

# Souhrnná zpráva o vyhodnocení programu „Nanotechnologie pro společnost“

## 1. Základní údaje o programu

Kód programu:	KA
Název:	Nanotechnologie pro společnost
Podprogramy:	4 (Nanočástice, nanovlákná a nanokompozitní materiály; Nanobiologie a nanomedicína; Nanomakro rozhraní; Nové jevy a materiály pro nanoelektroniku)
Doba řešení:	1. 7. 2006 – 31. 12. 2012
Poskytovatel:	Akademie věd ČR
Schválení vládou ČR:	usnesením vlády ČR ze dne 17. 8. 2005 č. 1006
Notifikace Evropskou komisí:	ano, 24. 11. 2005
Plánované celkové výdaje ze SR na celou dobu trvání programu:	1 950 mil. Kč
Změny v průběhu řešení:	ne

## 2. Zvlášť významné dosažené výsledky

V rámci programu bylo řešeno celkem 38 projektů, z nichž 21 projektů (55,3 %) bylo hodnoceno stupněm „cíle byly splněny s vynikajícími výsledky“ a 17 projektů (44,7 %) stupněm „cíle byly splněny“.

Průměrná doba řešení projektů činila 4,6 roku, přičemž doba řešení projektů se pohybovala od 2,5 roku do 5,0 roku.

Při závěrečném hodnocení výsledků dosažených v průběhu trvání programu bylo konstatováno, že řešení projektů přispělo ke vzniku či udělení: **37 patentů, 14 užitečných vzorů, 78 prototypů, 52 funkčních vzorků, 47 ověřených technologií, 9 softwarů, 1 poloprovozu a dále 1 769 článků v odborném periodiku, 647 článků ve sbornících 52 kapitol v odborné knize a 4 odborných knih.** Uvedené údaje odpovídají počtu uplatněných výsledků uvedených v RIV k datu 27. 9. 2013.

Vzhledem k tomu, že 8 projektů skončilo k 31. 12. 2012, a řada podaných patentových přihlášek ještě čeká na své schválení, lze ještě předpokládat dodatečné navýšení uvedeného počtu výsledků v Rejstříku informací o výsledcích VaVal (RIV).

### Za zvláště významné výsledky dosažené za podpory programu jsou považovány:

#### **Podprogram 1 - Nanočástice, nanovlákná a nanokompozitní materiály**

1. Český patent „Způsob výroby zeolitů pentasilové struktury s řízenou distribucí hliníkových atomů ve skeletu“ (301 937)

Vývoj zeolitů s řízenou distribucí hliníkových atomů a tím řízenou strukturou metallo komplexů vedl k optimalizaci struktury zeolitických katalyzátorů na nanoúrovni pro SCR-NO<sub>x</sub> propanem nebo amoniakem a pro rozklad N<sub>2</sub>O. Tím byl vyřešen problém komplexní transformace veškerých kyslíčků dusíku (NO, NO<sub>2</sub> a N<sub>2</sub>O) na molekulární dusík pro odplyny průmyslových exhalátů. Podána byla též mezinárodní přihláška PCT CZ2010/000113.

2. Funkční vzorek „Systém pro depozici Ti a Cu nanoklastrů plynově-agregační metodou“

Jde o zařízení a technologie pro nanášení Ti a Cu klastrů plynově agregační metodou včetně kotvicích vrstev. Zařízení je koncipováno jako UHV, umožňuje nanášení překryvových vrstev. Byla vyvinuta technologie nanášení Ti klastrů o velikostech 2-100 nm a Cu klastrů o velikostech 2-150 nm. Výsledek je využíván v HVM Plasma, spol. s r.o.

3. Prototyp „Technika pro zlepšení plstnicích vlastností živočišných vláken využívající plazmovou úpravu“

Jde o prototypové zařízení pro plazmovou úpravu kůží před splstňováním. Pro plazmovou úpravu bylo využito dielektrických bariérových výbojů. Výsledek je využíván v Tonak a.s. Nový Jičín. Technologie úpravy živočišných vláken dostala v roce 2010 ocenění Nejlepší spolupráce roku 2010.

4. Poloprovoz „Technologie použití nanočástic elementárního železa pro úpravu vod v průtočném reaktoru“

Nový typ nanočástic elementárního železa je aplikován pro úpravu vod v průtočném reaktoru firmy H+A EcoCz s.r.o. Aplikací nanočástic elementárního železa je dosaženo snížení koncentrace řady kovů (např. As, U, Mn, Cr, Cu, Fe) a řady organických kontaminantů (např. chlorovaných uhlovodíků) v odpadních, užitkových a pitných vodách. V poloprovozním průtokovém reaktoru (10 l) byla provedena řada testů účinnosti nanočástic elementárního železa na odstranění kontaminantů z pitných, užitkových a odpadních vod.

5. V. Georgakilas, M. Otyepka, A. B. Bourlinos, V. Chandra, N. Kim, K. Kemp, P. Hobza, R. Zbořil, K. Kim, "Functionalization of graphene: covalent and non-covalent approaches, derivatives and applications. Chem. Rev., vol. 112, iss. 11, pp. 6156–6214, 2012. IF 41,298, citováno 76x
6. J. Valenta, B. Bruhn, and J. Linnros: Coexistence of quasi-1D and 0D photoluminescence from single silicon nanowires, Nano Letters 11(7), (2011), 3003-3009. IF 13,198
7. L. Ondič, K. Dohnalová, M. Ledinský, A. Kromka, O. Babchenko, B. Rezek: Effective extraction of photoluminescence from diamond layer with photonic crystal, ACS Nano 5 (2011) 346–350. IF 11,421
8. K. Kůsová, O. Cibulka, K. Dohnalová, I. Pelant, J. Valenta, A. Fučíková, K. Žídek, J. Lang, J. Englich, P. Matějka, P. Štěpánek, S. Bakardjieva: Brightly luminescent organically capped silicon nanocrystals fabricated at room temperature and atmospheric pressure, ACS Nano 4 (2010) 4495. IF 9,865
9. W.J. Roth, O.V. Shvets, M. Shamzhy, P. Chlubná, M. Kubů, P. Nachtigall, J. Čejka: Postsynthesis Transformation of Three-Dimensional Framework into

- a Lamellar Zeolite with Modifiable Architecture, *J. Am. Chem. Soc.* 133 (2011) 6130. IF 9,907
10. K. Sivula, R. Zbořil, F. Le Formal, R. Robert, A. Weidenkaff, J. Tuček, J. Frydrych, M. Graetzel: Photoelectrochemical Water Splitting with Mesoporous Hematite Prepared by a Solution- Based Colloidal Approach, *J. Am. Chem. Soc.*, 132(21), 7436-7444, 2010. IF 9,023
  11. J. Tuček, R. Zbořil, A. Namai, S. Ohkoshi:  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: An advanced nanomaterial exhibiting giant coercive field, millimeter wave ferromagnetic resonance, and magnetoelectric coupling. *Chem. Mater.* 22, 6483-6505, 2010. IF 6,400
  12. D. Meziane, A. Barras, A. Kromka, J. Houdková, R. Boukherroub, S. Szunerits: Thiol-yne Reaction on Boron-Doped Diamond Electrodes: Application for the Electrochemical Detection of DNA-DNA Hybridization Events, *Anal. Chem.* 84 (2012) 194–200. IF 5,695
  13. Š. Sklenák, P. C. Andrikopoulos, B. Boekfa, B. Jansang, J. Nováková, L. Benco, T. Bucko, J. Hafner, J. Dědeček and Z. Sobalík: N<sub>2</sub>O decomposition over Fe-zeolites: Structure of the active sites and the origin of the distinct reactivity of Fe-ferrierite, Fe-ZSM-5, and Fe-beta. A combined periodic DFT and multispectral study, *J. Catal.*, 272 (2010) 262-274. IF 5,415

### **Podprogram 2 - Nanobiologie a nanomedicína**

1. Český patent „Modifikované nanočástice a jejich terapeutické, diagnostické a analytické použití“ (299 996)
 

