

Skeniranje atmosferskog plazmenog mlaza helija korištenjem laserski induciranog sloma

Aleksandar Opančar

Mentor: dr. Slobodan Milošević

Institut za fiziku, Zagreb

Atmosferski plazmeni mlaz



Tlak plina blizak je vanjskom (atmosferskom) tlaku

Neravnotežna plazma, temperatura elektrona je puno veća od temperature iona i neutralnih atoma

Tipične temperature elektrona su oko 10 000 K (≈ 1 eV), dok su temperature neutralnih atoma i iona oko sobne temperature

Prema frekvenciji nametnutog električnog plazme dijelimo na DC plazme, AC plazme (*kHz*), RF plazme (*MHz*) i plazme grijane EM valovima (*GHz* i optičke frekvencije)

Motvacija

Brzo rastuće područje s mnogim obećavajućim primjenama. Na primjer:

- Gümbel, Denis et al. “Cold Atmospheric Plasma in the Treatment of Osteosarcoma.” *International journal of molecular sciences* vol. 18,9 2004. 19 Sep. 2017, doi:10.3390/ijms18092004
- Hirst, Adam & Frame, Fiona & Maitland, Norman & O'Connell, Deborah. (2014). Low Temperature Plasma: A Novel Focal Therapy for Localized Prostate Cancer?. *BioMed research international*. 2014. 878319. 10.1155/2014/878319.
- Labay, Cédric & Hamouda, Inès & Tampieri, Francesco & Ginebra, Maria-Pau & Canal, Cristina. (2019). Production of reactive species in alginate hydrogels for cold atmospheric plasma-based therapies. *Scientific Reports*. 9. 10.1038/s41598-019-52673-w.

I mnoge druge...



Laserski inducirani slom

Kada intenzitet laserskog pulsa u fokusu pređe određeni prag dolazi do stvaranja laserske plazme

Stvaranje laserske plazme popraćeno je emisijom svjetlosti te zvukom koji nalikuje na pucketanje

Zašto koristimo laserski inducirani slom

Standardne metode kao Thomsonovo raspršenje , Starkovo sirenje linija i laserska interferometrija ne funkcioniraju za ovako male elektronske gustoće

ICCD kamera- vrlo skupa i samo kvantitativni rezultati (snimka)

Glavna ideja

Prisustvo slobodnih elektrona (predionizacija) u fokalnom volumenu smanjuje prag za laserski inducirani slom

Nastala laserska plazma je intenzivnija što je više slobodnih elektrona u fokalnom volumenu lasera

Ukoliko energiju laserskog pulsa namjestimo tako da bez predionizacije ne dolazi do laserskog sloma u danom mediju, laserski slom nam onda ukazuje na prisustvo slobodnih elektrona

Mjerenjem intenziteta optičke emisije iz laserske plazme možemo dobiti informaciju o količini ionizacije u fokalnom volumenu

Pomicanjem fokusa lasera možemo skenirati elektronsku gustoću u plazmenom mlazu

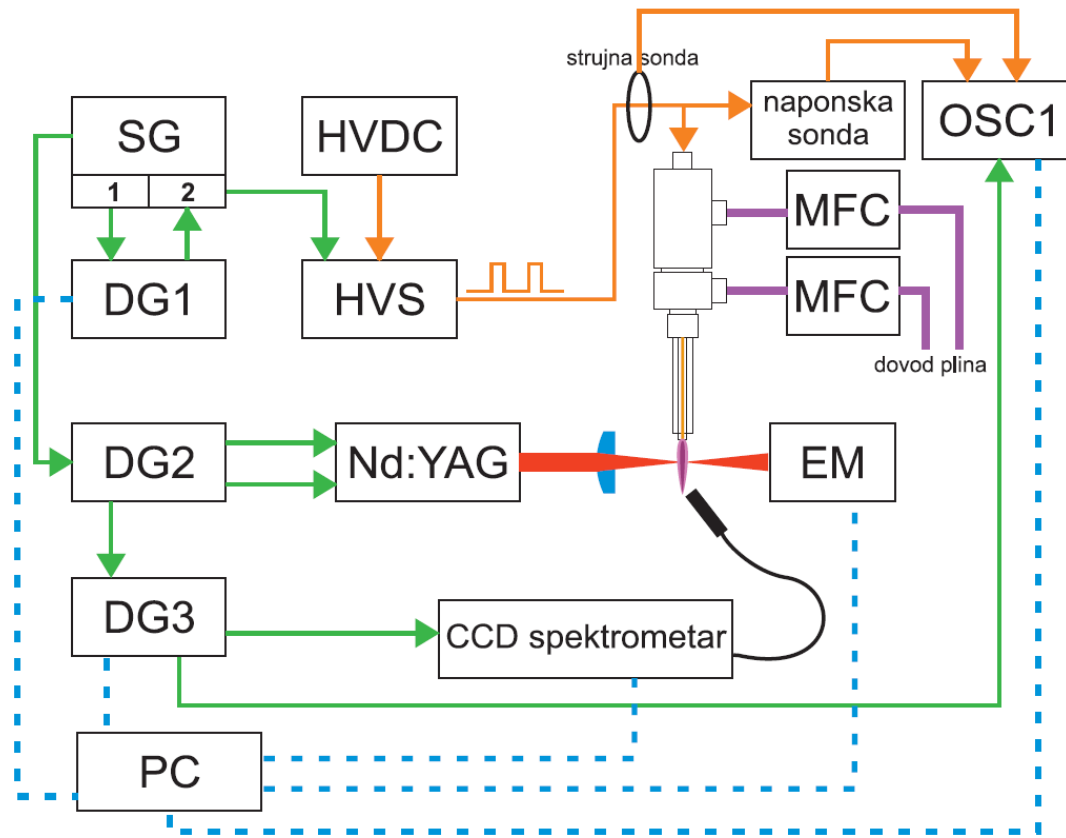
Inverzni bremsstrahlung

Slobodni elektroni u prisustvu teške čestice (atoma ili iona) mogu nerezonantno apsorbirati foton

Elektron primi kinetičku energiju te se sudara sa atomima koje ionizira stvarajući tako nove slobodne elektrone

