

Závěrečná zpráva

1. Závěrečná zpráva o řešení projektu v programu Tandem ke dni 30. 6. 2008

2. Ev. č. projektu: FT-TA2/059

3. Název projektu: Systémy pro generaci nedifrakčních svazků a přenos mechanických účinků světla

4. Nositel projektu: Meopta – optika, s.r.o.

5. Řešitel projektu: RNDr. Zdeněk Lošťák, tel.: 581 243 333, fax: 581 242 222, e-mail: lostak@meopta.com

6. Termín ukončení projektu: 6/2008

7. Plnění cílů a etap v průběhu řešení projektu:

Základním cílem programového projektu *Systémy pro generaci nedifrakčních svazků a přenos mechanických účinků světla* bylo převést teoretické výsledky základního výzkumu nestandardních laserových svazků, které byly získány na předních vědeckých pracovištích České republiky, do průmyslového využití a vytvořit podmínky pro rychlý podnikový vývoj konkrétních přístrojů. K tomuto cíli bylo vytvořeno strategické uskupení tří organizací (UP v Olomouci, ÚPT v Brně, Meopta v Přerově), které na základě podepsaných smluv postupovalo při vývoji společně. Hlavním cílem tak byl přechod od systematického základního výzkumu nestandardních laserových svazků k aplikačně orientovanému výzkumu.

Stanovené cíle z hlediska doby svého průmyslového využití byly rozděleny na krátkodobé a dlouhodobé. Ke krátkodobým cílům patří realizace relativně jednodušších systémů požadovaných parametrů pro biologické, lékařské a školní laboratoře, se kterými je možno provádět mikromanipulace (optická pinzeta), nebo systémy umožňující využívat pseudo-nedifrakční svazky k justážním účelům. K dlouhodobým cílům projektu patřilo připravit podmínky, které zajistí průmyslové využití vybraných aplikací z moderní optiky. Mezi takové aplikace bylo vybráno formování světelného svazku prostorovými modulátory a difraktivními optickými prvky, osvojení optických mikromanipulačních metod a jejich další vývoj.

Konkretizace projektu se zaměřila na experimenty s nestandardními laserovými svazky a na ověření jejich využitelnosti v optických manipulacích, na návrh nových technických variant kompaktní laserové pinzety a přípravu jejich realizace v podmínkách průmyslového podniku a na využití moderních optoelektronických systémů pro návrh a realizaci dynamické laserové pinzety s funkcemi řízenými počítačem.

Časově byl projekt rozdělen do tří etap. V rámci každé časové etapy byly pro jednotlivé pracoviště stanoveny hlavní úkoly (přehled jednotlivých etap je uveden v tab. 1). První etapa se týkala rozpracování teoretického zázemí pro řešení projektu a přenosu „know-how“ mezi jednotlivými pracovišti. Ve druhé etapě probíhala příprava příslušných ověřovacích experimentů. Třetí etapa byla realizační, zaměřená na dopracování technické dokumentace, výrobu funkčních vzorků, stanovení jejich technických parametrů a na průzkum trhu.

Aktivita jednotlivých pracovišť byla zaměřena tak, aby vedla ke splnění základních cílů řešení, které byly závazně stanoveny ve "Smlouvě o využití výsledků výzkumu a vývoje 195/2007/FT-TA2/059", uzavřené mezi Meoptou a MPO dne 4.10.2007. Přehled základních dosažených výsledků řešení projektu (funkční vzorky včetně dokumentace a technických podmínek a demonstrační jednotky včetně zpráv pro uživatele) je uveden v tab. 2.

<i>Etapa</i>	<i>Činnost</i>	<i>Termín ukončení (dle smlouvy)</i>	<i>Garance</i>	<i>Plnění</i>
1.1	Teoretický fyzikální popis syntézy svazků.	31.12.2005	UP Olomouc	splněno
1.2	Sestavení zjednodušeného laboratorního vzorku.	31.12.2005	ÚPT Brno	splněno
1.3	Analýza a syntéza optických soustav pro generaci laserových svazků.	31.12.2005	Meopta	splněno
2.1	Experimentální ověření počítačové syntézy v laboratorních podmínkách.	31.12.2006	UP Olomouc	splněno
2.2	Výkresová dokumentace mechanické části, návrh metodologie měřících postupů, ověřování pracovních postupů.	31.12.2006	ÚPT Brno	splněno
2.3	Výkresová dokumentace optické části.	31.12.2006	Meopta	splněno
3.1	Návrh algoritmu pro počítačovou syntézu, experimentální ověření.	30. 6.2008	UP Olomouc	splněno
3.2	Výroba části laboratorního vzorku, experimentální měření v podmínkách různých aplikací.	30. 6.2008	ÚPT Brno	splněno
3.3	Výroba funkčního vzorku, měření vzorku, programové zpracování.	30. 6.2008	Meopta	splněno

Tab. 1 Etapy řešení projektu.

