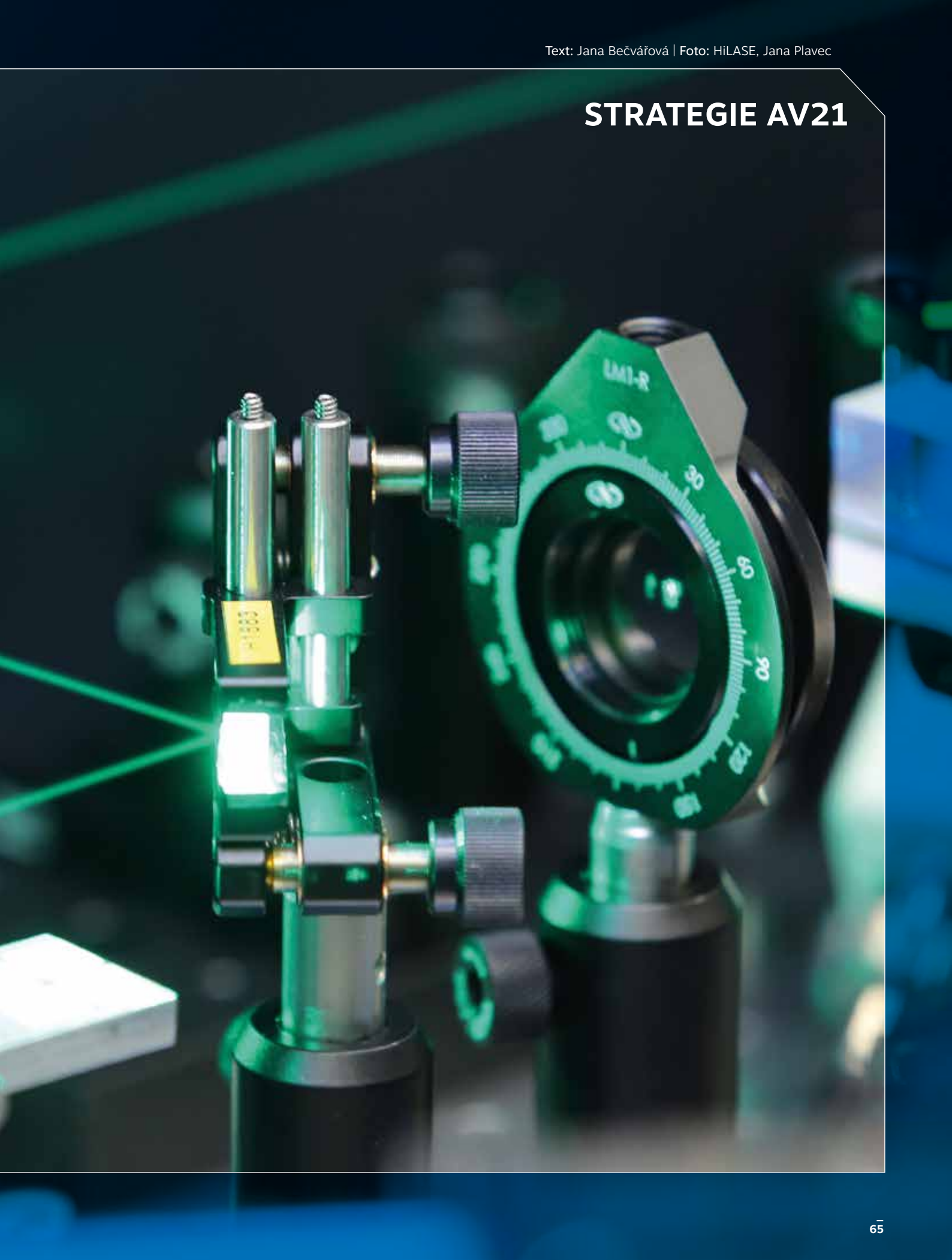


Spoutané SVĚTLO

Úsvit, vysvětlit, světlo na konci tunelu – snad v každém významu má světlo něco společného s pravdou, nadějí a čímsi povznášejícím. **Jak ale fyzikové a inženýři vědí, proud fotonů dokáže i pálit, řezat a bouchat.**

