

# Katedra za optodinamiko in lasersko tehniko

Katedra za optodinamiko in lasersko tehniko (KOLT) je bila ustanovljena leta 1995. Raziskovalno in razvojno delo na tem področju pa neprekinjeno teče v okviru Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani že skoraj trideset let. V raziskovalno skupino Laboratorija KOLT je poleg vodje, rednega profesorja dr. Janeza Možine, vključenih še 16 raziskovalcev, od tega 11 doktorjev znanosti.



Slika 1. Člani Katedre za optodinamiko in lasersko tehniko

Področja, na katerih pedagoško, raziskovalno in razvojno deluje Katedra za optodinamiko in lasersko tehniko, so: optodinamika (lasersko inducirano gibanje snovi), bliskovni laserski obdelovalni procesi (označevanje in graviranje, vrtanje, ablacija, čiščenje, rezanje in varjenje, upogibanje in oblikovanje, ...), laserski merilni sistemi in optomehatronski sistemi.

Predmeti, ki jih vodijo ali pri njih sodelujejo člani KOLT na dodiplomskem študiju, so Fizika in Laserski sistemi na univerzitetnem programu in Tehniška fizika na visokošolskem programu, na podiplomskem študiju pa predmet Laserska tehnika.

Razen pri diplomah, magisterijih in študentskih Prešernovih nagradah je bil prof. dr. Janez Možina do sedaj mentor pri 12 doktoratih, izr. prof. dr. Janez Diaci pa pri dveh. Trenutno

pripravlja svoje doktorske disertacije 11 kandidatov.

Raziskave v Laboratoriju katedre za optodinamiko in lasersko tehniko potekajo v tesnem sodelovanju z organizacijami in podjetji Fotona, LPKF, Optotek, Robotec, Alpina, Bolnišnica Golnik, Cimos, TPV, Veyance Technologies Europe itd.

Raziskovalna skupina je vključena v raziskovalni program Proizvodni sistemi, laserske tehnologije in spajanje materialov. Poglavitni del raziskav poteka v okviru projektov, katerih nosilci so člani raziskovalne skupine:

- Medicinske inovacije z lasersko triangulacijo – MILT,
- Laserski triangulacijski sistem za 3D-prepoznavanje obraza – LASTRID,
- Novi nanostrukturni materiali z

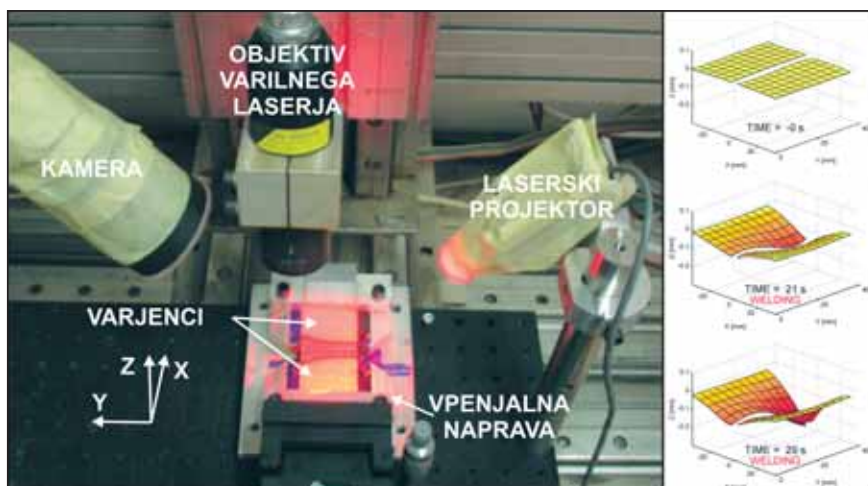
- ogromnim elektromehanskim odzivom,
- Vlakenski laser,
- Študija možnosti razvoja bliskovnih vlakenskih laserjev,
- Optodinamska karakterizacija in nadzor laserskih procesov v industriji in medicini,
- Razvoj multifunkcionalnih, prenosnih, integriranih bioanalitskih sistemov in metod za hitro detekcijo nevarnih agensov v vodi in hrani,
- Univerzalna medicinska naprava XD-3,
- mednarodni projekt Leonardo da Vinci Laser Technology Educational Network – LASTED,
- bilateralni projekt Optodinamski vidiki lasersko inducirane preboja v tekočini.

