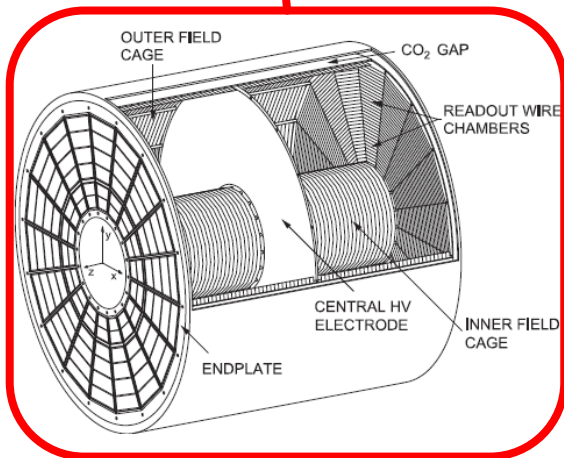
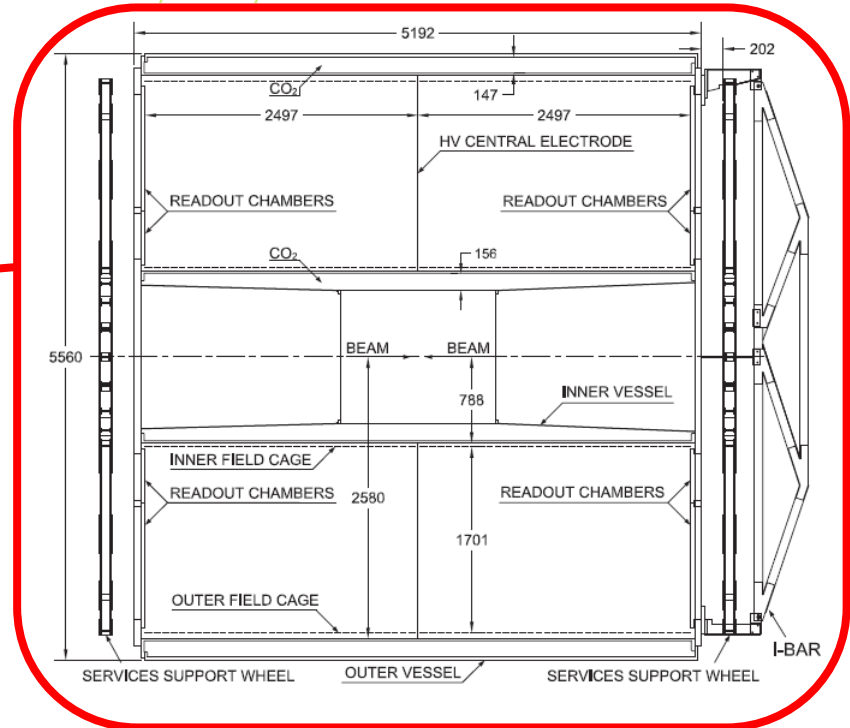
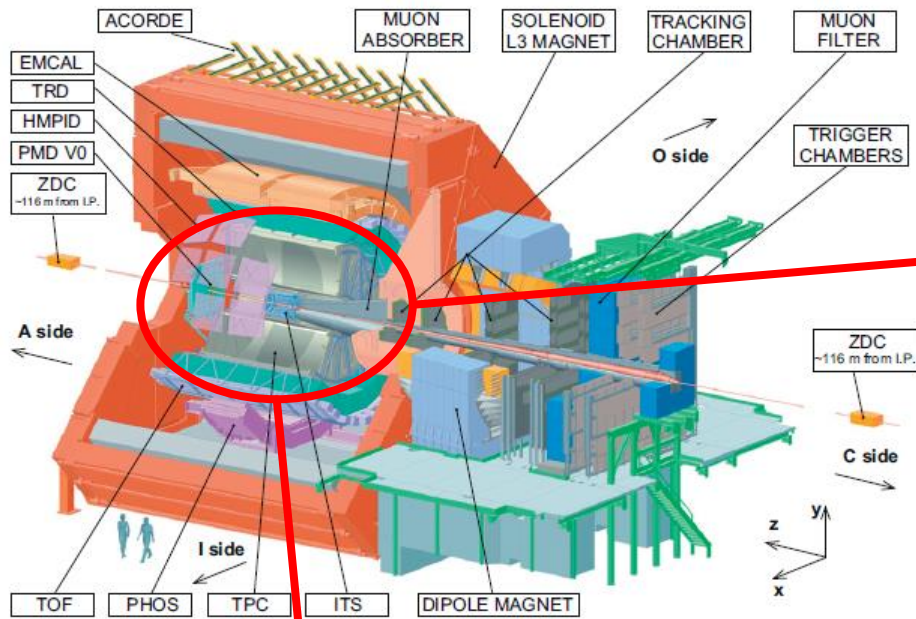