STRATEGIE AV21



Agent 007 leží svázaný na zlatém stole, nad ním se týčí hrozivý stroj. „Divíte se na průmyslový laser, vyznačuje neobvyklé světlo, jaké v přírodě neexistuje, dokáže udělat skvrnu na Měsíci a na blízko může řezat i masivní kov,“ říká chladným hlasem padouch Goldfinger, zapne přístroj a sleduje červený paprsek, jak si kovem pomalu, ale jistě razí cestu k tělu Jamese Bonda. Jen filmová fikce? Dnes by se nám taková scéna zdála docela reálná, ale v roce 1964, kdy šel snímek do kin, byla tato technologie ještě v plenkách a ohromila svět. Vždyť první laser sestavil Theodor H. Maiman o čtyři roky dříve a průmysl teprve koketoval s myšlenkou, že by jev, postavený na zesílení světla prostřednictvím stimulované emise, byl využitelný v masivním měřítku.

Zařízení funguje na principu znásobování a usměrnění fotonů za pomoci jevu stimulované emise. „Výsledkem je svazek s nízkou rozbíhavostí, který je na rozdíl od přirozených světelných zdrojů koherentní, tedy statisticky uspořádaný, a ve většině případů monochromatický, tedy jednobarevný,“ říká Jan Brajer z Fyzikálního ústavu AV ČR, který se laserům věnuje mj. v souvislosti s programem Strategie AV21 *Světlo ve službách společnosti*.

Když v prosinci 1964 – jen pár měsíců po britské premiéře bondovky – přebírali Charles H. Townes a Nikolaj G. Basov s Alexandrem Prochorovem Nobelovu cenu za fyziku, kterou jim Královská švédská akademie věd přisoudila za poznatky z roku 1961 vedoucí k objevu laseru, dostalo se fyzice díky filmovým fanouškům té nejlepší popularizace.

Ostatně, laser z pláten a obrazovek nezmizel. Vynálezce Q ho v dalších příbězích o špiónovi s povolením zabíjet vkládal například do hodinek. Na světelných paprscích stojí i celá série *Hvězdných válek* a také jiné sci-fi nebo akční snímky využily jejich vizuální atraktivitu – jmenujme třeba *Star Trek* s vlečným paprskem nebo *Mission: Impossible* a *Past*, v nichž hlavní hrdinové musejí zdolat síť laserů detekujících pohyb, chtějí-li prolomit bezpečnostní opatření.

TYPY LASERŮ PRO RŮZNÉ MATERIÁLY A ČINNOSTI



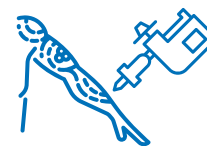
DŘEVO – pro řezání a popisování dřeva se používají lasery s dlouhou vlnovou délkou. Vyznačují se jednoduchostí, a proto je proces výroby velmi rychlý a levný. Vyrábí se tak třeba vánoční ozdoby.
10 600 nm

CHIRURGIE – pro operace očí se používají lasery s ultrakrátkými pulzy. Vytvořený řez je velice přesný a není ovlivněn okolím. Ostatní operace využívají tepelného efektu laseru, takže řez prakticky nekrvácí.
532–2940 nm



OCEL – reže se dobře, obtížně svařitelné kusy oceli jdou svařit bez větších obtíží, pro gravírování a popis je ocel ideální.
1064 nm

DERMATOLOGIE – laser se využívá při odstranění tetování k rozbití barvy zachycené ve tkáni. Problém je u barevných tetování, kde je potřeba různých vlnových délek laseru.
515 – 10 600 nm



LASEROVÁ UKAZOVÁTKA – při delším vystavení oka paprsku může dojít k poškození zraku. Nejbezpečnější jsou červená ukazovátka. Pokud je vám nepříjemné koukat na barevný bod na tabuli, pravděpodobně je výkon tohoto laseru nadlimitní.
532 / 635 nm

HLINÍK – disponuje velkou odrazivostí. Při správném nastavení laseru ale jeho řezání a další obrábění není velký problém. Využívá se např. pro odlehčené konstrukce.
532 nm



