

LASER: supernástroj člověka 21. století

„Na počátku stvořil Bůh nebesa a zemi. Země byla pustá a prázdná, temnota byla nad hlubinou a Duch Boží se vznášel nad vodami. I řekl Bůh: Budiž světlo! A bylo světlo. Bůh viděl, že světlo je dobré, a oddělil světlo od tmy.“

Genesis, kniha první.

Světlo, jak ho známe z našeho běžného života, je tvořeno fotony, jejichž vzájemné vztahy a vlastnosti jsou náhodné, chaotické, neuspořádané. Oproti tomu laser je optický zdroj elektromagnetického záření – světla s výjimečnými vlastnostmi, které umožňují jeho široké využití ve výzkumu i v praxi. Laserový paprsek je proudem zcela přesně organizovaných fotonů, jsou spřízněné, letí vedle sebe a chovají se stejně. Známe jejich vlastnosti a můžeme je tedy využívat jako nástroje podle našich představ a potřeb. Světelný paprsek vycházející z laseru je koherentní a monochromatický, fotony, kterými je tvořen, mají stejnou fázi, polarizaci a frekvenci. Jsou organizovány a připraveny nám sloužit. Vývoj laseru je neuvěřitelným příběhem touhy po poznání, lidského umu, schopností a posouvání hranic lidského poznání. Během uplynulých 57 let se laser stal opravdovým *supernástrojem* člověka 21. století.

Výjimečné uspořádání fotonů vzniká v laseru mezi dvěma zrcadly, v optickém rezonátoru, který tvoří jedno dokonalé a jedno polopropustné zrcadlo. Fotony se mezi nimi odrážejí tak dlouho, až mají vlastnosti, které potřebujeme a je jich dostatek, v tom okamžiku je polopropustné zrcadlo propustí v podobě paprsku nebo pulzu ven. Zní to jednoduše, a v principu to vlastně jednoduché je, jen skutečné provedení je závislé na celé řadě faktorů a to už tak jednoduché není. Už jen proto, že se jedná o principy a zařízení, která svou podstatou pracují s klasickou i kvantovou fyzikou současně.

Základním mechanismem laseru je stimulovaná emise záření, která je záměrně vytvářena v různých materiálech - aktivních prostředích. Elektrony pevných, kapalných nebo plyných látek jsou excitovány (buzeny) na vyšší energetické hladiny a při jejich opětovném přeskocení zpět na nižší energetickou hladinu je vyzářen foton. V dané látce pak dochází k exponenciálnímu nárůstu emitovaných fotonů, které se kumulují mezi dvěma zrcadly a při překročení stanovené mezní energie jedno ze zrcadel – polopropustné, vyzáří laserový paprsek či impulz. Aktivní prostředí, ve kterém jsou vytvářeny - emitovány fotony, může být pevné, kapalné i plynné.

Pevnolátkové lasery obsahují izolanty s příměsí vhodných iontů a mohou pracovat v různých režimech a za různých provozních podmínek, jsou stabilní a mají malé nároky na údržbu. Vydávají záření v oblasti vlnových délek infračerveného a viditelného světla. Nejznámějším představitelem je rubínový laser - aktivním prostředím je krystal syntetického rubínu a je to první typ laseru, který byl fyzicky zkonstruován. Asi nejrozšířenější je dnes laser neodymový označovaný Nd:YAG podle zkratky anglického názvu „yttrium aluminium garnet“. Vyzáří infračervené záření a má uplatnění v různých oborech, často v medicíně a může být zdrojem kontinuálního infračerveného záření, nebo v pulzním režimu vysílat extrémně krátké a silné záblesky. Kapalinové lasery zase využívají roztoky různých organických barviv a metod nelineární optiky a umožňují dosáhnout prakticky všech vlnových délek od 300 nm do 1500 nm. Proto se kapalinové lasery používají často ve spektroskopii. Jejich nevýhodou je krátká životnost aktivního prostředí, které se teplem a světlem rozkládá. Plynové lasery mají aktivní prostředí tvořeno atomy, ionty nebo molekulami plynů a jeho výhodou je homogenita prostředí v celém objemu, což zajišťuje výborné parametry laseru. Další výhodou je možnost práce ve velmi širokém rozsahu vlnových délek v kontinuálním nebo pulzním režimu. K nejrozšířenějším typům patří červeně zářící helium - neonový laser, který je např. v laserových ukazovátkách či zaměřovačích. V průmyslu a medicíně se asi nejvíce používá infračervený laser CO₂. Pro světelné efekty se často užívá modře a zeleně zářící laser argonový. Zvláštním typem plynových laserů jsou lasery excimerové, které

jsou výkonným zdrojem ultrafialového záření. Aktivním prostředím jsou nestabilní molekuly, vzniklé spojením dvou atomů různých vzácných plynů jako argon - krypton, nebo krypton - fluor a další. Polovodičové lasery jsou lasery s velmi specifickým aktivním prostředím využívajícím přechodu PN, které umožňuje řadu praktických využití. Polovodičové laserové diody o výkonu jen několik mW jsou součástí řady běžných zařízení, najdeme je v laserovém ukazovátku, laserové tiskárně, kopírce, čtečce čárového kódu v obchodě, nebo v přehrávačích disků CD.

Důležitým procesem je impuls, který vlastně laser spouští a vyvolává stimulovanou emisi. Zde se v řeči laserových specialistů setkáváme s výrazy jako excitace, buzení nebo čerpání. Všechny znamenají totéž, a jde o působení na aktivní prostředí, které má za následek emisi fotonů. Toho lze dosáhnout mnoha způsoby – opticky, elektricky, chemicky, bombardováním elektronovým svazkem, expanzí horkého plynu a dalšími. Vždy jde o dodání energie, jen se liší formou, množstvím nebo dobou působení. V případě optického buzení je energie dodávána formou světelného záblesku. Například v rubínovém laseru je rubínová tyčinka vložena do spirálové výbojky. Jejím zábleskem dojde k přechodu atomů na vyšší energetickou hladinu a při jejich návratu do základního stavu se část této energie vyzáří ve formě laserového záblesku. Používá se to zejména u pevnolátkových a kapalinových laserů. Při buzení elektrickým polem je základem elektrický výboj. Tyto lasery (např. plynové) mohou pracovat v kontinuálním provozu a jejich výkon se dá měnit změnou objemu plynu nebo jeho plynulou cirkulací. Při chemické excitaci se k předání energie aktivnímu prostředí používá např. exotermická chemická reakce. První takový laser byl zkonstruován roku 1965 a využíval reakce vodíku s chlorem. Později se začala používat reakce vodíku s fluorem. U jiného typu se získává energie disociací (štěpením) molekul jódu ultrafialovým zářením.

