

# Ispitivanje iskrenja postava nadograđene komore vremenske projekcije u ALICE detektoru na LHC-u

David Karatović, F-4345\*

Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Bijenička 32, Zagreb

(Dated: 20. siječnja 2019.)

Nakon drugog dugog gašenja LHC-a, koje je započelo krajem 2018.g., učestalost sudara i luminozitet će se značajno povećati. Za mjerenja takvih sudara neke je detektore potrebno zamijeniti novima. Na ALICE detektoru, jedna od značajnih nadogradnji će biti zamjena uređaja za očitavanje unutar TPC-a. Zbog velike stope interakcije  $R_{int} = 50$  kHz u LHC-u, potrebno je kontinuirano očitavanje događaja. To će se postići upotrebom GEM folija, koje će se koristiti za pojačanje signala. Nakon ugradnje GEM-ova u njihovoj blizini će se nalaziti "skirt" elektroda i "resistor rod" koji služe za korekciju polja oko GEM-a. Svi elementi će biti na sličnim potencijalima, no ne dijele svi isti izvor napajanja pa je moguće pri paljenju generirati neku razliku potencijala među tim komponentama. Tema ovog rada je ispitivanje pri kojim razlikama potencijala među komponentama će doći do iskrenja. Moramo biti sigurni da unutar detektora neće doći do iskrenja, jer bi to moglo oštetiti detektore i pokvariti mjerenja.

## I. UVOD

Promatranje sudara protona i teških iona na LHC-u (Large Hadron Collider) je idealno za proučavanje fundamentalnih svojstava kvantne kromodinamike. Tim sudarima na visokim energijama omogućeno je proučavanje kvark-gluonske plazme, te promatranje prirode faznih prijelaza između kvark-gluonske plazme i normalne hadronske materije.

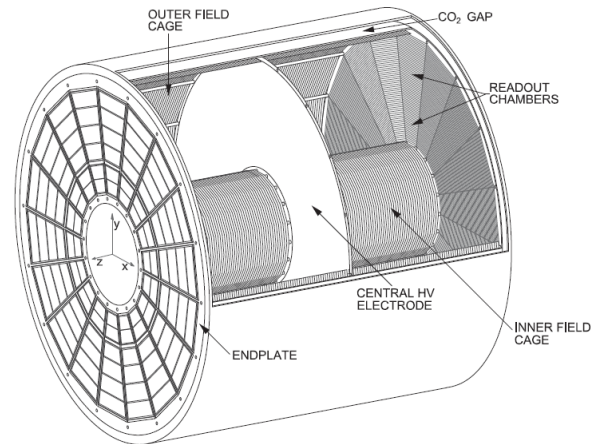
ALICE (A Large Ion Collider Experiment) je detektor koji se nalazi na prstenu LHC-a, te se bavi proučavanjem kvark-gluon plazme. Sudarima iona olova  $^{208}\text{Pb}$ , uz integrirani luminozitet  $\mathcal{L} = 0.16$  nb $^{-1}$ , 2010.g. i 2011.g. demonstrirana je izvrsna mogućnost praćenja i identifikacije čestica u područjima s visokom gustoćom čestica i naboja. Nakon prvog dugog gašenja LHC-a luminozitet je povećan na 1 nb $^{-1}$ , a frekvencija sudara za centralne Pb-Pb sudare je ograničena na  $\sim 300$  Hz.

Nakon drugog dugog gašenja, koje je započelo krajem 2018.g., bit će omogućeni sudari učestalosti oko 50 kHz uz luminozitet  $\mathcal{L} = 10$  nb $^{-1}$ . Veća učestalost sudara i veći luminozitet znače da su potrebni bolji detektori koji će moći brže prikupljati podatke.

Ključni dio nadogradnje ALICE TPC (Time Projection Chamber) detektora je unaprjeđivanje tehnologije očitavanja. Trenutne komore za očitavanja bazirane na MWPC (Multi-Wire Proportional Chamber) tehnologiji će biti zamijenjene GEM (Gas Electron Multiplier) tehnologijom koja će moći podnijeti veću brzinu očitavanja potrebnu za nadograđeni TPC. Nakon nadogradnje, stopa prikupljanja podataka TPC-a će se povećati za dva reda veličine, dok će mogućnosti za praćenje i identifikaciju čestica ostati iste.

