



# Internship on **Characterization of semiconductor detectors by laser induced transient current technique**

1.08.2023 - 15.10.2023

ELI Beamlines Facility, The Extreme Light Infrastructure ERIC,  
Dolní Břežany, Prague, Czech Republic

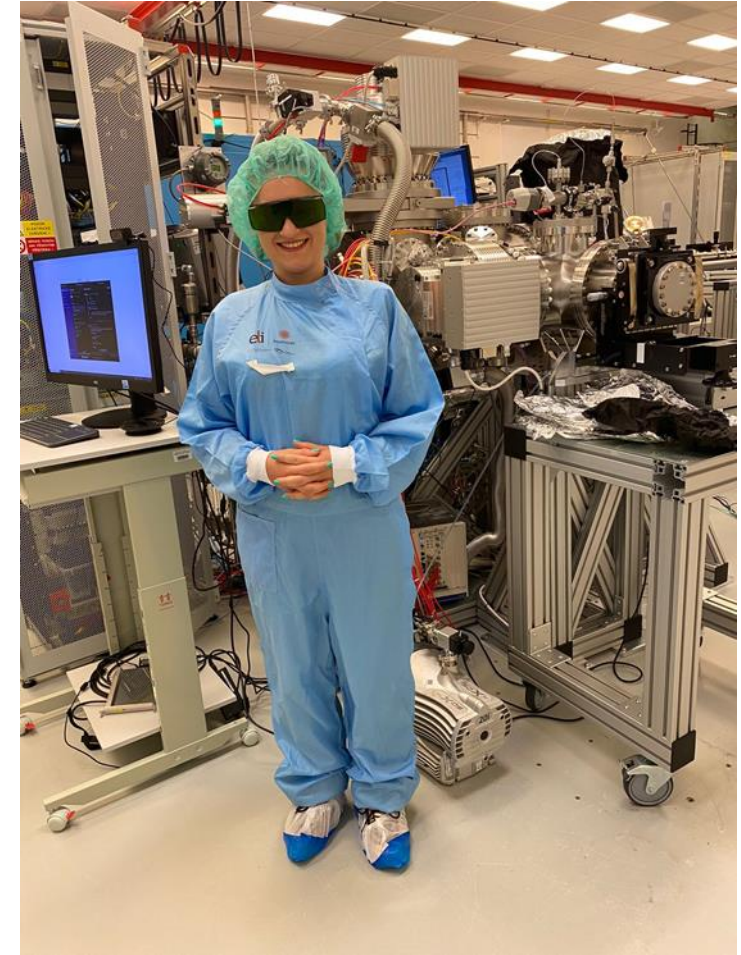
Dobila sam internship tj. praksu na ELI Beamlines Institutu u okviru Ektreme Light Infrastrukture ERIC u Pragu u trajanju od 1.8.2023 do 15.10.2023.

Specifičan naziv teme je bio **“Karakterizacija poluprovodničkih detektora tehnikom laserski indukovane tranzijentne struje (TCT)”**.

Moj mentor je bio Dr. Mateuš Rebarz.

Praksa uključuje:

- ✓ praktično iskustvo u izgradnji i usklađivanju eksperimentalnih optičkih postavki
- ✓ izvođenje eksperimenata sa tehnikom prelazne struje (TCT) na novoj generaciji detektora lavina sa malim pojačanjem (LGAD)
- ✓ upoznavanje sa savremenim femtosekundnim laserskim sistemima i najsavremenijim detektorima čestica
- ✓ sticanje znanja iz fizike čvrstog stanja i elektronskih laboratorijskih instrumenata
- ✓ obuka o laserskoj bezbednosti, obuka za cleaning room, obuka o bezbijednosti od zračenja, iskustvo rada u visoko internacionalnom i interdisciplinarnom naučnom timu
- ✓ rad u najsavremenijoj laboratoriji u kojoj se razvijaju inovativne tehnike



*Experimental Hall 1*



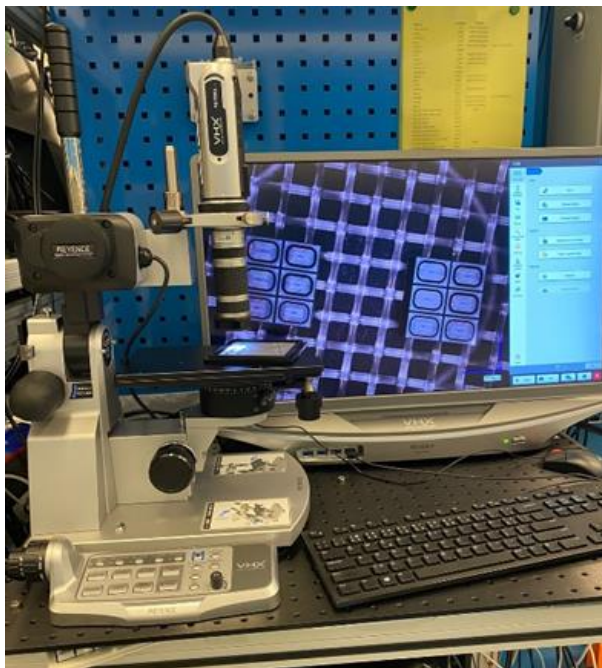


Cleaning room

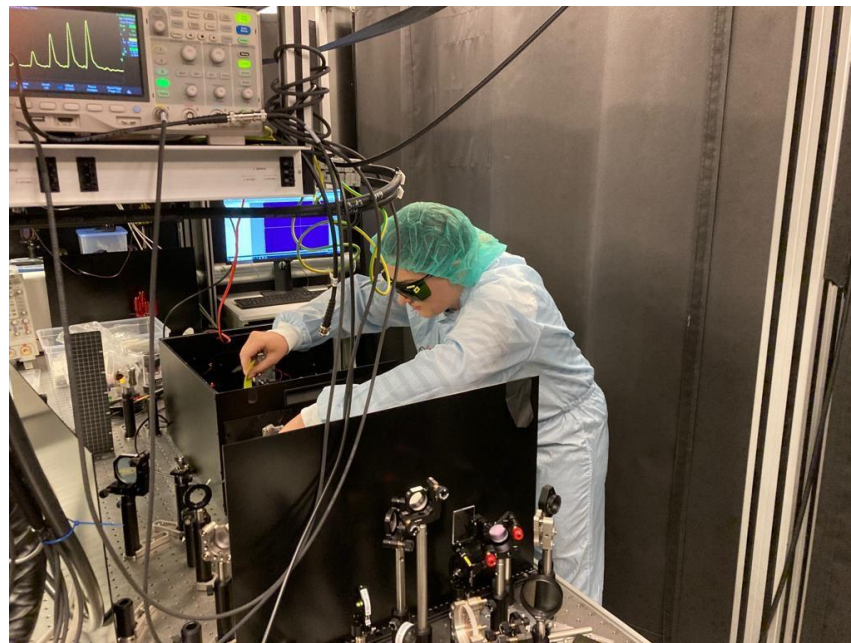
Posle obuke za **cleaning room**, što znači kako se u ovoj prostoriji pravilno i bezbjedno pripremiti za ulazak u laboratorije da se izbjegne unošenje neželjenih mikroorganizama koji mogu uticati na ishode mjerenja u laboratorijama, mogla sam u pratnji svog mentora da uđem u E1 laboratoriju gdje se nalazi TCT oprema sa kojom sam izvodila eksperimente.