MĚĎ – je měkká a konvenčními technologiemi se obrábí dobře, pro laser je však problematická. Má totiž vysokou odrazivost. Při použití správné vlnové délky laseru však lze dosáhnout podobných výsledků jako při obrábění ostatních kovů.
532 nm

OPTICKÁ PINZETA – nástroj budoucnosti. Miniaturní vlečný paprsek, který je schopen zachytávat buňky i jiné objekty v roztoku, třídí je a jinak s nimi manipulovat, se bude určitě čím dál častěji využívat v medicíně.
1064 nm



DIAMANT – čím jiným než laserem by bylo možné obrábět nejtvrší materiál na světě? Nástroje vyrobené z diamantu používané pro extrémní obrábění je možné laserem tvarovat s výbornou přesností.
213 / 256 / 355 / 532 nm

PLAST – je organický materiál, proto pro něj platí podobná pravidla jako pro zpracování dřeva. Záleží však, čeho chceme na plastovém výrobku dosáhnout, a také na přesném složení. Lze používat výkonné, krátkopulzní i kompaktní lasery.
200 / 2000 / 10 600 nm





RÁDIOVÉ VLNY

Až tisíce kilometrů může dosahovat vlnová délka rádiových vln. Díky tomu našly využití pro komunikaci na velké vzdálenosti, například s ponorkami či v dolech. Kratší vlny zase v masivním měřítku slouží pro rozhlasové a televizní vysílání, pokrytí bezdrátovým internetem či pro komunikaci vysílačkami.

MIKROVLNNÉ ZÁŘENÍ

Nejen mikrovlnná trouba, ale i řada telekomunikačních zařízení těží z vln o délce 1 milimetr až 1 metr. Některé materiály mikrovlny odrážejí (radar), jiné je pohlcují a přeměňují se v nich na teplo (ohřev potravin) a dalšími bez výraznějšího efektu jen projdou.

INFRAČERVENÉ SVĚTLO

Záření o vlnové délce 700 nanometrů až 1 milimetr lidské oko nezachytí, spatřit ho ale mohou některé druhy plazů. Samo naše tělo ho ovšem vyzařuje, a to ve formě tepla.

VIDITELNÉ SPEKTRUM

Člověk je schopen vidět elektromagnetické záření o vlnových délkách přibližně 380 až 700 nanometrů, přičemž nejnižší hodnoty reprezentují odstíny modré barvy a nejvyšší směřují přes zelenou, žlutou a oranžovou k červené. Celé spektrum se vyjeví třeba při duze, kdy dochází k efektu známému jako lom světla.

ULTRAFIALOVÉ ZÁŘENÍ

Pro lidské oko neviditelné, zaznamenávají ho ovšem někteří živočichové. Záření o vlnové délce 400 až 10 nanometrů si člověk uvědomí hlavně ve chvíli, kdy se spálí při opalování.

RTG PAPRSKY

Schopnost záření o vlnové délce 10 až 0,1 nanometru pronikat tkáněmi se hojně využívá ve zdravotnictví. Název nese po německém fyzikovi Wilhelmu C. Röntgenovi, který svůj objev pojmenoval paprsky X. V roce 1901 za něj získal vůbec první Nobelovu cenu za fyziku.

GAMA ZÁŘENÍ

Záření o nejkratší vlnové délce – dosahuje až jednotek pikometrů, tedy biliontin metru. Vzniká při radioaktivním rozpadu jader. Vyskytuje se běžně v kosmickém záření jako následek sluneční erupce a výbuchů supernov. Je nebezpečné, ale při kontrolovaném užití může pomáhat – například při ozařování v onkologii nebo jako prostředek pro sterilizaci lékařských nástrojů.

ŽIJEME VE STOLETÍ FOTONU

Na rozdíl od kinematografie se s laserem v reálném světě setkáváme v méně dramatických situacích, zato téměř na každém kroku. Ne nadarmo se dnešní době přezdívá století fotonu.