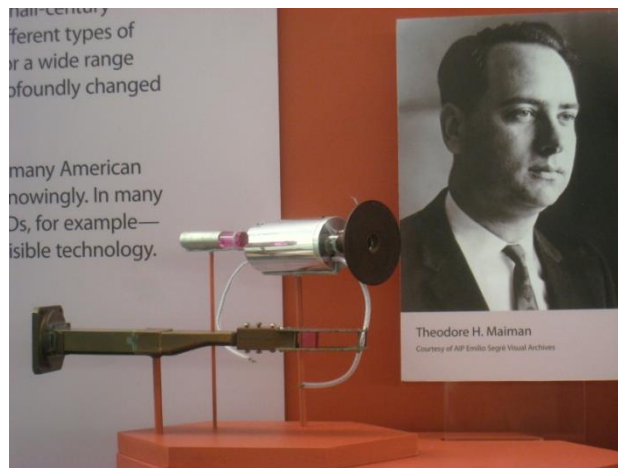
Fascinující příběh laseru

Přezkoumáním laseru byla teorie německého fyzika Maxe Plancka, který předpokládal, že světlo je tvořeno malými „kousky“ energie – kvanty. Tuto teorii později potvrdil i dánský fyzik Niels Bohr. Pro další vývoj však bylo významné, že Albert Einstein byl s Maxem Planckem v úzkém kontaktu, pochopil význam jeho teorie a významně přispěl k jejímu rozvoji. Už v roce 1916 předpověděl Einstein existenci jevu, který je podstatou laseru – stimulovaná emise - záměrně vyvolané vyzáření světelných kvant z atomů. Kvanta energie dostala své pojmenování později, až v roce 1926 jim chemik Gilbert Newton Lewis dal název fotony. A potom se několik desetiletí nestalo vlastně nic zásadního, protože teorie předběhla dobu opravdu významně a nikdo tehdy neviděl potenciál v takové teoretické kuriozitě. Einstein použil teorii světelných kvant Maxe Plancka k vysvětlení fotoelektrického jevu. V roce 1905 publikoval článek pod názvem „O heuristickém hledisku dotýkajícím se vznikem a přeměnou světla“. A byl to právě onen zásadní přínos k lidskému poznání, za něj byl Einstein oceněn v roce 1921 Nobelovou cenou za fyziku, konkrétně za „vysvětlení fotoefektu a za zásluhy o teoretickou fyziku“. V roce 1905 teorii kvant věřil snad jen on a Planck, a přesto Einstein nahlas sděluje světu: „...za předpokladu, že přijmeme existenci jakýchsi světelných kvant, můžeme fotoelektrický efekt vysvětlit tak, že světelná kvanta narážejí na povrch kovu a vyrážejí z valenčního pásu jeho atomů elektrony...“. V podstatě to bylo nakročení do nového světa fyziky, předzvěst částicově-vlnového dualismu, který později rozvinul Louis de Broglie.

V roce 1916 přišel Einstein s myšlenkou stimulované emise fotonů, kterou publikoval v roce 1917 v článku „Pro kvantovou teorii záření“ v magazínu *Physikalischen Zeitschrift*. Tento objev je teoretickým základem laseru. Krok za krokem byly teorie postupně ověřovány a v roce 1921, po udělení Nobelovy ceny Einsteinovi, už o existenci energetických kvant nikdo nepochyboval. Nicméně teorie zůstává jen teorií, dokud není uspokojivě a nad veškerou pochybnost experimentálně potvrzena. Od objevu principu laseru a demonstrace prvního funkčního prototypu lidstvo stále dělilo skoro 40 let. První laser byl vytvořen až v roce 1960 a je fascinujícím příběhem jednoho vědce-inženýra a selhání velkých vědeckých týmů. A to byl teprve začátek, do kterého významně zasáhlo i Československo. O to je pro nás zajímavější, překvapivější a neuvěřitelnější příběh laseru, který začíná

v minulém století, odehrává se dnes a směřuje do zcela nepředstavitelných rozměrů naší budoucnosti. Mimochodem, i Einstein pracoval od roku 1911 do 1913 na Německé univerzitě v Praze (dnešní Univerzita Karlova).

K autorství laseru se přihlásilo hned několik vědců. Americký patent získali nejdříve Charles Hard Townes a Arthur Leonard Schawlow, kteří jej úspěšně prodali společnosti Bell Telephone. Ve stejné době se stejným konceptem přišli dva vědci ze Sovětského svazu, Nikolaj Genadijevič Basov a Alexandr Michajlovič Prochorov. V roce 1964 byli všichni kromě Schawlowa poctěni Nobelovou cenou za fyziku za vynález laseru, což ale nevyřešilo otázku autorství či prvenství - patentové spory se vedly dál, trvaly celých 28 let a nakonec i ony vyústily v přiznání podílu na patentu všem čtyřem vědcům. Vynález laseru provází i několik dalších příběhů a osudů významných vědeckých osobností, a přestože se jedná o dobu vlastně poměrně nedávnou a relativně dobře dokumentovanou, dodnes v některých detailech není úplně jasno. Jednoznačný je jen autor – konstruktér prvního funkčního laseru Američan Theodore H. Maiman, který svůj rubínový laser poprvé rozsvítil 16. května 1960 a následně 7. července představil na tiskové konferenci.



Obr. 1: První funkční laser na světě od vynálezce Theodora H. Maimana (Hughes Research Laboratories, USA).

Žádost o udělení patentu k laseru podali Townes a Schawlow v červenci 1958 a patent jim byl udělen 22. března 1960. V dubnu 1959 podal stejnou žádost o patent laseru a některých aplikací americký vědec Gordon Gould, který na základě svých pracovních poznámek z roku 1957 dokazoval, že princip laseru objevil dříve. Gouldovo prvenství ale nakonec nebylo uznáno, protože jeho poznámky obsahovaly nepřesnosti zejména v návrhu zrcadel rezonátoru. Nicméně svou válku vedl zarytě dál, v boji o uznání svých patentů neustal a přes neuvěřitelné komplikace se nakonec ocenění dočkal, a dokonce finančně asi i významnějšího, než kdyby mu byl přiznán podíl na autorství laseru samotného. Gould se stal držitelem několika patentů laserových technologií, které našly významné praktické využití. Bez dalších patentových sporů se to sice také neobešlo, ale určitě se vyplatily, protože mezi nimi jsou i patenty na technologie jako ohřev a odpařovacích materiálů, svařování, vrtání, řezání, měření vzdálenosti, aplikace v komunikačních systémech, v televizorech, laserových kopírovacích strojích a mnoho dalších. Téma laseru poskytuje pravděpodobně i důkaz o tehdejší nepropustnosti železné opony, protože podle ruských pramenů by měla být asi prioritou za objev laseru přičtena fyziku Valentinu Alexandroviči Fabrikantovi, pracovníku Vsesvazového elektrotechnického institutu. Tento vynikající vědec již ve své doktorské práci v 1940 ukázal na možnost existence prostředí, které může zesilovat procházející záření v důsledku tzv. stimulované emise. V roce 1951 Fabrikant s kolegy přihlásili vynález nového způsobu zesilování světla. Autorské osvědčení bylo vydáno v roce 1959 a

diplom o vynálezu v 1964 se zpětnou platností od roku 1951. V sovětském systému nakonec prioritu a Nobelovu cenu za objev laseru, spolu s Townesem, dostali pánové Basov a Prochorov.

Historicky významným okamžikem bylo bezpochyby zkonstruování prvního fungujícího laseru. To dokázal až americký fyzik a inženýr Theodore Harold Maiman, který v roce 1960 představil svůj rubínový laser světu. Ironií osudu je, že na sestavení fungujícího zařízení v té době pracoval intenzivně i Gould, protože věřil, že ukáže-li fungující přístroj, začne okolí na jeho autorství laseru pohlížet jinak. Ale nestihl to, Maiman byl rychlejší, přesto se ani on nevyhnul malým obtížím, jelikož jeho klíčový článek s popisem experimentu editor prestižního amerického Physical Review Letters odmítl, protože se mu zdálo, že jde jen o další typ maseru. Nakonec článek otiskl tehdy nepříliš známý časopis Nature, ale i ten až po tiskové konferenci, kterou Maiman uspořádal 7. července 1960 v New Yorku a kde svůj laser ukázal fyzicky. LASER byl na světě. V minulosti by se dalo najít mnoho dalších příkladů, které signalizovaly, že se ve výzkumu děje nebo že se brzy bude dít něco skutečně epochálně velkého. Jenže ani nejbujnější fantazie těch největších vizionářů nebyla schopna obsáhnout všechny možnosti použití laserů a jejich budoucnost. Až dnes, kdy jim věnuje pozornost celá armáda vědců, výzkumníků a vývojářů nejrůznějších profesí a odborností, se ukazuje, jak významný nástroj má člověk k dispozici. Touha využívat v praxi zázračné paprsky světla se po roce 1960 začala naplňovat neuvěřitelně rychle a mimořádné vlastnosti laserů doslova učarovaly vědcům i technikům. Objevy a vynálezy jeden za druhým začaly psát historii laseru, stále nové a nové možnosti využití posouvaly vývoj dopředu se zrychlením doposud nevídaným. Už v prosinci 1961, tedy jen rok a půl po vůbec prvním zapnutí laseru na světě, byla v Columbia-Presbyterian Hospital na Manhattanu provedena operace oka, při které byl laserem odstraněn nádor ze sítnice. Bylo odstartováno, laser a jeho vývoj už nešel zastavit.

