

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
FARMACEUTICKÁ FAKULTA V HRADCI KRÁLOVÉ
Katedra biologických a lékařských věd

Bioetika I
Nanotechnologie v biomedicínských oborech

(diplomová práce)

Vedoucí diplomové práce

PhDr. Zdeňka Kudláčková, Ph.D.

Hradec Králové 2011

Olga Váchová

Tímto bych chtěla poděkovat PhDr. Zdeňce Kudláčkové, Ph.D., za pomoc při vytváření této diplomové práce, ochotu a čas, který věnovala jejím opravám a konzultacím.

Prohlašuji, že tato diplomová práce je mým původním autorským dílem a veškeré myšlenky, data a jejich zdroje, z nichž jsem pro její zpracování čerpala, řádně cituji. Práce nebyla použita k získání jiného nebo stejného titulu.

datum

podpis

Obsah

<u>Abstrakt.....</u>	<u>8</u>
<u>Abstract.....</u>	<u>9</u>
<u>Seznam skratek.....</u>	<u>10</u>
<u>1 Úvod a zadání práce.....</u>	<u>12</u>
<u>2 Etika.....</u>	<u>13</u>
<u>2.1 Etika a morálka.....</u>	<u>13</u>
2.1.1 Etymologický význam	13
2.1.2 Odlišná pojetí etiky a morálky.....	14
2.1.3 Morální jednání.....	14
2.1.4 Svědomí.....	14
2.1.5 Mravní zákon.....	15
2.1.6 Dobro.....	16
2.1.7 Zlo.....	17
2.1.8 Ctnost.....	17
<u>2.2 Rozdělení etiky.....</u>	<u>18</u>
2.2.1 Přístupy k univerzálně platným principům.....	18
2.2.2 Pojetí etické problematiky.....	19
2.2.3 Etika individuální a sociální.....	19
2.2.4 Etika autonomní a heteronomní.....	20
<u>2.3 Přehled etických teorií.....</u>	<u>20</u>
2.3.1 Východiska etiky v Indii.....	21
2.3.2 Východiska etiky v Číně.....	22
2.3.3 Etické teorie Řecka a Říma.....	23
2.3.4 Etika v islámu.....	25
2.3.5 Etické teorie středověku.....	25
2.3.6 Etické teorie v renesanci.....	26
2.3.7 Etické teorie novověku.....	27
2.3.8 Soudobé etické teorie.....	29
2.3.8.1 Scientistické směry.....	29
2.3.8.2 Antropologické směry.....	30
2.3.8.3 Systémové filosofie.....	33
<u>2.4 Bioetika.....</u>	<u>34</u>
2.4.1 Bioetické rozhodování.....	35
2.4.2 Základní bioetické principy.....	35
2.4.3 Bioetické principy v širším pojetí.....	36

2.4.4 Některé důležité aplikace bioetiky.....	40
<u>2.5 Enviromentální etika.....</u>	<u>41</u>
2.5.1 Nové pojetí odpovědnosti.....	41
2.5.2 Enviromentálně filosofické teorie.....	42
2.5.3 Ideologie problému prostředí.....	43
2.5.4 Trvale udržitelný rozvoj.....	44
<u>3 Nanotechnologie.....</u>	<u>46</u>
3.1 Historie.....	46
3.2 Současné názory na nanotechnologie.....	48
3.2.1 Nanotechnologie jako radikální změna.....	48
3.2.2 Nanotechnologie jako pozvolná evoluce.....	48
3.2.3 Komentátoři a kritici nanotechnologie.....	48
3.2.4 Zastánci nanotechnologie.....	49
3.3 Oblasti využití nanotechnologií.....	49
3.3.1 Nanoproceny a metrologie.....	49
3.3.2 Materiálové a chemické inženýrství.....	49
3.3.3 Nanoelektronika a nanomechatronika.....	50
3.3.4 Bionanotechnologie a biomedicína.....	50
3.3.5 Energetika a oblast životního prostředí.....	50
3.4 Komerční využití nanomateriálů.....	50
3.4.1 První generace produktů nanotechnologií.....	51
3.4.2 Druhá generace produktů nanotechnologií.....	51
3.4.3 Třetí generace produktů nanotechnologií.....	52
3.4.4 Čtvrtá generace produktů nanotechnologií.....	52
3.5 Metody metrologie nanostruktur.....	52
3.6 Typy nanoobjektů.....	54
3.6.1 0 dimenzionální nanoobjekty (nanočástice).....	54
3.6.2 1 dimenzionální nanoobjekty (nanovlákná).....	54
3.6.3 2 dimenzionální nanoobjekty (nanodesky).....	55
3.7 Nanomateriály a jejich použití.....	55
3.7.1 Nanočástice stříbra.....	55
3.7.2 Nanočástice zlata.....	56
3.7.3 Nanočástice platiny.....	57
3.7.4 Další kovové nanočástice.....	57
3.7.5 Diamanty.....	58
3.7.6 Fullereny.....	58

3.7.7 Uhlíkové nanotuby.....	59
3.7.8 Kompozitní nanotuby a obdobné materiály.....	61
3.7.9 Nanomateriály oxidu titaničitého.....	61
3.7.10 Nanomateriály oxidu zinečnatého.....	62
3.7.11 Nanomateriály oxidu hlinitého.....	63
3.7.12 Nanomateriály oxidu železitého.....	63
3.7.13 Nanomateriály oxidu křemičitého.....	64
3.7.14 Magnetické nanočástice.....	64
3.7.15 Anorganické a organické materiály využívané v nanofotonice.....	64
3.7.16 Další anorganické nanomateriály.....	65
3.7.17 Nanovlákná.....	66
3.8 Bionanotechnologie.....	66
3.8.1 DNA nanotechnologie.....	67
3.8.2 RNA nanotechnologie.....	68
3.8.3 Peptidy a proteiny v nanotechnologiích.....	69
3.8.4 Hydrogely.....	69
3.8.5 Nanovláknenné tkaniny.....	70
3.8.6 Nanobiosenzory.....	71
3.8.7 Nanosoubory.....	71
3.8.8 Diagnostika a zobrazování.....	72
3.8.9 Léčiva.....	73
3.8.10 Léčba rakoviny.....	75
3.8.11 Tkáňové inženýrství.....	77
3.8.12 Stomatologie.....	77
3.8.13 Využití nanorobotů v biotechnologiích.....	77
4 Etické aspekty nanotechnologií.....	79
4.1 Hodnocení a měření rizikovosti nanočástic.....	79
4.2 Průchod nanočástic do organismů.....	80
4.2.1 Průchod nanočástic dýchacím systémem.....	80
4.2.2 Průchod nanočástic kůží.....	81
4.2.3 Průchod nanočástic přes trávicí trakt.....	81
4.3 Biodegradabilita nanočástic a možná poškození nanočásticemi in vitro a in vivo ..	82
4.4 Vliv nanočástic na životní prostředí.....	83
4.4.1 Působení na živé organismy ..	83
4.4.2 Recyklace nanomateriálů.....	84
4.5 Vliv nanotechnologií na rovnost lidí a národů.....	84

<u>4.6 Soukromí a bezpečnost v souvislosti s nanotechnologiemi.....</u>	<u>85</u>
<u>4.7 Možnosti zneužití nanotechnologií.....</u>	<u>85</u>
<u>4.8 Etické aspekty nanorobotů.....</u>	<u>86</u>
<u>5 Sociální aspekty nanotechnologií.....</u>	<u>87</u>
<u>6 Regulace a legislativa týkající se nanotechnologií.....</u>	<u>88</u>
<u>6.1 Přehled významných konferencí a workshopů.....</u>	<u>88</u>
<u>6.2 Regulace nanotechnologií.....</u>	<u>90</u>
<u>7 Diskuse.....</u>	<u>92</u>
<u>8 Závěr.....</u>	<u>95</u>
<u>9 Seznam použité literatury.....</u>	<u>96</u>

ABSTRAKT

Univerzita Karlova v Praze

Farmaceutická fakulta v Hradci Králové

Katedra biologických a lékařských věd

Olga Váchová

Školitel: PhDr. Zdeňka Kudláčková, Ph.D.

Název diplomové práce: Bioetika I - Nanotechnologie v biomedicínských oborech

Cíl: Vytvořit základní přehled etických teorií a principů bioetiky. Zpracovat přehled využívaných a zkoumaných aplikací nanotechnologií, zejména jejich dopady na lidské zdraví a životní prostředí. Dále zmapovat současný stav regulace vývoje a praktického využití nanotechnologií.

Hlavní poznatky: Nanotechnologie jsou v současnosti jednou z nejrychleji se rozvíjejících technologií. Mnoho autorů v nich vidí významný předěl pro společnost, jakými byl v minulosti objev páry či elektroniky. Využití nanotechnologií může v budoucnosti výrazně rozšířit lidské možnosti v materiálovém inženýrství, elektrotechnice, optice a zejména v medicíně a farmacii. Můžeme si představit léčbu rakoviny bez nežádoucích účinků chemoterapie, citlivější vyšetřovací metody, odolné a biokompatibilní implantáty či nanoroboty monitorující biologické funkce lidského těla. Již dnes je komerčně využíváno mnoho produktů a výrobních materiálů založených na nanočásticích či nanotechnologiích. Navzdory stále širšímu uplatnění v denním životě, jakými je kosmetika či textilie s nanočásticemi, jsou některé související oblasti poměrně málo prozkoumané.

Jde zejména o opoždující se výzkum v oblasti etických a sociálních aspektů. Nejvýznamnější jsou studie týkající se zdravotních rizik nanočástic pro člověka, živé organismy a životní prostředí. V jednotlivých studiích již byla prokázána schopnost nanočástic pronikat do lidského organismu dýchacími cestami, negativně působit na živé organismy a kumulovat se v některých orgánech. Také byl potvrzen negativní vliv nanočástic na organismy žijící v půdních a vodních ekosystémech. Tyto studie však nejsou dostatečně dlouhodobé, početné a srovnatelné. Na jejich standardizaci se teprve pracuje.

Závěry: Praktické využití nanotechnologií slibuje významné rozšíření lidských možností. Jde bezesporu o obor, který je třeba nadále zkoumat, což dokazují výzkumné projekty všech vyspělých zemí světa. Zároveň je však nutné věnovat velkou pozornost etickým a sociálním aspektům tohoto oboru. Dříve než bude využívání nanotechnologií běžnou součástí našich životů, měli bychom si být jisti všemi zdravotními a enviromentálními důsledky, které s sebou nesou. To jsou důvody, proč v současnosti probíhá v rámci Evropské unie proces standardizace výzkumu rizik nanotechnologií. Velkou výzvou je také mapování možných sociálních dopadů a s tím související regulace či omezení týkající se nanotechnologií. Minimálně proto, že nanotechnologie mohou způsobit výraznou změnu společnosti a vzhledem k mezioborovosti nanotechnologií nelze všechny dopady předpokládat.

ABSTRACT

Charles University in Prague

Faculty of Pharmacy in Hradec Králové

Department of biological and biomedical sciences

Olga Váchová

Supervisor: PhDr. Zdeňka Kudláčková, Ph.D.

Title of diploma tehesis: Bioethics I - Nanotechnology in the biomedicine

Background: Create basic summary of ethical theories and bioethics principles. Compile summary of used and investigated nanotechnology applications - particularly their influence on human health and living environment. Furthermore, chart contemporary research and practical nanotechnology use regulation state.

Main findings: Nanotechnology is presently one of the fastest developing technologies. Many authors think, that it is a significant breakthrough for society, similar to discovery of steam or electronics in recent history. Usage of nanotechnology is able to considerably extend society potential in material engineering, electronics, optics and particularly in medicine and pharmacy. We can imagine treatment of cancer without side effects of chemotherapy, more sensitive examination methods, durable a biocompatible implants or nanobots monitoring biology functions of human body. Many products and production materials based on nanoparticles or nanotechnology have been commercially exploited until today. Despite of wider and wider applications in daily life, like cosmetics or textile with silver nanoparticles, some related areas are relatively little explored.

It is mainly lagging research in fields of ethics and social aspects. The most significant are studies that concern nanoparticles health hazards on human, live organisms and living environment. In separated studies was already proved ability of nanoparticles to penetrate into human organism via airways, negatively influence living organisms and accumulate in some organs. The negative influence of nanoparticles on organisms living in soil and water ecosystems was confirmed too. Meant studies however, are not sufficiently long-lasting, numerous and comparable. Their standardization is still in progress.

Conclusions: Practical usage of nanotechnologies promises considerable extension of society potential. It is sure a branch of knowledge which needs to be kept investigated, as it is demonstrated by research projects of all developed countries. At the same time it is necessary to devote attention to ethical and social aspects of this field of study. Sooner than the usage of nanotechnologies became common part of our lives, we should be certain of all health and environmental consequences brought. These are the reasons why these days the standardization of nanotechnology risks in European Onion is in progress. Big challenge is also mapping of possible social impacts and related regulation or restrictions concerning nanotechnologies. At least for that nanotechnologies are able to cause considerable change of society and due to interdisciplinarity of nanotechnologies all impacts cannot be anticipated.

SEZNAM SKRATEK

AFM	Mikroskop atomových sil (<i>Atomic Force Microscope</i>)
AIDS	Syndrom získaného selhání imunity (<i>Acquired Immune Deficiency Syndrome</i>)
ATP	Adenosintrifosfát
ATPasa	Adenosintrifosfát syntasa
BSE	Bovinní spongiformní encefalopatie (<i>Bovine spongiform encephalopathy</i>)
CAS	<i>Chemical Abstracts Service</i>
CBEN	<i>Centrer for Biological and Enviromental nanotechnology</i>
CNT	Uhlíkové nanotuby (<i>Carbon NanoTube</i>)
CNT-FED	Obrazovky na principu polní emise vytvoření z uhlíkových nanotub (<i>Field Emission Display from Carbon Nanotubes</i>)
CVD	Tepelně řízená chemická depozice z plynné fáze (<i>Chemical Vapour Deposition</i>)
DDT	ichlordifenyltrichlormethylmethan
Defra	<i>Depratment of Enviroment Food and Rural Affairs</i> (UK)
DGHC	<i>Directorate - General for Health and Consumers</i> (EU)
DLC	Diamantu podobný uhlík (<i>Diamond Like Carbon</i>)
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
DWNT	Dvouvrstvé nanotuby (<i>Double Wall NnoTube</i>)
EBCVD	Elektronově asistovaná chemická depozice (<i>Electron-Beam Chemical Vapor Deposition</i>)
EBM	Obrábění paprskem elektronů (<i>Electron-Beam Machining</i>)
EFSA	Evropský úřad pro bezpečnost potravin (<i>European Food Safety Authority</i> (EU))
ECHA	Evropská agentura pro chemické látky (<i>European Cemical Agency</i> (EU))
ELISA	Biochemická metoda detekující zejména protilátky či antigeny ve vzorku (<i>Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay</i>)
EMA (EMA)	Evropská agentura pro léčivé přípravky (<i>European Medicines Agency</i> (EU))
EPA	Agentrua pro ochranu životního prostředí (<i>Enviromental Protection Agency</i> (USA))
ESRC	Evropská rada pro systémová rizika (<i>Economic and Social Research Council</i> UK)
ET	Elektronová tomografie (<i>Electron Tomography</i>)
FDA	<i>Food and Drug Administration</i> (USA)
FET	Tranzistory řízené elektrickým polem (<i>Field Effect Transistors</i>)
FIB	Mikroskop využívající fokusový iontový svazek (<i>Focused Ion Beam Microscope</i>)
FIM	Iontový autoemisní mikroskop (<i>Field Ion Microscope</i>)
HRTEM	Elektronový transmisní mikroskop s vysokým rozlišením (<i>High Resolution Transmission Electron Microcop</i>)
IBCVD	Iontově asistovaná chemická depozice (<i>Ion-Beam Chemical Vapor Deposition</i>)
IBM	Obrábění iontovým paprskem (<i>Ion-Beam Machining</i>)

ISO	Mezinárodní organizace pro standardizaci (<i>International Organization of Standardization</i>)
LED dioda	Dioda emitující světlo (<i>Light Emitting Diode</i>)
MEMS	Mikroelektromechanické systémy
MRAM	Magneto-odporová paměť
MWNT	Vícevrstvé nanotuby (<i>Multi Wall NanoTube</i>)
NASA	Národní ústav pro letectví a kosmonautiku (<i>National Aeronautics and Space Administration</i>)
NCNST	<i>National Center for Nanoscience and Technology</i> (Čína)
NEMS	Nanoelektromechanické systémy
NTNFET	Mikrosoubor polem řízených tranzistorů s jedностěnnými uhlíkovými nanotrubicemi (<i>Carbon Nanotube Network Field-effect Transistors</i>)
OECD	Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (<i>Organization of Economic Cooperation & Development</i>)
OSN	Organizace spojených národů
PEG	Polyethylenglykol
PLA	Poly(D, L-laktid)
pRNA	Komplex šesti identických krátkých sekvencí RNA, slouží ke sbalování DNA v motoru bakteriálního viru phi29 (<i>packing RNA</i>)
PSD	Polohově citlivý detektor (<i>Position Sensitive Detector</i>)
RAND	Americký národní ústav pro výzkum obrany
RES	Retikulo-endoteliální systém
RNA	Ribonukleová kyselina
SEM	Rastrovací elektronový mikroskop (<i>Scanning Electron Microscope</i>)
SNP	Polymorfismus jednoho nukleotidu (<i>Single Nucleotide Polymorphisms</i>)
siRNA	Dvouvláknová molekula RNA s 20-25 nukleotidy (<i>small interfering RNA</i>)
STM	Skenovací tunelový mikroskop (<i>Scanning Tunneling Microscope</i>)
SWNT	Jednovrstvé nanotuby (<i>Single Wall NanoTube</i>)
TAP-FIM	Tomografická atomová sonda (<i>Tomographic Atom Probe Field Ion Microscope</i>)
TDD	Cílená doprava léčiv (<i>Targeted Drug Delivery</i>)
TEM	Transmisní elektronový mikroskop (<i>Transmission Electron Microscope</i>)
TMR	Tranzistory na principu tunelového magnetorezistenčního jevu (<i>Tunneling magnetoresistance</i>)
TNT	Trinitrotoluen
WCED	Světová komise pro životní prostředí a rozvoj (<i>World Commission on Environment and Development</i>)

1 ÚVOD A ZADÁNÍ PRÁCE

V současném světě dochází k mnoha dilematům a nutnosti činit nejjednodušší rozhodnutí ve vědě a technice. Tato situace je stále výraznější zejména v biologických, lékařských a farmaceutických oborech. Přes jejich stále diskutovanější odlidštění a mechanizaci se jeví důležité rozhodovat se nejen na základě faktů a prospěšnosti pro člověka a společnost, ale i z hlediska etiky, zejména však bioetiky. Je to poměrně nelehká záležitost, neboť většina etických pravidel vznikala v době, kdy technika neposkytovala zdaleka tolik možností, jako máme dnes. V důsledku rozšiřování lidských možností se stále častěji objevují etické otázky, před jejichž řešením dosud nebylo lidstvo postaveno. Etické chování a rozhodování je jednou z největších výzev společnosti, a měli bychom mu věnovat pozornost jak na úrovni výzkumu a společensky významných rozhodnutí, tak ve svém soukromém životě.

Nanotechnologie jsou v současnosti jeden z nejbouřlivěji se rozvíjejících vědních oborů, který může výrazně změnit tvář naší společnosti v budoucích desetiletích. Zároveň kolem této problematiky vzniká velmi rozsáhlá diskuse, týkající se zdravotní nezávadnosti produktů nanotechnologií jak pro člověka, tak i pro životní prostředí, a bezpečnosti výzkumu vůbec. Její součástí jsou mnohé výroky ve prospěch produktů nanotechnologií, ale také striktní odmítnutí a vykreslení katastrofických scénářů v situacích, kde by se mohly nově vznikající metody vymknout kontrole. Problematika je značně rozsáhlá, neboť i aplikace nanotechnologií je mezioborová.

Cílem této práce bylo se seznámit s širokou problematikou etiky jako takové a následně s principy bioetiky. V oblasti nanotechnologií přehledně zpracovat současně využívané a zkoumané aplikace a teorie a vědecké studie, týkající se dopadů na lidské zdraví a životní prostředí. Dalším cílem bylo uvést přehled regulace a závazných omezení (ať již ve formě zákonů, doporučení či úmluv) vývoje a využití nanotechnologií v praxi.

2 ETIKA

Etika je součástí praktické filosofie. Zabývá se hledáním toho, co je správné a dobré a jak nejlépe žít. Úkolem etiky je zkoumat podstatu lidských činností, hledat fakta, hodnoty a argumenty, na kterých jsou postaveny. Někdy bývá označována jako teorie morálky.

Jako filosofickou disciplínu definoval etiku Aristoteles ve svém díle Etika Nikomachova. Rozdělil lidské činnosti na tři celky:

- činnost teoretickou (poznání)
- činnost tvořivou (dělání, zhotovování)
- činnost praktickou (jednání) = etika

Na rozdíl od činnosti tvořivé, kde je cílem výsledek a nikoli činnost, je etika hodnotná sama o sobě.

V nejstarším pojetí je etika studiem lidského chování. Otázky týkající se toho, co lidé „mají“ dělat, proto vedou k základním otázkám o povaze a účelu lidského života. Je třeba si uvědomit, že různá pojetí života, ať už se rodí ve filozofii nebo v náboženství, mají vliv na lidské chování, a tedy i na etiku. Stejně tak se do etiky také promítá sociální a politická kultura období a prostředí, ve kterém vzniká. (Šil 2008, Thompson 2004)

2.1 Etika a morálka

2.1.1 Etymologický význam

Etika je odvozena od řeckého slova *ethos*, jež má několik významů:

- bydliště, obydlí, byt nebo vlast (zpravidla užíváno v plurálu)
- zvyklosti, životní způsob člověka, obyčej, mravy, obvyklé chování člověka
- mravní vědomí, smýšlení, přesvědčení, jednání, mravnost, morálku i charakter

Různé významy slova *ethos* jsou spjaty s různými vývojovými etapami života lidské společnosti. Původní význam vyplývá ze vztahu mezi lidmi žijícími společně na stejném místě. Morální akcent dává slovu *ethos* moment zvyku, významu a uspořádání, kterými se řídilo společné bydlení a soužití lidí v určité skupině. Mravní principy, *ethos* či morálka, se na počátku lidských dějin koncentrují převážně na zvyky. Jsou to prakticky potřebné a účinné normy chování, které respektují spíše objektivní potřeby životního procesu uvnitř společenství. Subjektivní mravní vědomí a vnitřně prožívané potřeby jedince se utváří a dotváří pod vlivem rozvíjejícího se filosofického zkoumání a racionálního zasahování do přírodní i společenské skutečnosti výchovou.

Morálka je odvozena z latinského termínu *mos*, jež také znamená zvyk, obyčej či charakter. Z etymologického hlediska jsou tedy etika a morálka synonyma. (Adamová 1998, Semrádová 2009)

2.1.2 Odlišná pojetí etiky a morálky

Navzdory shodě etymologických základů není vnímání pojmů etika a morálka jednotné. Nejčastěji je etika charakterizována jako vědní disciplína, část praktické filosofie, která se zabývá morálními jevy.

V tomto pojetí je morálka proměnlivý, historicky a kulturně podmíněný souhrn hodnotících soudů, zvyků, názorů, ideálů a pravidel, institucí a norem, jimiž se lidé v určitém ohledu řídí ve svém praktickém mravním jednání. Tohoto výkladu se budeme držet v rámci této práce.

V praktické filosofii se ale můžeme setkat i s odlišnými výklady těchto pojmů, neboť nejsou definovány vždy jednotně. Etika může být hodnocena také jako soubor norem chování přijatých danou společností či skupinou, zatímco morálka odkazuje na rozhodnutí vycházející z hodnot, které jsou společnosti vštípeny zvenčí, zejména prostřednictvím náboženských či filozofických přesvědčení.

Je třeba si uvědomit, že každá teorie či pojetí etiky ze své podstaty definuje význam základních pojmů tak, jak je sama používá, a proto dávají význam v kontextu teorie či celkového pojetí života. (Adamová 1998, Semrádová 2007, Šil 2008, Thompson 2004)

2.1.3 Morální jednání

Ačkoli se mohou odlišovat vymezením pojmu, nelze od sebe morálku a etiku oddělit. Jakmile přičteme jednání morální význam, stává se předmětem etické diskuse. Morální jednání je výsledkem svobodné volby, je ho tedy možné ospravedlnit, ocenit či přičíst mu vinu.

Nevědomé jednání nebo takové jednání, ve kterém nemá dotyčný svobodnou volbu, nelze obecně považovat za morálně významné. Omezení svobodného jednání mohou být dvojího charakteru. Situační překážky se vztahují pouze na určitou situaci. Patří mezi ně nevědomost (zaviněná i nezaviněná), vášně, násilí (morální nebo fyzické) a strach. Trvajících překážky mají stálý vliv na svobodu rozhodování a nejčastěji jde o duševní poruchy či nemoci.

Morální jednání tedy znamená přizpůsobení se svým chováním souboru etických norem, lhostejno zda jsou to normy osobní, náboženské, či sdílené sociální či profesní skupinou. Nemorální je naopak tyto všeobecně uznávané normy nedodržovat.

Existuje ještě termín ne-morální jednání. Jde o čin vykonaný bez ohledu na morální cítění či hodnoty, které by mohly vést k zaujetí morálního stanoviska. Ačkoli může být čin ne-morální, ostatní lidé ho mohou vnímat (hodnotí-li jej nezávisle na situaci člověka, jenž ho vykonal) jako morální či nemorální v závislosti na vlastním etickém cítění. (Šil 2008, Thompson 2004)

2.1.4 Svědomí

Na rozdíl od práva souvisí morálka s vnitřní povinností a není možné ji vymáhat. Závisí tudíž na vnitřní sankci - zda je čin morálně správný či ne hodnotíme na základě vlastního svědomí. Je tu ovšem riziko, že naše morální hodnoty se nebudou shodovat se zvyky a názory společnosti.

Svědomy definuje již Aristoteles. Podle něj jde o praktický úsudek, kterým člověk poznává, zda konkrétní jednání, které zamýšlí vykonat nebo právě uskutečňuje nebo už provedl, je mravně dobré nebo špatné.

V nejobecnějším smyslu jde o reakci jedince na mravní principy a normy chování v sociální skupině, jejímž je členem. V užším slova smyslu může jít o osobní přesvědčení, nezpochybitelné přijetí určitých morálních norem, na základě kterých je posuzováno zejména vlastní chování. Zahrnuje tři součásti:

1. poznávací procesy (poznání původu a významu norem, jimiž se řídím)
2. hodnotící momenty (schopnost posoudit vlastní činy a záměry, zamezit zakázanými či mravně zavrhaným formám jednání)
3. emocionální komponenty (vědomí povinnosti, viny, lítosti, snaha o nápravu, pokání apod.)

Antičtí filosofové nazývali svědomím pojmem *syneidesis* (řecky *sin oida* tzn. společně vidět, rozumět), vyjadřující lidskou schopnost posoudit jednání z více pohledů, z nichž nejdůležitějším byl ten náboženský. Platon, Seneca a nejen oni zmiňovali něco božského v nás. Také v židovské a křesťanské tradici je svědomí ozvěnou božského hlasu. Avšak teprve od 16. století je svědomí samostatnou etickou kategorií a získává více pozornosti.

Osvícenská víra v dobrého člověka vnímá svědomí jako schopnost člověka neomylně směřovat k mravnosti (Jean Jacques Rousseau). Kant chápal svědomí jako součást praktického rozumu, který utváří apriorní mravní nároky.

Na utváření svědomí se podílí mnoho vlivů. Zdá se, že podstatný vliv má prostředí, ve kterém žijeme a vyrůstáme - společenské vztahy, pravidla a řád skupiny, komunity i společnosti. Tímto způsobem se svědomí dotváří celý život. Dnes se poukazuje i na význam řeči, schopnosti o svých názorech, pochybnostech či problémech hovořit s druhými. Tímto způsobem si ujasňujeme, co skutečně chceme, a ostatní nám mohou pomoci vidět, co sami nevnímáme a naopak.

Můžeme rozlišit svědomí předcházející a následné. Záleží na tom, zda mravní úsudek předchází jednání nebo vznikl až po něm. Svědomí je však vždy záležitostí jednotlivce, neurčuje jednání někoho dalšího. Můžeme druhému poradit, ale rozhodnutí je vždy na něm, protože svědomí se může vztahovat pouze na naše vlastní činy. (Adamová 1998, Šil 2008)

2.1.5 Mravní zákon

Na otázku, zda existují nějaké všeobecně platné principy, odpovídala po staletí klasická náboženství. S nástupem kultu rozumu a odklonu od víry zmizela i jistota takovýchto principů a místo ní nastoupily nejrůznější ideologie či nihilistická prázdnota. Teprve po druhé světové válce se etika začala znovu věnovat tradičním pojmům a nově je interpretovat.

Jednou z těchto interpretací je mravní zákon, který se vrací k Aristotelovým myšlenkám. Jde o obecné a neměnné normy, které vychází z lidské přirozenosti. Jsou to závazné mravní zásady

společné všem lidem. Jeho nejobecnějšími formulacemi jsou výzvy: „Čiň dobro a varuj se zla!“, „Jednej podle svědomí!“ či „Jednej s ostatními jako sobě rovnými.“ Požadavky tohoto zákona lze nalézt v mnoha nových i starých etických teoriích, jakými je například Desatero, deset buddhistických ctností, zlaté pravidlo: „Co chceš, aby ti činili druzí, čiň ty jim.“, Kantův kategorický imperativ či lidská práva a svobody. Můžeme v nich najít společné principy úcty k člověku a uznání lidské důstojnosti, respektu k autonomii a svobodě druhého, principu spravedlnosti (všichni jsou si rovni a mají stejná práva) a principu ekologické odpovědnosti za Zemi a budoucnost. Z přirozeného zákona vyplývá odklon od egoismu a příklon k etice „toho druhého“. (Adamová 1998, Semrádová 2009)

2.1.6 Dobro

Etické chování je takové, které se snaží dosáhnout dobra. Dobro samo o sobě je však obtížné jednoznačně definovat a jednotliví filosofové ho vnímali různě. Jako sloučení míry, krásy a pravdy (Platon), blaženost *eudamoniá* (Sokrates, Aristoteles), život ve shodě s vesmírnou zákonitostí (stoici), slast, rozkoš či cokoli se nám líbí a přáli bychom si to (epikurejci, Locke, Lewise), dobrou vůli jednat z povinnosti a respektu k mravním zákonům (Kant), mravnost (Hegel), způsob života, který vede k *mórkse* (upanišady), součet čtyř ctností: lidskosti, správnosti, zdvořilosti a vědění (Mencius) nebo jako součet existence, vědomí a blaženosti (Grof). Někteří filosofové od dobra oddělili ještě mravní dobro, které viděli ve sjednocení se se zákony a konání povinnosti (Locke, Kant). V morální oblasti může jít také o shodu konání se svědomím a s přirozeným a mravním řádem. G. E. Moore dokonce došel k závěru, že dobro (stejně jako např. barvy) nelze definovat, ačkoli je každý rozezná, a proto k němu směřujeme intuitivně.

Stejně tak se liší pojetí toho, co je dobré (či kdo je dobrý). Aristoteles hodnotil věci z hlediska schopnosti splnit účel, k němuž jsou stvořeny. To vedlo filosofy k pátrání po účelu a smyslu života člověka a spojení etiky s přirozeným zákonem. Křesťané hodnotí jako dobré vše, co požaduje Bůh. To vyvolává otázku, zda je dobro dobrem proto, že si tak přeje Bůh, či je nezávislou hodnotou, kterou Bůh svou činností pouze uskutečňuje. V současném křesťanství převládla druhá varianta. To činí z dobra vyšší hodnotu, kterou je vázán i Bůh či v antice bohové. (Adamová 1998, Grof 1998, Šil 2008, Šiler 2007, Thompson 2004)

2.1.7 Zlo

Původ zla řeší jednotlivé kultury různě. Dle antické mytologie pochází z Pandořiny skříňky, nemohou tedy za něj bohové, ale lidé svou nevědomostí a zaslepeností. Ke stejnému závěru, že zlo ve světě je spojeno s lidskou svobodnou vůlí a volbou hřešit, došlo křesťanství. Sokrates vidí původ zla v lidské neznalosti. Rousseau, podle něhož je člověk přirozeně dobrý, viní z narůstání zla civilizaci a ztrátu individuality člověka. Odplatu za zlo řeší mnohé filosofie vírou v další životy, v nichž se odráží naše předchozí chování. Křesťané se ze svých činů zodpovídají u posledního soudu, na myšlenku reinkarnace v rámci tohoto náboženství byla v roce 553 n. l. uvalena klatba.

Také zlo samotné je vnímáno odlišnými způsoby. Je to cokoli, co se nám nelíbí, nepřejeme si to, způsobuje nám bolest či bolest samotná (Locke, Lewis), cokoli nám brání dosažení dobra (upanišady, křesťanství), součást naší osobnosti, se kterou se musíme naučit pracovat a žít (Freud, Jung) či odmítnutí zákonů (mravní zlo podle Locka). Grof vnímá zlo jako rozdělující sílu založenou na falešném vnímání skutečnosti, zejména ve víře vnímajících bytostí v oddělené individuální ego. Zlo vyjadřuje popřením tří definujících rozměrů dobra:

- omezenou existencí, koncem existence či neexistencí
- nevědomostí a neporozuměním
- souhrnem nepříjemných emocí a prožitků, bolesti, úzkosti, deprese, pocitu viny apod.

Z filosofického hlediska lze rozlišit zlo metafyzické (sama podstata zla), fyzické (katastrofy, nemoci) a zlo mravní (páchané vědomě a svobodně člověkem).

V rovině metafyzické se evropské filosofie shodnou na tom, že zlo jako podstata vlastně neexistuje. To, co vnímáme jako zlo, je pouze nedostatek dobra či dobro upnuté nesprávným směrem. Orientální filosofie, ale také Zarathuštra či křesťanství, hovoří o dobru a zlu jako dvou rovnocenných podstatách, které vedou neustálý zápas. S tím souhlasí i Stanislav Grof s tím, že oba tyto protiklady jsou součástí jednoho tvůrčího principu.