<i>Označení funkčního vzorku</i>	<i>Garance</i>
Světelná pinzeta pro mikročástice s vestavěnou laserovou diodou KOPLD 808 nm (obr. 1).	ÚPT, Meopta
Světelná pinzeta pro mikročástice pro napojení externího laseru KOPOL 808 nm (obr. 2).	ÚPT, Meopta
Ozařovací systém pro mikroskopovou techniku FRAP na bázi přístroje KOPOL pro 405 nm (obr. 3).	ÚPT, Meopta
Demonstrační jednotka počítačem řízené světelné pinzety na bázi prostorového modulátoru světla (obr. 4).	UP
Demonstrační jednotka generátoru nedifrakčních svazků (obr. 5).	UP, Meopta

Tab. 2 Přehled smluvně stanovených základních cílů řešení projektu.



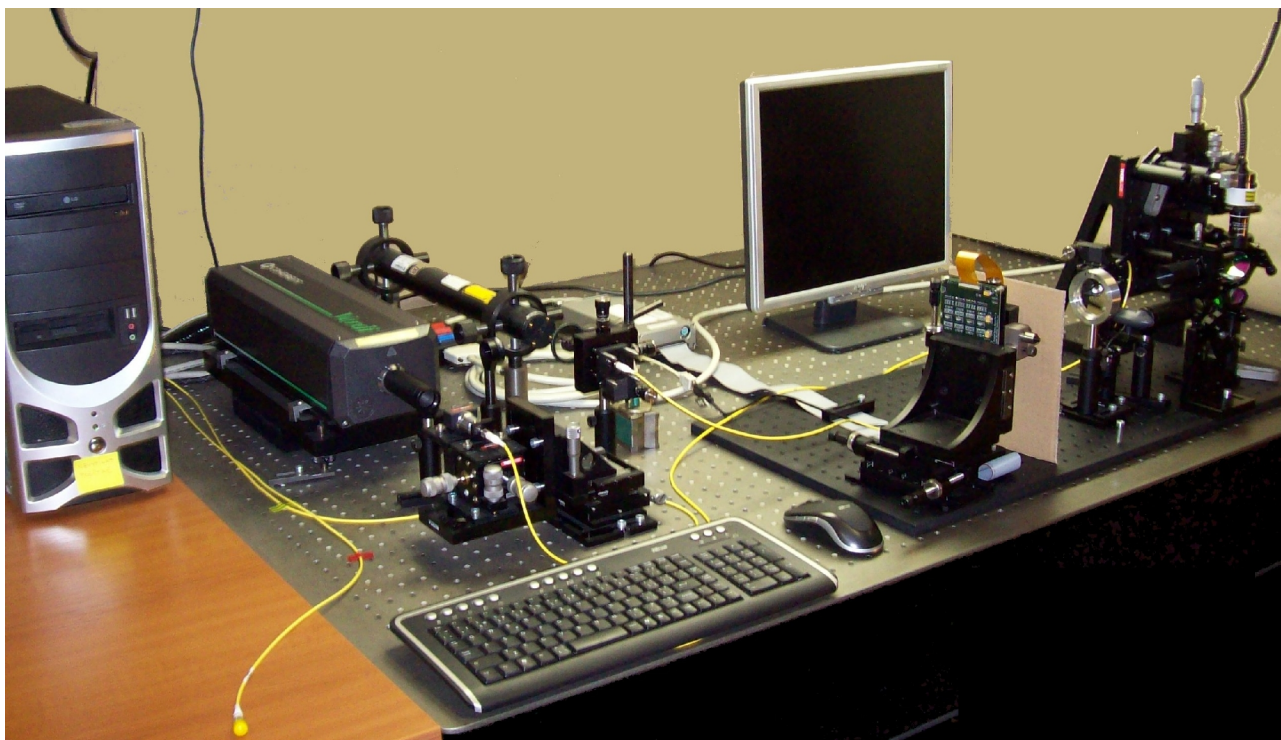
Obr. 1 Světelná pinzeta pro mikročástice s vestavěnou laserovou diodou LMA 2 (KOPLD 808 nm).