Proces se ponavlja za vrijeme trajanja laserskog pulsa

Eksperimentalni postav



SG – generator signala

DG - generator kašnjenja signala

HVDC - izvor visokog (DC) napona

HVS - visokonaponska sklopka

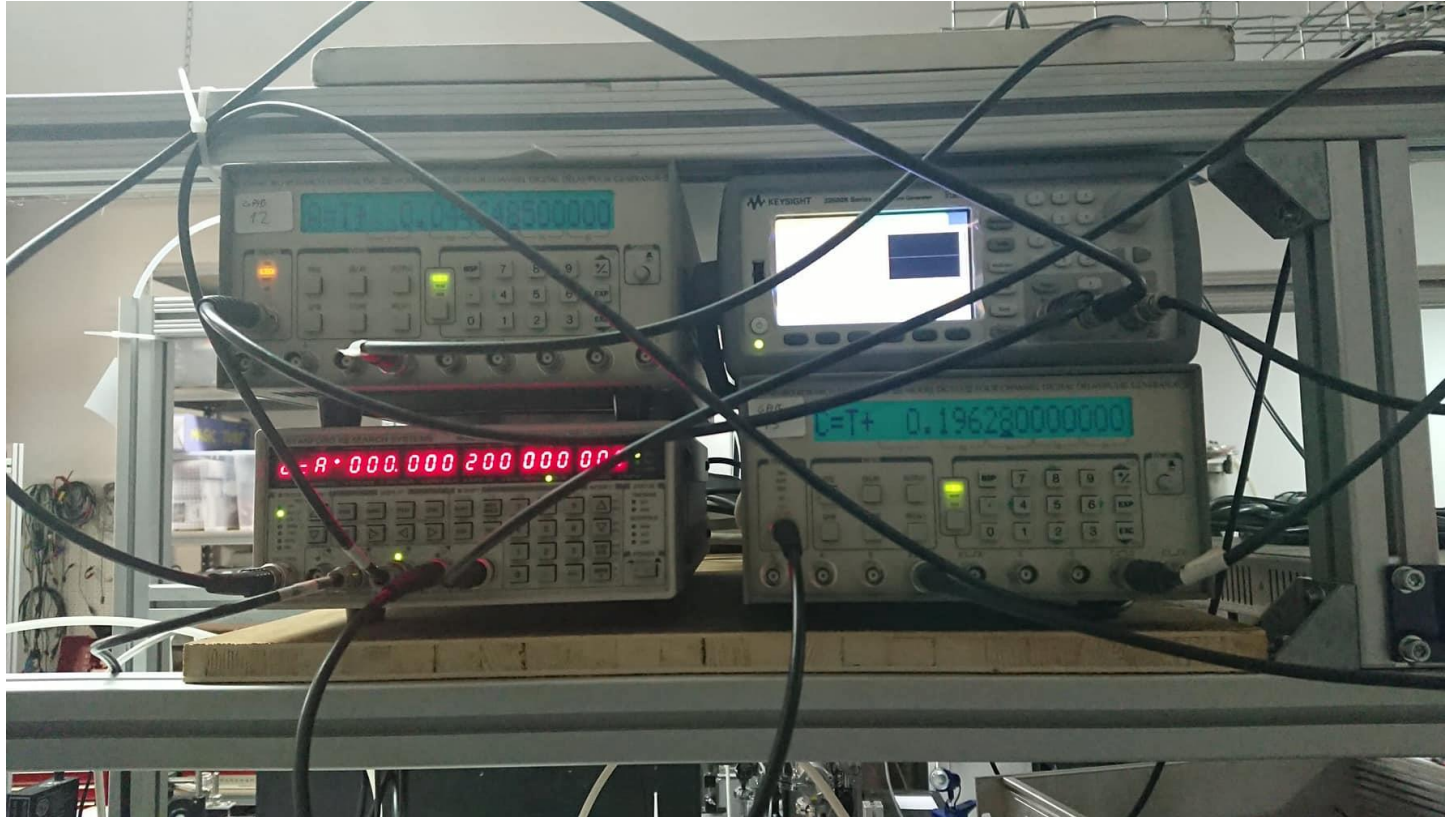
Nd:YAG - nanosekundni laser

MFC - mjerac protoka plina

OSC - osciloskop

PC – računalo

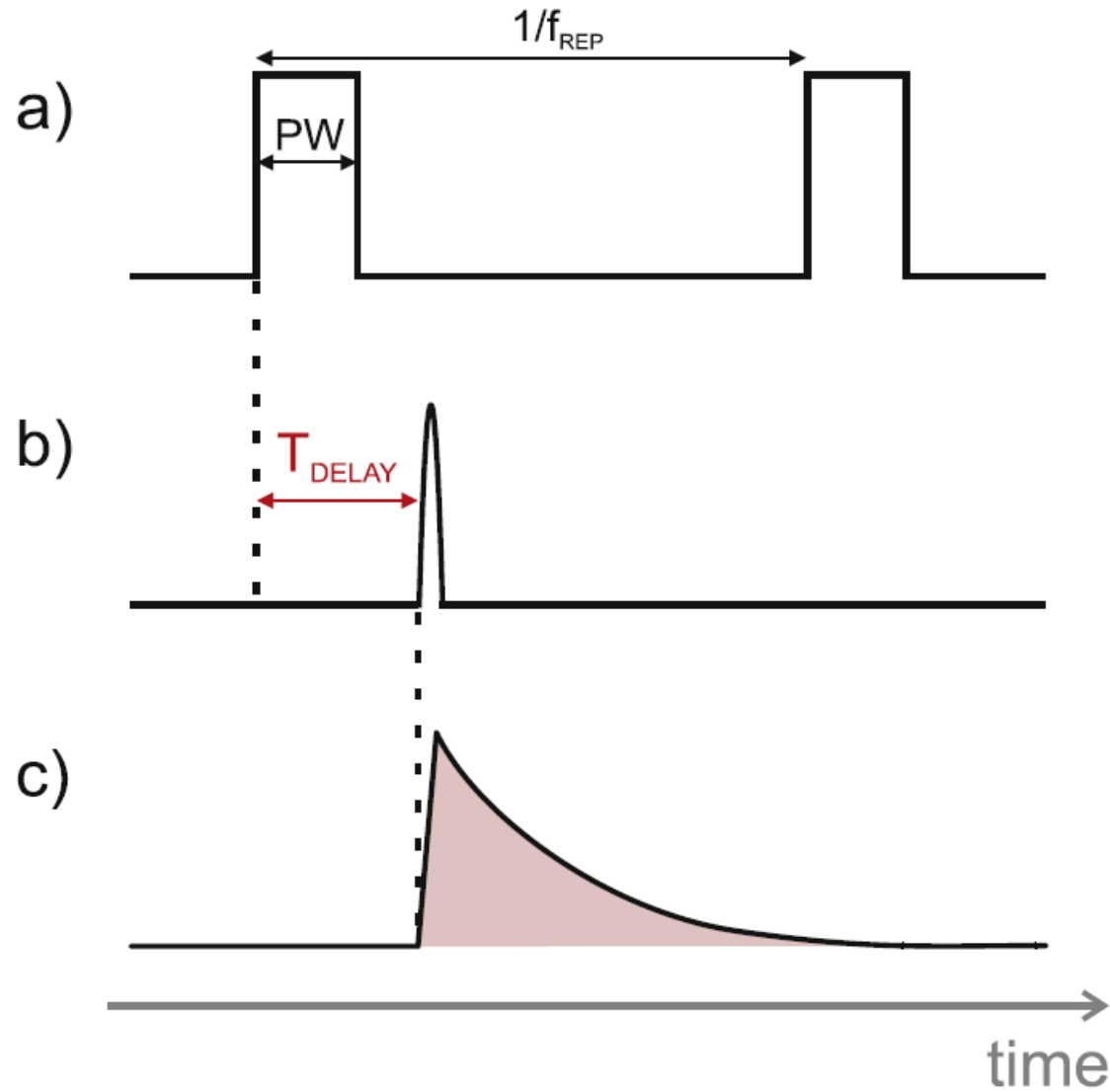
EM - detektor za mjerenje energijelaserskog pulsa