S dvojitým pojetím dobra a zla se setkáváme již ve středověkém textu Dvojí řeči (*Dissoi logoi*). První jasně odděluje dobro od zla a druhé je považuje za totožné, neboť totéž může být pro někoho dobrem a pro jiného zlem. Stejně tak zpravidla negativně vnímaná bolest je signálem nemoci a může nás včas dovést k návštěvě lékaře. Zároveň je naše vnímání ovlivněno našimi (často neúplnými) znalostmi a s jejich rozšiřováním se může měnit - jako v případě nadějného insekticidu DDT. (Adamová 1998, Grof 1998, Šil 2008, Šiler 2007, Thompson 2004)

2.1.8 Ctnost

S pojmy dobra a zla souvisí také ctnost. I vnímání ctnosti se u jednotlivých filosofů liší. Čínský filosof Mencius zdůrazňuje, že dobro se projevuje čtyřmi ctnostmi (lidskostí, správností, zdvořilostí a věděním). Platon spatřuje podstatu ctnosti v životě podle nejvyšší ideje dobra, v souladu s tím, co se dělat má. Aristoteles vidí ctnost v rozumném životě a uspořádaném životě

společenském, kde člověk nachází své naplnění a štěstí. Je pro něj, stejně jako pro epikurejce, cestou k blaženosti, cíli lidského života. Pro stoiky je ctnost totožná s blažeností a spočívá v souladu lidského života s přirozeným řádem a během a vnitřním klidem. Toho lze dosáhnout pouze skrze svobodu od vášní (*apatheia*).

V helénistickém období byla překážka života a mravnosti spatřována ve hmotě a tělesnosti. K ctnostnému životu bylo třeba se tohoto omezení zbavit a žít pouze duchovním životem. Tyto myšlenky dále částečně rozvíjel novoplatonismus a některé skupiny židovství a křesťanství.

V průběhu dějin se objevila různá dělení ctností. Aristoteles rozlišuje ctnosti rozumové (dianoetické) a mravní (etické), Tomáš Akvinský ctnosti občanské, očištné a vedoucí k dokonalosti. Přesto se v antické filosofii ustálily čtyři základní ctnosti:

1. rozumnosti (*prudentia*)
2. statečnosti (*fortitudo*)
3. uměřenost/střídmost (*temperantia*)
4. spravedlnosti (*iustitia*)

K těm později Akvinský přidal a zároveň jim nadřadil ctnosti teologické (člověku vnuknuté Bohem) - víru, naději a lásku. Protikladem ctností se stalo sedm neřestí, také nazývaných sedmi smrtelnými hříchy: pýcha, lakota, chtíč, závist, nenasytlost, hněv a lenost. Jde o chybné návyky, které mají morálně špatné důsledky.

V Číně člověk naplňuje řád světa lidskostí a čtyřmi ctnostmi *te*: zdvořilostí, přesností, blahovolností a spravedlivostí. (Adamová 1998, Šil 2008, Thompson 2004)

2.2 Rozdělení etiky

Z mnoha hledisek, podle nichž můžeme etiku rozčlenit, uvádíme přístup k univerzálně platným principům, čtyři odlišená pole působení etiky, cíle, které jednotlivé etické teorie sledují a původ hodnot, jimiž se při posuzování jednání řídí.

2.2.1 Přístupy k univerzálně platným principům

Nekognitivní přístup k etice samotné popírá objektivitu morálního jazyka. Považuje jej za skrytou formu vyjádření vlastních pocitů a doporučení vývoje situace. Nejde zde o hodnoty, principy, hledání objektivního způsobu rozlišení správného či nesprávného. Jde pouze o osobní přání. V tomto pojetí nemá etika význam.

Relativistický přístup nahlíží na všechny situace jako zcela odlišné a originální, tudíž je třeba v každé z nich jednat podle jedinečného nastavení okolností. Za této situace nemá jakékoli zobecňování smysl. Není důvod formulovat mravní pravidla, neboť rozhodnutí se nevztahují k ničemu absolutnímu a budou se vždy odvíjet od konkrétních a neopakovatelných situací.

Absolutistický přístup se snaží vytvořit myšlenkový rámec, který nám umožní tvrdit, že něco je vždy správné a něco zase vždy nesprávné. Navzdory názvu z něj neplyne, že existují pevně

daná mravní pravidla, ale že se mravní chování vztahuje k principům, které jsou univerzálně použitelné.

Na tom staví etické argumentace považující za rozhodující mravní principy (ať již poznatelných pouze čistým rozumem - racionalistická etika - nebo uložených Bohem - křesťanská a židovská etika), ctnosti a vlastnosti tvořící základ dobrého života a mravní postoje podporující jejich rozvoj (etika ctností), důsledky jednání (konsekvencialistická etika včetně utilitarismu) či smlouvu mezi lidmi, kteří spolu žijí v jedné společnosti (Hobbes).

Další z cest k absolutním principům, která zohledňuje množství různých (a často protichůdných) kulturních etických norem, je uznání práva každé společnosti rozhodnout o svých vlastních kritériích mravnosti. Pak je neetickým chováním vnucování hodnot jednoho člověka druhému. (Šiler 2007, Thompson 2004)

2.2.2 Pojetí etické problematiky

Deskriptivní etika je etikou popisnou, zaměřuje se na mravní rozhodnutí a hodnoty, které zastává konkrétní společnost. Může také objektivně popisovat důvody, které k dané činnosti vedly. Jejím základním rysem je konstatování bez snahy danou činnost hodnotit a zjišťovat, zda je či není správná. Deskriptivní etika utváří základnu, na které mohou stavět další oblasti etiky. Sama o sobě však nepodává dostatečné řešení etických otázek.

Normativní etika se zabývá zkoumáním norem, jimiž se lidé ve svém mravním rozhodování řídí. Zkoumá povinnosti (deontologické otázky) a hodnoty, které mravní rozhodnutí vyjadřují (axiologické otázky) a na základě kterých lidé odlišují správné od nesprávného.

Metaetika je diskuzí o jazyce, kterým o morálce hovoříme. Je reakcí na popření významu výroků o morálce a snaží se zjistit, co je konkrétními morálními výroky míněno. K jejímu rozvoji došlo zejména ve Velké Británii a Americe během dvacátého století

Aplikovaná etika je na rozdíl od výše uvedených praktická disciplína. Zabývá se konkrétními situacemi a využívá v nich obecné etické normy chování. Dále se člení podle oblastí lidské činnosti, v níž je využívána. Příkladem je bioetika, lékařská etika, žurnalistická etika nebo právní etika. Někteří autoři je označují jako etiky profesní. (Šil 2008, Thompson 2004)

2.2.3 Etika individuální a sociální

O individuální etiku se jedná, pokud motivací k jednání je blaho mne osobně či druhého člověka. Jde o individuálního cíl konkrétní osoby. Příkladem může být hédonistická etika, kde morální jednání je takové, které vede k dosaženížitku či slasti.

Sociální etika směřuje vždy k obecnému dobru. Jde o sociálně etický cíl, který je sám o sobě povinností, a lze ho definovat jako osobní dobro mnoha lidí, pokud o ně lze usilovat pouze společně užitými prostředky. Pojem obecné dobro (lat. *bonum commune*) poprvé vyslovil Aristoteles. Cílem sociálně etické spolupráce pro něj byla spravedlnost (lat. *dikaion*), která umožňuje všem členům společnosti dobře žít a dobře jednat. Sociální motivací je tedy úsilí

o sociální spravedlnost ve všech oblastech lidského soužití. Hlavními směry sociální etiky jsou liberalismus (Locke, Kant), socialismus (Rousseau, Marx) a katolická sociální nauka (Aristoteles, Akvinský). Jako základní hodnotu, vedoucí k obecnému dobru označovali svobodu, rovnost nebo člověka. (Semrádová 2009, Šil 2008)

2.2.4 Etika autonomní a heteronomní

Etiky autonomie spojuje názor, že mravní hodnota není dána zvnějšku, ale vychází z člověka samotného (řec. *autos nomos* - sám sebe určující). Veškeré hodnoty a normy vytváří člověk sám na základě svého přesvědčení, ale zároveň je za ně absolutně zodpovědný. Odlišují se pak tím, co je pro mravnost člověka určující.

Pro zastánce existencialismu (Jean Paul Sartre) to byla autenticita. Morální je pro ně jen to, co vychází z upřímného a svobodného přesvědčení.

Podle Kanta je rozhodující hodnotou praktický rozum, který formuje mravní zásady jak pro jednotlivce (*maximy*), tak i obecně platné mravní zákony. Jejich příkladem je kategorický imperativ: „Jednej tak, aby zásady tvého jednání se mohly stát principem všeobecného zákonodárství.“. Kategorický imperativ není třeba dokazovat, je dán sám sebou, hovoříme o mravním apriori. Mravní zákon se podle Kanta projevuje jako povinnost a ta musí být vždy ve shodě s morálně dobrým.

Naproti tomu heteronomní etika je charakteristická přijetím norem zvnějšku. Jejím hlavním zástupcem je židovská a křesťanská etika, kde je hlavní mravní autoritou Bůh a jím stanovené zákony jako je desatero či poselství Ježíše Nazaretského. Do této kategorie ale spadá také etika odpovědnosti (Buber, Levians), která vidí nejvyšší mravní hodnotu ve vztahu k „tomu druhému“, ať již jím je Bůh, tajemné bytí či konkrétní člověk, rodiče apod. Tento vztah je asymetrický, neboť neočekáváme opětování za svou pomoc, péči či pocit odpovědnosti za druhé. Podobná východiska sdílí i Hans Jonas, který upozorňuje na odpovědnost k přírodě a budoucím generacím.

Kromě těchto dvou protikladů existuje také teonomní morálka. Je na Bohu (či jiné vnější autoritě) nezávislá, ale zároveň vychází ze stejných základů. Příkladem může být přirozený zákon. Jako první jej formuloval Aristoteles a později využili i další filosofové. Mezi nimi i Tomáš Akvinský, pro něhož je přirozený zákon vyjádřením víry v Boha. (Adamová 1998, Semrádová 2007, Thompson 2004)

2.3 Přehled etických teorií

V historii, zejména té nejstarší, se etika velice často pojila k náboženství kulturním zvyklostem a nelze ji z nich jednoduše vydělit. Navíc mravní normy a jednání často určovaly náboženské povinnosti. V novověku dochází k odpoutání se od náboženství. Někteří filosofové hledají normy jinde, jiní propadají skepsi a odmítají jakékoli univerzálně platné principy. Postmoderní svět je výrazně pluralitní a to se projevuje i v pestrosti etických směrů a jejich teorií.

2.3.1 Východiska etiky v Indii

Základy etiky vychází ve staroindické společnosti z védské literatury vzniklé v období 1500-600 př. n. l. Jde o védy, bráhmany, áranjaky („lesní knihy“) a upanišady. Védy popisují univerzální kosmický řád *Rta* či *Drahma*. Upanišady jsou v podstatě komentářem k védským textům a bráhmany příručkou rituálů.

Hlavními principy tohoto směru jsou

- *sansára* - nauka o koloběhu životů a převtělování duší jednotlivců (*átman*)
- *karman* - bilance všech činů předcházejících životů
- *mókša* - vymanění se z koloběhu *sansáry*, splynutí *átmanu* s *brahma* - univerzálním principem a neosobním jsoucnem

Učení upanišad vede člověka k poznání sebe sama. Nezbytnou součástí tohoto procesu je zřeknutí se hmotných starostí, vášní a náklonností. Lhostejností ke světu může dosáhnout *mókši*, která je nejvyšším kritériem mravnosti. Vše, co vede k jejímu dosažení je dobrem. Cokoli připoutává člověka ke světským radostem a hmotným zájmům je vnímáno jako zlo.

Výše zmíněné principy jsou patrné ve většině indických etických teorií včetně džinismu a buddhismu, které neuznávají védy. Vedou k myšlenkám mírnosti, smíření a pokory. Tyto principy odmítá pouze škola *lókájáta* (škola čárvákovců), nevěří v Boha, nesmrtelnou duši ani v převtělování. Za základ vývoje světa pokládají vnitřní přirozenost jednotlivých věcí a jevů.

Džinismus založil v 6. stol. př. n. l. Mahavíra Vardhamána. Osobnost člověka rozdělil na hmotnou (*adžíva*) a nehmotnou (*dříva*), které jsou spojeny *karmanem*. Ten může být zhoubný (kladný) či nezhooubný (záporný) a existuje v osmi různých druzích. Základy etiky džinismu tvořily 3 zásady, zvané také drahokamy - *triratna*:

- dokonalé vnímání podmíněné pravou vírou
- dokonalé poznávání a z něj plynoucí vědění
- dokonalý život

Dodržováním těchto zásad lze dosáhnout *mókši*, která je cílem lidského života a můžeme jí dosáhnout pouze vlastním úsilím. V průběhu času se učení rozštěpilo na umírněnější (Švétambarové) a radikálnější (Digambarové) směr.

Prakticky vyúsťuje džinistická etika v pěti „velkých“ slíbech skládaných mnichy a na jejich dalším rozvíjení. Jsou to: neubližovat živým tvorům, nelhat, nebrat, co nebylo dáno, slib pohlavní zdrženlivosti a vystříhání se světského majetku. Každý z nich je dále rozvíjen v konkrétních pěti zásadách opatrnosti. Ty se týkají všedního života a radí, jak se chovat, aby se člověk vyvaroval třeba jen nevědomého porušení slibů.

Zakladatelem buddhismu je Siddhárta Gautáma (přelom 6. a 5. stol. př. n. l.). Poté, co dosáhl probuzení byl nazýván Buddha neboli Osvícený. Jádrem jeho učení jsou čtyři ušlechtilé pravdy:

1. lidská existence je strastiplná a plná utrpení

2. strasti jsou způsobeny žízni (*tršna*), která provázena radostí a vášní vede ke znovuzrození
3. odstranění strasti spočívá v odstranění žízně
4. k zániku strasti vede vznešená osmidílná cesta (pravý názor, pravé rozhodnutí, pravá řeč, pravé jednání, pravé žití, pravé snažení, pravá bdělost a pravé soustředění)

Touto cestou měli mniši možnost dosáhnout *nirvány* - vytržení z koloběhu přerozování. Laici se správným jednáním se mohli pouze připravit k nastoupení cesty spásy v některém z příštích životů. Tato nerovnost časem způsobila rozštěpení na dva směry. Hinajánový buddhismus trvá na dostupnosti cesty k nirvāně pouze pro mnichy. Mahajánový buddhismus umožňuje jejího dosažení prakticky všem, ale s pomocí bódhisattvů. Ti odkládají svůj odchod do nirvány ve snaze pomoci ostatním.

Etické zásady jsou v budhismu patrné zejména na tzv. desateru dobrých skutků - nezabíjet, nekrást, nesmilnit (hříchy proti tělu), nelhat, nepomlouvat, neužívat hrubých slov, nechlubit se (hříchy proti slovům), nebýt chamtivý, nebýt zlomyslný, nemít heretické názory (hříchy proti myšlenkám).

V 1. století našeho letopočtu se stává hlavním duchovním směrem v Indii hinduismus. I ten je založen na karmanovém zákoně a *sansáře*. Etickým otázkám se věnuje jeho nejznámější literární dílo *Bhagavadgíta* (Píseň vznešeného). Odmítá nečinnost člověka a nevidí význam v meditaci a askezi. Člověk by měl řádně plnit povinnosti spojené s jeho místem ve společnosti - *kastou*. Cílem hinduistického učení je opět *móksa*. Té lze dosáhnout jednou z šesti různých cest: *njája*, *vaušišuja*, *sýbjgha*, *jóga*, *mímánsa*, a *bédánta*.

Hinduistickou vizi správného jednání tvoří tři navzájem propojené cesty, jež by měly být v souladu - *karmamárga*, *džňánamárga* a *bhaktimárga*, cesta činů, cesta poznání a cesta oddané lásky a služby k Bohu.

Z indických myslitelů vycházejících z hinduismu je třeba zmínit Šankaru (788-820), Rámanudžu (11.-12. stol.), Swami Vivekánandu (1836-1902), Rámakrišnu (1836-1886), Ramana Maháršího (1879-1950), Swami Šivánandu (1887-1963) a Džiddu Krišnamúrthiho (1895-1986). Přes ovlivnění západními filosofickými idejemi sem patří i Móhandás Karamčand Gándhí (1869-1948), jehož eticko-filosofický přístup je založen na třech tradičních hinduistických ideálech - pravdě (*satja*), neublížování (*ahinsá*) a pohlavní zdrženlivosti (*brahmačárja*), respektive askezi (*tapas*). (Gluchman 2003, Kolmaš 2009, Semrádová 2009, Šiler 2007)

2.3.2 Východiska etiky v Číně

Prvními zdroji čínské etiky a filosofie jsou mýty o stvoření zapsané v Knize hor a moří z 2. tisíciletí př. n. l. Světu vládne nejvyšší duchovní princip, který dává existenci lidem, zvířatům, rostlinám i věcem. A všechny tyto skutečnosti jsou oduševnělé. V 1. tisíciletí př. n. l. pak vznikají zásadní díla - Klasické knihy čínské vzdělanosti, které utvářejí všechny čínské filosofické školy až do 20. století. Jde o Knihu písní, Knihu historie, Knihu řádu, Jara a podzimy a Knihu proměn. Pro

etiku je nejvýznamnější Kniha proměn, neboť obsahuje první vztahy světa a člověka v čínské filosofii. Zpočátku šlo o věštebnou knihu založenou na osmi kombinacích plných a lomených čar tzv. trigramech. Proměnlivost čar je vyjádřena nekonečnou proměnlivostí protikladných elementárních prvků *jin* a *jang*. Ty v dynamickém spojení vytváří veškerou skutečnost.

Pro čínskou kulturu jsou dominantní dva hlavní proudy. Prvním z nich je konfucianismus. Svou podstatou je politicky státotvorný, eticky a esteticky normotvorný, praktický a činorodý. Byl založen Konfuciem (551-479 př. n. l.) a vychovával k odpovědnosti vůči společnosti v souladu s řádem *li*. Ten je univerzální kategorií platnou pro vztahy v přírodě, mezi lidmi i mezi člověkem a přírodou. Řád se naplňuje ctnostmi *te* (zdvořilost, přesnost, blahovolnost, spravedlivost) a lidskostí *žen*. Platí formulace „co nechceš, aby ti činili jiní, nečini ty jim“ a současně „dopomáhej jiným k tomu, čeho sám chceš dosáhnout“. Jednání v souladu s těmito pravidly je správné.

K nejvýznamnějším představitelům patří Mencius (asi 371-289 př. n. l.). Ve 3. stol. př. n. l. potom Süncius, který se ve svém díle věnuje významu výchovy. Ve 12. stol. n. l. se neokonfucianismus rozčleňuje do dvou proudů. Směr *Li süe* se zaměřuje na řád jako podstatu světa a směr *Sin süe* zdůrazňuje význam myšlení.

Druhým významným směrem v Číně je taoismus. Je obtížněji definovatelný a snaží se o duševní rovnováhu čínského světa i každého jednotlivce. Klasická formulace vychází ze dvou textů Lao-c, který byl starším současníkem Konfucia. Jde o *Tao te t'ing* (Kanonická kniha o Tau a jeho Síle) a *Čuang-c* (Kniha mistra Čuanga), které byly v pozdější literatuře neotaoismu (3. a 4. stol. n. l.) rozvíjeny a komentovány. Tomuto učení je bytostně cizí ctižádost, projevuje se spíše laxností, klidem a tichým mlčením. Nejvíce se odrazil v básnictví, malířství a kaligrafii. Přesto se v něm objevuje i etický rozměr, neboť vychází z předpokladu, že „není krásné, co není poctivé“. (Semrádová 2009, Šiler 2007)

2.3.3 Etické teorie Řecka a Říma

Řecká filosofie se rozvíjí od 7. stol. př. n. l. jako filosofie přírodní, jež se zabývá zkoumáním bytí a jeho podstaty. S tím je spojená také etická problematika. Jednotu mravních a kosmických zákonů, morálního a přírodního, zastává již Herakleitos (540-480 př. n. l.). Démokritos (460-370 př. n. l.) považuje za zdroj mravních idejí lidskou přirozenost. Předpoklady lidského štěstí vidí v přátelství, lásce k lidem, střídmosti, moudrosti a obecné prospěšnosti.

Etickou problematikou jako takovou se zabývají až sofisté, kteří se odvracejí od přírodního světa k člověku a jeho aktivitě. Základní otázkou se stává původ mravních, politických a jazykových jevů. Zda vychází z lidského ustanovení (*nomos*) či existují od přírody (*fysei*). V rámci této problematiky se poprvé řeší problém kladné a záporné mravní hodnoty, problém dobra a zla. Diskutuje se zejména nad pojetím dobra a relativností hodnot. Anonymní dílo *Dissoi logoi* (Dvojí řeči) prezentuje dvě koncepce pravdy. První jasně odděluje dobro od zla, druhá je považuje za totožné, neboť totéž může být pro někoho dobrem a pro jiného zlem.

Úplné přiklonění se řecké filosofie k etice se odehrává za Sokrata (496-399 př. n. l.). Ten zcela vylučuje přírodní rovinu a politickou převádí do mravní. Analýzou mravních pojmů se snaží dojít k jejich jádru a překlenout skepsi a mravní relativismus sofistů. Podle něj je pravým poznáním a lidským štěstím ctnost, která je naučitelnou a rozumově zdůvodnitelnou normou jednání. Kdo pozná ctnost, není schopen podle ní nejednat, neboť každý člověk dělá to, co je pro něj nejlepší. Všechno zlo má původ v neznalosti, neboť nikdo nedělá záměrně cokoli, co považuje za nesprávné. Nejvyšší mravní autoritou v člověku nazývá *daimonion* - vnitřní varovný hlas.

Sokratův žák, Platón (427-347 př. n. l.) rozšiřuje jeho myšlenky o představu dokonalého světa idejí, kde nejvyšší je idea dobra. V pozemském světě jsou pak všechna dobra odleskem této ideje. Po odmítnutí ztotožnění dobra se slastí i s rozumem, dospívá k názoru, že v dobru jsou sloučeny tři prvky a to míra, krása a pravda. Ve svých spisech se zabývá pojmem uměřenosti, statečnosti, spravedlnosti a ctností obecně. Ctnost vidí ve všem, co je v souladu s řádem a s tím, co se dělat má.

Aristotelés (384-322 př. n. l.) byl první, kdo etiku systematizoval. Ve svém díle *Etika Nikomachova* ji svázal s politikou a vidí ji jako praktickou vědu, nauku o obci. Přiklání se k přirozenému původu norem a rozlišuje dva druhy ctností - dianoetické (rozumové) a etické (mravní). Dobrým se člověk stává konáním dobra, ctnostným životem, na nichž je založena lidská blaženost *eudamoniá*, která je nejvyšším dobrem. Tuto blaženost považuje za cíl již Sokrates. Další prvek, který se objevuje v etické problematice je otázka dobrovolného a nedobrovolného jednání. Z nich pouze dobrovolné podléhá etickému hodnocení.

Spojením helénské a východní kultury vzniká etika helénismu. Ztrácí se vztah etiky i filosofie ke státu a hlavní slovo má problematika individuální mravnosti. Etika se osamostatňuje a zabývá se spíše únikem od současných problémů než jejich řešením. Tímto směrem se ubírá i etika římská. Společnými rysy je zaměření na jedince a to hlavně filosofa. Etická pravidla se pak vztahují zejména na členy filosofické školy, zasvěcené a moudré. Cílem bylo dosáhnout vnitřního klidu a neochvějnosti *ataraxia - apatheia*, projevujících se navenek lhostejností. Jednotlivé směry se rozcházely ve způsobu, jak tohoto stavu dosáhnout.

Epikurejci považují za nejvyšší dobro slast. Nejde však o slasti a rozkoše fyzické, ale stav, kdy člověk necítí bolest v těle a neklid v duši. Ctnost byla podle nich cestou, jak dosáhnout lidské blaženosti. Stoici vidí nejvyšší dobro v životě ve shodě s vesmírnou zákonitostí, která spojuje život ve shodě s vlastní přirozeností a rozumem. Cílem stoiků není blaženost, ale ctnost, která je blažeností. K významným představitelům stoicismu patří v Řecku Zeón z Kitia (336-264 př. n. l.), Kleanthés z Assu (331-232 př. n. l.) a Chrysippos ze Soloi (280-205 př. n. l.). V Římě to byl Lucius Annaeus Seneca (asi 6-3 př. n. l. až 65 n. l.), Epiktétos (50-138 n. l.) a Marcus Aurelius Antonius (121-180 n.l.). (Semrádová 2009, Šiler 2007, Thompson 2004)

2.3.4 Etika v islámu

V arabském světě je etika neoddělitelně spojena s náboženstvím. Základní texty, jimiž se islám řídí jsou *Korán* (slovo Boží zjevené proroku Muhammadovi rozdělné na 114 súr - kapitol), *Sunna* (výroky proroka Muhammada) a *Ijtihad* (současné dílo Fakhereddina Ben Hamida z roku 1998, snažící se řešit nové problémy a podmínky, které nejsou popsány v Koránu a Sunně). Lze v nich objevit řadu prvků z egyptské a orientální tradice, ale i vliv židovství, křesťanství a nejspíš i antické řecké filosofie, neboť je kladen důraz na střední cestu mezi krajnostmi. Korán vede muslima k upřímnosti, vlídnosti, štědrosti a milosrdenství. Redukuje krevní mstu, zakazuje zabíjet novorozená děvčata a sebevraždu a klade důraz na ctění života bližního. Ačkoli Korán říká, stejně jako Bible, že zlo je třeba přemáhat dobrem, realizace toho doporučení se v islámu neprojevila nikdy tak výrazně jako v křesťanství. (Munzarová 2005, Šiler 2007)

2.3.5 Etické teorie středověku

Středověké etické koncepce v Evropě vychází z křesťanství. Toto jsou jejich základní prvky:

1. Existenci Boha není třeba ničím dokazovat, člověk ho může poznat skrze Ježíše Krista, který je jeho zjevením na zemi.
2. Rozlišení mezi „starým“ a „novým“ Zákonem, přičemž Nový Zákon z prvního vychází a rozvíjí etické normy (např. desatero) v něm uvedené, zejména vyzdvihuje lásku k Bohu a lásku k bližním. Všechny etické normy se shodují se základními požadavky lidského svědomí.
3. Motiv hříchu se prolíná celým textem Bible. Hříšný člověk koná v rozporu s Božími ustanoveními a je tudíž zlý. Židé s hříchem spojují i dluh. Vysvobození od hříchu vidí křesťané v přijetí Ježíše Krista, Syna Božího, který lidstvo svou obětí vykoupil.
4. Ctnost spočívá v životě v trvalém vztahu s Bohem, ve shodě s jeho vůlí. Dokonalosti lze dosáhnout nikoli snahou o ni samotnou, ale prostřednictvím hledání Boha a následování jím určené cesty. Podstata ctnosti, stejně jako podstata neřesti, tkví v srdci člověka. Jeho čistotu lze hledat s pomocí vlastního svědomí.
5. Vztah k práci je vnímán jako důležitý a nečinnost působí nepříznivě na osobnost člověka. Práce je základním prvkem lidské existence. Nový zákon staví nad ni cestu k Bohu a snahu o Boží království. Přesto práci nesnižuje a ponechává jí vlastní, odlišné a přesto neopomenutelné místo v lidském životě.

Významnou otázkou své doby je vztah boží vůle k dobru. Jednou z teorií je odlišení dobra a zla pouze božím rozhodnutím. Jednání není dobré samo o sobě, ale proto, že si ho přeje Bůh. Tento názor zastával již Augustin (354-430), později je rozvinul Abelard (1079-1142), Duns Scotus (13. stol.) a Gerson (přelom 14. a 15. stol). S touto teorií se střetával tzv. tomismus, který s výjimkou některých univerzit či klášterních řádů ve světě převládl. Dobro je podle něj výsledkem boží moudrosti a boží vůle jej pouze uskutečňuje.

Tomáš Akvinský (1225-1274) uznává, stejně jako Platón nebo Aristoteles, přirozenou mravnost (či přirozený zákon), ke které je člověk přirozeně přitahován a je ji schopen rozpoznat rozumem. Přijímá čtyři platónské základní ctnosti, nad které staví ctnosti teologické (člověku vnuknuté Bohem) - víru, naději a lásku. Dál odlišuje ctnosti občanské, očistné a ctnosti vedoucí k dokonalosti. Souhlasí se svobodnou vůlí člověka, avšak k dosažení i pouze základních ctností potřebuje člověk boží pomoc.

S otázkou dobra souvisí také tzv. *teodicea*, ospravedlnění boha z existence zla na světě. Odpovědí je svobodná vůle, kterou dal Bůh člověku. Člověk měl možnost hřešit (*potestatem peccare*) i nehřešit (*potestatem non peccare*). Svou volbou hřešit pak umožnil na světě vznik zla. (Adamová 1998, Semrádová 2009, Šiler 2007, Thompson 2004)

2.3.6 Etické teorie v renesanci

Renesance si klade za cíl emancipaci člověka a jeho poznání, návrat k hodnotám z antiky. Často prostřednictvím humanismu. Rozvíjí se přírodní filosofie a vznikají tři nové významné etické proudy: hédonistická etika, návrat k prvotnímu křesťanskému asketismu a reformační etika.

Hédonistická etika je založena na lidské přirozenosti. Nesouhlasí s askezí. Vychází z myšlenek epikurejců a esteticky interpretované části Platónova díla (*Symposion*). Důraz je kladen na lidské sebevědomí a intelekt a vysoká etická hodnota je připisována poznávací, tvořivé, umělecké a pracovní aktivitě člověka.

Velmi důležitá je individualita. Podle Michela de Montaigne usiluje člověk o originalitu a specifičnost. Lidský život by měl být podřízen tomu, nikoli vnějším hodnotám či transcenci. Přesto souhlasí s vývojem jedince bez ubližování ostatním. Nicolo Machivalelli předkládá odlišné pojetí individuality. Křesťanské hodnoty považuje za slabé, ctnost *virtú* je podle něj síla a schopnost k jednání, k překonávání osudu, osvobozená od morálního hodnocení. Ve své knize *Vladař* uvádí, že politik „nemá, pokud možno opouštět cestu dobra, ale přikazuje-li to nezbytnost, má též nastoupit cestu zla. Obviňuje-li jej čin, musí úspěch vladaře ospravedlnit.“ Politickou morálku podřizuje státnímu zájmu.

Návrat k ranému křesťanství naopak vede k životu ve shodě s evangeliem, spravedlivým vztahům mezi lidmi, k principu čistoty, víry, neokázalosti a prostoty až askezi.

Reformační etika vychází z kritiky katolické církve a snahy o její obrodu. Její teorii poprvé uceleně formuloval Jan Viklef. Na něj později navazovaly reformační proudy v Čechách (Jan Hus, Tomáš Štítý ze Štítého, Petr Chelčický), Německu (Martin Luther) a Švýcarsku (Jean Calvin). Na jejich základě vznikl nový směr křesťanského náboženství - protestantismus. Zpočátku měl tři hlavní směry: luterství v Německu, kalvinismus ve Švýcarsku a anglikánství v Anglii. V současnosti jde o několik set církví, které se snaží sjednotit ekumenické hnutí.

Na rozdíl od katolictví odmítá protestantismus zprostředkující články mezi věřícím a Bohem. Důraz je kladen na bibli a její interpretaci a osobní víru člověka. Odmítá vnější cesty ke

spáse, jako je půst, zpověď, modlitby, odpustky či dobré skutky jako prostředky ke spasení. Základem cesty ke spáse je morálka odvozená z hloubi křesťanské víry a život v lásce k bližnímu.

V Čechách vrcholí reformační snahy v Jednotě bratrské a v díle Jana Ámose Komenského. Mravní kázeň je spojena s šetrností, pracovitostí, úzkostným hospodařením s vnějšími statky a s časem, se spořádaným rodinným životem. (Semrádová 2009, Šil 2008)

2.3.7 Etické teorie novověku

V Anglii vychází novověké teorie z Francise Bacona (1551-1626), jehož morálka se odlučuje od náboženství a vede k utilitarismu a spojení s psychologíí, politikou a ekonomikou. Zakladatel hlavní novověké etické teorie je Thomas Hobbes (1588-1679). Formuluje základní přirozený zákon, který nám ukládá usilovat o mír, není-li to však reálné, hledejme spojence v boji. Z něj pak vyvozuje druhý zákon. Každý se má omezit vůči ostatním natolik, jak si sám přeje, aby se oni omezili vůči němu. Podmínkou obou zákonů je dodržování slibů a úmluv.

Pravidla jsou zcela utilitaristická, jediným motivem jednání je užitečnost. Prvotním impulsem k morálnímu jednání je sice emoce, ale dále je rozvíjena rozumem a hodnocením možných následků a uzavřených smluv. Rozum také velí jednat mravně pouze tehdy, jednají-li tak druzí. Etika je spjata se státovědou, neboť stát jediný má prostředky k určování pravidel chování všech občanů.

John Locke (1632-1704) považuje zdůvodňování morálky za absurdní, tím spíše, že ji každý zdůvodňuje jinak. Vrozenou mravnost odmítá. Dobro a zlo sjednocuje s rozkoší a bolestí či s tím, co je způsobuje. Mravní dobro a zlo spočívá ve sjednocení se či odmítnutí zákonů, důsledkem toho je odměna či trest.

Bernadr Mandeville (1670-1733) v duchu utilitarismu zdůvodňuje jednání ekonomickou užitečností a egoistickým zájmem. Tvrdí, že lidské nedostatky jsou nutné pro rozvoj společnosti. Jednání člověka vychází z pudů a vášní.

Anthony Ashley Cooper, Earl of Shaftesbury (1671-1713) naopak utilitarismus a egoismus odmítá a svou teorii zakládá na všesvětové harmonii, souladu dobra a krásy. Východisko spatřuje v tzv. *moral sense*, vrozeném lidském citu, směsi společenského taktu, estetického vkusu, básnického nadšení a nezávazné lidské vlídnosti.

Etika sympatie Adama Smitha (1723-1790) staví na přirozeném citu k druhým lidem. Tento cit je mravný již sám o sobě a lze ho rozvíjet výchovou.

Také David Hume (1711-1776) zakládá svou empirickou etiku na citech. Jednání hodnotí pouze tehdy, vychází-li z citů. Mravním kritériem je pocit libosti a nelibosti. Základním motivem etického jednání je společenský cit (*fellow feeling*), cílem jednání je obecný prospěch. Liší se pouze spravedlnost a věrnost, v jejich uplatňování je třeba užít i rozumu.

Dovršením utilitarismu je dílo Jeremyho Benthamu (1748-1832). Princip maximální užitečnosti zakládá na největším blahu největšího množství lidí. Morální jevy matematicky vyčísluje jako souhrn slastí a strastí, které také hierarchicky řadí do katalogu slastí a katalogu

strastí. Na jeho teorii navázal John Stuart Mill (1806-1873) a využil ho ke stanovení pravidel života společnosti.

Nizozemci Hugo Grotius (1583-1645) a Johannes Althusius (1557-1638) jsou zastánci morálky v státních i mezistátních záležitostech. Politika je vědou, která aplikuje filosofii na život ve státě.