Lasery u nás

Jen o něco méně fascinující než ve světě byl vývoj laserů v tehdejší Československu a později v České republice. Pokud opomineme, že teoretický základ laseru tvořil Albert Einstein, možná i během svého krátkého třísemestrálního působení v Praze, tak praktické zahájení činností kolem laseru u nás můžeme datovat k 18. říjnu 1957. Tehdy celý svět žasl nad vypuštěním první umělé družice, sovětského Sputniku I, a následně byla odborná veřejnost stejně překvapena zprávou Jiřího Tolmana, pracovníka tehdejšího Ústavu radioelektroniky ČSAV, který pomocí „Dopplerova jevu“ dokázal změnit aktuální rychlost Sputniku při přeletu. Československo bylo jako první schopno zachytit a změřit takto rychle letící objekt. Mělo to následně i mnoho politických důsledků, jak pozitivních, tak negativních. Tím kladným a pro nás nejdůležitějším bylo to, že výzkum laserů dostal zelenou rámcí programu „kvantové elektroniky“.

Krátce poté, jen tři roky po Maimanově oznámení o prvním laseru, Helena Jelínková z Českého vysokého učení technického v Praze, Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské a Jan Blabla z Ústavu radioelektronického ČSAV, postavili rubínový laser, který představili veřejnosti v prostorách pražského planetária. Krystaly rubínu byly pro tento laser vypěstovány v Monokrystalech Turnov Ivanem Šolcem. Československo se tak stalo po USA a Sovětském svazu další zemí, která postavila vlastní laser. Protože v tehdejší Sovětském svazu vznikla obava, že výzkum maserů, rovněž spadajících do programu kvantové elektroniky, by mohl vést k etalonu času - „atomovým hodinám“ - důležitým pro sledování rychle letících objektů nebo určení polohy (předchůdce GPS), bylo rozhodnuto o postupném utlumování výzkumu laserů v ČSSR od poloviny 60. let. Výzkum pokračoval v oblastech „molekulárních laserů“ od roku 1966 do roku 1972, což bylo základem vývoje plynových laserů He-Cd v modré oblasti (1970-1972) a také byl „povoleno“ výzkum laserů na základě organických barviv (1971-1972). Nespokojenost s politickými zásahy do vědy vyústila v aktivní účast lidí pracujících v programu „kvantové elektroniky“ v obrodném procesu během let 1968-1969. Koncem roku 1970 bylo však rozhodnuto o ukončení programu, který až příliš mluvil do dění ve světě a o přesunutí jeho částí do Ústavu přístrojové techniky v Brně. Některé lasery se však podařilo zachránit

před tímto transportem rozebráním a uložením do dřevěné bedny 5 x 2,5 metru, a přesunem na FJFI ČVUT, kde naštěstí následný výzkum laserů pokračoval s minimem politických zásahů. V roce 1972 tak mohl být vytvořen v zemích východního bloku jeden z dodnes nejčastěji používaných laserů, Nd:YAG. Nový nadějný laserový materiál tvořený krystalem dopovaným neodymem byl vyvíjen v Turnově a laser byl pak sestaven na FJFI. Už v té době bylo patrné, že další výzkum laserů se neobejde bez systematického výzkumu optických materiálů. Později pak díky úspěšné spolupráci byly sestaveny i další lasery jako např. Ti:safír nebo plynový CO₂ laser.

Jinou kapitolou byly jódové lasery, které se pro svou relativní jednoduchost a schopnost generovat velké světelné výkony staly objektem zájmu fyziků již v první fázi úvah o využití laserů pro uskutečnění termojaderné fúze. První multi-gigawattové jódové lasery byly postaveny již v polovině sedmdesátých let v Německu a v bývalém Sovětském svazu. Historie jódových laserů v bývalém Československu začíná v první polovině 80. let minulého století, kdy Fyzikální ústav ČSAV, z iniciativy tehdejšího ředitele B. Kvasila a nositele Nobelovy ceny N. G. Basova, získal darem výkonový jódový laserový systém vyvinutý v Lebeděvově ústavu v Moskvě. Systém byl po důkladné přestavbě, při které došlo i k zásadní změně jeho koncepce, uveden do provozu ve Fyzikální ústavu pod názvem PERUN v roce 1985. Rekonstrukce laserového systému spočívala zejména ve změně způsobu excitace laserového média v laserových zesilovačích, tzv. (optického) čerpání. Původní velmi nepraktické čerpání pomocí explodujícího drátku bylo nahrazeno čerpáním ultrafialovými xenonovými výbojkami. Laser PERUN I s novým čerpáním postavila skupina pracovníků tehdejšího oddělení výbojů v plynech pod vedením Karla Rohleny a Leoše Lásky. Výkonnější verze, laserový systém PERUN II, byla úspěšně spuštěna v roce 1992.



Obr. 2: Jódový fotodisociační laser PERUN II (Fyzikální ústav ČSAV).

Paradoxně však ve stejném roce politika opět negativně promluvila do systému bádání a došlo k umělému rozdělení vědy na základní výzkum a aplikovaný vývoj. Zaškutkováním jednotlivých činností tak vznikla umělá papírová bariéra a největší ránu pak způsobila nucená transformace všech částí výzkumu a tehdejší ČSAV do čistě základního výzkumu s tím, že u ústavů a částí vysokých škol, kde toto nepůjde, dojde k jejich prodeji za zlomkovou cenu nebo ke zrušení. Jedním z takto dotčených ústavů se stal Ústav monokrystalů v Turnově, který převzal státní podnik PRECIOSA. Při restrukturalizaci pak došlo k oddělení části do soukromých rukou a vznikla tak v roce 1998 dnes velmi úspěšná česká společnost CRYTUR. V tomto případě lze sice hovořit o šťastném konci, ale třeba u bývalého Ústavu silikátů došlo k jeho zrušení a odprodání majetku v hodnotě přesahující miliardu tehdejších korun za cenu šrotu. Že se nejednalo o „šrot“, jak byl prodej bagatelizován, je dobře

patrné z pokračování historie laserů, tentokrát však vláknových, které se úspěšně rozvinuly v sousedním Německu. „Šrot“ totiž tvořily i čtyři tažící věže v odhadované hodnotě 150 mil. Kč za každou, kde právě dvě z nich nakonec přes sérii transakcí koupila nově vzniklá firma IPG založená pracovníky tehdejší německé akademie věd. Firma IPG se stala světovým průkopníkem vláknových laserů a dnes po 20 letech její tržby přesahují 180 mld. Kč. Obdobná situace se bohužel opakovala i v řadě dalších ústavů a dědictví 90. let pociťuje český výzkum dodnes.