Specijalna odijela i naočare koje nosimo u lab napravljene su da nas štite od laserskih zraka. Prije ulaska u E1 Hall treba prvo pogledati upozorenje da li je laser uključen i koji je nivo opasnosti u pitanju, što smo kao internship studenti prošli kroz **laser safety training**. Nakon zvučnog signala možemo otvoriti vrata na 15 sekundi i ući u lab. Zvučni signal je opomena za sve ljude koji su u laboratoriji kao i za nas koji ulazimo da se vrata otvaraju. Glavna vrata su povezana sa sistemom lasera, tako da nakon 15s ako se ne zatvore, zbog sigurnosti laser prestaje sa radom.





Korišćenje mikroskopa za preciznije utvrđivanje tipa senzora kao i dokumentovanje slika koje koristimo za publikovanje radova.

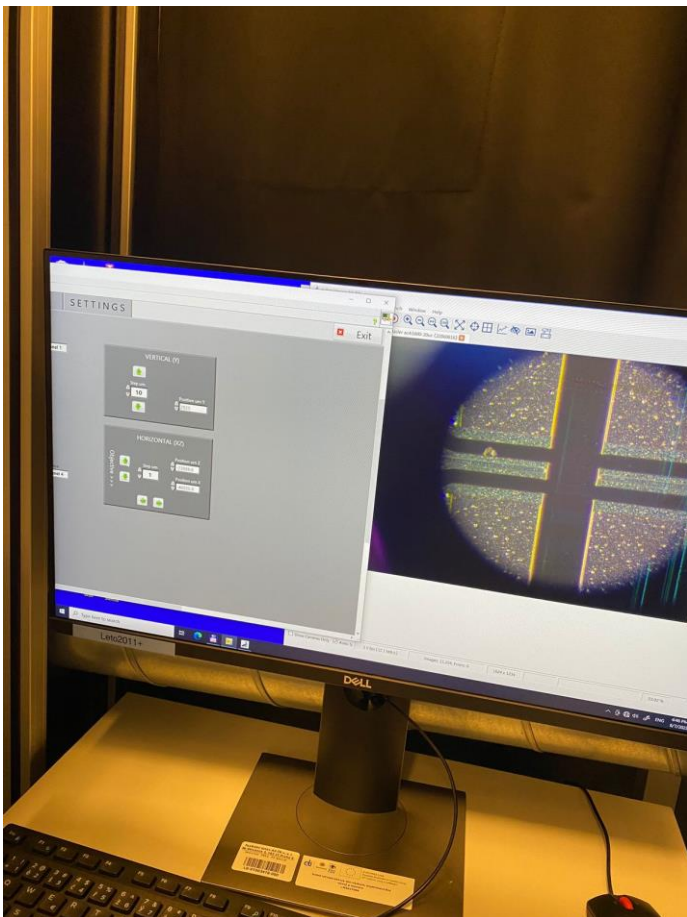


Precizno utvrđivanje fokusa lasera pomoću optičkih elemenata.

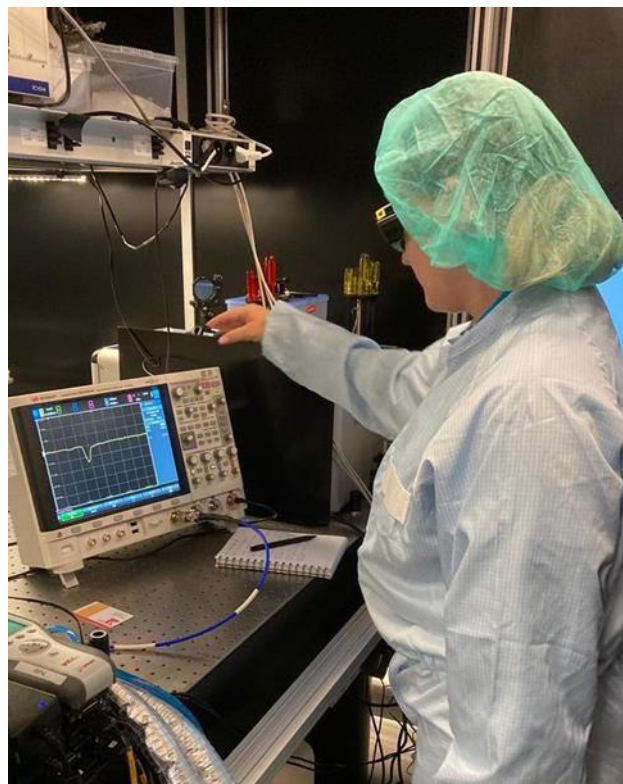


Instalacija senzora unutar TCT kutije koja se kasnije zatvara zbog različitih uslova eksperimenta. Npr. da se smanji uticaj svjetlosti kako bi lakše našli poziciju „opening window“ gdje zračimo sa laserom, kao i pri cooling-u (smanjenu temperature u TCT kutiji u kojoj je senzor postavljen).





Korišćenje programa za kameru koja se nalazi unutar TCT-a a služi nam za preciznije nalaženje pozicije pad i interpad regije na senzoru, kao i softvera kojim podešavamo visinu napona.



Pomoću osciloskopa pratimo i bilježimo promjenu amplituda u pad i interpad regiji pri različitim naponima i snagama lasera.