Největší přínos dal nizozemské etice Baruch Spinoza (1632-1677). Jeho etika vychází z psychologie a je založená na afektech. Je-li člověk aktivní, jeho poznání je adekvátní a dosahuje blaženosti. Úkolem etiky je pomoci člověku překonat své afekty a podřídít je rozumu. Rozum je také zdrojem kritérií morálky.

Většina francouzských etických teorií novověku je nenáboženských až protináboženských (Helvétius, Holbach, Diderot). Morálku zakládají na rozumu, mravné je vše přirozené a rozumné. Morální normy jsou rozpoznatelné rozumem. Tato morálka je deterministická, egoistická a utilitaristická. Cílem je veřejný prospěch. Současně je etika spojována se zákonodárstvím a politikou.

Odlišnou koncepci vytvořil Jean Jacques Rousseau (1712-1778). Jako podstatu lidské osobnosti chápe svobodu, která se projevuje v možnosti volby. Svým rozhodnutím na sebe člověk bere odpovědnost. Člověk je zároveň bytost přirozeně dobrá a zlo v ní narůstá vlivem civilizace a ztráty individuality. Preferuje cit a prožívání před rozumem a otevírá tak cestu romantismu.

Nejvýznamnějším německým filosofem novověku je Immanuel Kant (1724-1804). Hodnotí nikoli jednání či jeho výsledky, ale úmysl sám o sobě. Člověk je vnitřně mravně svobodný a autonomní. Ústředním pojmem jeho etiky je povinnost. Dobro definuje jako dobrou vůli, jako vůli jednat z povinnosti, z respektu k mravním zákonům. Mravním dobrem je konat povinnost. Z toho je odvozen Kantův kategorický imperativ. Jde o nařízené jednání, jež je dobré samo o sobě bez ohledu na jiný cíl. Lze ho formulovat třemi způsoby:

- Jednej tak, aby maxima tvého jednání mohla být z tvé vůle ustavena všeobecným přírodním zákonem.
- Jednej tak, aby ses choval k lidství, jak v osobě své, tak v osobě druhého, jako k účelu a nikdy jako k prostředku.
- Vůli každé rozumné bytosti je třeba chápat jako ustavující všeobecné zákony.

Zároveň ustanovuje tři neprokazatelné, ale nezpochybnitelné postuláty.

- Člověk je schopen jednat svobodně a autonomně.
- Člověk má nesmrtelnou duši.
- Bůh existuje. Bez něj není možná existence svrchovaného dobra.

Pokračovatelem Kanta je J. G. Fichte (1762-1814). Jeho etika je také spjata s jedincem. Na rozdíl od kategorického imperativu však vidí jako nutnou podmínku mravního jednání člověka jeho přesvědčení o povinnosti. Přesvědčení roste prostřednictvím výchovy, která je významná nejen v životě jednotlivce, ale i celé společnosti. Cílem je souhlas se sebou samým, plná svoboda a mravní zušlechťování člověka. Každý čin by měl být ve shodě s morálním zákonem.

G. W. Hegel (1770-1831) rozlišuje individuální morálku a mravnost společnosti. Morálka je založená na subjektivní vůli a svědomí člověka. Mravnost je dobrem s nadsubjektivní platností, zahrnuje mravní předpisy pro společnost i instituce, kde je mravnost realizována (stát, rodina). K mravnímu rozvoji musí člověk příslušet k mravnímu společenství, mravně lze tedy žít jen ve společnosti.

Německý filosof Ludwig Feuerbach (1804-1872) vychází ve své teorii ze vztahu mezi dvěma bytostmi - mužem a ženou. Východiskem mravnosti je lidská přirozenost. Cestu k morálce a zároveň ke štěstí vidí ve shodě zájmů jednoho se zájmy druhého. Toho je možné dosáhnout prostřednictvím lásky, ta zajistí harmonii, povinnosti a štěstí. (Semrádová 2009, Thompson 2004)

2.3.8 Soudobé etické teorie

Po rozpadu Hegelovy školy je postmoderní filosofická scéna charakterizována pestrostí, novými způsoby vnímání, relativitou a bezprogramovostí. Přesto lze většinu nových teorií zařadit do některé ze tří velkých skupin: scientické směry, antropologické směry a systémové filosofie. (Semrádová 2009, Šiler 2007)

2.3.8.1 Scientistické směry

Filosofický scientismus je reprezentován zejména pozitivismem. Jeho zakladatel August Comte (1798-1857) odmítá filosofii s klasickým abstraktním pojetím skutečnosti a kladou důraz na roli vědy. Etiku vidí jako součást sociologie, konkrétně sociální statiky. Nepovažuje ji za normativní vědu. Sociální cit (*altruismus*) je podle něj pro člověka přirozený. Přesto bylo potřeba dlouhého času v dějinách lidské existence, než dokázal člověk vyvážit egoistické a altruistické zájmy natolik, aby byl mravný. To je nepostradatelné pro organizaci lidské společnosti.

Na pozitivismus navazuje novopozitivismus, lépe řečeno jeho dvě základní teoretické školy. První z nich, emotivismus, vznikl ve 20. a 30. letech 20. století a je spjat s logickým pozitivismem (A. J. Ayere, B. Russell, Ch. Stevenson., R. Carnap aj.). Emotivisté (jedním z představitelů je G. Moore) tvrdí, že morální soudy mají pouze emotivní význam, vyjadřují stav mluvčího. Platné a oprávněné jsou tehdy, souvisí-li s emočním stavem mluvčího. Celá metoda je individualistická a relativistická. Na přelomu 30. a 40. let 20. století vznikla druhá větev novopozitivismu - škola lingvistické analýzy morálního jazyka, nazývaná také analytická metaetika. Šířila se, jako celý novopozitivismus, zejména v Anglii a USA. Mezi zástupce patří mimo jiné P. H. Nowell-Smith, S. E. Toulmin, M. R. Hare a H. D. Aiken. Lingvistická etika připouští zdůvodnitelnost morálních norem, ale pouze z obecných tradičně přijímaných zásad v rámci kulturně historického kontextu. Ty nejobecnější jsou však určovány osobním rozhodnutím každého člověka. Dalo by se říci, že za morální mají to, co se obvykle za morální považuje.

Počátkem 20. století vzniká v USA další scientistický myšlenkový směr - behaviorismus. Jeho zakladatel Watson (1879-1958) jej postavil na principu determinismu, který aplikuje i na lidské chování. Člověk reaguje na stimuly prostředí, čímž je determinován. Později

neobehaviorismus připustil aktivní činnost člověka. Jedním z jeho výsledků je „technologie chování“ B. F. Skinnera. Lidstvo potřebuje důsledně prozkoumat, řídit a upevňovat (systémem pochval či trestů) své chování.

Poslední scientistický směr, etický scientismus, využívá ke zdůvodnění svých teorií etologii a genetiku. Snaží se zjistit, jaké chování vede člověka ke štěstí a za jakých okolností a jaké chování a kdy může být dobrem nebo zlem. Zastánci tohoto směru chtějí genetiku využít k vytvoření člověka bez degenerace, silného jedince, který by zvládl přirozený vývoj utlumený v dnešním světě rozvojem civilizace. J. Ledberg a J. Austin se domnívají, že je třeba opustit ideály humanismu, vědec je odpovědný za experiment a zdůvodnění závěrů, nikoli za jeho aplikaci v praxi. Současně s těmito myšlenkami se začaly objevovat názory volající po řízení genetického výzkumu (P. Ramsey) či dokonce speciální etice genetického řízení (J. Fletcher). Soudobá kritika vědy se věnuje nejen genovým manipulacím, ale chemickým či chirurgickým zásahům do lidského mozku s cílem upravit rozumové schopnosti pacienta. (Semrádová 2009)

2.3.8.2 Antropologické směry

Antropologický proud se zabývá přednostně člověkem a problémy, souvisejícími s jeho životem a morálkou. Vychází zejména z děl Arthura Schopenhauera a Sörena Kierkegaarda. Snaží se bojovat proti odlidštění, zvědečtění a přetechnizování společenských vztahů, neztratit emotivitu a autonomii.

Arthur Schopenhauer (1788-1860) zakládá svou etiku na soucitu. Jednání člověka je motivováno blahem (zabránění bolesti) jeho samého či někoho dalšího. O mravním jednání hovoří pouze tehdy, když se vzdá egoismu a směřuje k zabránění bolesti a utrpení další osoby či jiného žijícího tvora. Soucit je tedy jedinou skutečnou formou mravnosti. Soucítění vyúsťuje do dvou forem jednání: pasivní, kdy se snažíme nikomu neškodit, a aktivní, kdy se snažíme každému pokud možno pomáhat. Skrze soucit člověk poznává pravou podstatu bytí, kterou je utrpení. Cestou z něj je podle Schopenhauera pouze vědomé odmítnutí života prostřednictvím askeze, snaha o omezení dalšího utrpení, které svým životem působí.

Dánský myslitel a teolog Sören Kierkegaard (1813-1855) klade ve svém díle důraz na existenci a osobnost, upřednostňuje emocionalitu a prožívání každého jedinečného okamžiku. Opovrhne lidmi, kteří se neodvážejí vystoupit z uniformního davu vlastním originálním činem z obavy z veřejného odsouzení. Člověk by podle něj měl být hodnotný svým bezprostředním vztahem k Bohu a jedním ze tří povahových typů, kterým se rozhodne žít. V každém lze dosáhnout dokonalosti svého druhu. Estetický typ užívá životních darů, raduje se z prožitků, požitků, své práci či talentu. Etický typ v sobě zahrnuje vážnost, chápání života jako úkolu, který je třeba svědomitě plnit. Za nejhodnotnější považuje typ náboženský, celoživotní zápas, v němž člověk hoří spalujícím plamenem a zapaluje jiné, usiluje o očistu veřejného života, bojuje s všedností, zbabělostí a špinou života. Musí si však připustit i riziko mučednictví.

Na Schopenhauera a Kerkegaarda navazuje filosofie života. Většina jejích představitelů se zabývá i etikou. Nejvýznamnější je Friedrich Nietzsche a Henri Bergson.

Friedrich Nietzsche (1844-1900) se zabývá výhradně etikou. Pokládá za nutné přehodnocení dosavadních hodnot. Křesťanské ideály lásky k bližním, soucitu a altruismu vidí jako hodnoty „slabých“, morálku otroka. Odmítá existenci Boha a nahrazuje jej principem evoluce. Jeho myšlenky jsou založeny na individualismu, vládě silných a přípravě prostoru pro „nadčlověka“, jehož ústřední hodnotou je vůle k moci.

Henri Bergson (1859-1941) naopak zdůrazňuje intuici, instinkt a sympatii. Poznání prostřednictvím nich je úplné a nikoli povrchní, jak je tomu v případě intelektu. V etice rozlišuje uzavřenou morálku nátlaku a závaznosti (společenské povinnosti) a otevřenou morálku ukotvenou v emocionalitě. Druhá z nich k sobě člověka přitahuje a povznáší ho, je spjatá s činností významných osobností z oblasti náboženství i filosofie. Bergson uznává, že uzavřená morálka je nutná, ale pouze skrze otevřenou může člověk růst a utvářet větší společenství.

Pro zcela odlišnou metodu a cíl se rozhodli představitelé pragmatismu v USA. Chtěli rekonstruovat filosofii, vytvořit novou metodu, přehodnotit stávající filosofie vzhledem k tomu, jak se osvědčily v praxi. Chtěli vytvořit novou morálku založenou na praktičnosti a užitečnosti činnosti. Pravdu chápali jako užitečnost a užitečné bylo vše, co člověku vyhovuje. Jednotlivé pragmatické školy ve svých teoriích značně liší od původního pojetí Williama Jamese (1842-1910). A to i poté, co se z nich vydělila chicagská škola (J. Dewey 1859-1952), anglický humanismus resp. hominismus (F. C. S. Schiller 1864-1937) a novopragmatismus (S. Hook, H. M. Kallen, G. Kennedy).

Existencialismus jako výpověď o lidských problémech se projevil nejen ve filosofii, ale i v literatuře a dramatu. Spíše než o jednomyslný směr jde o souhrn jednotlivých názorů, které spojuje motiv charakteru a smyslu lidského života. Odmítnuto je odlidštění a odosobnění člověka. Všechny se sjednocují s těmito body:

- existence jednotlivce je jedinou autentickou zkušeností
- existovat znamená utvářet sebe sama, volit z mnoha možností
- odmítnutí všech univerzálních norem, hodnot a mravních ideálů
- člověk své konání nezdůvodňuje z vnějšku, přebírá na sebe odpovědnost za důsledky svých rozhodnutí
- každý okamžik a rozhodnutí je neopakovatelné a utvářející (*aktualismus*)
- existence je pevně vázaná na společnost, může se naplnit jen ve vztahu k druhému člověku či lidem
- pravda není jediná, je to vždy subjektivní rozhodnutí každého jedince

Heidegger vidí lidský život, jako iluzi, nereálný obraz dennodenní rutiny a všednosti, řízené vnějšími okolnostmi. Vše v našem okolí vnímáme neúplně, pouze z našeho úhlu pohledu. Teprve totální apatií ke světu člověk objevuje podstatu svého bytí, kterou je *nicota*. Jediné, co

člověku v životě zbývá, je svoboda smrti. Stejného názoru je i další německý existencialista K. Jaspers. Důvod rutinní existence člověka, strachu a zmizení v davu vidí v řádu masové kultury, administraci, organizaci a technizaci moderní společnosti. Člověk by se měl navrátit do osobního života, k autentické existenci, osvobození od otroctví světa hmoty a otroctví etických pravidel, norem a zákonů povinnosti.

Francouzský existencialista Jean-Paul Sartre hledá návrat k autentičnosti člověka možnostmi angažovaného života. Člověk není na zem seslán Bohem za nějakým účelem, lidská existence podle něj předchází podstatu a člověk utváří sám sebe svým jednáním. Po druhé světové válce se prostřednictvím motivu odpovědnosti za druhé přiklání k myšlenkám humanismu. A. Camus vidí lepší prožívání lidského života v poznání jeho smyslu - absurdity. Důsledkem tohoto poznání totiž může být pouze vzpoura, díky níž člověk získá opravdovou svobodu. Lidé jsou si navzájem cizí a jedinou cestou k překonání cizoty je společné utrpení. To může člověka také vytrhnout od vlastního vědomí absurdity.

Filosofie Gabriela Marcela se vrací k augustinismu a ve vztahu ke světu rozlišuje používání věcí s plnou vládou nad nimi (*uti*), kdy člověk uchovává sám sebe pro Boha, a opájení se věcmi, které nad člověkem získávají nadvládu (*frui*). Je to návrat k hledání celistvosti člověka, k mysticko-subjektivnímu pojetí náboženství, kde je Bůh (stejně jako u Kierkegaarda) posledním útočištěm bloudících a osamělých.

Protesty společnosti proti jednotvárné každodenní skutečnosti jsou přítomny v literatuře 50. a 60. let ve Spojených státech amerických. Tzv. Beat Generation odmítá soudobou morálku a chování, vykresluje obrazy protestu, ale i vnitřní rezignace a vzdání se boje s realitou. Je to obraz nihilismu a pacifismu smíšeného s anarchismem. Je možné, že tento směr se odrazil později v hnutí hippies na přelomu 60. a 70. let v USA i odmítnutí společenské reality v 80. letech v Evropě, USA a Číně.

K antropologickým směrům patří i teorie založené na myšlenkách Sigmunda Freuda (1856-1939). Lidský život je podle něj ovládán principem slasti a principem reality. Člověk je tvořen třemi složkami. Pudová složka (*Id*), uspokojovaná dosažením slasti (často prostřednictvím pudu sexu a pudu agrese), empirická já (*Ego*) a tzv. nadjá (*Superego*), které představuje morálku soudobé společnosti, v podstatě princip reality. Člověk se rozvíjí prostřednictvím potlačení svých pudů. Vznikající vnitřní konflikty jsou zdrojem psychických poruch, které se Freud snaží léčit psychoanalýzou. Také rozlišuje vědomí a nevědomí. Nevědomí rozděluje na podvědomí, kde se často ukrývá zlo, a nadvědomí, kde můžeme nalézt svědomí. Psychoanalýzou se nesnaží zlo z člověka vypudit, ale zabránit jeho odsunutí do podvědomí, kde ho nedokážeme kontrolovat. Z podvědomí se zlo může snažit dostat do vědomí pod rouškou dobra (tzv. *sublimace*), což se v chování může projevit např. odůvodněními „myslel jsem to dobře“ či „je to pro jeho dobro“. Freud také věří, že zlo může přeskocit z člověka na člověka, jako by bylo nakažlivou chorobou. Další otázkou je problém volby tzv. menšího zla ze dvou možností. Člověk by se k ní měl postavit čelem a učinit ji s plným vědomím a odpovědností. Freudův následovník Carl Gustav Jung raději

nepoužívá pojmu zlo, ale stín. Stejně jako se stínu se v životě nemůžeme zbavit zla a je třeba se s ním naučit vyjít.

Novofreudismus se zabývá více než lidským nitrem mezilidskými vztahy. Erich Fromm vidí řešení vznikajících konfliktů v normativním humanismu, respektu lidské přirozenosti a odmítnutí člověka jako objektu manipulace.

Personalistická filosofie, založená Emanuelem Mounierem (1905-1950), řeší problém morálky důrazem na lidskou subjektivitu. Svět vidí jako souhrn osobností na různém stupni mravního vývoje. Nejvyšší osobností je Bůh. Každý by se měl snažit o růst a rozvoj sebe sama i všech, které může ovlivnit. Jedním z nejvýznamnějších personalistů byl papež Jan Pavel II. (Karol Wojtyła 1920-2005). V rámci svého působení zdůrazňoval nadřazenost osob nad věcmi či institucemi, ducha nad hmotou. Kritizoval egoistické a utilitární pojetí lásky a sexu, ale i puritánství, freudismus a novofreudismus. Hlavní překážky lidské mravnosti viděl v popírání pravdy, znásilňování mezilidských vztahů, neúctě k životu a odcizení. Řešením je podle něj autentičnost, účastenství, solidarita, dialog a odpovědnost za vztah k druhým lidem. Stojí za předním postavením etiky před politikou a technikou a i funkci vědy vidí pouze ve snaze poznávat pravdu. Pravdu chápe jako dobro člověka. (Semrádová 2009, Šiler 2007, Thompson 2004)

2.3.8.3 *Systémové filosofie*

Systémové filosofie se vrací k základním etickým kategoriím a většina je tzv. filosofiemi návratu - vychází z již existujícího filosofického směru (novotomismus, novokantství, novohegelovství). Další se snaží vytvořit ucelený pohled na člověka a jeho začlenění do světa (marxistická filosofie, fenomenologie, emergentní materialismus). Největší vliv na společnost můžeme pozorovat u novotomismu, marxistické filosofie a naturalistických směrů.

Novotomismus se výrazně neliší od učení Tomáš Akvinského. Mravní hodnoty jsou odvozeny z boží existence a pro mravnost je nejdůležitější emocionální vztah člověka k Bohu. Věřící není ohrožen relativismem a skepsí soudobých teorií díky pevnému zakotvení v křesťanských hodnotách. Silný psychologický základ tohoto směru plyne z akceptace podnětů některých dalších filosofických směrů od Akvinského až po modernu. Myšlenkové uvolnění se objevuje až v 50. letech 20. století v souvislosti s modernizací.

Marxistická etika zkoumá mravní aspekty společenských vztahů a na základě toho se snaží je upravovat k cílům socialistické (resp. komunistické) společnosti. V třídní společnosti najdeme minimálně dvě různé morálky - morálku vykořisťovatelů a morálku vykořisťovaných. Člověk je určován třídou, k níž patří. Mravné je vše, co vede ke spravedlivému společenskému řádu, mimo tuto oblast nemá tato otázka řešení. Nejvyšším cílem je oddanost socialismu a komunismu. Dalšími rysy je kolektivismus, uvědomělý a společensky odpovědný vztah k práci, proletářský internacionalismus, socialistické vlastenectví a reálný humanismus.

Naturalistické pojetí morálních hodnot staví na přirozenosti člověka, zpravidla jeho bio-psychických vlastnostech, kde hledá motivace k lidskému jednání. K utvoření tohoto směru

výrazně přispěl americký filosof C. Lewise (1883-1964). Všechny hodnoty dělí na vnitřní a vnější. Vnitřní hodnoty jsou důležité kvůli sobě samým, kdežto vnější jsou pouze prostředkem k dosažení nějakého cíle. Dobro vidí jako vše, co se nám líbí či bychom si to přáli a zlo to, co se nám nelíbí či si to nepřejeme. V chování člověka formuluje imperativ racionálnosti (či také zákon objektivnosti): „Jednej ve vztahu s ostatními tak, jak chceš, aby oni jednali ve vztahu k tobě.“ (Adamová 1998, Semrádová 2009, Šil 2008)

2.4 Bioetika

Jako první použil termínu bioetika Van R. Potter ve své práci *Bioethics. Bridge to the Future* vydané roku 1959. V jeho pojetí zahrnovala bioetika jak problémy týkající se etického vztahu člověka k jeho životnímu prostředí, tak problémy, které se týkaly péče o jeho zdraví. Pozdější autoři oddělili tyto dvě oblasti. Pro oblast věnující se vztahu člověka k přírodě a životnímu prostředí začali užívat názvu „environmentální etika“ a „bioetika“ byla omezena na problematiku zdraví člověka a péči o něj. V roce 1977 definoval S. Gorowitz ve svém díle *Bioethics and Social Responsibility* bioetiku jako „kritickou analýzu morálních dimenzí u rozhodnutí souvisejících se zdravím člověka, a sice v kontextu s biologickými a medicínskými vědami.“ Jako synonyma bioetiky bývají v literatuře používány také termíny „etika zdraví“, resp. „etika péče o zdraví“ nebo termín „medicínská etika“, resp. „morální medicína“, ačkoli bioetika nezahrnuje pouze tuto problematiku.

Zúžení bioetiky jen na témata související s člověkem je však velice zjednodušující. Také Potter, nebyl spokojen s postupným omezením významu tohoto výrazu. Základní hodnotou bioetiky by měl být život a to nikoli pouze lidský. Proto je v této práci zahrnuta také environmentální etika.

Bioetika je aplikovaná praktická věda vycházející z principů obecné etiky. Existuje diskuse, zda nemá natolik specifické metody a principy, aby mohla být považována za specifický profesionální obor. Většina autorů je však proti. Normy uváděné jako specifické pro bioetiku lze obvykle odvodit z obecných etických norem a principů. Samostatnost bioetiky je navíc riziková nebezpečím rozporu mezi obecnými a specifickými normami. Takováto situace by mohla zapříčinit etický relativismus.

V současnosti nabývá bioetika na významu. Prudký rozvoj techniky výrazně rozšiřuje naše možnosti. Často jsou důsledky výzkumu širší, než mohou odhadnout pouze specialisté v daném oboru. To je jeden z důvodů, proč má v dnešním světě bioetika své nezastupitelné místo. Je třeba analyzovat a hodnotit aplikace základních výzkumů a to nejen vzhledem ke zdraví a životu lidí, ale i životního prostředí. Nepředvídatelnost globálního dosahu naší činnosti, odosobnění současné medicíny či velice rychle se vyvíjející nové technologie jsou oblasti, s nimiž souvisí etické problémy, před jejichž řešením dosud nebylo lidstvo postaveno. (Bentham 2005, Jemelka 2008, Munzarová 2005, Ondok 2005, Potter 1971)

2.4.1 Bioetické rozhodování

Bioetika vychází z obecné etiky se všemi jejími rozdílnými teoriemi a přístupy k dané problematice. Bioetické názory a řešení konkrétních situací se tedy liší podle toho, z jakého konkrétního etického základu budeme vycházet. Neexistuje obecný konsenzus ohledně bioetických zásad a jejich aplikací a to především v některých složitých situacích (např. interrupce u defektního plodu, resp. eticky přípustná doba k vykonání takového zákroku). Na druhé straně však může být řešení některých bioetických problémů shodné bez ohledu na výchozí koncepci bioetiky, je pouze jinak motivované (např. problém genového inženýrství). Z jednotlivých koncepcí jsou nejčastěji zmiňované následující:

- Deontologismus - vychází z povinnosti a odpovědnosti, kterými se cítíme zavázáni (Kantova autonomní etika, pozitivismus, legalismus, emotivismus, náboženský legalismus)
- Teleologismus - vychází z cíle (dobra), které je daným jednáním sledováno (Aristotelova etika ctností, personalismus, existencialismus)
- Konsekvencialismus - vychází z následků, ke kterým vedou jednotlivé činnosti, etické jsou ty, které mají za následek více výhod než nevýhod či vedou k dobru co nejvyššího počtu lidí (utilitarismus, situační etika)
- Institucionalismus - určuje správnost činů na základě intuice a poznávání hodnot
- Etika práv - posuzuje práva osob zúčastněných v posuzované situaci

Péče o zdraví předpokládá kromě specifické interpretace obecných morálních ctností (rozumnost, statečnost, uměřenost, spravedlnost) ještě specifické ctnosti. Např. schopnost komunikace, schopnost vcítit se do situace nemocného člověka, schopnost solidarity, úcta k životu. (Munzarová 2005, Ondok 2005, Thompson 2004)

2.4.2 Základní bioetické principy

Názory na výčet základních bioetických principů se mezi odborníky různí. Navzdory jejich většímu množství si však neodporují. Zpravidla se totiž liší pouze mírou stupně podrobnosti či redukce. Často jde o různé formulace týchž etických principů nebo jejich rozvedení, které by bylo možno zahrnout pod princip obecnějšího rázu. Pokud vyjdeme z těch redukovanějších, pak mezi nimi nikdy nechybí tyto čtyři:

1. beneficence (prospěšnost)
2. non maleficence (neškodit)
3. autonomie (svébytnost, respektování osobnosti včetně svobodné vůle)
4. spravedlnost - zejména při dostupnosti zdravotní péče

Princip beneficence nabádá zdravotnické pracovníky, aby konali v nejvyšším zájmu (či dobru) pacienta. To vyjadřuje také latinský výrok *Salus aegroti suprema lex est*. (Nejvyšším zákonem je blaho nemocného). Vzhledem k mnoha významům slova *salus* (lat. blaho, spása, štěstí,

zdraví, záchrana, pocit dobra, atd.) zde vyvstává otázka, zda lze objektivně definovat blaho nemocného, neboť subjektivní názory se mohou lišit.

Princip non maleficence se vztahuje k povinnosti zdravotníka neškodit, neublížit svým činem druhému. Vyjadřuje se také latinským úslovím *Primum non (nihil) nocere*. (Zejména/nikdy neškodit.). Ve starověku se můžeme setkat se spojením těchto dvou principů do pravidla *Nil nocere, adiuvere vel nil nocere*. (Neškodit, pomáhat nebo aspoň neškodit.)

Princip autonomie vyjadřuje právo pacienta na sebeurčení a svobodné informované rozhodnutí (včetně odmítnutí léčby). Tento princip vyjadřuje latinská věta *Voluntas aegroti suprema lex*. (Nejvyšším zákonem je vůle pacienta)

Princip spravedlnosti se týká zejména distribuce omezených zdrojů vyčleněných na zdravotnictví a rozhodování, kdo dostane jakou léčbu. Jako zdravotničtí pracovníci bychom měli rozhodovat čistě a nestranně. Význam tohoto zákona stoupá s pokrokem vědy a techniky, která umožňuje stále modernější a kvalitnější způsoby léčby, jejichž plná cena však není v možnostech všech pacientů.

Dle konkrétního autora pak můžeme nalézt seznamy doplněné např. o vzájemnou důstojnost chování ve vztahu pacienta a zdravotníka (vyjádření hodnoty každého člověka), pravdivost a čestnost (pacientovi bychom neměli lhát, zaslouží si znát celou pravdu o své nemoci a léčbě) či důvěru vztahu pacienta a zdravotníka. (Bryant 2005, Ebbesen and Jensen 2006, Haškovcová 2002, Kořenek 2001, Munzarová 1995, Munzarová 2005, Ondok 2005)

2.4.3 Bioetické principy v širším pojetí

Jako příklad podrobnějšího rozpracování můžeme zmínit deset bioetických principů, které považuje za základní český filosof Josef Petr Ondok:

1. Princip důstojnosti lidské osoby

Vychází z pojmu osoby člověka, základní kategorie personalistické filosofie. Lze jej definovat takto: „Všechna etická rozhodnutí, včetně těch, která se týkají péče o zdraví, musí uspokojovat vrozené i kulturní potřeby každé lidské osoby jakožto člena lidského společenství.“

Význam lidské osoby a potřeb jednotlivce je zdůrazněn v různých filosofických přístupech. Náboženské směry se odkazují na Bibli, podle níž byl člověk stvořen Bohem „k obrazu Božímu“ a v níž je příklad důstojného lidství zjeven v osobě Krista. Dalším důvodem k důstojnosti člověka je jeho schopnost a výsada hledat a nalézat pravdu a také jeho svoboda a svědomí. Není to však jediný církevní dokument týkající se lidské důstojnosti. Ta je zmiňována také v první kapitole pastorální konstituce II. Vatikánského koncilu *Gaudium et spes* (Radost a naděje).

Tento princip je kritériem při většině etických rozhodnutí. Týká se mj. ochrany vznikajícího života i jeho ukončení, posuzování etické kvality medicínských zásahů jako je umělé těhotenství, oplodnění „*in vitro*“, genová technologie, transplantace i experimentů na

člověku. Lze díky němu správně vymezit smysl lidské sexuality a eticky hodnotit její jednotlivé formy. Je pravděpodobně nejobecnějším bioetickým principem a je tím pádem zahrnut i v některých dalších bioetických principech.

2. Princip totality a integrity

Zahrnuje soulad a celistvost otevřeného lidského organismu s hierarchií jednotlivých funkcí, neboť lidské zdraví není jen výčetem orgánů, ale jde především o jejich schopnosti fungovat náležitým způsobem. Tento názor zmiňuje již Tomáš Akvinský a byl formulován i v řadě prohlášeníh Pia XII. Do pojmu integrity a celistvosti zahrnuje také psychosomatickou jednotu člověka. Pastoraální konstituce *Gaudium est spes* vyzdvihuje také hodnoty rozumu, vůle, svědomí a bratrství.

Využití tohoto principu nalézáme v etických problémech preventivní a chirurgické medicíny. Platí, že v případě nutnosti lze obětovat sekundární funkce pro záchranu primárních a primární pouze pro záchranu života osoby. Někdy však není lehké rozhodnout o pořadí důležitosti.

3. Princip služebnosti a kreativity

Tento princip se nevyskytuje mezi bioetickými principy příliš často, je spíše vnímán jako jedna z dimenzí personality. Vychází z náboženských základů a etického vztahu člověka k přírodě, nad kterou absolutně nevládne, ale má ji chránit ve smyslu biblického „střežit a vzdělávat zemi“.

Kreativitou se rozumí jakákoli lidská aktivita vedoucí ke zlepšení kvality života. Může jít o technické, umělé i experimentální medicínské zásahy do přirozených funkcí člověka.

4. Princip správného svědomí a informovaného souhlasu

Týká se správného a nepomýleného svědomí lékaře a svobodného a poučeného souhlasu pacienta. Je zakotven v důstojnosti osoby člověka, její autonomie, integrity a práva na sebeurčení.

Dobře formované svědomí vyžaduje k rozhodnutí v konkrétních situacích maximální informace o stavu pacienta, možnostech zákroku i etických rozhodnutí. Poté je třeba se podle těchto vědomostí rozhodnout, konat v souladu s tímto rozhodnutím a za vše převzít odpovědnost. Svědomí je zpravidla poslední instancí bioetického rozhodnutí. Navzdory tomu je svědomí individuální záležitostí a může být pokříváno vlivem předsudků, konvencí či nekritickým přejímáním cizích názorů.

Informovaný souhlas pacienta (nebo rodinných příslušníků, není-li pacient kompetentní) by měl být svobodný a učiněný po vyslechnutí všech možností a vědomostí lékaře k dané situaci. Teprve poté je možno přistoupit k terapii či experimentu (ať již psychickému či fyzickému). Souhlas je třeba před každým závažnějším zákrokem. Přání pacienta ovšem nelze uplatnit v případě, že je nerozumné (např. ukončit svůj život) či nezákonné.

5. Princip profesionální komunikace

Tento princip se týká zejména zdravotního personálu pečujícího o nemocné. Hovoří

o povinnosti naslouchat pacientovi, věřit mu a říkat mu (pokud možno) pravdu. Odráží se v něm právo na respektování soukromí.

Někdy se o tomto principu také hovoří jako o „Principu důvěry“, neboť ta by měla mezi lékařem a pacientem během jejich jednání a společného řešení pacientových obtíží existovat. Na druhou stranu je třeba nakládat opatrně s údaji, které mohou vést ke zhoršení stavu nemocného (deprese, rezignace). V každém případě však platí zásada „nikdy neškodit“ (*primum non nocere*).

Pod tento princip lze také zahrnout povinnost nesdělovat informace o stavu pacienta nebo o samotné terapii komukoli mimo osoby v příbuzenských vztazích či jeho opatrovníky.

6. Princip společného dobra a subsidiarity

Zde je východiskem společné (nebo také obecné dobro) - souhrn všech podmínek sociálního života, v němž jednotlivci, rodiny a sociální skupiny mohou dosáhnout plné seberealizace. Subsidiarita vyjadřuje potřebu sociální spravedlnosti při rozdělování společných dober, kde hlavním kritériem není zásluha, ale potřeba.

Proti tomuto principu se staví libertarianismus, antisocialismus a individualismus, podle nichž by hlavní mírou při rozdělování dobra ve společnosti měly být právě a pouze zásluhy.

Využití tohoto zákona je významné v celém zdravotnickém systému, protože díky němu by měla být zdravotní péče dostupná každému, kdo ji v danou chvíli potřebuje, bez ohledu na sociální a finanční situaci. Vychází z něj také pravidla přidělování transplantovaných orgánů, výzkum nových léčebných metod a účinných léků.

7. Princip dvojího účinku

Toto pravidlo je známé již z tradiční etiky. V náročných rozhodnutích připouští jednání, které může vést nepřímo k negativnímu důsledku. Je ovšem třeba se řídit těmito pravidly

1. Zamýšlený cíl musí být eticky správný.
2. Úmyslem jednajícího musí být dosažení dobrého účinku a vystříhání se (pokud možno) účinků škodlivých.
3. Prospěšné účinky musí z jednání vyplývat stejně přímo jako účinky škodlivé.
4. Předvídané prospěšné účinky musí být větší než účinky škodlivé.

Formulace podmínek využití principu dvojího účinku se mezi autory různí podle důrazu, jaký kladou na tu kterou z uvedených podmínek nebo jak liberálně celý princip pojímají.