Generator signala i generatori kašnjenja

Generator signala daje *trigger* signal za cijeli postav, a generatori kašnjenja unose kašnjenje u odnosu na *trigger* signal

Generatori kašnjenja reguliraju kašnjenje naponskog pulsa (preko visokonaponske sklopke), lasersog pulsa i spektrometra



Vremenske ovisnosti u eksperimentu

- a) Naponski puls ($f_{REP} = 10$ kHz, $PW = 10$ μ s)
- b) Laserski puls
- c) Svjetlost emitirana iz laserske plazme



Izvor visokog
napona i
visokonaponska
skopka



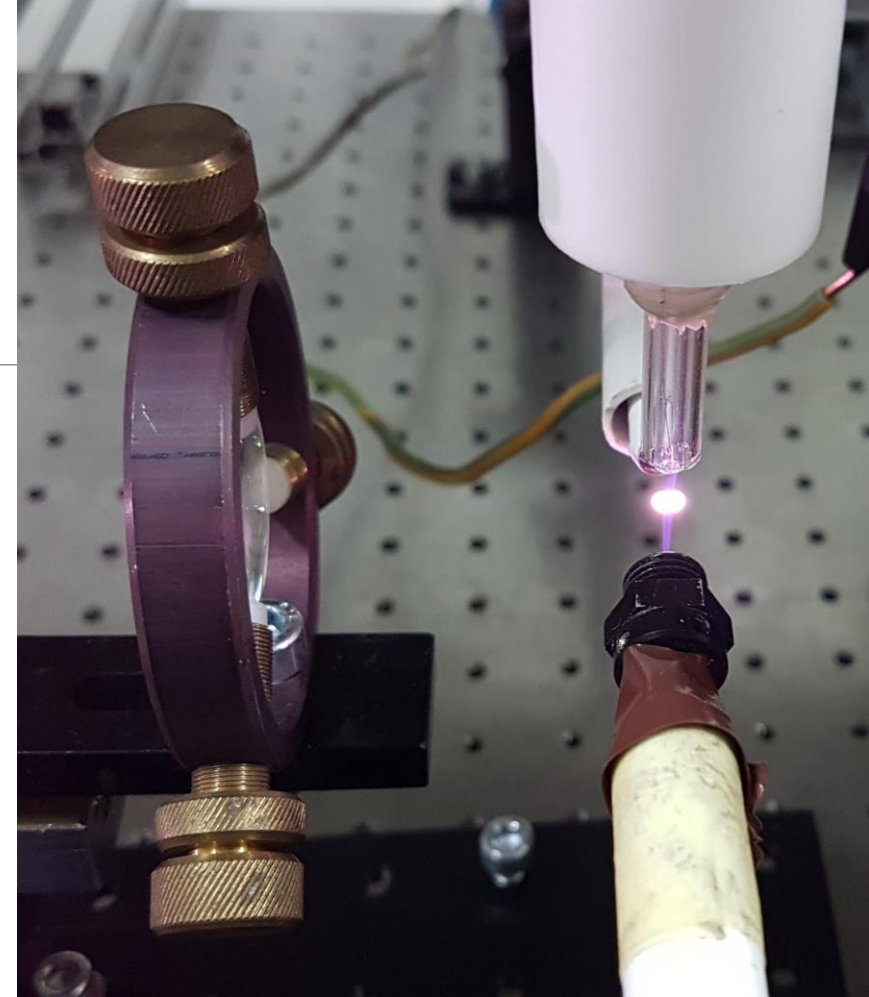
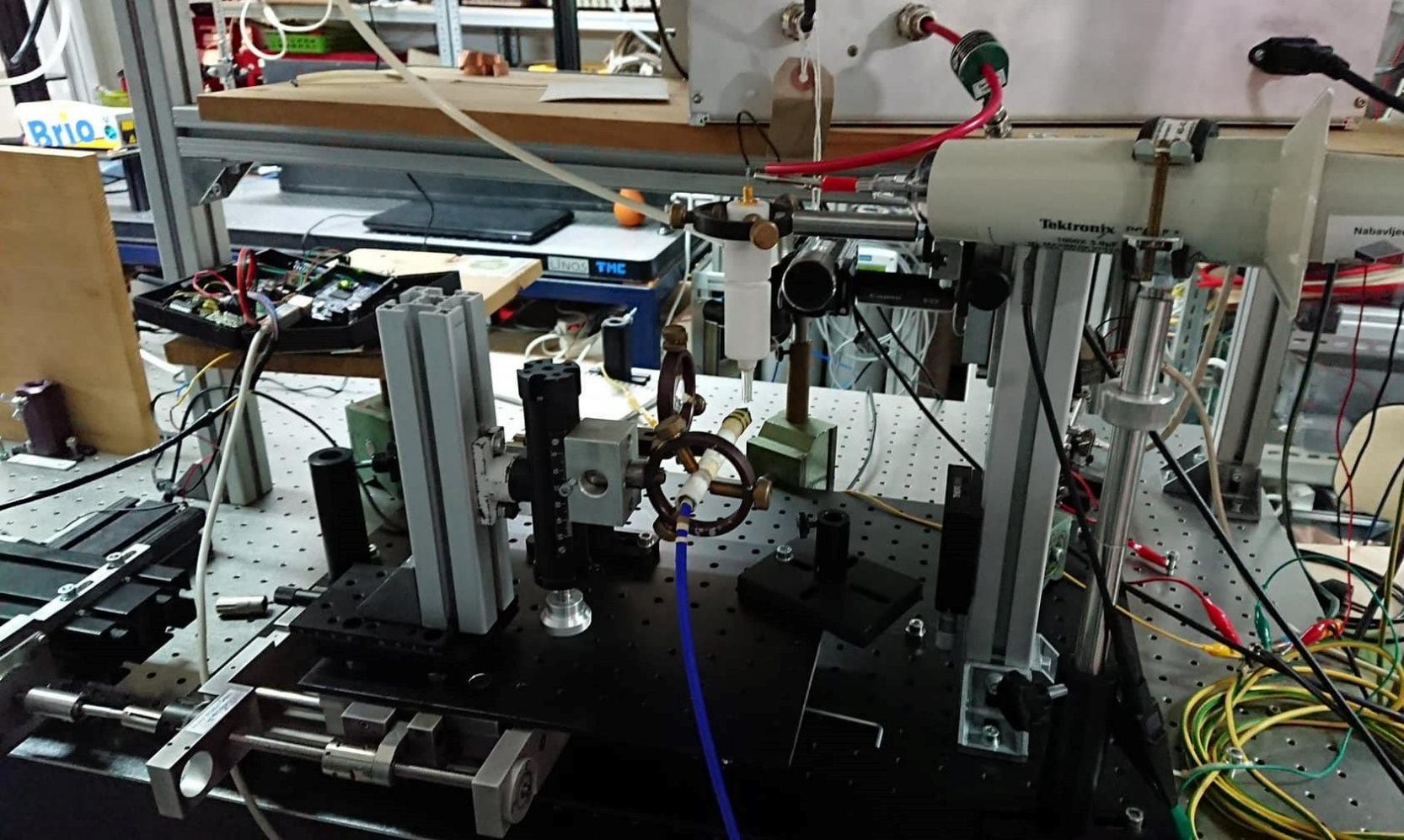
Kako se vrši skeniranje mlaza?