TPC na ALICE-u je najveći detektor tog tipa s aktivnim volumenom od 90 m $^3$ . Sastoji se od cilindrične kaveza s visokonaponskom elektrodom koja se nalazi u

sredini cilindra i dijeli ga na dva jednaka manja cilindra (slika 1). Između centralne elektrode i baze kaveza se stavlja napon, te se time dobije driftno polje. Na bazama kaveza su uređaji za očitavanje koji su se sastojali od 72 komore za očitavanje bazirane na MWPC tehnologiji.



Slika 1. Shematski prikaz TPC-a na ALICE-u.<sup>1</sup>

Pri radu komora, bitnu ulogu igrao je aktivni bipolarni Gating Grid (GG), koji se može podesiti da bude proziran i neproziran za elektrone nastale ionizacijom. Dok je GG proziran, elektroni prolaze do područja gdje im se signal pojačava i bilježe se mjerenja. Nakon određenog vremena ( $\sim 100$   $\mu\text{s}$ ) GG postaje neproziran da bi se spriječilo pojačanje neželjenog signala od iona nastalih ionizacijom, te sprječava ione nastale u području pojačanja od povratka u driftno područje, gdje bi došlo do nagomilavanja naboja i distorzije polja. Zbog relativno malene pokretljivosti iona, potrebno je da GG ostane neproziran  $\sim 180$   $\mu\text{s}$  nakon što je dovršeno očitavanje željenog signala. Zbog toga postoji intrinzično mrtvo vrijeme TPC-a koje traje  $\sim 280$   $\mu\text{s}$  te ograničava maksimalnu moguću učestalost sudara na  $\sim 3.5$  kHz. Nadograđeni TPC će koristiti mješavinu plina Ne-CO $_2$ -N $_2$  (90-10-5), zbog

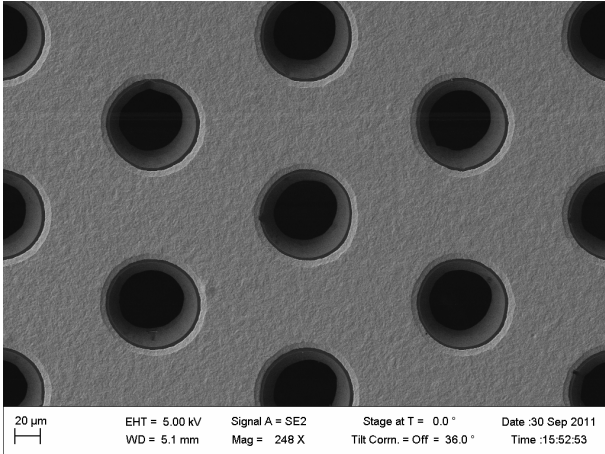
\* davidkaratovic@gmail.com

veće pokretljivosti iona u neonu, naspram prijašnje korištenog argona. To će smanjiti vjerojatnost nakupljanja naboja u driftnom polju.

Rad TPC-a na većim frekvencijama nije moguć zbog spomenutog mrtvog vremena koje proizlazi iz GG-a. No, uklanjanjem GG-a došlo bi do gomilanja naboja i do promjena u driftnom polju te više ne bi bila moguća precizna mjerenja prostornog položaja čestice. Za GEM sustav s kaskadom folija je pokazano da ima intrinzično svojstvo blokiranja iona nastalih u području pojačavanja, te da daje pouzdane rezultate u mjerenjima s velikom stopom učestalosti događaja. Takav sustav ne mora koristiti GG i omogućava rad TPC-a na frekvenciji od 50 kHz, što omogućava proučavanje do sada nemjerljivih fenomena.

Detektori bazirani na GEM tehnologiji su prvi bili korišteni na COMPASS eksperimentu na CERN-u<sup>2</sup>, te se sada već rutinski koriste na eksperimentima s visokom frekvencijom događaja, npr. na LHCb<sup>3</sup>, PHENIX<sup>4</sup> i TOTEM<sup>5</sup>.