Cesta do Evropy a ke světovosti

Pokračování výzkumu jódových laserů v ČR úzce souvisí se systémem ASTERIX, který byl spuštěn v Ústavu fyziky plazmatu Maxe Plancka v Garchingu u Mnichova již v roce 1975. Jeho mnohem výkonnější terawattový následník, laser ASTERIX IV, dosáhl plného výkonu v roce 1991 a od té doby byl využíván jako spolehlivý fyzikální nástroj pro vytváření horkého laserového plazmatu. Brzy se ukázalo, že i když výkon laseru zdaleka nestačí pro zapálení termojaderné reakce, možnosti jeho využití daleko překračují původní rámec termojaderných aplikací. Až do dubna 1997 byl laserový systém ASTERIX IV v MPQ široce využíván evropskou laserovou komunitou. Laser byl oceňován zejména pro vynikající kvalitu laserového svazku a stabilitu výstupní energie po mnoho výstřelů. Na laseru se vystřídalo mnoho externích uživatelů. Z mnoha experimentů prováděných v Garchingu v letech 1991-1997 je možno zmínit např. studium průzračnosti horkého plazmatu pro měkké rentgenové záření nebo demonstraci laserové akce v oblasti velmi krátkých vlnových délek (21-38 nm) v plazmatu vytvářeném laserem na povrchu terčíku zhotoveného z celé řady prvků (Ge, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mo, Cr, V, Ti, Si a Cl). Rovněž jódový laser PERUN v Praze slavil až do roku 1997 řadu úspěchů, zejména při výzkumu laserových zdrojů mnohonásobně nabitých iontů, a Garchingská i pražská skupina udržovaly čilé vědecké styky. Pro některé experimenty, např. pro realizaci rentgenového laseru, však byla výstupní energie PERUNu příliš malá. V roce 1996 však díky zásadní reorientaci výzkumu v MPQ nabraly události dramatický spád a laser ASTERIX IV byl nabídnut k využití jiným evropským výzkumným institucím, mezi nimi i Fyzikálnímu ústavu AVČR. Praha nakonec v soutěži o laser zvítězila a 30. června 1997 byla podepsána mezinárodní smlouva o jeho převzetí Akademií věd České republiky. K náročné operaci přestěhování laseru spojily své síly dva akademické ústavy: Fyzikální ústav a Ústav fyziky plazmatu. V listopadu 1998 založily společnou laserovou laboratoř – Badatelské centrum PALS. Centrum dostalo zcela novou laserovou halu, splňující všechny náročné požadavky provozu takového obřího laserového systému. Během pouhých dvou let byl laser nevelkou skupinou pracovníků obou akademických ústavů v Garchingu rozebrán, převezen do Prahy a v nové hale opět uveden do provozu. Teď již pod novým názvem – Prague Asterix Laser System – který dal jméno i celé laboratoři. Začátkem roku 2000 dosáhl znovuzrozený laserový systém plných výstupních parametrů a od září 2000 až dodnes slouží PALS v rámci konsorcia Laserlab-Europe vědeckým uživatelům z celého světa.



Obr. 3: Laserový systém PALS - Prague Asterix Laser System (Společná laboratoř Fyzikálního ústavu AVČR a Ústavu fyziky plazmatu AVČR).

V roce 2004 už byly jasně patrné důsledky krátkozrakého porevolučního uvažování a začaly se projevovat snahy o opětovnou podporu laserů i dalších částí vědy a výzkumu. A jak bylo vidět na příkladu PALSu, laserům se v ČR dařilo docela dobře. S ohledem na dosluhující technologii 70. let byly tedy logicky vyvíjeny snahy nalézt technologického nástupce systému PALS pro uživatele z oblasti základního výzkumu. Zásadním milníkem pro české lasery se pak stal rok 2009, kdy se podařilo prosadit podporu ambicióznímu projektu ELI Beamlines za téměř 7 mld. Kč, jehož cílem je vybudování a provoz mezinárodní výzkumné infrastruktury, která bude poskytovat novou generaci laserových a sekundárních zdrojů pro mezioborové aplikace ve fyzice, medicíně, biologii a materiálových vědách. Podporu tehdy získal i výrazně menší projekt HiLASE za cca. 800 mil. Kč, který se měl stát institucí vyvíjející, pokud možno vlastními silami, nové lasery pro základní i aplikovaný výzkum tak, aby plnily specifické požadavky průmyslu a také budoucí potřeby uživatelské infrastruktury ELI Beamlines. Po relativně krátké době se ukázalo toto rozhodnutí jako nebývale prozíravé, neboť přestože práce na projektu HiLASE začaly až koncem roku 2011, již po 5 letech dosáhl tým HiLASE výsledku, který bude navždy zapsán tučným písmem do laserové historie. V prosinci 2016 v laserovém centru HiLASE v Dolních Břežanech díky Česko-Britské spolupráci dosáhl jako první na světě střední výkon z nanosekundového pevnolátkového laseru magické hranice 1 kW. Tím končí éra laserů čerpaných výbojkou, konceptu vytvořeného Maimanem, a vývoj se přesouvá jednoznačně směrem k diodově čerpaným laserům.



Obr. 4: Laserová infrastruktura ELI Beamlines (Fyzikální ústav AVČR, v.v.i.).



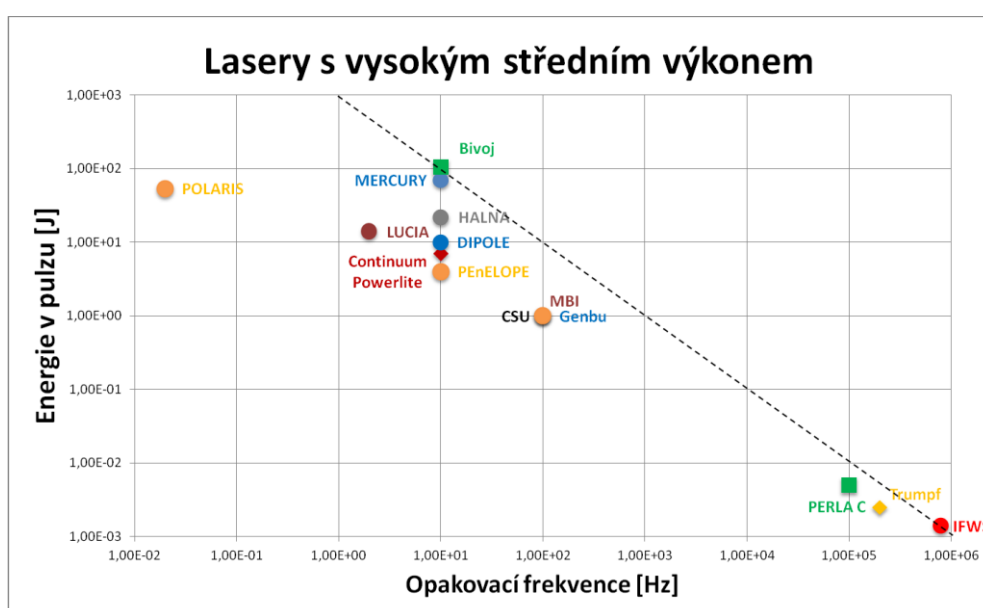
Obr. 5: Laserové centrum HiLASE (Fyzikální ústav AVČR, v.v.i.).

Tisková zpráva z 22. 12. 2016:

Diodově čerpaný pevnolátkový (DPSSL) laser DiPOLE 100 alias „Bivoj“ byl navržen a zkonstruován v britské Central Laser Facility (součást STFC, Rutherford Appleton Laboratory) a do České republiky byl dodán na základě smlouvy s centrem HiLASE. V polovině prosince 2016 dosáhl tento laser plných parametrů, pro které byl navržen. Déle než hodinu a kompletně bez vnějšího zásahu generoval stabilní laserové pulsy s výstupní energií 100 J na opakovací frekvenci 10 Hz.

John Collier, ředitel CLF, řekl: „Tento výsledek je zásadní milník, který posunuje lasery s velmi vysokým špičkovým výkonem za hranice běžných laserů čerpaných výbojkami. Otevírá se nám tak cesta k novým významným aplikacím laserů pro zpracování materiálů, pokročilé zobrazování a základní výzkum.“

Tomáš Mocek, vedoucí centra HiLASE Centre, uvedl: „Je to poprvé, kdy vysokoenergetický DPSSL systém překonal hranici 1000 W. Tento výsledek je opravdu na absolutní světové špičce a dokazuje, že naše sázka na DPSSL, jakožto technologie vhodné pro aplikačně zaměřený výzkum, bylo dobré rozhodnutí. Společně s mými kolegy z HiLASE a z Central Laser Facility se těšíme na další úspěchy, které přinese přechod systému Bivoj do provozní fáze.“

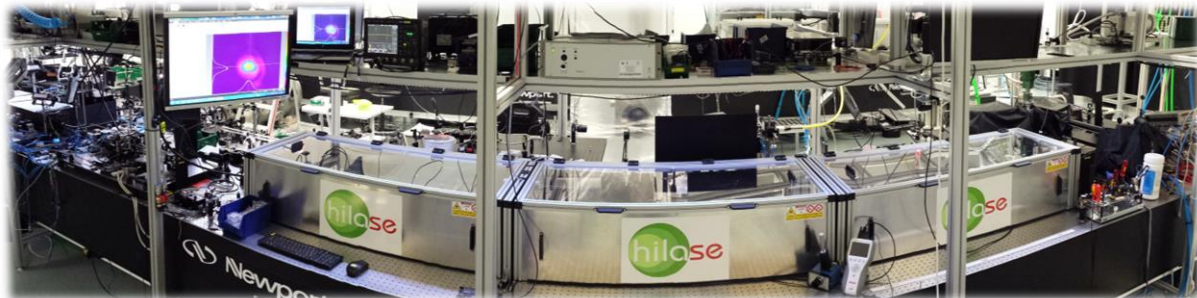


Obr. 6: Porovnání laserů s vysokým středním výkonem ve světě.