Pojďme společně: ráno se vzbudíte, nasnídáte se, jedete do práce a v autě si použijete oblíbené CD, ve kterém se používá pro vyčítání zvukové stopy laser. Zaposloucháte se, až přešvihnete povolenou rychlost, a hned vás policie zaměří laserovým dálkoměrem. Chcete si spravit náladu, stavíte se pro něco dobrého na zub a u pokladny vám každou položku nasnímá červený laser prostřednictvím čárového kódu. „To je mimochodem nejrozšířenější aplikace laseru na světě,“ uvádí Tomáš Mocek, koordinátor programu *Světlo ve službách společnosti* a vedoucí centra HiLASE.

Kdo někdy rekonstruoval nebo stavěl dům, velice pravděpodobně v rukou pozvaných řemeslníků spatřil laserové měřiče vzdálenosti, klasický metr už pomalu patří do propadliště dějin.

Vedle toho laser může dům i chránit, a to citlivými senzory pohybu. Bývá také součástí tiskáren a častým pomocníkem je při přednáškách či konferencích v podobě laserového ukazovátka (byť jejich zdravotní nezávadnost je diskutabilní). Jako svého druhu ukazovátka ale slouží i zaměřovače na ručních zbraních, ve vojenství se laser používá rovněž k měření vzdáleností nebo přesnému trasování cíle. Koneckonců, právě armádní technologie byly během studené války jednou z priorit výzkumu laserů.

KÓDOVANÝ CEJCH

V naprosto masivním rozsahu se laser využívá v průmyslu. V současnosti se bez něj neobejde snad žádná strojírenská firma. Lasery bývají integrovány do výrobních linek, aby svářely dílce, řezaly je nebo kalily různé materiály. Důležité jsou i pro tak zdánlivě marginální záležitost, jako je technologické popisování. Každá jednotlivá součást jednoho celku dostane laserový cejch ve formě QR kódu, díky čemuž je možné ji zpětně zkontrolovat, spárovat, dohledat a podobně. „Dříve se popisovalo ▶



Ing. JAN BRAJER, Ph.D.

Fyzikální ústav AV ČR

Je vedoucím skupiny průmyslových laserových aplikací, zabývá se především výzkumem a zdokonalováním technologie laser shock peening neboli laserového vyklepávání. Vystudoval Fakultu strojní na ČVUT, kde dodnes působí jako pedagog a vědecký pracovník. Je iniciátorem takzvaných kulatých stolů, u nichž vědci v rámci programu Strategie AV21 *Světlo ve službách společnosti* diskutují se zástupci firem a řeší jejich konkrétní problémy, které mohou pomoci s výzkumem laserových technologií.

inkoustem, dnes už se k modernímu popisování používá laser. Stejnou technologií, respektive odebráním barvy, vznikají i loga značek vzadu na telefonech nebo podsvícené nápisy na tlačítkách v autech či klávesnicích," vyjmenovává Jan Brajer.

Nelze si nicméně představit, že existuje jeden laser a ten při různém nastavení řeže do kovu i dřeva, gravíruje i svařuje. Vždy závisí na tom, jakou absorpci má materiál při dané vlnové délce. Pro většinu známých materiálů proto existují jakési návody se stanovenými parametry a každý laserový systém musí být takřka sestaven na míru kýžené činnosti. Technologie už dosáhly takového pokroku, že laser při řezání milimetrového plechu oceli pracuje běžně rychlostí jeden metr za sekundu, rozřízne ale až pěticentimetrovou ocel a poradí si s diamantem nebo keramikou, tedy velmi tvrdými materiály.

Bez falešné skromnosti je třeba podotknout, že laserové zdroje z centra HiLASE

jsou v současnosti naprostou vědeckou špičkou. Na míru sestaveným laserem z Dolních Břežan lze dosáhnout velmi přesného opracování díky ultrakrátkým pulzům, které jsou dlouhé jen jednu pikosekundu (biliontinu sekundy).