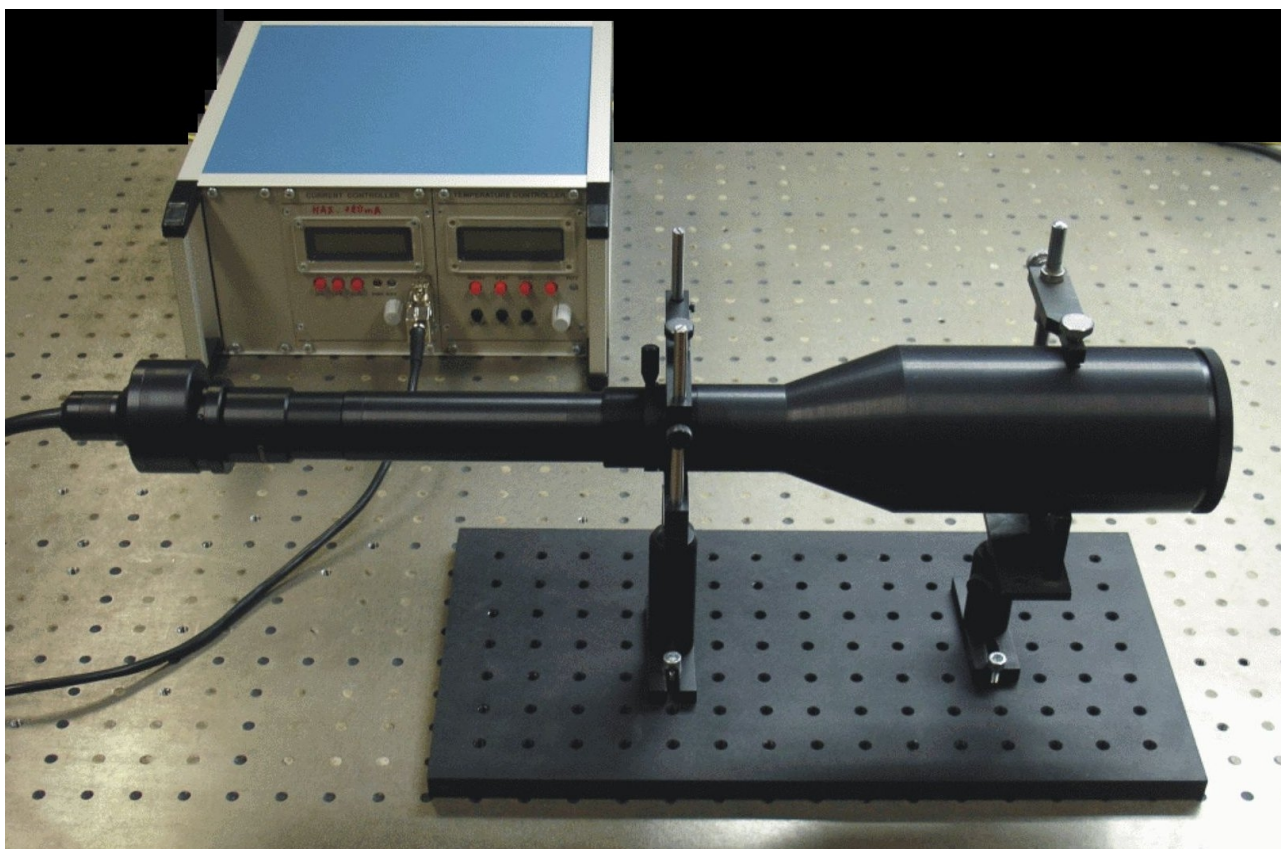
Obr. 2 Světelná pinzeta pro mikročástice pro napojení externího laseru LMA 2 (KOPOL 808 nm).



Obr. 3 Ozařovací systém pro mikroskopovou techniku FRAP na bázi přístroje LMA 2 - 405 nm.



Obr. 4 Demonstrační jednotka počítačem řízené světelné pinzety na bázi fázového prostorového modulátoru světla.



Obr. 5 Demonstrační jednotka generátoru nedifrakčních svazků.

Průběh první etapy řešení [60]

První etapa řešení byla soustředěna na rozpracování teoretického zázemí pro následné řešení projektu a přenos „know-how“ mezi jednotlivými pracovišti. Meopta jako příjemce projektu organizovala řadu seminářů, na kterých její vybraní pracovníci byli seznamováni s výsledky základního výzkumu v ÚPT a UP a poskytovali zpětnou vazbu týkající se výrobních možností a komerčního zájmu Meoty. Na semináře navazovalo předávání písemných zpráv prostřednictvím interních www stránek.

V rámci etapy 1.1 - *Teoretický fyzikální popis syntézy svazků* byly na UP v Olomouci rozpracovány teoretické a experimentální metody, které umožňují transformaci záření běžných typů laserů na optické svazky speciálních vlastností [1], [11].

- Byl proveden návrh a realizace základních experimentů, které umožnily vytvoření a následné posouzení vlastností nedifrakčních mikrosvazků [23], [24].
- Byl oživen a testován fázový prostorový modulátor světla (FPMS) Boulder 512x512 pixelů. Pomocí interferometru byla provedena jeho kalibrace a výpočetně i experimentálně byla stanovena jeho energetická účinnost [24], [28], [57].
- Byla zvládnuta metodika vytváření počítačem generovaných hologramů, které ovládají činnost FPMS [1], [4], [58] a vytvořeny výpočetní modely umožňující simulaci činnosti FPMS v reálných podmínkách.
- Byly analyzovány možnosti úprav zářivého svazku laserové diody [33], [34].

V rámci etapy 1.2 - *Sestavení zjednodušeného laboratorního vzorku* byly v ÚPT rozpracovány teoretické možnosti manipulace světelné pinzety.

- Byly provedeny teoretické propočty optických sil a jejich experimentální ověření v souběžném a protiběžném uspořádání nedifrakčních svazků [5], [6].
- Pro potřebu optických manipulací byly vytipovány nejvhodnější typy laserových diod. Byla navržena a realizována miniaturní laboratorní sestava optické pinzety.
- Byly provedeny laboratorní zkoušky s prvními verzemi kompaktní optické pinzety [38].