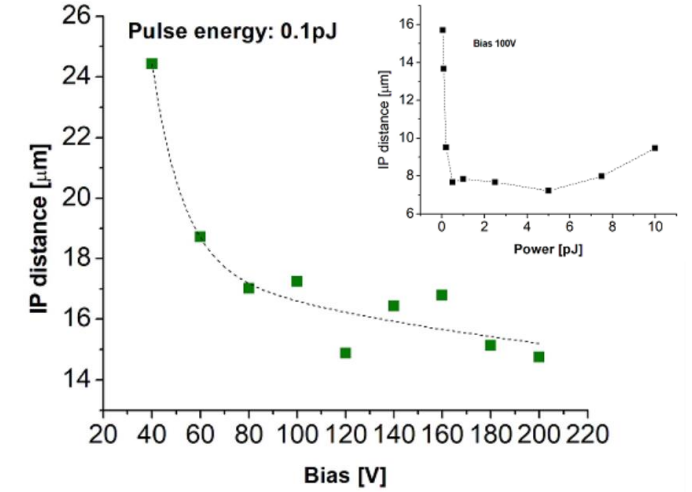
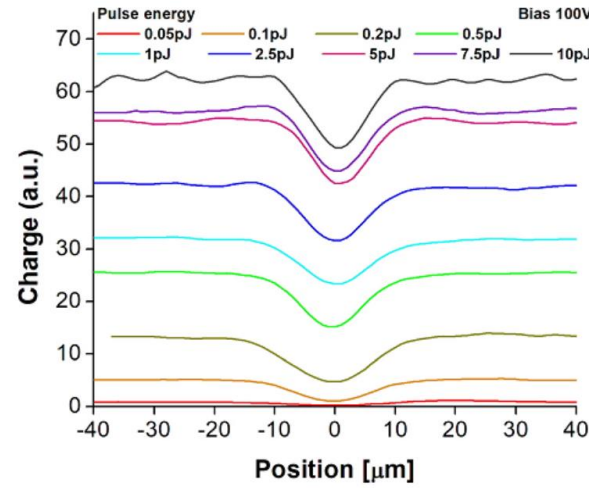
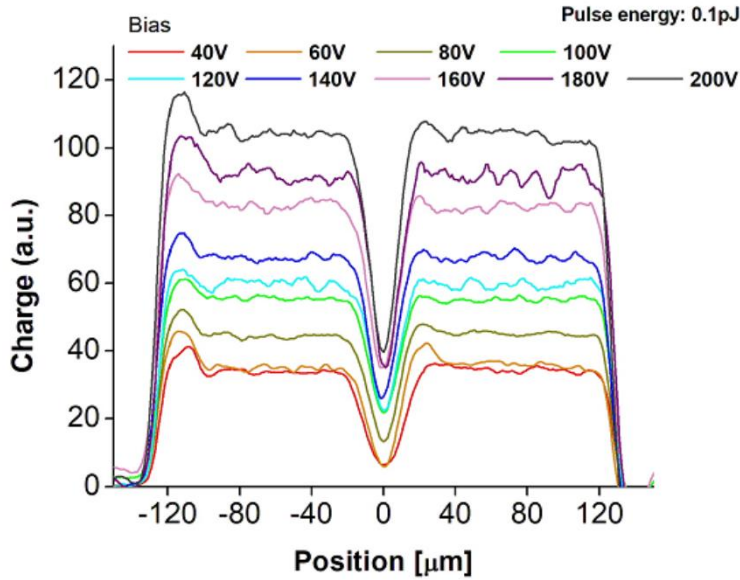


Power meter – uređaj za očitavanje snage lasera

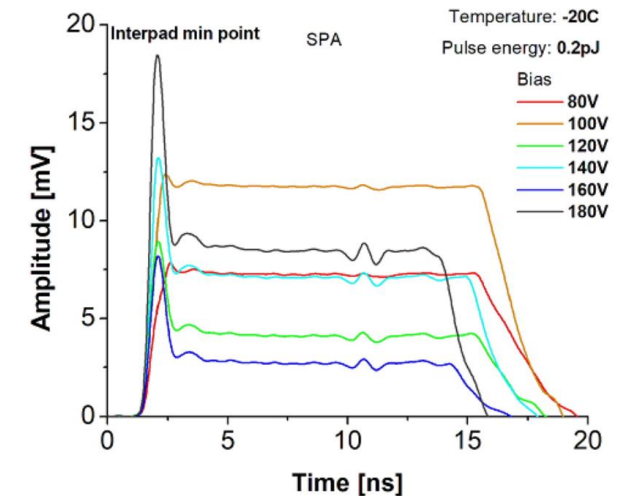
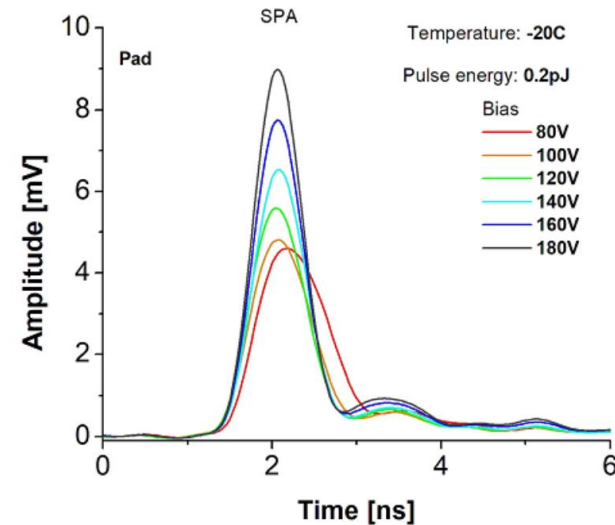
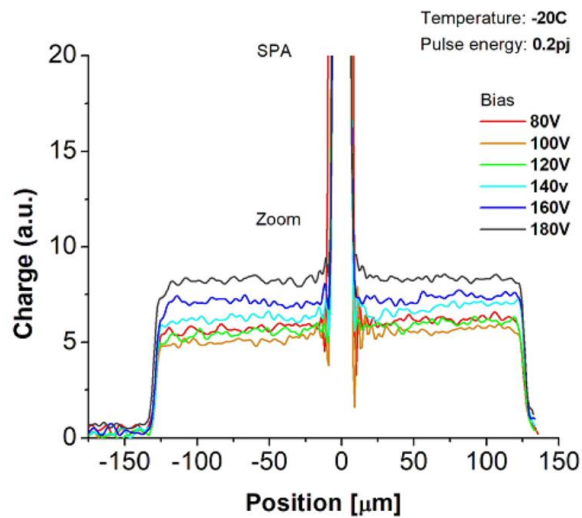
| Senzor                                    | Metod | Uslovi   | Rad                                    |
|---|-------|--|--|
| W7 2TR                                    | SPA   | 0,2; 0,5; 1; 2; 5pJ<br>60V-160V<br>RT 20C; LT -19C   | Eksperimentalno i data analiza         |
| W11 C1 V2 2TR                             | SPA   | 0,2; 0,5; 1; 2; 5pJ<br>60V-160V<br>RT 20C ; LT -19C  | Eksperimentalno i data analiza         |
| W16 C1 V4 2TR                             | SPA   | 0,2; 0,5; 1; 2; 5pJ<br>60V-160V<br>RT 20C; LT -19C   | Data analiza                           |
| W16 C2 V2 2TR                             | SPA   | 0,2; 0,5; 1; 2; 5pJ<br>60V-160V<br>RT 20C; LT -19C   | Data analiza                           |
| W11 A1 54 C1 V3 - 1TR                     | SPA   | 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2,5; 5; 7,5; 10pJ power scan<br>for 100V<br>40V-200V bias scan for 0,1pJ; RT 20C | Data analiza                           |
|   | TPA   | -4 $\mu$ m -> 16 $\mu$ m<br>125nW; 100V  | Data analiza                           |
| W11 A1 54 C1 V4 - 1TR                     | SPA   | 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2,5; 5; 7,5; 10pJ power scan<br>for 100V<br>40V-200V bias scan for 0,1pJ; RT 20C | Data analiza                           |
|   | TPA   | -4 $\mu$ m -> 16 $\mu$ m<br>125nW;100V   | Data analiza                           |
| W11 A1 55 C1 V2 2TR                       | SPA   | 80-180V bias scan 0,2pJ<br>RT 20C i LT -20C  | Data analiza                           |
| W11 A4 TYPE 10 2p-stop no amplifier       | SPA   | 0,2; 1; 5; 10pJ<br>60-180V bias scan   | Eksperimentalno i data analiza         |
| W11 A2 C2-V2-2TR IRR 8e14 LT no amplifier | SPA   | 1; 5pJ<br>100; 200; 300; 400V; RT 20C  | Eksperimentalno<br>(provjera podataka) |