Z toho pohledu je možná správnějších 5 podmínek definovaných Griesem:

- Akt s dvojím účinkem musí být sám o sobě dobrý nebo alespoň eticky indiferentní.
- Eticky dobrý účinek musí být jediným zamýšleným účinkem, který navíc není dosažitelný jiným způsobem.
- Eticky špatný důsledek nesmí být zamýšlen, ale pouze předvídan a připouštěn.
- Eticky špatný účinek je pouze doprovodný.
- Musí existovat náležitá proporce mezi zamýšleným dobrem a připouštěným zlem.

Od prvního souboru pravidel se tento liší ve dvou bodech. Požaduje, aby špatný účinek byl pouze doprovodným a aby dobrého účinku nebylo možno dosáhnout jiným způsobem. Je však třeba tento princip odlišit od neetické zásady „účel svěťí prostředky“, která je v křesťanské etice omítána.

Aplikací tohoto principu je řada, hlavním spojujícím prvkem je zde náročnost etického rozhodnutí. Příkladem mohou být obtížné operace spojené s rizikem smrti, typicky operace rakovinného nádoru těhotné ženy, při níž je ohrožen život dítěte.

8. Princip legitimní kooperace

Tento princip vyjadřuje zákaz spolupráce na eticky nesprávném jednání. Je lhostejno, zda jde o kooperaci formální (se souhlasem spolupracujících) či materiální (pouhá pasivní účast bez vnitřního souhlasu).

Částečně zde vychází z aplikace principu dvojího účinku a podmínek, které pro tento princip platí. Tyto podmínky jsou závazné i pro princip legitimní kooperace a to především podmínka, že špatný účinek nesmí být přímo zamýšlen. Při rozhodnutí je také potřeba zvážit, zda svým špatným činem nezabráníme většímu zlu.

Význam takového jednání je zejména v týmové spolupráci lékařů v nemocnici, které poskytují zákonem povolené, ale neetické či minimálně eticky sporné zákroky jako je interrupce, sterilizace či neetická eutanazie. Existují také katolické nemocnice amerických či kanadských biskupů, kde jsou pravidla pro tyto zákroky odlišná.

9. Princip personalizace sexuality

Tento princip vychází z pojmu osoby a pojímá sexualitu jako jeden z jejích základních projevů. Je chápána jako aktivita, díky níž jsou osoby schopné dávat lásku a život, přičemž oba tyto aspekty jsou dnes vnímány jako stejně významné a neoddělitelné. Ačkoli se dnes i postoje katolických moralistů v některých otázkách rozcházejí, ve významnosti a spojitosti těchto dvou aspektů se všichni shodují. Sexualita se tak zbavuje pouze biologického významu a zahrnuje i vyjádření trvalého sebeoddání muže a ženy vytvářející rodinu a vyjadřující i zodpovědnost za ni. Tento cíl je dosažitelný pouze v trvalém manželském svazku.

Můžeme rozlišovat několik funkcí sexuality:

- zahrnuje smyslové uspokojení
- je tělesným výrazem osobního intimního spojení muže a ženy v lásce
- je sociální nutností vzhledem k potomstvu
- v křesťanském smyslu je symbolickým spojením muže a ženy

Žádný z těchto jednotlivých významů nesmí být vydáván za jediný smysl sexuálního vztahu, má-li význam sexuality vycházet z principů personality a integrity osoby. V dnešním světě hovoří někteří teoretikové (Robert a Mary Joyceovi) o tzv. „sexuální ekologii“, kterou rozumí všechny vnější podmínky, které utvářejí obecné povědomí o smyslu a hodnocení sexuality ve společnosti, a snaží se tím naznačit nesmírnou složitost a komplexnost této problematiky. Také

zmiňují „hypersakralizaci“ (nadměrné zduchovnění a symbolizaci) a naopak „trivilaizaci“ (omezení na pouhé sebeuspokojení bez vazby na rodičovství) sexu.

10. Princip růstu skrze utrpení

Tento princip je v bioetice netradiční a vychází z křesťanského pojetí nemoci a lidského utrpení. Vyjadřuje stejný význam zdraví i nemoci pro osobní růst člověka v soukromém i společenském životě, jsou-li snášeny v duchu křesťanské naděje. Vzhledem k úzké vazbě na křesťanství a jeho pojetí smyslu utrpení však lze tento principi vztahovat pouze na věřící osoby. Navíc není pojetí utrpení jednotné ani v dějinách církve.

Tradičně od středověku dodnes vychází z utrpení Ježíše Krista, který svou mučednickou smrtí vykoupil lidstvo, jak zmiňuje i papež Jan Pavel II. v apoštolském listu „*Savifici doloris*“.

Existuje i druhá tradice, jejímž představitelem je papež Pius XII., který zdůrazňoval zlo, jímž je bolest a utrpení, proti kterému lékaři bojují. Nevidí smysl v pátrání po vysvětlení významu bolesti a utrpení pro lidstvo. Nedokáže si totiž představit důvod, proč by takto mělo trpět malé dítě nemocné rakovinou. Tento pohled vnímá utrpení jako zlo, jež je třeba odstranit na základě všech našich medicínských znalostí.

Zdá se, že aplikace principu růstu skrze utrpení nemůže být použita ve všech případech, neboť některé utrpení je natolik strastiplné, že nezanechává v mysli prostor k ničemu jinému. Takové utrpení lze nazvat absolutním a může vést i k duchovní úhoně, pokud se člověk rouhá Bohu, neboť mu přisoudil původ své bolesti. (Ondok 2005)

2.4.4 **Některé důležité aplikace bioetiky**

1. Odpovědnost za lidský život a jeho předávání
 - a. Odpovědné rodičovství
 - b. Kontrola početí
 - c. Sterilizace
 - d. Umělý zásah do lidského rozplodování
 - e. Potrat
2. Homosexualita
3. Ambivalentní sexuální identita
4. AIDS
5. Psychoterapie
6. Genová technologie
 - a. Získávání přírodních látek
 - b. Genová diagnostika
 - c. Genová terapie
 - d. Genetická úprava „zárodečné cesty“
 - e. Genová technologie a eugenika
7. Experimenty s člověkem

8. Experimentování se zvířaty
9. Problematika smrti
 - a. Definice smrti a kritéria jejího stanovení
 - b. Péče o mrtvé tělo
 - c. Transplantace orgánů
 - d. Sebevražda
 - e. Euthanasie
 - f. Trest smrti
10. Stárnutí, geriatrická péče a paliativní medicína
11. Invalidita, bezmocnost
12. Nanotechnologie
13. Kybernetika

(Bryant 2005, Jemelka 2008, Munzarová 1995, Munzarová 2005, Ondok 2005)

2.5 Enviromentální etika

Jako synonymum pro enviromentální etiku bývá používáno termínu ekologická etika či ekoetika. Slovo ekologie vychází z řeckého *oikos*, neboli dům, domov, společné prostředí. Jde tedy o vědu, zabývající se vzájemnými vztahy mezi organismy a jejich životním prostředím. Z toho plyne, že ekologická etika je naukou o mravním přístupu k přírodě, rozšiřuje mravní vztahy z mezilidské oblasti na vztah k přírodní skutečnosti. Vzhledem k laickým záměnám ekologie s ochranou přírody je terminologicky vhodnější užívat pojmu enviromentální etika (angl. *enviroment* značí okolní prostředí, vnější životní podmínky), popřípadě etika životního prostředí.

Enviromentální etika reflektuje morální a mravní aspekty tzv. ekologické problematiky. V současnosti jde o jedno z nejintenzivněji se rozvíjejících etických odvětví. Souvisí to se situací naší planety. Dnešní svět nemůže být mravný a současně lhostejný k problémům životního prostředí, na nichž se, často ne nevýznamnou měrou, lidstvo podílí. A vazba na globalizaci a technologickou civilizaci je zřejmá. Pokrok těchto etických koncepcí spočívá v přijetí problémů (někdy nazývaných také ekologickou krizí) jako faktu, na nějž je třeba reagovat. (Jemelka 1999, Jemelka 2008, Vaněk 2005)

2.5.1 Nové pojetí odpovědnosti

S myšlenkou, že příroda je svěřena člověku a svou existencí vyvolává nezbytný morální nárok na náležité spravování jako „účel o sobě“, přichází poprvé německý filosof Hans Jonas ve své knize Princip odpovědnosti - pokus o etiku pro technologickou civilizaci (Jonas, Hans: Princip odpovědnosti. Praha: Oikúmené, 1997). Do té doby, byla tato hodnota připisována pouze člověku a lidské oblasti. V důsledku rozvoje přírodních věd se nacházíme v historicky nové situaci. Naše zásahy do přírody jsou tak obrovské, že mohou vést ke zničení života na celé planetě. To si žádá rychlou a radikální změnu v myšlení a přístupu k přírodní realitě.

Jonas proto vytváří nový kategorický imperativ: „Jednej tak, aby účinky tvého jednání byly slučitelné s trváním skutečně lidského života na Zemi.“ Podle něj můžeme dát všanc vlastní život, ale nemáme právo ohrozit život lidstva v budoucnosti. Proč tomu tak je lze teoreticky zdůvodňovat velmi obtížně, bez náboženství je to zřejmě nemožné. Jonasův imperativ k tomuto faktu přistupuje jako k axiomu. Za hlavní nepovažuje logickou nevývratnost imperativu, ale jeho kategoričnost. To s sebou přináší také nové pojetí odpovědnosti. Krom odpovědnosti za důsledky svého jednání je zde odpovědnost za věc samotnou, která si žádá individuální jednání.

Imperativ mění časovou určenost z univerzální na budoucí. V nové podobě se v tomto pojetí objevuje i zlo. Poprvé je kolektivní a anonymní.

Předmětem nové odpovědnosti je budoucí lidstvo a podmínky pro jeho existenci - příroda a Země. Týká se věcí pomíjivých a proměnlivých a lze ji tedy označit za morálku vůči chřadnoucímu. Dostatečné informace a vědění vůbec se stávají nezbytností, morálním závazkem. Klíčovým prvkem pak je motiv strachu - strach o předmět odpovědnosti. (Adamová 1998, Vaněk 2005)

2.5.2 Enviromentálně filosofické teorie

Jednou ze zásadních otázek enviromentálně filosofických teorií, kromě vztahu člověka k prostředí, je také lidské postavení v přírodě jako celku. Podle přístupu k tomuto problému lze jednotlivé teorie zařadit k několika postojům:

Antropocentrismus redukuje přírodu na nezbytný prostředek k přežití lidstva, její hodnota je odvozena od užitečnosti pro člověka. Kvůli svému užšímu rozsahu bývá označován za tzv. mělkou ekologii, která neřeší kořeny problémů. Kritiky bývá někdy označován jako lidský „šovinismus“ vůči světu přírody. Toto pojetí problematiky je schopno pádnější argumentace v diskusi a oslovení širší veřejnosti. Zároveň ale můžeme najít teoretiky, uznávající výsadní postavení člověka v přírodě, ale zároveň ho spojují s odpovědností, kterou díky tomu lidstvo má vůči svému okolí. Tak mohou vznikat zajímavá a často velmi přínosná díla (Hans Jonas, Albert Gore, Erazim Kohák, Hana Librová).

Tehocentrismus také uznává zvláštní postavení člověka na Zemi, ale spojuje s ním také zodpovědnost za životní prostředí. Vše na Zemi je ale vztaženo ne ke člověku, ale k Bohu jako tvůrci a „vlastníku“, kterému se člověk za své činy zodpovídá (křesťanství, judaismus, islám).

Biocentrismus vnímá přírodu a život na zemi jako jeden celek hodnotný sám o sobě, z něhož by se člověk neměl vyvyšovat. Pod tuto hlavičku můžeme zařadit i některá specifitější pojetí :

- Etika Země (Aldo Leopold) klade důraz na rovnováhu a volnou přírodu. Snaží se směřovat k ochraně integrity, stability a krásy biotického společenství.
- Hlubinná ekologie (Arne Naess) jde dál než etika Země, všechny živočišné druhy podle ní mají stejná práva a žádný (včetně člověka) nemá právo zasahovat do životního prostředí na úkor jiného. Obdobné principy lze najít v holismu (A. N. Whitehead)

- Ekoanarchismus (M. Bookchin, J. P. Clark, J. Cetyl, S. Hubík, J. Šmajš) navazuje na hlubinnou ekologii. Odmítá industriální civilizaci a hierarchické mocenské uspořádání. Navrhuje malé hospodářsky autonomní komunity se sníženým tlakem na okolní prostředí a skromný, nedestruktivní životní styl.
- Problematika vztahu ke zvířatům se snaží o důstojné chování ke zvířatům. Řeší otázky experimentů na zvířatech (Tom Regan) a ve vyhraněnějších teoriích se snaží obhájit pro zvířata stejná práva jako pro člověka (Peter Singer).
- Eko-feministické hnutí vidí paralelu mezi útlakem žen a útlakem přírody (plyne z dominance tzv. maskulinního typu kultury, odcizeného přírodním kontextům, pragmatického a necitlivého vůči alternativám). Snaží se o odstranění všech forem útisku a proto jejich teorie zahrnují jak feministní, tak ekologickou perspektivu.
- Albert Schweizer formuloval etiku úcty a neomezeně rozšířené odpovědnosti ke všem formám života (až po nejnížší). Pokud již má člověk užívat něco z živé přírody, pak jen v nejnutnější míře a s vědomím své viny. Etické rozhodnutí v konkrétní situaci je vždy věcí jednotlivce.

Ekocentrismus je založen na pohledu na ekosystém, kde neživé věci jsou nutné pro živé organismy, a celek je hodnotnější než jeho jednotlivé součásti. Patří sem:

- Teorie vycházející z pojetí Země jako jednoho organismu (R. Kirkpatrick: hypotéza numulosféra, J. Lovelock: hypotéza Gaia).
- „Ekofilosofie“ H. Skolimowského, charakterizovatelná následujícími body: životně orientovaná, duchovně živá, rozumějící a globální, ekologicky uvědomělá, zaměřená ke kvalitě života, politicky bdělá, tolerantní k „transfyzikálním“ fenoménům, zabývá se lidskými hodnotami a přírodou, moudrostí, otázkou dobrého života společnosti, zaznívá v ní individuální odpovědnost a její úsilí o pozitivní zdravý smysl má kosmický rozměr.

(Bryant 2005, Hála 2000, Jemelka 1999, Jemelka 2008, Kohák 2002, Vaněk 2005)

2.5.3 Ideologie problému prostředí

Řešením současné situace není jednoznačné následování jedné z výše uvedených teorií, ale snaha vyhnout se vyhraněným přístupům a nalézt rovnováhu v oblasti zájmů. Jednou z těchto snah je představa tzv. biofilní transformace kultury. Má vést ke zmírňování opozice civilizace vůči přírodě výchovou a osvětou, změnou životního stylu, ale i technologické praxe a politického prostředí. Tento projekt dal vzniknout třem odlišným komplexním přístupům k problematice životního prostředí, tzv. ideologiím problému prostředí:

Ideologie hlubinné ekologie je založena na biocentrismu, změně hodnot, morálky, formulaci kvality života jako odmítání konzumního stylu života a významu lokálních komunit (decentralizaci) a permakultuře - trvale udržitelném zemědělství. Usiluje o znovuzískání původního řádu a harmonie přírody. Životní prostředí je vnímáno jako jeden ekosystém, jeden celek (biosféra,

Gaia) a současná situace vede k překročení kapacity ekosystému a ztrátě jeho stability a funkčnosti. Otázkou je, zda k proměně společnosti povede individuální změna životního stylu jednotlivců nebo kolektivní politická akce.

Ideologie technologického růstu (např. chicagská škola sociální ekologie: R.E. Park, E. Bugess) vidí východisko současné situace v nových, maximálně účinných technologiích využívání přírodních zdrojů, volném trhu a společnosti schopné seberegulace. Vývoj společnosti se odráží v růstu kontroly nad přírodou, ta je chápána jako zdroj či objekt, k jehož využívání má člověk právo. Problémy životního prostředí chápe pouze jako fikci environmentalistů a odmítá jejich reálné podklady i jakákoli řešení. Problémem je pouze neefektivita těžby zdrojů.

Ideologie ekologické modernizace je založena na principu trvalé udržitelnosti. Snaží se sloučit ekonomický růst a řešení ekologických problémů s pomocí technologických a organizačních inovací. Cílem je minimalizace spotřeby zdrojů a škodlivých vlivů díky šetrnějším a promyšlenějším bezodpadovým technologiím (mj. také recyklačním), kompromisu mezi zdroji surovin a lidskými nároky a změna stylu výroby i spotřeby. Příroda není pouze zdrojem, ale životním prostředím pro člověka a na zdravé životní prostředí by měl mít právo každý člověk. Současné problémy jsou vnímány jako degradace prostředí a snižování jeho obyvatelnosti. Důležité je zahrnutí ekologických parametrů do ekonomických aktivit. (Bryant 2002, Jemelka 2008, Kohák 2002, Vaněk 2005)

2.5.4 Trvale udržitelný rozvoj

Současná přímá poškození životního prostředí jsou nepřehlédnutelná:

- znečištění pevniny i vod (odpadní produkty, chemikálie jako DDT, ropa)
- úhyn živočišných druhů (znečištění až zánik životního prostředí, cílený lov)
- globální změny klimatu (kácení pralesů, nárůst produkce CO₂, skleníkový efekt, tání ledovců, freony, ztenčování ozonové vrstvy)

To vede k častějším a intenzivnějším debatám a snahám situaci řešit preventivně. Často je třeba zohlednit v argumentaci také politické a ekonomické stránky problému. Takové snahy s praktickými návrhy konkrétních projektů a s posouzením rizik a ohrožení mají zpravidla vyšší šanci na realizaci. Vyvrcholením snah týkajících se omezení globálních změn klimatu je přijetí Kjótského protokolu o snížení emisí CO₂ roku 1997. Jeho slabinou je, že se odmítly připojit Spojené státy americké.

Zřejmě nejkomplexnější současnou koncepcí je tzv. trvale udržitelný rozvoj. Jde o takový způsob rozvoje, který uspokojuje potřeby přítomnosti, aniž by oslaboval možnosti budoucích generací naplňovat jejich vlastní potřeby. Na počátku byla studie Světové komise pro životní prostředí a rozvoj (WCED) OSN z 80. let Naše společná budoucnost. Jejimi cíli bylo prozkoumat stav životního prostředí, vytvořit návrhy na zlepšení situace a zvýšit zájem o životní prostředí. Výsledkem bylo vytvoření šesti principů formulujících trvale udržitelný rozvoj:

1. Princip kulturní a sociální integrity rozvoje: nesmí spoléhat na pomoc zvenčí, ale

vycházet zevnitř.

2. Ekologický princip: rozvoj je přizpůsoben přírodním podmínkám, obsahuje druhovou pestrost a využívá trvale udržitelných forem využívání zdrojů.
3. Princip solidarity: rozvoj zajišťuje základní životní potřeby a podmínky pro všechny, podporuje rovnost druhů.
4. Emancipační princip: rozvoj podporuje sebedůvěru, místní kontrolu zdrojů a posílení účasti lidí aktivních a neprivilegovaných (i z okraje společnosti).
5. Princip nenásilí: rozvoj je mírový (absence fyzického násilí i tlaku společenských institucí).
6. Princip malých (přátelských) chyb: rozvoj dovoluje jen takové chyby, které neohrozí integritu ekosystému a základny zdrojů.

Zůstává otázkou, zda je možné sloučit termíny trvale udržitelný a rozvoj s ohledem na omezené kapacity přírodních zdrojů. Proto bývá někdy (zejména mezi ochranáři) používán raději výraz trvale udržitelný život. (Bryant 2002, Jemelka 1999, Kohák 2002)

3 NANOTECHNOLOGIE

Termínem „nano“ vyjadřuje v praxi jednu miliardtinu (10^{-9}) základní jednotky. Výrazu nanotechnologie se začalo používat pro jevy, techniky, zařízení nebo struktury, které odpovídají úrovni nanometrů - jedné miliardtině metru. Jde de facto o rozměry atomů a molekul. Klasickou technickou definicí je omezení rozměrů na 1 nm až 100 nm. A protože se celý hmotný svět skládá z atomů a molekul, bylo třeba nanotechnologii specifikovat úžeji, musí splňovat následující podmínky:

1. Alespoň jeden rozměr nebo svou vnitřní strukturu mají v intervalu 1 nm až 100 nm (0,001 μm až 0,1 μm).
2. Využívají fyzikálních či chemických vlastností na úrovni atomů a molekul, čímž vznikají neobvyklé charakteristiky v porovnání se stejným materiálem či systémem bez složky s nanorozměry.
3. Mohou být kombinovány k vytvoření větších struktur s důsledky do makrosvěta.

(Hošek 2010, Ježek 2008, Moudrá 2006, Prnka 2006, Rimpelová 2009)

3.1 Historie

Přesto, že se nanotechnologie považuje za obor nový, byl tento typ jevů využíván již mnohem dříve. Jde o tvary krystalů různých minerálů, způsobené změnou vnitřního uspořádání na molekulové a atomové úrovni při vhodných výrobních podmínkách. Řada organismů využívá ve svém životě nanostruktur.

Příkladem lidské tvorby z období před oficiálním rozvojem nanotechnologií jsou následující:

- Saze obsahují amorfni nanočástice uhlíku o velikosti 10 nm až 500 nm. Vznikají při nedokonalém spalování látek.
- Římské poháry (4. stol. n. l.) ze sodno-vápenatého skla obsahující nanočástice slitiny zlata a stříbra. Ty způsobují jeho odlišné zbarvení (od zelené po temně červenou), které závisí na jeho osvětlení.
- Glazovaná keramika (13. - 16. stol. n. l.) obsahuje v kovovém filmu (200 nm až 500 nm širokém) na povrchu nádob stříbrné nanokrystaly, které vyvolávají lesk.
- Roku 1861 popsal Thomas Graham první koloidní systém s částicemi velkými 1 nm až 100 nm.
- Vytvrzování hliníkových slitin stárnutím (1906 Wilm), využívané při výrobě žárupevné nízkolegovné oceli, je způsobeno vznikem nanoprecipitátů karbidu vanadu.
- Technika černobílé fotografie je založená na halidech stříbra, které se po expozici rozkládají na stříbrné nanočástice.

- Metoda Langmuir-Blodgettové (1930) k výrobě tenkých monomolekulárních filmů je dnes klasifikována jako nanotechnologie.
- Nanočástice jsou využívány v katalytických procesech. Nejznámější zeolity s póry 2 nm až 100 nm jsou užívané od roku 1959.

První termínem, kterým je popisována manipulace na molekulární úrovni, je „molekulární inženýrství“ z 50. let 20. století. Jeho autorem je elektroinženýr von Hippel z Technického institutu v Massachussetts.

Oficiálně je za tvůrce myšlenky využití nanotechnologií považován americký fyzik a nositel Nobelovy ceny Richard Feynman. Dne 29.12. 1959 přednesl na výročním zasedání *American Physical Society v California Institute of Technology (Caltech)* v Pasadeně v USA přednášku „*There's Plenty of Room at the Bottom*“. Vyjádřil v ní možnost vytváření materiálů a mechanismů na úrovni atomů a molekul s tím, že příroda takto pracovat umí. Podmínkou pro to je technika, která s takto malými částicemi bude schopná pracovat.

Na výše zmíněné průkopníky navázal K. E. Drexler pracemi o možnosti využití proteinů jako základních stavebních částic v molekulárních nanotechnologiích, jak pojmenoval technologie vyrábějící na úrovni molekul. Postupem času se vzhledem k velikosti molekul (řádově nanometry) vžil název nanotechnologie. Ten jako první použil roku 1974 Taniguchi při popisu výrobní a měřicí techniky s rozlišením v nanometrech.

Od roku 1960 postupně vznikají metody tvorby nanočástic či fotolitografické metody. Zásadní pokrok přinesl objev Scanovacího (rastrovacího) tunelového mikroskopu (STM) a mikroskopu atomových sil (AFM) v 80. letech minulého století, který umožnil sledovat a měřit děje až na úroveň jednotlivých atomů. Od té doby exponenciálně roste počet objevů, publikací, patentů a praktického použití nanotechnologií ve všech oborech lidské činnosti. A ačkoli jsou změny prováděny na molekulární či atomární úrovni, nemění chemické složení materiálu a způsobují změny základních vlastností materiálů jako jsou barva, tvrdost, odolnost proti trhlinám a pevnost, elektrická vodivost či teplota tání.

Hošek srovnává rozvoj nanotechnologií s rozvojem významných technických událostmi minulosti - textilní výrobou, železniční dopravou, automobilovým a leteckým průmyslem a mikroelektronikou. Pokud bychom připustili, že mají nanotechnologie stejně výrazný inovační potenciál jako výše zmíněné technologie, odhaduje, že bychom se za čtyřicet let měli dopracovat ke stavu, kdy budou nanotechnologie využívány stejně jako dnes elektronika. (Bhushan 2004, Drummen 2010, Feynman 1991, Hošek 2010, Prnka 2004, Rimpelová 2009, Sahoo et al. 2007, Sikyta 2001, Williams 2007)

3.2 Současné názory na nanotechnologie

3.2.1 Nanotechnologie jako radikální změna

Zastánci revolučního významu nanotechnologií pro současný vývoj a budoucí ekonomiku a společnost navazují na Drexlerovy myšlenky. Ty vedou až k molekulární výrobě z jednotlivých atomů s pomocí „assemblerů“ - zařízení schopných uspořádat atomy do libovolných konfigurací a vytvořit prakticky cokoli, co příroda dovolí. Další vizí jsou samoreplikující se nanoroboti (*nanobots*), schopní likvidovat viry či rakovinné buňky nebo opravovat poškozené tkáně.

Realizací těchto myšlenek se zabývá Drexlerem založený *The Foresight Institute* v Kalifornii. Od roku 2002 také existuje Centrum pro odpovědnou nanotechnologii (*Center for Responsible Nanotechnology*), což je informačně etická organizace, hlásící se k těmto myšlenkám a rozvíjející je. Jejich publikace se zabývají také prevencí nekontrolované samovolné replikace nanorobotů, regulací nanotechnologie, ochraně před zneužitím nanotechnologií či ochraně životního prostředí či globálním rozdělováním bohatství. (Mynushiwalla 2003, Prnka 2004)

3.2.2 Nanotechnologie jako pozvolná evoluce

Většina vědců se ztotožňuje spíše s pozvolným vývojem aplikací nanotechnologií. To je i názor R. E. Smalleye, nositele Nobelovy ceny za chemii z roku 1996 za objev fullerenu. Smalley navíc nesouhlasí s možností realizace assemblerů a nanorobotů, podle něj nejsme schopni vytvořit natolik složitá zařízení v tak malých rozměrech, aby se kolem výrobního místa velikosti několika atomů byla schopna vejít.

Také Americký národní ústav pro výzkum obrany (RAND) zařadil nanotechnologie roku 2011 mezi technologické trendy budoucnosti. Současně však upozornil na značnou multidisciplinaritu oboru a zaostávání studia sociálních a etických aspektů. (Prnka 2004, Smalley 2001)

3.2.3 Komentátoři a kritici nanotechnologie

Do této skupiny patří zejména novináři a autoři populárně vědecké literatury. Zpravidla hodnotí nanotechnologie jako rychle se rozvíjející a různorodou vědu. Dále se zaměřují zejména na specifické oblasti aplikací nanotechnologie a v celkovém pohledu zdůrazňují zejména tři problematické oblasti:

1. Rychlost technologického rozvoje a zaostávající studium souvisejících sociálních aspektů.
2. Možné etické problémy kombinace nanotechnologie a biotechnologie.
3. Potřebu poučit se ze sociálních dopadů předchozích zaváděných technologií (např. genové inženýrství či klonování)

Můžeme však najít i kritiky, kteří rychle postupující vývoj a aplikace nanotechnologií vnímají výrazně negativně a snaží se prosadit přísnou regulaci či zákaz těchto aktivit. (Hošek 2010, Joy 2000, Mynushiwalla 2003, Prnka 2004)

3.2.4 Zastánci nanotechnologie

Důraz na velké potencionální možnosti změny výrobních postupů a výrazný ekonomický efekt nanotechnologií kladou zejména vládní i soukromé a průmyslové organizace. Drží se předpokladu, že nanotechnologie budou novou nastupující vlnou technologie, jako tomu bylo např. u informatiky a biotechnologií. Tomu odpovídá také skutečnost, že více než třicet států Severní Ameriky, Evropy a jihovýchodní Asie zahájilo národní program výzkumu a vývoje nanotechnologií a investují do nich značné finanční prostředky. (Honěk 2006, Hošek 2010, Mynushiwalla 2003, Prnka 2004)

3.3 Oblasti využití nanotechnologií

Nanotechnologie jsou v současnosti nejdynamičtější se rozvíjející oblast vědecké a inovační činnosti. Jejich výzkum a aplikace zasahují do řady oddělených oborů a vědních disciplín, které však lze rámcově rozdělit do následujících oblastí:

3.3.1 Nanoproceny a metrologie

- obecně metody Top down (označované také jako fyzikální či inženýrský přístup) - postup od větších struktur k menším
- mikroskopické techniky (STM, AFM, SEM - rastrovací elektronový mikroskop, HRTEM - elektronový transmisní mikroskop s vysokým rozlišením), litografické techniky (foto, e-, iontová, laserová), nanoobtiskové techniky, procesy samoorganizace
- vysokorychlostní modelování genomu (firmy Intel, Comaq a Celera spolupracují na stavbě 100 gigaflopového proteomického analytického počítače)

(Honěk 2006, Hošek 2010, Prnka 2004)

3.3.2 Materiálové a chemické inženýrství

- obecně metody Bottom up (nazývané také chemické metody) - tvorba větších a složitějších struktur z menších základních prvků - atomů, molekul či makromolekul
- výzkum a vývoj nanokompozitů, ořezuvzdorných a ohnivzdorných polymerů, metody přípravy vrstev
- numerické simulace, analýza chování nanomateriálů
- biosenzory
- sol-gel procesy
- textilie odolávající vodě, špíně a mačkání, kosmetické přípravky

(Hošek 2010, Prnka 2004, Sahoo et al. 2007)

3.3.3 Nanoelektronika a nanomechatronika

- konstrukce elektronických prvků s nanorozměry
- elektronika s využitím nanomateriálů (firma Intel plánuje výrobu tranzistorů pro výrobu 10 GHz čipů)
- nanoelektromechanické systémy (NEMS)
- kvantové počítání
- nanomagnetismus, spintronika, nanofotonika

(Honěk 2006, Hošek 2010, Kavka 2009, Kuno 2005, Prnka 2004, Prnka 2006, Sahoo et al. 2007)

3.3.4 Bionanotechnologie a biomedicína

- biomolekulární inženýrství, biomolekulární stroje
- biomimetické struktury a stroje
- MEMS (mikroelektromechanické systémy) a nanozařízení pro separaci fragmentů DNA (deoxyribonukleová kyselina) a rychlostní sekvencování
- vývoj a doprava léčiv
- zlepšení bioaktivity a biokompatibility implantátů
- bionanosenzory

(Hošek 2010, Kavka 2009, Prnka 2004, Prnka 2006, Rabišková 2008, Sahoo et al. 2007)

3.3.5 Energetika a oblast životního prostředí

- obohacování automobilových a leteckých paliv s cílem snížení jejich spotřeby
- využití uhlíkových nanotrubic pro uskladňování vodíku pro palivové články
- biodegradabilní chemické látky určené pro pěstitelství a ochranu proti hmyzu
- odstraňování ultrajemných nečistot z biologických odpadů jejich zapouzdřováním
- čištění odpadních vod od těžkých kovů, pesticidů či mikroorganismů

(Kavka 2009, Kuno 2005, Prnka 2004, Prnka 2006, Sahoo et al. 2007)

3.4 Komerční využití nanomateriálů

K desátému březnu letošního roku (2011) je na trhu více než 1 300 výrobků, obsahujících cíleně vyráběné nanostruktury (www.nanotechproject.org/news/archive/9231/). Tento přehled pravidelně uveřejňuje na svých webových stránkách *The Project on Emerging Nanotechnologies*. Prezentace produktů a pokroků v nanotechnologiích probíhá mimo jiné každé dva roky na mezinárodní konferenci EuroNanoFórum. Letos proběhne již pátý ročník. Z hlediska komerčního využití můžeme produkty nanotechnologie rozčlenit na čtyři generace. První z nich je již běžně komerčně využívaná, druhá se v současnosti začíná komerčně využívat. Další produkty jsou stále ve výzkumu a jejich dostupnost na trhu lze podle Hoška očekávat během následujícího desetiletí

(3. generace) či ve třetí a čtvrté dekádě 21. století (4. generace). (Bluma 2005, Hošek 2010, Petráš 2009)

3.4.1 První generace produktů nanotechnologií

Jde o pasivní nanostruktury založené na základních materiálových vlastnostech (povlaky tenkých vrstev, nanokompozity, nanočástice katalyzátorů a další):

- povrch řezných nástrojů (vrstvy ke zvýšení odolnosti a snížení pasivních sil)
- povrch implantátů (biokompatibilní vrstvy)
- funkční vrstvy technické optiky
- materiál nákladových prostorů užitkových automobilů, olejových van motorů, palivových čerpadel, draků ultralehkých letadel, interiérového obložení, pryží pneumatik (polymerní nanokompozity)
- aditiva nafty snižující spotřebu i uhlíkové emise
- tenisové rakety, golfové a tenisové míčky, superlehká cyklistická kola, helmy či lyže, rychleschnoucí plavky, plavky s minimálním odporem vody a sportovní oblečení obecně (nanokompozity)
- sanitární účely, skladování potravin, antibakteriální oblečení, samočisticí povrchy, nanotextilní filtry a katalyzátory, aditiva spalovacích procesů, nanokapaliny k dekontaminaci půd či podzemních vod (antibakteriální materiály)
- nanočástice přidávané do kosmetiky (opalovací krémy), léčiv či potravin (zlepšení vzhledových, chuťových a nutričních parametrů)

(Ježek 2008, Kubátová 2010, Honěk 2006, Hošek 2010, Prnka 2004)

3.4.2 Druhá generace produktů nanotechnologií

Jde o aktivní nanostruktury plnící složitější funkce.