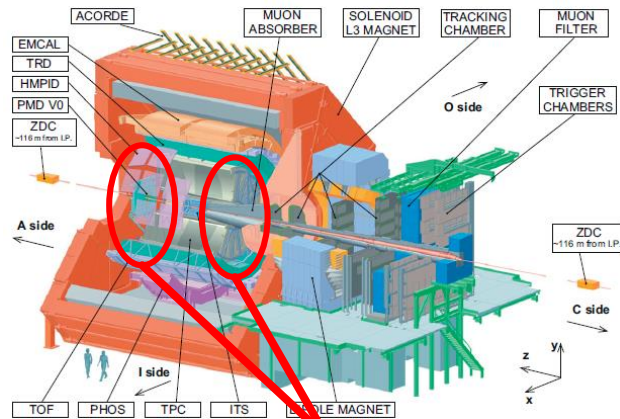
MERANIE MOBILITY KLADNÝCH IÓNOV V PLYNOVÝCH ZMESIACH

TPC ALICE = Časovo – projekčná komora

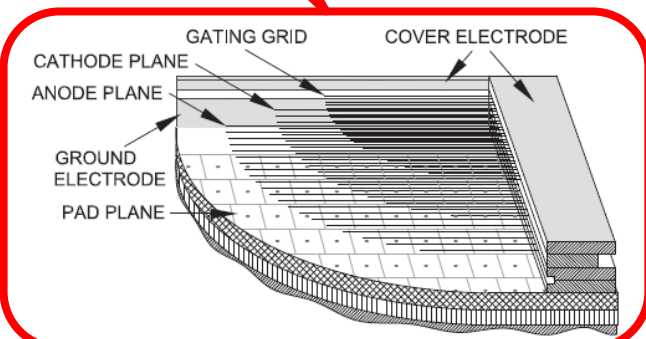


- Cylinder s $V \approx 90 \text{ m}^3$, s rozmermi v radiálnom smere: $610 < r < 2780 \text{ mm}$; a v pozdĺžnom smere: $2 \times 2497 \text{ mm}$.
- Naplnený zmesou plynov: $Ne - CO_2 - N_2$ v pomere $[90 - 10 - 5]$.
- Homogenitu el. poľa (400 V/cm) zabezpečuje tzv. „field cage“ s celkovou radiačnou dĺžkou iba $X/X_0 \approx 2,2\%$.
- Čítacie podstavy sa skladajú zo **72** mnohovláknových komôr (MWPC) zhruba s **550 000** čítacími katódovými „padmi“ (čítacími kanálmi).
- Pri 15 – 40 % využití (pri počte častíc na jednotku rapidity ≈ 8000) samostatný „pad“ produkuje ≈ 70 Mbyte dát na event.
- V súčasnosti sa dosahuje relatívna neistota v určení **E** častice $\approx 5,5\%$ (**7%**) pre zrážky **Pb – Pb** (p – p).

Motivácia – TPC ALICE Upgrade



- Maximálny driftový čas e^- od centrálnej elektródy k čítacím padom (2580 mm) $\approx 100 \mu\text{s}$.
- Pre efektívne blokovanie pohybu iónov do driftového priestoru potrebná doba $\approx 180 \mu\text{s}$ (zábrana akumulácie priestorového náboja a narušenia homogenity el. poľa v driftovom priestore).
- Celková mŕtva doba $\approx 280 \mu\text{s}$ obmedzuje max čítaciu schopnosť TPC na asi 3,5 kHz avšak pre súčasný čítací (read-out) systém sa max rýchlosť zberu dát obmedzuje iba na $\sim 300 \text{ Hz}$ pre centrálnu Pb – Pb zrážku.

