílem by se mělo stát vytvoření určitého řešení, které bude možné postupně zlepšovat, jakmile bude technologie k dispozici. Bude zde popsán mobilní robot, kterého lze vytvořit pomocí stávající technologie a který může být používán k vyhledání a zničení „nepřátelských“ tkání v lidském těle, které nejsou přístupné jiným způsobem.

Konstrukce a použití těchto zařízení by přineslo řadu výhod. Nejenže by tato zařízení léčila nebo alespoň určitým způsobem pomohla získat kontrolu nad řadou chorob, ale také by poskytla cenná empirická data pro zlepšení a další rozvoj těchto zařízení. Praktické údaje nasbírané z těchto operací na nano úrovni, by umožnily osvojit si mnohem efektivnější metody, které by bylo možno díky této technologii používat.

Při navrhování nanorobotů musíme vzít v úvahu následující faktory:

- Jak se zavedeme zařízení do těla?
- Jak se bude zařízení po celém těle pohybovat?
- Jak se dozvíme, na jaké místo v těle by se mělo zařízení dopravit?

- Jak zařízení ovládat?
- Co bude zařízení dělat, až se dostane na místo určení?
- Jak bude zařízení napájeno?
- Z jakého materiálu by mělo být zařízení vyrobeno?
- Jak zařízení po dokončení úkolu odstranit?

Tyto faktory budou rozebrány v dalších částech této kapitoly.

4.1 Aplikace

Nádory

Léčit nádory znamená léčit buňky seskupené v shluklou hmotu. Cílem je schopnost ničit nádorové tkáně tak, aby se minimalizovalo riziko vzniku nebo opakovaného růstu v těle. Nanoboti by měli být schopni léčit nádory, které nejsou přístupné prostřednictvím běžných operací, jako jsou například nádory nacházející se hluboko v mozku. Tato technika odstraňování nádorů by mohla být případně použita k léčbě malého počtu buněk v krevním oběhu, jakož to běžně provádí bílé krvinky a protilátky, ovšem bez snahy bílé krvinky nahradit.

Arterioskleróza

Znamená ucpávání tepen a žil tukovými usazeninami. Nanobot by měl být schopen tyto nánosy odstranit, což by zlepšilo pružnost stěn jednotlivých cév a přispělo k zlepšení průtoku krve. Vzhledem k tomu, že se tukové usazeniny ukládají na stěnách žil několik let, trvalo by odstranění těchto nánosů delší dobu, ale mělo by tělu umožnit, aby se pomocí přirozených procesů přebytečného materiálu zbavilo samo.

Krevní sraženiny

Způsobují poškození při cestě krevním řečištěm, kde mohou v určitém místě zablokovat průtok krve do životně důležitých orgánů. V mnoha, ne-li většině případů jsou tyto krevní sraženiny objeveny pouze tehdy, když způsobí ucpání a poškození orgánů, nejčastěji mozku. Pomocí nanobota v těle by bylo možné tyto sraženiny rozdělit na menší kusy dříve, než by zablokovaly přívod krve do důleži-

tých oblastí, popřípadě zablokovanou cestu co nejrychleji uvolnit. Šance na podchycení a včasné zabránění poškození životně důležitých orgánů by se tak rapidně zvýšila.

Ledvinové kameny

Ledvinové kameny jsou velmi bolestivým a obtížně léčitelným onemocněním. Ve většině případů musí pacient bolest přetrpět, dokud nejsou kameny vyloučeny. Existuje sice možnost rozbití kamenů pomocí ultrazvuku s vysokou intenzitou, ale je to poměrně obtížná a ne příliš úspěšná metoda.

Zavedením nanobota do močové trubice podobným způsobem jako při vložení do cévy bychom získali přímý přístup k ledvinovým kamenům a mohli je rozbit. To lze provést buď pomocí laserů nebo jiných prostředků používajících intenzivní aplikaci tepla, aby kameny rozbily. Pokud by tyto metody nefungovaly, může být použita přímá fyzická síla jako např. řezání pomocí slinutého karbidu wolframu nebo brusného povrchu.

Žlučové kameny

Žlučové kameny se hromadí v žlučovodu, a i když nejsou zdaleka tak bolestivé jako ledvinové kameny, mohou způsobit vážné zdravotní problémy. Nanoboti by mohli být umístěni do žlučovodu, aby tyto kameny rozbili a poté pokračovat do jater, kde by odstranili nahromaděné usazeniny nežádoucích minerálů a dalších látek, což samozřejmě platí i pro ledviny.

Dna

Dna je onemocněním, kdy nejsou ledviny schopny odstranit z krve tuky jednotlivých chemických derivátů. Je způsobena zpomalenou schopností ledvin vylučovat kyselinu močovou, anebo naopak tělo vylučuje této kyseliny příliš velké množství. Deriváty mají pak tendenci krystalizovat v blízkosti kloubů, zejména v dolních končetinách a způsobují nesnesitelnou bolest. Nanobot by tyto krystaly mohl lokalizovat pomocí kombinace chemických senzorů a vnějšího stopování a poté krystaly rozbit tak, aby je krev odplavila. Bohužel to opakování problému nezabrání, ale na nějaký čas to zmírní bolest.

Čištění ran a popálenin

Nanoboti by mohli být také použiti k čištění ran a popálenin. Díky své velikosti mají výborné předpoklady pro odstraňování nečistot a cizích částic z řezných a bodných ran, stejně jako z popálenin. Mohou zajistit kompletnější a méně traumatické ošetření než konvenční techniky.

Odstraňování parazitů

Mohou být taktéž použiti k útoku na jiné, nežádoucí formy života v těle - vzhledem k tomu, že se technologie senzorů zlepšuje, mohli by být použiti k napadení různých bakterií a další menších organismů, i když by si to zřejmě vyžádalo velkého množství jednotek nanobotů.

Odstranění dehtu z plic

Pokud by jednotky nanobotů působily v autonomním režimu údržby, mohly by být velmi užitečné pro léčbu „špinavých“ plic. Toho by mohlo být dosaženo odstraňováním částic dehtu a dalších znečišťujících látek z povrchu plicních sklípků, a jejich umístěním na místo, kde si s nimi přirozené procesy v těle poradí. Případně mohou být nežádoucí látky odpařeny nebo jinak rozloženy na základní stavební prvky. Tento postup by vyžadoval nanobota, který by byl schopen pohybu v plicích, tzn. na alveolárním povrchu, stejně jako na vrstvě hlenu a řasinek v plicích.

Zastavení krváčení

V případě masivního krváčení, či v případech pacientů trpících hemofilií, by našel své uplatnění speciálně navržený tým nanorobotů, které by byl schopen vyrobit syntetický materiál tak, aby v místě zranění krváčení zastavil.

Tuto možnost by pravděpodobně nejvíce ocenili již zmínění pacienti trpící hemofilií, kdy dochází k poruše srážlivosti krve, kterou obvykle nelze dobře léčit. V některých případech může dokonce pacient vykrváct.

Nanoboti by také mohli provádět jemné chirurgické funkce, jako je zavírání rozvřených žil nebo šrámu. Nikdo si není úplně jistý, jestli by to bylo více nebo méně bolestivé než klasické operační metody, ale pro osoby trpící alergií na anestetika a ty, kteří mají při operacích podobné problémy jako osoby postižené hemofilií, by to bylo obrovské pozitivum.

4.2 Zavedení zařízení do těla

Hlavní otázkou je, jak nanobota do těla zavést a umožnit mu přístup k místům, kde budou probíhat operace bez toho, aniž by docházelo k vedlejším poškozením organismu. Nejlepším řešením se zdá být přístup přes oběhový systém.

Velikost nanobota primárně určuje minimální velikost cév, jimiž může procházet. Především chceme, aby nedošlo k poškození stěny cévy, v níž se zařízení nachází, ale také aby robot nebránil v přirozeném průtoku krve, což by mohlo vést ke vzniku sraženiny, zpomalení či dokonce zastavení průtoku. Tudíž čím menší nanobot, tím lépe. Na druhou stranu musíme vzít v potaz také fakt, že čím větší nanobot je, tím může být všestrannější a účinnější.

Musíme tedy dostat zařízení do těla, aniž by zavedení přineslo nějaké výraznější poškození. To vyžaduje, abychom získali přístup k tepně o velkém průměru, kterou lze snadno cestovat a tím pádem získat přístup k většině míst těla v minimálním čase. Jasným kandidátem je stehenní tepna. Je v podstatě běžným přístupovým bodem do oběhového systému při operacích, které vyžadují přístup do krevního oběhu pro katétry, injekce s barvivem apod.

Samozřejmě by bylo možné přijít na další možná řešení, ale vstup do oběhu přes stehenní tepnu se zdá být pro naši potřebu ideálním.

4.3 Pohyb zařízení po těle

Jeden z prvních problémů které musíme vyřešit, je jak dostat naše zařízení na problémové oblasti v těle. Základním předpokladem je, že budeme používat oběhový systém, díky kterému se nanobot bude pohybovat. Nabízí dvě možnosti: buď bude nanobot poháněn přirozeně tokem krve, nebo bude mít svůj vlastní pohon. Nejprve musíme zamítnout myšlenku pohybu nanobota pomocí sondy nebo zavedením katétru, protože by nebyl pro naše požadavky dostačující.

První možností je doprava do místa operace prostřednictvím normálního průtoku krve. V tomto případě bychom museli být schopni orientovat se v krvi kvůli řízení nanobota pomocí toku. Zároveň by bylo nutné, aby na místě operace existoval neustálý průtok krve. Což například v případě nádorů není možné, dochází zde

velmi často k poškození oběhového systému, a proto by se nanobot na místo operace nedostal. Dalším případem je vznik krevních sraženin, kdy je průtok krve zpomalen či dokonce zastaven, tím pádem by zařízení neměla možnost jak se na postižené místo dostat, pokud by nebyla schopna aktivního pohybu. Dalším problémem této metody by byla obtížnost zůstat na místě v případě, že by k tomu zařízení nemělo žádný prostředek, ať už techniku pro ukotvení nebo aktivní pohyb proti proudu. Pro tyto komplikace se jeví metoda pohybu pomocí toku krve jako nedostatečná. Nanobot bude muset disponovat prostředky umožňující aktivní pohyb. Naštěstí jich existuje celá řada.

Vrtule

K pohonu pomocí vrtule by bylo zapotřebí několika motorů, které by vrtuli poháněly a umožnily nanobotovi pohyb skrze krevní řečiště. Bylo by nutné použít design zahnutých lopatek vrtule tak, aby nedošlo k poškození okolních tkání během nevyhnutelné kolize. K pohonu vrtule by mohl být používán elektromotor Williama McLellana, který by se vešel do krychle o velikosti strany 1/64 palce. Tento motor je pravděpodobně ještě menší, než bychom pro naše první předběžné zařízení potřebovali. [3]

Řasy / flagellae

V tomto případě by byl k pohonu používán určitý druh vibračních řas. Jako variace této metody by mohla být použita ploutev ve tvaru přívěsku. I když může mít řasa na úrovni molekulárních operací své nesporné výhody, kombinace elektrický motor / vrtule by byla v měřítku o němž mluvíme praktičtější.