# Jedan od primjera rezultata obrađenih pomoću specijalizovanog softvera za analizu podataka i Origin programa za crtanje grafika

## Single trench isolation structure

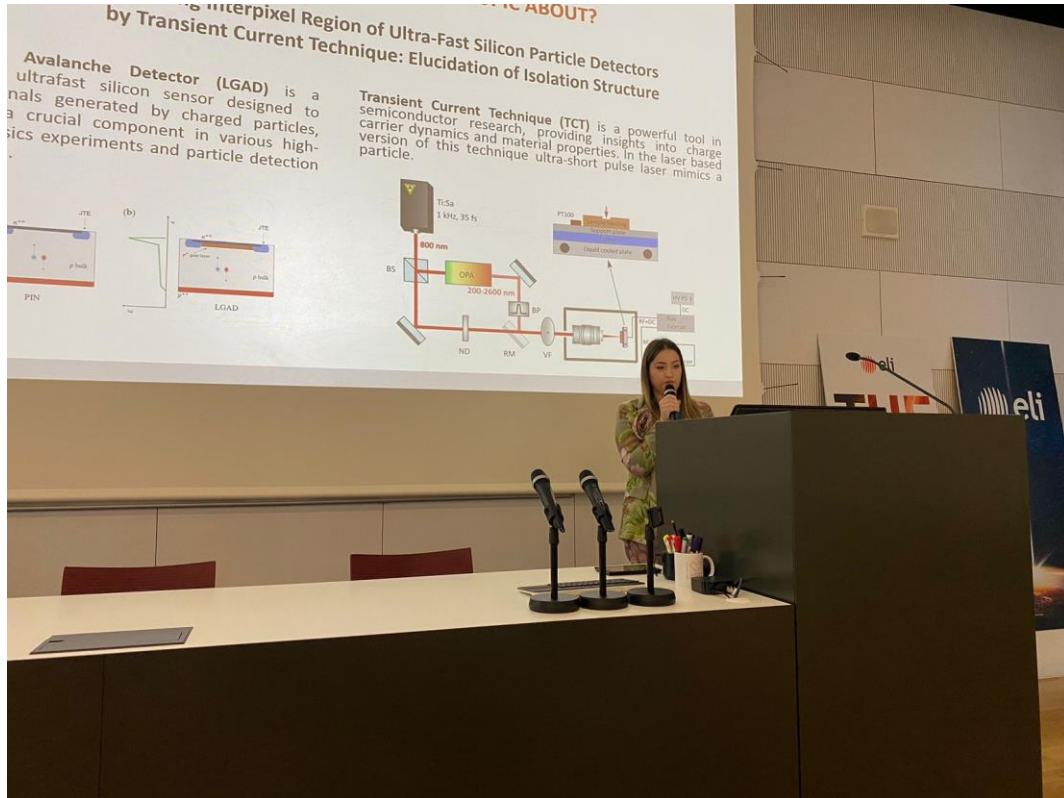


## Double trench isolation structure





# Internship finalna prezentacija



Finalne prezentacije su prezentovane ispred koordinatorke intership programa Andre Furst, direktora istraživanja i operacija na ELI Bemalines Dr. Daniele Margarone , naših mentora, kolega studenata i ostalih koji su bili zainteresovani da slušaju koliko smo naučili tokom ovog internshipa.



Internship nije samo program za rad i učenje, već je program u kojem treba uživati, upoznati nove ljude i predstaviti sebe na najbolji mogući način.