V rámci etapy 1.3 - *Analýza a syntéza optických soustav pro generaci laserových svazků* byly v Meoptě analyzovány navržené optické systémy.

- Byly navrženy optické systémy pro symetrizaci svazku laserové diody [30].
- Byl rozšířen komerční optický software OSLO o vlastní nové moduly umožňující snadnější inženýrské aplikace a byly analyzovány možnosti anamorfotických hranolů [37].

Průběh druhé etapy řešení [61]

Druhou etapu řešení lze charakterizovat jako vývojově konstrukční s navazující přípravou příslušných ověřovacích experimentů.

V rámci etapy 2.1 - *Experimentální ověření počítačové syntézy v laboratorních podmínkách* byly získány následující výsledky:

- Na základě „know-how“ převzatého z ÚPT AV ČR v Brně byl proveden návrh laserové pinzety s přímou fokusací svazku a byla ověřena její součinnost s generátorem nedifrakčních svazků (GNS). U takto vytvořené pinzety byla demonstrována možnost spojitého přemísťování vytvořených optických pastí jednoduchým pracovním pohybem diasporometru, který je součástí GNS [26].
- Byl proveden základní rozměrový návrh kompaktního GNS a ověřena experimentální metoda polohování stopy generovaného svazku [35].
- V prostředí MATLAB byl vytvořen algoritmus pro návrh proměnných blejzovaných fázových mřížek, ověřen Gerchbergův-Saxtonův algoritmus a zpracovány programy, které umožňují dynamické adresování FPMS [25], [28].
- Byl navržen a sestaven optický systém, který podporoval činnost FPMS. Jednalo se zejména o návrh a realizaci osvětlovací části [59]. Další součástí byl telecentrický systém pro filtraci nežádoucích difrakčních řádů vytvořených FPMS a pro navedení modulovaného svazku

do mikroskopového objektivu laserové pinzety. K ověření funkce celé sestavy byl použit He - Ne laser.

V rámci etapy 2.2 - *Výkresová dokumentace mechanické části, návrh metodologie měřících postupů, ověřování pracovních postupů* byly provedeny činnosti soustředěné zejména na konstrukci, realizaci a ověření funkčnosti kompaktní světelné pinzety [12], [13], [18], [56]:

- Byly analyzovány vlastnosti optické pasti vytvořené minipinzetou [39], [43], [56].
- Na základě zkoušek s prvním laboratorním vzorkem optické pinzety byla navržena konstrukce zdokonalené verze laboratorního vzorku optické pinzety, označená jako KOPLD [39], která v sobě zahrnuje i zdroj laserového záření - laserovou diodu.
- Byly vyrobeny laboratorní vzorky KOPLD, které umožnily prostorové zachycení a přemístění polymerových mikroobjektů o velikostech 0,35-5 μm a živých buněk o rozměrech 6-8 μm .
- Byla navržena a vyrobena zjednodušená verze kompatibilní optické pinzety, která využívala laserového svazku zavedeného optickým vláknem a byla označena KOPOL.
- Oba adaptéry KOPLD a KOPOL byly úspěšně testovány na klasických i fluorescenčních světelných mikroskopech (Olympus BX50, IX 70) a konfokálním mikroskopu Confocal 2002. Vlastnosti optických pastí byly vyhodnoceny pro 4 různé mikroskopové objektivy Olympus [56].
- Výkresová dokumentace adaptérů KOPOL a KOPLD byla předána Meoptě [49], [50].
- Byla podána přihláška vynálezu PV 2006-352 [54].

V rámci etapy 2.3 - *Výkresová dokumentace optické části* byly získány následující výsledky:

- V podmínkách Meopty byly na laboratorních vzorcích KOPLD ověřeny některé experimenty se zachytem mikročástic.
- Proběhla optimalizace optického systému, včetně analýzy tolerancí.
- Byl proveden rozbor energetické účinnosti navázání záření laserové diody do jednomodového vlákna [31].
- Byl navržen hybridní difraktivně refraktivní optický systém osvětlovače [32].
- Na základě dokumentace z ÚPT byla provedena rekonstrukce systému KOPLD pro výrobní podmínky Meopty.

Průběh třetí etapy řešení [62], [63]

Třetí etapu řešení lze charakterizovat jako výrobní a měřicí.