V nadaljevanju so opisane nekatere od raziskav na omenjenih področjih.

**Lasersko merjenje oblike teles.** Razvit je bil sistem za tridimenzionalno merjenje oblike površine tankih pločevinastih varjencev med bliskovnim laserskim varjenjem. Merilni sistem v grobem vsebuje večlinijski laserski projektor, ki na varjenca projicira svetlobni vzorec, ter digitalno kamero, ki zajema sliko tega vzorca na



Katedra za  
Optodinamiko in  
Lasersko  
Tehniko



Slika 2. Merjenje krivljenja varjencev med laserskim varjenjem

varjencih. Iz zajete slike laserskih črt računalnik izračuna tridimenzionalno obliko površine varjencev v realnem času. Podatki o časovnem razvoju krivljenja varjencev omogočajo optimizacijo varilnih parametrov.

Potreba po razvoju merilnika oblike stopal je prišla iz obutvene industrije, natančneje iz podjetja Alpina, d. d. Cilj podjetja je namreč izdelava obutve z najvišjim nivojem udobja. V ta namen želijo svoje prodajalne opremiti z napravami za tridimenzionalno izmero stopal. Tako si bo lahko kupec pred nakupom najprej izmeril obliko stopal, sistem pa mu bo predlagal modele ter velikost, ki se najbolje prilegajo njegovim stopalom.

Na slikah 3 in 4 sta predstavljena dva modela merilnikov oblike stopal, razvita na Katedri za optodinamiko in lasersko tehniko v sodelovanju z Alpino, d. d. Temeljita na principu laserske triangulacije in sta inovativna v svetovnem merilu. Prvi model je zasnovan tako, da ne vsebuje premikajočih se delov. Stopalo izmeri istočasno s štirih zornih kotov z uporabo štirih merilnih modulov, ki vsebujejo vsak po eno kamero in laserski večlinijski projektor. Bistvena odlika te tehnike je zmožnost merjenja oblike telesa med gibanjem – opravi namreč 25 meritev na sekundo. Drugi model temelji na enolinijskem osvetljevanju. Merilni modul je sestavljen iz laserskega projektorja in dveh kamer. Modul med meritvijo zakroži okrog obeh stopal in ju v desetih sekundah sočasno izmeri. Bistveni

odliki tega modela sta enostavnost uporabe – izmeri obe stopali sočasno – in nizka proizvodna cena. Oba merilnika imata natančnost pod en milimeter in sta neobčutljiva na okoliško svetlobo. Njun namen uporabe je predvsem pomoč kupcem pri izbiri najustrežnejših modelov obutve glede velikosti in volumna ter zbiranje in analiza podatkov o obliki stopal v populaciji, kar v nadaljevanju služi pri razvoju novih modelov obutve.

**Medicinske aplikacije.** V okviru projekta MILT poteka v sodelovanju z Bolnišnico Golnik razvoj laserskega sistema za spremljanje tridimenzionalne oblike prsnega koša med dihanjem. Neinvazivno merjenje pljučne mehanike namreč predstavlja izziv in novost v fiziologiji dihanja, saj tako spirometri kot druge naprave potrebujejo sodelovanje bolnika pri dihanju. Predvsem otroška populacija do starosti petih let in starejši