# ELI BEAMLINES SUMMER SCHOOL

## ELISS2023

- Dobitnica sam sertifikata za uspješno pohađanje ELI ljetnje škole održane od 29. avgusta do 1. septembra 2023. na ELI Beamlines Institutu Dolni Brežani, Prag, Češka
- Učestvovala sam na poster sesiji sa temom “Exploring Interpixel Region of Ultra-Fast Silicon Particle Detectors by Transient Current Technique: Elucidation of Isolation Structure” gdje sam kroz svoj rad predstavljala Univerzitet Crne Gore. Poster je dobio pažnju mnogih posjetilaca među kojima su vodeći naučnici iz Evrope.
- Učestvovala sam u praktičnim aktivnostima pod nazivom “High-repetition rate solid targets for PW-class experiment” gdje sam naučila o sistemu, kako je izgrađen i korišćen. Takođe kako da izmjerim i održim odličnu stabilnost pucanja sa laserom pri proizvodnji ovih uređaja.
- Predsjednici lokalnog organizacionog odbora bili su Anna Zymaková i Florian Condamine.



*Ljetnja škola se organizovala uz podršku projekta IMPULS.*

Glavne teme su bile:

- Ultrabrzi laseri velike snage
- Generisanje svijetlih koherentnih i nekoherentnih rendgenskih impulsa korišćenjem kratkih impulsnih lasera
- Laseri slobodnih elektrona od IR do rendgenskih zraka
- Ultrabrze tehnike snimanja sa kratkim rendgenskim impulsima
- Funkcija i primjena kratkih rendgenskih impulsa (uključujući sinhronizacije)
- Ubrzanje čestica laserom i primjena: protonska terapija
- Fizika guste plazme i tople guste materije, laboratorijska astrofizika
- Ultra-intenzivna interakcija laserske materije
- Nuklearna fizika sa laserima visokog intenziteta
- Femtonauka: primjene u biologiji, hemiji i fizici čvrstog stanja
- Generisanje attosekundnih impulsa: Attoscience fotonika

## ELI BEAMLINES SUMMER SCHOOL

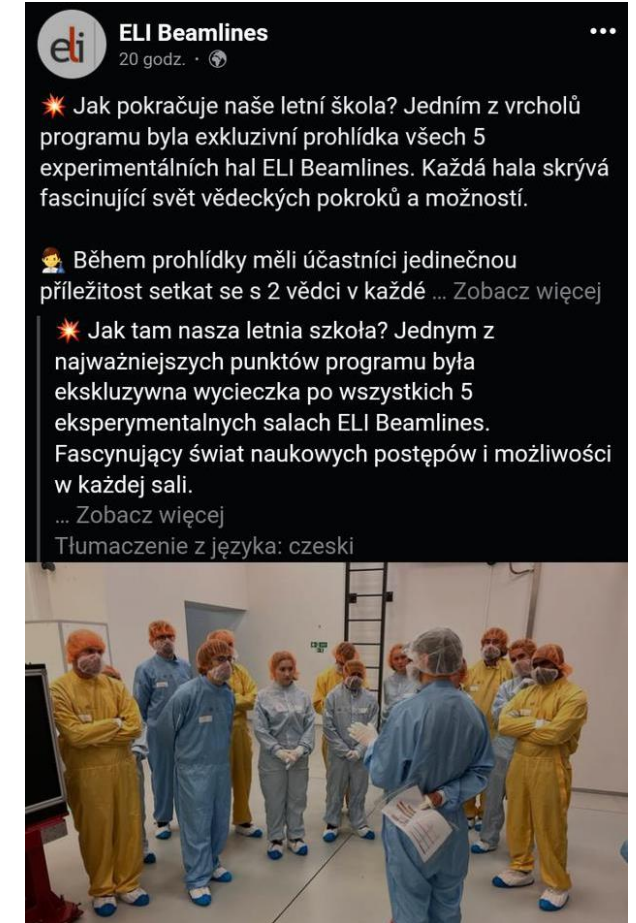


Introduction to ELI ERIC and the development of large-scale laser facilities by A. Harrison



*3D simulacija fizike*

Posmatranje procesa ubrzanja jona, koji kasnije nalaze primjenu u liječenju raka, kao i stvaranja vrlo kratkih i svijetlih bljeskova gama zračenja pomoću super-intenzivnih laserskih impulsa.

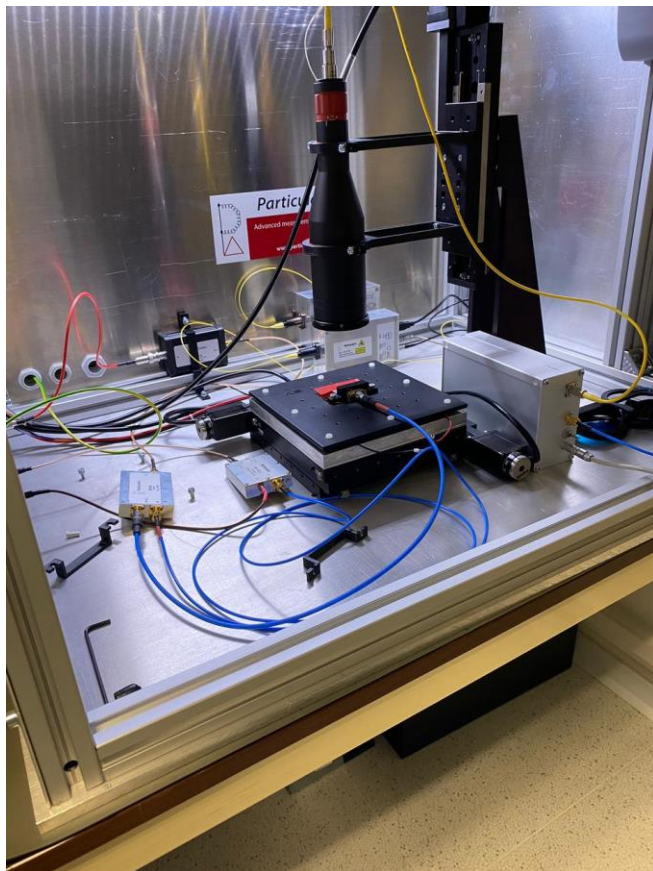


*Tura kroz laboratorije na ELI-u*

E1-Hall-Material and biomolecular applications  
E2-Hall-X-rays sources  
E3-Plasma Physics  
E4-ion acceleration  
E5-electron acceleration LUX and HELL platforms