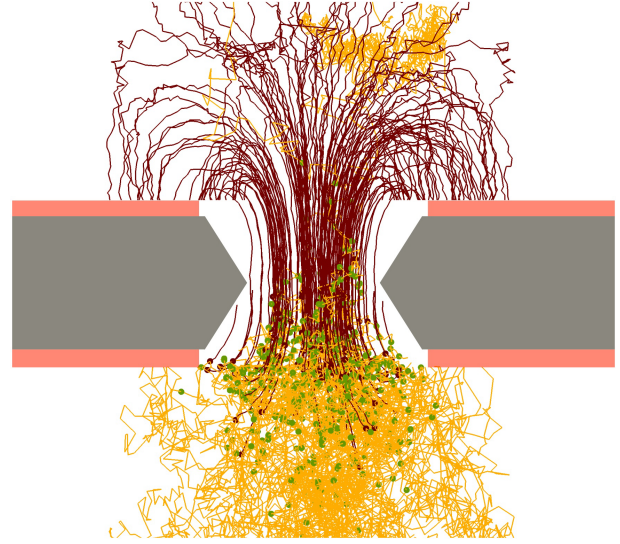
Jedna GEM folija se sastoji od poliimidne izolirajuće folije debljine 50  $\mu\text{m}$  čija je površina obložena slojem bakra debljine 2–5  $\mu\text{m}$ . Fotolitografskim procesom se u foliji prave dvostruko stožaste rupe u pravilnim razmacima. U tipičnom slučaju rupe imaju unutarnji promjer oko 50  $\mu\text{m}$ , vanjski promjer oko 70  $\mu\text{m}$ , te je udaljenost među središtima susjednih rupa oko 140  $\mu\text{m}$ . Koriste se različite izvedbe, npr. s većim udaljenostima među rupama dobiva se manja prozirnost. Snimka tipične GEM folije napravljena elektronskim mikroskopom je prikazana na slici 2.



Slika 2. Slika GEM folije dobivena elektronskim mikroskopom.<sup>1</sup>

Zbog malenih dimenzija rupa na folijama, ako se nametne razlika potencijala između gornjeg i donjeg sloja bakra, unutar rupa će postojati vrlo jako električno polje. Za razliku potencijala 200-400 volti, jakost polja unutar rupe će biti  $\sim 50$  kV/cm. U slučaju upada nabijene čestice, koja će distorzirati to polje unutar rupe, doći će do stvaranja lavine naboja. Slika 3 prikazuje simulaciju kretanja takve lavine. Lavina je započeta s dva elektrona koji su driftnim poljem dovedeni do GEM-a. Elektroni

nastali u lavini prolaze kroz rupu na drugu stranu GEM-a te vrlo dobro prate silnice električnog polja, zbog malenog koeficijenta difuzije. Većina nastalih iona će biti prikupljena na gornjoj strani GEM folije, jer je polje unutar rupe puno veće od polja iznad rupe. Od navedenih iona samo će ih par završiti nazad u prostoru driftnog polja. Da bi se što efikasnije skupili elektroni nastali u lavini potrebno je nametnuti jako električno polje ispod GEM-a. Ti elektroni se mogu slati dalje na iduću GEM foliju, gdje se ponavlja isti proces, ili se mogu prikupiti s anodom. Većinom se koriste kaskade sastavljene od 3-4 GEM folije, s pojačanjem od  $10^3$ - $10^4$  puta.



Slika 3. Garfield / Magboltz simulacija dinamike naboja za upad dva elektrona u rupu na GEM-u. Put elektrona je prikazan svijetlim linijama, dok je put iona prikazan tamnim. Točke označavaju gdje se dogodila ionizacija.<sup>1</sup>

Efektivno pojačanje  $G_{eff}$  GEM detektora se određuje mjerenjem struje na anodi za očitavanje  $I_{anode}$  za danu stopu upada X-zraka  $R$ , gdje svaka X-zraka ionizacijom proizvede  $N_{ion}$  elektrona:

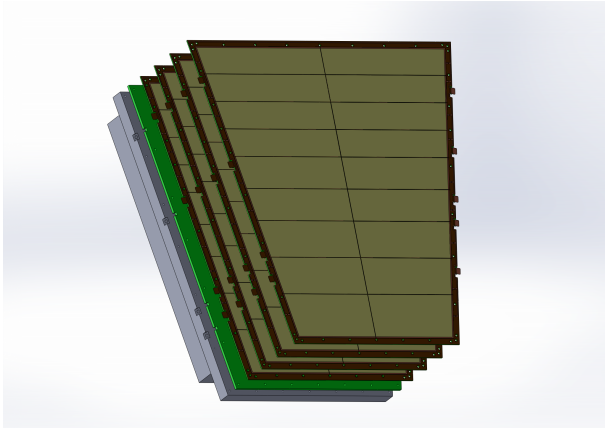
$$G_{eff} = \frac{I_{anode}}{eN_{ion}R}, \quad (1)$$