Patent se týká modifikovaných nanočástic, které mohou být použity pro léčbu rakoviny metodou fotodynamické terapie, pro diagnostické využití, konkrétně pro detekci buněk s nádorem, a pro sledování biologicky významných analytů (například nukleotidy, oligonukleotidy a sacharidy) v roztocích. Výsledek přispěl k udělení Ceny Akademie věd ČR v roce 2011 za dosažené vynikající výsledky velkého vědeckého významu.
2. Patent EPO „Methods of preparation of superparamagnetic nanoparticles based on iron oxides with modified surface and superparamagnetic nanoparticles obtained by such a method“ (EP1991503)
 

Superparamagnetické nanočástice (10 nm) byly vyvinuty na základě oxidů železa. Jejich povrch byl upraven s mono-, di-nebo polysacharidy, aminokyselinami, nebo poly (amino kyselinami), nebo syntetickými polymery na bázi (meth) akrylové kyseliny a jejich derivátů. Nanočástice jsou vhodné pro diagnostické a terapeutické aplikace, včetně označování živých buněk. Vynález poskytuje nástroj pro sledování historie a osud buněk po transplantaci do organismu, včetně jejich migrace v in vivo.
3. Ověřená technologie „Imunonanotechnologie vedoucí k produkci imunitního séra pro ortho-topolin ribosid“
 

Tato imunotechnologie zavádí výrobu imunního séra specifického pro ortho-topolin ribosid, které může být použito jako imunochemikálie v rostlinné biologii a analytické chemii. Výsledek je využíván firmou OIChemIm s.r.o.

4. „Prototyp biosenzoru založený na nových plasmonických nanostrukturách a funkcionalizacích pro diagnostiku herpetických infekcí“

SPR biosenzor pro diagnostiku herpetických infekcí (infekce EBV, HSV a CMV) založený na rekombinantních proteinech a peptidech jako receptorových molekulách, na které se váží specifické protilátky z lidského séra. Prototyp byl ověřen pro zavedení do výroby. Výsledek je využíván firmou VIDIA spol. s r.o.

5. Český patent „Dvojdimenzionální způsob izolace a analýzy látek z biologických vzorků“ (303383)

Předmětem řešení je způsob izolace a analýzy látek z biologických vzorků pomocí povrchově modifikovaných magnetizovatelných částic a čipové kapilární elektroforézy. Metoda je založena na manipulaci s magnetizovatelnými částicemi přímo v elektroforetickém rezervoáru čipu pro kapilární elektroforézu, kdy se působením vnějšího magnetického pole z biologického vzorku izoluje požadovaný analyt, který se následně separuje, identifikuje a kvantifikuje pomocí čipové kapilární elektroforézy.

6. Prototyp „Mikročipy z materiálu PDMS pro různé mikrofluidní aplikace a metodika jejich výroby“

Mikrofluidní čipy z materiálu PDMS (polydimethylsiloxan) jsou opticky čiré, chemicky odolné, houževnaté. Typické charakteristické rozměry mikročipů se pohybují v desítkách mikrometrů. Mikročipy jsou užívány pro aplikace v imunoanalýze, studiu elektroosmotického a segmentovaného toku.

7. E. Barbez, M. Kubeš, J. Rolčík, Ch. Béziat, A. Pěňčík, B. Wang, M.R. Rosquete, J. Zhu, P. Dobrev, Y. Lee, E. Zažímalová, J. Petrášek, M. Geisler, J. Friml, J. Kleine-Vehn: A novel putative auxin carrier family regulates intracellular auxin homeostasis in plants. *Nature*, 2012, 119-124. IF 38,597, citováno 15x
8. H. Jin, D.A. Heller, M. Kalbáčová, J-H. Kim, A.A. Boghossian, N. Maheshri, M.S. Strano: Detection of single-molecule H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> signaling from epidermal growth factor receptor using fluorescent single-walled carbon nanotubes, *Nature Nanotechnology* 5, 302-309 (2010). IF 30,324, citováno 51x
9. K. Ulbrich, V. Šubr: Structural and chemical aspects of HPMA copolymers as drug carriers, *Adv. Drug Delivery Rev.* 62, 150-166 (2010). IF 13,577, citováno 44x
10. T. Riedel, J. Suttner, E. Brynda, M. Houska, L. Medved, J.E. Dyr: Fibrinopeptides A and B release in the process of surface fibrin formation, *Blood*, 117, 1700-1706 (2011). IF 9,898
11. Z. Korvasová, L. Drašar, J. Mašek, P.T. Knotigová, P. Kulich, J. Matiašovic, K. Kovarčík, E. Bartheldyová, S. Koudelka, M. Škrabalová, A.D. Miller, A. Holý, M. Ledvina, J. Turánek: Antiviral effect of HPMPG (Cidofovir (R)), entrapped in cationic liposomes: In vitro study on MDBK cell and BHV-1 virus, *Journal of Controlled Release* 2012, 160, 330-338. IF 6,499
12. L. Kavan, J.H. Yum, M. Grätzel: Optically Transparent Cathode for Co(II/III) Mediated Dye-Sensitized Solar Cells Based on Graphene Oxide *ACS Appl. Mat. Interfaces* 2012, 4, 6999-7006. IF 5,008
13. M. Piliarik, P. Kvasnička, N. Galler, J.R. Krenn, J. Homola: Local refractive index sensitivity of plasmonic nanoparticles, *Optics Express*, 19, 9213–9220 (2011). IF 3,587

### **Podprogram 3 - Nano-makro rozhraní**

1. Český patent „Způsob přípravy nanočásticového scintilátoru na bázi oxidu zinečnatého s vysoce intenzivní luminiscencí“ (302 443)

Způsob přípravy nanočásticového scintilátoru na bázi oxidu zinečnatého s vysokou intenzitou luminiscence ve VIS oblasti, případně v UV oblasti, spočívá v tom, že se fotochemicky citlivé vodné roztoky, obsahující například zinečnatou sůl, propan-2-ol jako lapač OH radikálů, případně peroxid vodíku, případně polyvinylalkohol jako stabilizátor, ozáří UV zářením. Tuhý produkt je separován, sušen do 100 °C a tepelně opracován na vzduchu nebo ve vakuu nad 600 °C, s výhodou při 1000°C. Nanokrystalický ZnO lze pro zvýšení intenzity UV luminiscence dopovat trojmocnými ionty galia nebo lanthanu.

2. Užitiný vzor „Tepelně stabilní lehká slitina na bázi hliníku“ (22 315)

Byla vyvinuta nová hliníková slitina vyznačující se vynikající teplotní stabilitou. Slitina obsahuje vedle hliníku také chrom, železo a titan a je vyrobena postupem práškové metalurgie.

3. Český patent „Nanokrystalický kompozitní materiál na bázi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - ZrO<sub>2</sub> - SiO<sub>2</sub> a způsob jeho přípravy“ (300 602)

Nanokrystalický kompozitní materiál na bázi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - ZrO<sub>2</sub> - SiO<sub>2</sub> obsahující 45 až 58 % hmotnosti Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 28 až 38 % hmotnosti ZrO<sub>2</sub>, 9 až 25% hmotnosti SiO<sub>2</sub> a je tvořený zvlněnými diskovými útvary vzájemně se překrývajícími tak, že celková pórovitost je menší než 5 %, přičemž diskovité útvary obsahují zbytkovou amorfni matrici, v níž jsou rovnoměrně dispergována oblá krystalová zrna o průměrné velikosti 8 až 25 nm, tvořená tuhým roztokem tetragonálního ZrO<sub>2</sub> přesyceného Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a SiO<sub>2</sub> a způsob jeho přípravy pomocí žárového stříkání.

4. Český patent „Způsob detekce pohybu pole koherenční zrnitosti a zařízení k provádění tohoto způsobu“ (302 803)

Vynález popisuje způsob detekce pohybu pole koherenční zrnitosti pomocí svazku koherentního nebo kvazikoherentního záření ze zdroje záření pracujícího ve viditelné, blízké infračervené nebo blízké ultrafialové, oblasti spektra, jehož podstata spočívá v tom, že svazek koherentního nebo kvazikoherentního záření se nejdříve rozdělí na fázově koordinovaná referenční pole a pole, které je objektem transformováno na pole koherenční zrnitosti, a poté jsou tato dvě pole podrobena interferenci za vzniku obrazce modulujícího rozložení intenzity světla v oblasti zrna struktury koherenční zrnitosti a měnícího svou polohu se změnou polohy pole koherenční zrnitosti, načež se ve zvolených časových intervalech tento obrazec kvalitativně a kvantitativně vyhodnocuje a analyzuje.