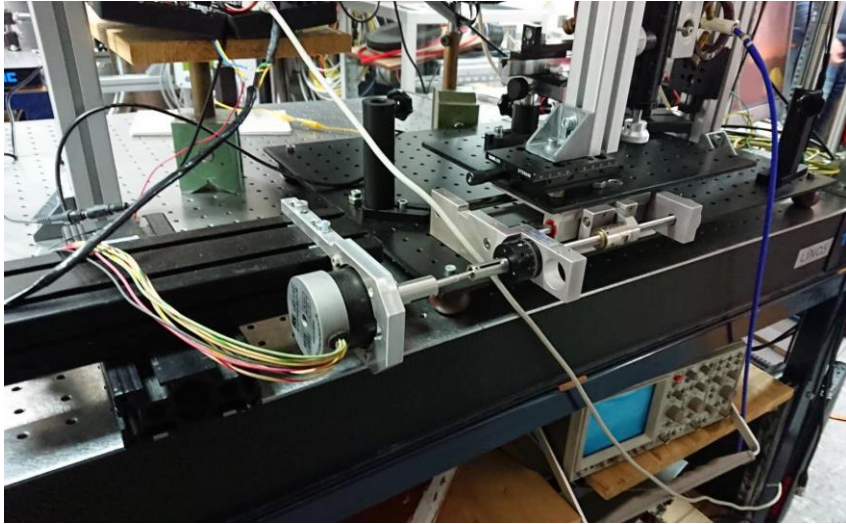
Koncentraciju elektrona u jednoj točki (fokalnom volumnu) kvalitativno dobivamo mjerenjem optičke emisije iz laserske plazme

Pomicanjem fokusa lasera dobivamo prostornu ovisnost koncentracije elektrona u mlazu

Mijenjanjem kašnjenja laserskog pulsa u odnosu na naponski (T_{DELAY}) dobivamo vremensku ovisnost koncentracije elektrona

Kako bi se postigla velika prostorna i vremenska razlučivost proces je potrebno automatizirati!