gdje je  $e$  naboj elektrona. Uz ovakvo definirano pojačanje uzeti su u obzir gubitci nastali prolaskom kroz strukturu GEM-ova. Povratni tok iona  $I_B$  je definiran kao omjer struje na katodi  $I_{cathode}$  i na anodi  $I_{anode}$ :

$$I_B = \frac{I_{cathode}}{I_{anode}} = \frac{1 + \epsilon}{G_{eff}}, \quad (2)$$

gdje je  $\epsilon$  broj iona, po upadnom elektronu, koji odu u područje driftnog polja. U uvjetima koji su nepovoljniji nego oni potrebni za detektore u ALICE-u, dobiveno je da je povratni tok iona  $I_B = 0.25\%$ , što pokazuje izvrsnu sposobnost blokiranja povratnog toka iona GEM sistema.<sup>6</sup>

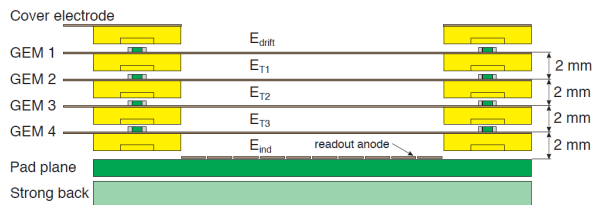
Elektroni stvoreni ionizirajućim česticama se zbog driftnog polja kreću prema GEM detektorima, gdje se stvaranjem lavina naboja unutar rupa na GEM folijama, signal pojačava da bi se mogao detektirati na pločama za očitavanje. Da bi se signal dovoljno povećao, a da bi uz to broj iona koji se vraćaju u driftno područje ostao dovoljno malen, koristi se kaskada od četiri GEM folije u svakoj komori. Shematski prikaz kaskade GEM-a vidimo na slici 4.



Slika 4. Shematski prikaz četiri GEM folije.<sup>1</sup>

Da bi se smanjio ukupni naboj na GEM foliji, jedna strana folije je segmentirana na visoko-naponske sektore. Svaki sektor se napaja preko "loading resistor"-a, dok se druga strana, koja nije segmentirana, direktno napaja. Takav dizajn smanjuje vjerojatnost električnog izboja između folija. No, i u slučaju izboja naboj u iskri će biti ograničen zbog toga što je folija segmentirana, te će se pad napona dogoditi samo na dijelu segmentirane folije, dok će druga strana folije ostati na konstantnom potencijalu. Time će se spriječiti daljnja propagacija iskre.

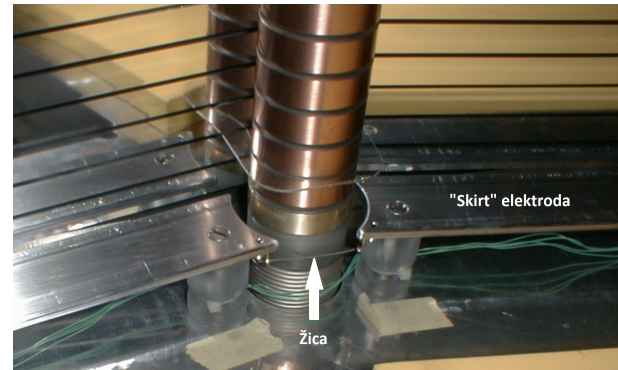
Prva folija u kaskadi GEM-a će imati nesegmentiranu stranu okrenutu prema gore, jer mora biti cijelo vrijeme na istome potencijalu, da bi driftno polje unutar TPC-a u svim slučajevima ostalo homogeno.



Slika 5. Shematski prikaz četiri GEM folije.<sup>1</sup>

Unutar kaveza TPC-a se nalaze bakrene šipke ("resistor rod") koje se koriste za korekciju napona. Također, pošto je kavez uzemljen, potrebno je između GEM folija i kaveza postaviti tzv. "skirt" elektrodu na koju će se nametnuti napon takav da se što je više moguće smanji distorzija polja unutar radnog područja TPC-a. Sve te komponente će biti na sličnom naponu no pošto nemaju