Vývoj ukazuje, že Česká republika a lasery k sobě prostě neodmyslitelně patří. Bez jakékoli pochyby lze říci, že naši vědci a naše lasery jsou světoví a existuje reálný předpoklad, že české lasery zanechají výraznou stopu v dějinách v podobě dalších významných objevů a aplikací. Dokonce i názvy, které laserům v Dolních Břežanech dala česká veřejnost, jsou velmi symbolické. Laserové centrum HiLASE dnes disponuje dvěma světově unikátními laserovými systémy. Ten slabší ale rychlejší je PERLA a má schopnost vrtat nepředstavitelně přesné otvory s kadencí 100 tisíc pulsů za sekundu. Nejen že pomůže vývoji strojírenství a mikroobrábění, ale uplatní se významně i v elektronice, protože dokáže vytvořit elektrické spoje tisíckrát tenčí než vlas. Druhým laserem je Bivoj, který je momentálně nejsilnějším laserem své třídy na světě. Najde uplatnění např. při vývoji nových materiálů pro letecký či automobilový průmysl. Dokáže jednou ranou zpevnit povrch oceli o ploše větších hodiněk tak, že ocel dostane šok, úplně změní svoje vlastnosti a pak déle vydrží. A nyní trochu podrobněji.

PERLA = PERFektní LAser

Výkonné pulsní lasery se dnes stávají nezbytným nástrojem výrobců moderní sofistikované elektroniky, automobilů, letadel, ale například i medicínských protéz a náhražek. S vědeckým pokrokem v těchto oblastech však rostou nároky na zkracování doby trvání laserového pulsu, a to až do oblastí kolem 1 pikosekundy (miliontina miliontiny sekundy, 10^{-12} s) při současném zvyšování energie pulsů a především počtu emitovaných pulsů za jednu sekundu (opakovací frekvence). Výkon laseru je pak úměrný posledním dvěma parametrům. Celý tento proces je důležitý zejména pro zrychlení výrobního procesu a zvýšení jeho efektivity. Od dob vynálezu laseru bývala účinnost laserových systémů v nejlepší případě několik procent. To znamená, že většina energie vložená do provozu laseru bývala transformována do ztrátového tepla a obrovské zahřívání systému pak bránilo dosažení vysokého výstupního výkonu potřebného pro průmyslové využití. V posledních letech však dochází k revoluci v laserových technologiích a do popředí se dostávají nové koncepty chlazení laserů a jejich účinného buzení.



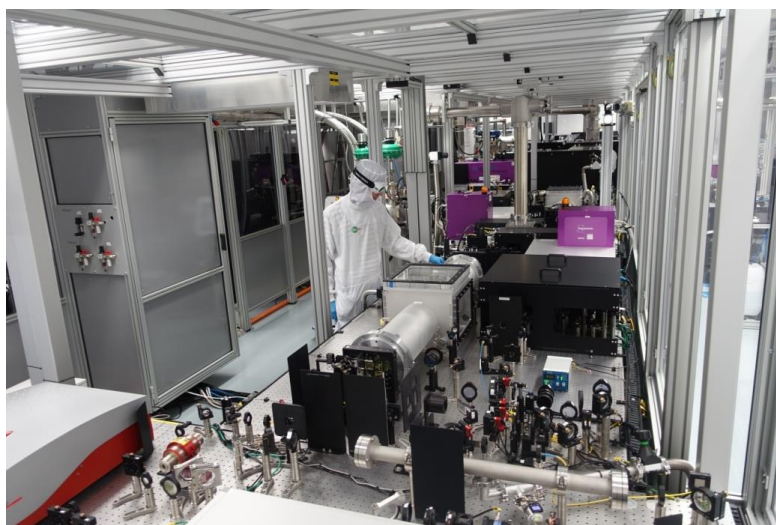
Obr. 7: Kompaktní laserová platforma PERLA (Fyzikální ústav AVČR, v.v.i.).

Laserové centrum HiLASE je dnes průkopníkem vývoje laserových systémů založených na těchto supermoderních technologiích nejen v rámci České republiky, ale i ve světovém měřítku. V oblasti infračervených laserů s výkonem nad 500 W a ultrakrátkými výstupními pulsy byla vlastními silami vyvinuta laserová platforma PERLA, která využívá tzv. geometrii tenkého disku pro účinné chlazení a buzení výkonným polovodičovým kontinuálním laserem. Zjednodušeně řečeno jde o to, že aktivní prostředí, ve kterém dochází ke vzniku a zesilování laserových pulsů, má tvar velmi tenkého (několik stovek mikrometrů) disku s velkým průměrem, který je celou plochou připevněn k chladiči. Chlazená plocha umožňující odvod odpadního tepla (v našem případě minimálně 10% výkonu laseru) tak dosahuje téměř 50% vzhledem k celkovému povrchu disku a chlazení je velmi efektivní. Optické buzení disku (tj. excitaci aktivního prostředí do stavu, kdy může emitovat užitečné záření) zajišťuje moderní koncept polovodičových diodových laserů. Na rozdíl od konvenčního buzení výbojkou, kdy většina budícího záření nemohla být vlastním aktivním prostředím absorbována a účinnost buzení dosahovala maximálně jednotek procent, umožňuje koncept monochromatického směrového buzení polovodičovým laserem, který je obdobou známých LED diod, dosáhnout účinnosti buzení výrazně

přesahující 50%. Nasazení těchto nejmodernějších postupů tak umožnilo vyvinout velice kompaktní lasery emitující tisíce až miliony laserových pulsů za jednu sekundu s optickou účinností blízkou 50%. Ačkoli je výstupní svazek monochromatický, nabízí se také možnost změnit barvu generovaného světla a tím lépe uzpůsobit laser širšímu spektru aplikací. Laserový systém PERLA se tak dnes řadí ke světové špičce toho, co bylo v oboru průmyslově využitelných laserů dosaženo.

Bivoj

Jak již bylo řečeno, vývoj laserů s vysokým středním výkonem je zásadně ovlivňován bojem s nežádoucím teplem generovaným v laseru. V případě kontinuálních laserů se tuto bitvu podařilo vyhrát pomocí vláknových laserů buzených laserovými diodami, které lze snadno chladit díky malým příčným rozměrům a obrovskému povrchu optického vlákna. Avšak pro lasery s vysokou energií nelze optická vlákna použít. Kvůli poškození optických komponent laseru totiž nesmí hustota energie svazku překročit mez poškození, což znamená nutnost zajistit minimální rozměr stopy svazku, a tedy i poměrně rozměrné optické komponenty. Pro ilustraci, v optickém vlákne má svazek průměr mezi 10 a 100 μm , zatímco ve 100 J laseru Bivoj má průřez 75 x 75 mm^2 . Nejdříve se v laserech používaly laserové tyče pro generaci záření. Ty ale nebylo možné pro vysoké energie použít, protože je nebylo možno vyrobit v dostatečném rozměru s dostatečnou kvalitou. Proto se začaly používat skleněné laserové desky, které byly mnohem tenčí, obsahovaly méně materiálu, a tak je bylo možné v požadované kvalitě vyrobit. Také se mnohem lépe chladily. Lasery s energií okolo 100 J byly zpočátku buzeny výbojkami a dokázaly vystřelit jednou za hodinu. Zbytek času se čekalo, až laser zchladne. První zvýšení opakovací frekvence umožnilo až využití nuceného proudění vzduchu kolem desek a výbojek. To zkrátilo dobu mezi výstřely až na 10-20 minut. Další zvýšení opakovací frekvence mohlo přinést buzení pomocí laserových diod, které sníží generaci tepla v laseru až 10x. Mírné zvýšení opakovací frekvence je však vykoupeno vysokou cenou laserových diod, což většinu týmů od tohoto řešení zpočátku odradilo a toto řešení se nikdy nepoužilo samostatně. Každopádně při použití laserových diod k buzení laseru lze snížit dobu mezi výstřely pod 1 minutu. V tuto chvíli přestává dostačovat sklo jako laserový materiál a je výhodné ho nahradit krystaly či speciální keramikou, které mají mnohem větší tepelnou vodivost. Bez aktivního chlazení s diodovým buzením laserového krystalu se tak podařilo dostat dobu mezi dvěma výstřely na 50 sekund. Takový laser funguje na světě zatím pouze jeden, všechny ostatní sázejí na kombinaci s aktivním chlazením, které principiálně umožní dosažení vyšších opakovacích frekvencí. Nejvyšší publikovaná dosažená energie byla 70 J při 10 výstřelech za sekundu (10 Hz), ale tento prototyp laseru (Mercury) již neexistuje. V současnosti aktivní lasery nedosahují při 10 Hz energie vyšší než 10 J.