Elektromagnetické čerpadlo

Jedná se o zařízení bez pohyblivých částí, které ve své přední části nabírá tekutinu a v zadní části jí vypouští. K tomuto pohybu využívá magnetického pole. Pole však musí mít značnou intenzitu, což by bylo možné ve spojení s vysokokapacitními vodiči. V požadovaném měřítku a v prostředí o tělesné teplotě je možné použít keramické supravodiče, tudíž by tato teorie byla další možností.

Vývěvy

V případě vývěvy by se k pohybu používalo čerpadlo (s pohyblivými částmi), které by bylo v jednom směru poháněno krevní plazmou a ve směru druhém poháněno vyvinutým tahem. Ten může být vyvolán buď mechanickými čerpadly, nebo způsobem parního pohonu za použití proudů odpařené vody/krevní plazmy.

Membránový pohon

Rychle vibrující membrána by mohla být použita ke generování tahu. Představme si konkávní membránu, utěšňující vakuovou komoru v kapalině pod tlakem, který je náhle zvýšen. To by mělo za následek vytlačení určitého množství tekutiny směrem od membrány, čímž by vznikl na druhé straně tah směřující k membráně. Membrána by se pak uvolnila, což by znovu způsobilo tlak tekutiny konkávní straně. Tento tlak by nevedl zařízení v pohyb, jelikož je vyrovnáván tlakem z druhé strany membrány. V makro měřítku není daný tah znatelný, ale na mikro nebo nano úrovni to může být určitý způsob pohonu.

„Plazení se“ po povrchu

Spíše než plavání v krvi nebo v různých tekutinách, by se mohl přístroj pohybovat podél stěn oběhového systému pomocí zavěšení se speciálně navrženými hroty, které by umožnily pevné uchopení bez nadměrného poškození tkáně. Robot by musel být schopen pohybovat se po stěnách i přes nárůsty v toku krve v důsledku zvýšeného bití srdce, aniž by protrhl cévy nebo byl stržen proudem.

Velmi málo výzkumných pracovníků podporuje „dvounohý“ design. Test prokázal, že by robot měl podivný, klopýtavý styl pohybu, jakoby šoupal nohama. Nanobot musí být rychlý, aerodynamický a pohybovat se ladně, aby plnil funkce, pro které je předurčen.

Někteří vědci si myslí, že tělo podobné pavoukovi bude fungovat nejlépe, někteří upřednostňují menší verzi stonožky. Doufají, že tím, že vybaví nanobota několika páry rychlých nohou a zachovají jeho těžiště nízko u země, mohou vytvořit rychlý a efektivní stroj, který by byl vhodně tvarován pro zavedení do lidských cév a byl by schopen vykonávat funkce, jako je odstraňování přebytečného cholesterolu nebo opravování poškození tkáně. [23]

Aby bylo možné tyto techniky převést do praxe, musí každá splňovat určité požadavky:

- Přístroj se musí být schopen pohybovat dostatečnou rychlostí proti proudu krve.
- Přístroj musí být schopen pohybu i tehdy, kdy je krev klidná a její proud není pravidelný.
- Přístroj musí být schopen pohybu v přepětí a zvýšeném toku krve, aby se dostal přes srdeční komory, aniž by v případě stavu nouze uvízl.
- Zařízení musí být schopno reagovat na změny v průtoku krve, aby dokázalo udržet svoji pozici, nebo se nějakým způsobem ukotvit.
- Přístroj musí být schopen měnit směr do stran, aby se mohl v krevním oběhu pohybovat.

S ohledem na výše uvedené požadavky je v současné době nejlepším řešením vrtule, poháněná jedním nebo více elektrickými motory. Toto řešení je jednoduché, dobře prozkoumané. Výrobní technologie je relativně snadná, stejně jako metody pro integraci se zbytkem robota.

4.4 Určení polohy, navigace a ovládání robota

4.4.1 Určení polohy

Pro lokalizování polohy nanobota by mělo být využito senzorů, což by bylo důležité zejména v počátcích, kdy bude v těle jen jeden přístroj. Bez způsobu, jak určit umístění přístroje pomocí informací zevnitř těla, musíme být schopni sledovat zařízení vnějšími prostředky.

Externí čidla budou alespoň částečně mimo tělo nanobota a budou mít dva hlavní účely. Prvním bude určení polohy místa operace, to znamená místa sraženiny, nádoru nebo nežádoucí tkáně. Druhým cílem bude získat představu o tom, v jaké pozici se robot ve vztahu k této tkáni nachází. Tyto informace budou použity pro navigaci a dopravu nanobota do postiženého místa dostatečně blízko, aby byl poté sám schopen použít senzor pro krátkou vzdálenost a začít operovat.

Ultrazvuk

Tato technika může být použita buď v aktivním nebo pasivním režimu. V aktivním režimu je ultrazvukový signál vyslán do těla, kdy se buď odrazí zpět, nebo je na druhé straně těla přijat, nebo nastane kombinace obou situací. Zpětný signál je zpracován a jsou z něj získány informace o materiálech, kterými prošel. Tato metoda je samozřejmě velmi podobná běžným ultrazvukovým technikám, ačkoli by mohla být tato technika oproti současnému stavu vylepšena.

V pasivním režimu, je nanobotem generován velmi specifický ultrazvukový signál. Pomocí techniky zpracování signálu by bylo možné tento signál s velkou přesností sledovat a kdykoliv udat přesnou polohu nanobota po celém těle. Signál může být buď kontinuální nebo pulzní, z důvodu úspory energie. Z pulzního se dá přepnout zpět na kontinuální, pokud potřebujeme bližší informace o poloze.

V pasivním režimu, by byl ultrazvukový signál generovaný pomocí napětí na piezoelektrické membráně, což je technologie, která byla vyvíjena nejméně v posledních deseti letech. Tato technologie umožní generovat ultrazvukové signály o relativně vysoké amplitudě a vysoké složitosti.

NMR / MRI

Tato technika spočívá v použití silného magnetického pole na tělo a následné analýze způsobu, jakým atomy v těle na pole reagují. Obvykle trvá delší dobu, než získáme užitečné výsledky, často několik hodin, a proto není tento způsob vhodný pro real-time aplikace. Zatímco výkon může být několikanásobně zvýšen, rozlišení je přirozeně nízké vzhledem k tomu, že se magnetické pole rychle mění. Kvůli tomu, i když to může být v některých případech vhodná technika pro stanovení původní diagnózy, má v současnosti jen velmi omezené použití.

Radioaktivní barvivo

Tato technika je v podstatě jednou z technik osvětlování. Radioaktivní tekutina je zavedena do oběhového systému a její postup je v celém těle sledován pomocí fluoroskopu nebo jiného záření citlivého na záření. Hlavní výhodou této metody je, že přesně kopíruje cestu nanorobota na místo operace. Dostatečným zvýšením

rozlišení zobrazovacího systému a získáním dostatku dat pro vytvoření trojrozměrné mapy trasy bychom získali cenné informace pro řízení nanorobota.

Aktivní forma této metody by vyžadovala malé množství radioaktivní látky zavedené do těla nanobota. To by umožnilo sledovat postup robota tělem po celou dobu. Navíc by technika nevyžadovala, aby robot používal jakoukoliv energii nebo mechanismus pro komunikaci, takže by se značně zjednodušila jeho konstrukce. Riziko radiace by bylo při této metodě malé, protože množství při ní používané je jen zlomek množství používaného při diagnóze pomocí radioaktivního barviva. Navíc pokroky v oblasti elektronických senzorů množství záření potřebné pro sledování neustále snižují. Infračervené techniky snímání záření jsou již tak pokročilé, že můžeme být plně chráněni před radioaktivní látkou a sledovat pouze tepelnou stopu přístroje.

Rentgen

Rentgenové paprsky jako jedna z metod navigace a kontroly trakce má své dobré i špatné stránky. Na straně kladů stojí fakt, že jsou natolik silné, aby prošly tkání a ukázaly hustotu změn v této tkáni. Tato vlastnost je velmi užitečná pro hledání prasklin a zlomenin u zubů a kostí. Bohužel kvůli síle těchto paprsků nelze určit změny v měkké tkáni. Naopak scannery navržené pro měkké tkáně nejsou schopny zobrazit tkáň, pokud je v cestě kost. Dalším problémem je to, že je velmi obtížné vytvořit úzký paprsek a pokud se podaří jeden takový paprsek vygenerovat, je nutné rentgenovat danou oblast déle, aby vznikl snímek, ze kterého bude možné vyčíst malé detaily. V důsledku toho jsou rentgenové paprsky vhodné jen pro hrubé stanovení diagnózy.

Rádiové vlny / mikrovlny / teplo

Tyto techniky jsou používány taktéž v pasivních i aktivních režimech. Pasivní režim pro tyto techniky je závislý na různých tkáních v těle vytvářejících signály, které mohou být detekovány pomocí externích čidel. Zatímco tělo vytváří rádiové vlny s velmi nízkou frekvencí, jejich vlnová délka je tak velká, že jsou v podstatě nepoužitelné pro jakékoliv diagnostické účely potřebného typu. Totéž platí pro mikrovlny. Avšak vývoj technologie infračervené detekce nabízí velký příslib po-

tenciálního zlepšení naší schopnosti zachytit zvýšené teplo, které vytvářejí nádory v důsledku jejich zvýšeného metabolického stavu.

V aktivním režimu je signál generovaný mimo tělo a je s ním zacházeno stejným způsobem, jako s ultrazvukem, nebo rentgenovými paprsky. Může se odrážet či pronikat tkání. Avšak pouze infračervený signál má dostatečně krátké vlnové délky, aby byl schopný poskytnout požadované rozlišení obrazu pro přesnou a detailní navigaci. Při zpracovávání obrazu bude nutné odfiltrout přirozený signál na pozadí, pocházející z těla.

Aby bylo možné použít tuto techniku ke sledování nanobota, musí být signál generován robotem, zachycen zařízením nacházejícím se mimo tělo a rozluštěn, aby byla získána informace o poloze. To je uskutečnitelné pouze pomocí frekvence infračerveného záření a frekvence vyšší, které by měly být užitečné právě pro získávání dostatečně přesné poziční informace.

Podle uvedených možností navigace a kontroly můžeme dojít k závěru, že existují v podstatě dvě varianty, které připadají v úvahu. Můžeme buď vytvořit ultrazvukový signál a poté jej stopovat, nebo vytvořit dostatek infračerveného signálu či tepla v nanorobotech a poté jej sledovat. Z těchto dvou je technika infračerveného signálu praktičtější, protože přináší daleko méně problémů s odrazy než ultrazvuk.

4.4.2 Navigace a ovládání zařízení

Nanoroboti budou mít jednoduché palubní počítače, které budou schopny plnit operace kolem jednoho tisíce, nebo méně výpočtů za sekundu. Jejich výpočetní operace budou značně jednoduché. Komunikace s přístrojem bude možné dosáhnout pomocí vysílání určitého typu akustické signalizace.

Navigační síť může být nainstalována v těle jako pevný bod s navigační prvky poskytující vysokou polohovou přesnost pro všechny pohybující se nanoroboty v těle. Tato navigační stanice by byla ve spojení s nanoroboty a sledovala jejich aktuální pozici. To by umožnilo lékařům sledovat jednotlivá zařízení v těle.