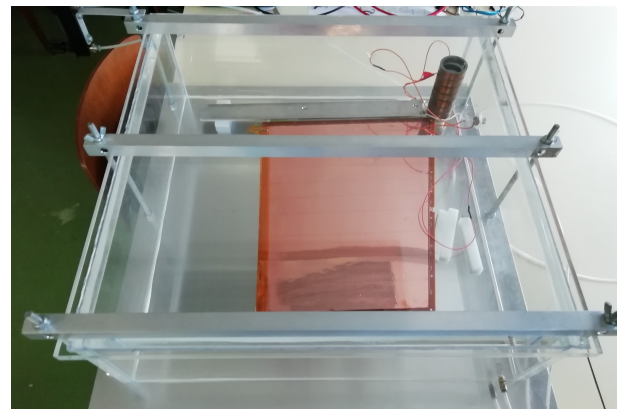
sve isti izvor napajanja, pri uključivanju detektora moguće je da dođe do razlike potencijala od par kV. Sami GEM će biti na naponu od 3 – 4 kV, u odnosu na uzemljeni kavez. Za fiksne udaljenosti između komponenti, koje su određene dizajnom TPC-a, treba provjeriti koliki napon smije biti među komponentama da ne dođe do iskrenja. Iskrenje može napraviti štetu na detektoru i može pokvariti mjerenja, pa se treba osigurati da se to neće dogoditi. Na slici 6 je prikazano kako izgledaju te kako su raspoređene komponente u detektoru. Na slici se vidi i žica koja spaja susjedne "skirt" elektrode koja bi isto mogla imati utjecaj na vjerojatnost iskrenja.



Slika 6. Fotografija ruba kaveza TPC-a, na kojoj se vide "skirt" elektrode povezane žicom i bakrena šipka.<sup>1</sup>

## II. EKSPERIMENTALNA METODA I POSTAV

Eksperimentalni postav se sastoji od: aluminijske "skirt" elektrode na koju je povezana žica od pocinčanog bakra debljine 1 mm i izolirana teflonom, bakrene šipke i od GEM folije (slika 8). Svi ti elementi se nalaze unutar komore (slika 7) dimenzija 50 cm×50 cm×15 cm, kako bi se moglo raditi s mješavinom plina Ne-CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> (90-10-5) koji će se koristiti u TPC-u.

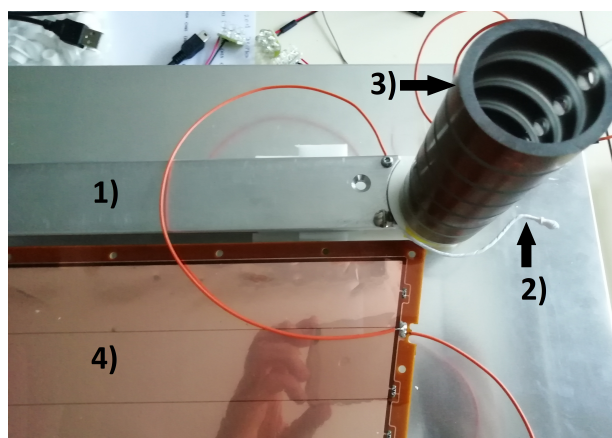


Slika 7. Fotografija eksperimentalnog postava.

Pošto se postav sastoji od tri komponente na koje je potrebno nametnuti napon, postoji šest mogućih scena-

rija koji se mogu odigrati pri paljenju. Može se dogoditi da se na samo jednu komponentu nametne napon, dok su ostale uzemljene, ili da se napon nametne na dvije komponente dok je treća uzemljena. Potrebno je ispitati sve moguće scenarije kako bi se odredilo na kojim vrijednostima napona je detektor siguran od iskrenja. Također, potrebno je prvo odrediti gdje će žica prolaziti i kakvu izolaciju treba koristiti, jer te informacije nisu navedene u dizajnu detektora.

Prije svakog mjerenja provjereno je da li komora propušta zrak. Nakon toga se upuhuje plin Ne-CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> oko 5 sati. Budući da je komora relativno velikog volumena, oko 10 punih volumena komore se izmjeni prije mjerenja. Napon je doveden na gornju stranu GEM folije, koja je kratko spojena s donjom stranom. Udaljenosti između okvira GEM folije i ostatka postava je 5mm, dok je udaljenost šipke od "skirta", zajedno sa žicom 6.5 mm. Sve udaljenosti su ručno podešavane prije svakog mjerenja, uz korištenje pomične mjerke, pa postoji određena greška u udaljenostima. Cijeli postav je podignut dva centimetra iznad podloge da bi se smanjio kapacitet između GEM-a i metalne podloge. Kontrolirani izvor napona je spojen s postavom preko SHV konektora. Napon je računalno, preko programa LabView, postepeno podizan do pojave iskre.