SILÁK MEZI LASERY

Je jasné, že veškeré součástky strojů a konstrukcí se při dennodenním používání namáhají a ani tvrdý kov dlouhodobě nevydrží velký tlak a nepříznivé podmínky bez ztráty kytičky. Příkladem může být lodní šroub, kde rotací vznikají bublinky, které pomalu, ale jistě materiál vyžirají. Vědci v HiLASE ve spolupráci s kolegy z Ústavu termomechaniky AV ČR

a liberecké Technické univerzity přišli s řešením v podobě vyklepávání nejvíce zatížených míst laserem. „Technologie laser shock peening je ve světě známa už řadu let, ale průmyslově se využívá jen pro specifické problémy. V zásadě jde o to, že na základě predikce, kterou

„**Laserem je možné i chladit, díky němu se vědci v unikátním experimentu dostali k hodnotě velmi blízké absolutní nule.**“

Jan Brajer

vypracuje Ústav termomechaniky AV ČR, jsme schopni určit, jaká místa lodního šroubu budou nejvíce poškozená a co v nich způsobí ošetření laserem. Právě do těchto lokalit namíříme laser a vystřelíme krátký pulz,“ líčí postup Jan Brajer.

Jakou má zařízení sílu, naznačuje už jen jeho jméno. Bivoj. Nedostalo ho nadarmo, před čtyřmi lety jako první na světě dosáhlo kilowattového výkonu, což je pro laser tohoto typu absolutní špička. Na povrchu materiálu paprsek vyvolá doslova explozi, již docílí tlaku až několika gigapascalů. Daným místem tak proběhne rázová vlna, která materiál zpevní a jakoby se zamačká do sebe.

Za účelem tvrzení namáhaných míst strojů, motorů, turbín nebo třeba i šlapek u jízdního kola se sice tradičně používají jiné, mechanické metody, jako je metání kovových kuliček, písku, válečkování, nicméně v testech se ukázalo, že laser shock peening dokáže materiál zpevnit do pětikrát větší hloubky a v případě kavitáční eroze neboli souboje lodního šroubu s bublinkami dosahuje laser dvojnásobného prodloužení životnosti dílce.

NÁVRAT K PŘÍRODĚ

Technologii laserového vyklepávání se dolnobřežanské centrum nyní věnuje i v souvislosti s 3D tiskem a topologickou optimalizací. Pod strohým názvem se skrývá sympatická inspirace přírodou. Ta si vždy ví rady a díky evoluci vyvinula ty nejlepší tvary – „konstrukce“ zesílené v místech, kde dochází k největšímu namáhání, a štíhlé tam, kde je naopak menší napětí.

Velice přírodně by jednou mohl vypadat například rám jízdního kola – skoro jako kmen stromu nebo větev. Potíž přichází ve chvíli, kdy je na něj potřeba napojit další součásti. V kritických místech, kde by cyklickým namáháním mohly vzniknout trhliny, ovšem zase poslouží laser shock peening.

Své závěry hodlají vědci z HiLASE co nevidět publikovat a přemýšlejí o tom, jaké firmy by o novou technologii mohly mít zájem. „Bezesporu by našla uplatnění v leteckém průmyslu, jenže tam je všechno na dlouhé lokte, různé certifikace trvají klidně i deset let, navíc koronavirová krize zasadila létání těžkou ránu a firmy budou šetřit.“ Větší šance Jan Brajer vidí v biomedicině, kde se 3D tisk implantátů, kostních i tkáňových náhrad

Ve vědeckém světě se laser osvědčil ve formě optické pinzety – světlo se používá k manipulaci s mikroskopickými částicemi, jako jsou viry, bakterie nebo jednotlivé buňky, a to zcela bezkontaktně. Jan Brajer princip přirovnává k balonku nad kompresorem: „Balonek nespadne, balancuje v proudu vzduchu. Světlo je také reálná síla – pokud daný předmět obtéká ze všech stran, může s ním i manipulovat. Na podobném principu filmaři postavili vlečný paprsek v sérii *Star Trek*.“