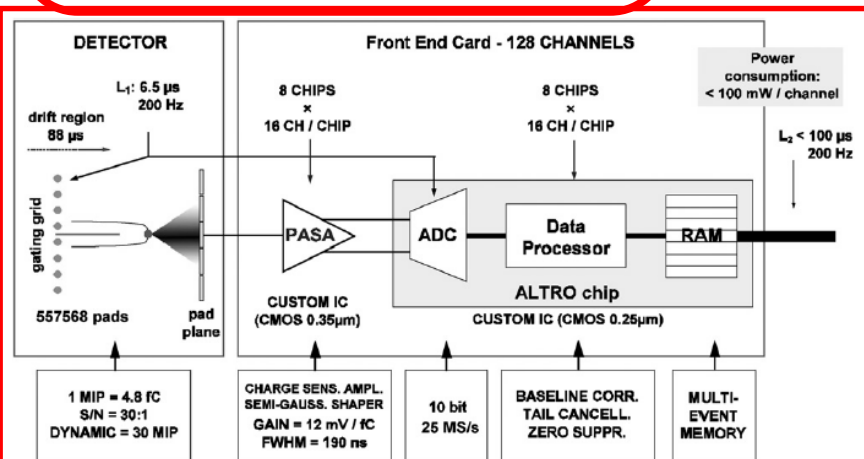


Po LS2 (Long Shutdown 2 ~2018) plánovaný prechod k frekvencii minimum „bias“ Pb – Pb zrážok na úrovni $\approx 50 \text{ kHz}$.

⇒ Prechod od trigrovacieho režimu MWPC ku kontinuálnemu režimu s využitím GEM-ov.

⇒ Použitie novej zmesi plynovej náplne (možné zložky $\text{Ne}, \text{CO}_2, \text{N}_2$ [90 – 10 – 5], pravdepodobné i pridanie ďalšej zložky CF_4)

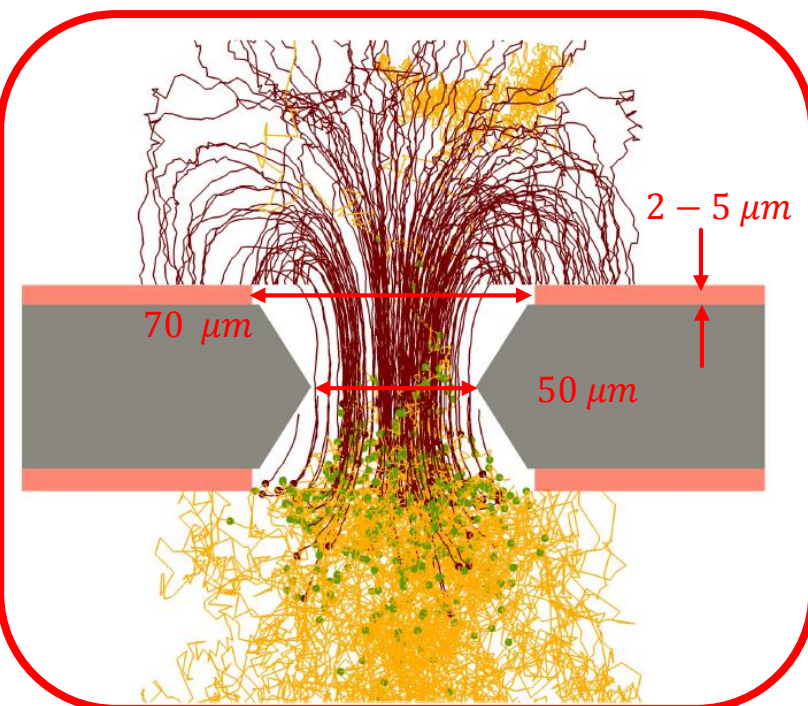
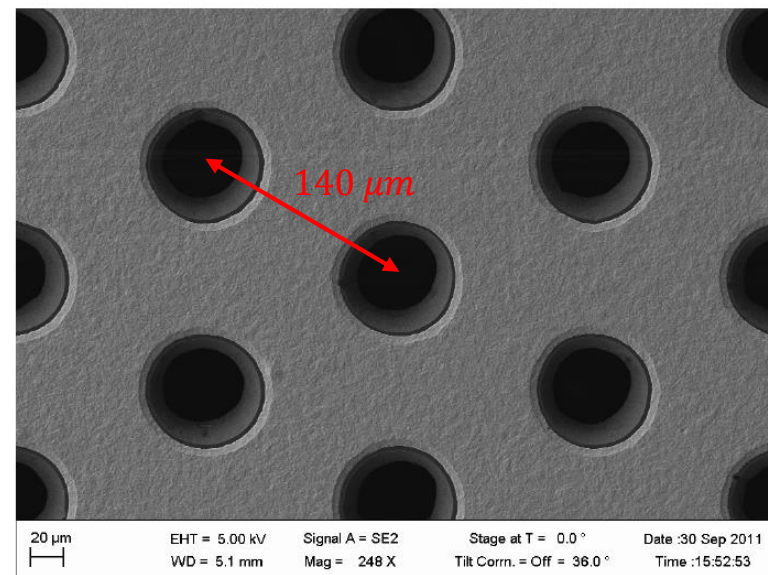
⇒ Použitie úplne novej čítacej elektroniky