Obr. 8: Laserový systém Bivoj (Fyzikální ústav AVČR, v.v.i.).

Česko-britský laser Bivoj zkombinoval všechny předchozí přístupy dohromady. Laserovým zesilovač je tvořen speciálními keramickými deskami z Yterbiem dopovaného Yttrium Aluminium Granátu (Yb:YAG). Desky jsou buzeny laserovými diodami a jsou aktivně chlazené proudem helia na teplotu kolem $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Takto nízká teplota v kombinaci s Yb:YAG snižuje počet potřebných budících diod, a tím snižuje cenu celého zařízení, na které se diody podílejí z více než poloviny. Nízká teplota také zvyšuje tepelnou vodivost Yb:YAG desek a umožňuje tak zvýšit opakovací frekvenci až na 10 výstřelů za sekundu. Dosažením energie 105 J při opakovací frekvenci 10 Hz laser Bivoj překonal koncem roku 2016 magickou hranici středního výkonu 1 kW, o což se neúspěšně snažila celosvětová vědecká komunita již od roku 1995 !

Světlo ve službách společnosti

V 21. století zažily lasery neuvěřitelný rozvoj a jejich aplikace překračují lidskou fantazii i doposud známé fyzikální meze. Laserové zdroje jsou dnes běžnou součástí automobilových reflektorů, přenosových a reprodukčních systémů, osvětlení průmyslových, veřejných i obytných prostor nebo dálkoměrů. Neobejde se bez nich polovodičový průmysl při výrobě procesorů, mobilů a displejů. V automobilovém průmyslu je už ekonomicky nemožné realizovat masovou výrobu jinak, než za využití laserů pro řezání, sváření a tvarování. Fotodiagnostické, fotostimulační a fotodynamické metody jsou dnes běžnou součástí medicíny a úspěšnost léčby řady onkologických onemocnění, jde ruku v ruce s rozvojem laserů a jimi poháněných sekundárních zdrojů záření. Řada nových technologií, které mohou ještě více příznivě ovlivnit běžný život, čekaly a čekají jenom na zdroje světla s dostatečným výkonem nebo intenzitou. Největší závislost na světle a laserech můžeme nalézt právě ve vědě, kde jsou dnes lasery hlavním hybatelem poznání tak, jako byly počítače v druhé polovině 20. století. Proto je někdy 21. století nazýváno jako "století fotonu".

Jelikož jsou dnes lasery spolu se svými aplikacemi natolik významným společným tématem pro řadu ústavů Akademie věd ČR, průmysl i veřejnost, bylo na podzim 2016 rozhodnuto o založení nového programu v rámci Strategie AV21. Zúčastněné ústavy jsou Fyzikální ústav, Ústav fyziky plazmatu, Ústav fotoniky, Ústav přístrojové techniky, Ústav termomechaniky a Ústav fyziky materiálů. V programu „*Světlo ve službách společnosti*“ bude rozvíjena řada progresivních technologií, ve kterých již je nebo díky mnohým předpokladům v krátké době může být Česká republika nejen špičkovou, ale dokonce i nejlepší na světě. Příkladem může být „aditivní manufacturing“, kde jsou laserové technologie základem pro raketově se rozvíjející technologie 3D tisku vytvářející dříve nemyslitelné konstrukce mechanicky namáhaných nosných materiálů nebo způsob chlazení posouvající meze motorů, technologie laserů nebo polovodičů, umožňující masivní replikaci objektů či změnu klasických materiálů v super-materiály modifikací povrchu, technologie chránící lidské zdraví a životy, medicínské diagnostické metody včetně invazivních i neinvazivních metod léčby, technologie výroby a ošetření optických součástí, a samozřejmě konstrukce samotných zdrojů vysoce intenzivního záření – laserů. Ve všech těchto oblastech patří dnes Česká republika mezi nejvíce rozvinuté země světa.

V rámci prvního tématu "*Nové laserové technologie pro 3D tisk a mikro-obrábění*" bude podpořena spolupráce při vývoji pokročilejší technologie výroby tak, aby byla kvalitní a pokud možno rychlá a levná. Současná technika sice umožňuje vytvářet 3D předměty z mnoha druhů materiálů, jejich praktické užití je ale často omezeno technologickou náročností výroby, především její dlouhou dobou a tím i cenou. Proto je třeba vyvinout zařízení a postupy, které umožní výrazné zkrácení času při pokročilém opracování materiálů a vytváření 3D předmětů nejen z kovu, ale i z keramiky a z materiálů s různě kombinovaným složením. Rychlý rozvoj laserových technologií totiž dnes umožňuje revoluční posun v technologiích 3D tisku od polymerních fotomateriálů ke kovům, sklům, keramickým substrátům a dalším amorfním materiálům. Díky tomuto druhu aditivní výroby mohou vznikat jak struktury klasickými technologiemi nevyrobitelné, tak lze připravit i zcela nové typy kompozitních materiálů. Nové metody 3D tisku pak umožní vznik nových materiálových struktur

s unikátními vlastnostmi – hmotnost, pevnost, pružnost nebo vodivost. Rozvoj technologií úprav povrchů v podobě velmi přesného laserového mikro-obrábění pak umožní použití těchto materiálů s novými vlastnostmi v řadě oborů od klasického strojírenství přes mikroelektroniku až po optiku. Rozvoj laserových zdrojů poskytujících intenzivní krátkovlnné záření dále umožňuje přechod od stávajících mikrofabricačních postupů realizovaných s konvenčními lasery ke skutečnému nanostrukturování vybraných povrchů. Čím kratší vlnová délka, tím menší detaily můžeme ve strukturách vytvořit. Vysoká špičková intenzita a značná energie fotonů umožňuje přímé strukturování a vysoký průměrný výkon repetičních zdrojů pak garantuje produkční rychlosti požadované průmyslem. Na povrchu částí strojů nebo implantátů se mohou vytvořit povrchy značně odpuzující nebo přitahující kapaliny, tak jak to pozorujeme v přírodě, např. u lotosového listu nebo žraločích šupin. Laserové technologie jsou velkou příležitostí pro český průmysl, aby se znovu stal globálně konkurenceschopný.