V rámci etapy 3.1 - *Návrh algoritmu pro počítačovou syntézu, experimentální ověření* byly rozpracovány experimentální metody tvarování laserového záření pomocí prostorové modulace světla a získány další výsledky:

- Ve spolupráci s Meoptou byl optimalizován a realizován GNS a bylo provedeno laboratorní ověření jeho funkce a určení základních parametrů [47]. Následně bylo provedeno propojení GNS s laserovou pinzetou a tímto systémem bylo úspěšně demonstrováno vytváření pohyblivých optických pastí ovládaných jednoduchým pracovním pohybem diasporometru [9].
- Byl navržen a realizován systém holografické laserové pinzety, která pracuje v dynamickém režimu a využívá záření laseru Verdi V2. V této souvislosti byla provedena kalibrace FPMS na pracovní vlnovou délku 532 nm a řešena koncepce interaktivního režimu, ve kterém je obraz kamery překryt transparentním oknem pro řízení pracovních funkcí pinzety. Koncepce byla navržena tak, aby holografická pinzeta umožňovala vytváření jednoduchých i vícenásobných optických pastí v pozicích definovaných uživatelem a přemístění částic podél trajektorií vytvářených v interaktivním grafickém režimu [48].
- Byl vytvořen program pro ovládání holografické pinzety jako uživatelsky orientovaná aplikace v programovacím jazyce C++ s využitím prostředí Borland C++ Builder, který je součástí Borland Developer Studia 2006. Pracovní funkce programu, které byly ověřeny a optimalizovány, zahrnují průběžné snímání živého obrazu preparátu v mikroskopu,

komunikaci s laserem, komunikaci s FPMS, generaci jednoduchých a vícenásobných pastí a řízený transport částic ve dvou volitelných režimech [48].

- V souladu se smluvně stanovenými cíli byly sestaveny demonstrační jednotky „Demonstrační jednotka laserové pinzety s prostorovým modulátorem světla“ a „Demonstrační jednotka generátoru nedifrakčních svazků.“ Demonstrační jednotky jsou dokumentovány samostatnými zprávami [47], [48].
- Byly studovány možnosti využití nedifrakčních svazků v bezdrátové komunikaci [17].

V rámci etapy 3.2 - *Výroba částí laboratorního vzorku, experimentální měření v podmínkách různých aplikací* byla velká pozornost věnována testování kompaktních modulů KOPOL a KOPLD a současnému zlepšování funkce přístrojů:

- Do systému KOPOL byla zavedena možnost osového posunu kolimační čočky zajišťující změnu polohy ohniska ve směru šíření svazku. Společně s Meoptou byl tento návrh dopracován do fáze prototypu.
- V návaznosti na reakce některých uživatelů byl pro přístroj KOPOL zajištěn zdroj záření s příslušnou elektronikou. Byl zkonstruován nový optickomechanický typ vyvazovacího členu, který je použitelný pro různé vlnové délky.
- Spolupracovalo se na testování přístrojů KOPOL v zahraničí. V Max Planckově Institutu pro molekulární biologii a genetiku v Drážďanech byla ověřena možnost využití přístroje KOPOL pro pokročilé fluorescenční techniky FRAP (fluorescence recovery after photobleaching) a FLIP (fluorescence loss in photobleaching), dále zde byla provedena řízená mikrodisekce buněčné membrány. V ÚPT proběhly zkoušky s řízenou mikrodisekcí membrány kvasinek a protoplastů okurky.
- Ve spolupráci s Meoptou byly přístroje představeny zástupcům firmy Olympus a zapůjčeny ke zkouškám.
- Byla rozšířena přihláška vynálezu PV 2006-352 na mezinárodní patentovou přihlášku PCT [55].
- Byl studován vliv tvaru hrotu axikonu na prostorové rozložení nedifrakčního svazku a stanoven způsob prostorové filtrace, která zajišťuje odstranění nežádoucích efektů [3], [27].
- Ve spolupráci se zahraničním partnerem bylo studováno a objasněno stochastické chování mikroobjektů v nedifrakčním svazku [10].

V rámci etapy 3.3 - *Výroba funkčního vzorku, měření vzorku, programové zpracování* byly konstrukčně a výrobně dokončeny všechny uvažované typy funkčních vzorků a demonstrační jednotka GNS:

- Byla dokončena kompletní výrobní výkresová dokumentace v prostředí Pro/E funkčního vzorku LMA 1 - 808 nm a byly vyrobeny a odzkoušeny 2ks funkčních vzorků. Pro tento typ přístroje byly navrženy technické podmínky [44], [46], [51].
- Byla dokončena kompletní výrobní výkresová dokumentace v prostředí Pro/E funkčního vzorku LMA 2 - 808 nm a byly vyrobeny a odzkoušeny 2ks funkčních vzorků [40], [45], [52].
- Byla dokončena kompletní výrobní výkresová dokumentace v prostředí Pro/E funkčního vzorku LMA 1 - 405 nm a byl vyroben a odzkoušen 1ks funkčního vzorku. Pro tento typ přístroje byly navrženy technické podmínky [44].
- Byla dokončena kompletní výrobní výkresová dokumentace v prostředí Pro/E kompaktní demonstrační jednotky GNS [53] a byly vyrobeny a odzkoušeny 3ks demonstračních vzorků. Tato souprava zahrnuje achromatizovanou teleskopickou soustavu 7x s diasporametrem 2x0,5° resp. 2x1,0°, axikon s distančním členem 40 mm, 100 mm a 200 mm, laserové rozšiřovače 1,4x, 1,6x, 1,8x a 2x, osvětlovač s laserovou diodou 805 nm a energetickým zdrojem (jen 1ks). Základní zkoušky proběhly na UP (viz etapa 3.1), kde byla také vypracována celková zpráva [47] o demonstrační jednotce GNS.