5. S.M. Vinko, O. Ciricosta, B.I. Cho, K. Engelhorn, H.-K. Chung, C.R.D. Brown, T. Burian, J. Chalupský, R.W. Falcone, C. Graves, V. Hájková, A. Higginbotham, L. Juha, J. Krzywinski, H.J. Lee, M. Messerschmidt, C. D. Murphy, Y. Ping, A. Scherz, W. Schlotter, S. Toleikis, J.J. Turner, L. Vyšín, T. Wang, B. Wu, U. Zastra, D. Zhu, R.W. Lee, P.A. Heimann, B. Nagler, J.S. Wark: Creation and diagnosis of a solid-density plasma with an X-ray free-electron laser. Nature, 2012, 59-63. IF 38,597, citováno 43x

6. K. Jakubczak, T. Mocek, J. Chalupský, G.H. Lee, T.K. Kim, S.B. Park, C.H. Nam, V. Hájková, M. Toufarová, L. Juha, B. Rus: Enhanced surface structuring by ultrafast XUV/NIR dual action, 2011 New J. Phys. 13. IF 4,177
7. A. Campbellová, M. Ondráček, P. Pou, R. Perez, P. Klapetek, P. Jelínek: 'Sub-atomic' resolution of noncontact atomic force microscope images induced by a heterogeneous tip structure: a density functional theory study, Nanotechnology, 22. IF 3,979
8. S. Kment, Z. Hubička, H. Kmentová, P. Klusoň, J. Krysa, I. Gregora, M. Morozová, M. Čada, D. Petráš, P. Dytrych, M. Slater, L. Jastrabík: Photoelectrochemical properties of hierarchical nanocomposite structure: Carbon nanofibers/TiO<sub>2</sub>/ZnO thin films. Catalysis Today, 2011, Vol. 161, 8 – 14. IF 3,407
9. T. Gbur, V. Čuba, V. Múčka, M. Nikl, K. Knížek, M. Pospíšil, I. Jakubec, Photochemical preparation of ZnO nanoparticles. J. Nanopart. Res. 13 4529-4537 (2011). IF 3,287
10. Y. Shi, M. Nikl, X. Feng, J.A. Mareš, Y. Shen, A. Beitlerová, R. Kučerková, Y. Pan, Q. Liu: Microstructure, optical and scintillation characteristics of Pr<sup>3+</sup> doped Lu<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> optical ceramics. J. Appl. Physics, 109, 013522 (2011). IF 2,160
11. T. Chráska, J. Hostomský, M. Klementová, J. Dubský: Crystallization Kinetics of Amorphous Alumina-Zirconia-Silica Ceramics. Journal of the European Ceramic Society, Volume 29, 3159-3165, 2009. IF 2,090

#### **Podprogram 4 - Nové jevy a materiály pro nanoelektroniku**

1. Patent EPO „Method of making arranged cell structures“ (EP2288699)  
Vynález se týká řízené organizace buněk do vzorů na povrchu pevných látek.
2. Český patent „Způsob přípravy zárodečné vrstvy pro růst diamantu“ (301 825)  
Způsob přípravy zárodečné vrstvy pro růst diamantu z chemických par plynu spočívá v tom, že se do roztoku polárního polymeru přidá diamantový prášek, vzniklá suspenze se homogenizuje a výsledný polární polymerní kompozit se nanese na podložku, s níž se suší při teplotě odpovídající teplotě vytvrzení zvoleného polymeru a polymerní kompozit se odleptá. Tím je podložka připravena na růst diamantu z chemických par plynu a jeho ultratenkých vrstev. Polymerní kompozit může být nanesen v jedné nebo ve více vrstvách. Polymerní kompozit může být nanesen na podložku také selektivně pomocí základních litografických procesů, čímž se při následném růstu diamantu dosáhne jeho geometricky předem definovaná pozice na podložce s možností tvorby i víceúrovňových diamantových struktur v jednom technologickém procesu.
3. Český patent „Způsob přípravy krystalické formy oxidu titaničitého“ (303 439)  
Při způsobu přípravy krystalické formy oxidu titaničitého ze surového gelového meziprojektu se surový gelový meziprojekt podrobí dvoustupňové kombinované extrakci podkritickou vodou a následně podkritickým nebo nadkritickým methanolem do stavu krystalizace, zformuje se mikro-mezoporézní struktura se specifickým povrchem nad 100 m<sup>2</sup>/g produktu a následně se redukuje obsah organických látek v produktu pod 0,2 % elementárního C.

Požadované velikosti póru lze získat regulací teploty extrakce v rozmezí 100 až 250 °C za konstantních tlaků v intervalu 5 až 30 MPa ve druhém stupni extrakce.

4. Funkční vzorek „Nová technologie zápisu nanostruktur“

Demonstrační hologram s chromatickým (barevným) efektem, kterého je dosaženo řízenou diskretizací holografické struktury pomocí záznamu elektronovým svazkem s vysokým rozlišením 2,500,000 dpi.

5. Funkční vzorek „Bio-elektronický senzor z nano-diamantu“

Přenosné demonstrační zařízení pro elektrickou detekci proteinů a buněk v roztoku s hlavní měřicí jednotkou napájenou baterií a oddělitelným držákem aktivního senzoru z nanokrystalického diamantu.

6. J. Wunderlich, B.G. Park, A.C. Irvine, L.P. Zarbo, E. Rozkotová, P. Němec, V. Novák, J. Sinova, T. Jungwirth: Spin Hall effect transistor. *Science* Vol 330, 1801 (2010). IF 31,377, citováno 38x
7. J. Valenta, D. Timmerman, K. Dohnalová, W.D.A.M. de Boer, T. Gregorkiewicz: Step-like enhancement of luminescence quantum yield of silicon nanocrystals. *Nature Nanotechnology*, 2011, 710-713. IF 27,270, citováno 30x
8. D. Fang, H. Kurebayashi, J. Wunderlich, K. Výborný, L. Zarbo, R.P. Champion, A. Casiraghi, B.L. Gallagher, T. Jungwirth, A.J. Ferguson: Spin-orbit driven ferromagnetic resonance: a nanoscale magnetic characterisation technique. *Nature Nanotechnology*, 2011, 413-417. IF 27,270
9. J. Mašek, F. Máca, J. Kudrnovský, O. Makarovský, L. Eaves, R.P. Champion, K.W. Edmonds, A.W. Rushforth, C.T. Foxon, B.L. Gallagher, V. Novák, J. Sinova, T. Jungwirth: Microscopic analysis of the valence band and impurity band theories of (Ga,Mn)As. *Physical Review Letters* 105 (2010). IF 7,622
10. P. Posocco, Z. Posel, M. Fermeglia, M. Lísal, S. Pricl: A Molecular Simulation Approach to the Prediction of the Morphology of Self-Assembled Nanoparticles in Diblock Copolymers. *Journal of Materials Chemistry*, 20, 10511-10520 (2010). IF 5,968
11. P. Petrus, M. Lísal, J. K. Brennan: Self-Assembly of Lamellar- and Cylinder-Forming Diblock Copolymers in Planar Slits: Insight from Dissipative Particle Dynamics Simulations. *Langmuir*, 26, 14680-14693 (2010). IF 4,186
12. A.B. Shick, S. Khmelevskiy, O.N. Mryasov, J. Wunderlich, T. Jungwirth: Spin-orbit coupling induced anisotropy effects in bimetallic antiferromagnets: A route towards antiferromagnetic spintronics. *Physical Review B* 81 (2010). IF 3,774

### **3. Způsob využití dosažených výsledků**

Se všemi hlavními příjemci podpory byla dle zákona č. 130/2002 Sb. uzavřena smlouva o využití výsledků, na základě níž se příjemci zavázali dodávat poskytovateli po dobu 3 let od skončení řešení projektů informace o dosažených výsledcích a jejich využití.