Dalším problémem je přesná lokalizace poškozené tkáně, která má být vyléčena. K tomu bude zapotřebí dvou typů senzorů – dálkových a pro krátkou vzdálenost.

Dálkové senzory budou sloužit k hledání poškozené tkáně. Budou schopné najít nádor, krevní sraženiny nebo nánosy v žilách a dostat se k nim tak blízko, aby bylo možné použít senzory pro krátké vzdálenosti. Ty by měly být použity při operacích, kdy by zařízení mělo rozlišovat mezi zdravou a poškozenou tkání. Existuje mnoho různých druhů čidel, přičemž každé je vhodné pro jiný účel.

Nanoroboti by měli být schopni rozlišovat mezi různými typy buněk prostřednictvím kontroly jejich povrchových antigenů (jsou odlišné pro každý typ buňky). Toho by bylo dosaženo použitím chemotaktických sensorů, které jsou nastaveny na specifické antigeny cílové buňky.

Chemický senzor (dálkový senzor)

Chemické senzory mohou být použity k detekci stopových chemikálií v krvi a používat relativní koncentrace těchto chemických látek k určení cesty k dosažení nežádoucí tkáně. Tento postup by vyžadoval několik sensorů. Senzory by měly být schopny vytvořit chemický gradient a měla by mezi nimi být určitá vzdálenost. Pokud se množství chemikálií v krvi zmenší, bude se muset vyzkoušet každý postup pro jejich vystopování. I když není obtížné vytvořit polovodičový snímač pro danou chemickou látku, obtížnost stoupá přímo úměrně s počtem látek, které je nutno analyzovat. V důsledku toho by bylo pravděpodobně potřeba série nanobotů, jednoho pro každou chemickou látku, nebo alespoň sada výměnných sensorových modulů.

Spektroskopický senzor (senzor pro blízké vzdálenosti a operace)

Tento snímač by průběžně odebíral malé vzorky okolní tkáně a analyzoval je. To lze provést buď vysoce výkonnou laserovou diodou nebo pomocí elektrického výboje a odpařením malého množství tkáně. Laserové diody jsou praktičtější vzhledem k obtížnosti výbojů v tekutém médiu a také z důvodu možných nežádoucích účinků při odběru vzorků blízko nervové tkáně. Dioda může pulsovat v pravidelných intervalech, s vnitřním kondenzátorem, který se neustále nabíjí, aby poskytoval více síly pro laserové diody.

TV kamera

Tato metoda spočívá v tom, že bude nanobot obsahovat minikameru a přenášet obraz mimo tělo do stanice dálkového ovládní, což umožní lidem nanobota navigovat a řídit. Nevýhodou této techniky je poměrně vysoká složitost senzorů. Na druhé straně, pevné televizní snímače jsou velmi dobře vyvinutá technologie a nemělo by být obtížné tuto technologii dále rozvíjet na potřebnou úroveň. Mohla by být kombinována s laserovou diodou při nízkém odběru energie, používaného k osvětlení.

UHF sonar pro rozlišení textury

Tato technika by měla analyzovat návrat ultrazvukového paprsku, který se v blízkosti povrchu odrazí. Bude mít poměrně nízké detaily obrazu, jejichž úroveň je závislá na tkáni. Tento přístup by vyžadoval buď velké množství výpočetního výkonu na palubě nanobota, nebo velmi velkou šířku komunikačního pásma mezi nanobotem a externími systémy.

4.5 Řídicí systém robota, požadované funkce

Cíl cesty

Nemusí znamenat, že máme podrobnou mapu těla, podle které se nanobot řídí. Znamená to, že nanobot musí být schopen postupovat k místu, kde se nachází nežádoucí tkáň a dostat se na místo v předem stanovené lhůtě, pokud nějaká existuje. Je-li nanobot umístěn do těla natrvalo, obíhá v krevním oběhu a odstraňuje nežádoucí tkáň, jakmile jsou identifikovány, je požadavek vymezené časové lhůty do značné míry zbytečný.

Znalost trasy

Tento požadavek se od předchozího liší tím, že jsou některá místa hůře přístupná. Například, nádor hluboko v mozku může být lokalizován různými způsoby, avšak nemůže být dosažen prostředky běžné chirurgické techniky. Můžeme být schopni lokalizovat nádor pomocí obvyklých technik, ale sled krevních cév, kterými musí nanobot projít, aby dosáhl požadovaného místa, může být poměrně obtížné určit.

Schopnost držet kurz

Tento požadavek je nutné dodržet pouze v případě, že je naplánována specifická trať, které je potřeba se držet, aby bylo dosaženo potřebného místa. Existují dva odlišné případy:

První je, jak již bylo řečeno, když musí být předem naplánovaná cesta dodržena. Vzhledem ke složitosti oběhového systému, bude tato možnost včasného naplánování trasy obecně použitelná pouze v případě, kdy lze k nádoru přistupovat z větších a jasnějších cév.

Druhý případ je ten, kdy robot používá řadu dálkových senzorů, zejména chemické senzory, k lokalizaci nádoru. V tomto případě robot funguje podobným způsobem jako policejní pes. Snížení chemické stopy používané k lokalizování nádoru by znamenalo, že nanobot zvolí v krevním oběhu špatnou cestu a bude se muset vrátit k bodu, kde začala chemická stopa upadat.

Potřeba kompenzovat neočekávané

Je jisté, že při vývoji technologie nastane mnoho neočekávaných událostí. I poté, co bude technika řízení robota zdokonalena, zde bude mnoho situací, kdy bude nutné mít externí rozhodovací systém zavedený do řídicího obvodu, což znamená, že v dohledné době nebudeme vyrábět zcela autonomního robota. Existují dva způsoby, jak můžeme tento problém řešit. Buď bude nanorobot autonomní ve většině nenáročných operací a požádá o pomoc, pokud se stane něco neočekávaného, nebo může být zcela externě řízený, což by výrazně snížilo složitost palubního výpočetního výkonu.

Jediná věc, kterou musíme vědět je, že celá cesta nanobota se skládá z uvedení nanobota do oběhu, léčení tkání a jeho vyloučení. Toho lze dosáhnout několika způsoby. Zavedením robota do krevního řečiště ve správném bodě mu umožní přesunout do cíle pouze pomocí následování správných cév. V programu údržby nepotřebuje robot ani předurčený cíl, ale snaží se dostat na místa, kam jej vedou senzory a kde bude s vysokou pravděpodobností poškozená tkáň, kterou bude muset vyléčit. Pro běžné účely údržby až tolik nezáleží na tom, kde se robot nachází, ačkoli chemický systém určitého druhu by byl nepochybně mnohem efektivnější, než náhodné hledání poškozených tkání. Nemáme-li určenou přesnou lokaci, kam se má nanobot dostat, nemusíme se až tak starat o trasu.

Výstup z těla

To se týká nanobota, který byl do těla zaveden za účelem vyřešení určitého specifického úkolu. V takovém případě bude třeba jej odstranit, což znamená, že buď musí být z oběhového systému odebrán, nebo musí být vyloučen obvyklými cestami.

Vzhledem k dostatečně přesnému ovládnutí nanobota by to neměl být problém. Nanobot může prostě svou cestu zpět proti proudu vystopovat. Nicméně, bylo by to mnohem jednodušší, aby se dopravil skrze tělo po cestě do bodu, kde můžeme nanobota z krevního řečiště odfiltrovat. Tím by se snížily možné potíže a také opotřebení robota. Další možností je, že se robot sám zastaví a zakotví na místě, které je dobře přístupné a bude vyjmut pomocí malého chirurgického zákroku.

U trvalého zavedení do krevního oběhu, kdy bude nanobot vykonávat „údržbu“ je problém je přesně opačný. Chceme totiž, aby nedošlo k samovolnému vyloučení nanobota z těla, pokud to není uděláno schválně.

4.6 Způsoby léčby

Léčba je v podstatě pro každý z uvedených zdravotních problémů stejná; musíme odstranit tkáň či látku z těla. To lze provést několika způsoby. Můžeme rozdělit shluk molekul dané látky a spoléhat na to, že ji tělo zničí pomocí normálních procesů. Případně, můžeme zničit látku ještě předtím, než začne tělo reagovat, nebo použít nanobota pro zvýšení efektivity u různých procesů.

Fyzické odstranění

Tato metoda může být účinná při léčbě arteriosklerózy. Může být použita čepel nebo ostří či jiný nástroj k tomu, aby byl z cévních stěn odstraněn nános tuku. Díky krevnímu oběhu by se tyto nánosy dostávaly pryč z těla přirozenými způsoby. Vzhledem k tomu, že trvá roky, než se tuk nahromadí, nebudou výsledky jeho odstraňování ihned patrné.

V případě krevních sraženin není situace tak jednoduchá. Je možné, že snaha fyzicky sraženiny odstranit způsobí, že se odštěpí velké kusy, které zablokují a následně ucpou krevní oběh. Pokud budeme odstraňovat sraženiny tímto způsobem,

budeme potřebovat určité prostředky, které by těmto komplikacím zabránily. Můžeme se pokusit nastavit nějaký mechanismus, který by tyto krevní sraženiny zachytil a zničil, nebo se můžeme pokusit proniknout do proudu oběhového systému a kusy sraženiny odfiltrovat. Bylo by nejlepší vypracovat techniku, která zničí krevní sraženinu na kousky příliš malé na to, aby mohly být nějak nebezpečné. Můžeme jednoduše odeslat zařízení na místo krevní sraženiny, odstranit části této sraženiny a ty pak odvézt z těla, kde mohou být rozpuštěny a zničeny. Opakovaným použitím této metody bychom mohli odstranit většinu nebo všechny sraženiny či nádory s minimálním zničením okolní tkáně. Ke správnému využití „sběrací krabice“ by bylo potřeba, aby byla dostatečně velká.

V případě nádorů je však situace složitější. Fyzické drcení nebo lámání volných shluků buněk může vést k tomu, že rakovina metastazuje do celého těla. Vzhledem k tomu, že není mechanismus šíření rakoviny ještě dostatečně znám, jde o skutečné velké nebezpečí. Jedním z možných řešení je, jako v předchozím případě, umístit filtr do bezprostřední blízkosti nádoru a rakovinné buňky odfiltrovat. Ovšem i kdyby bylo možné odlišit rakovinné buňky od normálních buněk filtrací, nezabránilo by to zabránit šíření nádoru způsobené chemickými látkami z prasklých buněk. V tomto případě je uvedeno o něco drastičtější řešení. Opět by byly využity „sběrné boxy“, které by ničily vše, co by do nich bylo umístěno.

Dalším způsobem, jak se vypořádat s nechtěnou tkání, je její zničení na původním místě (in situ). Tím by nedošlo k poškození nádorových buněk a uvolňování chemických látek do krevního řečiště. Za účelem účinného plnění tohoto úkolu bude potřeba ničit buňky bez toho, aniž by byla protržena jejich stěna, nebo aby byla protržena až tehdy, kdy je to bezpečné.