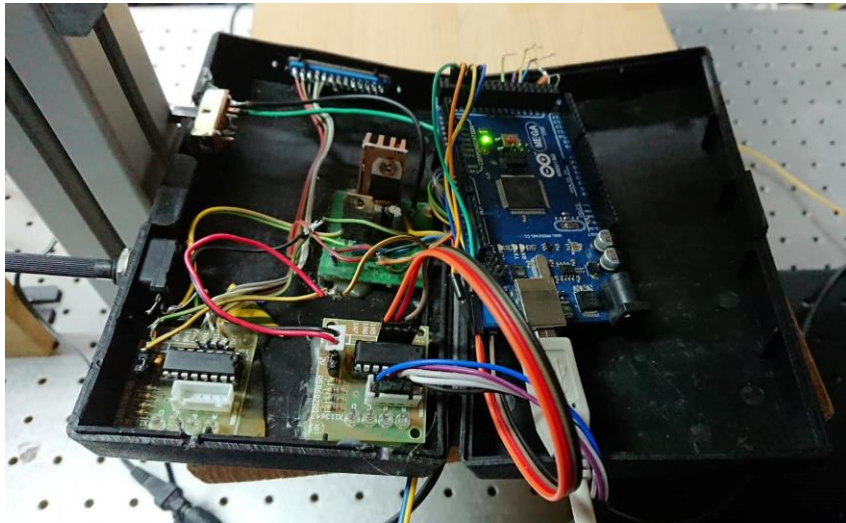


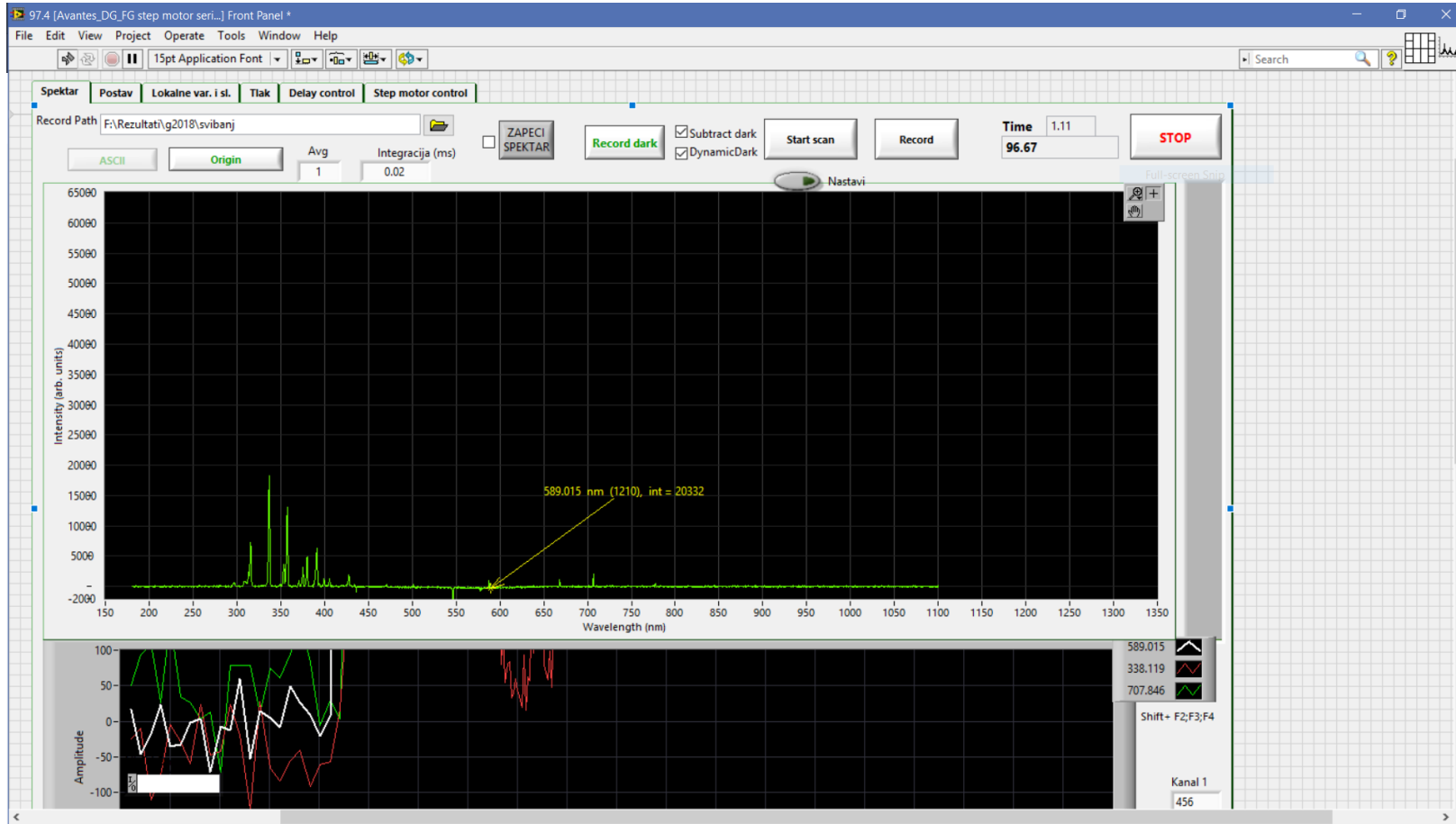
Automatizacija 1D

Za automatizaciju translacije koristimo Arduino kontroler spojen na step motor

Komunikaciju sa Arduino kontrolerom i svim ostalim elektroničkim komponentama u postavu postizemo preko računala u programu napisanom u LabViewu

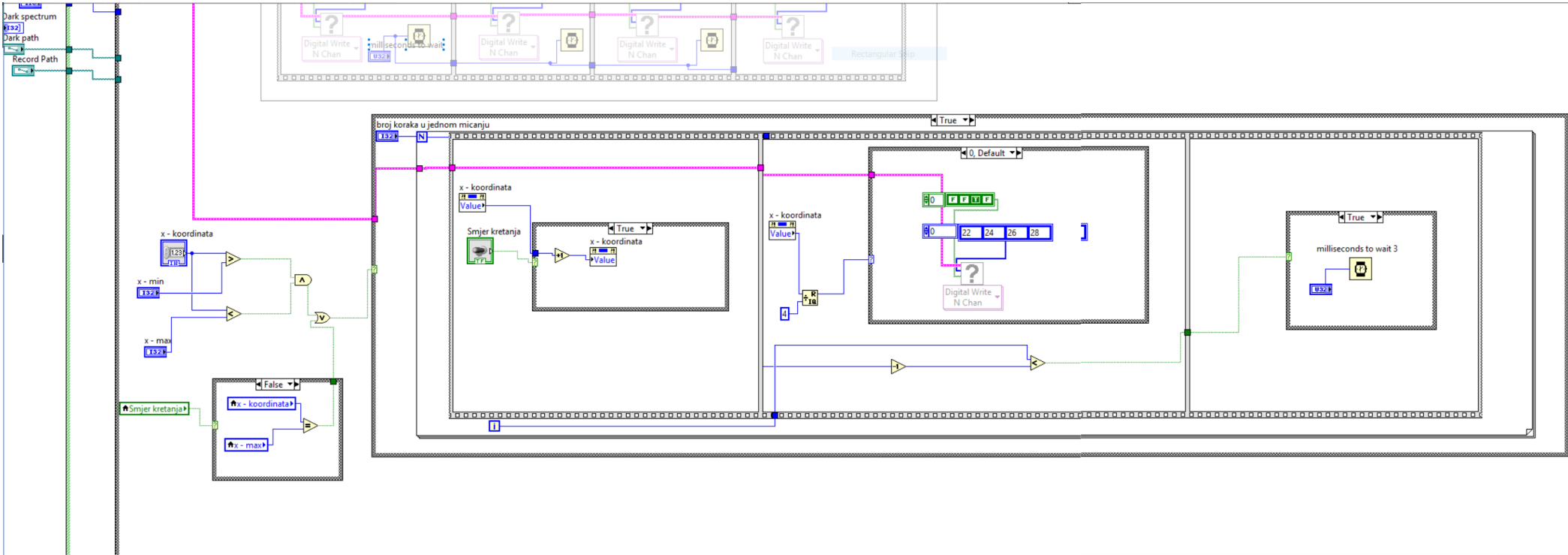
Step motor omogućuje pomicanje fokusa u vrlo finim koracima od $5\ \mu\text{m}$ između laserskih pulseva (5Hz)