8. Systémy pro generaci nedifrakčních svazků a přenos mechanických účinků světla

Knižní publikace - monografická kapitola

[1] Z. Bouchal, R. Čelechovský, G. Swartzlander, Jr., Spatially Localized Vortex Structures, Monograph Localized Waves, Edited by H. E. Hernández-Figueroa, M. Zamboni-Rached and E. Recami, J. Wiley & Sons, 2008, (ISBN: 978-0-470-10885-7).

Články v odborných časopisech

[2] Z. Bouchal, R. Čelechovský, Optimal spatial localization of orbital angular momentum in focused vortex light beams, (připraveno k publikování).

[3] O. Brzobohatý, T. Čižmár, P. Zemánek, High quality quasi-Bessel beam generated by round-tip axicon, Opt. Express (submitted).

[4] R. Čelechovský, Z. Bouchal, Optical implementation of the vortex information channel, New J. Phys. 9, 1367 (2007).

[5] T. Čižmár, M. Šiler, P. Zemánek: An optical nanotrap array movable over a milimetre range. Applied Physics B 84 (2006) 197-203.

[6] T. Čižmár, V. Kollárová, Z. Bouchal, P. Zemánek: Sub-micron particle organization by self-imaging of non-diffracting beams, New Journal of Physics 8, 43:1-21 (2006).

[7] T. Čižmár, V. Kollárová, X. Tsampoula, F. Gunn-Moore, W. Sibbett, Z. Bouchal, K. Dholakia, Generation of multiple Bessel beams for a Biophotonic workstation, Opt. Express (submitted).

[8] Z. Hradil, J. Reháček, Likelihood and entropy for statistical inversion, J. Phys., Conf. Series 36, 55-59 (2006).

[9] V. Kollárová, T. Medřík, R. Čelechovský, V. Chlup, Z. Bouchal, A. Pochylý, M. Kalman, and T. Kubina, Optically adjustable light filaments generated by a compact laser convertor, Opt. Express (submitted).

[10] G. Milne, K. Dholakia, D. McGloin, K. Volke-Sepúlveda, P. Zemánek, Transverse particle dynamics in a Bessel beam, Optics Express 15, 13972-13987, (2007).

[11] J. Řeháček, Z. Hradil, Z. Bouchal, M. Ježek, Tomographic analysis of vortex information content, J. Mod. Opt. 53, 689 (2006).

[12] M. Šerý, Z. Lošťák, M. Kalman, P. Jákl, P. Zemánek: Kompaktní optická pinzeta. JMO 51, č. 11-12, 316-319, (2006).

[13] P. Zemánek, P. Jákl, J. Ježek, M. Šerý, V. Karásek, T. Čižmár, M. Šiler: Laboratoř optických mikromanipulačních technik ÚPT AV ČR, JMO 51, č.1, 7-10 (2006) .

Příspěvky ve sbornících konferencí

[14] Z. Bouchal, V. Kollárová, P. Zemánek, T. Čižmár, Orbital angular momentum of mixed vortex beams, in 15th Czech-Polish-Slovak Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Proceedings of SPIE 6609, Bellingham, WA (2007).

[15] R. Čelechovský, Z. Bouchal, Design and testing of the phase mask for transfer of information by vortex beams, in 15th Czech-Polish-Slovak Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Proceedings of SPIE 6609, Bellingham, WA (2007).

[16] T. Čižmár, V. Kollárová, M. Šiler, P. Jákl, Z. Bouchal, V. Garcés-Chávez, K. Dholakia, P. Zemánek: Non-diffracting beam synthesis used for optical trapping and delivery of sub-micron objects, Proc. of SPIE Vol. 6195, 619507 1-7 (2006) .

[17] V. Kollárová, T. Medřík, R. Čelechovský, O. Wilfert, Z. Kolka, Z. Bouchal, Application of nondiffracting beams to wireless optical communications, in Security and Defence Conference, Florence, Proceedings of SPIE 6736, 67361C (2007).

[18] M. Šerý, Z. Lošťák, M. Kalman, P. Jákl, P. Zemánek, Compact laser tweezers, Proceedings of SPIE 6609, 66090N:1-7, 2007, 15th Czech-Polish-Slovak Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Liberec(CZ), 11-15 Sep 2006.

- [19] M Šerý, A. Jonáš, Z. Lošťák, A. Pochylý, P. Zemánek, Compact solution for implementation of various laser based techniques into optical microscope. Nonlinear Microscopy and Optical Control, 19-20 Feb 2008, Muenster.
- [20] M. Šerý, A. Pochylý, Z. Lošťák, P. Zemánek, Convenient light microscopy adapters for optical trapping, cutting and excitation in biological experiments. 1st International Symposium Optical Tweezers in Life Sciences, 15 May 2008, Berlin, (poster).
- [21] P. Zemánek, T. Čižmár, M. Šiler, V. Garcés-Chávez, K. Dholakia, V. Kollárová, Z. Bouchal: How to use laser radiative and evanescent interference fields to control movement of the sub-micron objects, Proceedings of SPIE 6609, 660902:1-14, 2007, 15th Czech-Polish-Slovak Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, Liberec(CZ).
- [22] P. Zemánek, T. Čižmár, M. Šiler: Optical interference fields: an excellent tool kit to study Brownian dynamics. Optical Trapping and Optical Micromanipulation III. Edited by Dholakia, Kishan; Spalding, Gabriel C.. Proceedings of the SPIE, Volume 6326, pp. 632604 1-15 (2006).