LASER V LÉKAŘSTVÍ

Medicina byla vůbec prvním odvětvím, které z vynálezu laseru těžilo. Už rok a půl po sestavení prvního, Maimanova laseru lékaři technologii použili při operaci nádoru v sítnici oka. Vedle oftalmologie se laser díky své až mikroskopické přesnosti těší velké popularitě v neurochirurgii, kardiochirurgii, ale také ve stomatologii či dermatologii. Rozsáhlý v medicíně je i 3D tisk. Po světě běhají už tisíce lidí s „vytištěnými“ kloubními implantáty, cévními protézami, náhradami kostí i dalších tkání. „Implantáty se dnes voperovávají stále mladším lidem, i kolem třicítky. Jenže běžně je životnost třeba těch kloubních okolo dvacet let. Reoperace jsou náročné a hledá se proto způsob, jak implantáty zdokonalit tak, aby vydržely i padesát let,“ vysvětluje Jan Brajer. Dosáhnout by se toho dalo za pomoci technologie laser shock peening, která by namáhané místo implantátu „zocelila“. Laser slouží i k funkcionalizaci povrchu. Jeho prostřednictvím lze vytvořit takovou texturu implantátu, která má požadované vlastnosti, například napomůže tomu, aby okolní tkáň cizí předmět přijala.

běžně používá a hledají se způsoby, jak zvýšit jejich životnost.

Vedle kmenů jsou z přírodních tvarů pro fyziky zajímavé i lotosové listy nebo žraločí šupiny, naučit se od nich mohou, jak ideálně upravit povrch předmětu, aby po něm dobře klouzala voda a vzduch. „Díky mikroobrábění jsme schopni laserem vytvořit řadu textur, nejen hydrofilní či hydrofobní, tedy vodupřitahující a voduodpuzející. Jako jedni z mála na světě to navíc dokážeme rychle. Jeden paprsek výkonného laseru umíme optickým zařízením rozdělit do tisíce svazků, takže i pracovní tempo laseru je tisícinásobné,“ popisuje Jan Brajer mechanismus přístroje s poetickým názvem Perla.

DOBŘÍ SLUHA, ŠPATNÝ PÁN

Laser je mocný nástroj. Tak jako dokáže pomoci – ať už ve zdravotnictví, nebo v průmyslu –, umí také ublížit. I proto se výrobci musejí řídit přísnými bezpečnostními pravidly. Při špatné manipulaci mohou i slabší paprsky poškodit oční sítnici, ve své podstatě ji popálí. Ne nadarmo všichni výzkumníci v HiLASE v blízkosti laserů nosí ochranné brýle.

O to pozornější musejí být, když testují limity pulzních laserů a jaké množství laserového záření materiál vydrží, než v něm paprsek vypálí díru. Měření prahu poškození slouží výrobcům zrcadel či krystalů do optických zařízení a čoček. Zjednodušeně řečeno by vědci byli schopni změřit i výdržnost štítů bránících útokům laserových zbraní.

JE TO VE HVĚZDÁCH

Řada nápadů na využití laseru ve vesmíru stále spadá do kategorie sci-fi, ani na tomto poli však vědci nezahálejí. Reálně se uvažuje o technologii, která by z oběžné dráhy mohla sestřelit asteroidy řítící se na Zemi. Velmi konkrétní obrysy pak má aplikace 3D tisku na Mezinárodní vesmírné stanici (ISS). První součást – plastový klíč na utahování šroubu – si astronauti vytiskli dokonce už v roce 2012. Daleko palčivějším tématem je ovšem kovový 3D tisk. „Má to jednoduché vysvětlení. Na ISS se každoročně musí vyměnit asi čtyři sta padesát kilogramů dílců. Kvůli tomu je na Zemi uskladněno okolo sta tun náhradních součástí a na stanici na orbitě dalších patnáct tun. Pokud by se dílce tiskly z kovového prášku přímo tam, výrazně by se ušetřilo,“ říká Jan Brajer s tím, že 3D tiskárna je také žhavým kandidátem na jeden z prvních strojů při osídlování Měsíce nebo Marsu.

Evropská kosmická agentura představila svůj koncept permanentní základny na Měsíci už před několika lety. Vzhledem k tomu, že ho nechrání atmosféra před vesmírnou radiací ani dopadajícími asteroidy, vytvořil by robot vybavený 3D tiskárnou nad základnou jakousi krustu z měsíčního prachu. A jak Jan Brajer upozorňuje, laserovým spékáním by vlastně mohl vzniknout materiál podobný sklu. Není to nádherná představa? A přitom je daleko víc reálná, než že by nějaký laser ze Země vypálil díru do Měsíce, o čemž filmové diváky přesvědčoval padouch Goldfinger ve známé bondovce. □