# Posjeta laboratoriji na Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences (11.08.2023)

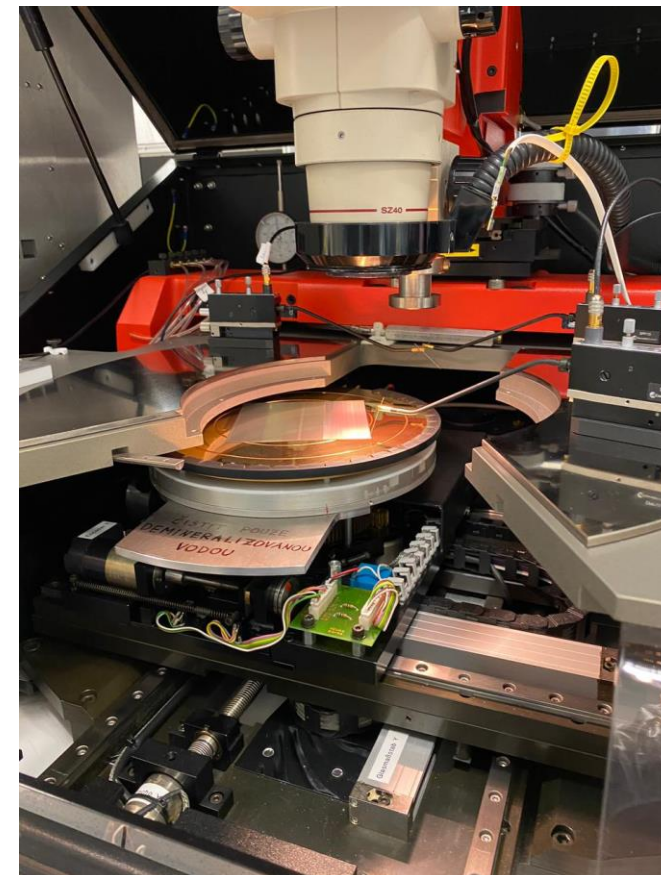


TCT

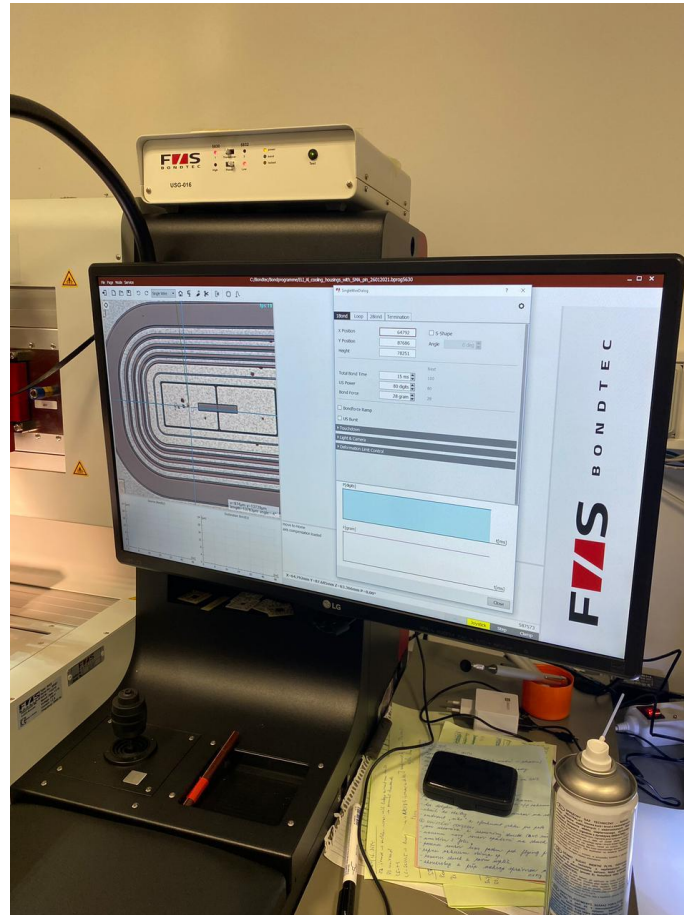
EPS TIG ljetnja škola koja je održana u Petrovcu u periodu od 7.-9. jula, okupila je studente iz različitih zemalja. Među njima bio je Patrik Novotny iz Praga sa Charles Univerziteta, koji me je kasnije pozvao da posjetim njihovu laboratoriju na institutu u Pragu.

Posle prolaska kroz cleaning room-a i dolaska u lab, pokazali su mi njihovu TCT opremu kao i ostale djelove laboratorije i skupocjene mašine koje koriste za analizu sensora za ATLAS eksperimente u CERN-u.

Na institutu su me dočekali profesori i istraživači koji su bili naši gosti na 42. RD50 CERN konferenciji u Tivtu. To je još jedan dokaz uspješnosti konferencije u Tivtu kao i povezivanja Univerziteta Crne Gore sa evropskim institutima kroz zajednički doprinos razvijanju nauke.