Na základě vykázaných údajů ve zprávách o využití výsledků ukončených projektů za roky 2009 až 2012 lze sumárně uvést, že po skončení řešení projektů byly výsledky řešení využity ve formě dalších 17 funkčních vzorků, 16 prototypů,

20 nových technologií, výrobků nebo materiálů, 11 přihlášek vynálezů a průmyslových vzorů, 16 udělených patentů, 328 článků v impaktovaných časopisech, 203 článků ve sbornících z mezinárodních konferencí a 11 odborných knih v cizím jazyce. Výsledky řešení převzalo 26 realizátorů, objem tržeb činil 53,8 mil. Kč, export 29,0 mil. Kč, bylo vytvořeno 46 nových pracovních míst.

Většina dosažených výsledků aplikovaného charakteru je primárně určena k dalšímu praktickému využití. Přímé zapojení subjektů z průmyslového a podnikatelského sektoru do řešení projektů a požadavek na spolufinancování projektů jsou zárukou využití dosažených výsledků a jejich ekonomického zhodnocení.

Hlavními deklarovanými realizátory výsledků jsou např.: EURO Support Manufacturing Czechia, s.r.o., Hexion Specialty Chemicals, a.s., Solartec s.r.o., HVM Plasma spol. s r.o., SYNPO, a.s., ToP-Bio s.r.o., Proteix s.r.o. VIDIA spol. s r.o., VÚK Panenské Břežany, a.s., Optaglio s.r.o., Centrum organické chemie, s.r.o., Univerzita Karlova, VUT v Brně, VŠCHT, Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Ústav analytické chemie AV ČR, v. v. i., Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR, v. v. i., Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.

Důležitým důsledkem programu je též účinné soustředění špičkových kapacit v oblasti technologií z veřejných výzkumných institucí, vysokých škol, příspěvkových organizací a soukromé sféry, které se v řadě případů ukázalo jako dobrý odrazový můstek k úspěšnému získání návazné podpory z národních i evropských zdrojů.

#### **4. Srovnání dosažených výsledků s cíli programu**

Odborný poradní orgán poskytovatele finančních prostředků (Akademie věd ČR) – Rada programu Nanotechnologie pro společnost – hodnotila splnění jak cílů jednotlivých podprogramů, tak celého programu. Výsledky hodnocení jsou uvedeny v následujících přehledech.

##### *Podprogram 1 - Nanočástice, nanovlákná a nanokompozitní materiály*

<b>Cíle podprogramu</b>	<b>Dosažené výsledky</b>	<b>Míra splnění</b>
Vytvořit nové materiály a nové metody přípravy materiálů s cíleně modifikovanými vlastnostmi, založené na unikátních vlastnostech nanočástic kovů, kovových oxidů a keramických materiálů a zejména u volných nanočástic posoudit možný vliv na životní prostředí a člověka.	<p>Metodou in-situ emulzní polymerizace byly charakterizovány nové nanokompozitní organicko-anorganické materiály obsahující chemicky modifikovaná nanoplňiva (montmorillonity, podvojně vrstevnaté hydroxidy) v polymerní matici.</p> <p>Byl proveden vývoj nanokompozitních (organicko – organometalicko – anorganických) hybridních materiálů pro speciální aplikace při katalytické přípravě nových polymerů. Nanokompozitní materiály byly cíleně syntetizovány a jejich vlastnosti optimalizovány kombinací klasických, mikrovlnných a elektrochemických přístupů.</p> <p>Byly vyvinuty zcela nové nanomateriály na bázi železa, oxidů železa a železanů a prokázána jejich vysoká účinnost v technologiích čištění vod, MRI diagnostice, magnetickém transportu léčiv,</p>	100 %



	heterogenní katalýze, fotokatalýze a solárním štěpení vody.	
<p>Vypracovat metody optimalizace užitných mechanických, elektrických a dalších vlastností kompozitních a nanostrukturních materiálů v závislosti na přípravě a parametrech nanovláken a nanočástic, tyto materiály tvořících.</p>	<p>Byly zkoumány nanomodifikace povrchu textilií s využitím různých zdrojů atmosférického plazmatu. Byly zjištěny unikátní vlastnosti DCSBD především při aktivaci textilií. Uskutečnil se úspěšný transfer výsledků do průmyslu ČR.</p> <p>Byly vypracovány metody přípravy nanostrukturních katalyzátorů <math>ZrO_2/WO_x</math>, <math>FeO_x</math> a <math>CoO_x</math> v zeolitech, <math>Ru-Co-O</math>, <math>WO_3</math>, <math>Pt-CeO_x</math> a <math>SnO_2</math> dopovaných <math>Pt</math> a <math>Pd</math>, a monodimensionální <math>ZnO</math>. Připraveny byly nanosorbenty na bázi oxidů <math>Fe</math> a <math>Ti</math> pro záchyt radionuklidů.</p> <p>Byly popsány metody přípravy kovových i polymerních nanočástic, nanokompozitní vrstvy s vhodnou nanodrsností pro optimální růst kostních buněk a multivrstev organokřemičitých plazmových polymerů s říditelnými vlastnostmi.</p>	90 %
<p>Účinným transferem poznatků rozšířit spektrum průmyslově využitelných technologií, založených na praktickém využití nanočástic, nanovláken, nanopovlaků, nanostruktur a nanokompozitů v materiálové výrobě v ČR.</p>	<p>Byly vyvinuty funkční struktury pro optoelektronické aplikace na bázi polovodivých konjugovaných polymerů, kovových nanočástic s plasmonovými efekty a templátovaných mesoporézních <math>TiO_2</math> filmů s vylepšenou teplotní stabilitou a elektrickými vlastnostmi.</p> <p>Byl proveden výzkum katalyzátorů na bázi komerčně dostupných nano-sloučenin křemíku typu polyhedrálních silsesquioxanů (POSS) pro modelování siliky jako nosiče katalytických komponent při polymeraci olefinů a styrenu. Byla vyvinuta komerční nanoplňiva různého chemického složení pro přípravu zpěňovatelného polystyrénu a houževnatého polystyrénu.</p>	90 %

### Podprogram 2 - Nanobiologie a nanomedicína

Cíle podprogramu	Dosažené výsledky	Míra splnění
<p>Vytvořit nové lékové formy, diagnostika, kontrastní látky a nosiče, zajišťující cílený transport, aktivaci a biodegradaci těchto látek v organismu.</p>	<p>Byla navržena a testována různá nanofarmaka, využívající polymerní nosiče a supramolekulární systémy. V budoucnu lze předpokládat jejich využití při léčbě nádorů. Dále byly vyvinuty nové nanotechnologické systémy určené pro jejich diagnózu.</p> <p>Byl vyvinut rychlý a citlivý diagnostický test pro detekci imunoreaktivních proteinů v komplexních tělních tekutinách. Klíčovou komponentou testu jsou nanopartikelky zlata pokryté protilátkou a DNA, která slouží jako templát pro následnou kvantitativní PCR.</p> <p>Byly připraveny nové enzymatické a imunochromatografické detekční systémy a</p>	98 %