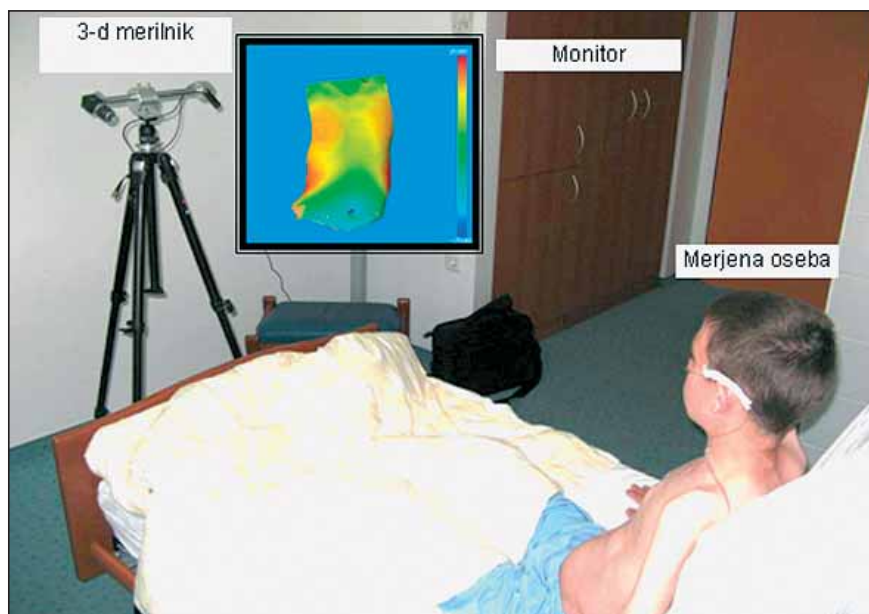
Slika 3. Zgoraj: Prva generacija laserskih merilnikov stopal, razvitih v KOLT-u. Spodaj: Primer meritve oblike stopala med sonožnim poskokom. Časovni interval med dvema zaporednima izmerkoma znaša 1/25 sekunde.

bolniki so taki, da jim ne moremo izmeriti klasičnih parametrov pljučne funkcije s spirometri, zato je omenjena metodologija potencialno bolj primerna za spremljanje frekvence in globine dihanja.

Dosedanji rezultati so zelo obetavni. Z metodo smo uspeli slediti spremembam gibanja prsnega koša in s



Slika 4. a) Druga generacija laserskih merilnikov stopal, razvitih v KOLT-u. b) Primer meritve oblike stopala. Sočasna meritev obeh stopal traja 10 sekund.



**Slika 5.** Laserski večlinijski triangulacijski sistem za hitro merjenje 3D oblike prsnega koša med dihanjem. Sistem bo pacientu omogočil učenje pravilnega dihanja preko opazovanja.

pomočjo računalniškega algoritma prikazati omenjene spremembe z barvno lestvico, ki vizualno opisuje prispevke različnih delov prsnega koša pri gibanju in opazovanje načina dihanja teh bolnikov. Pričakujemo, da bo sistem uporaben pri fizioterapevtskem delu – učenju pravilnega dihanja s feed-back metodo – in pri bolnikih, ki ne sodelujejo pri klasični preiskavi pljučne funkcije. Sistem bo v naslednji fazi omogočal testiranje tudi v klinični uporabi.

**Lasersko 3D označevanje.** Standardni 2D označevalni sistem za razliko od 3D ne omogoča označevanja obdelovancev, ki imajo razlike v globini označevanja večje od fokusne globine laserskega žarka (do ok. 2

mm). Problem pri 3D označevanju je definirati obliko in natančno pozicijo obdelovancev. Nadgradili smo obstoječi sistem za 3D lasersko označevanje tako, da smo mu dodali 3D kamero. Z dodano kamero in osvetljevanjem z obstoječim laserskim sistemom pred označevanjem izmerimo obliko in pozicijo obdelovanca. Iz izmerjenih 3D podatkov izračunamo iz 2D označbe 3D označbo, s katero potem obdelovance tudi označimo. Novo razviti sistem tako omogoča 3D lasersko označevanje obdelovancev, katerih oblika in pozicija nista vnaprej znani.

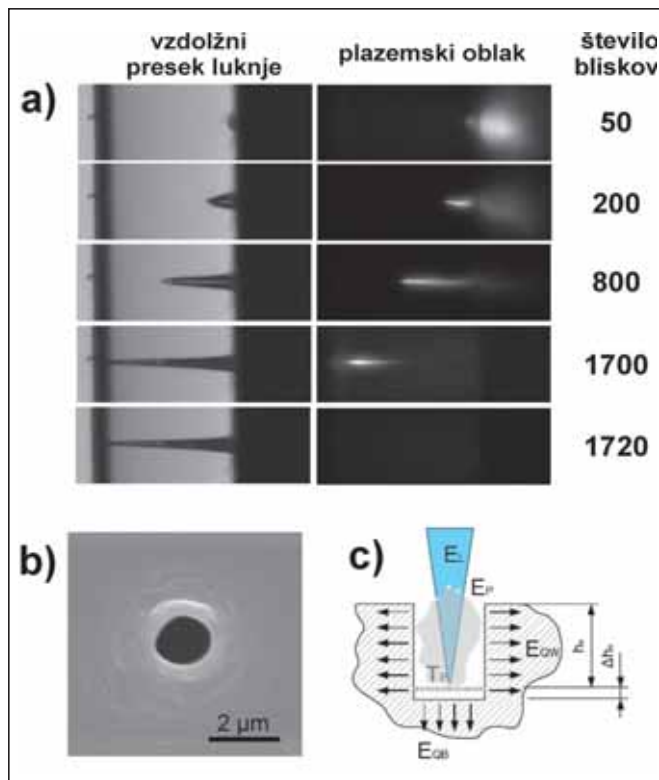
**Lasersko mikrovrtanje** je proces, pri katerem s pomočjo kratkih