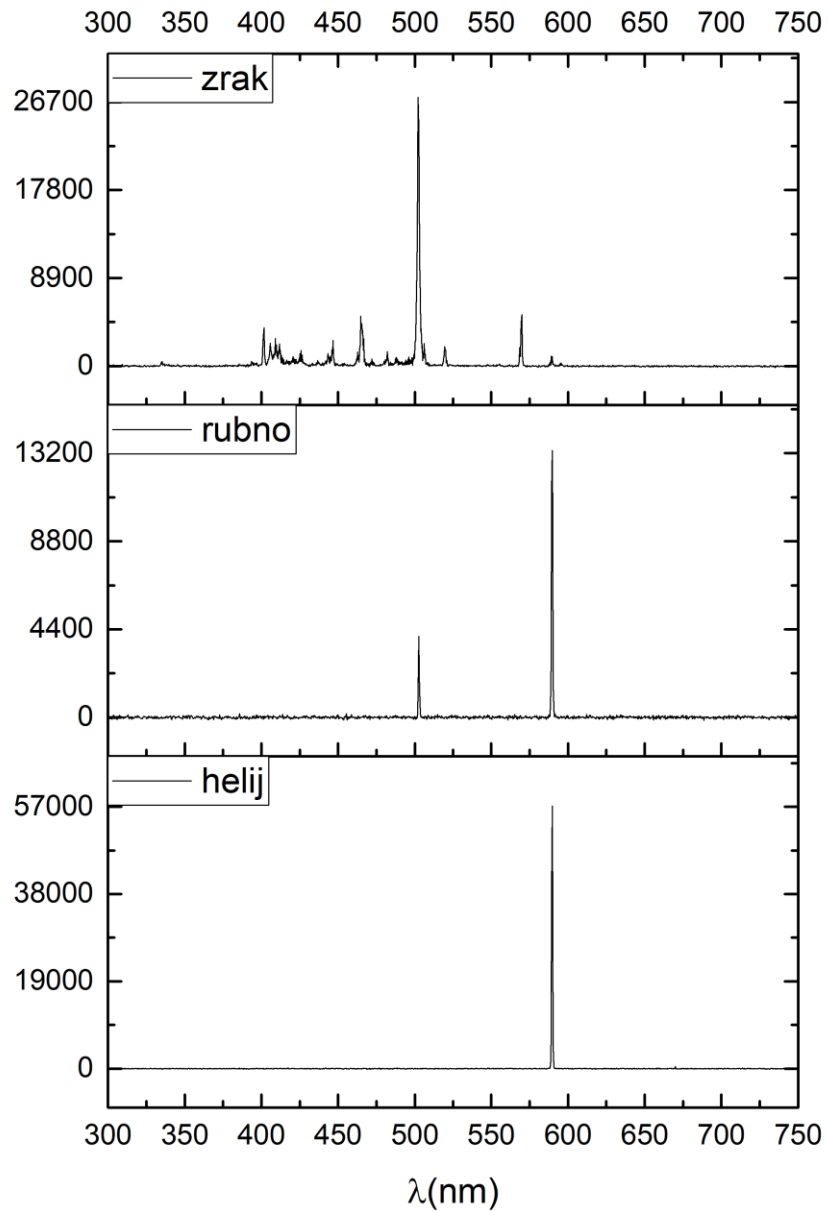




LabView front end

Back end



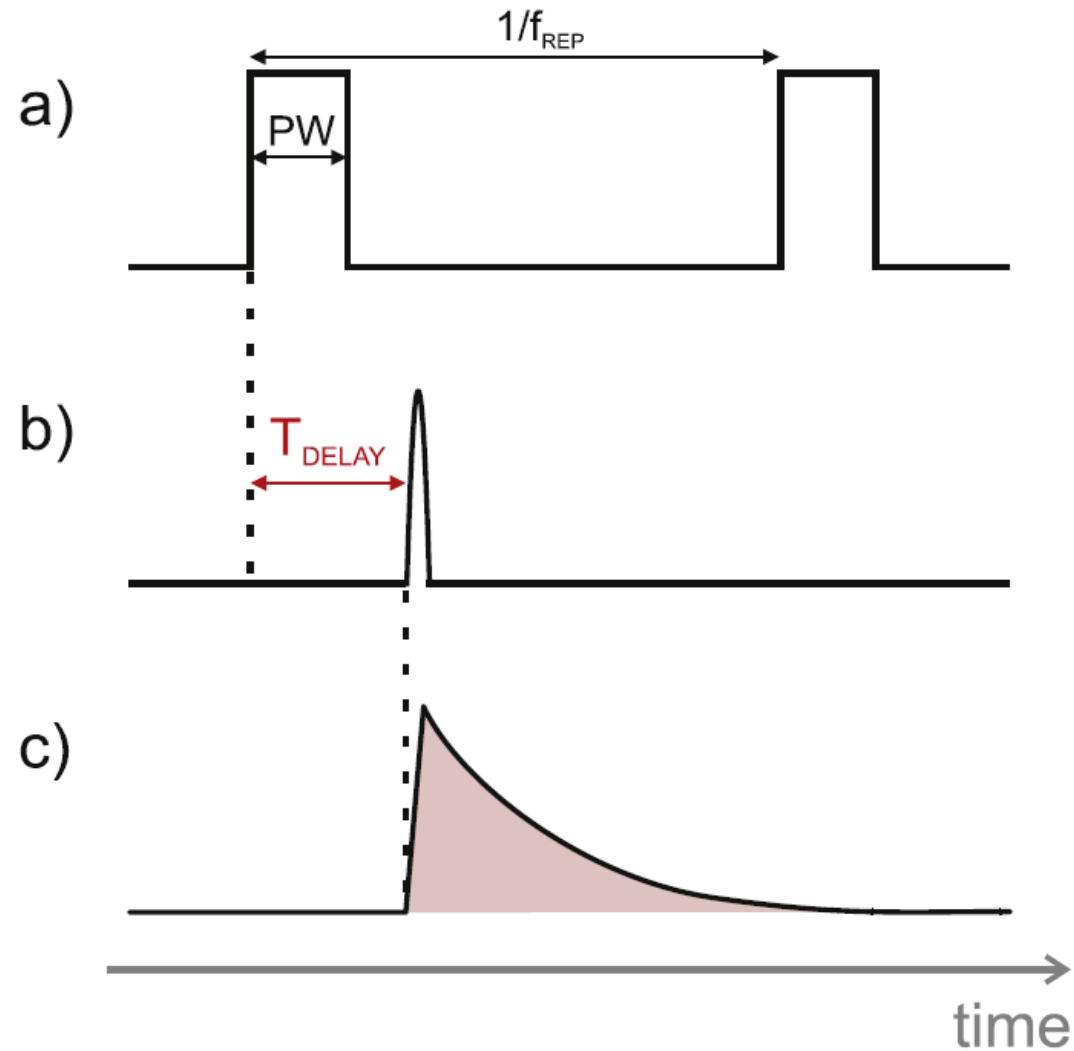


Spektri optičke emisije iz laserske plazme