	voltametrické nanoznačky, elektrochemické senzory s nanostrukturovanými elektrodami a nanoimunoligandy, umožňující vysoce citlivou detekci cytokinů v mikrofluidních čípech.	
Navrhnout biosensory a diagnostické systémy umožňující citlivou detekci molekulárních objektů, tkání, buněk a protilátek.	<p>Byla vytvořena LIF aparatura pro detekci biomarkerů, postupy výroby plastových mikročipů a protilátky proti virovým nanočásticím. Byly získány poznatky o elektrokinetických čerpadlech, transportních vlastnostech polymerů a struktuře virových částic.</p> <p>Došlo k zavedení ultrazvukového zobrazovacího přístroje v nanomedicině. Byly získány poznatky o přípravě a použití mikrobulin pro sledování patologického stavu u modelových zvířat, použití ultrazvuku pro studium nových protirakovinných látek a přípravě rekombinantních proteinů.</p> <p>Byl vyvinut nový detekční systém pro simultánní citlivou detekci pěti různých antigenů metodami elektronové mikroskopie. Byla vyvinuta, otestována a certifikována metodika pro elektronmikroskopické testování přítomnosti různých antigenů ve vakcíně proti příušnicím.</p> <p>Byly vyvinuty biosensory založené na nových plasmonických nanostrukturách a funkcionalizacích pro diagnostiku myelodysplastického syndromu, herpetických infekcí a poškození/ohrožení zdraví polycyklickými aromatickými uhlovodíky a endokrinními disruptory.</p> <p>Bylo nalezeno několik přístupů využití nanočástic a nanostruktur pro biosensory a diagnostiku a byly využity pro separaci virové RNA v oblasti medicíny, značkování proteinů pro invivo imaging a detekci biologicky zajímavých látek.</p>	98 %
Vypracovat s maximálním využitím samospřádání technologie vytváření nanostruktur a nanokomplexů pro přenos genové informace a léků.	<p>Byly připraveny a charakterizovány cytotoxické proteinové komplexy zabíjející selektivně různé buněčné typy. Byly syntetizovány nukleotidové analogy, které procházejí buněčnou membránou a cíleně se inkorporují do nukleových kyselin v lidských buňkách.</p> <p>Byly připraveny a charakterizovány nové formy konstruktů nanovláknenných nosičů s kmenovými buňkami nebo nesoucích farmakologicky aktivní látku a na modelech povrchových tkáňových defektů byl prokázán jejich významný terapeutický potenciál.</p>	96 %
Připravit a charakterizovat nové hybridní materiály pro diagnostiku i terapii, jejichž transport, distribuce a chování jsou ovladatelné	Byly navrženy, syntetizovány a charakterizovány nové typy bifunkčních kontrastních látek pro magnetickou resonanci a optické zobrazování. Experimenty prokázaly jejich nízkou toxicitu, dobrou internalizaci do buněk a možné jejich	93 %

vnějším magnetickým polem.	<p>sledování in vivo.</p> <p>Byly vyvinuty nové bioaktivní biokompatibilní povrchy a nové nanostrukturované kompozity pro aplikace v medicíně a farmacii. Výzkum byl zaměřen na nanostruktury na bázi uhlíku (nanodiamant, jednovrstevné uhlíkové nanotrubičky, grafen), oxidu titaničitého, zlata stříbra, organických polymerů a lipidů cíleně chemicky, fyzikálně či morfologicky modifikované a využitě pro biokompatibilizaci kovových cévních výstuží (stentů), jako nosičů léčiv, buněčných značek a nádorových sond.</p>	
Podpořit zavádění těchto nanotechnologických materiálů a metod do praxe v ČR, (zdravotnictví, životní prostředí, zemědělství).	<p>Byla provedena elektrochemická a optická analýza biomakromolekul na mikroelektrodách pokrytých nanovrstvami elektroaktivního materiálu. Byla vyvinuta voltametrická detekce nanomolárních koncentrací DNA a metabolitů purinů v klinických vzorcích moči. Byla objevena 2D kondenzace pyrimidinových oligonukleotidů a popsána adsorpce fibrinogenu na uhlovodíkových vrstvách dopovaných titanem.</p> <p>Byly vyvinuty generické hormonální protilátky a z nich imunonanosorbenty. Kombinace s UPLC/MS/MS umožnila monitorování fytohormonů na atomolární úrovni. Řada technologií byla patentově chráněna a následně licencována do výrobní praxe.</p>	94 %

### Podprogram 3 - Nano-makro rozhraní

Cíle podprogramu	Dosažené výsledky	Míra splnění
Navrhnout nové nástroje, přístroje a zařízení pro tvorbu a charakterizaci nanostruktur s vysokým rozlišením, umožňující přímou kontrolu v jednotlivých technologických krocích a rozšíření nanotechnologií do nových oblastí.	<p>V oblasti vytváření a charakterizace nanostruktur rentgenovými lasery byly vybudovány stanice pro studium interakce intenzivního rentgenového záření s hmotou. Bylo demonstrováno ablační nanostrukturování, studována ablace materiálů při intenzitách <math>10^{17} \text{ Wcm}^{-2}</math>, byl vyvinut senzor rentgenového vlnoplochy a zvládnuty pokročilé rentgenové multivrstvy.</p> <p>Byl zkonstruován ECAP s protitlakem, svazek pozitronů s laditelnou energií a odstředivý atomizér pro přípravu RS slitin. Byly vyvinuty techniky 3D analýzy pomocí SEM-FIB a mapování prostorového rozložení defektů pomocí PAS. Bylo dosaženo UFG/nc struktur.</p>	85 %
Vypracovat nové metody pro manipulaci a propojování nanoobjektů s mikro a makrookolím, zejména s mikroelektronikou.	Byly vyvinuty a optimalizovány nové technologie přípravy mikro/nano strukturovaných materiálů, včetně realizace originálních technologických zařízení s komplexní diagnostikou optických, mechanických a technologických parametrů zkoumaných nanosystémů.	80 %

<p>Pro technicky zajímavé makroskopické materiály vytvořit nové metrologické postupy pro charakterizaci povrchů s vysokým laterálním rozlišením, umožňující současnou analýzu jejich topografie, chemického složení a elektronových vlastností.</p>	<p>Byly připraveny nové nanokrystalické keramické prvky a gradientní povlaky s nanokrystalickým povrchem na bázi eutektických směsí keramik (<math>\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-ZrO}_2</math>). Oba materiály i technologie přípravy byly patentovány.</p> <p>Byly vyvinuty technologie pro přípravu nanomorfologických scintilačních materiálů a nové materiálové koncepce. V materiálech byl studován vztah mezi podmínkami přípravy, procesy přenosu a záchytu energie a mechanismy vzniku specifických defektů.</p>	<p>90 %</p>
<p>Vypracovat metody optimalizace užitných mechanických, elektrických a dalších vlastností objemových a gradientních materiálů v závislosti na jejich přípravě, nanostruktuře a cíleném ovlivnění hranic zrn.</p>	<p>V oblasti nanometrologie využívající metod rastrovací sondové mikroskopie byla vyvinuta sada nástrojů pro zajištění návaznosti při měření malých rozměrů, sil a lokálních mechanických vlastností: metrologický SPM s šestiosým interferometrickým odměřovacím systémem, sada referenčních vzorků pro nanoindentaci a sada metodik.</p>	<p>85 %</p>

#### *Podprogram 4 - Nové jevy a materiály pro nanoelektroniku*

<b>Cíle podprogramu</b>	<b>Dosažené výsledky</b>	<b>Míra splnění</b>
<p>Připravit, charakterizovat a modelovat nové nanostruktury, vhodné pro detektory, fotonické krystaly a lasery.</p>	<p>Pomocí elektronové litografie byly připraveny nanostruktury z magnetických i nemagnetických polovodičů, a dále diamantové a grafenové nanostruktury vhodné pro základní výzkum optických a transportních vlastností a technické aplikace.</p> <p>Byl proveden výzkum rozhraní kovových nanočástic s InP pro monitoring nežádoucích látek, plynů a záření v životním prostředí. Elektroforetickým nanášením z koloidních roztoků byly připraveny vrstvy nanočástic Pd, Au, Ag, Pt a Cu na InP a na nich zhotoveny diody vynikajících parametrů pro detekci vodíku. Na semiizolačním InP byly připraveny detektory záření s vysokou účinností.</p> <p>Bylo dosaženo řady zásadních objevů v oblasti vytváření a vlastností nanostruktur a hybridních nanosystémů, interakce buněk s nanomateriály a přeměny světelné energie. Byly vytvořeny funkční demonstrátory bio-senzoru a opticky aktivního forenzního prvku.</p>	<p>100 %</p>
<p>Navrhnout, připravit a charakterizovat nové polovodičové spintronické materiály pro vývoj nové generace nanosoučástek pro</p>	<p>Na základě studia a využití vlastností molekulárních nanostruktur byly vyvinuty nové typy organických elektronických prvků. Byly získány a aplikovány nové poznatky o elektrických transportních vlastnostech různých</p>	<p>50 %</p>