laserskih bliskov velike vršne moči odstranjujemo material. Odvisen je od mnogih parametrov, zato je za zagotovitev želenih rezultatov nujno potreben sprotni nadzor. V ta namen smo v laboratoriju razvili metodo in sestavili nadzorni sistem, temelječ na optodinamskem spremljanju procesa, katerega rezultat je zmožnost vrtanja lukenj ponovljivih dimenzij. Metoda temelji na detekciji udarnih valov, ki nastanejo kot posledica interakcije laserskih bliskov z vzorcem.

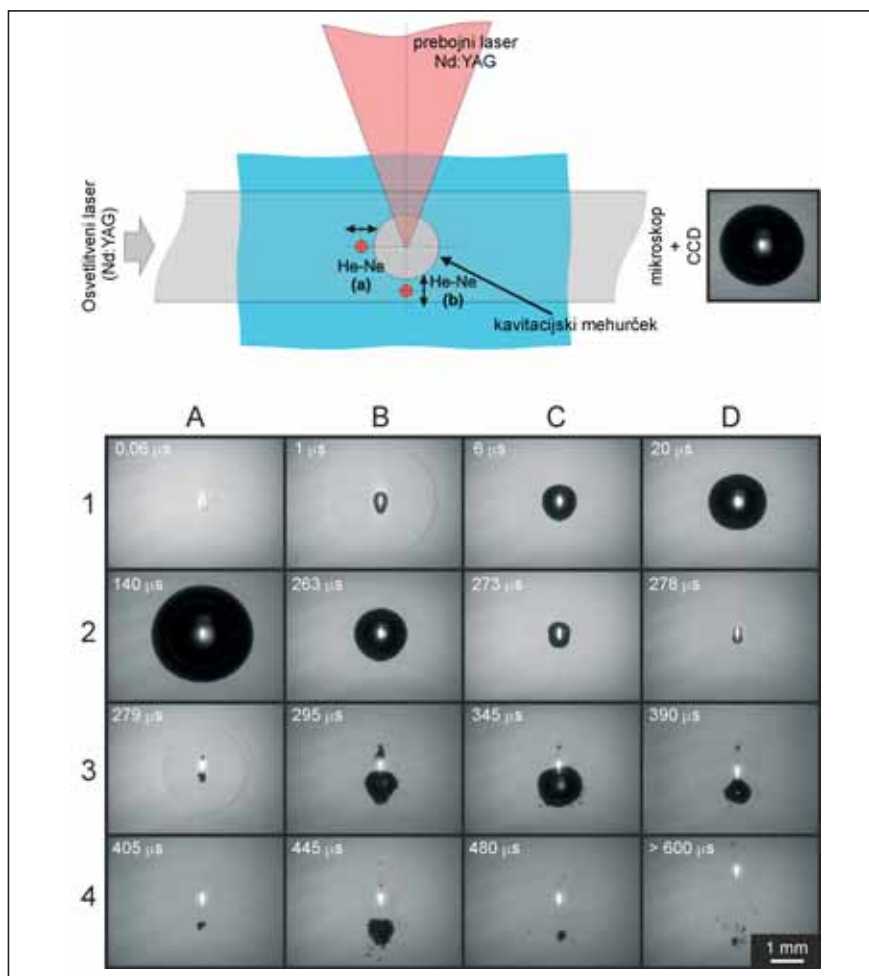
Glavna prednost laserskega mikrovrtanja je možnost izdelave izvrtin pod skoraj poljubnim kotom glede na površino vzorca. Prav tako je možno izdelati drobne cilindrične izvrtine z velikim razmerjem med dolžino in premerom (npr: 5 mm/30  $\mu$ m) ali pa rahlo konične izvrtine z izredno majhnim izhodnim premerom (pod 2  $\mu$ m). Nobenih težav ne predstavlja vrtanje v izredno trde materiale, kot so steklo, rubin ali safir. Za farmacevtsko industrijo je postopek zanimiv s stališča izdelave testnih steklenih ampul za zdravila. Za testira-