# Wire bonding u laboratoriji na Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences (05.09.2023)

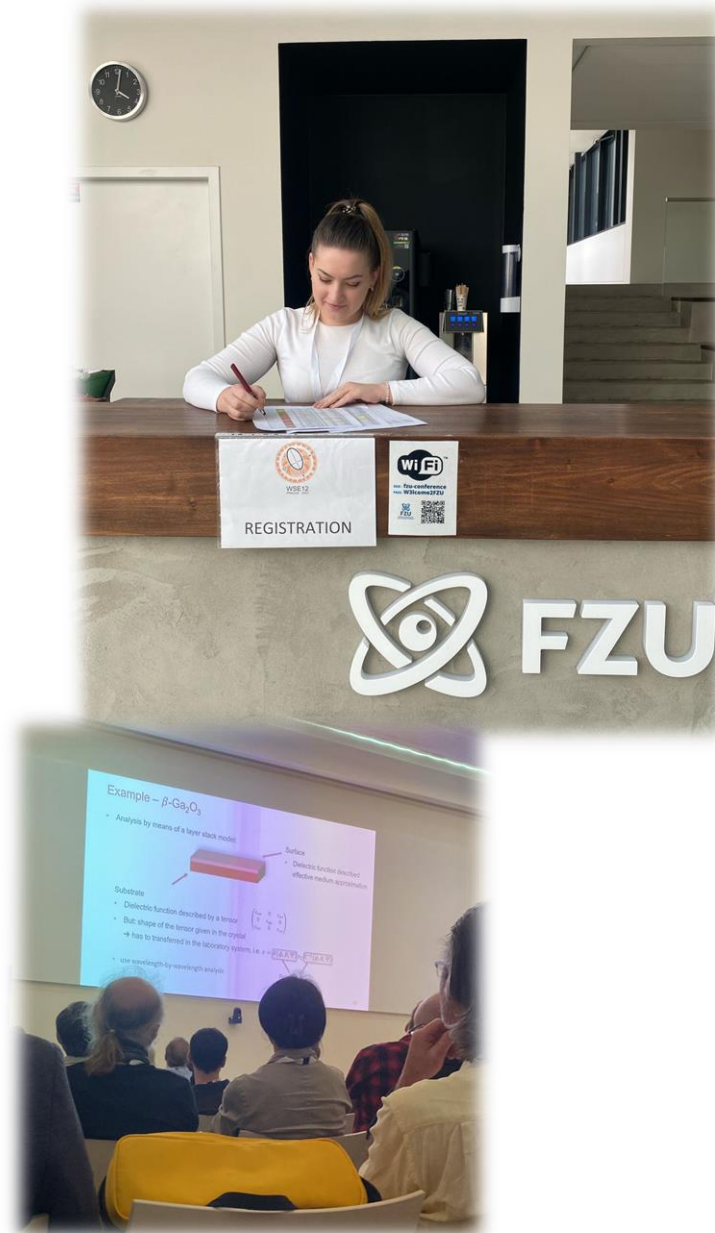


Sa kolegom Dejanom Karadžićem koji je tih dana bio angažovan na ELI Beamlines povodom ekspiremanata, imali smo priliku da prisustvujemo wire bondingu senzora koje koristimo u eksperimentima za RD50 kolaboraciju u CERN-u koji su poslani sa FBK-a. Naučili smo koliko je neohodno biti precizan i strpljiv pri ovom poslu i kako najbolje odraditi wire bonding, a da ne zaklonimo „opening window“ na senzoru. Ekspert kraj mašine za wire bonding bio je Ph.D. istraživač Jiri Kroll.



# 12<sup>th</sup> WORKSHOP ON SPECTROSCOPIC ELLIPSOMETRY

- Nakon veoma uspješno organizovane naučne konferencije tj. 42. Workshop CERN RD50 u Tivtu, dobila sam poziv da učestvujem u organizaciji 12. Workshop on Spectroscopic Ellipsometry (WSE2023) u Pragu.
- Dobila sam sertifikat za uspješno pohađanje 12. workshopa o spektroskopskoj elipsometriji (WSE2023) koja je održana u zgradi Solid21, Prag, Češka 18-21. septembra. 2023.
- Organizatori ovog workshopa bile su institucije ELI Beamlines, Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences i Charles University, Faculty of Mathematics and Physics.
- Pored jako zanimljivih i naučno korisnih prezentacija, imala sam priliku da gledam postere koje su izložili profesori i PhD studenti na kojima su predstavili svoje naučne doprinose. Kasnije su i uručene nagrade studentima za najbolje postere.
- Predsjednik lokalnog organizacionog odbora bio je Stepan Sechovski, koji mi se zahvalio na organizacionom doprinosu.



Teme od kojima se govorilo:

- Magnetooptika, metamaterijali, hiralne strukture i fotonski kristali
- Grube i strukturirane površine
- Elektronska svojstva i korelirani sistemi
- Organski, polimerni i biološki materijali
- Fotonapon, mikroelektronika, metrologija i industrijska primjena
- Najnovije vijesti, hardver i softver
- Vremenski razriješena elipsometrija
- Slikarska elipsometrija

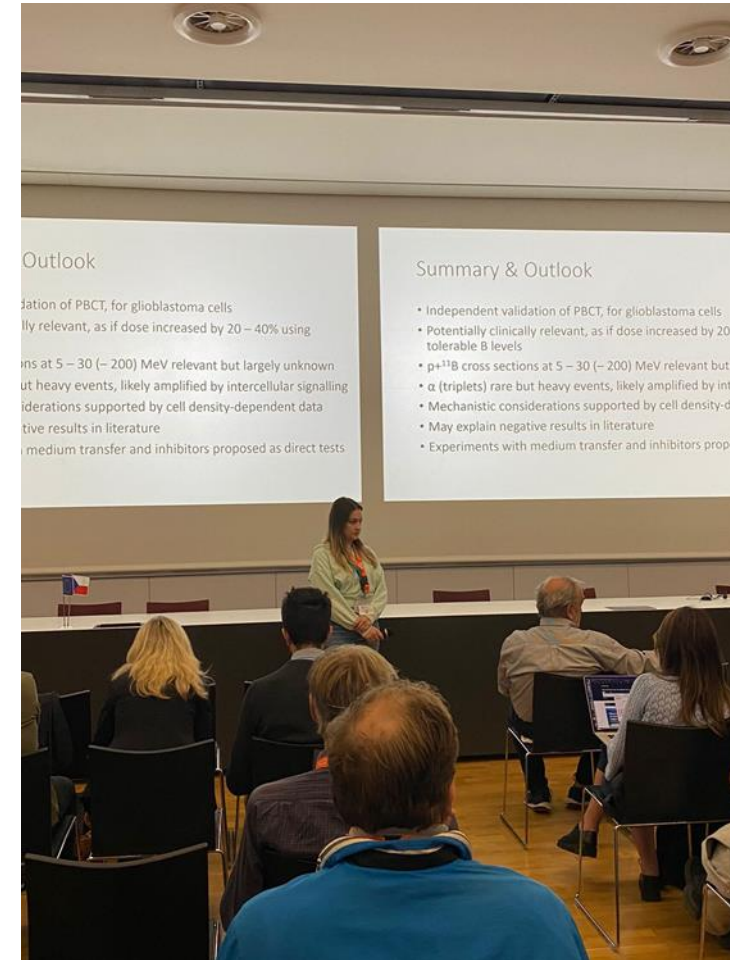
# THE 3<sup>rd</sup> INTERNATIONAL WORKSHOP ON PROTON-BORON FUSION



*Institute of Italian Culture  
in Prague*

- Nakon veoma uspješnog doprinosa pri organizovanju 12. Workshop on Spectroscopic Ellipsometry (WSE2023) dobila sam poziv od Giuffrida Lorenzo (šef odeljenja za jonsko ubrzanje i primjenu čestica visoke energije na ELI Beamlines) da učestvujem u organizaciji 3<sup>rd</sup> International Workshop on Proton-Boron Fusion.
- Pored organizacionih obaveza, redovno sam pratila predavanja i aktuelne teme o kojima se govorilo.
- Dobitnica sam sertifikata za uspešno učešće na 3<sup>rd</sup> International Workshop on Proton-Boron Fusion koja je održana od 2. do 5. oktobra 2023. godine u Pragu.
- Koautor sam izloženog rada pod temom „TCT instrumentation for Si and SiC based sensors and brief introduction of Si and SiC timing sensors for HEP with potential to be used for alpha detection in proton-boron fusion“, čiji je glavni autor Prof. Dr Gordana Laštovička - Medin
- Predsjednica lokalnog organizacionog odbora bila je Romana Kocova.