- čtecí magnetické hlavy disků, MRAM (magneto-odporová paměť)
- tranzistory, LED diody (diody emitující světlo), kondenzátory
- kvantové tečky
- solární články
- optické materiály s proměnlivými vlastnostmi, CNT-FED displeje (obrazovky na principu polní emise vytvořené z uhlíkových nanotub)
- aktuátory - vrstvy či vlákna MWNT a grafénu reagující na teplotu či vlhkost změnou tvaru nebo délky
- zásobníky plynů
- materiály k cílené dopravě léčiv na principu molekulárního rozpoznávání
- vícevrstvé částice léčiv s postupným uvolňováním
- biosenzory

- neodlepitelné biodegradabilní chirurgické náplasti na principu přilnavosti nanostrukturního povrchu chodidel gekona

(Hošek 2010, Prnka 2004)

3.4.3 Třetí generace produktů nanotechnologií

Jde o 3D aktivní systémy nanoelektroniky, nanomechaniky, biomimetické materiály a jednoduché organické stroje. Vývoj probíhá v následujících oblastech:

- samoorganizace
- replikace nanomateriálů
- nanostroje různých funkcí (orbitální výtah, mechanické paměti s obrovskou kapacitou, generace elektrického proudu)
- „inteligentní materiály“ - oblečení schopné generovat elektrický proud, monitorovat zdravotní stav člověka pomocí biosenzorů, obsahovat zabudované „nanosvaly“ na principu aktuátorů, velmi tenké, ale odolné proti teplotě, chemickým účinkům nebezpečných látek či radioaktivitě, materiály s proměnlivými optickými vlastnostmi (např. opticky a akusticky neviditelné materiály)

(Drexler 1987, Hošek 2010, Moudrá 2006)

3.4.4 Čtvrtá generace produktů nanotechnologií

Jedná se o nanosystémy molekulárních strojů s konstrukcí na úrovni atomů a molekul s obdobnými vlastnostmi jako živé organismy. Budou využívány k různým účelům, molekulárně upravovány a recyklovány po skončení jejich životnosti. Budou schopny produkovat organické látky, plyny (kyslík, methan), bioelektrinu, ropné produkty, rozkládat organické i anorganické materiály, opravovat biologické tkáně a destruovat živé (např. rakovinné) buňky.

Podmínkou vzniku takovýchto zařízení jsou technologie s atomovou přesností a opakovatelností (např. AFM mikroskop) a současně umožňující hromadnou výrobu. Je pravděpodobné, že k výrobě takovýchto nanostrojů bude třeba využít samosestavovacích principů na bázi tvorby DNA či RNA, ať již bez či s možností vlastní samoreplikace (nanoboti). Tyto technologie se někdy (zejména ve Velké Británii) nazývají „extrémní nanotechnologie“.

V současnosti již byla realizována genetická modifikace nanostruktur živých buněk (rozsivek) tak, aby své schránky vytvářely z TiO_2 namísto z původního SiO_2 . (Drexler 1987, Hošek 2010, Prnka 2004)

3.5 Metody metrologie nanostruktur

Abychom se mohli věnovat studiu částic o rozměrech nanometrů, musíme mít přístroje s dostatečným rozlišením. Lidské oko rozezná detaily do cca 0,3 mm. Od roku 1608, kdy byl Holanďany Hansem a Zachariasem Jansenem představen první mikroskop, se jeho rozlišení stále

zmenšovalo. Vývoj elektronového mikroskopu s atomovým rozlišením trval od 30. let 20. stol. (první myšlenka Ernst Ruska) až k přelomu 20. a 21. století, kdy již tohoto rozlišení bylo dosaženo i jinými metodami.

- Iontový autoemisní mikroskop (FIM - *Field Ion Microscope*, 1951: Erwin Wihlem Müller) byl vůbec prvním přístrojem, který dosáhl atomového rozlišení (až 0,1 nm). Lze jím však pozorovat pouze těžko tavitelné materiály z důvodu přítomnosti intenzivního elektrického pole. Ve spojení s polohově citlivým detektorem PSD (*Position Sensitive Detector*) se nazývá TAP-FIM (*Tomographic Atom Probe Field Ion Microscope*) a slouží k trojrozměrné rekonstrukci hrotu vzorku v objemu až 100 000 000 atomů (60 nm x 80 nm x 80 nm).
- Rastrovací (skanovací) tunelovací mikroskop (STM - *Scanning Tunneling Microscope*, 1982: Gerd Binnig a Heinrich Rohrer z IBM) Spolu s Ernstem Ruskou za tento objev autoři získali v roce 1986 Nobelovu cenu za fyziku. Ke stejnému principu, pouze s nižším rozlišením, dospěl roku 1971 také R.D. Young a přístroj nazval Topografínger. Celkově však tento typ mikroskopu lze používat jen pro vodivé vzorky, případně polovodiče, což snižuje jeho praktickou využitelnost.
- Mikroskop atomárních sil (AFM - *Atomic Force Microscope*, 1986: G. Binnig a H. Rohrer) je daleko univerzálnější než předcházející typy. Umožňuje měřit všechny typy atomů ve vakuu, na vzduchu i v kapalině. Obrovskou variabilitu a použitelnost mu dává schopnost měřit síly elektrické, magnetické, adhezní, vazebné, třecí, deformační, kapilární a další.
- Transmisní elektronový mikroskop (TEM - *Transmission Electron Microscope*, 1933: Ernst Ruska) je prakticky využitelný zejména v úpravě s vysokým rozlišením - až 0,08 nm (HRTEM - *High Resolution Transmission Electron Microscopy*). Problémem je analýza biologických materiálů, neboť jejich rozlišení je z důvodu nízkého kontrastu horší minimálně o jeden řád.
- Rastrovací (řadový) elektronový mikroskop (SEM - *Scanning Electron Microscope*) umožňuje také analýzu chemického složení vzorku spektrální analýzou. Jeho variace FIB (*Focused Ion Beam Microscopy*) umožňuje analyzovat povrch a podpovrchové vrstvy vzorku. FIB je také využíván pro tvorbu nano- a mikrostruktur elektronovým (EBM - *Electron-Beam Machining*) či iontovým (IBM - *Ion-Beam Machining*) obráběním nebo pomocí elektronově (EBCVD - *Electron-Beam Chemical Vapor Deposition*) či iontově (IBCVD - *Ion-Beam Chemical Vapor Deposition*) asistované chemické depozice.
- Elektronová tomografie (ET - *Electron Tomography*) umožňuje 3D zobrazení vzorků (např. cytoskeletární vlákna či detaily organel) na úrovni nanorozměrů.
- „Měkká“ rtg. mikroskopie (*Soft X-ray Microscopy*) využívající paprsků s vlnovou délkou 0,5 nm až 5 nm je schopna zobrazovat vzorky s rozlišením 30 nm až 50 nm. Její výraznou výhodou je minimální příprava vzorků (mohou být až 10 μm silné, není třeba je sušit, barvit, fixovat či umístit do vakua). Byla vyvinuta také řada variant této metody, založených na difrakci, transmisí či magnetismu.

- Difrakce rentgenova záření (objeveno roku 1895 Wilhelmem Conradem Röntgenem) na kry-
talové mřížce zprostředkovala první informace o vnitřní struktuře pevných látek. Dnes mají
tyto metody rozlišení 10 nm až 100 nm a jejich použití se omezuje hlavně na jejich experi-
mentální výzkum.

(Honěk 2006, Hošek 2010, Kuno 2005, Prnka 2006)

3.6 Typy nanoobjektů

Existuje množství nanoobjektů a také parametrů, podle nichž je lze třídit. Norma ISO/TS 27687 stanovuje jako základní parametr počet souřadnic, ve kterých daná struktura splňuje interval rozměrů 1 - 100 nm, a dělí nanoobjekty do tří skupin. V rámci skupin lze nanoobjekty dále dělit podle konkrétních morfologických znaků.

3.6.1 0 dimenzionální nanoobjekty (nanočástice)

- Dosahují nanorozměrů ve všech třech souřadných osách.
- samostatné **nanočástice** - většinou jde o nanokrystaly
- vrstvy, povlaky a objemy tvořené z **nanokrystalů**
- **porézní** (leptané) nanomateriály a **nanopěny** (*nanofams*)
- **kvantové tečky** (*quantum dots*) - vykazují charakteristické vlastnosti v závislosti na svých rozměrech, dané kvantovým omezením
- **objemové nanomateriály** a **nanostroje složené z makromolekul**, vykazující specifické vlastnosti

(Drummen 2010, Hošek 2010, Kuno 2005)

3.6.2 1 dimenzionální nanoobjekty (nanovlákná)

- Dosahují nanorozměrů ve dvou souřadných osách.
- **nanovlákná** (*nanofibers*) - obecně protáhlé nanočástice s velikostí ve dvou souřadnicích s nanorozměry a poměrem délky a třetího rozměru větším než 3:1
- **nanopásky** (*nanoribbons*) - nanovlákná přibližně pravoúhlého tvaru, jejichž poměr rozměrů je větší než 2:1
- **nanotyče** (*nanorods*) - přímá plná nanovlákná
- **nanotrubice** (*nanotubes*) - dutá nanovlákná
- **nanodrátky** (*nanowires*) - elektricky vodivá nebo polovodivá nanovlákná
- **kvantové drátky** (*quantum wires*) - nanodrátky, jejichž charakteristické vlastnosti jsou závislé na rozměrech drátu, dané kvantovým omezením
- **pilíře** (*pillars*) - nanotyče nebo nanotrubice rostoucí kolmo k základně

(Hošek 2010, Kuno 2005)

3.6.3 2 dimenzionální nanoobjekty (nanodesky)

- Dosahují nanorozměrů pouze v jedné souřadné ose.
- **tenké vrstvy** (*layers, films*) - povlaky
- **deskovité nanokrystaly**
- **kvantové jámy** (*quantum wells*) - série tenkých vrstev vykazujících charakteristické vlastnosti závislé na rozměrech vrstev, dané kvantovým omezením
- **nanostěny** (*nanowalls*) - dvourozměrné útvary rostoucí kolmo k základně
- **rovinné makromolekuly** - například grafénový list - jedno atomární vrstva grafitu

(Hošek 2010, Kuno 2005)

3.7 Nanomateriály a jejich použití

Využití nanomateriálů je kromě experimentálních účelů rozšířeno do stále rostoucího počtu aplikací. Jedná se zejména o následující materiály:

- kovové nanomateriály (stříbro, zlato, platina a další)
- uhlíkové nanomateriály (diamanty, fullereny, uhlíkové nanotuby)
- nanomateriály anorganických sloučenin (TiO_2 , ZnO , Al_2O_3 , Fe_2O_3)
- nanomateriály pro elektrotechniku (spintronika, nanofotonika)
- vláknité nanomateriály

Zatím nejčastějším prakticky používaným materiálem jsou nanočástice stříbra, zlata a dalších kovů. Druhé nejpoužívanější jsou uhlíkové nanomateriály jako jsou fullereny, uhlíkové nanotuby a nanodiamant. Po nich následují keramické nanomateriály tvořené různými oxidy, polovodiče a další. (Hošek 2010)

3.7.1 Nanočástice stříbra

V současnosti jsou komerčně nejrozšířenější aplikací díky svým elektromagnetickým, katalytickým a zejména antibakteriálním účinkům. Mají též široké využitím v bioaplikacích. Nanočástice lze využívat izolovaně, ale také nanést ve vrstvě na libovolný typ povrchu či aerogelu (zejména SiO_2) či připravovat nanostruktury stříbra libovolných tvarů a funkcí. Využívají se v následujících odvětvích:

- klasické černobílé fotografie (nanočástice stříbra vznikají při vyvolávání)
- p. o. léčiva s nanočásticemi stříbra v koloidních roztocích (98% vstřebatelnost) i tabletech (35% - 45% vstřebatelnost), dostupné jsou jak přípravky s koloidním nanostříbrem, tak přístroje k jeho výrobě
- nanočástice stříbra zevně v mastech či obvazech na hnisavé rány či popáleniny (ActicoatTM - viz. Obr. 1, Aquacel[®] Ag, Contreet[®] Foam, PolyMem[®] Silver, Urgotul[®] SSD)

- do respirátorů
- povrchové úpravy oblečení, textilií, ložního prádla - snížení zápachu produkovaného bakteriemi (ponožky Nanosilver[®], antibakteriální kapesníčky Nanosilver[®])
- pračky vytvářející během praní stříbrné nanočástice (desinfekce prádla i pračky)
- antibakteriální povrchové úpravy plastů, filtrů či výměníku vysavačů, myček, lednic, klimatizačních zařízení, mobilních telefonů, počítačových myši a klávesnic
- antibakteriální spreje, nátěry či čisticí prostředky stejně jako další kovové nanočástice, slitiny a kompozity (AgPt, AgAu, AgCu, AgTiO₂, AgFe₂O₃ a další)
- katalyzátory chemických reakcí
- molekulární senzory, elektrooptické struktury

(Ježek 2008, Hošek 2010, Panyala 2008, Rimpelová 2009)



Obr. 1 Antimikrobní krytí AnticoatTM

(<http://stores.intuitwebsites.com/hstrial-CaCeMedicalSu/Detail.bok?no=4>)

3.7.2 Nanočástice zlata

Historicky nejstarší použití nanočástic při výrobě starověkých skleněných výrobků se specifickým zbarvením. Velikost, tvar (kulový, tetragonální krystalky, protáhlé nanotyče) a koncentraci vznikajících nanočástic určují podmínky zvolené metody výroby. Z tvaru pak vycházejí některé specifické elektrické (elektrická vodivost) a optické (spektrální absorpce) vlastnosti nanočástic. Využití nalézají v následujících aplikacích:

- barevná fotografie založené na nanočásticích zlata - *chryzotypii*, výhodou je dlouhodobá stálost a vysoká rozlišovací schopnost.
- fluorescence nanočástic zlata v kombinaci s organickými markery, identifikace a lokalizace buněk, bakterií a některých organických látek a skupin
- léčba revmatické artritidy (Auranofin) či Alzheimerovy choroby koloidním zlatem
- doprava léků

- katalytické účinky (chemie)
- cílový absorpční materiál při laserové oblační metodě odstraňování nádorů
- hypertermální léčba nádorů
- elektronika - nanosenzory, vodiče, tisknuté elektronické obvody a kontakty, biočipy (mikroorganismy potažené zlatem)
- optika - spektroskopie, polarizátory, nelineární optika, materiály se záporným indexem lomu

V současnosti jsou nanočástice zlata dostupné na trhu. (Choi 2007, Hošek 2010, Panyala 2009, Prnka 2006, Rimpelová 2009)

3.7.3 Nanočástice platiny

- chemie: katalýza reakcí
- tvorba 2D struktur (difraktivní struktury, kvantové tečky, nanoantény, nanoelektrody, senzory, solární články, silné magnety, MEMS)

(Hošek 2010)

3.7.4 Další kovové nanočástice

Zkoumají se zejména nanočástice, nanotyče či tenké desky wolframu, niklu, palladia, india, molybdenu, tantalu a dalších kovů. Vyznačují se vysokou chemickou stabilitou a jsou využívány mimo jiné také jako

- katalyzátory chemických reakcí
- materiál solárních a palivových článků
- materiál elektronických součástek
- MEMS
- materiál s modifikovanými optickými vlastnostmi (difraktivní struktury, kvantové tečky, nelineární optické materiály či metamateriály)
- senzory
- biomarkery

Nanočástice běžných kovů, jako je železo, měď, hliník či kobalt, jsou daleko výrazně reaktivnější a rychle se oxidují (např. nanočástice železa jsou na vzduchu považovány za třaskavinu a je třeba je stabilizovat). Využívají se proto jako:

- katalyzátory rozkladu některých organických i anorganických sloučenin (např. dekontaminace podzemních vod nanočásticemi železa)
- ve slitinách se stabilnějšími kovy či navzájem se chovají jako galvanické monočlánky využitelné opět ke katalýze rozkladu chemických látek (dekontaminace)

(Hošek 2010)

3.7.5 Diamanty

Uhlíkové materiály jsou jedním z nejperspektivnějších nanomateriálů, který má unikátní vlastnosti i v makroskopickém měřítku. Uhlík se v přírodě nachází ve třech modifikacích - diamant, grafit a roku 1967 v meteoritech objevený lonsdaleit. Výroba nanodiamantů se datuje do 80. let minulého století pomocí metody CVD (*chemical vapour deposition*). Dále lze k jejich výrobě využít technologie magnetronového naprašování či působení vysoké teploty a rázových vln tlaku (*Detonation Synthesis*). Vzhledem k ceně čisté diamantové vrstvy či nanodiamantů jsou tyto produkty pro mnoho aplikací nedostupné a proto vznikl materiál DLC (*Diamond Like Carbon*). Jde o amorfní směs diamantu a lonsdaleitu, ale i grafitu a dalších uhlíkových fází a uhlovodíků. Vlastnosti odpovídají zhruba korundovým vrstvám. Využití nanodiamantů a vrstev diamantů i DLC je v následujících oblastech:

- aditiva pro zvýšení tuhosti, odolnosti a pasivního odporu (plniva pneumatik, automobilové laky, ozubení, řezné nástroje a povrchy obecně)
- nanotekutiny se sníženým pasivním odporem (lubrikanty ve strojních a motorových olejích)
- nanotekutiny absorbující UV záření (opalovací a ochranné krémy)
- biokompatibilní materiály (čepelě skalpelů, povrchy bioimplantátů)
- transport v organismu (molekuly DNA, léčiva proti nádorovým onemocněním, bioreceptory vážící viry, biočipy)
- elektronika - elektroizolační vrstvy, chlazení elektronických součástí, s přísadkou dusíku a boru výroba „P“ a „N“ přechodů se schopností luminiscence, MEMS

(Hošek 2010, Vaněček 2005)

3.7.6 Fullereny

Jde o souhrnný název pro množství makroskopických forem uhlíku složených z uhlíkových řetězců nebo jeho cyklických struktur se sudým počtem uhlíků (od C_{20}) a nejčastějším obsahem molekul C_{60} a C_{70} . Jejich objev (Harold Krot 1985) byl roku 1996 oceněn Nobelovou cenou za chemii. Tvar fullerenů je v případě 60ti atomů nejstabilnější a nejpravidelnější - ikosaedrický s kulovým povrchem jako fotbalový míč s průměrem 0,706 nm (viz. Obr. 2). Výšeatomární struktury mají povrch více či méně deformované koule.



Obr. 2 - Struktura fullerenu C_{60} (<http://www.zschemie.euweb.cz/uhlik/uhlik2.html>)

Fullereny (a všechny uměle připravené uhlíkové nanomateriály) jsou syntetizovány z tzv. *grafěnu*. Jde o rovinnou monovrstvu sítě uhlíkových atomů spojených do šestiúhelníků vazbami sp^2 .

Fullereny jsou elektrofilní a přijímají až šest elektronů, díky čemuž snadno reagují s řadou molekul. V krystalické formě jde o tzv. *fullerit*. Chemickými reakcemi mohou vznikat jak malé molekuly uzavřené dovnitř do fullerenu (endohedrální fullereny), tak polymery fullerenů a sloučeniny fullerenů s anorganickou či organickou částí (organofullereny). Fullereny i jejich deriváty jsou v současnosti komerčně dostupné (např. americká společnost SES Research). Využití fullerenů je pro jejich vlastnosti široké:

- z fulleritu se vytváří syntetické diamanty a diamantové vrstvy
- optoelektronické materiály
 - solární články z polymer fullerenových kompozitů, výroba je snadná a levná, články jsou ohebné, ale dlouhodobě nestabilní a s účinností jen 3 % až 5 %
 - LED diody
- lékařství - ve stádiu vývoje
 - specifická léčiva vážící se na receptory buněk či virů, kde zablokují funkce vybraných enzymů a buňku zlikvidují
 - léčba nádorových onemocnění prostřednictvím toxické molekuly, které působí jen v místě účinku díky uzavření do fullerenu
 - zobrazovací metody na principu kovů uzavřených uvnitř fullerenu (metalofullereny značené „kov“@ C_x)
 - maziva s výbornými lubrikačními vlastnostmi ($C_{60}F_{60}$)

(Buřičová 2007, Honěk 2006, Hošek 2010, Kavka 2009, Král 2006, Prnka 2006, Rimpelová 2009, Williams 2007, Wolf 2006)

3.7.7 Uhlíkové nanotuby

Uhlíkové nanotuby (CNT - *Carbon NanoTube*) mají obrovskou pevnost v tahu, vysokou elektrickou a tepelnou vodivost, vysokou tepelnou odolnost, vysokou mechanickou poddajnost

(v závislosti na typu a rozměru nanotuby). Dle struktury jde o vodiče či polovodiče s průměrem 0,6 nm až 2 nm (nemusí být po celé délce stejný) a délkou až k centimetrům. Mohou být jednovrstvé (SWNT - *Single Wall NanoTube*), dvouvrstvé (DWNT - *Double Wall NanoTube*) i vícevrstvé (MWNT - *Multi Wall NanoTube*) a na koncích jsou často uzavřené polovinou fullerenu. Objeveny byly profesorem Sumio Iijimou roku 1991, ačkoli první nanotuby vytvořil zřejmě již v 70. letech. Jednovrstvé uhlíkové nanotuby jsou od roku 2002 dostupné na trhu a dnes je vyrábí množství firem (Carbon Nanotechnologies, Inc., USA; Nanoleedge S. A., Francie; Nanostructured & Amorphous Materials, Inc., USA).

Často jsou z nich vytvářeny kompozitní materiály (s polymery, kovy, keramikou) za účelem zlepšení elektrické a tepelné vodivosti či zvýšení absorpce dopadajícího záření. Uhlíkové nanotuby se využívají v těchto oblastech:

- konstrukční (polykompozitní) materiály
 - v automobilovém a leteckém průmyslu (materiál Ultraform N2320C)
 - ke konstrukci sportovního náčiní (tenisové rakety VS Nanotube Power a VS Nanotube Drivemade společnosti Babolat VS North America, Inc., hokejky Synergy SL a řídítka jízdních kol Zyvex's NanoSolve™ americké společnosti Easton Sports, Inc.)
- NEMS
 - materiály a fólie k elektromagnetickému stínění a elektrostatické ochraně citlivé elektroniky
 - flexibilní solární články, maticové snímače záření (fotodetektory pro vlnové délky 350 nm až 2 500 nm)
 - nanodiody z polovodivé a kovové jednovrstvé nanotuby (pouhým překřížením dvou nanotub vznikne přechod s vodivostí závislou krom napětí a teploty také na podmínkách v místě překřížení)
 - zkoumány přechody ve tvaru Y, T (3 nanotuby) a X (4 nanotuby)
 - přechody i na bázi spojených rovinných i stočených grafénoých listů
 - hroty AFM mikroskopů (japonské společnosti Seiko Instruments, Inc. a Daiken Chemical Co., Ltd., americká Piezomax, Inc.)
 - konstrukce pamětí počítačů s obrovskou hustotou informací (nanotuba s uzavřeným fullerenem, jehož polohu lze řídit)
 - mohou se používat do plochých panelových obrazovek, žárovek, panelových luminiscenčních lamp, plynových výbojek, generátorů rentgenova záření, elektronových trysek skenovacích elektronových mikroskopů příští generace a transmisních elektronových mikroskopů
- senzory pro detekci chemických plynů v okolním prostředí či dýchacích přístrojích (firma Nanomix, Inc.)

- nanoteploměř - analogie rtuťového teploměru: nanotrubice naplněna galiem, které na základě své tepelné roztažností mění svou pozici v nanotubě
- farmacie (uzavření molekul léčiv do nanotub, jejich transport a cílené uvolňování, potenciální léčba neurodegenerativních chorob jako je Parkinsonova choroba či roztroušená skleróza)
- vlákna a provazce z uhlíkových nanotub o průměru až 10 μm a pevnosti až 1 GPa (což odpovídá požadavkům na materiál k sestrojení tzv. vesmírného výtahu, o jehož konstrukci uvažuje NASA)
- papír z uhlíkových nanotub (buckypaper) s vysokou elektrickou i tepelnou vodivostí (filtrační materiál, materiál elektrod, katalyzátory a kondenzátory, tepelně a elektricky vodivé materiály)
- aktuátory
 - vrstvy či vlákna MWNT a grafénu, které reagují změnou tvaru či délky na teplotu a vlhkost
 - roku 2009 byl publikován CNT sval z vláken MWNT a aerogelu s pevností srovnatelnou s ocelí a schopností změnit svou délku až o 220 % v závislosti na změnách teploty (v rozsahu 1 800 $^{\circ}\text{C}$), lze předpokládat makroaplikace jako posilující oblečení pro rehabilitaci a tělesně postižené, záchranáře či vojenské účely

(Bhushan 2004, Honěk 2006, Hošek 2010, Kavka 2009, Prnka 2006, Rimpelová 2009, Wolf 2006)

3.7.8 Kompozitní nanotuby a obdobné materiály

Nanotuby a struktury typu fullerenů nemusí být nutně pouze z uhlíku. Byly připraveny i nanotuby obsahující uhlík, bor a dusík, uhlík a bor, uhlík a dusík či bor a dusík. Předpokládá se i existence stabilních borových nanokroužků (B_{20} , B_{24}), fullerenů (B_{44} , B_{65} , B_{72} , B_{80} , atd.), nanotub a dalších nanostruktur. Byly už připraveny i nanotuby sulfidu wolframu a molybdenu. (Hošek 2010)

3.7.9 Nanomateriály oxidu titaničitého

Ne zcela stechiometrický poměr v molekule oxidu titaničitého (přibližně $\text{TiO}_{1,99}$) dává tomuto materiálu mnohé zvláštní vlastnosti

- část atomů titanu je trojmocná a část čtyřmocná a materiál se chová jako polovodič
- povrch materiálu je po vystavení záření s vlnovou délkou 415 nm či nižší antibakteriální a samočistící (vlivem vzniku aktivních radikálů typu O^{\cdot} , O_3^{\cdot} , OH^{\cdot} a dalších), tyto vlastnosti mají ještě zvýšené nanokompozity se stříbrem či mědí
- schopnost zachycovat těžké kovy a přitahovat bioorganismy
- změna povrchu na hydrofilní po ozáření UV světlem (změna smáčivosti), vlastnosti zachovává i několik dní po ozáření

Z toho lze odvodit následující praktické aplikace těchto materiálů:

- elektroda pro fotoelektrochemickou elektrolýzu vody či dalších látek
- samočistící a antibakteriální povrchy (skla, pouliční lampy, vzdušné a vodní filtry, čistírny, dlaždice firmy Rako), laky či nátěrové hmoty (barvy Detoxy Color firmy Rokospol a. s.)
- hydrofilní vrstvy skel, zrcadel či brýlí (voda na nich místo kapiček utváří souvislou vrstvu)
- solární články (většího povrchu TiO_2 se dosahuje formou nanokrystalů, nanotyčí či nanotub, citlivosti na širší spektrum záření příměsí organických barviv s ionty např. Ru, zinku, hliníku)
- vysokokapacitní baterie (s příměsí lithia)
- senzory pH a různých plynů na principu změny vodivosti materiálu
- nanočástice TiO_2 v kosmetických výrobcích (pleťové krémy, opalovací pleťové vody a krémy)
- zkoumá se využití nanočástic TiO_2 (a ZrO_2) při čištění odpadních vod
- zkoumá se jejich využití v léčbě rakoviny, nevýhodou je, že nejsou biodegradabilní a mohlo by docházet ke kumulaci a nežádoucím účinkům

(Hošek 2010, Kahru 2008, Liang 2008, Prnka 2004, Rimpelová 2009, Virender 2009)

3.7.10 Nanomateriály oxidu zinečnatého

Se zvýšenou teplotou se mění stechiometrický poměr ve sloučenině oxidu zinečnatého na Zn_{1+x}O , díky čemuž dochází k vratné změně barvy z bílé na žlutou. Oxid zinečnatý vykazuje vysokou fotoaktivitu (v širším spektru než TiO_2), chová se jako polovodič a je biokompatibilní. Po ošetření tenké vrstvy nanodrátů kyselinou stearovou v etanolu vzniká superhydrofobní povrch. Díky těmto vlastnostem se využívá následujícími způsoby:

- světlo emitující LED diody nebo transistory (vykazuje luminiscenci i za pokojové teploty)
- potencionální materiál pro výrobu levných solárních článků senzibilizovaných barviv
- senzor koncentrace plynů (O_3 , NO_2 , CO , NH_3) na základě změn vodivosti
- MEMS systémy, spintronika
- optické a optoelektrické aplikace
- byl vyroben mikrosoubor k detekci nukleových kyselin, proteinů a buněk
- biokompatibilní a antibakteriální povrchové úpravy

(Hošek 2010, Prnka 2006, Uğur et al. 2010)

3.7.11 Nanomateriály oxidu hlinitého

Vrstvy oxidu hlinitého vznikají přirozeně oxidací kovového hliníku. Jde o materiál s vysokou tvrdostí a nízkým mechanickým opotřebením. Využívá se v těchto oblastech:

- kompozitní (kovové a keramické) konstrukční materiály (lepší mechanické a abrazivní vlastnosti i tepelná vodivost)
- tenké ochranné a funkční vrstvy (řezné nástroje, kluzné plochy)
- abrazivní materiál (brusné a leštící nanokapaliny)
- optické prvky
- MEMS systémy
- katalyzátor (aditiva do paliv spalovacích motorů)
- tekutiny zvyšující účinnost výměníků tepla (lepší tepelná vodivost)

V podobě nanočástic zeolitů (hlinitokřemičitany) jde o vysoce stabilní a prakticky netoxické látky. Jejich využití se zkoumá v oblastech:

- absorpce malých molekul (plynů, kapalin jako voda či methanol)
- molekulárních sít usnadňujících iontovou výměnu
- nosiče kyslíku, napodobující cytochrom P450
- kontrastní látky pro magnetickou tomografii (v komplexu s Ga^{3+})
- hemostatická činidla

(Hošek 2010, Král 2006)

3.7.12 Nanomateriály oxidu železitého

Jsou využívány na základě svých katalytických, ale zejména feromagnetických vlastností jednotlivých krystalových modifikací (Fe_2O_3 , Fe_3O_4) a kompozitů s příměsí kobaltu, oxidu křemičitého či dalších materiálů:

- čištění vody a plynů na základě katalytických vlastností
- fotokatalytická příprava vodíku
- senzory plynů
- magnetická záznamová média
- magnetické nanotekutiny
- značkovací markery v organismu (nanočástice uzavřené do micel)
- kontrastní materiál magnetické resonance
- biomagnetická manipulace, separace a cílené dodání léků, které lze po navázání na cílovou (nádorovou) buňku zahřát na teploty 41 °C až 46 °C a tím způsobit její zánik
- nanoprášek Fe_2O_3 je základním materiálem do rtěnek a líčidel

(Buřičková 2007, Hošek 2010, Ježek 2008, Prnka 2004, Rumyantseva 2008)

3.7.13 Nanomateriály oxidu křemičitého

Nanočástice oxidu křemičitého (SiO_2) mají velkou povrchovou plochu, jsou hydrofilní, snadno se s nimi manipuluje, mohou se chovat jako dielektrikum a je možné je funkcionalizovat řadou biomolekul. Na trhu jsou dostupné v suchém stavu či v roztoku od řady firem (např. americká firma Polysciences, Inc.). Využití nalézají v těchto oblastech.

- kosmetické přípravky, zubní pasty
- značkování, separace, manipulace a optická detekce DNA (i v kombinaci s nanočásticemi Au)
- detekce bakterií či antigenů (s navázaným fluorescenčním barvivem a detekční biomolekulou)
- zkoumání dopravy léků či plasmidové DNA v organismu
- zobrazovací metody jako optická koherentní tomografie, laserové dopplerovské zobrazování či difúzní tomografie (nanočástice SiO_2 povlečené vrstvou Au)

(Ahn et al. 2009, Panyala 2009, Prnka 2006, Xin et al. 2010)

3.7.14 Magnetické nanočástice

U těchto materiálů se využívají kvantové vlastnosti elektronových spinů - magnetických momentů elektronů. Zároveň mohou být aktivovány magnetickým polem, což se zkoumá v léčbě rakoviny. Magnetické částice se využívají jako:

- tranzistory na principu tunelového magnetorezistenčního jevu (TMR - *tunneling magnetoresistance*) s feromagnetickými materiály oddělenými vrstvou tenkou jen několik nanometrů (r. 2005)
- MRAM paměť (r. 2006) s daleko lepšími vlastnostmi, bohužel nedošlo k jejímu širšímu využití
- feromagnetické polovodiče (galium, mangan, arsen) se v současnosti zkoumají, v České republice na Fyzikálním ústavu Akademie věd ČR
- kontrastní látky pro magnetickou resonanci k vyšetření žaludku a střev (300 nm až 3 500 nm) či sleziny a jater (60 nm až 150 nm), v současnosti je povoleno užívání či klinické zkoušky (FDA) několika kontrastních látek na bázi nanočástic
- hypertermická léčba nádorů - částice se ohřívají vnějším působením magnetu a způsobují nádorové tkáni neobnovitelné poškození
- označování a detekce buněk v mikrosouborech a biosenzorech

(Hošek 2010, Liang 2008, Müller 2009, Prnka 2004, Rabišková 2008, Valesca 2009)

3.7.15 Anorganické a organické materiály využívané v nanofotonice

Nanofotonika se snaží k přenosu informací využít fotony namísto elektronů, neboť se zmenšováním rozměrů materiálů dochází ke snížení jejich vodivosti. Přenos elektronů se

uskutečňuje přes tenké vrstvy tunelováním. Nanofotonika využívá kvantových jam, kvantových drátů a kvantových teček. Tyto materiály mají nejen zajímavé elektrické, ale i optické vlastnosti, díky kterým se mohou používat v mnoha aplikacích:

- lasery s konkrétním úzkým spektrem emitovaného záření (např. kvantové tečky CsSe - modrá oblast, InP - zelená oblast, InAd - červená oblast), obtížná výroba homogenních kvantových teček rozšiřuje spektrum emitovaného záření
- zdroj fluorescenčního záření ke značkování specifických organických molekul a následně buněk a zobrazování tkání (i ne zcela homogenní kvantové tečky)
- fotochromní organické materiály měnící absorpční vlastnosti v závislosti na intenzitě dopadajícího UV záření
- průhledné vrstvy elektricky vodivé vrstvy (TiO₂, ZnO, SnO₂)
- nanovrstvy s proměnlivou odrazivostí (od úplné propustnosti až ke zcela zrcadlovému efektu) na základě elektrického napětí (MgNi), koncentraci adsorbovaných plynů (MgTi-Pd).
- kapalně krystalové (uspořádaně orientované organické molekuly) měnící intenzitu, spektrum a polarizaci procházejícího záření v závislosti na elektrickém napětí, teplotě, tlaku či dalších veličinách
- optické děliče výkonu a difrakční čočky z fotonických krystalů (pravidelné struktury složené z poddifrakčních objektů ve tvaru inéárních rastrů, mřížek či uspořádaného pole otvorů)
- optická dutá vlákna (*hollow fiber*) z fotonických krystalů k vedení záření (při výrobě lze ovlivnit i rychlost šíření záření fotonickým krystalem)

(Drummen 2010, Faleev 1999, Hošek 2010, Kuno 2005, Rimpelová 2009)

3.7.16 Další anorganické nanomateriály

- ve fázi výzkumu je přidávání nanočástic CeO do motorového paliva s cílem snížit jeho spotřebu
- nanočástice karbidu křemíku, karbidu bóru a diamantů se užívají k lapování (závěrečná úprava materiálu s cílem omezit vlnitost povrchu na 1 nm až 2 nm)
- nanočástice Eu₂O₃ (jednoduchý anorganický fosfor) byly využity ke značení mikrosouborů detekujících PSA (specifický prostatický antigen), virů, hormonů a DNA
- HAP - hydroxyapatit (Ca₁₀(PO₄)₆.(OH)₂) se vyskytuje v kostech a zubech a jeho povlaky vytváří biokompatibilní povrch kostních implantátů a stimuluje růst kosti, využití nanoHAP (dostupný i na trhu) v kombinaci s různými polymery (zejména PLA - poly(D, L-laktid) a chitosan) se zkoumá

(Fukui at al. 2008, Mihalović 2011, Prnka 2004, Petráš 2009)

3.7.17 Nanovlákna

Nanovlákna se mohou vyskytovat jako izolované, plošně vrstvené jako tkané či netkané textilie či jako zpravidla nepravidelně uspořádané prostorové útvary či vaty. Samostaná nanovlákna a tkané textilie zatím není možné z technologických důvodů připravit. Výroba netkaných textilií je naopak velmi snadná.