záznam a přenos informace.	forem DNA. Byly navrženy, připraveny a funkčně popsány uspořádané hierarchické nanostruktury s přímým využitím v řadě typů pokročilých senzorů (např. vlhkostních s prodlouženou životností, plynových s fotoelektrickou detekcí, senzorů pro karboxylové kyseliny, atd).	
Připravit, charakterizovat a optimalizovat nové nano-uhlíkové a nanodiamantové materiály pro bio-aplikace a nanoelektroniku.	V oblasti nanotechnologií pro proteinovou a genovou diagnostiku byly připraveny konjugáty QD-protein a nanovrstvy s kovalentně navázaným enzymem. Navrženy byly Hg a pevné amalgámové elektrody s thiolovými nanovrstvami a využity byly ke strukturně citlivé analýze proteinů v pikomolových množstvích. Byly zkoumány volné nanočástice v molekulových paprscích ve vakuu. Z kombinace experimentu s teoretickými výpočty byl získán detailní obraz o molekulových mechanismech fotochemie v nanočásticích zejména atmosférického a biologického významu. Byly získány cenné experimentální údaje o technologii přípravy nanostruktur na bázi alotropů uhlíku a polymerů s výraznými vlastnostmi, které lze využít nejen v bioaplikacích.	100 %
Vypracovat nové metody přípravy nanostruktur a nanomateriálů s cíleným řízením rozměrů objektů či jejich samoorganizaci.	Byl vyvinut nový unikátní třikomorový UHV systém pro přípravu nanostrukturních tenkých vrstev. Fyzikálními depozičními technikami byly připraveny samoorganizované magnetické nanočástice Fe,Co, FePt a FeCo s unikátními vlastnostmi v různých maticích. Byly vyvinuty a testovány techniky pro přípravu periodických a aperiodických (litografie a techniky samouspořádání), pravidelných a nepravidelných (koloidní roztoky, povrchově modifikované superparamagnetické nanočástice a Shottkyho diody) nanostruktur.	100 %

### Celý program

Cíle programu	Dosažené výsledky	Míra splnění
Vytvořit nové materiály a metody jejich přípravy, vypracovat metody optimalizace a dosahování cíleně modifikovaných užitečných mechanických, elektrických a dalších vlastností materiálů, založené na unikátních vlastnostech nanočástic,	V Podprogramu 1 byly vyvinuty syntézní postupy a následně připraveny a zevrubně charakterizovány nové typy nanomateriálů. V řadě případů se jednalo o unikátní nanomateriály, které v době zahájení programu nebyly prakticky vůbec známy, viz např. grafen. Z dalších nanomateriálů byl v centru pozornosti nanodiamant, uhlíkové nanotrubičky, oxid titaničitý, železitý, stříbro, křemík a zeolity. Získané nanomateriály byly prozkoumány z	94 %

<p>nanovláken, kompozitních a nanostrukturních materiálů.</p> <p>Účinným transferem poznatků rozšířit spektrum průmyslově využitelných technologií, založených na praktickém využití nanočástic, nanovláken, nanopovlaků, nanostruktur a nanokompozitů v materiálové výrobě v ČR a zejména u volných nanočástic a nanovláken posoudit možný negativní vliv na životní prostředí a člověka.</p>	<p>hlediska potenciálních aplikací v katalýze, konverzi sluneční energie na elektrickou (nové typy solárních článků jako alternativa křemíkové fotovoltaiky) či chemickou (např. rozklad vody na vodík, který je považován za palivo pro 21. století), využití tenkých vrstev a povrchových modifikací k zlepšení vlastností materiálů, vývoji nových senzorů a biosenzorů apod. Relevantní výsledky tohoto výzkumu byly též patentovány, resp. dále rozvíjeny ve spolupráci s průmyslovými partnery formou prototypů, poloprovozů, funkčních vzorků apod. čímž se vytvořil základ pro konkrétní nanotechnologické aplikace v ČR. Pro ochranu životního prostředí byly vyvinuty např. nové postupy čištění odpadních vod.</p>	
<p>Využít nanostruktury a nanokomplexy, včetně hybridních materiálů ovladatelných vnějším magnetickým polem, pro nové lékové formy, diagnostika, kontrastní látky a nosiče, zajišťující cílený transport těchto látek či přenos genové informace, jejich aktivaci a biodegradaci v organismu.</p> <p>Navrhnout nové biosensory a diagnostické systémy umožňující citlivou detekci molekulárních objektů a podpořit zavádění moderních nanotechnologických materiálů a metod do zdravotnické praxe v ČR.</p>	<p>V rámci Podprogramu 2 byla navržena a testována řada nových nanočástic vhodných pro diagnostické i terapeutické využití (fotodynamická terapie), jejich modifikace pro transport léčiv, označování nádorových buněk a stanovení patofyziologicky důležitých analytů (včetně nukleotidů a oligonukleotidů) a popsána jejich příprava včetně supermagnetických částic na základě oxidů železa a povrchově modifikovaných magnezitovatelných nanočástic.</p> <p>Byly navrženy, zkonstruovány, testovány a zavedeny do výroby biosensory založené na nových plasmonických nanostrukturách a funkcionalizacích pro diagnostiku onkohematologických a virových onemocnění a poškození polycyklickými aromatickými uhlovodíky. Byly připraveny a charakterizovány nové formy konstruktů nanovláknenných nosičů s kmenovými buňkami, nebo nesoucích farmakologicky aktivní látku a byl prokázán jejich významný terapeutický potenciál.</p>	<p>96 %</p>
<p>Navrhnout nové nástroje, přístroje a zařízení pro tvorbu a charakterizaci nanostruktur s vysokým rozlišením a vypracovat nové metody pro manipulaci a propojování nanoobjektů s mikro a makrookolím, zejména s mikroelektronikou.</p> <p>Pro technicky zajímavé objemové a gradientní materiály vytvořit nové metrologické postupy pro současnou charakterizaci topografie a chemického</p>	<p>V Podprogramu 3 byly v první řadě prověřeny možnosti vytváření nanostruktur pomocí rentgenového laserového záření a byly nalezeny hranice použitelnosti této metodiky při exponování fotorezistů typu PMMA. Dále byly úspěšně prověřeny možnosti zobrazování biologických objektů v tzv. „vodním okně“. Pokud jde o diagnostické metody, byla zvládnuta 3D diagnostika materiálů pomocí elektronové mikroskopie a pozitronové anihilací spektroskopie až do úrovně atomárních rozměrů.</p> <p>Byly vyvinuty a optimalizovány technologie pro přípravu nanomorfologických scintilačních a fosforových materiálů. Vzniklo několik zcela nových materiálových koncepcí, kdy při jejich</p>	<p>85 %</p>

<p>složení jejich povrchů s vysokým laterálním rozlišením a vypracovat metody optimalizace užitečných mechanických, elektrických a dalších vlastností těchto materiálů.</p>	<p>optimalizaci byl studován vztah mezi technologickými podmínkami přípravy a procesy přenosu a zachytu energie speciálně v přívodové či stykové vrstvě zrn nebo kompozitních fází. Byla navržena a optimalizována technologie využívající WSP plazmatronu k přípravě keramických prvků s nanokrystalickou strukturou, jejíž vlastnosti výrazně překonávají konvenční materiály.</p>	
<p>Navrhnout, připravit, charakterizovat a modelovat nové nanostruktury, vhodné pro detektory, fotonické krystaly či lasery a nové polovodičové spintronické materiály pro vývoj nové generace nanosoučástek pro záznam a přenos informace.</p> <p>Vypracovat nové metody přípravy nanostruktur a nanomateriálů s cíleným řízením rozměrů objektů či jejich samoorganizací, zejména připravit, charakterizovat a optimalizovat nové nano-uhlíkové a nanodiamantové materiály pro bio-aplikace a nanoelektroniku.</p>	<p>Podprogram 4 "Nové jevy a materiály pro nanoelektroniku" byl relativně velmi náročný s ohledem na to, že materiály a nanotechnologie dosáhly právě v elektronice zatím největšího praktického uplatnění v průmyslové praxi. Nanotechnologie v podstatě umožňují další trvalý rozvoj informační a telekomunikační techniky tím, že přechodem charakteristických rozměrů pod 100 nm do oblasti nanotechnologií stále drží trend ke stále vyšší rychlosti funkcí, růstu kapacity pamětí, zmenšování rozměrů a spotřeby materiálu a příslušný pokles výrobních nákladů.</p> <p>Tento růst je ovšem podmíněn intenzivním výzkumem nových jevů a materiálů pro nanoelektroniku, který se ve vyspělém světě dostal na vysokou úroveň s vysokými nároky na laboratorní vybavení a lidský potenciál. Z tohoto hlediska je třeba zvláště ocenit návrhy technologií přípravy a diagnostiky nových nanostruktur pro nanoelektroniku a bio-aplikace, které byly v tomto náročném konkurenčním prostředí projekty Podprogramu 4 dosaženy a publikovány.</p>	<p>90 %</p>