- Workshop teme:
- Teorija i simulacija
- Napredni pristupi fuziji
- Dijagnostika i ciljevi
- Aplikacije



*ELI Beamlines Facility*



Our **SPIE student Chapter** invites you to a series of seminars

**“GRADUATION EXPERIENCE:  
from Ing. to Ph.D.”**


delivered by our fresh alumni!

|   |   |
|---|---|
| <b>Seminar 1: 27.09, 18:00</b>  | <b>Seminar 2: 03.10, 18:30</b>  |
| Ing. Alžběta Špádová:<br><i>Nanoparticle-Assisted Laser Wakefield Acceleration</i>            | Ing. Martin Matys, Ph.D.:<br><i>Novel Schemes in Ion Acceleration Driven by High-Intensity Lasers</i>   |
| Ing. Vojtěch Munzar, Ph.D.:<br><i>Development of the Ion Deflectometry in Z-pinch Plasmas</i> | Sviatoslav Shekhanov, Ph.D.:<br><i>Non-linear laser absorption under high-energy-density conditions</i> |

**Where?** Trojanova 339, Faculty of Nuclear Sciences and Engineering, Auditorium T121

Both seminars will be followed by a nice gathering at a pub!

Contact us:

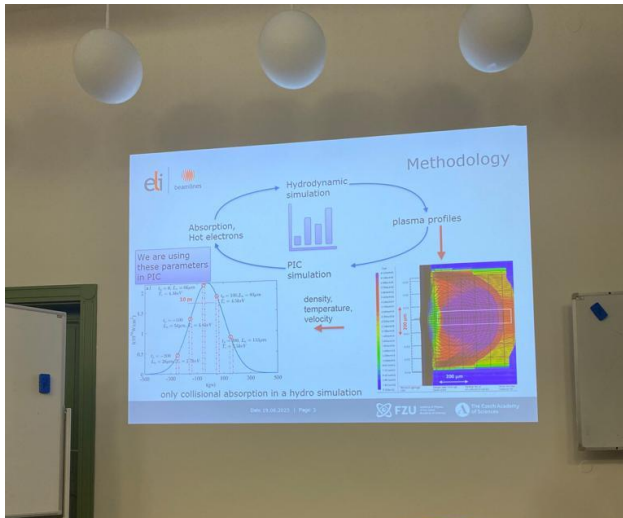


**SPIE. STUDENT CHAPTER**  
CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

SPIE su studentske grupe sa sjedištem u obrazovnim institucijama širom svijeta koje igraju ključnu ulogu u promociji fizike, dijeljenje iskustva studenata kao i organizovanje drugih aktivnosti korisnih za sve studente.

SPIE sa češkog tehničkog univerziteta iz Praga je organizovala predavanja na temu „**Graduation Experience**“ gdje su PhD studenti prezentovali svoj put kroz visoko obrazovanje i svoja iskustva pri biranju smjerova i institucija na kojima rade eksperimente.

Bila mi je čast učestvovati i diskutovati sa studentima na ovom studentskom seminaru koji se održao u prostorijama fakulteta za nuklearne nauke i inženjering 03.10.2023.



# 7th World Engineers Convention (WEC 2023)

- 7th World Engineers Convention (WEC 2023) sa mjestom održavanja u Pragu od 11 – 13 oktobra 2023.
- Bila sam dio studentskog programa gdje sam imala svoj poster pod nazivom “Characterization of semiconductor detectors by laser induced transient current technique (TCT)” gdje sam predstavljala Institut ELI Beamlines i Univerzitet Crne Gore.

## Ključne teme:

- Nova rješenja za energiju
- Pametni gradovi,
- Koncept urbanizacije
- Inženjerski pristup zaštiti životne sredine
- Inženjersko obrazovanje i stalno stručno usavršavanje
- Zeleni transport
- Bezbjedan digitalni svijet
- Inovativne tehnologije u industriji
- Inženjering u zdravstvu
- Snabdijevanje hranom i svježom vodom
- Prevencija prirodnih i industrijskih katastrofa
- Ublažavanje klimatskih promjena i prilagođavanje
- Od Zemlje do Univerzuma
- Forum mladih inženjera
- Žene u nauci i inženjerstvu





# Rezime

- **Moj intership u Pragu trajao je 2 i po mjeseca.**
- **Za to vrijeme sam postigla sve što je bilo previđeno programom i uspješno učestvovala na naučnim konferencijama, ljetnoj školi, studentskim seminarima na kojima nekad i PhD studenti nemaju priliku da prisustvuju.**
- **Za uspješnost intershipa i kako uklopiti ostale aktivnosti (ljetnja škola, konferencije..) zaslužan je moj mentor Dr Mateus Rebarz sa ELI Bemalines instituta koji je nesebično dijelio svoje znanje tokom čitavog programa. Posebno mi znači pohvala od takvog naučnika da sam jako brzo savladala rad u laboratoriji i analizu podataka.**
- **Svi zaposleni profesori i naučnici na institutu jako cijene rad svih studenata, i uvijek su voljni da pomognu.**
- **Ovo eksperimentalno iskustvo na institutu je dopunilo teorijsko znanje stečeno na Univerzitetu Crne Gore.**
- **Velika je čast raditi na ELI institutu dijeliti laboratorijski rad sa visoko internacionalnim i interdisciplinarnim naučnim timom koristeći najsavremeniju opremu.**
- **Najveću zahvalnost iskazujem profesoricu Gordani Laštovičkoj-Medin koja je vjerovala u moj rad i trud i prije intership-a, a najviše tokom ovih ključnih mjeseci programa.**
- **Glavna poruka za kolege studente je da uvijek apliciraju i nikad ne propuštaju priliku da se usavrše, bilo kroz seminare ili intership programe makar i o svom trošku što je bio i moj slučaj.**