K tomuto účelu by sloužilo několik metod:

Rezonanční mikrovlny / Ultrazvuk

Spíše než využívání mikrovln, infračerveného světla nebo ultrazvukové energie o náhodných frekvencích, by měla být energie použita v určitých frekvencích potřebných k narušení určité chemické vazby. To by nám dalo možnost ujistit se, že nádor, který produkoval chemikálie vytvořené rakovinnými buňkami je z velké

části zničen a zbývající částky případně zlikviduje samo tělo přirozenou obrannou schopností.

Chemické prostředky

Na první pohled nevypadají chemické prostředky efektivně, protože nanobot nemůže nést velké množství těchto látek a bylo by složité, aby podnikal mnoho cest po těle kvůli doplnění zásob. Nicméně, zkoumání této technologie ukázalo další možnosti.

První možností je použití chemických látek extrémní účinnosti. Pokud bychom byli schopni aplikovat chemikálie přímo do postižené tkáně, rapidně by se snížily vedlejší účinky, oproti případu, kdy se spoléháme na krevní oběh, který má chemické látky na postižené místo dopravit. Významným, ale ne nejdůležitějším rysem této metody je, že mají látky větší vliv na nežádoucí tkáně. Tato metoda je používána při chemoterapii rakoviny a vedlejší účinky léčby mohou být velmi vysilující. Dodáním chemikálií v malém množství přímo na místo, kde jsou požadovány, se můžeme vyhnout většině, ne-li všem vedlejším účinkům. Tuto metodu lze použít, i když s menším účinkem, k rozpouštění krevních sraženin a arteriálních usazenin. Bylo by možné dopravit látky na místo operace a tam je aplikovat, ovšem jiným způsobem, než injekcemi do každé jednotlivé buňky, především z časových důvodů.

Další možností je zavedení chemické látky přímo do krevního řečiště, ale s tím, že naše zařízení ovlivní rakovinné buňky tak, aby byly na látky více citlivé než obvykle. To by umožnilo snížit úroveň chemoterapie na úroveň běžných metod, při stejném účinku a snížení vedlejších účinků a zatížení pacienta.

Tepl

Zhoubný vliv tepla na buňky je dobře zdokumentován a použití tepla k ničení rakovinných nádorů se zdá být rozumným přístupem. Existuje celá řada způsobů, kterými můžeme teplo aplikovat, z nichž má každý své výhody i nevýhody. Zatímco obecná technika spočívá v aplikaci poměrně nízkých úrovní tepla po delší dobu, můžeme taktéž použít mnohem vyšší úrovně po kratší dobu k dosažení stejného účinku. Druhá metoda je pro nás praktičtější, protože velikost robota je malá na to, aby používal teplo k léčení rozsáhlé oblasti po dlouhou dobu.

Mikrovlny

Je to populární metoda používaná v diatermii a jinde. Mikrovlnné záření je zaměřeno na rakovinné buňky a zvyšování jejich teploty po dobu, kdy způsobí zánik těchto buněk. To se obvykle provádí zvýšením teploty buněk na teplotu, která je vyšší než tělesná, což však buňky zabije až po mnoha minutách expozice.

Ultrazvuk

ultrazvukový signál, který může být generován piezoelektrickými membránami nebo jinými rychle vibrujícími objekty, je namířen na léčený objekt a je jím absorbován. Tato energie je přeměněna na teplo a zabíjí buňky zvýšením jejich teploty, stejně jako u mikrovln. To má řadu výhod oproti mikrovlnné technice, včetně malých rozměrů a jednoduchosti generátoru. Tato technologie však nebude velmi účinná proti krevním sraženinám ani cévním usazeninám, protože nejsou příliš citlivé na nízké teplo působící po delší dobu.

Zahřívání pomocí elektrického odporu

V tomto případě by se uvedly do styku s nádorem dvě elektrody a do těchto elektrod by byl zaveden vysoký elektrický proud. To by rakovinné buňky doslova uvařilo, ovšem vzhledem k špatné vodivosti krevních sraženin a usazenin by neměla být metoda v jejich případě účinná. Nejlépe by se dala tato technika uplatnit v kombinaci s léčbou pomocí chemikálií – tzn. oslabit stěny zhoubných buněk proudem a pak použít chemikálie.

Laser

Jedná se o metodu, která by měla teoreticky největší šanci na úspěch jak proti arterioskleróze, tak proti krevním sraženinám i nádorovým buňkám. Vyžadovala by použití vysoce výkonných laserových diod, díky nimž by byly rakovinné buňky spáleny a arteriální plak i krevní sraženiny by zmizely pomocí odpařování nežádoucích materiálů.

Těžko říct, která z uvedených metod by byla nejlepší, neexistuje totiž žádný nejlepší způsob, jak s nežádoucí tkání zacházet, protože způsob léčby se liší případ od případu. Tím pádem by bylo nejlepší navrhnou nanobota, na jehož tělo by mohly být instalovány prostředky pro různé metody boje s nežádoucí tkání.

4.7 Energie, palivo

Jedním z hlavních požadavků nanobotů je samozřejmě energie. Musíme být schopni získat dostatečnou sílu na to, aby mohl nanorobot plnit všechny své požadované operace. Jsou zde dvě možné cesty. První je získávání energie ze zdroje v těle, a to buď tím, že má robot samostatné napájení nebo tím, že energii získá z krevního proudu. Druhou možností je, že je robot napájen z externího zdroje, umístěného mimo tělo. Uvedu však pouze možnosti zdroje umístěného v těle, druhá možnost externího dodávání energie je totiž poměrně neefektivní.

4.7.1 Zdroj uvnitř těla hostitele

Tělesné teplo

Tato metoda by k pohonu nanobota využívala tělesného tepla. V podstatě by používala celé tělo jako zdroj energie. Základním problémem je to, že zdroj vyžaduje energický spád, aby fungoval. V tomto případě bychom potřebovali oblasti o různé teplotě, abychom mezi nimi mohli vytvořit energetický tok. Pro nanobota by bylo ovšem velmi obtížné být s tímto zdrojem energie mobilní a pracovat na plný výkon v mnoha různých prostředích.

Napájení z krevního řečiště

V prvním případě by měl nanobot na vnějším plášti namontované elektrody, který by v kombinaci s elektrolyty v krvi tvořily baterii. To by mělo za následek nízké napětí, ale na druhou stranu dlouhou životnost. Nevýhodou této metody je, že v případě sraženiny nebo arteriosklerózy nebude stačit průtok krve k udržení potřebné úrovně výkonu. Také v případě, kdy bude elektrodám zamezen přístup ke krvi, klesne jejich výkon na nulu a již se neobnoví. Bude tudíž nutné, aby zde existoval nějaký záložní systém.

Druhý způsob, jak získat energii z krevního oběhu, je pomocí palivových článků, nebo prostě tím, že spálí chemikálie obsažené v krvi. Je to podobné jako baterie, s výjimkou toho, že se energie nebude získávat z proudu mezi elektrodami, ale tím, že robot vyvolá chemické reakce v kontrolovaném poměru a díky tomu získá energii. To je téměř stejný způsob, jako kdyby robot konzumoval látky, na které narazí v krevním oběhu.

Tato metoda má stejný problém jako ta s elektrodami, a to že přestane fungovat, pokud bude přístup ke krvi zablokován, nebo v případě vyčerpaných chemických látek potřebných k reakci.

4.7.2 Zdroj umístěný v nanobotovi

Další metodou je nést s sebou veškerou zásobu energie „na palubě“. První případ je ten, ve kterém se používají běžné chemické baterie. Bohužel, poměr výkonu a hmotnosti chemické baterie je velmi nízký a baterie tak malé velikosti by měly pouze omezené použití.

Druhou možností je použít vysokonapěťové kondenzátory k uchování energie, kterou by pak robot využíval postupně. Tato technologie by se možná stala skutečností, kdyby opět nebyl poměr výkonu a hmotnosti velmi nízký. Pokud bychom mohli vyrábět keramické supravodivé cívky o tělesné teplotě k ukládání energie, stala by se tato metoda velmi atraktivní.

Třetí a zdaleka nepraktičtější způsob, je použít palubní jaderné zdroje. Množství tohoto paliva by bylo relativně snadné skrýt, což by byla jedna z prvních výhod této technologie. Toto palivo z radioaktivního materiálu by mohlo být použito jak pro napájení, tak i ke snadnému sledování polohy nanobota, protože k výrobě energie musí být plášť teplejší než tělesná teplota, což by výrazně snížilo složitost robota. Za druhé by se nemuselo řešit přídatné napájení a záložní zdroj, nebo nedostatečné napájení během výkonu operace. Na mikro úrovni by byla ochrana a přeměna na energii tohoto paliva relativně snadná, což by z této metody udělalo nejvhodnější volbu. Jediný zásadní problém s touto metodou by byly sociální a politické námitky.

Tato palivová technologie se snadno zmenšuje na nano-velikosti. Také dokazuje nesmírnou efektivnost, protože takovýto autonomní systém by uvedl nanoboty okamžitě do pohybu a byl by schopen fungovat donekonečna. Navíc by nebylo potřeba provádět výměnu palivových článků, jak by bylo nutné u baterie nebo solární energie.

4.8 Materiál

Odborníci se domnívají, že ideálním materiálem by byl křemík, zejména proto, že je běžně užíván pro jemnou elektroniku, zejména pro malé části počítače. Mikroskopické křemíkové komponenty tzv. snímače byly doposud úspěšně vestavěny do podoby „nohou“ nanobota.

Křemík je ideálním materiálem pro jemnou elektroniku a má správné vlastnosti pro to, aby z něj mohl být úspěšně zhotoven nanobot o velikosti několika stovek nanometrů. Je dost silný na to, aby vydržel a dokázal vést elektřinu na regulérní bázi, ale také dostatečně flexibilní, aby se s ním dalo manipulovat různými způsoby, což z něj dělá univerzální elektronický materiál.

Sestavování nanobotů z křemíku má však své nevýhody. Jsou to stejné problémy, jakým výrobky křemíkové elektroniky čelí, z nichž jedna je, že nejsou biologicky odbouratelné. Pokud by nanoboti měli být vyráběni ve velkém měřítku, neměli by být jejich trvalé materiály stejně nebezpečné jako všechny mikročipy a počítačová elektronika, která v současné době leží na skládkách. Byli by sice malou, ale i tak další zátěží pro přírodní zdroje.

V důsledku toho se stává otázka nalezení masového recyklačního řešení pro nanoboty ještě naléhavější. Křemík lze recyklovat na výrobky nízké kvality, jako jsou solární články, ale proces je dlouhý, složitý a obvykle nákladný.

Proti křemíku stojí možnost využít jako základní prvek uhlík ve formě diamantu, jak již bylo zmíněno. Jaký materiál se ukáže pro stavbu nanobota jako vhodnější by mohlo být jasnější již během několika let. [22]

zhodnocení

Ve skutečnosti nanoroboti, či nanoboti stále neexistují. Nebyli totiž ještě dovedeni do té podoby, aby je bylo možné uvést na trh.

Vědci na rozvoji tvrdě pracují, nicméně i přes jejich slibný vývoj předpokládají, že veřejný debut pracovního týmu nanobotů proběhne někdy v příštích 25 letech, možná dříve.

4.9 Výzkum potenciálního zájmu o produkt nanorobota

Tato kapitola se zabývá výsledky dotazníkového šetření, které bylo provedeno na základě výzkumu zájmu o produkt nanorobota a jeho funkcí.