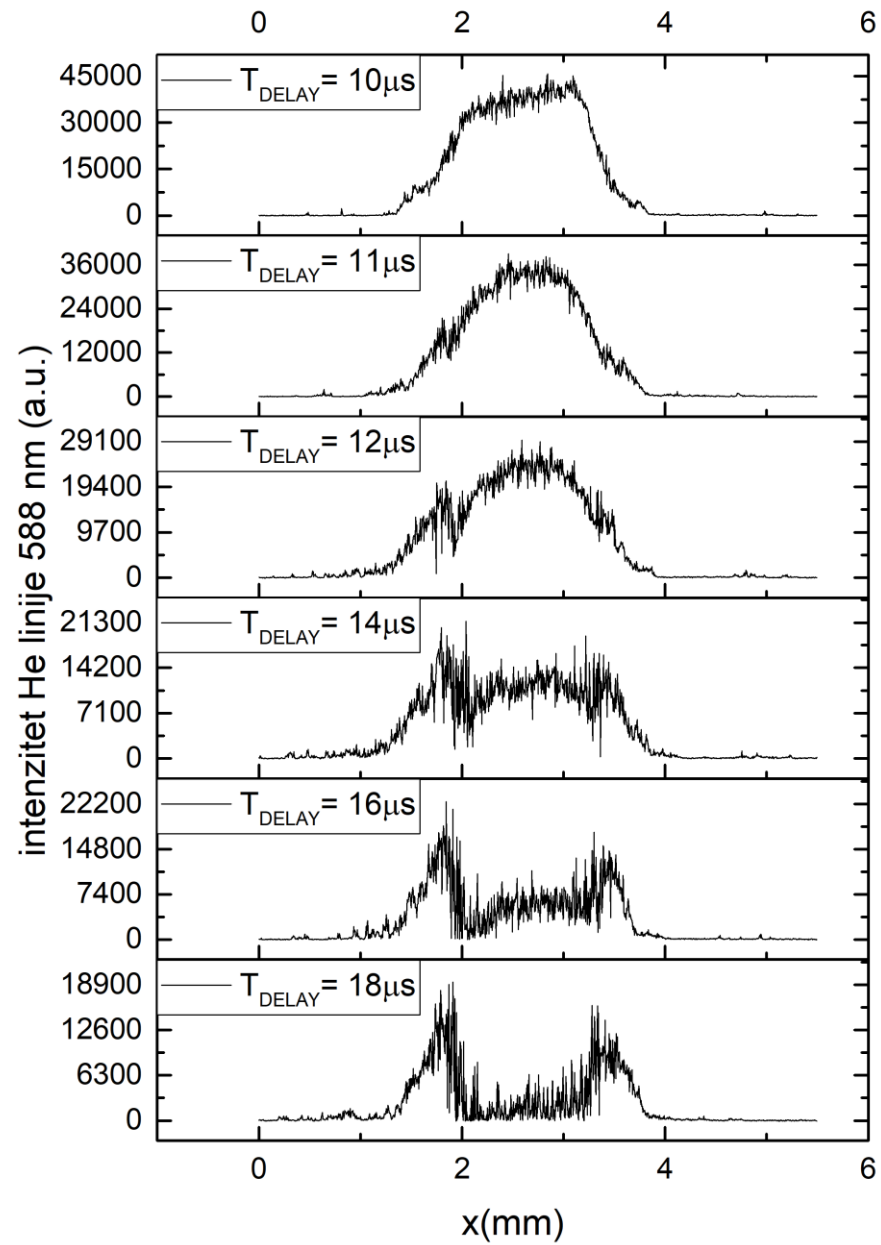
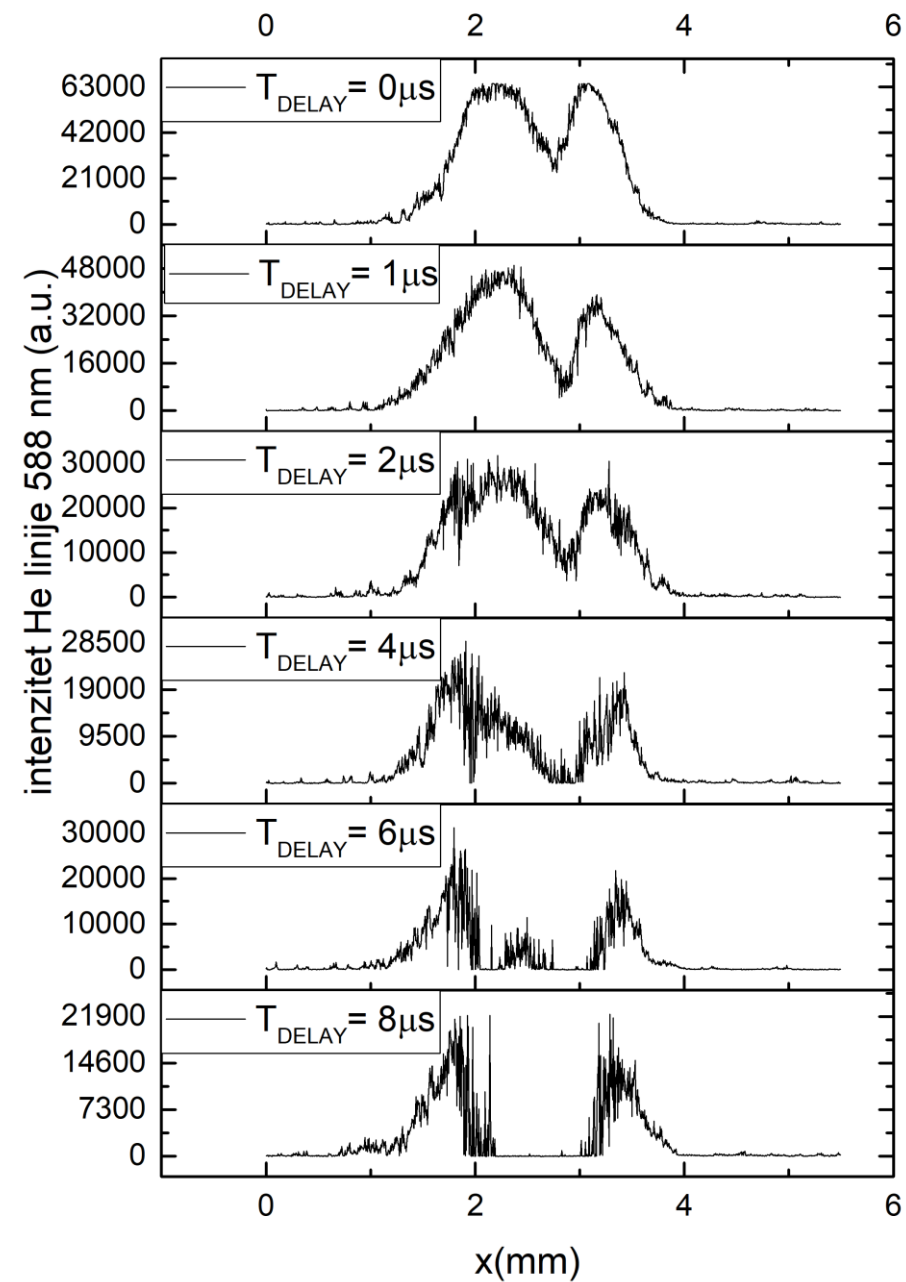
Gore (zrak) : dominira dušikova linija 501 nm