Příspěvky z odborných seminářů, posterů

- [23] Z. Bouchal: Laserové svazky pro optické manipulace, Meopta 23.3.2005.
- [24] Z. Bouchal: Prostorová modulace světla, KO PřF UP, 24.6.2005.
- [25] Z. Bouchal: Experimenty nedifrakční a singulární optiky, KO PřF UP, 23.5. 2006.
- [26] Z. Bouchal: Optické systémy pro nastavení stopy laserového svazku, Meopta, 28.11.2006.
- [27] O. Brzobohatý, T. Čižmár, P. Zemánek, High quality quasi-Bessel beam generated by oblate-tip axicon, PIERS 2008, Hangzhou, (poster).
- [28] R. Čelechovský, Z. Bouchal: Optické manipulace s využitím prostorového modulátoru světla,
- [29] R. Čelechovský, Z. Bouchal: Optical vortices in free space Communications,
- [30] M. Kalman: Miniaturizovaný anamorfotický systém se sférickým kolimačním objektivem, ÚPT Brno 3.11.2005.
- [31] M. Kalman: Optické soustavy pro úpravy svazků a využití difrakčních elementů I. KO PřF UP, 26.6.2006.
- [32] M. Kalman, V. Chlup, Z. Lošťák: Optické soustavy pro úpravy svazků a využití difrakčních elementů II. KO PřF UP, 26.6.2006.
- [33] V. Kollárová: Úprava svazku diodového laseru. KO PřF UP, 24.6.2005.
- [34] V. Kollárová: Rozměrový návrh optického systému pro symetrizaci laserové diody Sony, ÚPT Brno 3.11.2005.
- [35] V. Kollárová: Návrh optického systému pro příčné nastavení stopy laserového svazku, Meopta, 28.11.2006.
- [36] Z. Bouchal, V. Kollárová, P. Zemánek, T. Čižmár: Orbital angular momentum of mixed vortex beams, Liberec 12.9.2007.
- [37] Z. Lošťák, V. Chlup: Hranolové systémy, 24.6.2005.
- [38] M. Šerý: Laboratorní vzorky optické pinzety a jejich vlastnosti, ÚPT Brno 3.11.2005.
- [39] M. Šerý: Shrnutí vlastností kompaktní optické pinzety, alternativní uspořádání, Meopta, 28.11.2006.
- [40] M. Vraštil: Měření vybraných parametrů. Meopta, 29.6.2007.
- [41] J. Wagner: Konstrukční řešení experimentálního zařízení pro manipulaci s mikroobjekty, KO PřF UP, 26.6.2006.
- [42] J. Wagner: Konstrukce proměnného klínu, Meopta, 28.11.2006.
- [43] P. Zemánek: Vlastnosti optické pasti vytvořené minipinzetou, KO PřF UP, 26.6.2006.

Další publikace a dokumenty

a) Technické podmínky, protokoly zkušebny, zprávy k demonstračním jednotkám

[44] Technické podmínky 31-392-1269-08 k přístroji LMA 1 (KOPOL).

[45] Technické podmínky 31-392-1270-08 k přístroji LMA 2 (KOPLD).

[46] Protokol zkušebny IF-M-08/19 Funkční vzorky LMA 1.

[47] Zpráva k demonstrační jednotce generátor nedifrakčních svazků.

[48] Zpráva k demonstrační jednotce světelná pinzeta s modulátorem světla.

b) Podklady předané v rámci smlouvy o poskytnutí know-how mezi ÚPT a Meoptou

[49] Příloha č. 1 ke smlouvě o poskytnutí know how - vymezení obsahu know-how (3.8.2006).

[50] Proudový zdroj pro napájení a teplotní stabilizaci laserové diody (31.7.2006).

c) Výkresová dokumentace

[51] Výkresová dokumentace LMA 1.

[52] Výkresová dokumentace LMA 2.

[53] Výkresová dokumentace generátoru nedifrakčních svazků.

d) Patenty a související podklady

[54] Přihláška vynálezu PV 2003-352: Zařízení pro připojení zdroje záření v objektivu mikroskopu.

[55] Žádost o PCT patent: PCT/CZ2007/000042: Device for attachment of radiating source to microscope objective.

e) Obhájené doktorské práce

[56] M. Šerý, Optická pinzeta kombinovaná se světelným mikroskopem, VUT Brno, 2006.

f) Obhájené diplomové práce s tematikou projektu

[57] Z. Doležel, Teoretické a experimentální posouzení energetické účinnosti prostorových modulátorů světla, UP Olomouc, 2007.