4.9.1 Metodika

Šetření bylo prováděno pomocí sociální sítě facebook, přístup k dotazníku měl každý uživatel této sítě. Skladba respondentů nebyla dopředu nijak specifikována, převažuje ovšem počet mladších respondentů.

Jednotlivé otázky dotazníku byly:

- „Pohlaví?“
- „Věk?“
- „Nejvyšší dosažené vzdělání?“
- „Měli byste v budoucnu zájem o koupi a využívání nanorobota, i když byste netrpěli žádnou z chorob, za účelem posílení imunity a stanovení včasné diagnózy při výskytu některé z uvedených chorob?“
- „Pokud byste se ocitli v situaci, že byste některou z chorob trpěli a běžné léčebné prostředky by selhaly, dovedla by vás tato situace ke koupi nanorobota?“
- „Jelikož je pravděpodobné, že technologie nebude hrazena ze zdravotního pojištění, jak velkou částku byste byli ochotni zaplatit v případě, že byste se rozhodli nanorobota zakoupit?“

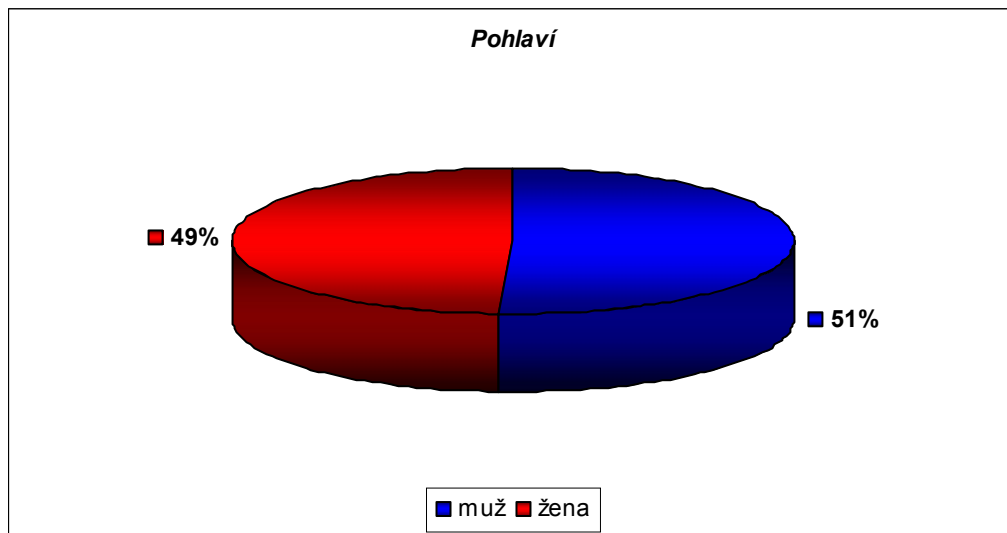
Jak je vidět výše, zkoumány byly dva základní případy a jejich vliv na koupi. První z nich byla prevence a posílení imunity, druhým případem byla již rozvinutá a diagnostikovaná choroba, kterou by byl nanorobot schopen léčit.

Velmi důležitou součástí dotazníku byl výzkum „ochoty“ zaplatit za danou technologii odpovídající částku.

4.9.2 Výsledky dotazování

Otázka 1: pohlaví respondentů

V případě pohlaví respondentů byl poměr mezi muži a ženami téměř vyrovnaný. Celkový počet mužů, kteří vyplnili dotazník byl 171 a celkový počet žen 166, z celkem 337 respondentů. Procentuelně vyšel poměr 51% mužů ku 49% žen.



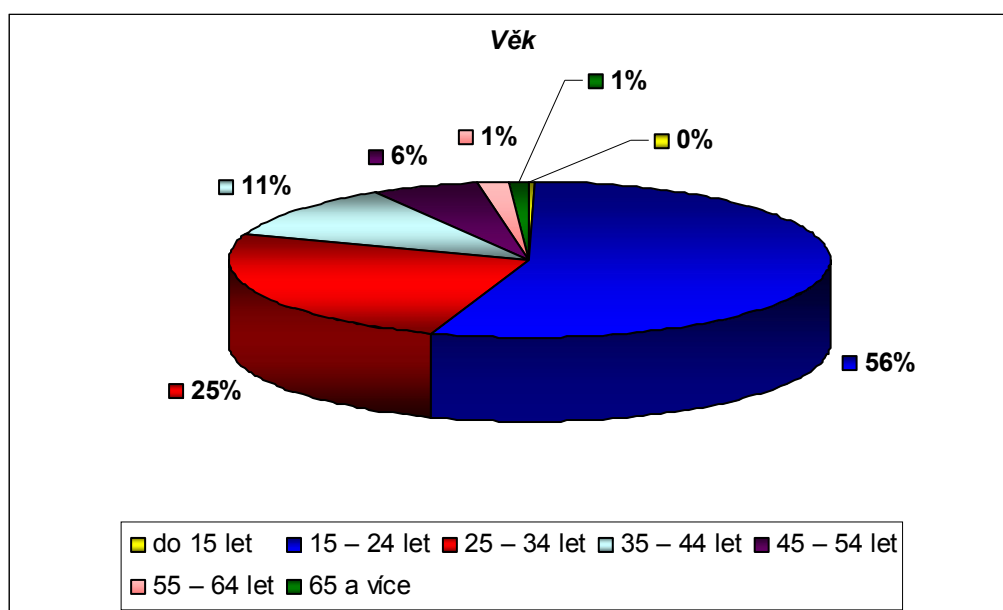
Obrázek 20: Poměr pohlaví respondentů [vlastní zpracování]

Otázka 2: věková struktura

Jak již bylo řečeno, v případě věkové struktury převládá počet mladších respondentů. Především kategorií 15 – 24 let a 25 – 34 let. Tento fakt je dán především sdílením po sociální síti facebook, kdy je dokument zaslán prvním respondentům, a tito jej dále posílají či sdílejí většinou svým vrstevníkům. Největší počet vybraných respondentů byl právě ve výše uvedených věkových kategoriích, tudíž zde vznikl převládající počet mladších respondentů.

Tabulka 1: Věková struktura respondentů [vlastní zpracování]

<i>Věk</i>	<i>do 15 let</i>	<i>15-24 let</i>	<i>25-34 let</i>	<i>35-44 let</i>	<i>45-54 let</i>	<i>55-64 let</i>	<i>65 a více</i>	Σ
<i>Počet respondentů</i>	1	185	85	37	20	5	4	337



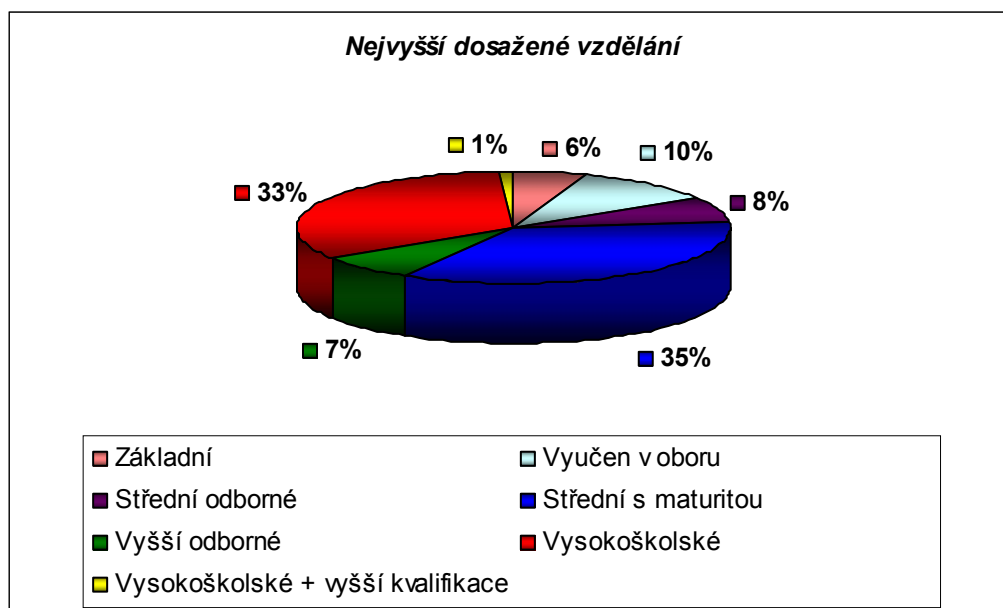
Obrázek 21: Věková struktura respondentů [vlastní zpracování]

Otázka 3: nejvyšší dosažené vzdělání

Třetí otázka řešící nejvyšší dosažené vzdělání respondentů je taktéž určitým způsobem zkreslena tím, že je většina respondentů ve věku od 15 do 34 let. Většina mladých lidí dnes studuje vysokou školu nebo má alespoň středoškolské vzdělání s maturitou. Tomu odpovídají i výsledky dotazníkového šetření.

Tabulka 2: Nejvyšší dosažené vzdělání respondentů [vlastní zpracování]

<i>Vzdělání</i>	<i>Základní</i>	<i>Vyučen/a v oboru</i>	<i>Střední odborné</i>	<i>Střední s maturitou</i>	<i>Vyšší odborné</i>	<i>Vysokoškolské</i>	<i>Vysokoškolské + vyšší kvalifikace</i>	Σ
<i>Počet respondentů</i>	19	35	26	117	24	112	4	337



Obrázek 22: Nejvyšší dosažené vzdělání respondentů [vlastní zpracování]

Otázka 4: Využití nanobota pro včasnou diagnózu a posílení imunity

Odpovědi na tuto otázku nejsou zdaleka jednoznačné. Nejvíce respondentů vybralo odpověď „spíše ano“, tedy že by si dovedli představit, že by v budoucnu měli nanorobota zavedeného ve svém těle jako nástroj pro včasnou diagnózu,

kontrolu stavu organismu a posílení imunity. Těsně za touto možností je naopak odpověď „spíše ne“, tedy že by nanorobota v případě kdy to není nijak nutné respondenti využívat nechtěli. Další odpovědí s nejvíce hlasy je neutrální „nevím“, za ní pak „určitě ne“ a poslední je možnost „určitě ano“.

Tabulka 3: Tabulka četností pro otázku 4 [vlastní zpracování]

<i>Odpověď</i> <i>(x_i)</i>	<i>Absolutní četnost</i> <i>(n_i)</i>	<i>Relativní četnost</i> <i>(v_i)</i>	<i>Relativní četnost v</i> <i>%</i>
<i>Určitě ano</i>	35	0,1	10%
<i>Spíše ano</i>	89	0,26	26%
<i>Nevím</i>	75	0,22	22%
<i>Spíše ne</i>	113	0,35	35%
<i>Určitě ne</i>	25	0,07	7%
Σ	337	1,00	100%

Reliabilita a validita kvantitativního výzkumu

Reliabilita, znamená spolehlivost se kterou zvolená technika měří daný jev, tedy spolehlivost, se kterou je možné v tomto případě potvrdit existenci dané odpovědi v základním souboru.