Sredina (rubno područje) : vidi se i dalje dušikova linija na 501 nm, no dominira He linija na 588 nm

Dolje (helij): dominira He linija na 588 nm



Primarni i sekundarni izboj



Rezultati

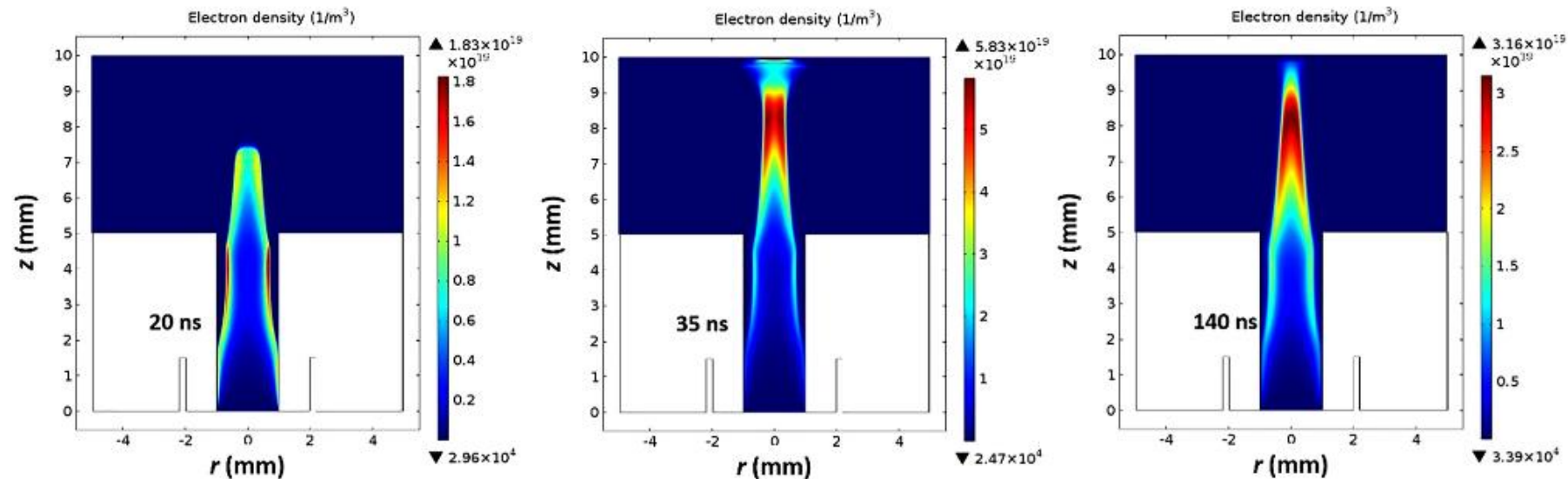
Lijevo – primarni izboj
Desno – sekundarni izboj

Rezultati

Doughnut oblik u primarnom izboju – predviđaju i neki teoretski modeli

Nema doughnut oblika u sekundarnom izboju!

Krila ne utrnu potpuno s vremenom – posljedica miješanja zraka i helija



Journal of Applied Physics 120, 123304 (2016); doi: 10.1063/1.4963115

Zaključak

Ovom metodom možemo kvalitativno odrediti elektronsku gustoću u plazmenog mlaza

Zanimljivo je postanje doughnut oblika u primarnom izboju, no izostanak u sekundarnom

Prirodni nastavak istraživanja bi bila automatizacija vertikalnog translatora što bi dopuštalo 2D skeniranje mlaza te potraga za plazmenim mećima

Reference

Popovic, Dean; Biscan, Marijan; Milosevic, Slobodan: Laser induced breakdown in pulsed helium atmospheric pressure plasma jet; Plasma Sources Science and Technology, 28 (2019), 5; 055009

Popovic, D. (2019). Dijagnostika i primjena pulsnih hladnih atmosferskih plazma (Disertacija). Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:986074>

Hubner S, Sousa J S, Puech V, Kroesen G M W and Sadeghi N 2014 Electron properties in an atmospheric helium plasma jet determined by Thomson scattering

Xiong Q, Nikiforov A Y, Gonzalez M A, Leys C and Lu X P 2013 Characterization of an atmospheric helium plasma jet by relative and absolute optical emission spectroscopy Plasma Sources Sci. Technol. 22 015011

Choi J Y, Takano N, Urabe K and Tachibana K 2009 Measurement of electron density in atmospheric pressure small-scale plasmas using CO₂-laser heterodyne interferometry Plasma Sources Sci. Technol. 18 035013