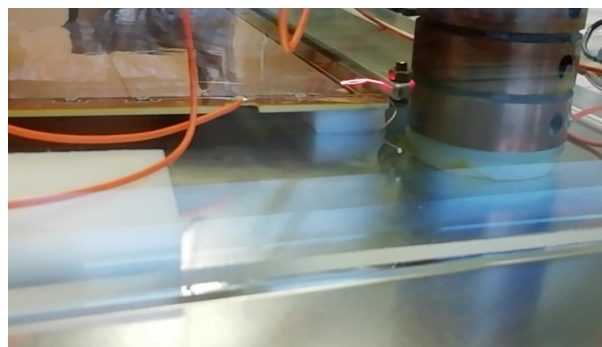


Slika 8. Fotografija postava gdje je: 1) "skirt" elektroda, 2) žica omotana teflonom, 3) bakrena šipka, 4) GEM folija.

### III. REZULTATI I DISKUSIJA

U dizajnu detektora nije određeno gdje će točno prolaziti žica i kolika će biti debljina teflonske izolacije. Korištenjem raznih položaja žice i raznih debljina teflona, odredit će se koja je udaljenost žice i debljina izolacije sigurna od nepoželjnih električnih proboja. Prva mjerenja, slike 9 i 10, su napravljena tako da gola žica prolazi ispod GEM folije. Napon je samo na GEM foliji, a ostale komponente su uzemljene. Najkraća udaljenost između vodljivog dijela GEM folije i žice je oko 11 mm.

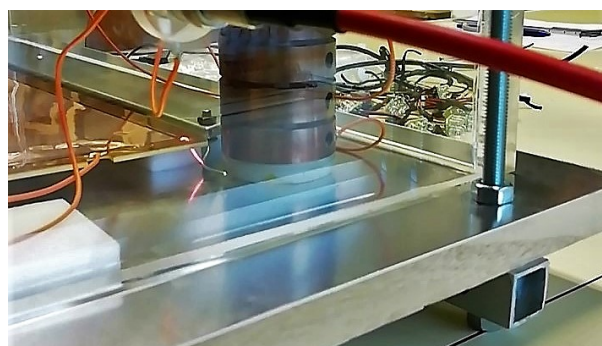
Na slici 9 se vidi iskra između "skirt" elektrode i GEM



Slika 9. Napon je na GEM-u, a ostatak postava je uzemljen, udaljenost GEM-"skirt"  $\approx$  13 mm, izboj na 5.8 kV.

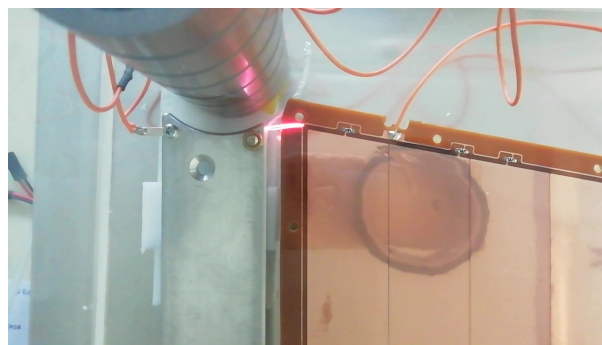
folije na naponu od 5.8 kV. Udaljenost koju je iskra prešla je oko 13 mm.

Na slici 10 je na naponu od 5.75 kV iskra skočila na žicu kroz rupu u okviru GEM folije. Udaljenost vodljivog dijela GEM-a od žice je oko 11 mm. To je najkraća udaljenost koju je iskra mogla prijeći do uzemljenog dijela postava te je zato preskočila na tako zanimljiv način.



Slika 10. Napon između GEM-a i ostatka postava, udaljenost GEM-žica  $\approx$  11 mm, izboj na 5.75 kV.

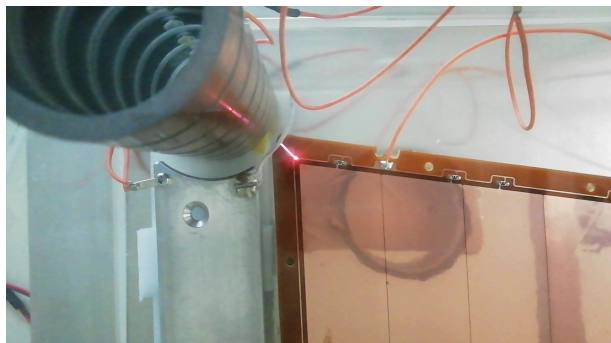
Na slici 11 je slučaj kada je žica izolirana tankim slojem teflona debljine oko 50  $\mu$ m, izboj se dogodi između GEM folije i "skirt" elektrode, na naponu od 5.5 kV. Udaljenost vodljivog dijela GEM-a od "skirt"-a je oko 13 mm.