Vyhodnocení spolehlivosti, které jsem provedl je založeno na relativních četnostech v jednotlivých kategoriích (otázek dotazníku) u kterých byly pro generalizaci zjištěných údajů přímo vypočteny intervaly spolehlivosti. Teorie jejich výpočtu a výsledné hodnoty intervalů reliabilitu tohoto šetření potvrzují.

Je-li výzkum reliabilní, pak může, ale nemusí být validní. Při zkoumání validity (platnosti) nám jde především o validitu údajů, nikoli o samoučelnou validitu techniky. Validita údajů znamená, že je na základě určité teorie můžeme použít pro tvorbu závěrů, vysvětlení a předvídaní jednání (resp. jevů).

Pro validizaci tohoto šetření byl použit intervalový odhad populační pravděpodobnosti, protože výsledný základní soubor nebyl dostatečně velký, abychom

mohli výsledky šetření jednoznačně interpretovat. Proto musely být vypočítány intervaly spolehlivosti relativních četností (v) jednotlivých odpovědí. Nyní můžeme říci, že výzkum je (v rozsahu otázek u kterých byly vypočteny intervaly spolehlivosti) validní.

Byl proveden náhodný výběr rozsahu n ($n = 337$), při kterém byl zjištěn počet lidí s danou vlastností. Je-li jejich počet r , pak je relativní četnost výskytu vlastnosti ve výběru $v = r/n$. Vypočet relativní četnosti (v) byl vyjádřen taktéž v procentech (procento výskytu dané vlastnosti).

Je-li $n > 100$ a v není příliš malé, pak má relativní četnost výskytu vlastnosti normální rozdělení s průměrem rovným pravděpodobnosti výskytu v celé populaci π a směrodatnou odchylkou $\sqrt{\pi(1-\pi)/n}$.

95% interval spolehlivosti pro populační pravděpodobnost π má tedy krajní body

$$v \pm 1,96 \sqrt{\frac{\pi(1-\pi)}{n}}$$

Neznámou hodnotu π ve směrodatné odchylce nahradíme relativní četností v a dostaneme 95% interval spolehlivosti pro populační pravděpodobnost:

$$v \pm 1,96 \sqrt{\frac{v(1-v)}{n}}$$

Výpočet:

1) Interval spolehlivosti u respondentů s odpovědí „určitě ano“

$$0,1 \pm 1,96 \sqrt{\frac{0,1(1-0,1)}{337}} = 0,1 \pm 0,03 = (0,07; 0,13).$$

procento respondentů, kteří by si nanobota pro včasnou diagnózu a posílení imunity určitě koupili leží s 95% spolehlivostí v rozmezí 7% až 13%.

2) Interval spolehlivosti u respondentů s odpovědí „spíše ano“

$$0,26 \pm 1,96 \sqrt{\frac{0,26(1-0,26)}{337}} = 0,26 \pm 0,05 = (0,21; 0,31).$$

procento respondentů, kteří by si nanobota pro včasnou diagnózu a posílení imunity spíše koupili leží s 95% spolehlivostí v rozmezí 21% až 31%.

3) Interval spolehlivosti u respondentů s odpovědí „nevím“

$$0,22 \pm 1,96 \sqrt{\frac{0,22(1-0,22)}{337}} = 0,22 \pm 0,04 = (0,18; 0,26).$$

Procento respondentů, kteří se nedokázali rozhodnout, k jaké možnosti by se v dané situaci přiklonili leží s 95% spolehlivostí v rozmezí 18% až 26%.

4) Interval spolehlivosti u respondentů s odpovědí „spíše ne“

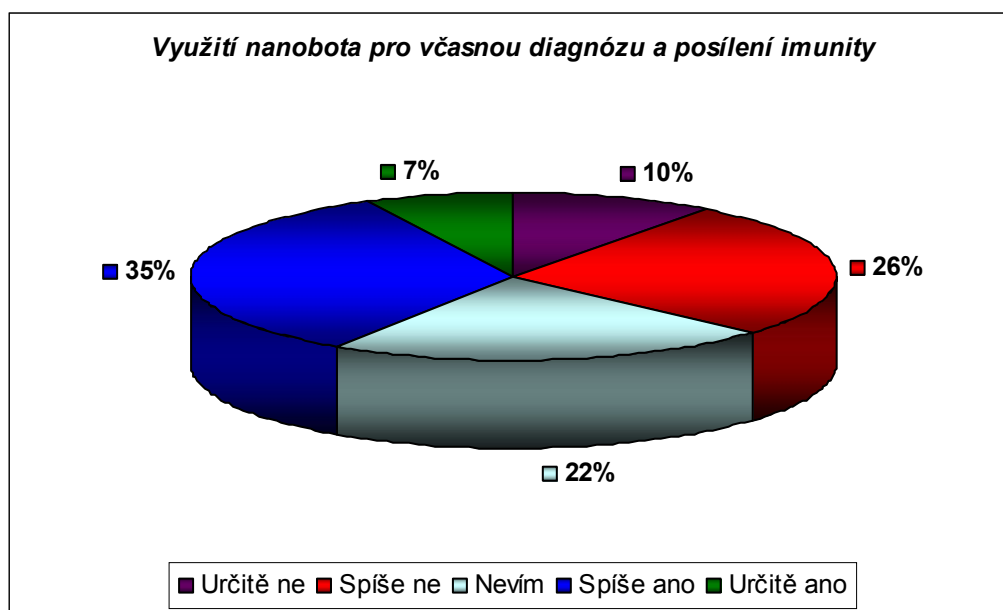
$$0,35 \pm 1,96 \sqrt{\frac{0,35(1-0,35)}{337}} = 0,35 \pm 0,05 = (0,3; 0,4).$$

Procento respondentů, kteří by se k využití nanorobota k posílení imunity a stanovování diagnózy spíše nepřiklonili leží s 95% pravděpodobností v rozmezí 30% až 40%.

5) Interval spolehlivosti u respondentů s odpovědí „určitě ne“

$$0,07 \pm 1,96 \sqrt{\frac{0,07(1-0,07)}{337}} = 0,07 \pm 0,03 = (0,04; 0,1).$$

Procento respondentů, kteří by si nanorobota za daných podmínek určitě nepořídili, leží s 95% pravděpodobností v rozmezí 4% až 10%.



Obrázek 23: Využití nanobota pro včasnou diagnózu a posílení imunity [vlastní zpracování]

Otázka 5: Využití nanobota pro léčbu chorob

Oproti předchozí otázce jsou reakce respondentů na koupi a případnou léčbu chorob v situaci, kdyby běžné lékařské techniky selhaly z velké části pozitivní. V souhrnu dosahují odpovědi „spíše ano“ a „určitě ano“ 79% ze všech odpovědí. Nanorobota by určitě koupilo celých 33% dotázaných a téměř polovina - 46% by se k této možnosti pravděpodobně přiklonila. Další v pořadí je neutrální „nevím“, kdy nejsou respondenti sto odpovědět, jak by se v dané situaci zachovali. Odpovědi „určitě ne“ a „spíše ne“ tvoří u této otázky poměrně zanedbatelnou část, dohromady mají 8%, každá odpověď polovinu.

Tabulka 4: Tabulka četností pro otázku 5 [vlastní zpracování]

<i>Odpověď</i> (<i>x_j</i>)	<i>Absolutní četnost</i> (<i>n_j</i>)	<i>Relativní četnost</i> (<i>v_j</i>)	<i>Relativní četnost v</i> %
<i>Určitě ano</i>	110	0,33	33%
<i>Spíše ano</i>	157	0,46	46%
<i>Nevím</i>	44	0,13	13%
<i>Spíše ne</i>	13	0,04	4%
<i>Určitě ne</i>	13	0,04	4%
Σ	337	1,00	100%

U validace údajů budeme postupovat stejně jako u předchozí otázky.

Výpočet:

1) Interval spolehlivosti u respondentů s odpovědí „určitě ano“

$$0,33 \pm 1,96 \sqrt{\frac{0,33(1-0,33)}{337}} = 0,33 \pm 0,05 = (0,28; 0,38).$$

Procento respondentů, kteří by si za dané situace nanorobota určitě koupili leží s 95% pravděpodobností v rozmezí 28% až 38%.

2) Interval spolehlivosti u respondentů s odpovědí „spíše ano“

$$0,46 \pm 1,96 \sqrt{\frac{0,46(1-0,46)}{337}} = 0,46 \pm 0,05 = (0,41; 0,51).$$

Respondenti, kteří by se za daných okolností ke koupi nanobota spíše přiklonili leží s 95% pravděpodobností mezi 41% až 51%.

3) Interval spolehlivosti u respondentů s odpovědí „nevím“

$$0,13 \pm 1,96 \sqrt{\frac{0,13(1-0,13)}{337}} = 0,13 \pm 0,04 = (0,09; 0,17).$$

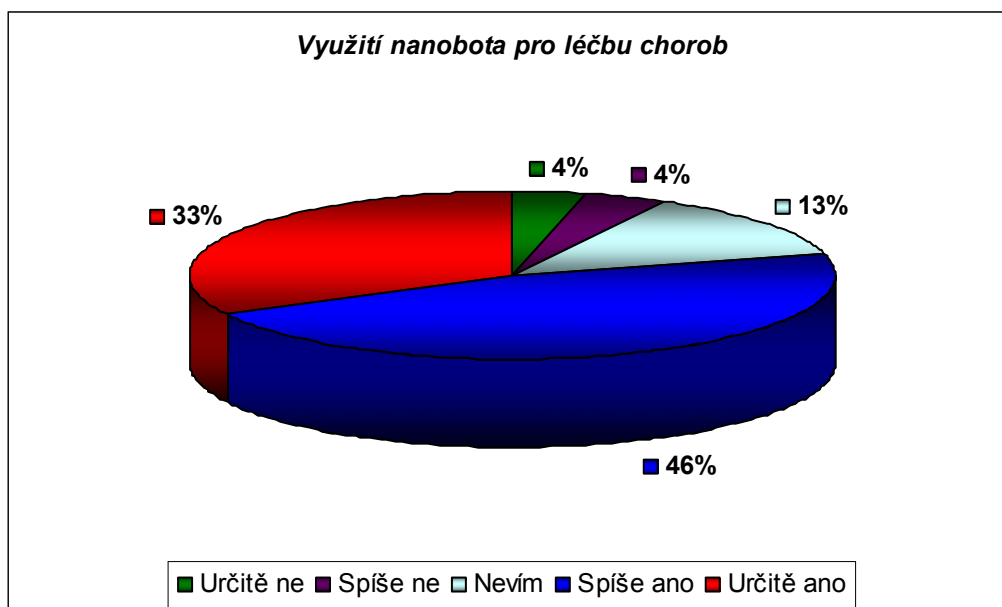
Respondenti, kteří nedokázali u této otázky odpovědět, zda by se přiklonili k jedné či druhé variantě, leží s 95% pravděpodobností v intervalu mezi 9% až 17%.

4) Interval spolehlivosti u respondentů s odpovědí „spíše ne“ a „spíše ano“

Výpočet pro tyto dvě možnosti provedu pouze jednou, protože jde o řešení té samé úlohy – obě možnosti mají relativní četnost 0,04.

$$0,04 \pm 1,96 \sqrt{\frac{0,04(1-0,04)}{337}} = 0,04 \pm 0,02 = (0,02; 0,06).$$

V obou případech možností „spíše ne“ a „určitě ne“ by byl interval spolehlivosti s 95% pravděpodobností 2% až 6%.