## **5. Srovnání dosažených výsledků programu se stavem v zahraničí v době ukončení programu**

Počátek historie nanotechnologií se obvykle datuje do padesátých let 20. století a je spojován s osobou amerického fyzika Richarda Feynmana, který položil vědeckému světu otázku: "Proč ještě neumíme zapsat všech dvacet čtyř svazků Encyklopedie Britaniky na špendlíkovou hlavičku?" a ve své přednášce předložil vizi, která se později stala skutečností a novým oborem fyziky, vizi nanotechnologií. Uvedl představu o tom, že bude možné vytvářet materiály a mechanismy na úrovni atomů a molekul [1]. Pozdější vývoj v 80. letech mu dal za pravdu. V roce 1981 byl vynalezen rastrovací tunelový mikroskop (STM), roku 1986 mikroskop využívající atomových sil (AFM) a v roce 1989 pak inženýři firmy IBM napsali třiceti pěti izolovanými xenonovými atomy pomocí tunelového skenovacího mikroskopu logo své firmy. Japonský vědec Norio Taniguchi z Tokijské univerzity použil v roce 1974 jako první termín "nano-technology" [2].

V jiných zemích začalo centrální a koordinované financování nanotechnologií dříve než u nás: Americká National Nanotechnology Initiative zahájená prezidentem Billem Clintonem byla v roce 2000 financovaná 500 miliony dolarů [3, 4], za prezidenta

G. W. Bushe v roce 2003 to byly 3,63 miliardy na další čtyři roky a v roce 2009 dosáhla výše podpory 1,5 miliardy dolarů na rok [5].

V Evropské unii byly nanotechnologie jednou ze 7 priorit 6. rámcového programu od roku 2003, Evropská komise připravila ke schválení pro Evropský parlament návrh na financování nanotechnologického výzkumu pro roky 2010-2015 ve výši 2 miliard EUR [6]. Jedná se o podporu projektů ve velmi širokém spektru nanotechnologických oborů, nicméně byla provedena výrazná selekce s ohledem na evropské možnosti, konkurenceschopnost a hlavně význam pro evropskou ekonomiku. Silná podpora nanotechnologií je i v jednotlivých evropských zemích, zejména v Německu, Spojeném království a Francii.

Ještě výraznější podpora a rozmach nanotechnologií je ve všech zemích východní Asie, kde se nyní realizuje drtivá většina nanoprodukce a část jejích zisků jde i do výzkumu, který tím získává řádově větší podporu než jinde ve světě. Na nanotechnologie začíná sázet, jako na perspektivního nástupce ropy, i Saudská Arábie.

V ČR některé aktivity, které by se dnes nazývaly nanotechnologií, začínaly na řadě pracovišť již v osmdesátých letech, ale rozvoj byl pomalý a nekoordinovaný. První práce drtivé většiny týmů věnujících se z počátku částečně i nanovědám a nanotechnologiím vycházely z jejich vybavení, které nebylo přímo určené pro nanotechnologie a silně zaostávalo za světem. První komerčně vyrobený skenovací tunelový mikroskop (STM) umožňující unikátní experimenty v širokém oboru teplot byl instalován ve Fyzikálním ústavu AVČR v roce 1997.

Publikace NANOTECHNOLOGIE V ČESKÉ REPUBLICE – 2005 [7], která dobře ilustruje stav před vyhlášením Programu „Nanotechnologie pro společnost“, informovala o základním a aplikovaném výzkumu v oblasti nanovéd a nanotechnologií v 18 ústavech Akademie věd České republiky, na 28 fakultách a ústavech 13 vysokých škol a ve 4 příspěvkových organizacích řízených resorty. Byl identifikován a popsán aplikovaný výzkum a vývoj v 9 výzkumných pracovištích soukromé sféry, v 6 velkých výrobních společnostech a v 19 malých a středních podnicích (MSP). Byl též uveden seznam publikací a aktivit popularizujících obor nanotechnologií od roku 1986.

Prvním krokem k řešení nepříznivé situace v ČR bylo zlepšit vzájemnou informovanost, k čemuž přispěly aktivity sekce Nanovědy a nanotechnologie při České společnosti pro nové materiály (ČSNMT), pořádající od roku 2002 "Nano" setkání v Brně a také řada seminářů v roce 2003 vytvořeného "Czech Nano-team" (viz [www.fzu.cz/~nanoteam](http://www.fzu.cz/~nanoteam)).

Společným úsilím ČSNMT a Českého Nanotýmu s těžištěm ve FZÚ AV ČR, VUT a MU Brno a UP v Olomouci se podařilo, za výrazné podpory vedení AV ČR, zformulovat a ve vládě ČR prosadit sedmiletý Program „Nanotechnologie pro společnost“ na období 1. 7. 2006 – 31. 12. 2012, v rámci něhož bylo čerpáno celkově 1,735 miliardy Kč (1507 milionů Kč účelová podpora a 228 milionů Kč neveřejných zdrojů). Úspěšným správcem Programu (velmi kladně hodnoceným řadou řešitelů i firem) byla AV ČR.

Další inovované verze práce NANOTECHNOLOGIE V ČESKÉ REPUBLICE z let 2008 [8] (26 ústavů AV ČR, 15 VŠ na 37 fakultách, 9 příspěvkových organizací, 15 výzkumných pracovišť soukromé sféry, 12 velkých výrobních společností a 57 malých a středních podniků) a poslední vydání z roku 2012 [9] (29 ústavů AV ČR,



18 VŠ na 50 fakultách, 16 příspěvkových organizací, 23 výzkumných pracovišť soukromé sféry, 21 velkých podniků a 123 malých a středních podniků) ukazují bouřlivý rozvoj nanotechnologií, o což se také bezesporu výrazně zasloužil i Program „Nanotechnologie pro společnost“, který především umožnil a urychlil solidní přístrojové vybavení týmů, které uspěly v náročném výběrovém řízení tohoto Programu.

I v této době grantové agentury podporovaly výzkum v oboru nano (z počátku GA AV, GA ČR, později i MŠMT, MPO, MO, TA ČR a interní granty jednotlivých univerzit, v neposlední řadě byl a je výrazný příspěvek z prostředků EU), ale byla to podpora omezená, roztržitá, většinou krátkodobá a jen v některých případech částečně investiční.

V rámci řešení Programu bylo dosaženo velkého množství výsledků výzkumu a vývoje na evropské a světové úrovni. Řada výsledků dosažených při řešení jednotlivých projektů Programu náleží ke špičce výzkumu v České republice i v zahraničí. Mezi nejkvalitnější jistě patří jak originální výsledky, které byly podány patentovým úřadům k patentové ochraně, tak tisíce výsledků aplikovaného i základního výzkumu, které byly přijaty k publikaci v zahraničních impaktovaných časopisech, v řadě případů i v naprosto špičkových jako je Cell, Nature, či Science. O vysoké mezinárodní úrovni mnohých výsledků svědčí i to, že byly dosaženy ve spolupráci se špičkovými zahraničními badateli. V některých případech kvalita výsledků a vybavení přispěla k přizvání českých týmů k účasti na společných zahraničních projektech či dokonce naši badatelé takovéto týmy zakládali. Naše účast v desítkách evropských i mimoevropských (USA, Japonsko, Singapur, Izrael, ...) grantových i firemních projektů přinesla další výrazné finanční prostředky pro rozvoj nanotechnologií. Dokladem výše zmíněných tvrzení je mimo jiné fakt, že v Brně se každoročně koná čím dál kvalitnější mezinárodní konference NANOCON, kde kromě významných zahraničních badatelů vystupují s pozvanými přednáškami i představitelé projektů Programu „Nanotechnologie pro společnost“.