Druhým tématem je "*Studium zvyšování odolnosti materiálů*". Zasahujeme-li do materiálových struktur a měníme-li stavbu hmoty, měli bychom to dělat cíleně a efektivně, aby to bylo pro společnost maximálně užitečné. Povrchy materiálů jsou dnes tématem, který se promítá do téměř všech progresivních oborů. Díky rozvoji technologií v oblasti mikronových a sub-mikronových rozměrů se tato odbornost stala rozhodující pro vznik a využití mnoha objevů a inovací. Unikátní laserové technologie použitelné v této oblasti, kterými dnes disponují zúčastněná pracoviště AV ČR, se řadí ke světové špičce. Vhodným nastavením podmínek aplikace laserového záření v krátkém čase tak lze změnit povrchové vlastnosti běžně používaných materiálů, což se projeví např. jako zvýšení odolnosti proti korozi v agresivních prostředích nebo zachováním potřebných vlastností materiálů v extrémních podmínkách. V oborech, ve kterých se dá jen velmi obtížně přejít na jiné materiály, jako např. v biomedicíně, katalýze, mikroelektronice, výrobě motorů a turbín, kosmickém a leteckém průmyslu, může laserem indukovaná změna povrchu materiálů výrazně vylepšit jejich fungování a prodloužit jejich životnost i v agresivním prostředí. V rámci AV ČR jsou vyvíjeny nebo již připraveny k užití některé laserové aplikace pro výrazné prodloužení únavové životnosti součástek, dílů, lékařských implantátů a hotových výrobků v řadě odvětví strojírenského průmyslu, které při zachování požadavků na mechanické vlastnosti, povedou k výraznému snížení jejich hmotnosti a užitečných vlastností dotčených součástí. Předmětem zájmu je i modelování chování materiálů ošetřených laserovým a jiným intenzivním zářením a experimentální studium jejich nově získaných mechanických vlastností.

Třetí téma je "*Bezpečnost obyvatelstva a kritických infrastruktur, ochrana zdraví a života*". Laserové zdroje ve viditelné a blízké infračervené oblasti ve spojení se širokospektrálními zdroji světla jsou totiž vhodné pro monitorování technického stavu kritických infrastruktur. Optické měřicí metody s těmito světelnými zdroji a jejich spojení s optickými vláknovými prvky jsou, ve srovnání s konvenčními metodami měření, velmi výhodnou variantou měření fyzikálních změn těchto struktur a prvků. Laserová zařízení mohou včas detekovat a identifikovat hrozící nebezpečí. Jsou součástí lidarů, detekčních přístrojů sloužících ke vzdálené analýze zamoření nebezpečnými látkami, monitoringu životního prostředí, detekci úniků plynů v chemických provozech či v plynovodech a sledování pohybu vzdušných vírů na letištích. Laserové zdroje dostupné na zúčastněných pracovištích AV ČR také umožňují iniciaci velmi malých množství výbušnin za přísně kontrolovaných podmínek. Spektroskopie laserem indukovaného plazmatu se zase používá k detekci stop výbušnin a laserová absorpční spektroskopie je vhodná k rychlé analýze stopových množství plynů v plynných směsích a přináší úspory při řízení výrobních chemických procesů. Lasery se staly nedílnou součástí moderní medicíny. Jejich použití nám umožňuje zobrazovat, zkoumat, stimulovat i léčit. Užívají se při očních operacích, odstraňování močových kamenů, v minimálně invazivní chirurgii, léčbě zhoubných nádorů nebo v zubním lékařství. Velmi krátké laserové pulzy významně rozšiřují možnosti zobrazovacích a diagnostických metod důležitých pro lékaře, umožňují snadno a rychle rozpoznat závažná nervová

nebo autoimunitní onemocnění, jako je roztroušená skleróza či celiakie, a mají své využití v protonové terapii. Dostatečně výkonné laserové zdroje v ultrafialové oblasti jsou také vhodné pro desinfekci prostor i předmětů či zařízení a mohou tak pomoci předcházet pandemiím.

Čtvrté téma "*Konstrukce laserových zdrojů a systémů pro přenos světla*" je věnováno hledání nových způsobů využití laserů v běžném provozu, za hranicemi ideálního čistého prostředí laboratoří. Se stále množícími se způsoby využití laserů totiž rostou i požadavky na specifické vlnové délky, energie a délky pulzů pro nejrůznější technologické, provozní, nebo medicínské aplikace. V mnoha prostředích, například v oblasti přesného strojírenství, je třeba zajišťovat synchronizaci činností, tedy garantovat přesné měření času ve všech místech procesu. A to není vždy snadné z důvodu provozních nečistot nebo dalších komplikací vyvolaných výrobním procesem. Přesto je třeba v daném místě laserový pulz použít, a proto je nutné umět signál na dané místo dopravit. Znamená to např. postavit vhodné zdroje koherentního světla a systémy pro jeho vedení s minimem ztrát. Krátké a ultrakrátké laserové pulzy dosahují v dnešní době okamžitého špičkového výkonu až několik petawattů a mohou nést energii v jednom pulzu až 100 J. V důsledku nelineárních jevů a materiálových pevností je však zatím nemožné přenášet jedním skleněným optickým vláknem větší energii než 1 mJ u pulzních laserů s krátkou a ultrakrátkou délkou pulzu. Řada laserových technologií je pak omezena nutností pohybovat cílovým objektem místo jednoduše kontrolovatelným svazkem vystupujícím z optického vlákna. Rozvoj konstrukcí mikrostrukturních vláken využívající dutinu vyplněnou plynem a stěnovým materiálem z křemenného skla nebo polymerů mohou posunout tento práh až na stovky mJ, kde okamžitý výkon dosahuje až jednotek gigawattů. Koncentrování a přenos intenzivních kontinuálních laserových svazků je důležité nejen v základním výzkumu, ale i v průmyslu. Pomocí optických systémů je pak možné několik oddělených laserových systémů, určených pro různé procesy jako např. pro přehřívání, sváření a kalení materiálu, spojit do jediného optického systému. Takto vytvořený systém pak může dosáhnout lepších technologických parametrů i konečné ceny.

Páté téma se nazývá "*Jasně zdroje světla pro dosažení, studium a využití extrémních stavů hmoty*". Výkonové lasery dnes umožňují dosahovat v laboratorních podmínkách rozličných extrémních stavů hmoty vyskytujících se na Zemi jen vzácně, avšak hojných ve vesmíru. S výhodou lze využít součinnosti mezi počítačovými simulacemi a experimenty prováděnými na velkých laserových zařízeních AV ČR (PALS, ELI Beamlines, HiLASE) schopných soustředit značné množství energie do velmi omezeného objemu. Oproti standardním laboratorním zdrojům tyto unikátní výkonové systémy produkují plazma nejen s vlastnostmi blízkými skutečným vesmírným objektům a jevům, ale i v objemech resp. množstvích přenositelných na reálné mimozemské podmínky. Pokročilá diagnostika interakčních podmínek, dosažených fyzikálních stavů a jejich chemického účinku nám poskytuje jedinečnou příležitost využít zmíněných experimentálních a teoretických nástrojů k získání hlubšího a spolehlivějšího vhledu do procesů probíhajících v podmínkách v čase a prostoru velmi vzdálených od současné Země. Poznání principů, které formovaly a formují náš svět, může mít obrovský význam pro použití jak v globální energetice, tak v mikro či nanotechnologiích. Praktickému užití poznatků výzkumu extrémních stavů hmoty jsme dnes blíží, než by se to mohlo zdát.

Superlasery pro skutečný svět

V centru HiLASE jsou vyvíjeny nové lasery s výjimečnými parametry a jedním z hlavních cílů této činnosti je rozvoj jejich aplikací pro úspěšné nasazení v průmyslu. Díky svým parametrům mohou být tyto superlasery použity i v oblastech, ve kterých dosud dominovaly konvenční metody výroby. V oblasti průmyslových aplikací se zabýváme především vývojem a optimalizací technologií mikro-obrábění, přesným řezáním, ovlivňováním funkčních vlastností povrchů a zejména laserovým vyklepáváním, tj. vytvrzováním povrchu materiálu rázovou vlnou generovanou laserem (Laser Shock Peening, LSP). Jedná se o velmi progresivní technologii, kde laserový paprsek generuje v povrchové

vrstvě zpracovávaného materiálu tlaková zbytková napětí, která významně zlepšují únavové vlastnosti materiálu a omezují tak vznik a rozvoj povrchových trhlin. Tato technologie nalézá již několik let praktické uplatnění ve velmi náročných aplikacích zejména v leteckém průmyslu. Náš nejvýkonnější laser, který díky své velké energii v pulzu dostal příznačné jméno Bivoj, umožňuje dosáhnout vyššího zpevnění povrchu na větší ploše, což zkracuje čas potřebný pro opracování dané součásti při výrazně vyšší kvalitě. Se zkracováním času opracování povrchu je spojené také snižování nákladů potřebných na ovlivnění součástí. Z tohoto důvodu začíná být tato technologie zajímavá i pro další strojírenská odvětví, kde se až dosud metoda vytvrzování pomocí laseru ekonomicky nevyplatila. Technologie LSP je ideálním zpracováním pro součásti, které jsou vystaveny cyklickému namáhání. Protože 90 % trhlin vedoucích k destrukci strojních součástí je vyvoláno právě cyklickým namáháním, je zřejmé, že Bivoj bude dlouhodobě velmi vytíženým zařízením.