Obrázek 24: Využití nanobota pro léčbu chorob [vlastní zpracování]

Otázka 6: Finanční obnos, který by byli respondenti ochotni za nanobota zaplatit

U otázky týkající se financí, které by byli respondenti ochotni obětovat na koupi nanorobota byla podle předpokladů nejvíce preferována první odpověď, a to obnos v řádu deseticí. Další dvě odpovědi, v řádu statisíců a jakákoliv cena, ve smyslu toho, že má zdraví a život nevyčísitelnou hodnotu obdržely poměrně podobný počet hlasů. Naopak ani jeden hlas neobdržela možnost v řádu milionů.

Možnost „jakoukoliv částku, zdraví a život jsou nevyčísitelné hodnoty“ zvolilo 18% z celkového počtu respondentů. Oproti otázce „v řádu milionů“ je tento fakt zarážející. Na druhou stranu musíme vzít v potaz, že má otázka poměrně silný psychologický podtext, protože je směřována na uvědomění si životních priorit, které jsou podle mého názoru zásadní pro každého z nás.

Samozřejmě, tak jako každá nová technologie bude i nanorobot stát zpočátku nemalé peníze. S tím, jak se bude technologie zlepšovat, prodlužovat se její životnost a zároveň budou klesat náklady na její výrobu díky efektivnějším výrobním procesům, bude zároveň klesat její cena. Podobný, ne-li ten samý příklad lze sledovat u výpočetní techniky. V době zavádění této technologie si ji mohli dovořit jen ti nejbohatší, čímž mám na mysli hlavně silné společnosti tehdejší doby.

Možnost uplatnění počítače v domácnosti a jeho masové využití po celém světě přišlo až se snížením výrobních nákladů a celkovým zlevněním této technologie. V případě nanobotů lze očekávat obdobný vývoj.

Tabulka 5: Tabulka četností pro otázku 6 [vlastní zpracování]

<i>Odpověď' (x_i)</i>	<i>Absolutní četnost (n_i)</i>	<i>Relativní četnost (v_i)</i>	<i>Relativní četnost v %</i>
<i>V řádu desetitisíců</i>	219	0,65	65%
<i>V řádu statisíců</i>	58	0,17	17%
<i>V řádu milionů</i>	0	0	0%
<i>Jakoukoliv částku</i>	60	0,18	18%
Σ	337	1,00	100%

1) Interval spolehlivosti u odpovědi „v řádu desetitisíců“

$$0,65 \pm 1,96 \sqrt{\frac{0,65(1-0,65)}{337}} = 0,65 \pm 0,05 = (0,6; 0,7).$$

S 95% spolehlivostí bude interval spolehlivosti u první odpovědi 60% až 70%.

2) Interval spolehlivosti u odpovědi „v řádu statisíců“

$$0,17 \pm 1,96 \sqrt{\frac{0,17(1-0,17)}{337}} = 0,17 \pm 0,04 = (0,13; 0,21).$$

Interval spolehlivosti u druhé odpovědi bude s 95% pravděpodobností 13% až 21%

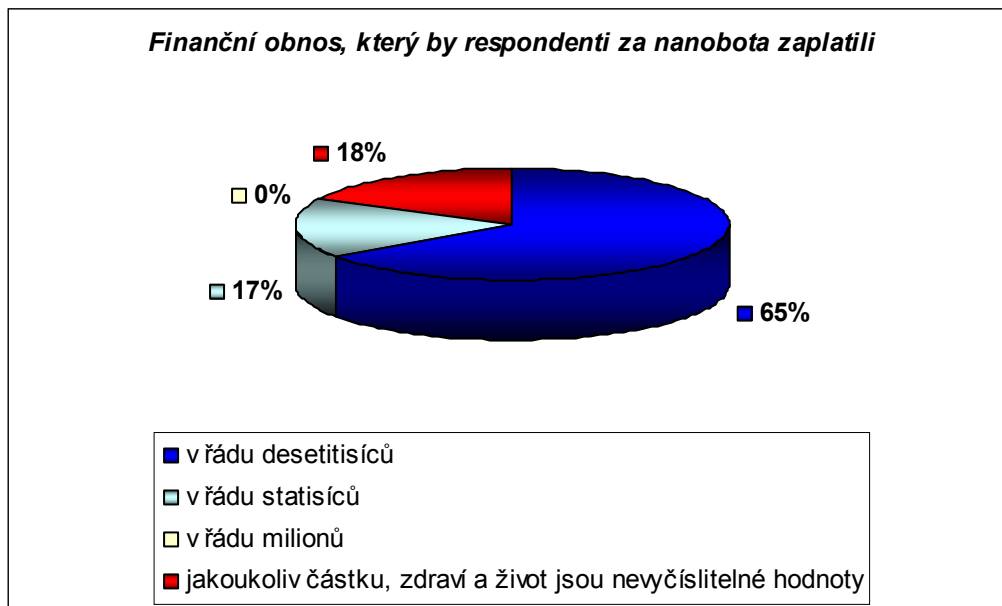
3) Interval spolehlivosti u odpovědi „v řádu milionů“

po dosazení do vzorce nám vyjde výsledek 17%

4) Interval spolehlivosti u odpovědi „jakákoliv částka“

$$0,18 \pm 1,96 \sqrt{\frac{0,18(1-0,18)}{337}} = 0,18 \pm 0,04 = (0,14; 0,22).$$

Interval spolehlivosti bude s pravděpodobností 95% tvořen hodnotami od 14% do 22%.



Obrázek 25: Finanční obnos, který by respondenti za nanobota zaplatili [vlastní zpracování]

ZÁVĚR

Práce byla zpracovávána tak, aby nejprve poskytla základní informace o tom, co to jsou nanotechnologie a jaké je jejich využití (kap 1) a postupně se stále více zaměřovala na hlavní téma, kterým je nanorobotika a její uplatnění v medicíně (kap. 1 a 4).

Pro první stanovený cíl práce byla využita především sekundární data, která analyzovala současný stav nanotechnologií v ČR. Jsou zde uvedena jednotlivá pracoviště, kde se provádí jak primární, tak aplikovaný výzkum v oblasti nanotechnologií, nanomedicíny a dalších, dále výzkumné ústavy a příklady výrobních podniků (kap. 3.1)

Dále se kapitola zabývá systémem veřejné podpory Výzkumu, vývoje a inovací v ČR, jejím současným stavem a také zkoumá ekonomickou podporu projektů týkajících se nanotechnologií a využitím těchto projektů, čím je splněna analýza celkového stavu těchto technologií v ČR (kap. 3.2, 3.3 a 3.4).

Druhým stanoveným cílem, byl projekt nanorobota pro využití v oblasti medicíny a jeho uvedení na trh. Tato část práce vychází z několika dosud publikovaných studií, které se zabývají řešením konstrukce a vývoje nanorobota pomocí současných strojírenských technologií (kap. 4.1 až 4.8).

Pro druhou část cíle uvedení daného produktu na trh bylo provedeno dotazníkové šetření, které zkoumalo potenciální zájem o produkt nanorobota (kap. 4.9).

Dotazník zkoumal strukturu pohlaví, věku a dosaženého vzdělání respondentů a především pak podmínky, za kterých by si respondent nanobota zakoupil, s tím, jakou by byl ochoten zaplatit nejvyšší cenu za tento produkt.

Z hlediska velikosti základního souboru zkoumaných odpovědí, který činil 337 respondentů, bylo použito pro validaci a reliabilitu zkoumaných odpovědí metody intervalů spolehlivosti. Tím jsem splnil i druhý cíl práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] FREITAS JR., Robert A. *Nanomedicine, Volume I: Basic Capabilities*. Georgetown : Landes Bioscience, 1999. 509 s. ISBN 978-1570596452.
- [2] FREITAS JR., Robert A. *Nanomedicine, Volume IIA: Biocompatibility*. Georgetown : Landes Bioscience, 2003. 330 s. ISBN 978-1570597008.
- [3] RUBINSTEIN, Leslie. A Practical NanoRobot for Treatment of Various Medical Problems. *Foresight Institute* [online]. 2000, -, [cit. 2011-08-12]. Dostupný z WWW: <http://www.foresight.org/Conferences/MNT8/Papers/Rubinstein/index.html>.
- [4] CAVALCANTI, Adriano. *Nanorobotics Control Design for Nanomedicine*. Victoria, Austrálie, 2009. 239 s. Dizertační práce. Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Monash Univerzity.
- [5] HOŠEK, Jan. *Úvod do nanotechnologie*. Praha : Česká technika - nakladatelství ČVUT Praha, 2010. 170 s. ISBN 978-80-01-04555-8.
- [6] PRNKA, Tasilo; ŠPERLINK, Karel. *Bionanotechnologie, nanobiotechnologie, nanomedicina*. Ostrava : Repronis, 2006. 177 s. ISBN 80-7329-134-7.
- [7] SCHULENBURG, Mathias. *Nanotechnologie - inovace pro zítřejší svět*. Lucemburk : Úřad pro úřední tisky Evropských společenství, 2007. 56 s. ISBN 92-79-00879-X.
- [8] Nanotechnologie.cz. *Historie moderních technologií*. - : -, -. 8 s.
- [9] RUPOVÁ, Marcela; SKŘEHOT, Petr. *Aktuální otázky bezpečnosti práce s nanomateriály*. Praha : Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2009. 6 s.
- [10] PRNKA, Tasilo; ŠPERLINK, Karel. *Šestý rámcový program evropského výzkumu a technického rozvoje : Nanotechnologie*. 1. vyd. Ostrava : Repronis, 2004. 70 s. ISBN 80-7329-070-7.

- [11] PRNKA, Tasilo; SHRBENÁ, Jiřina; ŠPERLINK, Karel. *Nanotechnologie v ČR 2008*. první. Ostrava : Repronis, 2008. 348 s. ISBN 978-80-7329-187-7.
- [12] PRNKA, Tasilo, et al. *Průvodce systémem veřejné podpory výzkumu a vývoje v ČR 2009*. jedenácté, aktualizované a doplněné. Ostrava : Repronis, 2008. 202 s. ISBN 978-80-7329-203-4.
- [13] PRNKA, Tasilo, et al. *Průvodce systémem veřejné podpory výzkumu a vývoje v ČR 2010*. dvanácté aktualizované a doplněné. Ostrava : Česká společnost pro nové materiály a technologie , 2010. 246 s.
- [14] HULLMANN, Angela. *Ekonomický rozvoj nanotechnologie, analýza na bázi indikátorů*. Brusel : Úřad pro úřední tisky Evropských společenství, 2006. 33 s.
- [15] VŠB-TU Ostrava. *Nanotechnologie na VŠB-TUO* [online]. 2007 [cit. 2011-08-12]. Dostupné z WWW: <http://nanotechnologie.vsb.cz/>.
- [16] FREITAS JR., Robert A. What is nanomedicine?. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*. 2005, 1, s. 2-9.
- [17] ISLAM, Nazrul; MIYAZAKI, Kumiko. An empirical analysis of nanotechnology research domains. *Technovation*. 2010, 30, s. 229 – 237.
- [18] SAHOO, S.K.; PARVEEN, S.; PANDA, J.J. The present and future of nanotechnology in human health care. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*. 2007, 3, s. 20 – 31.
- [19] DREXLER, Eric; PETERSON, Chris; PERGAMIT, Gayle. *Unbounding the Future: the Nanotechnology Revolution* [online]. New York : Eric Drexler and Chris Peterson, with Gayle Pergamit William Morrow and Company, Inc., 1991 [cit. 2011-08-12]. Nanomedicine, s. . Dostupné z WWW:
http://www.foresight.org/UTF/Unbound_LBW/index.html#TOC.
- [20] ROEKER, Kirk L. Medical Nanobots. *Communications of the ACM* [online]. 2009, 9, [cit. 2011-08-12]. Dostupný z WWW: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1562172>.