**Slika 6.** Primer tridimenzionalne označbe



**Slika 7.** Primer nastajanja izvrtine med laserskim mikrovrtanjem (a). Leva stran predstavlja rastočo izvrtino, desna pa plazemski oblak, izvor udarnih valov, ki služijo za nadzor vrtanja. Prikazan je tudi primer izhodne luknje (b) in schematični prikaz energijske bilance (c).



**Slika 8.** Postavitev eksperimenta (zgoraj): Blisk laserja Nd: YAG povzroči optični preboj v vodi. Optodinamske pojave smo simultano opazovali z lasersko odklonsko sondo (He-Ne) v vodoravni (a) in navpični (b) smeri ter s hitro fotografijo. Pri hitri fotografiji smo za osvetlitev uporabili bliskovni laser Nd:YAG. Spodnja slika prikazuje zaporedje fotografij oscilacij kavitacijskega mehurčka. Na posnetkih 1B in 3A je opazen tudi udarni val.

Oscilacije se nekajkrat ponovijo, pri vsakem širjenju pa se izseva udarni val, ki odnese del mehanske energije mehurčka. Opazovani pojavi predstavljajo značilen optodinamski proces, pri katerem se optična energija laserskega bliska pretvori v mehansko energijo okoliške tekočine. Raziskovanje omenjenih pojavov je pomembno za optimizacijo laserskih medicinskih posegov v oftalmologiji, kjer se nanosekundni bliskovni laserji običajno uporabljajo za uparitev tkiva pri procesu, kot je npr. odstranjevanje očesne mrežnice. Kavitacijski mehurčki so zanimivi tudi s stališča biomedicine, kjer se uporabljajo za mikromanipulacijo posameznih celic.

Uporabljena eksperimentalna postavitve omogoča sočasno merjenje z lasersko odklonsko sondo (LOS) in senčno fotografijo. Meritve z LOS temeljijo na odklonu merilnega žarka. Ko mehurček ali udarni val prečkava merilni žarek, se ta odkloni zaradi gradienta lomnega količnika, kar zaznamo kot signal na hitri kvadrantni fotodiodi. Pri senčni fotografiji omogočajo opazovanje hitrih pojavov kratki osvetlitveni časi – pojave osvetljujemo z bliskovnim laserjem z dolžino bliska 7 ns.

**Vlakenski laser.** Na pobudo in s pomočjo slovenskih podjetij (LPKF, Fo-

nje tesnosti (puščanja) namreč uporabljajo testne naprave, ki merijo električno prevodnost napolnjenih ampul. Slabe ampule izločajo na osnovi vnaprej določenega praga prevodnosti. Za umerjanje testnih naprav pa potrebujejo testne ampule z dobro definiranimi izredno drobnimi luknjami (premer nekaj μm), ki jih je najlažje izdelati s pomočjo laserskega mikrovrtanja.

**Lasersko induciran preboj.** Laserski blisk z visoko intenziteto povzroči optični preboj v tekočini, ki mu sledita udarni val in kavitacijski mehurček. Mehurček se širi okoli mesta preboja, dokler ne doseže končnega polmera. Tedaj tlak okoliške tekočine povzroči njegov kolaps, ki se zaključi s ponovno ekspanzijo mehurčka.



**Slika 9.** Laboratorijska izvedba kontinuirnega vlakenskega laserja med delovanjem

tona, Optotek), ki izdelujejo laserske sisteme za industrijo in medicino, je bil v okviru Laboratorija za optodinamiko in lasersko tehniko opremljen čisti prostor za raziskave in razvoj na področju vlakenskih laserjev. V okviru teh raziskav je bil izdelan prvi kontinuirni in bliskovni vlakenski laser v Sloveniji. Glavna prednost vlakenskih laserjev je možnost integracije optičnih komponent v vlakno, kar omogoča izgradnjo mehansko in termično izredno stabilnih laserjev, ki jih odlikujejo velika kvaliteta žarka,

robustnost in dolga življenjska doba. Tako zaradi velike kvalitete žarka kot še posebej zaradi izjemnega izkoristka potrebujejo za svoje delovanje precej manj energije v primerjavi s klasičnimi trdninskimi laserji in jih zaradi teh izjemnih lastnosti hitro izpodrivajo.