Předpokládanými oblastmi aplikace jsou vysokopevnostní nosná lana a neprůstřelné vesty (textilie tkané z izolovaných vláken), filtrační materiály, krytí ran, nosiče tělních implantátů, regenerativní medicína - chrupavka, uvolňování léčiv, elektrotechnika (netkané textilie), separace, chemická katalýza či tkáňové inženýrství (prostorové útvary z nanovláken).

Nanovlákna jsou zpravidla biokompatibilní a často také biodegradabilní. K jejich přípravě se využívá kolagenu, želatiny, celulosy, chitinu, kyseliny polymléčné, polyglykolové, polykaprolaktonů či polyuretanu. Chitosan-polyethylengereftalátová vlákna mají také antibakteriální vlastnosti. (Botes a Eugene Cloete 2010, Deng-Guang 2009, Ježek 2008, Petráš 2009, Rimpelová 2009, Sun a Li 2011)

3.8 Bionanotechnologie

Jde o vědu, která se zabývá vztahy nanomateriálů s živými organismy a organickými látkami. Využívá principů fungování živých organismů k vytváření přístrojů a systémů v nanorozměrech. Dále se zabývá studiem nanomateriálů, jejich přípravou a využitím.

V přírodě se struktury, které odpovídají definici nanotechnologie, vyskytují odpradáвна. Jsou stavebními a funkčními jednotkami všech živých organismů. Jednotlivé atomy, molekuly a buněčné struktury mají rozměry v nanometrech (aminokyseliny 0,42 nm až 0,9 nm, nukleotidy 0,8 nm až 1 nm, proteiny 2 nm až 50 nm, viry 20 nm až 200 nm, organely 30 nm až 1 000 nm). Ty jsou pak dále hierarchicky uspořádány do větších celků (v podstatě technologie Bottom up).

Kromě stavebních částic a struktur existují v organismech také funkční mechanismy, jakési „nanostroje“, na jejichž činnosti závisí existence buňky (iontové kanály, transportní mechanismy uvnitř buňky, syntéza organických látek, ribosomy, biologické membrány). Můžeme však nalézt také struktury či mechanismy, které konkrétní organismus zvýhodňují oproti ostatním:

- Bakterie *Magnetospirillum gryphiswaldense* tvoří nanokrystalky Fe_3O_4 o velikosti 50 nm a využívá je jako magnetickou strelku k orientaci při svém pohybu.
- Měkkýš *Abalone (Ušev mořská)* vytváří svou křídovou skořápku se strukturou nanobloků spojených slizem. Tímto způsobem vzniká superpevný materiál.
- Povrch květu lotosu pokrývá systém nanovlásků, které brání přilnutí kapek vody. Voda tak odplavuje z květu nečistoty.
- Struktura štětinek až o průměru 100 nm na chodidle gekona mu umožňuje lepší přilnutí k povrchu natolik, že je na rovné ploše schopen unést až osminásobek své hmotnosti.

- Rotace bičíku (průměr 50 nm) bakterie *Escherichia coli* na principu výměny iontů vodíku či sodíku je obdobou elektromotoru v nanorozměrech.

Všechny výše uvedené struktury již byly laboratorně připraveny a zkoumá se jejich praktické využití. Obor, který se zabývá napodobováním přírodních struktur, se nazývá biomimetika. Tímto způsobem již byla připravena řada molekulárních nanostrojů s různými funkcemi od ložisek, motorů, převodovek, potrubí, pump, elektrických vodičů i celých výrobních linek. (Hošek 2010, Mavrodís et al. 2004, Li et al: 2010, Moudrá 2006, Prnka 2004, Prnka 2006, Villaverde 2010)

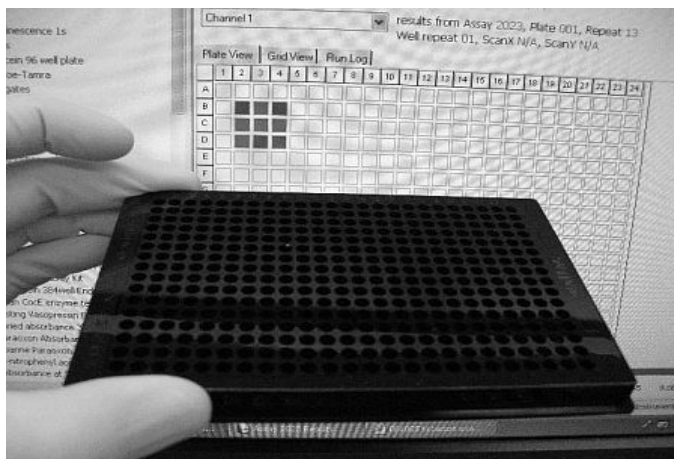
Bionanotechnologie se prakticky využívají v následujících oblastech:

3.8.1 DNA nanotechnologie

Výhody využití DNA vyplývají z jejích vlastností - schopnosti samosestavování, dobré chemické i fyzikální stability, velké schopnosti rozpoznávání a dobré manipulaci. Její využití bylo zkoumáno v oblastech biočipů, konstrukčních materiálů, výrobě nanodrátků, elektroniky, senzorů či počítačů. Pozitivních výsledků dosáhly studie zabývající se následujícími oblastmi:

- nanotrubičky sestavené z molekul DNA s trojitým křížením (TX molekuly), které byly následně metalizovány stříbrem
- připojení DNA k povrchu zlata vazbou na thiolovou skupinu se využívá při vývoji DNA čipů, bioelektronických přepínačů a bran či chemické separace a purifikace proteinů
- využití samosestavování DNA k tvorbě zlatých (drátky, tyče) či stříbrných (drátky) nanostruktur
- využití změn konformace DNA k vývoji nanostrojů (nanomechanický přepínač, aktuátor v podobě dvojice pinzet, smršťující a stahující se nanomotor)
- spojení elektrod částečně či úplně metalizovanými molekulami DNA s dalším využitím např. pro vývoj DNA tranzistorů
- vývoj DNA počítače (viz. Obr. 3), ačkoli jeho nevýhody zatím neumožňují praktické využití

(Král 2006, Mynushiwalla 2003, Panyala 2009, Prnka 2006, Williams 2007)



Obr. 3 - DNA počítač MAYA II, zkonstruovaný roku 2009 v USA

(<http://extrahardware.cnews.cz/historie-budoucnost-pocitacu-x-laserove-kvantove-dna-pocitace?page=0,2>)

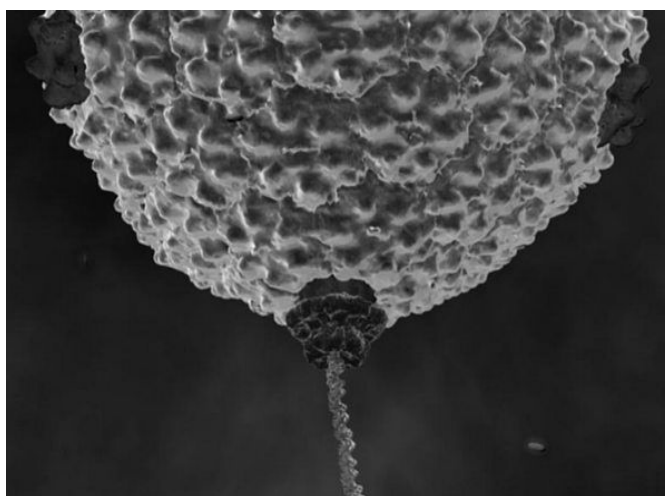
3.8.2 RNA nanotechnologie

Využití molekul RNA v nanotechnologiích je věnována menší pozornost než molekulám DNA. Přesto má jejich schopnost tvorby konformací a upravených molekul vytvářet samovolně stabilní dimery a trimery velký potenciál zejména v biosenzorech.

Dosud byly vytvořeny některé nanostroje:

- šest molekul RNA obklopujících a v přítomnosti ATP (adenosin trifosfátu) roztáčejících molekulu DNA
- pRNA motor bakteriofágu (viz. Obr. 4) s navázanou terapeutickou siRNA a na receptory se vážící RNA aptamery (malé molekuly schopné vázat se na jiné molekuly). Výsledné nanočástice se vážaly v buňkách a postupně způsobily zánik rakovinných buněk v buňčných kulturách i při pokusech na zvířatech.

(Prnka 2006, Fattal a Barratt 2009, Wolf et al. 2009)



Obr. 4 - Nanomotor na principu bakteriofágu (http://www.tyden.cz/rubriky/veda-a-technika/veda/vedci-popsali-fungovani-nejmensiho-moturku-sveta_98289.html)

3.8.3 Peptidy a proteiny v nanotechnologiích

Využití schopnosti samosetavování peptidů v nanotechnologiích je velkým potenciálem pro přípravu molekulárních materiálů včetně nanovláken a trojrozměrných sítí. V současnosti už existují také syntetické proteiny a na jejich další vývoj se zkoumá.

V současnosti realizovaná identifikace vhodných proteinů, díky nimž váží mikroorganismy (*Escherichia coli*, či fág M13) konkrétní anorganické sloučeniny by mohla pomoci v rozpoznávání anorganických krystalů, krystalografické orientace, krystalové struktury, tvaru a optických vlastností polovodičových nanostruktur jako jsou ZnS, CdS, CdSe a PbS.

Využití samosestavené třírozměrné kostry ze syntetických oligopeptidů (komerčně také pod značkou PuraMatrix) se předpokládá v oblasti vývoje nových léků, klinické terapie, tkáňového inženýrství a biovýroby. Tento materiál již byl úspěšně použit při výzkumu opravy poraněných mozkových tkání křečka.

Bylo popsáno také samosestavování a mineralizace amfifilních peptidových nanovláken za vzniku sítě připomínající extracelulární matrix. Tato síť může být mineralizována hydroxyapatitem a vytvořit kompozit, který je obdobný komplexu kolagenu a hydroxyapatitu v kostech.

S pomocí templátů peptidů byly vytvořeny nanodrátky zlata, uhlíkové nanotrubičky či soubory nanoteček Au a CdSe-ZnS.

Molekulární motory sestavené z proteinů jsou inspirací pro technologie založené na principu Top down. Jde o stroje na principu aktuátorů, buněčných struktur typu kinesinu či ATP syntázy. Cílem výzkumu této oblasti je také připojení motoru ke křemíku a využití struktury jako biosenzoru a pro sekvenování jedné molekuly DNA.

V oblasti nanoelektroniky byl úspěšně využit metaloprotein azurin k vývoji tranzistoru a jeví se nadějně jeho použití v léčbě rakoviny. (Král 2006, Panyala 2009, Prnka 2006, Yamada et al. 2005)

3.8.4 Hydrogely

Jde o ve vodě nerozpustnou síť polymerních molekul, která snadno přijímá do své struktury vodu (absorpce až 99 %) a snadno bobtná. Bobtnání lze řídit teplotou, pH, přítomností různých iontů či elektrického proudu. Jsou vysoce biokompatibilní a dle struktury mohou být biodegradabilní. Navíc mohou přijmout a následně uvolnit ze své struktury řadu substancí. Díky těmto vlastnostem jsou využívány jako:

- měkké koloidní čočky (1957 Otto Wichterle, od roku 1962 v hromadné výrobě)
- krycí materiály pro otevřené rány (vyvíjené také na univerzitě v Olomouci)
- adsorpční pleny
- kosmetický přípravky
- biosenzory

- mechanické aktuátory (např. poly N-isopropylacrylamid - PNIPAA mění svůj povrch od superhydrofilního až po superhydrofobní v rozmezí teplot 25 - 40°C)
- materiály pro uvolňování léčiv
- scaffoldy pro růst buněčných kolonií v tkáňovém inženýrství (PuraMatrix)
- materiály pro přípravu tělních implantátů

(Ježek 2008, Prnka 2004, Saboktakin et al. 2010)

3.8.5 Nanovláknenné tkaniny

Tyto materiály mají výrazné bariérové vlastnosti (omezují, až zamezují průniku buněk a většiny virů). To je důvodem jejich využití při výrobě

- dýchacích roušek proti velmi infekčním chorobám
- obvazového materiálu zamezujícího průniku infekce, ale propustného pro vzduch a odvádějícího kapaliny (krytí popálenin)
- antibakteriální textilie s obsahem nanostříbra (Acticoat™, Aquacel® Ag, Contreet® Foam, PolyMem® Silver, Urgotul® SSD), kapesníčky Nanosilver, ponožky Nanosilver - viz. Obr. 5)



Obr. 5 Ponožky Nanosilver

(<http://produkty.topkontakt.idnes.cz/region-olomoucky-kraj/p/antibakterialni-ponozky-s-nano-nanosilver/16321/>)

- nosných skeletů pro kultivaci buněk biologických náhrad typu kostí či chrupavek k transplantaci pacientům
- biodegradabilní nanovláknenné kapsle obsahující léčivo určené ke kontrolovanému transportu a dávkování
- zkoumají se fotosenzitivní tkaniny produkující po ozáření singletový kyslík (baktericidní krytí ran, popálenin)
- v budoucnosti se předpokládá vyvinutí tkanin odolných tlaku, oděru či teple; tato využití se zkoumají zejména pro vojenské účely

(Hošek 2010, Petráš 2009, Panyala 2008, Prnka 2004, Revanna 2004, Stover 2007, Williams 2007)

3.8.6 Nanobiosenzory

Nanobiosenzory jsou nadějnou oblast pro lékařství. Lze u nich do budoucna předpokládat měření biologických procesů na buněčné úrovni *in vivo*. Jedná se o tři typy nanobiosenzorů: senzory na bázi nosníků, nanotrubic a nanodrátků.

Nosníkové senzory reagují na navázání specifických látek (prostřednictvím specifických protilátek na nosníku) či na těkavé plyny (prostřednictvím polymeru pokrývajícího nanovrstvy titanu a zlata). Po navázání dochází k detekovatelné změně vlastností - hmotnosti, elektrického potenciálu, povrchového napětí, optických či magnetických vlastností. Tímto způsobem již byly detekovány bakterie, viry, plísňe i jejich spóry.

Senzory na bázi nanotrubic mohou být vyrobeny z křemíku nebo uhlíku (SWCNT či MWCNT) jako FET tranzistory funkcionalizované organickými molekulami a specifickými zakončeními. K výrobě senzorů mohou být také použity peptidy, jsou levnější, citlivější, biokompatibilní, rozpustné ve vodě a snadno modifikovatelné. Již byly testovány k monitorování hladiny glukosy, detekci DNA, chemických plynů (zejména CO₂ tzv. kapnografie), dopaminu a kyseliny askorbové (diagnostika Parkinsonovy nemoci), serotoninu či radikálu oxidu dusnatého.

Senzory na bázi nanodrátků umožňují přímou přeměnu navázání specifické látky na elektrický signál, jsou velmi citlivé s dostatečným rozlišením. Jsou testovány k detekci virů, mutovaných receptorů typických pro cystickou fibrózu či inhibitory vazby kinázy, která je zodpovědná za vznik chronické myelogenní leukemie. Na principu nanodrátků v kombinaci s nanočásticemi zlata a magnetickými mikročásticemi byl vytvořen také tzv. biologický čárový kód (*Bio-Bar Code Assay*), který je schopen detekovat řádově až pětkrát či šestkrát nižší koncentraci analyzovaných látek než v současnosti užívané metody (ELISA a Southern blotting). Metody již bylo využito k detekci PSA (specifický prostatický antigen, marker spojovaný s rakovinou prostaty a prsu) a potenciálně by mohl být využit i pro detekci HIV, prionů (Creufel-Jakobova choroba), rakovinných buněk či srdečních a plicních markerů ve vzorcích krve. Na tuto technologii má licenci americká firma Nanosphere Inc. a vyvíjí snadno využitelný systém Verigene™.

Společnost Nanomix uvedla roku 2002 na trh přístroj, využívající CNT k detekci zemního plynu. Nalezl široké uplatnění v ropných rafinériích, chemických továrnách a plynárenských stanicích. Výhodou je jeho výrazně nižší cena.

Cílem výzkumu v této oblasti je také tzv. „*lab-on-chip*“ senzor - jednoduše elektricky vyhodnotitelný automatický molekulární analytický systém s širokým spektrem detekovaných molekul (na jeho vývoji pracuje firma Nanogen). (Hošek 2010, Mynushiwalla 2003, Prnka 2004, Sahoo et al. 2007)

3.8.7 Nanosoubory

Nanosoubory jsou s vývojem technologií logickým pokračovatelem mikrosouborů a makrosouborů, které se v současnosti používají k detekci sekvencí DNA (při studiu genové exprese, ale i genotypu pacientů ve vztahu k predispozicím).

Byl vytvořen mikrosoubor polem řízených tranzistorů s jednostěnnými uhlíkovými nanotrubicemi (NTNFET - *Carbon Nanotube Network Field-effect Transistors*). S pomocí nanosouboru protilátek byl ve vzorku lidské krve detekován vir HIV-1. Tímto způsobem by mohla být realizována diagnostika přenosu viru HIV-1 z matky na dítě. (Prnka 2006, Williams 2007)

3.8.8 Diagnostika a zobrazování

Využití nanostrukturních materiálů v diagnostice má velký potenciál, umožňuje totiž vyšší citlivost a miniaturizaci. Navíc nanočástice zlata a stříbra i kvantové tečky odstraňují problém s vyhasínáním v současnosti užívaných organických molekul.

Nanočástice zlata se využívají v

- optické detekci ke značení nukleových kyselin a proteinů a v kolorimetrii, v závislosti na vzdálenosti jednotlivých nanočástic mění své optické vlastnosti, které se však nemění navázáním biomolekul
- elektrické detekci na můstku mezi elektrodami např. k detekci nukleotidových polymorfismů (SNP - *Single Nucleotide Polymorphisms*)
- elektrochemické detekci sekvencí DNA či mutací genů

Kvantové tečky (CdSe-ZnS, CdTe-CdSe, HgTe, CdHgTe, PbSe, InP, InAs) vyzařují v infračervené oblasti spektra. Využití kvantových teček jedou z nejrychleji se rozvíjejících nanobiotechnologií. Na trhu je dostupné množství kvantových teček jako např. Quantum Dot Corp americké firmy Invitrogen či T2-MP EviTagsTM firmy Evident Technology. Posledně jmenované jsou tvořené částicemi InGaP povlečených ZnS a biopovlakem, což je zvýhodňuje oproti ostatním kvantovým tečkám nízkou toxicitou a širokým spektrem barev. Kvantové tečky se využívají se v těchto oblastech:

- značení organických molekul s možností detekce specifických molekul či struktur (s pomocí navázaných biomolekul) a jejich následná detekce fluorescenčním mikroskopem; tato metoda je zkoumána také v oblasti detekce nádorových buněk (CdSe-ZnS), kdy se takto vytvořené částice kumulují v okolí nádoru či postižených lymfatických uzlin (tu lze po chirurgickém zákroku díky fotostabilitě nanočástic i sledovat)
- elektrochemická detekce DNA s pomocí zlaté elektrody a kvantových teček CdS, PbS či ZnS.

Nanočástice oxidu křemičitého (někdy v kombinaci s nanočásticemi zlata) s navázanými fluorescenčními barvivy a specifickými biomolekulami mohou využívat k detekci DNA, bakterií nebo antigenů, také se užívají v zobrazovacích metodách typu koherentní tomografie, laserové dopplerovské zobrazování či difúzní tomografie.

Tzv. metalofullerény (částice kovu uzavřené v molekule fullerenu) jsou zkoumány díky své rezistenci k metabolickým procesům zkoumány jako nosiče pro lékařské zobrazování.

Magnetické nanočástice oxidů železa se využívají při vyšetřování jater magnetickou resonancí.

Dalšími přístroji, využitelným v diagnostice, jsou biosenzory. Obsahují biologický prvek (např. enzym) reagující na přítomnost konkrétní molekuly a převodníky, který biochemický signál mění na měřitelný signál. Takovéto přístroje by umožnily rychlejší testování biologických vzorků.

Jedním z budoucích cílů zobrazování a diagnostiky v lékařství jsou nanočástice, či spíše nanoroboti, kteří by byli schopné odhalit poškozené buňky, označit je a následně také zničit či léčit. (Buřičová 2007, Drummen 2010, Ježek 2008, Hošek 2010, Král 2006, Kuno 2005, Liang 2008, Panyala 2009, Prnka 2006, Rimpelová 2009)

3.8.9 Léčiva

Aplikace nanotechnologií do oblasti léčiv slibuje mnohá pozitiva. Výroba a testování léků by mohla být rychlejší (citlivější analytické metody) a zároveň levnější (snížení objemu drahých činidel pro screening nových molekul).

Co se týče léků samotných, tak se s využitím nanotechnologií výrazně rozšiřují možnosti jejich cílené dopravy v organismu. Nanočástice umožňují cílenou terapii specifických tkání, snížení dávky i vedlejších účinků a zvýšení účinnosti léčiv. Zacílení může být pasivní (akumulace chemoterapeutik v nádorech tuhé konzistence kvůli odlišnosti jejich krevního zásobení, vychytávání cizorodých částice RES a jejich ukládání do jater a sleziny) nebo aktivní (prostřednictvím navázaných specifických molekul se selektivně vážou na nemocné buňky). Všechny složky nosiče léčiv pro humánní medicínu navíc musí být biokompatibilní a biodegradovatelné, aby se po doručení léčiva rozložily bez nežádoucích účinků. Jejich velikost by se měla pohybovat v rozmezí 20 nm až 250 nm. Větší částice jsou zachyceny retikuloendotelárním a fagocytárním systémem. Částice menší než 20 nm procházejí skrz stěny krevních cév. Rychlé likvidaci obranným systémem organismu se předchází modifikací povrchu např. polyethylenglykolem - PEG (technologie Stealth[®] firmy Alza). Pozornost je soustředěna na uzavření či navázání léčiv na látky typu:

- nanočástice zlata, SiO₂, TiO₂ či Al₂O₃
- fullereny - uzavření léčiv do dutiny, možnost modifikovat povrch, jejich deriváty byly navrženy k léčbě Parkinsonovy choroby, rakoviny a AIDS
- nanotuby - uzavření léčiv do dutiny, možnost modifikovat povrch, syntetizovány také lipidické nanotrubičky („bílé nanotrubičky“) s uzavřenými částicemi zlata, jejich vlastnosti se zkoumají
- magnetické nanočástice (Fe₂O₃, Fe₃O₄, Ni₂O₃, Co₃O₄, CeO₂, MgO, CuO) - umožňují cílenou distribuci léčiv (vnější působení elektromagnetů či permanentních magnetů), ohřev nádorových tkání, kde se pasivně kumulují (na rozdíl od zdravých buněk nedokáží rakovinné poškození teplem opravit) či embolizaci nádoru

- jejich pohyb v organismu lze monitorovat magnetickou rezonancí, počítačovou tomografií či pozitronovou emisní tomografií
- magneticko-dextranové částice jsou v 2. fázi klinických studií u karcinomu děložního hrdla, rekta, prostaty a dalších
- mohou dopravovat také radioizotopy, geny
- problémem je transport částic do hlubších částí organismu a různá rychlost prokrvení rozdílných částí organismu
- micely - umožňují uzavřít ve svém jádru léčiva, která by jinak v prostředí nebyla rozpustná a chrání je před vychytáváním retikulárním systémem
 - mohou být pasivně i aktivně zacílené
 - micely nesoucí poloxamery (např. Pluronic) mohou být aktivovány ultrazvukem (rozrušení struktur micel) a to i hluboko v měkkých tkáních, čímž lze jejich působení místně i časově řídit, tato terapie je nadějná u nádorů prsu, tlustého střeva, vaječníků a dělohy
- liposomy - uměle připravené jednovrstevné či vícevrstevné lipidové vezikuly s využitelným vnitřním prostorem a možností modifikace povrchu, biokompatibilní a snadno biodegradabilní
 - syntetizovány roku 1986 pro kosmetické účely firmou Christiana Diora ve spolupráci s Pasteurovým institutem
 - k dopravě léků se využívají od roku 1972, k dopravě vakcín na bázi lipidů od roku 1997
 - v klinické praxi se užívají liposomy s doxorubicinem, daunorubicinem nebo amfotericinem B
 - termosenzitivní liposomy k léčbě rakoviny
 - spouštěcím mechanismem liposomů může být také pH, to je zpravidla nižší v tkáních, kde je lokalizován nádor, zánět či infekce, jejich studium jako nosičů cytostatik, oligonukleotidů, proteinů a peptidů zatím proběhlo jen na buněčných kulturách a zvířecích modelech
- pevné lipidové částice - jsou stabilnější než liposomy a snadno biodegradabilní, mohou obsahovat homogenní jádro, schránku nebo jádro obohacené léčivou látkou, podávají se orálně nebo inhalačně
- dendrimery - polymerní kulovité makromolekuly s vnitřní dutinou, které je možné aktivně zacílit pomocí specifických látek
 - byl vytvořen lokální mikrobicidní materiál proti herpes simplex viru (původce např. oparu)
 - byly použity k dopravě 5-fluoruracilu
 - k léčbě rakoviny se zkoumá jejich funkcionalizace folátem

- užívány i jako fotosenzitizéry při fotodynamické terapii
- tekuté krystaly - lze syntetizovat střídavě polární a nepolární vrstvy, v nichž mohou být vodné roztoky léků
- nanokrystaly - lék Rapamune (orálně podávané nanokrystaly produktů půdní bakterie *Streptomyces hygroscopicus*)
- nanogely - bobtnají, mohou absorbovat i uvolňovat léčiva či obsahovat specifické protilátky, jejich aktivita může být řízena teplotou, pH, světlem či specifickými molekulami (cyklodextrin)
- nanoporézní materiály - mohou obejít imunitní systém, klinické zkoušky probíhají u nanoporézních částic SiO₂ a fosforečnanu vápenatého k dopravě inzulínu inhalací
- byly vyrobeny také MEMS (NEMS) mikročipů s řízeným uvolňováním i více druhů látek okamžitě či dlouhodobě (rok)
- spojení léčiv s implantáty (již se užívají stenty zabraňující znovuzcpání cévy)

(Bluma 2005, Buřičová 2007, Ebbesen and Jensen 2006, Ježek 2008, Heneberg 2008, Hošek 2010, Král 2006, Mynushiwalla 2003, Panyala 2009, Prnka 2004, Prnka 2006, Rabišková 2008, Rimpelová 2009, Sahoo et al. 2007)

3.8.10 Léčba rakoviny

Rakovina je v současnosti jednou z nejčastějších příčin smrti. Vzhledem k léčbě, která má mnoho nežádoucích účinků pro pacienta (chemoterapie, ozařování) a někdy ji nelze využít vždy, (chirurgická) je pochopitelné, že je to jedna z oblastí intenzivního výzkumu. Nanočástice a nanostruktury by mohly v budoucnu nabídnout mnohá elegantní řešení cílené terapie zejména prostřednictvím cíleného transportu léčiv (TDD - *Targeted Drug Delivery*). Díky tomu se zvýší účinnost a sníží nežádoucí účinky léčby. V České republice byl roku 2004 zahájen Onkologický program České republiky (NOP), který se problematice rakoviny komplexně věnuje.

Cíleného transportu protirakovinných léčiv lze dosáhnout těmito způsoby:

- lokální aplikace (intratumorální injekce, gely či implantáty)
- fyzikální aktivace vně organismu
 - radioprotektiva a radiosenzitivní látky
 - feromagnetické částice s možností aktivace vnějším magnetickým polem a zahřívající (hypertermie) nádorovou tkáň (nedokáže na rozdíl od zdravých buněk tepelné škody opravit)
 - termosenzitivní liposomy aktivované ultrazvukem či mikrovlnnou energií (látka ThermoDoxTM je v 1. fázi klinických studií léčby rakoviny prostaty, prsu a metastáz v játrech)
 - nanoslupky - nanočástice křemíku potažené zlatem, zkoumána hypertermie

- fotosenzitivní terapie - po absorpci světla uvolňuje molekula léčiva singletový kyslík, jako fotosenzitizéry a nosiče léčiv jsou užívány dendrimery, liposomy, polymery či fullereny
- necílený transport
 - makromolekuly jako micely, nanočástice či liposomy se v důsledku větší prostupnosti cévního systému a nedostatečnému odtoku lymfy hromadí v nádorové tkáni
 - systémy (např. liposomy, polymerní micely) uvolňující léčivo při sníženém pH, které charakterizuje tkáň, kde je přítomen nádor, zánět či infekce
 - lék Abraxane (2005 schválen FDA) - nanočástice albuminu s navázaným paklitaxelem
 - lék Doxil - liposomálně obalené cytostatikum k léčbě rakoviny prsu a vaječníků
- zacílení specifickým ligandem - využití specifických receptorů na povrchu nádorových buněk, problémem je jejich různorodost u jednotlivých nádorových onemocnění i růstových fází konkrétního nádoru
 - v 1. fázi klinického výzkumu je zacílení a obalení fumagicinu (inhibitor novotvorby cév, zároveň však nervový jed) liposomy, částice mají zároveň obsahovat kovové částice pro detekci magnetickou resonancí
 - v klinických zkouškách jsou od roku 2007 léčiva BMP-426, SGT-53 a CALAA-01, obsahující léčiva ve funkcionalizovaném liposomu
- aktivace léčiva v nádorové tkáni enzymem
- cílení specifickými nositeli živin, které jsou vychytávány nádorovou tkání (transferin - transport Fe, foláty - soli kyseliny listové)

Zároveň se může díky nanotechnologiím zvýšit citlivost diagnostických přístrojů.

Onemocnění by bylo zachyceno ve svých počátcích, kdy je jeho léčba nejefektivnější.

- nanobiosenzory z nanodrátků, křemíkové mřížky a monoklonálních protilátek specifických markerů tumorů umožňuje až stokrát citlivější zobrazování s minimální přípravou vzorku
- využití superparamagnetických nanočástic železa jako kontrastní látky pro magnetickou resonanci mimořádně zlepšují schopnost detekce metastáz rakoviny prsu a prostaty
- s využitím nanočástic zlata se zvyšuje schopnost detekce rakovinných buněk in vivo. Některé měly po navázání se na antigen tendenci k vyšší optické aktivitě a tím i tepelnému ohřevu

(Buřičová 2007, Herneberg 2008, Ježek 2008, Král 2006, Prnka 2006, Rabišková 2008, Rimpelová 2009)

3.8.11 Tkáňové inženýrství

Tkáňové inženýrství se snaží vytvořit nové tkáně in vitro a následně je aplikovat pacientovi (jako implantát, stimulace opravy tkáně či živých buněk). Předmětem výzkumu jsou rostoucí chrupavky (např. Ústav experimentální medicíny Akademie věd ČR), umělá kůže, jaterní a neuronové kmenové buňky, regenerace slinivky břišní, transplantace živých regenerujících buněk do jater či stimulace bílých krvinek pacienta.

V Itálii již byla vytvořena chrupavka rostoucí na polymerních nanostrukturách, zatím je ve fázi experimentálních studií na zvířatech.

Pro tvorbu konkrétních struktur je potřeba trojrozměrných podpůrných modelů - koster. Ty umožňují rostoucím buňkám pohyb a mohou je také vyživovat. Zároveň musí být kostry z biokompatibilních materiálů a postupem času (ideálně úměrně růstu nové tkáně) by měly podléhat biodegradaci. Využití nanostruktur (peptidů a proteinů - např. kolagenu) je ve vývoji, ale některé produkty se již používají také pro výzkumné účely (PuraMatrix™). (Bluma 2005, Ebbesen and Jensen 2006, Prnka 2006, Rimpelová 2009)

3.8.12 Stomatologie

Nanočástice se v současnosti používají také v oblasti zubních výplní. Výhodu neposkytují jako jediný materiál, ale jako součást výplně s mikročásticemi (hybridní kompozita). Nanočástice použité jako plnivo matrix zubních výplní z pryskyřice výrazně snižují jejich viskozitu, zvyšují podíl plniva a tím usnadňují manipulaci s materiálem a snižují viskozitu. Zároveň jsou tyto částice (10 nm až 100 nm) průhledné a tudíž lze barvu a průsvitnost volit jen na základě vhodných mikročástic.

V budoucnosti se jeví nadějně také použití nanorobotů k odstraňování zubního plaku, kamene či přímo léčících např. záněty v ústech. (Mnyusiwalla 2003, Plath 2008, Sahoo et al. 2007)

3.8.13 Využití nanorobotů v biotechnologiích

Nonoroboti (*nanobots*) jsou extrémně malé, samopohyblivé stroje. Možnost a výrobu takovýchto strojů poprvé prezentoval K. E. Drexler. Jejich konstrukce a praktické využití je stále otázkou budoucnosti a někteří vědci (např. R. E. Smalley) nesouhlasí s tím, že by byla výroba takovýchto strojů technologicky reálná. Přesto jde o myšlenky a vize velmi lákavé a zkoumané, které by navíc mohly mít v praxi významné dopady na celou společnost. To jsou důvody, proč bychom se jimi měli zabývat. Jak v rovinách potenciálního využití, tak v rovině etické a společenské.

Je pravdou, že samostatně fungující zařízení o nanorozměrech se v přírodě běžně vyskytují. Jde např. o enzym ATPasa (adenosintrifosfát syntasa), sloužící v mitochondriích k získávání energie. Na jeho principu již byl sestaven molekulový motor, jehož palivem je ATP. Vzhledem k možnému připojení konstrukce motoru k materiálům integrovaných obvodů (Au, Cu, Ni) lze předpokládat jeho využití v NEMS.