Slika 11. Napon između GEM-a i ostatka postava, udaljenost GEM-"skirt"  $\approx$  13 mm, izboj na 5.5 kV.

U idućim mjerenjima žica prolazi iznad GEM folije i

udaljena je oko 9 mm od vodljivog dijela. Na slici 12, iskra je izbila između GEM folije i žice, na naponu od 5 kV.



Slika 12. Napon između GEM-a i ostatka postava, udaljenost GEM-žica  $\approx 9$  mm, izboj na 5 kV.

Nakon što je izbila iskra između GEM-a i žice, dodan je još jedan sloj teflona na žicu. Znači, debljina teflonske izolacije je oko 0.1 mm. Napon je, uz GEM foliju, doveden i na "skirt". Na slici 13 je došlo do izboja između žice i šipke na naponu od 5.4 kV. Udaljenost žice od šipke je 6.5 mm.

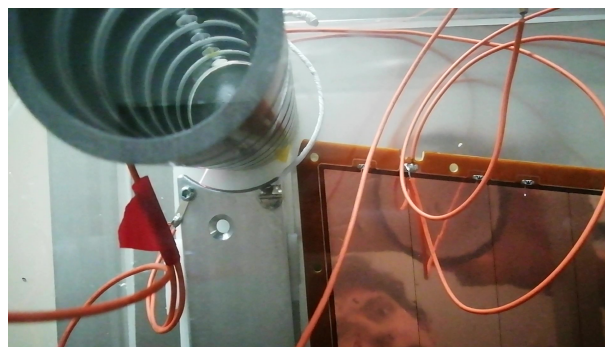


Slika 13. Napon je na GEM-u i "skirt"-u, a šipka je uzemljena, udaljenost šipka-žica  $\approx 6.5$  mm, izboj na 5.4 kV.

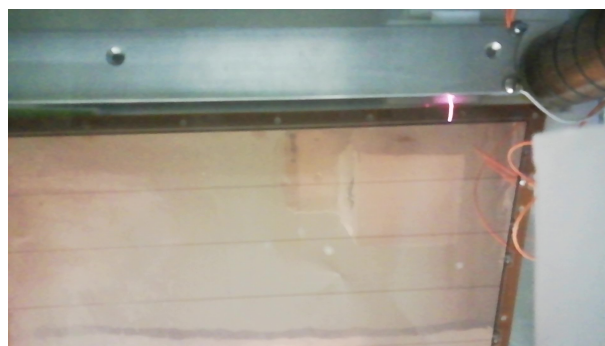
Nakon što je iskra opet izbila iz žice, dodano je još par slojeva teflona, te je izolacija na slici 14 debela oko 0.3 mm. Napon je na GEM foliji i šipci, dok je "skirt" elektroda uzemljena. Iskra je izbila između "skirt"-a i šipke, na naponu od 4.8 kV i udaljenosti  $\approx 6.5$  mm.

Na kraju je napon stavljen na "skirt" i na šipku, dok je GEM folija uzemljena. Iskrenje se krenulo pojavljivati tek na naponu od 6.5 kV, između "skirt"-a i GEM folije (slika 15), a i između šipke i GEM folije (slika 16). Pošto su šipka i "skirt" jednako udaljeni od vodljivog dijela GEM folije, za očekivati je da će doći do iskrenja između obje komponente i GEM-a. Udaljenost koju je iskra prevalila je  $\approx 13$  mm.

Mjerenja gdje su samo šipka ili samo "skirt" na visokom naponu nisu napravljena zbog nedostatka vremena, ali ionako ne bi vodila do novih spoznaja. Dobili bi se slični rezultati kao u slučajevima na slikama 13 i 14, gdje uz jednu od tih komponenti GEM folija također na naponu.



Slika 14. Napon je na GEM-u i šipci, a "skirt" je uzemljen, udaljenost šipka-"skirt"  $\approx 6.5$  mm, izboj na 4.8 kV.



Slika 15. Napon je na šipci i "skirt"-u, a GEM je uzemljen, udaljenost GEM-"skirt"  $\approx 13$  mm, izboj na 6.5 kV.