Náčrt TPC ALICE „front end“ elektroniky

GEM fólia

- GEM (Gas Electron Multiplier) – perforovaná polyamidová (kapton) fólia obalená z oboch strán tenkou ($2 - 5 \mu m$) vrstvou Cu s otvormi priemeru $D_1 \approx 70 \mu m$ (vonkajší) a $D_2 \approx 50 \mu m$ (vnútorný)
- Vzdialenosť medzi otvormi štandardne predstavuje $140 \mu m$
- Pri rozdiely napätia medzi Cu vrstvami $\approx 200 - 400 V$ je možné dosiahnuť pole veľkosti $\approx 50 kV/cm$ (dostatočne silné na vznik sekundárnej ionizácie = lavíny)
- Efektívne zosilnenie možno určiť zo vzťahu: $G_{eff} = \frac{I_{anode}}{eN_{ion}R}$, kde I_{anode} je prúd meraný na čítacej anóde, R počet prítomných ionizujúcich častíc, N_{ion} počet elektrónov uvoľnených pri ionizácii jednou časticou a e je jednotkový náboj



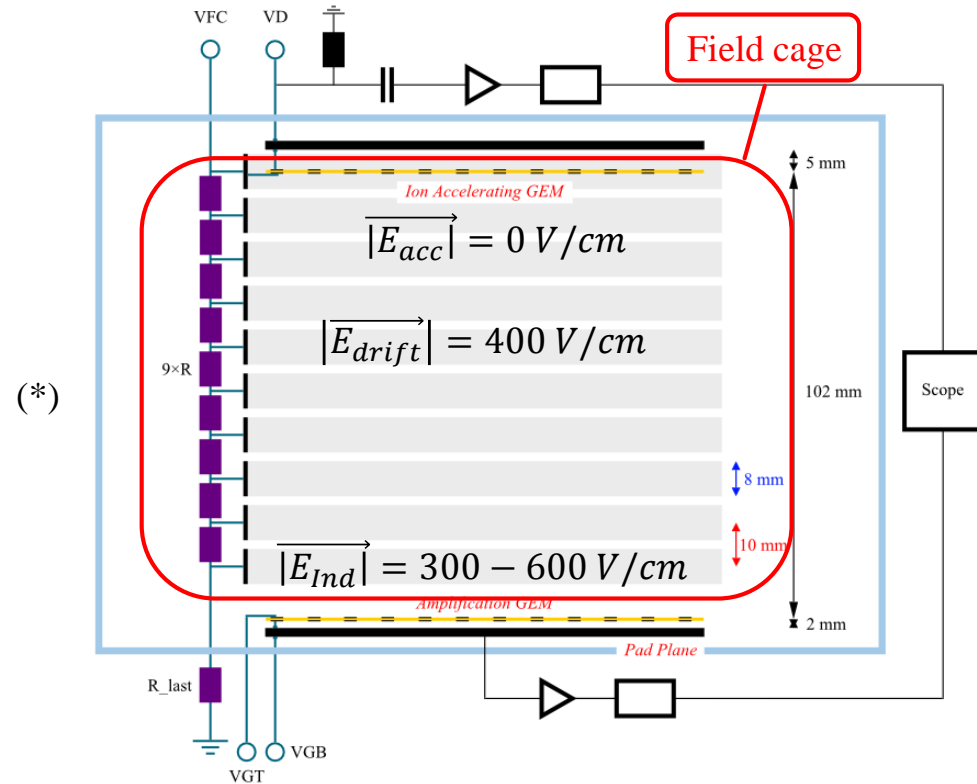
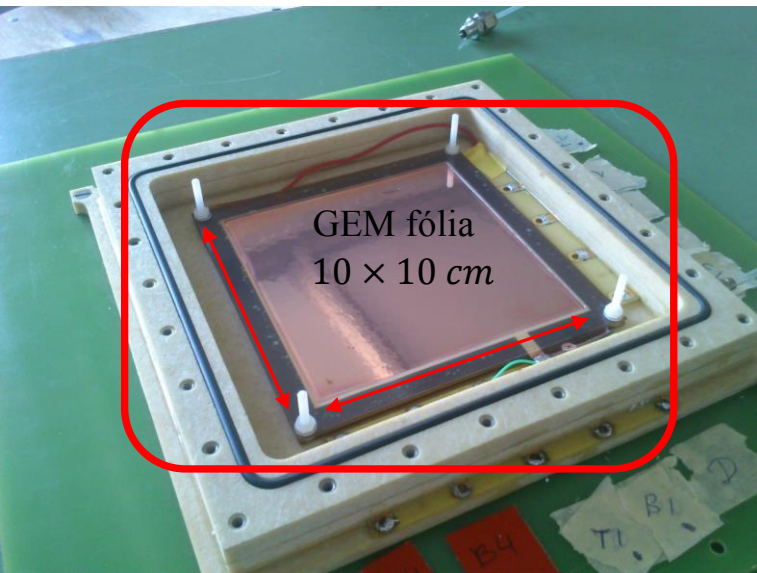
- Cieľom je nájsť optimálne nastavenie el. polí tak aby sa minimalizoval spätný iónový tok *IBF* (Ion Back Flow):

$$IB = \frac{I_{cathode}}{I_{anode}} = \frac{1 + \varepsilon}{G_{eff}}$$

- Kde $I_{cathode}$ je prúd na čítacej katóde, ε je počet iónov driftujúcich späť po siločiarach do driftového priestoru na jeden vchádzajúci elektrón do priestoru zosilnenia
- Cieľom ALICE upgrade programu je nájsť konfiguráciu, ktorá udrží $IB < 1\%$ pri zosilnení $G_{eff} = 2000$ (pozitívne výsledky so štvoricou GEMov pri striedajúcich sa veľkosti intenzít el. poľa)