Existuje mnoho účelů, k nimž by se v budoucnosti dalo využívat nanorobotů, a to zejména v lékařství prostřednictvím jejich cirkulace v krvi:

- diagnostika
- chirurgie na molekulární úrovni
- vykonávání funkcí imunitního systému - likvidace virů, bakterií, červů či prvoků na základě rozlišovacích schopností obsažených v nanopočítači nanorobota; tak by mohla být léčena tuberkulóza, lepra, malárie, amoebová dyzenterie, spavá nemoc, kandidóza či bakterémie rezistentní na antibiotika
- transport a aplikace léčiv (ideálně přímo v místě, kde sami odhalí problém)
- likvidace karcinogenních buněk v počátku jejich vývoje
- reparace poškozených tkání, likvidace aterosklerotických usazenin v cévách
- genová terapie
- transport plynů - tzv. respirocyty budou schopny přepravit 236 krát více kyslíku než klasická krvinka, v tkáních absorbovat CO₂ a uvolňovat jej v plicích (transfúze krevních náhrad, léčba anemie, plicních chorob či usnadnění kardiovaskulárních a neurovaskulárních léčebných zákroků)
- kosmetika (čištění kůže a ucpaných kožních pórů, odstraňování odumřelých buněk a nadbytku olejů)
- ústní hygiena - ničení specifických patogenů úst, odstraňování plaku, zubního kamene a zbytků potravy, dokonce obnova růstu chybějících zubů díky regulaci buněčných funkcí

(Bluma 2005, Ebbesen and Jensen 2006, Ježek 2008, Král 2006, Mnyusiwalla 2003, Prnka 2004, Sikyta 2001)

4 ETICKÉ ASPEKTY NANOTECHNOLOGIÍ

Nanotechnologie se potýkají s etickými, ekologickými a morálními problémy. Zejména se to týká potenciální toxicity nanočástic a nanomateriálů, jejich vojenského využití či zneužití pro ovládnutí, změny charakteru existence a zásahy do živých organismů. Na rozdíl od geneticky modifikovaných potravin, které se objevily z ničeho nic, a veřejnost na ně reagovala značně negativně, poukazuje se na nanotechnologie již řadu let na mezinárodních fórech a je organizován legislativní rámec jejich použití.

Navzdory obvyklému zpoždění vývoje etických a sociologických studií dopadů nanotechnologií, lze pozorovat od roku 2000 jejich nárůst. Snaží se o přehledný souhrn možných dopadů a rizik na společnost i životní prostředí. Šíře oborů, do kterých nanotechnologie zasahují, se však ukazuje být výrazným problémem těchto snah. Navíc jsou možnosti a nové objevy natolik široké, že se jen těžko v současnosti odhaduje jejich dopad.

Situaci znesnadňuje také časté zlehčování těchto dopadů a mnohdy i rozsáhlých aplikací nanotechnologie vůbec. Mnoho výzkumných záměrů se soustřeďuje pouze na vlastnosti a využití nanostrukturních materiálů a nezabývá se jejich možnými dopady na zdraví člověka a životní prostředí. V těchto oblastech je často třeba dlouhodobých studií, aby mohlo být posouzeno co nejvíce možných dopadů.

Nanotechnologie jsou kromě činnosti člověka také přirozenou součástí živé i neživé přírody a jsou do ní také přirozeně uvolňovány. Mořský příboj produkuje nanočástice mořských solí a organických materiálů. Vulkanické erupce zapříčiňují vznik obrovského množství kovových i keramických nanočástic. Dále jde o písečné bouře, pády a exploze meteoritů. A v neposlední řadě jde o všechny typy spalovacích procesů, jejichž výsledkem jsou směsi uhlíkových materiálů včetně fullerenu a CNT zvané saze (*carbon blacks*). Saze tvoří v současnosti největší podíl člověkem vyráběných nanočástic a jejich významný vliv na životní prostředí a úmrtnost živých organismů je potvrzen. (Kavka 2009, Hošek 2010)

4.1 *Hodnocení a měření rizikovosti nanočástic*

Aktivita nanočástic i jejich pohyblivost závisí na jejich velikosti, tvaru, rozpustnosti a dalších faktorech, proto může být některý materiál za určitých okolností nebezpečný a za odlišných nikoli (jako například azbest, nebezpečný pouze v mikrorozměrech). Pozitivem je, že nanočástice obecně mají tendenci k agregaci a aglomeraci do větších částic, čímž se jejich nebezpečnost s časem a vzdáleností od zdroje snižuje.

Navzdory řadě studií a snah se metodika hodnocení a měření rizikovosti nanotechnologií teprve připravuje. Přesto se této problematice věnuje mnoho národních i mezinárodních institucí, agentur a organizací. Jejich snahou je vytvořit právní rámec a omezení, jimž by mělo využití nanotechnologií podléhat. Patří mezi ně následující organizace:

- OECD - *Organization of Economic Cooperation & Development*
- ISO - *International Organization of Standardization*
- DGHC - *Directorate - General for Health and Consumers* (EU)
- ECHA - *European Chemical Agency* (EU)
- EMEA - *European Medicines Agency* (EU)
- EFSA - *European Food Safety Authority* (EU)
- EPA - *Environmental Protection Agency* (USA)
- FDA - *Food and Drug Administration* (USA)
- Defra - *Department of Environment Food and Rural Affairs* (UK)

Problematikou se ale zabývá i řada organizací, které vychází ze zásadně negativního přístupu k nanotechnologiím a snaží se o jejich maximální omezení. (Hošek 2010, Kulkarni 2007, Petráš 2009)

4.2 Průchod nanočástic do organismů

Nebezpečí nanomateriálů (zvláště volně pohyblivých) je zejména v kombinaci jejich malých rozměrů, díky kterým například pronikají buňkami a šíří se volně živými organismy, a jejich katalytické reaktivity, díky níž mohou narušovat běžné fyziologické funkce. Koloběh nanočástic v životním prostředí a organismech je v současnosti intenzivně studován.

Organismy se s nanočásticemi setkávají nejen přímým podáním (léky, potrava), ale také absorpcí prostřednictvím kůže, očních sliznic, vdechnutí aerosolů nanočástic či uvolněním v rámci metabolických procesů. Kvůli tomuto faktu a nedostatečným studiím vlivu na jednotlivé organismy, natož důsledky dlouhodobého působení, vyzývají všechny organizace k odpovědnému přístupu ve výzkumu i vývoji nanoproduktů a zároveň k omezení činností spojených se samovolným uvolňováním nanočástic do okolí (zejména dieselové a letecké motory a další spalovací procesy, včetně svařování). Stejně doporučení platí i pro depozici použitých nanomateriálů do životního prostředí obecně, odkud mohou být vyplaveny do vody a dále do potravního řetězce. (Hošek 2010, Kavka 2009, Rimpelová 2009)

4.2.1 Průchod nanočástic dýchacím systémem

Z prvních výsledků vyplývá, že nejproblematičtějšími se jeví nanočástice přítomné ve vzduchu, které se dýcháním dostávají do plic a zde pronikají do krevního organismu obrovskou kontaktní plochou (cca 140 m²) a svou činností způsobují vznik volných radikálů. Bylo prokázáno, že nanočástice menších rozměrů jsou cytotoxičtější a více se v plicích ukládají. Často způsobují změny chemické rovnováhy buněk a vznik zánětlivých onemocnění či dokonce změny DNA. Jejich působení je spojováno se vznikem astmatu, alergií, ovlivnění imunitního systému obecně, ale i krevních chorob, onemocnění srdce či rakoviny.

Naprostá většina nejmenších nanočástic je v dýchacím systému zachycena již na úrovni nosní sliznice a průdušnic. Odtud se mohou nervovými zakončeními dostat do mozku a nervového systému, kde svou činností ovlivňují neuronové přenosy. Tímto mechanismem mohou být nanočástice jedním z etiopatogenetických faktorů Alzheimerovy či Parkinsonovy choroby.

Zánětlivé reakce byly zjištěny na CNT v inhalované formě, při jejich aplikaci přímo do krevního řečiště nedošlo u myši k nepříznivé odezvě ani po 4 měsících, prokázána byla kumulace tubic v makrofázích jater a sleziny, ale bez patologických změn. MWCNT značené ^{14}C perzistují v Kupferových buňkách, kde nezpůsobují zánět, ale neodbourávají se. Uhlíkové nanočástice způsobují indukci lipidové peroxidace v mozkových buňkách.

S tímto výzkumem lze spojit také výsledky působení aerosolových částic smogu (včetně podílu nanočástic) na lidský organismus. Z vlivu koncentrace smogu na úmrtnost populace v Británii v letech 1958-1972 vyplývá, že zlomovou oblastí je koncentrace smogu $100 \mu\text{m}^3$. Odpovídá tedy hustotě znečišťujících látek, při níž již dochází ke koagulaci ultrajemných nanočástic na částice s mikrorozměry (nevykazují již takovou reaktivitu). Tento fakt byl experimentálně potvrzen také u konkrétních typů nanočástic (např. TiO_2 , Al_2O_3 či nanočástic stříbra).

Určitou nadějí do budoucna je experimentální studie, která sledovala vliv předchozí expozice toxickými teflonovými nanočásticemi. Skupina krys, vystavená nanočásticím poprvé na dobu 15 minut, zcela vymřela během tří hodin v důsledku akutního zánětu plic. Druhá skupina krys byla vystavována teflonovým nanočásticím tři po sobě jdoucí dny po dobu 5 minut. Následná patnáctiminutová expozice jim nezpůsobila významný nárůst zdravotních problémů. Pokud bude k růstu koncentrace nanočástic v prostředí dostatečně pozvolný, je šance, že se organismy těmto změnám zvládnou přizpůsobit bez zdravotních obtíží. Tyto výsledky mají význam i pro budoucí mimozemské posádky, kdy např. v projektu Apollo reagovali astronauti alergicky na částice měsíčního prachu, které byly schopné projít jejich nepropustnými skafandry. (Hoet 2004, Honěk 2006, Hošek 2010, Kavka 2009, Liang 2008, Panyala 2008, Rimpelová 2009, Sahoo et al. 2007)

4.2.2 Průchod nanočástic kůží

Kůže je se svou plochou 2m^2 druhou největší cestou pronikání nanočástic do organismu. Je však přirozenou bariérou těla a průnik nanočástic do podkoží je poměrně pomalý (20 nm velké nanočástice TiO_2 , které se používají jako přísada opalovacích krémů, jsou například schopny kůži proniknout jen do hloubky $5 \mu\text{m}$). Proto je míra nebezpečnosti nanočástic pronikajících kůží stále otevřenou otázkou. Tím spíše, že existují názory, že např. nanočástice stříbra jsou schopny prostupovat kůži a dále působit v organismu. (Hoet 2004, Honěk 2006, Hošek 2010, Panyala 2008)

4.2.3 Průchod nanočástic přes trávicí trakt

Dalším rizikem je pozření nanočástic (jídlo, voda, léky) a jejich následná akumulace v jednotlivých orgánech. Z tohoto hlediska jsou za potenciálně nebezpečné považovány volné

nanočástice kovů a oxidů s oxidační schopností (např. Fe_2O_3 , CeO_2 , ZnO , TiO_2 , SiO_2 , Al_2O_3), ale i fullereny a uhlíkové nanotuby. Na druhou stranu funkcionalizace těchto látek značně snižuje jejich rizika (značkováné fullereny a CNT organismus během několika hodin až dnů běžně vyloučí).

Znepokojivým faktem je současná rozšiřující se aplikace nanočástic v potravních doplňcích bez ohledu na nedokončený výzkum v této oblasti. (Drummen 2010, Hoet 2004, Hošek 2010)

4.3 Biodegradabilita nanočástic a možná poškození nanočásticemi in vitro a in vivo

Nanovlákná nemají vzhledem ke své biokompatibilitě a často i biodegradabilitě výrazná zdravotní rizika pro člověka ani pro životní prostředí. Jejich částice se po splnění úkolu (hojení ran, cílený transport léčiv) v ideálním případě rozloží. Kvůli obavě z přenosu BSE prostřednictvím kolagenních vláken musí být všechny zdroje kolagenu certifikované. Biodegradabilní materiály by vzhledem ke svým vlastnostem měly být považovány za prioritní. (Petráš 2009)

Oproti tomu léčebně užívané magnetické nanočástice zůstávají v tkáních i po ukončení terapie, mohou vytvářet shluky a vést až k nežádoucí embolizaci. (Hoet 2004, Rabišková 2008) Zda mohou mít podobné nežádoucí účinky také keramické nanočástice, užívané k transportu léčiv (SiO_2 , TiO_2 či Al_2O_3) je stále otázkou. Po splnění svého účelu se však také kumulují v organismu. (Rimpelová 2009)

Částice nanostříbra v koncentraci 5 $\mu\text{g/ml}$ až 10 $\mu\text{g/ml}$ výrazně snižují aktivitu mitochondrií. Ve větších koncentracích způsobují nekrosu a apoptosu buněk (Panyala 2008). Dlouhodobá expozice nanočásticím stříbra (vdechování v pracovním prostředí či dobrovolná nadměrným požíváním koloidních roztoků stříbra či mastí a krémů s obsahem nanočástic stříbra do ran) může vést jejich kumulaci v játrech, kůži, ledvinách, rohovce, nehtech, slezině, srdci i nosní dutině. Zároveň dochází u pozstížených k nevratné pigmentaci kůže do šeda (*argyrie*) a očí (*argyrosa*). Kromě změn kůže se k argyrii často přidružují další potíže - hyperlipidemie, hypertenze, diabetes, gastroesofageální reflux, hyperplazii prostaty či post-traumatická stresová porucha. Nanočástice jsou schopné projít hematoencefalickou i hematotestikulární bariérou. V mozku působí neurotoxicky díky delšímu biologickému poločasu, než v ostatních tkáních. Mohou způsobit až poruchy koordinace pohybů. Také hromadění nanočástic ve varlatech by mohlo mít nežádoucí účinky. Další rizika zmiňuje Panyala (2008) také v souvislosti s průchodem nanočástic stříbra také ženskými pohlavními orgány či přes kůži ze šperků nebo opalovacích krémů. (Panyala 2008)

U nanočástic zlata byla zjištěna toxicita k některým liniím rakovinných buněk (karcinomu děložního čípku, melanomu, myší fibroblasty a myší monocyty). Funkcionalizované nanočástice zlata jsou potenciálně cytotoxické vůči buněčným liniím leukemie. Při studiích na myších byla zjištěna kumulace nanočástic obalených PEG v játrech a ve slezině. (Panyala 2009)

Při přidání fullerenů do kultivovaných kožních buněk (20ks do 1 miliardy buněk) došlo

k rychlému odumření poloviny buněk. Tato reakce lze zmírnit obalením či obklopením jednoduchými molekulami. (Honěk 2006). Také většina v současnosti komerčně dostupných tkanin se stříbrem (působila cytotoxicky na buněčné kultury, tkáňové kultury i experimentální model rány. (Panyala 2008).

Honěk (2006) uvádí následující možnosti interakce nanočástice s živou buňkou:

1. Na povrchu buňky způsobí nanočástice tvorbu volných radikálů, což může vést k zánětu.
2. Nanočástice jsou jako celek pohlceny buňkou a dostávají se do mitochondrií, které svou činností mohou znatelně narušovat či zcela vyřadit z činnosti.

V současnosti existují studie, které hovoří o cytotoxicitě, genotoxicitě, negativnímu působení na plodnost a zárodečný vývoj či rozrušování lipidických buněčných membrán. (Drummen 2010, Honěk 2006, Panyala 2008, Panyala 2009, Petráš 2009, Rabišková 2008, Rimpelová 2009)

4.4 Vliv nanočástic na životní prostředí

Nanočástice svou přítomností v atmosféře ovlivňují množství a místo spadu vodních srážek. Tvoří totiž kondenzační jádra, kolem nichž se utvářejí oblaky. S tím souvisí také absorpce a rozptyl slunečního záření na vodních parách a mracích. Jejich koncentrace nejvyšší měrou koresponduje s historickými změnami globálních teplot 10x významněji než koncentrace CO₂ a dalších potencionálních skleníkových plynů. Proto lze předpokládat, že zvyšující se podíl nanočástic v atmosféře bude mít dopad na globální změny teplot a s tím spojené problematiky.

Od roku 2002 se touto problematikou začala zabývat americká Agentura pro ochranu životního prostředí (EPA - *Environmental Protection Agency*), přesto je třeba se výzkumu v této oblasti aktivně věnovat. Ačkoli již existují stovky výrobků využívajících nanotechnologie či nanočástice, jejich možný dopad na životní prostředí není dosud plně znám. (Hošek 2010, Kavka 2009, Mnyusiwalla 2003, Rimpelová 2009)

4.4.1 Působení na živé organismy

Bylo zjištěno, že antibakteriální částice (v nadlimitních koncentracích), fullereny a zejména kovové nanočástice (jako je TiO₂, ZnO nebo CuO) způsobují poškození některých organismů - řas (*Pseudokirchneriella subcapitata*), protozoí (*Tetrahymena pyriformis*, *Tetrahymena thermophila*) a bakterií (*Vibrio fischeri*). Vzhledem k tomu, že tyto organismy jsou základem potravních řetězců, může jejich úbytek mít neočekávané důsledky pro celé ekosystémy, v nichž žijí. Nanočástice jsou v současnosti běžně používány v zubních pastách, kosmetice, opalovacích krémech či textiliích. Jejich vymývání do odpadních vod může mít v souvislosti s výrazným nárůstem nanotechnologických problémů závažné důsledky. Pro hodnocení těchto rizik jsou ideální dlouhodobé studie, těch je však v této oblasti navzdory významnosti málo. Výše zmíněné

organismy by mohly být v budoucnosti využity jako indikátory čistoty vod vzhledem k nanočásticím. (Kahru 2008)

Nanočástice stříbra mají potenciální baktericidní účinek na nitrifikační bakterie v půdě. Tyto bakterie váží dusík a zabraňují tak jeho vyšším koncentracím v půdě, které mimo jiné způsobují eutrofizaci vod a tzv. vodní květ.

Velmi obtížně lze předpokládat dopad „odpadních“ nanočástic v oceánech. A nejen těch, nanočástice jsou uvolňovány z povrchových vrstev laků, barev či materiálů otěrem, oděrem, smýváním či vystavením fyzikálním, chemickým, biologickým či povětrnostním vlivům. Tento fakt již byl potvrzen u autolaků s obsahem nanočástic, které se běžně používají.

Oceány jsou životním prostředím fyto- a zooplanktonu, nejvýznamnějších spotřebitelů nanočástic. Filtrací vody separují nanočástice (zejména koloidní železo) a z jejich těl se dostávají do celosvětového potravního řetězce. Potenciálním rizikem s globálním významem je proto i změna složení či chemická aktivita nanočástic mořské vody.

Byly provedeny pokusy in vitro s působením částic fullerenu na pstruží samce v akváriu. Po 48 hodinách nanočástice pronikly žábami až do mozků ryb a poškodily mozkové buňky. (Honěk 2006). Pro sladkovodní ryby jsou velmi nebezpečné také nanočástice stříbra. Částice pronikají do žáber, kde narušují rovnováhu výměny iontů (enzym Na^+ , K^+ -ATPasa) (Panyala 2008). Nanočástice stříbra také v experimentálních studiích na krysách působily destruktivně na buňky jater a výsledně vedly k jejich smrti. (Hoet 2004, Honěk 2006, Hošek 2010, Panyala 2009, Virender 2009)

4.4.2 Recyklace nanomateriálů

Otázkou, která dnes není příliš řešena je recyklace a osud nanomateriálů v momentě, kdy doslouží svému účelu. U biodegradabilních nanovláken či nanostruktur je tato otázka bezpředmětná. Otázkou jsou spíše kompozity obsahující nanočástice či celá zařízení.

Zejména materiály, z nichž dochází k oděru a uvolňování nanočástic by neměly být považovány za běžný odpad. Minimálně do té doby, než se provede dostatečný počet studií, které monitorují působení nanočástic v půdních a vodních ekosystémech. (Honěk 2006, Kahru 2008, Petráš 2009)

4.5 Vliv nanotechnologií na rovnost lidí a národů

Již v současné době je svět rozdělen na velmi bohaté a velmi chudé státy. S vývojem nových a vzhledem k nákladnému výzkumu také drahých technologií se rozdíl stáje zvětšují.

Pokud se dostatečně prozkoumají rizika nanotechnologií, mohou být ve výsledku velkou pomocí v problému ekonomických nerovností. Může to být díky lepší prevenci a diagnostice chorob, ale zejména podílením se rozvojových zemí na výzkumu a rozvoji nanotechnologií. Tímto způsobem by bylo možno podpořit ekonomický rozvoj těchto zemí a perspektivu jejich národní výroby. K podobným závěrům již dospěla Indie, Čína, Brazílie a Kuba, které začaly v minulosti

investovat do biotechnologií. (Knowles 2006, Mynushiwalla 2003)

4.6 Soukromí a bezpečnost v souvislosti s nanotechnologiemi

V budoucnosti je plánováno díky nanotechnologiím výrazně zlepšit dosavadní sledovací systémy, sestrojít téměř neviditelné mikrofony a kamery. Navzdory svým pozitivním dopadům při zvyšování bezpečnosti bude takovéto komerčně dostupné výrobky využít k výrobě nanotechnologických zbraní. Už samotná existence neviditelných přístrojů vzbuzuje otázky, týkající se jejich regulace (zejména ve vojenství), ale také kontroly a prokazování jejich vlastnictví. (Mynushiwalla 2003, Sparrow 2009)

4.7 Možnosti zneužití nanotechnologií

Vlastnosti materiálů, zejména ve třetí a čtvrté generaci, jsou natolik odlišné od současného poznání, že reálně hrozí jejich zneužití.

Jejich specifická je jeden z důvodů, proč jsou předmětem zájmu za účelem vojenského využití. Pokrok v této oblasti lze vzhledem k všeobecnému utajení jen stěží odhadnout. Vzhledem k mezistátní konkurenci a objemům financí, které se do výzkumu investují, lze předpokládat intenzivní výzkum. Zároveň jsou tyto aplikace potenciální hrozbou, pokud by se ocitly v rukou teroristů. Zájem o nanotechnologie ve vojenství se soustředí na tři typy aplikací:

1. Nanostrukturní materiály zajímavých vlastností
 - odlehčení výzbroje a výstroje vojáků, letadel či obrněných vozidel (polymerní a kovové nanokompozity)
 - materiály na pancéřování, střelné zbraně či oblečení vojáků (nanopěny)
 - zvýšení odolnosti či silových schopností vojáků
 - materiály k výrobě střel odolné proti zrychlení a teplotě
 - střely pronikající a bezpečně explodující desítky metrů pod zemí
 - hypersonické zbraně programu Fackon se suborbitální dráhou, které likvidují cíle účinky své kinetické energie
2. Komunikační technologie, MEMS a NEMS systémy či bio a elektronické systémy
 - mikro a nanosystémy sestavující nanostrukturní materiály
 - systémy vyrábějící a udržující elektrickou energii
 - senzorické sítě sledující přítomnost různých látek, stav a polohu vojáků
 - zobrazovací a komunikační systémy včetně bioimplantátů
 - realizace autonomních bojových systémů nahrazujících lidské vojáky stroji různých velikostí (bojovní roboti, „biologický sršeň“ či mikroroboti typu „*Smart clay*“ - autonomní monitorovací sítě)
3. Zdokonalení funkce a účinku vlastních systémů zbraní

- vývoj supervýkonných laserů (kvantové tečky) použitelných jako zbraň i detonátor nových typů jaderných zbraní
- vývoj silných výbušnin, označovaných např. *nano-thermit*, jako náplň nábojnic, palivo proudových a spalovacích motorů, zbraň typu termobarická bomba či konstrukce jaderných náloží (kompozity oxidačních a redukčních činidel, např. Al-KMnO₄, Al-Fe₂O₃, Al-MoO₃, Al-CuO a další, po vznícení dochází k vysoce exotermní reakci)
- jaderné zbraně a obohacování uranu na atomární úrovni (výrazně efektivnější), výroba menších a účinnějších jaderných bomb
- jaderné bomby tzv. 4. generace - miniaturní fúzní bomby s ničivou silou až 100 tun TNT (trinitrotoluen) a minimálním radioaktivním spadem, ty by podle mezinárodních dohod nespadały do kategorie zbraní hromadného ničení a bylo by je tak možné použít i v běžných konfliktech pro ničení pod zemí uložených cílů

(Hošek 2010, Sparrow 2009)

4.8 Etické aspekty nanorobotů

Navzdory tomu, že praktické využití tzv. nanorobotů k léčbě a monitorování lidských chorob je zatím v nedohlednu, je jim věnována značná pozornost. Hlavním důvodem je zřejmě závažnost dopadů takovýchto aplikací a katastrofické scénáře vykreslující přetvoření životního prostředí v masu nekontrolovatelných samoreplikujících se nanorobotů - „šedou břečku“ („*gray goo*“). Tyto problémy popsal také sám autor myšlenky samoreplikujících se nanorobotů - E. Drexler. Zároveň však uvedl řadu strategií, jimiž by se těmto negativním možnostem dalo zabránit.

- izolovat replikátory za neproniknutelnými zdmi či ve vesmírných laboratořích
- konstruovat replikátory tak, aby byly schopny replikovat jen omezený počet výrobků několikrát za sebou
- zničit záznamy o technologických postupech výroby prvních samoreplikačních nanorobotů, aby již nemohly být dále vylepšovány
- vytvořit nanoroboty ničící nebezpečné nanoroboty (jako bílé krvinky patogeny v organismu)

S těmito argumenty však Joy (2000) nesouhlasí a podle jeho názoru je jediným řešením se výzkumu v nanotechnologiích zcela vzdát. To by však bylo třeba řešit v celosvětovém měřítku, což je v současnosti nepravděpodobné.

Kromě těchto nejhorších vizí tu jsou však i otázky zneužití těchto technologií. Pokud budou nanoroboti schopni pracovat s jednotlivými atomy, dokáží při dostatku materiálu vyrobit cokoli z atomů - neživé i živé objekty a také jakýkoliv druh biologické, chemické či jaderné zbraně. (Drexler 1987, Joy 2000, Sparrow 2009)

5 SOCIÁLNÍ ASPEKTY NANOTECHNOLOGIÍ

Nanotechnologie jsou oblastí s mezioborovými aplikacemi a lze předpokládat, že jejich praktické využití bude mít rozsáhlý dopad na lidskou společnost. Odborníci se shodují, že současně s výzkumem a vývojem jednotlivých nanočástic a nanomateriálů je třeba věnovat náležitou pozornost studiím týkajícím se jejich etických, ekologických, ekonomických, právních a společenských aspektů. Přesto, že je tento výzkum v oblasti nanotechnologií (obdobně jako v jiných vědních oborech) časově opožděn, je pozitivem, že se jím (na rozdíl od roku 2002) v současné době zabývá řada národních i mezinárodních organizací (viz bod. 4.1.).

Společenský dopad širšího využití nanotechnologií lze v současnosti jen obtížně předvídat, je dokonce možné, že na některé důsledky nemusí být společnost připravena. Produkty nanotechnologií zasahují do různých oblastí - techniky, ekonomiky, výroby, energetiky, vojenství, životního prostředí, zdraví, výchovy a výuky, etiky, morálky a filosofie. Proto nelze jednotlivé výsledky výzkumů zobecňovat. Je třeba se této problematice dlouhodobě věnovat a posuzovat ji v souvislosti s novými poznatky a podmínkami, v nichž se nalézá společnost.

Ke studiu dopadů nanotechnologií na jednotlivé obory je potřeba přistupovat vyváženě. Řada aplikací má velký potenciál, ale zároveň existují určitá rizika, která jsou s nimi spojená. Je proto nutné věnovat pozornost a provádět současný výzkum obou těchto problematik a rozhodovat se na základě všech výsledků. Předejde se tím obtížím, které se vyskytly již v během první průmyslové revoluce např. u DDT (dichlordifenyiltrichlormethylmethan), jehož karcinogenita byla zjištěna až poté, co se začalo úspěšně využívat k boji s malárií.

S výzkumem nanotechnologií souvisí také pravidla a předpisy, jimiž by se mělo řídit nakládání s nanomateriály. Tyto standardy jsou zpracovány pro nakládání s užívanými chemickými a biologickými materiály. Je třeba zpracovat studie, zda nejsou vlastnosti nanomateriálů a nanočástic natolik specifické, že by stávající pravidla a předpisy nebyly dostačující. (Grunwald 2005, Mynushiwalla 2003, Prnka 2004)

6 REGULACE A LEGISLATIVA TÝKAJÍCÍ SE NANOTECHNOLOGIÍ

Pokud budeme předpokládat, že nanotechnologie směřují k významné změně současného životního stylu, jako tomu bylo v případě elektroniky, lze předpokládat, že budou všudypřítomné a neviditelné. Jejich uplatnění se projeví v mnoha prakticky využívaných předmětech a zároveň bude pro spotřebitele prakticky nemožné odhalit, zda nanotechnologie předmět skutečně obsahuje či nikoliv.

Zároveň bude velmi obtížné nanotechnologie jako takové regulovat a kontrolovat. (Sparrow 2009)

6.1 Přehled významných konferencí a workshopů

V posledních patnácti letech byla veřejnost svědkem mnoha článků a polemik, týkajících se nanotechnologií. Zprvu to byly zejména publicistické a novinářské články, často se snahou vzbudit senzaci a vykreslit nastávající situaci ve stylu science-fiction. To zapůsobilo na vládní i nevládní instituce a přibližně od roku 2000 se seriózně zabývají sociálními, etickými a dalšími důsledky nanotechnologií. Zde je přehled významných publikací a konferencí, které s touto tématikou souvisí.:

- „*Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*“ (2001) - rozsáhlá zpráva z vůbec první diskuse o sociálních a etických aspektech nanotechnologie v USA
- „*Socetal Implications of Nanoscience and Nanotechnology Workshop*“ (2002)
- „*Nanotechnology: Revolutionary Opportunities & Societal Implications*“ (2002) -
- Světová konference o udržitelném rozvoji v Johannesburgu (*The World Aummit on Sustainable Development - 2002*) - organizace ETC Group (kanadská organizace zabývající se ochranou životního prostředí a udržitelným rozvojem) požadovala moratorium na šíření nanomateriálů
- „*The Big Down: From Genomes to Atoms*“ (2003) - zpráva kanadské společnosti věnující se udržitelnému rozvoji v oblasti kultury, ekologie a lidských práv. Varuje před nekontrolovaným používáním nanočástic a uhlíkových nanotrubic a upozorňuje, že problematice se nevěnuje žádná globálně působící organizace (Např. OECD).
- „*Future Technologies, Today's Choice*“ (2003) - zpráva zpracovaná pro Greeneace Enviromental Trust, obsahující přednosti, nevýhody i rizika aplikací nanotechnologií
- „*The Social and Economic Challenges of nanotechnology*“ (2003) - zpráva zpracovaná pro ESRC (*Economic and Social Research Council*) UK. Jde o seriózní přehled soudobé diskuse pozitiv i negativ nanotechnologií.
- „*Nanotechnologies: A pPeliminary Risk Analysis*“ (2004) - zpráva z wokshopu „*Mapping out Nano Risks*“ organizovaného Direktorátem ochrany zdraví a spotřebitele Evropské komise (*Directorate Generale Health and Consumer Protection*) v Bruselu.

- „Towards a European Strategy for Nanotechnology“ (2004) - sdělení EK, v němž zdůrazňuje zodpovědný přístup k nanotechnologiím a potřebu věnovat se jejich sociálním aspektům.
- EuroNanoForum 2003, 2005, 2007 a 2009, mezinárodní konference věnující se nanotechnologiím, letos (2011) proběhne její pátý ročník

Žádná z konferencí či workshopů nedospěla k závazným nařízením či regulaci, přesto jsou jejich doporučení velmi podobná:

- Informovat o celé problematice veřejnost a zahrnout jí, i se sociálními a etickými aspekty, do výuky studentů.
- Vyvinout metody hodnocení etických, sociálních a ekonomických dopadů a tento výzkum všeobecně podporovat.
- Zmapovat poloproducty a konečné výsledky nanotechnologií, nanomateriálům přidělovat číslo v registru CAS (*Chemical Abstracts Service*).
- Vyvinout standardizované metody hodnocení rizik pro zdraví životní prostředí (včetně toxikologických dat a přípustných dávek) ve všech etapách vývoje nanotechnologických materiálů (záměry, výzkum a vývoj, výroba, odbyt, použití i likvidace) a této problematice se intenzivně věnovat .
- Zřídit instituce věnující se výzkumu nanotechnologií, vytvoření standardů výroby a případných regulačních opatření (možná nutnost je upravit vzhledem ke specifickým nanotechnologie).
- Věnovat největší pozornost výrobě a manipulaci s volnými nanočásticemi, dokud nebudou známy výsledky studií jejich rizik pro člověka a životní prostředí.
- Snažit se o snížení až eliminaci výroby částic o nanorozměrech a jejich nechtěné uvolňování do životního prostředí všude, kde je to možné.
- Řídit se etickými zásadami a zajistit odpovědný a transparentní vývoj nanotechnologií.

V současnosti je třeba prozkoumat a potvrdit potenciální i již objevená zdravotní a enviromentální rizika nanotechnologických materiálů. Pozornost by měla být věnována zejména dlouhodobým studiím, kterých je v současnosti nedostatek. Zůstává otázkou, zda je (a případně jak dlouhé) výše zmíněné zastavení vývoje a soustředění se na studie rizik reálným a vhodným řešením.

Prvním krokem k urychlení tohoto vývoje by mohlo být zavedení mezinárodní databanky, obsahující popsaná skutečná i předpokládaná rizika nanočástic pro zdraví člověka i životní prostředí Shromažďováním těchto dat se již zabývá OSN (Organizace spojených národů) či EPA. CBEN (*Center for Biological and Environmental nanotechnology*, Houston) zveřejňuje články s touto tematikou na svých webových stránkách (<http://cben.rice.edu/impacts.aspx>) od roku 2006. (Brownsword 2009, Drummen 2010, Hogle 2009, Honěk 2006, Knowles 2006, Mynushiwalla

6.2 Regulace nanotechnologií

Spojené státy jsou v oblasti nanotechnologií, i jejich oficiálního rámce nejdál. FDA vytvořila mezi prvními vládními institucemi definici nanotechnologií a nanoproductů. Nejde však o vlastní formální definici, ale definici NNI, jejímž je členem a na vypracování se podílela:

„Definice nanotechnologie NNI

- Výzkum a technologický vývoj na atomové, molekulární nebo makromolekulární úrovni, v měřítku ca 1 nm až 100 nm.
- Vytváření a využívání struktur, přístrojů a systémů, které mají v důsledku své malé nebo střední (*intermediate*) velikosti nové vlastnosti a funkce.
- Schopnost regulace nebo manipulace na atomové úrovni.