Raziskave in razvoj potekajo v tesnem sodelovanju s strokovnjaki iz omenjenih domačih podjetij kakor tudi v sodelovanju s priznanimi evropskimi institucijami, ki delujejo na razvoju

nove generacije vlakenskih laserjev za procesiranje substratov za sončne celice. Tako se je skupina uspešno priključila konzorciju 14 evropskih partnerjev v okviru projekta Advanced lasers for photovoltaic industrial processing enhancement – ALPINE (7. okvirni program), ki je v zaključni fazi pogajanj in bo predvidoma pričel z delom poleti 2009.

*Dr. Darja Horvat  
UL, Fakulteta za strojništvo*

## VABILO

članom **SDFT** in ljubiteljem fluidne tehnike  
na redni volilni Občni zbor SDFT v petek, 08. maja 2009,  
s pričetkom ob 11. uri na HE Fala



Program: vodeni ogled Tehničnega muzeja, vključno s predstavitvijo stare in nove HE Fala ter Občni zbor z volitvami predsednika in članov v organe SDFT.

Prosimo, da se udeležite zbora SDFT in pošljete informativno prijavo do 30. aprila 2009 na e-mail: marjana@nevija.si ali fax: 02/ 234 85 51.

*Dragan Grgić  
predsednik IO SDFT*

## NATEČAJ ZA IZBOR NAJBOLJŠIH DIPLOMSKIH DEL S PODROČJA FLUIDNE TEHNIKE »ZLATA DIPLOMA FLUIDNE TEHNIKE«

Slovensko društvo za fluidno tehniko – SDFT – razpisuje natečaj za izbor najboljših diplomskih del s področja fluidne tehnike. Namen natečaja je vzpodbuditi študente, ki so opravili diplomsko delo s področja fluidne tehnike, da slovenski in širši strokovni javnosti s tega področja predstavijo svoja diplomska dela, nove ideje oz. dosežke ter na ta način pripomorejo k povečanju zanimanja za študij vsebin predmetov, ki se navezujejo na področje fluidne tehnike kot tudi tehnike nasploh.

Slovensko društvo za fluidno tehniko bo podelilo zlato diplomo fluidne tehnike na strokovni konferenci Fluidna tehnika, ki bo v septembru 2009 v Mariboru.

Na natečaj se lahko prijavijo vsi diplomanti, ki so zaključili svoj študij na univerzitetnem, visokošolskem ali višješolskem programu na eni od slovenskih izobraževalnih ustanov v obdobju od junija 2007 do izteka roka za vložitev prijave.

Tematika diplomskega dela se mora nanašati na strokovno področje hidravlike, pnevmatike oz. na področje konstruiranja, vzdrževanja, vodenja in nadzora sistemov fluidne tehnike, strege in montaže.

Kandidati, ki želijo sodelovati na natečaju, naj pošljejo tri (3) izvode diplomske naloge v tiskani obliki v lahki vezavi (npr. vezane s spiralo). Nalogi naj bo dodano pisno dovoljenje avtorja diplomskega dela in mentorja diplomanta, da se diplomsko delo lahko pregleda, oceni in predstavi (javno ali v medijih). Dopisu morajo biti priloženi osnovni podatki: naslov diplomskega dela, kratak povzetek (do največ 500 besed), ime in priimek ter naslov avtorja, strokovni naziv avtorja, ime in priimek mentorja in somentorja, naziv predmeta, v okviru katerega je delo nastalo, naziv ustanove, na kateri je diplomant opravil zagovor svoje diplomske naloge, in datum zagovora.

Diplomska dela, ki sodelujejo na natečaju, je potrebno poslati na naslov SDFT do 30. maja 2009. Poslani izvodi diplomskih nalog postanejo last društva.

*Dragan Grgić,  
predsednik IO SDFT*