- [21] How Nanorobots Are Made. *Introduction to nanotechnology blog* [online]. 2009, -, [cit. 2011-08-12]. Dostupný z WWW: <http://nanogloss.com/nanobots/how-nanorobots-are-made/#axzz1UnLejmBQ>.
- [22] What Nanobots Are Made Out Of. *Introduction to nanotechnology blog* [online]. 2009, -, [cit. 2011-08-12]. Dostupný z WWW: <http://nanogloss.com/nanobots/what-nanobots-are-made-out-of/#axzz1RPq7hHlw>.
- [23] What Are the Capabilities of Nanobots?. *Introduction to nanotechnology blog* [online]. 2009, -, [cit. 2011-08-12]. Dostupný z WWW: <http://nanogloss.com/nanobots/what-are-the-capabilities-of-nanobots/#axzz1RPq7hHlw>.
- [24] What Are Nanoparticles?. *Introduction to nanotechnology blog* [online]. 2009, -, [cit. 2011-08-12]. Dostupný z WWW: <http://nanogloss.com/nanoparticles/what-are-nanoparticles/#axzz1RPq7hHlw>.
- [25] How Nanobots Can Repair Damaged Tissue. *Introduction to nanotechnology blog* [online]. 2009, -, [cit. 2011-08-12]. Dostupný z WWW: <http://nanogloss.com/nanobots/how-nanobots-can-repair-damaged-tissue/#axzz1RPq7hHlw>.
- [26] STRICKLAND, Jonathan. How Nanorobots Will Work. *Howstuffworks* [online]. -, -, [cit. 2011-08-12]. Dostupný z WWW: <http://electronics.howstuffworks.com/nanorobot.htm/printable>.
- [27] Antrieb für Nanoroboter. *Spektrum der Wissenschaft* [online]. 2010, -, [cit. 2011-08-12]. Dostupný z WWW: http://www.spektrum.de/artikel/1025790&_z=798888.
- [28] TOPINKA, Jan. Bezpečnost nanotechnologií. *Technik* [online]. 2011, -, [cit. 2011-08-12]. Dostupný z WWW: <http://technik.ihned.cz/c1-49938100-bezpecnost-nanotechnologii>.

- [29] Nomenklatura nanotechnologií. *Nanotechnologie.cz* [online]. 2007, -, [cit. 2011-08-12]. Dostupný z WWW: <http://www.nanotechnologie.cz/view.php?cislocclanku=2007080023>.
- [30] *Nanotechnologie.cz* [online]. 2007 [cit. 2011-08-12]. Dostupné z WWW: <http://www.nanotechnologie.cz/search.php?rsvelikost=sab&rstext=all-phpRS-all&rstema=3>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AFM	Atomic Force Microscopy
AV ČR	Akademie věd České republiky
AVO	Asociace výzkumných organizací
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
CAS	Chemical Abstracts Service
DZSV	Dlouhodobé základní směry výzkumu
ECAP	Environmental Compliance Assistance Programme
EHS	Evropské hospodářské společenství
ES	Evropské společenství
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
EU-OSHA	European Agency for Safety and Health at Work
EURATOM	The European Atomic Energy Community
FP	Rámcový program
GA ČR	Grantová agentura České republiky
GPS	Global Positioning System
MBÚ AV ČR	Mikrobiologický ústav Akademie věd České republiky
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MRI	Magnetic Resonance Imaging
MSVV	Mezinárodní spolupráce ve výzkumu a vývoji
MŠMT	Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy
MZ	Ministerstvo zdravotnictví
MZE	Ministerstvo zemědělství

MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NCRC	Nonwovens Cooperative Research Center
NEMS	Nano-Electro-Mechanical Systems
NEW OSH ERA	New and Emerging Risks in Occupational Safety and Health - Anticipating and dealing with change in the workplace through coordination of OSH risk research
NMP	Nanosciences, nanotechnologies, materials & new production technologies
NMR	Nuclear Magnetic Resonance
NNI	National Nanotechnology Initiative
NP	Národní program
NPV	Národní program výzkumu
NSF	National Science Foundation
OLED	Organic Light Emitting Diode
OP VaVpI	Operační program Výzkum a vývoj pro inovace
PEROSH	Partnership for European Research in Occupational Safety and Health
RVVI	Rada pro výzkum, vývoj a inovace
STM	Scanning Tunneling Microscope
ÚMG AV ČR	Ústav molekulární genetiky Akademie věd České republiky
VaV	Výzkum a vývoj
VaVaI	Výzkum, vývoj a inovace

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Přehled velikostí jednotlivých prvků v nanometrech [15]	12
Obrázek 2: Význam nanotechnologií pro společnost [5]	25
Obrázek 3: Současné aplikace nanotechnologií [6]	27
Obrázek 4: předpovědi pro trh s nanotechnologiemi v miliardách US dollarů [14]	30
Obrázek 5: Světový trh 1999 – 2003 a prognóza na rok 2015 v miliardách USD [14]	30
Obrázek 6: Prognóza vývoje světového trhu v různých odvětvích nanotechnologie: vlevo: v miliardách amerických dolarů, vpravo: míra průměrného ročního růstu v letech 2002 – 2006 v % [14]	31
Obrázek 7: Objem a podíl trhu s produkty dodávky léků do organismu na světovém trhu. [14]	32
Obrázek 8: Celosvětový prodej výrobků, které mají v sobě začleněnou nastupující nanotechnologii na danou oblast – prognóza v procentech [14]	33
Obrázek 9: Odhad veřejných a soukromých financí na výzkum a vývoj nanotechnologie v roce 2005 [14]	35
Obrázek 10: Počet pracovních míst v nanotechnologii v miliónech a podíl pracovních míst v nanotechnologii na všech pracovních místech ve výrobě v procentech. [14]	37
Obrázek 11: Bakterie E-coli, díky níž by bylo možné sestrojít bionanobota [26]	44
Obrázek 12: Ilustrační obrázek nanorobota [25]	48
Obrázek 13: Etapy přípravy státní podpory Výzkumu, vývoje a inovací [13]	63
Obrázek 14: Vývoj celkové podpory VaV z veřejných prostředků [13]	67
Obrázek 15: Vývoj celkové podpory VaV z veřejných prostředků u vybraných poskytovatelů v letech 2006 - 2010 [13]	68
Obrázek 16: Vývoj institucionální podpory VaV u vybraných poskytovatelů v letech 2006 – 2010 [13]	69
Obrázek 17: Vývoj účelové podpory VaV u vybraných poskytovatelů v letech 2006 – 2010 [13]	70

Obrázek 18: Vývoj celkové veřejné podpory VaV v jednotlivých regionech ČR č. 1 (mil. Kč) [13].....	71
Obrázek 19: Vývoj celkové veřejné podpory VaV v jednotlivých regionech ČR č. 2 (mil. Kč) [13].....	72
Obrázek 20: Poměr pohlaví respondentů [vlastní zpracování].....	97
Obrázek 21: Věková struktura respondentů [vlastní zpracování]	98
Obrázek 22: Nejvyšší dosažené vzdělání respondentů [vlastní zpracování].....	99
Obrázek 23: Využití nanobota pro včasnou diagnózu a posílení imunity [vlastní zpracování].....	102
Obrázek 24: Využití nanobota pro léčbu chorob [vlastní zpracování].....	104
Obrázek 25: Finanční obnos, který by respondenti za nanobota zaplatili [vlastní zpracování].....	107

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Věková struktura respondentů [vlastní zpracování].....	98
Tabulka 2: Nejvyšší dosažené vzdělání respondentů [vlastní zpracování]	99
Tabulka 3: Tabulka četností pro otázku 4 [vlastní zpracování]	100
Tabulka 4: Tabulka četností pro otázku 5 [vlastní zpracování]	103
Tabulka 5: Tabulka četností pro otázku 6 [vlastní zpracování]	106

SEZNAM PŘÍLOH

P I Dotazník výzkumu potencionálního zájmu o produkt nanorobota

PŘÍLOHA P I: DOTAZNÍK VÝZKUMU POTENCIONÁLNÍHO ZÁJMU O PRODUKT NANOROBOTA

Vážení respondenti,

máte před sebou dotazník, který má za úkol zmapovat potenciální zájem o produkt nanorobota, který bude využitelný v oblasti medicíny při léčbě různých chorob. Jedná se o miniaturní zařízení o velikosti několika málo nanometrů (10^{-9} m), pracující na molekulární a atomární úrovni, které bude díky svým schopnostem léčit choroby jako jsou:

- nádory
- krevní sraženiny
- arteriální nánosy
- dna
- cukrovka
- žlučové a ledvinové kameny
- zastavení krvácení
- čištění ran a popálenin
- odstranění dehtu z plic
- posílení imunity

a mnoho dalších problémů, které se nedaří pomocí současných praktik efektivně řešit. V dotazníku prosím zaškrtněte jednu z odpovědí, za Vaši spolupráci předem děkuji.

Lukáš Madrý

Pohlaví:

- Muž
- Žena

Věk:

- do 15 let
- 15 – 24 let
- 25 – 34 let
- 35 – 44 let
- 45 – 54 let
- 55 – 64 let
- 65 a více

Nejvyšší dosažené vzdělání:

- Základní
- Vyučen v oboru
- Střední odborné
- Střední s maturitou
- Vyšší odborné
- Vysokoškolské
- Vysokoškolské + vyšší kvalifikace

V další části se zaměřím na otázky týkající se nanorobota a zájmu o jeho využití.

Měli byste v budoucnu zájem o koupi a využívání nanorobota, i když byste netrpěli žádnou z chorob, za účelem posílení imunity a stanovení včasné diagnózy při výskytu některé z uvedených chorob?

- Určitě ne
- Spíše ne
- Nevím
- Spíše ano
- Určitě ano

Pokud byste se ocitli v situaci, že byste některou z chorob trpěli a běžné léčebné prostředky by selhaly, dovedla by vás tato situace ke koupi nanorobota?

- Určitě ne
- Spíše ne
- Nevím
- Spíše ano
- Určitě ano

Jelikož je pravděpodobné, že technologie nebude hrazena ze zdravotního pojištění, jak velkou částku byste byli ochotni zaplatit v případě, že byste se rozhodli nanorobota zakoupit?

- v řádu deseti tisíců
- v řádu statisíců
- v řádu milionů
- jakoukoliv částku, zdraví a život jsou nevyčíslitelné hodnoty

Děkuji Vám za Váš čas!