Slika 16. Napon je na šipci i "skirt"-u, a GEM je uzemljen, udaljenost GEM-šipka  $\approx 13$  mm, izboj na 6.5 kV.

Iskrenje se događa gdje ima najmanju udaljenost, a to je između "skirt"-a i šipke tako da napon na GEM foliji ne igra značajnu ulogu na kojoj će vrijednosti napona doći do izboja.

Sve vrijednosti napona na kojima je došlo do izboja, sabrane su u tablici 1. Najniža vrijednost napona pri kojoj je došlo do iskrenja je 4.8 kV, a radni napon za korištene komponente detektora je oko 3.5 kV. Razlika od  $\sim 1$  kV nam osigurava da do iskrenja neće doći, ako su zadržane udaljenosti među komponentama: GEM-"skirt"=5 mm, GEM-šipka=5 mm, "skirt"-šipka=6.5 mm. Da bi se osigurali da žica neće stvarati probleme, preporučio bih izolaciju od teflona debljine 0.3 mm.

Komponente na naponu:	Napon pri izboju:	Udaljenost:
GEM folija	5.8 kV	$(13 \pm 0.5)$ mm
GEM folija	5.75 kV	$(11 \pm 0.5)$ mm
GEM folija	5.5 kV	$(13 \pm 0.5)$ mm
GEM folija	5 kV	$(9 \pm 0.5)$ mm
GEM folija i "skirt"	5.4 kV	$(6.5 \pm 0.5)$ mm
GEM folija i šipka	4.8 kV	$(6.5 \pm 0.5)$ mm
GEM folija i šipka	6.5 kV	$(13 \pm 0.5)$ mm

Tablica I. Sve vrijednosti na kojima je došlo do izboja i prikadne udaljenosti. U prvom stupcu su napisane komponente na kojima je napon, dok je ostatak uzemljen. U drugom su stupcu vrijednosti napona pri kojem je došlo do izboja. Treći stupac označava udaljenost koju je iskra prevalila.

#### IV. ZAKLJUČAK

Nakon napravljenih ispitivanja, dobiveno je da je za zadane udaljenosti, najniža vrijednost napona pri kojoj dolazi do izboja jednaka 4.8 kV. Kako je radni napon komponenti detektora manji za  $\sim 1$  kV, možemo sa sigurnošću tvrditi da neće doći do neželjenih iskrenja. Kako je žica na postavu jedina komponenta koja nema čvrsto fiksiran položaj, preporučio bih da nije na manjoj udaljenosti od  $\approx 9$  mm od vodljivog dijela GEM folije, te da se omota izolacijom od teflona debljine veće od 0.3 mm. Istraživanje će se nastaviti, ponoviti će se mjerenja s žicom drukčijeg promjera, te će se nadograditi sa sustavom za zaštitu od proboja za daljnja ispitivanja.

#### V. ZAHVALE

Zahvaljujem se na pomoći pri mjerenjima i izradi ovoga rada mentoru profesoru Planiniću, docentu Poljaku i članovima njihove grupe Antoniji i Filipu.

- 
- <sup>1</sup> ALICE Collaboration. Technical Design Report for the Upgrade of the ALICE Time Projection Chamber. CERN-LHCC-2013-020. 2013. URL: <http://cds.cern.ch/record/1622286>.
- <sup>2</sup> P. Abbon et al. "The COMPASS Experiment at CERN". In: Nucl. Instr. Meth. A 577.3 (2007), pp. 455–518. DOI: 10.1016/j.nima.2007.03.026.
- <sup>3</sup> G. Bencivenni et al. "A triple GEM detector with pad readout for high rate charged particle triggering". In: Nucl. Instr. Meth. A 488.3 (2002), pp. 493–502. DOI: 10.1016/S0168-9002(02)00515-6.
- <sup>4</sup> Z. Fraenkel et al. "A hadron blind detector for the PHENIX experiment at RHIC". In: Nucl. Instr. Meth. A 546.3 (2005), pp. 466–480. DOI: 10.1016/j.nima.2005.02.039
- <sup>5</sup> M. G. Bagliesi et al. "The TOTEM T2 telescope based on triple-GEM chambers". In: Nucl. Instr. Meth. A 617.1-3 (2010), pp. 134–137. DOI: 10.1016/j.nima.2009.07.006.
- <sup>6</sup> S. Blatt et al. "Charge transfer of GEM structures in high magnetic fields". In: Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 150.0 (2006), pp. 155–158. DOI: 10.1016/j.nuclphysbps.2004.07.005.