Program „Nanotechnologie pro společnost“ sehrál významnou synergickou roli s řadou dalších aktivit v ČR. Například jedním z prvních udělených projektů Programu MŠMT „Centra základního výzkumu“ (LC), jejichž cílem bylo zlepšit spolupráci AV ČR s vysokými školami, ale i mezinárodní spolupráci a zejména zlepšit výchovu mladých vědeckých pracovníků, bylo „Centrum nanotechnologií a materiálů pro nanoelektroniku“ (FZÚ AV ČR, 2005-2011). Oba tyto Programy výrazně přispěly k tomu, že na mnoha univerzitách byly akreditovány výukové programy založené na nanotechnologiích (např. TU Ostrava, ČVUT Praha, TU Liberec, VUT a MU Brno, UPCE, UK-MFF). Studenti těchto studijních programů se účastnili práce v týmech, které řešily projekty Programu „Nanotechnologie pro společnost“. Zvláště pro doktorandy byla možnost pracovat na špičkových aparaturách s kvalitními badateli mimořádně užitečná a pro jejich další odborný růst přínosná.

Synergickou roli Programu „Nanotechnologie pro společnost“ je možné doložit i řadou nových projektů v rámci strukturálních fondů EU. Níže je uvedeno několik vybraných konkrétních příkladů kvalitních evropsky srovnatelných laboratoří vzniklých i díky Programu „Nanotechnologie pro společnost“ v rámci Regionálních strukturálních fondů:

Česká republika se může pochlubit novým špičkovým pracovištěm pro výzkum nanotechnologií - Střediskem Analýzy Funkčních Materiálů (SAFMAT). Tato laboratoř byla otevřena v říjnu 2011 v prostorách Fyzikálního ústavu AV ČR, v. v. i.,

v Praze a pyšní se v některých oborech nejlepším vybavením ve střední i východní Evropě.

V roce 2010 bylo MŠMT vydáno "Rozhodnutí o poskytnutí dotace" projektu Regionálního Centra Pokročilých Technologíí a Materiálů (dále RCPTM), které zakládá oficiální podporu výzkumu a vývoje v oblasti pokročilých technologií a materiálů na půdě Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Projekt byl schválen v rámci Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace s celkovou dotací ve výši 544 milionů Kč, přičemž 463 milionů Kč bude hrazeno z prostředků EU a 81 milionů Kč z rozpočtu ČR. Primárním cílem projektu je intenzivní prosazování uplatnění výsledků výzkumu a vývoje v praxi. Projekt tvoří mezičlánek mezi výzkumnými aktivitami, probíhajícími dominantně na Univerzitě Palackého v Olomouci, a podnikatelskými subjekty v oblastech nanotechnologií, optických technologií, analytických procesů a instrumentace a vývoje biologicky aktivních sloučenin.

V roce 2010 vzniklo také "Centrum pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace" Technické univerzity v Liberci, na které univerzita získala dotaci z Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace. Liberecká univerzita vybuduje nanotechnologické středisko za 800 milionů korun.

Na Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR, v. v. i., bylo v období od 1. 10. 2008 do 31. 10. 2010 vybudováno Centrum pro inovace v oboru nanomateriálů a nanotechnologií. Od 1. 11. 2010 toto Centrum úspěšně zahájilo svou činnost v pětiletém období fáze udržitelnosti. Centrum bylo financováno z Operačního programu Praha – Konkurenceschopnost v 1. výzvě, oblast podpory 3.1 („Rozvoj inovačního prostředí a partnerství mezi základnou výzkumu a vývoje v praxi“) prioritní osy Inovace a podnikání.

CEITEC (Central European Institute of Technology), který byl schválen Evropskou komisí 6. června 2011, je dalším centrem vědecké excelence v oblasti věd o živé přírodě a pokročilých materiálů a technologií. Vznikl ze společného projektu 6 nejvýznamnějších brněnských univerzit a výzkumných institucí (AV ČR) za podpory Jihomoravského kraje a města Brna. Jedním ze 7 výzkumných programů tohoto centra jsou Pokročilé nanotechnologie a mikrotechnologie.

Souhrnně lze konstatovat, že úroveň poznání v oblasti nanotechnologií je v současné době za výrazného přispění Programu „Nanotechnologie pro společnost“ v České republice na vysoké úrovni, a to i v mezinárodním srovnání.

- [1] Gribbin, John; Gribbin, Mary (1997). Richard Feynman: A Life in Science. Dutton. p. 170. ISBN 0452276314
- [2] Taniguchi, Norio (1974). "On the Basic Concept of 'Nano-Technology'". Proceedings of the International Conference on Production Engineering, Tokyo, 1974, Part II (Japan Soc. of Prec. Eng.)
- [3] *President Clinton's speech: My budget supports a major new National Nanotechnology Initiative, worth \$500 million. Over 40 years ago, Caltech's own Richard Feynman asked, "What would happen if we could arrange the atoms one by one the way we want them?". President George W. Bush further increased funding for nanotechnology. In 2003 Bush signed into law the 21st Century Nanotechnology Research and Development Act, which authorizes expenditures for five of the participating agencies totalling US\$3.63 billion over four years. The NNI budget supplement for Fiscal Year 2009 provides \$1.5 billion dollars to the NNI*

- [4] Jones, Richard M. (21 January 2000). "President Requests Significant Increase in FY 2001 Research Budget". FYI: The AIP Bulletin of Science Policy News. American Institute of Physics. <http://www.aip.org/fyi/2000/fyi00.008.htm>. Retrieved 13 May 2011
- [5] "National Nanotechnology Initiative: FY 2009 Budget & Highlights". United States National Nanotechnology Initiative. Archived from the original on 27 May 2010. [http://replay.web.archive.org/20100527150059/http://www.nano.gov/NNI\\_FY09\\_budget\\_summary.pdf](http://replay.web.archive.org/20100527150059/http://www.nano.gov/NNI_FY09_budget_summary.pdf)
- [6] K. Sommer, L. Baldi, E. Hulicius, C. Moitier, F. Mudry, T. Wilkins Economic Impact of NMP NMP Expert Advisory Group (EAG) Position Paper on Future RTD Activities of NMP for the Period 2010 - 2015, Publications Office of the European Union, Luxembourg 2010, pp. 5 – 30, ISBN 978-92-79-14065-5
- [7] L. Kraus, J. Kubátová T. Prnka, J. Shrbená, K. Šperlink, Nanotechnologie v České republice 2005. Česká společnost pro nové materiály a technologie, 2005. ISBN 80-7329-114-2. (včetně anglické mutace Nanotechnology in Czech Republic 2005)
- [8] T. Prnka, J. Shrbená, K. Šperlink; and M. Černík, E. Hulicius, J. Kubátová, A. Prokop, M. Solar, Nanotechnologie v České republice 2008. Česká společnost pro nové materiály a technologie, 2008. ISBN 978-80-7329-187-7. (včetně anglické mutace Nanotechnology in Czech Republic 2008)
- [9] J. Shrbená, K. Šperlink; and E. Hulicius, V. Křečková J. Kubátová, M. Solar, Nanotechnologie v České republice 2012. Česká společnost pro nové materiály a technologie, 2012. ISBN 978-80-7216-305-2. (včetně anglické mutace Nanotechnology in Czech Republic 2012)

## **6. Informace o implementaci národních priorit orientovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací**

Program „Nanotechnologie pro společnost“ byl schválen vládou ČR dne 17. 8. 2005 a všechny tři veřejné soutěže ve výzkumu, experimentálním vývoji a inovacích v rámci tohoto programu byly vyhlášeny do 30. 5. 2007. Vzhledem k tomu, že Národní priority orientovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací (dále „priority“) byly schváleny usnesením vlády až 19. 7. 2012, tedy v době, kdy do ukončení řešení posledních 8 řešených projektů zbývalo méně než 6 měsíců, nebylo možné tyto priority adekvátně implementovat do ukončovaného programu.

*Souhrnná zpráva byla schválena na 9. zasedání Akademické rady AV ČR dne 24. října 2013.*