[58] F. Chlup, Metody pro ovládání amplitudových a fázových modulátorů světla, UP Olomouc 2007.

[59] J. Květoň, Experimentální realizace symetrizace svazku laserové diody, UP Olomouc 2007.

g) Roční zprávy

[60] Roční zpráva o řešení projektu za rok 2005.

[61] Roční zpráva o řešení projektu za rok 2006.

[62] Roční zpráva o řešení projektu za rok 2007.

[63] Roční zpráva o řešení projektu za rok 2008.

9. Použití finančních prostředků (v tis. Kč) dle smlouvy FT-TA2/059

<i>Finanční prostředky 1.3.2005-30.6.2008</i>	<i>plánované uznatelné náklady</i>	<i>uznatelné náklady doložitelné účetním dokladem k 30.06.2008</i>			
		Meopta	UP Olomouc	ÚPT Brno	celkem
Celkové náklady na řešení	22 000	11 284	5 093	4 997	21 374
Vlastní zdroje	9 900	7 381	1 193	1 097	9 672
Jiné zdroje	0	0	0	0	0
Účelová podpora	12 100	3 903	3 900	3 900	11 703
Z toho investice	0	0	0	0	0

Tab. 3 Použití finančních prostředků

Z tab. 3 je zřejmé, že finanční prostředky byly čerpány v dobré shodě s plánem. Odchylna

celkových skutečně čerpaných uznatelných nákladů od plánovaných celkových uznatelných nákladů na řešení je menší než 3% . Tomu odpovídá snížení účelové podpory z 12 100 tis. Kč na 11 703 tis. Kč. K největší odchylce došlo během prvního roku řešení. V následujících letech byla již velmi dobrá shoda plánu a skutečnosti. Podrobnosti o čerpání nákladu jsou vedeny ve zprávě auditora.

10. Celková charakteristika plnění projektu

Z hlediska kategorizace činností vynaložené náklady v podstatě odpovídaly plánovanému zastoupení: základní a aplikovaný výzkum 21%, průmyslový výzkum 59%, vývoj 20%.

Výsledky základního a aplikovaného výzkumu jsou shrnuty v pěti již vyšlých publikacích s celkovým impaktním faktorem 13,328. V letošním roce byly časopisům s vysokým impaktním faktorem předloženy další tři články. Souhrnná část výsledků je také uvedena v monografické kapitole knižní publikace. Obecné výsledky průmyslového výzkumu byly postupně zveřejňovány v recenzovaných časopisech a ve sbornících konferencí v celkovém počtu 12 publikací. Další uvedené publikace byly určeny pro potřebu řešitelského týmu a mají interní charakter.

Z hlediska krátkodobých cílů byly vyvinuty tři typy přístrojů do stádia odzkoušených funkčních vzorků, které najdou bezprostřední uplatnění na trhu mikroskopové techniky. Z hlediska dlouhodobé perspektivy byly vytvořeny demonstrační jednotky, které podpoří další rozvoj studia nedifrakčních svazků, mikromanipulací a optického zpracování světelných polí.

Z hlediska uplatňovaných priorit programu Tandem byl projekt zaměřen do čtyř oblastí:

- a) Aktivní orientaci výzkumně vývojové základny potenciálu vysokých škol a AV ČR na výstupy vhodné pro využití v průmyslu.
- b) Rozvoj výrobků a technologií high-tech.
- c) Zavedení nových principů vědeckých přístrojů.
- d) Vývoj přístrojů, které se uplatní v oblasti biotechnologií a nanotechnologií.

Výsledky řešení ve všech čtyřech uvedených prioritách naplňují smysl programu Tandem. Obě spoluřešitelská pracoviště - Přírodovědecká fakulta UP v Olomouci a ÚPT AV ČR svou prací jedinečným způsobem přispěly k podpoře nového perspektivního směru v průmyslovém podniku Meopta, který by bez jejich účasti nebyl realizovatelný. Vzniklé tři nové výrobky, které se stávají součástí výrobního programu Meopty, jednoznačně spadají do oblasti high-tech, jsou určeny pro vědeckou práci, jsou založeny na nových principech a najdou své uplatnění jak v biotechnologii tak i nanotechnologii.

11. Závěr

Projekt Tandem beze zbytku splnil svůj cíl a naplnil deklarované záměry. Závěrečná veřejná prezentace výsledků projektu proběhne v rámci konference Jemná mechanika a optika 2008, která se koná ve dnech 24. 9. 2008 až 26. 9. 2008 v Přerově za účasti prakticky všech optických pracovišť a v jejímž rámci bude řešenému úkolu vyhrazen jeden blok přednášek se čtyřmi příspěvky. Příspěvky konference budou následně zveřejněny v recenzovaném časopise Jemná mechanika a optika.

V Přerově dne 4. 8. 2008

Zpracovali: Prof. RNDr. Zdeněk Bouchal
RNDr. Zdeněk Lošťák, řešitel projektu
Doc. RNDr. Pavel Zemánek, Ph.D.