Roku 2004 byl v USA schválen zákon o výzkumu a rozvoji nanotechnologie v 21. století. Federální vláda se zavázala, že bude do nanotechnologie po dobu 4 let investovat 3,7 miliardy USD (téměř čtyřnásobek dosavadních investic USA a součet veškerých investic vyspělých zemí do nanotechnologií za rok 2004).

V Japonsku udávají směr a pravidla výzkumu a vývoje nanotechnologií jednotlivá ministerstva

- Ministerstvo pro vzdělávání, kulturu, sport, vědu a technologii - výzkum a vývoj
- Ministerstvo financí, obchodu a průmyslu - standardizace postupů posuzování bezpečnosti nanočástic
- Ministerstvo zdraví, práce a prospívání - vyvíjí metody pro posuzování zdravotních dopadů nanotechnologií
- Ministerstvo životního prostředí

V Číně bylo roku 2003 založeno *National Center for Nanoscience and Technology* (NCNST). Jeho součástí jsou laboratoře pro nanovýrobu a nanoprostředky, nanomateriály a nanostruktury, nanomedicínu a nanobiotechnologii, charakterizaci a testování nanostruktur a laboratoř pro koordinaci. V rámci své činnosti se centrum podílí také na standardizaci, řízení, regulaci, posuzování a schvalování nanoproductů.

Roku 2004 byl Tchajvanským Úřadem pro průmyslový rozvoj pověřen *Industrial Technology Research Institute*, aby vytvořil certifikační systém pro spotřebitelské výrobky na bázi nanotechnologií. Tak vznikl první certifikát pro nanoproducty „*Nano Mark*“ na světě. Certifikované výrobky musí splňovat minimálně dva základní požadavky:

- jeden z rozměrů hlavní funkční složky ve výrobku má velikost v rozsahu 1 nm až 100 nm,
- vzhledem ke své malé velikosti má nanoproduct nové vlastnosti nebo lepší funkčnost.

K lednu 2007 existovaly tři kategorie výrobků (s celkovým počtem 42 certifikovaných nanoproductů), které byly certifikovány značkou „Nano Mark“, a to:

- antimikrobiální fotokatalytická fluorescenční lampa
- antimikrobiální fotokatalytická dlaždice
- fotokatalytické potahování pro získání deodorizačního účinku.

EU zařadila nanotechnologie poprvé do 6. rámcového programu (2002-2006) a poté do 7. rámcového programu (2007-2013). V jeho rámci probíhal v letech 2008-2010 projekt FramingNano - *Internation multi-stakeholder dialogue platform framing the responsible development of Nanoscience and Nanotechnologies*. Snažil se sbírat data a vést diskusi k otázkám rizik nanotechnologií, na základě výsledků by měla být navrhována Evropské komisi opatření potřebná k odpovědnému, ale zároveň ne nadměrně omezenému rozvoji nanotechnologií. Osmého prosince roku 2010 byla Evropskou komisí vytvořena definice nanomateriálu, jejíž správnost se bude do roku 2012 prověřovat. Nanomateriál musí splnit alespoň jednu z následujících podmínek:

- sestává se z částic, z nichž nejvýše 1 % přesahuje pravidlo, že jeden nebo více vnějších rozměrů nepřesahuje 1 nm až 100 nm
- u nichž jeden nebo více rozměrů vnitřní nebo povrchové struktury nepřesahuje 1 nm až 100 nm
- má specifický povrch (povrch vztažený na objem) větší než $60 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ s výjimkou materiálů sestávajících z částic menších než 1 nm.

V České republice podporuje výzkum v oblasti nanotechnologií Akademie věd České Republiky v rámci programu výzkumu a vývoje „Nanotechnologie pro společnost“ (2006-2012). Dalším významnou organizací je Česká společnost pro nové materiály a technologie. Ta zprovoznila informační internetovou stránku www.nanotechnologie.cz a letos pořádá třetí ročník mezinárodní konference Nanocon. (Fanunce 2007, Kvasničková 2007, Kubátová 2010, Kulkarni 2007, http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_032.pdf, Moudrá 2006)

7 DISKUSE

Etika je součástí filosofie a z toho vyplývá její širší a častá nejednoznačnost. Neexistuje návod, který by nám řekl, jakým konkrétním způsobem bychom měli jednat, aby to bylo správně. Díky mnoha zemím a kulturám, které si utvářely vlastní pravidla soužití, se dnes setkáváme s celou řadou etických teorií a přístupů, a to i k základním hodnotám, jakými je dobro či zlo.

Bioetika v užším slova smyslu je z tohoto hlediska přehlednější a základní principy jsou vesměs uznávané většinou autorit, ať již vychází z libovolných etických přesvědčení. Možná z toho důvodu se v historii od etiky oddělila environmentální etika. Důraz na etický vztah k životnímu prostředí a ostatním živočichům a rostlinám nebyl pro lidstvo vždy prioritou. V současnosti je však působení člověka na okolní prostředí natolik výrazné a často neměnné, že je mu třeba věnovat pozornost.

Problémem bioetiky není její rozsáhlost a různorodost, ale v současné době jsou to zejména nové situace, v nichž je třeba se eticky rozhodovat. Bioetické normy vznikaly již v dávné historii a stavěly na tehdejší situaci, společnosti a možnostech. V dnešní době se již nezdá setkáváme s problémy, na něž nám klasická bioetika není schopna dát odpověď. Tyto problémy jsou způsobeny zejména technologickým pokrokem lidské společnosti a nevídanými možnostmi, které se lidstvu díky němu otevírají. Schopnost záchranu lidského života, ať už v medicíně či farmacii, se mnohonásobně zvýšila. Možnost využití nových technologií nás však může dostat do situací, ve kterých se střetávají základní bioetické principy.

Nanotechnologie jsou v současnosti velice diskutovaným a rozsáhlým tématem. Vzhledem k tomu, že jsou specifikovány velikostí částic (či procesů), jimž se věnují, je jejich výzkum a následné využití mezioborové. Přesto, že se o nanotechnologiích hovoří již dlouho jako o další technologické revoluci, vývoj nasvědčuje spíše postupnému začleňování produktů do běžného života. To je dáno jak rozsáhlostí oboru, tak malými rozměry, v nich se výzkum pohybuje. Schopnost manipulovat s atomy byla naznačena již roku 1959, přesto jsme nebyli ještě více než dvacet let schopni takto malé struktury ani pozorovat.

Výzkum vlastností nanočástic a nanomateriálů postupuje spolu s aplikacemi rychle kupředu. Vědci objevili struktury, o jejichž existenci jsme dříve neměli ani ponětí, a následně byli schopni je také syntetizovat. Přesto je budoucnost manipulace s jednotlivými atomy spíše science-fiction, než reálná představa následujících let.

Problémem, na který upozorňuje stále více prací, je nevyváženost výzkumu aplikací nanomateriálů a zkoumání jejich dopadů na život člověka a životní prostředí. Navzdory tomu, že je dnes komerčně dostupných více než tisíc tři sta produktů, které využívají nanotechnologií či nanočástic (www.nanotechproject.org/news/archive/9231/), stále existují pochyby o jejich bezpečnosti pro člověka a možných dopadech na ostatní organismy a životní prostředí. Existují studie prokazující cytotoxicitu nanočástic na jednotlivé buňky (Honěk 2006, Panyala 2008, Panyala 2009), na živé organismy při vdechnutí (Panyala 2008, Hošek 2010, Rimpelová 2009) i na půdní

a vodní organismy (Kahru 2008). Vzhledem ke stabilitě nanočástic byla prokázána také kumulace v organismech a s množstvím přibývajícího „nanoodpadu“ se může tento problém rozšířit na celé ekosystémy (Kahru 2008). Zároveň je třeba myslet také na dopad sazí, které obsahují nanočástice uhlíku, a jejichž negativní dopad na zdraví člověka je již prokázán. Koncentrace nanočástic v ovzduší také významně koreluje s globálními změnami teploty - a to 10x více než CO₂ či jiné skleníkové plyny. (Hošek 2010). Přesto je nelehké tyto studie srovnávat, neboť jsou prováděny jednotlivě a s použitím různých metod a různých nanočástic. Proto je potřeba vytvořit standardní postupy, na základě kterých by mohly být výsledky porovnávány a hodnoceny. Tímto problémem se v současnosti zabývá Evropská unie. Je to první krok k vytvoření přehledu potenciálu a rizik nanotechnologií a případné regulaci jejich využití.

Velkou otázkou v oblasti nanotechnologií je jejich zneužití a s tím související zákonná regulace. V současnosti není výroba nanomateriálů nijak omezena. Jejich definice (a tím i produkty spadající do této kategorie) jednotlivé organizace teprve postupně vytváří a zveřejňují. Využití v oblasti vojenství může znamenat mnoho nečekaných výhod a změn. Ale také produkty, na které nebylo myšleno při vzniku mezinárodních smluv a definic, mohou způsobit značné problémy. (Hošek 2010)

Často zmiňovanou kapitolou nanotechnologií jsou nanoroboti. Stroje schopné díky zabudovanému nanopočítači monitorovat zdravotní stav lidského organismu, transportovat specifická léčiva a samostatně je v okamžiku potřeby cíleně aplikovat. Podmínkou konstrukce nanorobotů je vybudování výrobních linek manipulujících s jednotlivými atomy s naprostou přesností. Podaří-li se to, bude možno vyrobit prakticky cokoli. (Sikyta 2000, Drexler 1987) Ačkoli je realizace těchto vizí ještě velmi daleko, vzbuzují pochopitelně nadšení i obavy. V kombinaci se schopností samoreplikace nanorobotů se objevují varování před možností úniku této technologie až destrukce samoreplikace v neforemnou „šedou břečku“ („*gray goo*“). Tato cena je např. podle Joye (2000) příliš vysoká za nové poznatky získané výzkumem nanotechnologií. Naopak Smalley (2001) je přesvědčen, že k těmto scénářům dojít nemůže, neboť není prostorově možné vytvořit robota, který by se se všemi manipulačními součástmi vešel do prostoru kolem konstrukčního místa velikosti několika atomů. Katastrofické vize zamítá také autor myšlenky nanorobotů Drexler (1987), zároveň však na ně reaguje návrhy možných opatření.

Již byly vytvořeny jednoduché nanomotory schopné pohybu díky ATP (Prnka 2006). Ať již budoucnost dá zapravdu odpůrcům či příznivcům nanorobotů, jsou možné dopady jejich praktického využití natolik významné, že bychom je v rámci zkoumání etických aspektů neměli opomínat. A nejde pouze o krizový scénář úniku nanorobotů. Už samotný fakt, že budou vyvinuty přístroje velikosti nanometrů s neuvěřitelnými možnostmi, vyvolává otázky týkající se jejich evidence, regulace, monitorování či zneužití.

Odpůrci nanotechnologií již dlouho hovoří o nutnosti zastavit výzkum nanotechnologií jako takový, protože jeho důsledky mohou být takovou hrozbou, že je pro lidstvo bezpečnější nechat tuto oblast neprozkoumanou. (Joy 2000) Podobné ohlasy se ozvaly již na konferenci o trvale

udržitelném rozvoji v Johannesburgu. Organizace ETC Group požadovala moratorium na vývoj nanomateriálů. (Prnka 2004) Nebylo to však z důvodu striktního nesouhlasu, ale kvůli nedostatečně prozkoumané bezpečnosti (či spíše toxicitě) nanočástic. Vzhledem k rychlosti vývoje nových nanoproduktů je možné, že na některé zásadní poznatky se přijde až v momentě, kdy již budou běžnou součástí denního života (jako se stalo např. u freonů).

Vzhledem k běžícím výzkumným programům mnoha zemí, které se nanotechnologiím již několik let intenzivně věnují, a stále novým nanoproduktům přicházejícím na trh, je poměrně nepravděpodobné, že by byl výzkum v oblasti nanotechnologií globálně zcela zastaven. Takové rozhodnutí by muselo být projednáno a schváleno na mezinárodní úrovni. Navíc nelze vyloučit možnost, že těchto technologií by bylo využito např. teroristy a státy by se jim bez znalostí v tomto oboru mohly jen obtížně bránit. Produkty nanotechnologií jsou velice slibné zejména v oblasti medicíny a terapie rakoviny. Předpokládaný vývoj situace bude směřovat spíše v rozšíření výzkumu o standardní metody měření rizik nanomateriálů a sociální a etických aspektů jejich rostoucího uplatnění. Na základě výsledků těchto studií bude třeba řešit případná omezení či regulaci nanotechnologií.

8 ZÁVĚR

Výše uvedený přehled etických teorií i nanomateriálů a jejich současných aplikací naznačuje, že tato témata jsou velice široká. Současný rychlý rozvoj nanotechnologií a výroby nanoproduktů problematiku neustále rozšiřuje. Přesto počet publikací v oboru, nanotechnologické patenty i finance investované do výzkumu neustále rostou. Existují také odborné časopisy věnující se nanotechnologiím a přibývá informačních webových stránek.

Růst poznání v oblasti nanotechnologií je výrazný. Přesto nezahrnuje stejnou měrou všechny aspekty tohoto oboru. Zpožděný zůstává výzkum v etických a sociálních oblastech. Jsou komerčně dostupné stovky produktů z nanomateriálů, ale jen velmi málo dlouhodobých studií týkající se jejich toxicity na buňky, organismy a možné kumulace v organismech, potravních řetězcích i celých ekosystémech. Jednotlivé studie prokázaly nebezpečí spojená i s již využívanými nanočásticemi. Jejich nevýhodou však je nestejnorodost, neboť na standardizaci metod se v současnosti teprve pracuje. Této oblasti je třeba věnovat zvýšenou pozornost. Nanotechnologie mají velký potenciál v oblasti materiálů, elektroniky, medicíny a farmacie. Intenzivní výzkum probíhá zejména v terapii rakoviny. Přesto je třeba s nanomateriály (zejména volnými nanočásticemi) pracovat jako s rizikovými materiály, dokud nebudou provedeny dostatečné a srovnatelné studie o jejich bezpečnosti pro organismy a životní prostředí.

Další málo zkoumanou oblastí je sociální dopad nanotechnologií na společnost. Vzhledem k množství oborů, do kterých nanotechnologie zasahuje, je dnes velmi těžké odhadnout rozsah a závažnost ovlivnění naší společnosti širším využitím nanotechnologií. Mnoho výrobků je dostupných již dnes, další jsou ve stádiu výzkumu. O některých nadějných a převratných aplikacích zatím existují pouze vize (zejména nanoroboti). Přesto, že jde o výrobky očekávané v budoucnosti, jejich dopady mohou být natolik zásadní, že je třeba se jim dlouhodobě věnovat již nyní.

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. ADAMOVÁ, L., DUDÁK, V., VENTURA, V.: *Základy filosofie a etiky*. dotisk 2. vyd. Praha: Fortuna, 1998. s. 125-137 ISBN 80-7168-373-6
2. AHN, Ch., PARK, Ch., YANG, J., AH, Ch., KIM, A., YU, H., JANG, M., KIM, S., BAEK, I., LEE, S., SUNG, G.: Biosensors using the Si nanochannel junction-isolated from the Si bulk substrate. *Journal of Applied Physics* 2009, 106(11): 114701-114706. ISSN 00218979 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
3. BLUMA, A.: Neslouží vám oči? Vyrobité nové. *Ekonom* 2005, 49(43): 62-65. ISSN 1210-0714
4. BOTES, M., EUGENE CLOETE, T.: The potential of nanofibers and nanobiocides in water purification. *Critical reviews in Microbiology* 2010, 36(1): 68-81. ISSN 1040841X Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
5. BROWNSWORD, R.: Nanoethics: Old Wine, New Bottles? *Journal of Consumer Policy* 2009, 32(4): 355-375. ISSN 1573-0700 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
6. BRYANT, J., LA VELLE, L. B., SEARLE, J.: *Introduction to Bioethics*. 1. vyd., Hong Kong: John Wiley and Sons, Ltd., 2005. 240s. ISBN 0 470021985
7. BUŘIČOVÁ, P.: Využití nanočástic v terapii nádorových onemocnění. *Praktická radiologie* 2007, 12(3): 18-22. ISSN 1211-5053
8. BHUSHAN, B.: *Springer Handbook of Nanotechnology*. 1. vyd. Berlin: Springer, 2004. 1258s. ISBN 3-540-01218-4
9. CHOI, Y., BAKER J. R.: Nanoparticles in Medical Diagnostics and Therapeutics. In *Nanotechnology in Biology and Medicine*. 1. vyd, Boca Raton: CRC Press, 2007. s. 575-596 ISBN 0-8493-2949-3 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
10. DENG-GUANG, Y., LI-MIN, Z., WHITE, K., BRANFORD-WHITE, Ch.: Electrospun nanofiber-based drug delivery system. *Health* 2009, 1(2): 67-75. ISSN 19494998 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
11. DREXLER, E.: *Engines of creation : the coming era of nanotechnology*. New York : Anchor Books, 1987. 298 s. ISBN 0-385-19973-2.
12. DRUMMEN, G.: Quantum Dost - From Synthesis to Applications in Biomedicine and Life Sciences. *International Journal of Molecular Sciences* 2010, 11(1): 154-163. ISSN 1422-0067 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
13. EBBESEN, M., JENSEN, T.: Nanomedicine: Techniques, Potentials, and Ethical Implications. *Journal fo Biomedicine & Biotechnology* 2006, regular issue, p. 1-11. ISSN 1110-7251 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
14. FALEEV, N. N., EGOROV, A. Yu., ZUHOKOV A, E., KOVSH, A. R., MIKHRIN, S. S., USTINOV, V. M., PAVLOV, K. M., PUNEGOV, V. I., TABUCHI, M., TAKEDA Y.: X-Ray

- diffraction analysis of multilayer InAs-GaAs heterostructure with InAs quantum dots. *Semiconductors* 1999, 33(11): 1229-1237. ISSN 10637826 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
15. FATTAL, E., BARRATT, G.: Nanotechnologies and controlled release system for the delivery of antisense oligonucleotides and small interfering RNA. *British Journal fo Pharmacology* 2009, 157(2): 179-194. ISSN 00071188 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
 16. FAUNCE, T.: Nanotechnology in Global Medicine and Human Biosecurity: Private Interests, Policy Dilemmas, and the Calibration of Public Health Law. *Journal of Law, Medicine & Ethics* 2007, 35(4): 629-642. ISSN 1748-720X Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
 17. FEYNMAN, R.: There's plenty of room at the bottom. *Science* 1991, 254:1300-1301. ISSN 0036-8075
 18. FUKUI, N., SATO, T., KUBOKI, Y., AOKI, H.: Bone tissue reaction of nano-hydroxyapatite/collagen composite at the early stage of implantation. *Biomedical Materials & Engineering* 2008, 18(1): 25-33. ISSN 09592989 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
 19. GLUCHMAN, V. a kol.: *Dejiny etiky I. (starovek až začiatok novoveku)*. 1. vyd. Prešov: Filozofická fakulta Prešovskej univerzity, 2003. s. 15-28 ISBN 80-8068-180-5
 20. GROF, S.: *Kosmická hra: Zkoumání hranic lidského vědomí*. 1. vyd. Praha: Perla, 1998. 233s. ISBN 80-902156-1-0
 21. GRUNWALD, A.: Nanotechnology - A New Field of Ethical Inquiry? *Science and Engineering Ethics* 2005, 11(2): 187-201. ISSN 1471-5546 Dostupný také z WWW: <<http://www.springerlink.com>>
 22. HÁLA, V.: *Možnosti hodnotové etiky*. 1. vyd. Praha: Filosofia, 2000. s. 25-39 ISBN 80-7007-135-4
 23. HAŠKOVCOVÁ, H.: *Lékařská etika*. 3. rozšířené vyd.. Praha: Galén, 2002. 272s. ISBN 80-7262-132-7
 24. HENEBERG, P.: Nanotechnologie versus rakovina: vhodně zabalené léčivé molekuly. *VTM Science* 2008, 62(10): 42-44, 46. ISSN 1214-4754
 25. HOET, P.; BRÜSKE-HOHLEFELD, I., SALATA, O.: Nanoparticles - known and unknown health risks. *Journal of Nanobiotechnology* 2004, 2(12) ISSN 1477-3155 Dostupný také z WWW: <<http://www.jnanobiotechnology.com/content/2/1/12>>
 26. HOGLE, L.: Science, Ethics, and the „Problems“ of Governing Nanotechnologies. *Journal of Law, Medicine & Ethics* 2009, 37(4): 749-758. ISSN 1748-720X Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
 27. HONĚK, J.: Rizika nanočástic pro zdraví a jak jim čelit. *Technik* 2006, 14(4): 34-36. ISSN 1210-616X

28. HOŠEK, J.: *Úvod do nanotechnologie*. 1. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2010. 170s. ISBN 978-80-01-04555-8
29. JEMELKA, P.: *Racionalita a ekologická krize*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1999. 109s., ISBN 80-953-99-02/58-1/Pd
30. JEMELKA, P.: *Bioetika*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2008. 68s. ISBN 978-80-210-4626-9
31. JEŽEK, M.: Nanomedicína jako standard? Během několika let, říkají vědci. *Zdravotnické noviny* 2008, 57(47): 22-24. ISSN 0044-1996
32. JOY, B.: Why the future doesn't need us. : Our most powerful 21st-century technologies - robotics, genetic engineering, and nanotech - are threatening to make humans an endangered species. *Wired* 2000, 8(4): 47-75. ISSN 1059-1028 Dostupný také z WWW: <http://www.wired.com/wired/archive/8.04/joy_pr.html>
33. KAHRU, A., DUBOURGUIER, H., BLINOVA, I., IVASK, A., KASEMETS, K.: Biotests and Biosensors for Ecotoxicology of Metal Oxide Nanoparticles: A minireview. *Sensors* 2008, 8: 5153-5170. ISSN 1424-8220 Dostupný také z WWW: <<http://www.mdpi.com/1424-8220/8/8/5153/pdf>>
34. KAVKA, A.: Nanorozměry v kontextu pracovní lékařské problematiky. *Pracovní lékařství* 2009, 61(3): 123-126. ISSN 0032-6291
35. KNOWLES, E.: Nanotechnology: Evolving occupational safety, health and environmental issue. *Professional Safety* 2006, 56(3): 20-27. ISSN 0099-0027 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
36. KOHÁK, E.: *Zelená svatozář*. 2. přepracované vyd. Praha: Sociologické nakladatelství, 2002. 204s. ISBN 80-85850-86-9
37. KOLMAŠ, J.: *Malá encyklopedie tibetského náboženství a mytologie*. 1. vyd. Praha: Libri, 2009. s. 17 ISBN 978-80-7277-394-7
38. KOŘENEK, J.: *Lékařská etika*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 2001. 149s. ISBN 80-244-0324-2
39. KRÁL, V. et al.: Nanomedicína - současný stav a perspektivy: velký potenciál nebo jen módní slogan? *Chemické listy* 2006, 100(1): 4-9. ISSN 0009-2770
40. KUBÁTOVÁ, J.: Sociálně-ekonomické aspekty odpovědného výzkumu, výroby a užití nanomateriálů (EU Projekt FramingNano) In *NANOCON 2010 = 2nd international conference: conference proceedings*. Ostrava: Tanager, 2010. ISBN 978-80-87294-18-5
41. KUNO, M.: *Introduction to Nanoscience and Nanotechnology*. 2005, 370s, [cit. 2011-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.e-booksdirectory.com/details.php?ebook=3084>>
42. KVASNIČKOVÁ, A.: *Regulace v oblasti nanotechnologie* [cit. 2011-04-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.cazv.cz/service.asp?act=email&val=65421>>

43. LI, Y., CHIU, Ch., HUANG, Y.: Biomimetic synthesis of inorganic materials and their applications. *Pure & Applied Chemistry* 2011, 83(1): 111-125. ISSN 00334545 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
44. LIANG, X., CHEN, C., ZHAO, Y., JIA, L., WANG, P.: Biopharmaceutics and Therapeutics Potential of Engineered Nanomaterials. *Current Drug Metabolism* 2008, 9(8): 697-709. ISSN 1389-2002 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
45. MACDONALD GLENN, L., BOYCE, J.: Nanotechnology: Consideringeing the Complex Ethical, Legal, and Societal Issues with the Parameters of Human Performance. *NanoEthics* 2008, 2(3): 265-270. ISSN 1871-4765 Dostupný také z WWW: <<http://www.springerlink.com>>
46. MAVRODIS, C., DUBEY, A., YARMUSH, M. L.: Molecular machines. *Annual Rewiew of Biomedical Engineering* 2004, 6(1): 363-395 ISSN 15239829 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
47. MIHALOVIĆ, M., PATARIĆ, A., GULIŠIJA, Z., VELJOVIĆ, D., JANAČKOVIĆ, D.: Electrophoretically deposited nanosized hydroxyapatite coatings on 316LVM stainless steel for orthopedic implants. *Chemical Indrustry & Chemical Engineering Quarterly* 2011, 17(1): 45-52. ISSN 14519372 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
48. MNYUSIWALLA, A. et al.: Mind the gap: science and etihics in nanotechnology. *Nanotechnology* 2003, 14(3): R9-R13. ISSN 0957-4484 Dostupný také z WWW: <<http://iopscience.iop.org/0957-4484/14/3/201>>
49. MOUDRÁ, L.: *Ambivalence nanotechnologie*. Brno: Masarykova univerzita, Filozofická fakulta, Katedra Informační studia a knihovnictví, 2006. 90 s. Vedoucí diplomové práce PhDr. Michal Lorenz
50. MÜLLER, S.: Magnetic fluid hyperthermia therapy for malignant brain tumors - en ethical discussion. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine* 2009 5(4): 398-393. ISSN 1549-9634 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
51. MUNZAROVÁ, M.: *Úvod do studia lékařské etiky a bioetiky*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1995. 29s. ISBN 80-210-1057-6
52. MUNZAROVÁ, M.: *Zdravotnická etika od A do Z*. 1. vyd., Praha: Grada, 2005. 153s. ISBN 80-247-1024-2
53. ONDOK, J., P.: *Bioetika, biotechnologie a biomedicína*. 1. vyd. Praha: Triton, 2005. 214s. ISBN 80-7254-486-1
54. PANYALA, N., PEÑA-MÉNDEZ, E., HAVEL, J.: Gold and nano-gold in medicine: overview, toxicology and perspectives. *Journal of applied biomedicine* 2009, 7(2): 75-91. ISSN 1214-021X Dostupný také z WWW: <http://www.zsf.jcu.cz/jab/7_2/havel7_2.htm>
55. PANYALA, N., PEÑA-MÉNDEZ, E., HAVEL, J.: Silver or silver nanoparticles: a hazardous treat to the enviroment and human health? *Journal of applied biomedicine* 2008, 6(3): 117-129. ISSN 1214-021X. Dostupný také z WWW: <http://zsf.jcu.cz/jab/6_3/havel6_3.htm>

56. PETRÁŠ, D., et al.: Bezpečná nanovlákná. *Chemické listy* 2009, 103(12): 1009-1016. ISSN 009-2770
57. PLATH, Ch.: Nanotechnologie. *Dentální test* 2008, 11(6): 10-13. ISSN 1212-3269
58. POTTER, R.: *Bioethics : Bridge to the Future*. Englewood Cliffs : Prentice-Hall, 1971. 205 s. ISBN 9780130765055
59. PRNKA, T., ŠPERLINK, K.: *Šestý rámcový program evropského výzkumu a technického rozvoje: Nanotechnologie*. 1. vyd. Ostrava: Repronis Ostrava, 2004. 68s. ISBN 80-7329-070-7
60. PRNKA, T., ŠPERLINK, K.: *Sedmý rámcový program evropského výzkumu a technického rozvoje - Bionanotechnologie, nanobiotechnologie, nanomedicina*. 1. vyd. Ostrava: Repronis Ostrava, 2006. 180s. ISBN 80-7329-134-7
61. RABIŠKOVÁ, M.: Využití nanočásticových systémů v medicíně. *Remedia* 2008, 18(1): 89-97. ISSN 0862-8947
62. REVANNA, H.: Nanotextiles: Successful Atomic Alignment. *Siliconindia* 2004, 8(6): 52-53. ISSN 1091-9503 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
63. RIMPELOVÁ, S.: Nanočástice v nanomedicíně a jejich potencionální toxicita. *Bioprospect: bulletin Biotechnologické společnosti* 2009, 19(3-4): 71-76. ISSN 1210-1737
64. RUMYANTSEVA, M. N., KOVALENKO, V. V., GAS'KOV, A. M., PAGNIER, T.: Metal-oxide based nanocomposites as material for gas sensors. *Russian Journal of General Chemistry* 2008, 78(5): 1081-1092. ISSN 10703632 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
65. SABOKTAKIN, M. R., TABATABAIE, R. M., MAHARRAMOV, A., RAMAZANOV, M. A.: Synthesis and characterization of chitosan-carboxymethyl starch hydrogels as nano carriers for colon-specific drug delivery. *Journal of Pharmaceutical Education & Research* 2010, 1(2): 37-47. ISSN 09768173 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
66. SAHOO, S.K., PARVEEN, S., PANDA, J.J.: The presen and future of nanotechnology in human health care. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine* 2007, 3(1): 20-31. ISSN 1549-9634 Dostupný také z WWW: <<http://www.sciencedirect.com>>
67. SEMRÁDOVÁ, I.: *Úvod do etiky*. 4. vyd. Hradec Králové: Gaudeamus, 2007. 54 s. ISBN 978-80-7041-309-8
68. SEMRÁDOVÁ, I.: *Etika - Přehled etických teorií*. 4. vyd. Hradec Králové: Gaue damus, 2009. 101s. ISBN 978-80-7041-575-7
69. SIKYTA, B.: Nanobiotechnologie ve farmacii a medicíně. *Česká a slovenská farmacie* 2001, 50(6): 263-266. ISSN 1210-7816
70. SMALLEY, R.: Of Chemistry, Love and Nanobots. *Scientific American* September 2001, 9: 76-77. ISSN 0036-8733 Dostupný také z WWW: <<http://cohesion.rice.edu/naturalsciences/smalley/emplibrary/SA285-76.pdf>>

71. SPARROW, R.: The Social Impacts of Nanotechnology: An Ethical and Political Analysis. *Journal of Bioethical Inquiry* 2009, 6(1): 13-23. ISSN 1872-4353 Dostupný také z WWW: <<http://springerlink.com>>
72. STOVER, D.: Fashion gets functional. *Popular Science* 2007, 271(4): 29-31. ISSN 01617370 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
73. SUN, K., LI, Z. H.: Preparations, properties and applications of chitosan based nanofibres fabricated by electrospinning. *Express Polymer Letters* 2011, 5(4): 342-361. ISSN 1788618X Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
74. ŠIL, P., KAROLOVÁ, J.: *Člověk na cestě k moudrosti, filosofie a etika pro střední školy*. 1. vyd. Olomouc: Nakladatelství Olomouc, 2008. s. 248-249, 254-255, 270, 349 ISBN 978-80-7182-253-0
75. ŠILER, V.: *Etika: (studijní opora pro distanční vzdělávání)*. 1. vyd. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2007. 135s. ISBN 978-80-7368-323-8
76. THOMPSON, M.: *Přehled etiky*. 1. vyd. Praha: Portál, 2004. 168 s. ISBN 80-7178-806-6
77. UĞUR, Ş. S., SARIŞIK, M., ATKAŞ, A. H.: Fabrication of ZnO Nanoparticle-Based Thin Films on Cotton Fabrics for Antibacterial Purpose. *Journal of Natural & Applied Sciences* 2010, 14(1): 95-103. ISSN 13007688 Abstrakt databáze Ebscohost
78. VALESCA, P., MARJAN J., WIM H.: Review on early technology assessment of nanotechnologies in oncology. *Molecular oncology* 2009, 3(5): 394-401. ISSN 1574-7891
79. VANĚČEK, M., KOČKA, J.: CVD diamant a nanodiamant. *Technický týdeník* 2005, (8): 15. ISSN 0040-1064
80. VANĚK, J.: *Principy obecné, ekonomické a informační etiky*. 1. vyd. Praha: Eurolex Bohemia s. r. o., 2005. s. 178-188 ISBN 80-86861-54-6
81. VILLAVERDE, A.: Nanotechnology, bionanotechnology and microbial cell factories. *Microbial Cell Factories* 2010, 9: 53-56. ISSN 14752859 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
82. WILLIAMS, L., ADAMS, W.: *Nanotechnology Demystified*. 1. vyd, New York: McGraw-Hill 2007. 362s. ISBN 0-07-149053-1
83. VIRENDER, K. S.: Aggregation and toxicity of titanium dioxide nanoparticles in aquatic environment - A Review. *Journal of Environment Science and Health Part A* 2009, 44(14): 1482-1495. ISSN 10934529 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
84. WOLF, E.: *Nanophysics and Nanotechnology*. 2. vyd, Weinheim: Wiley-VCH, 2006. 301s. ISBN 3-527-40651-4
85. WOLF, S. M., GUPTA, R., KOHLHEPP, P.: Gene Therapy Oversight: Lessons for Nanobiotechnology. *Journal of Law, Medicine & Ethics* 2009, 37(4): 659-684. ISSN 1748-720X Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
86. WWW: <<http://cben.rice.edu/impacts.aspx>> [cit. 2011-04-27]

87. WWW: <http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_032.pdf> [cit. 2011-04-26]
88. WWW: <<http://extrahardware.cnews.cz/historie-budoucnost-pocitacu-x-laserove-kvantove-dna-pocitace?page=0,2>> [cit. 2011-04-27]
89. WWW: <<http://produkty.topkontakt.idnes.cz/region-olomoucky-kraj/p/antibakterialni-ponozky-s-nano-nanosilver/16321/>> [cit. 2011-04-27]
90. WWW: <<http://stores.intuitwebsites.com/hstrial-CaCeMedicalSu/Detail.bok?no=4>> [cit. 2011-04-26]
91. WWW: <<http://www.blog.thesietch.org/2009/04/23/ behold-the-nano-car/>> [cit. 2011-04-27]
92. WWW: <<http://www.nanotechnologie.cz>> [cit. 2011-04-20]
93. WWW: <<http://www.nanotechproject.org/news/archive/9231/>> [cit. 2011-04-20]
94. WWW: <<http://www.zschemie.euweb.cz/uhlik/uhlik2.html>> [cit. 2011-04-20]
95. XIN, F., KELONG, H., SUQIN, L.: A rapid and universal bacteria-counting approach using CdSe/ZnS/SiO₂ composite nanoparticles as fluorescence probe. *Analytical & Bioanalytical Chemistry* 2010, 369(4): 1370-1404. ISSN 16182642 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>
96. YAMADA, T., FIALHO, A. M., PUNJ, V., BRATESCU, L., DAS GUPTA, T. K., CHAKRABARTY, A. M.: Internalization of bacterial redox protein azurin in mammalian cells: entry domain and specificity. *Cellular Microbiology* 2005, 7(10): 1418-1431. ISSN 14625814 Dostupný také z WWW: <<http://web.ebscohost.com>>