Obr. 8: Experimentální stanice pro studium laserového vyklepávání materiálů rázovou vlnou (Fyzikální ústav AVČR, v.v.i.).

Dalším příkladem aplikačních aktivit je stanice pro testování prahu poškození materiálu laserem (Laser Induced Damage Threshold, LIDT), kterou mohou využít jak čeští tak zahraniční výrobci laserové optiky nebo tenkých vrstev. Díky vysoké intenzitě našich laserů je dosahováno nebývalé přesnosti měření a možnosti škálovat velikost testovaných vzorků. Stanice LIDT je úspěšně provozována pro tento druh měření a byly provedeny první testy na vzorcích optických komponent s tenkými vrstvami i bez nich. Stanice byla zkonstruována v souladu se souborem mezinárodních norem ISO 21254 týkajících se měření poškození optických prvků, což zajišťuje spolehlivost, reprodukovatelnost a přenositelnost změřených výsledků. Protože v Evropě je pouze několik málo stanic s touto certifikací, je poptávka na využití této stanice značná. V České republice je dnes několik firem světového významu zabývajících se výrobou špičkové optiky a optickými vlákny. Za velmi krátkou dobu provozu stanice bylo realizováno několik pilotních projektů v rámci spolupráce s výrobcí optických komponent a v současnosti pracujeme na dalších projektech výzkumu a vývoje součástí s vysokým prahem poškození.



Obr. 9: Experimentální stanice pro testování prahu poškození (Fyzikální ústav AVČR, v.v.i.).

Naše lasery s krátkými a ultrakrátkými pulzy jsou také velmi vhodné pro mikroobrábění a strukturování povrchu. Právě mikroobrábění pikosekundovými lasery proniká do biomedicíny, mikroelektroniky a mnoha dalších oborů, kde je potřeba opracování materiálu s přesnostmi až na tisícinu milimetru. Při použití těchto laserů je totiž hlavní výhodou téměř nulový přenos tepla do okolního materiálu. Takovým laserem je proto možné docílit hladké hrany řezu i ve velmi malých rozměrech. Zároveň se obráběný díl nedeformuje následkem ohřevu, a tak je možné obrábět i velmi tenké plechy a fólie. Příklady aplikací zahrnují řezání kompozitních skel displejů mobilních telefonů nebo vrtání velkého množství otvorů do palivového systému leteckého motoru. Strukturování povrchů lasery s krátkými pulzy je další velmi rychle se rozvíjející obor. Relativně známou technologií je vytváření struktur na povrch součásti, které mají za následek vodě odpudivé vlastnosti. Díky využití přesnějších a efektivnějších pikosekundových laserů lze vytvořit struktury, které zlepší kluzné vlastnosti, na povrchu vytvoří antibakteriální vrstvu nebo zamezí přilnutí ledu. V praxi jsou také hojně žádané olejofilní struktury, tj. struktury zlepšující ulpívání maziva na povrchu, což zvyšuje životnost mazané součástky. Významnou kapitolou strukturování povrchů jsou bioaplikace, kde lze struktury využít například pro podporu uchycení vaziva na povrch implantátu nebo naopak zabránění přirůstání tkání k dočasným náhradám. V nedávné době byly v HiLASE realizovány i výzkumné práce na vývoj vhodných postupů pro přesné vrtání a řezání plechů ze slitin titanu a kompozitních materiálů. Jedním z našich současných cílů je vylepšení stanice pro zvýšení rychlosti a efektivity při strukturování kovů a polymerů. Naše pikosekundové lasery jsou totiž ideální pro výrobní technologie vyžadující jak přesnost, tak krátký čas výroby. Díky pokroku ve vývoji vlastních technologií se tyto systémy stávají žádaným nástrojem v řadě průmyslových a vědeckých aplikací. Naší snahou není nabízet pouze přístrojový čas na samotných laserech, ale poskytnout ucelené zázemí pro výzkum a vývoj technologií, které se od těchto laserů odvíjí a nabízet komplexní odbornou i materiálovou základnu uživatelům z akademické i průmyslové sféry.

Český lev se vrací

Výzkumné a vývojové činnosti v laserovém centru HiLASE nejsou izolovanou aktivitou, ale jedná se o součást hlubší a dlouhodobé vize STAR (Science Technology Advanced Region). V okolí středočeských Dolních Břežan jsou dnes koncentrovány významné výzkumné a vývojové kapacity, jejichž potenciál je možno bez obav přirovnávat ke konceptu Silicon Valley nebo CERNu ovšem v oblasti laserů. Od roku 2009 bylo na relativně malém území 6 km² v těsné blízkosti Prahy zainvestováno téměř 10 mld.

KČ do pracovišť zaměřených na vývoj laserů, přidružené technologie a laserové aplikace v HiLASE, základní badatelský výzkum částic a hmoty za využití laserů v ELI Beamlines a biotechnologie a biomedicínu v BIOCEV. Značný objem prostředků na tak malém území již překonal hranici „kritické masy“ díky kterému jsou již nyní vytvářeny světově významné výsledky, jak již bylo demonstrováno např. u laserového systému Bivoj. Dnes je proto třeba myslet na vytváření doprovodných podmínek pro realizaci samotných výsledků a jejich přínosů pro region tak, aby nemizely bez výraznějšího efektu mimo naše území, jak se tomu dělo mnohokrát v minulosti. Region STAR je vymezen Dolními Břežany, Hodkovicemi a Vestcem s cílem zajistit co největší možné synergické efekty a příznivé podmínky pro průmyslovou realizaci výsledků. Zajišťuje podporu samospráv dotčených obcí pro dlouhodobé investice do vědy, výzkumu a inovací ve zvolených klíčových oblastech, podporu strategického řízení regionu včetně doprovodné infrastruktury, společné PR a marketingu, navazování klíčových partnerství včetně potenciálních investorů pro zajištění financování rozvojových aktivit, podporu pro poradenské centrum pro rozvoj podnikání (např. Středočeské Inovační Centrum, SIC) a další doplňkové služby. Region se stal natolik zajímavým, že například světový lídr v rentgenové optice, japonská firma RIGAKU, se rozhodla investovat do nového výzkumného a vývojového centra přímo v Dolních Břežanech. Centrum HiLASE jako klíčový hráč v oblasti vývoje laserových technologií patří mezi významné technologické infrastruktury, které budou tvořit důležitý pilíř dalšího rozvoje Evropského výzkumného prostoru. Díky unikátní výzkumné, vývojové a inovační infrastruktuře, koncentraci špičkového výzkumu a technického personálu, přátelskému vztahu k průmyslu a aplikační sféře, se HiLASE snaží přispívat k rychlému růstu mezinárodní konkurenceschopnosti ČR v oblasti laserů a jejich aplikací. Zároveň tak navazujeme na tradici vysoké úrovně technických oborů první republiky a vracíme českého lva na přední místo mezi technologické velmoci.

Použité zdroje:

T.H. Maiman, Nature **187**, 493 (1960)

T.H. Maiman, Phys. Rev. Lett. **4**, 564 (1960)

J. Blabla, V. Trkal, Čs. čas. fyz. **60**, 221(2010)

"Elektronická verze sborníku příspěvků multioborové konference LASER50", editoři: Bohdan Růžička, Lucie Oprchalová, ISBN 978-80-87441-03-9

Jeff Hecht, "Beam: The Race to Make the Laser," Optics & Photonics News 16(7), 24-29 (2005)

www.national-laser.com

www.photonics.com

www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/laser.htm

www.pals.cas.cz

www.eli-beams.eu

www.hilase.cz