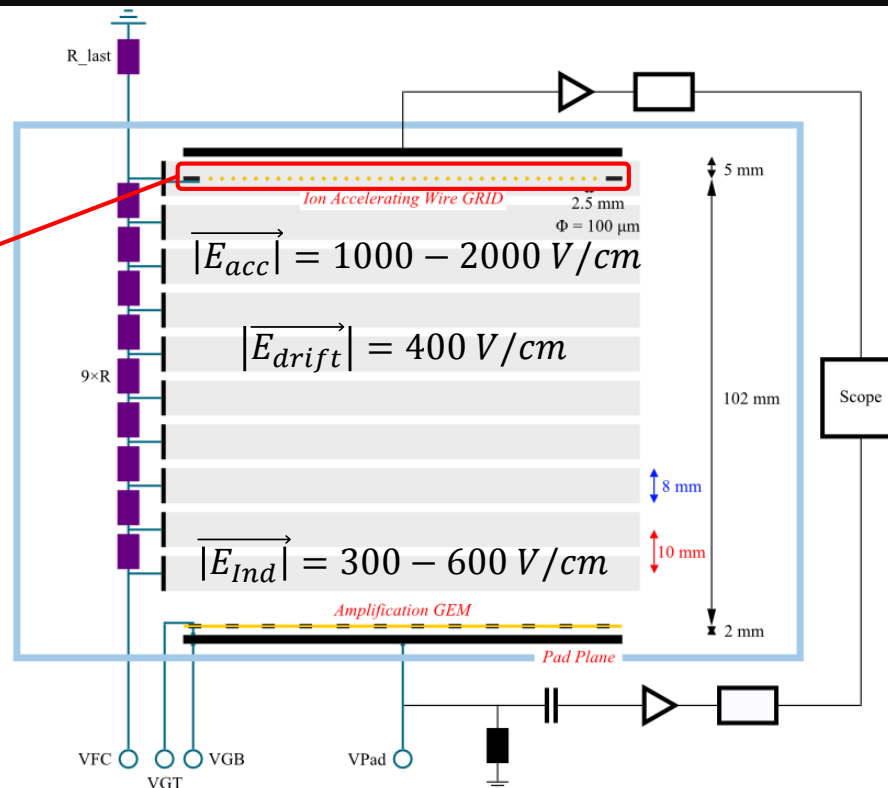
Obrázok vytvorený programovými balíčkami Garfield a Magboltz (driftové trajektórie; ióny = tmavé; elektróny = svetlé; zelené bodky označujú miesto znásobenia elektrónov/iónov)

Driftová komora I



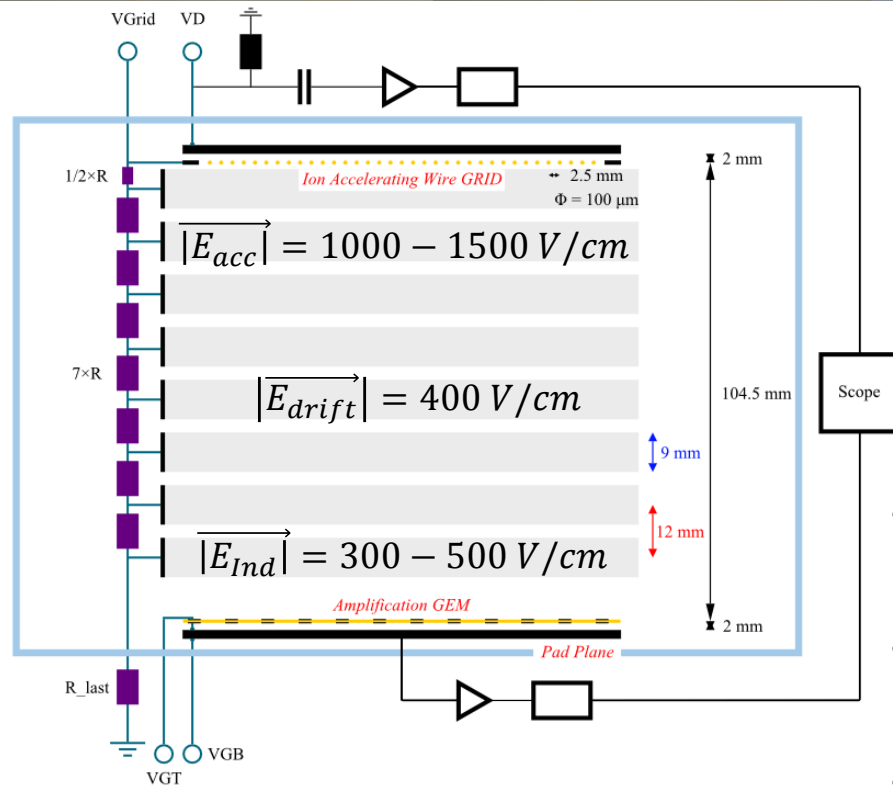
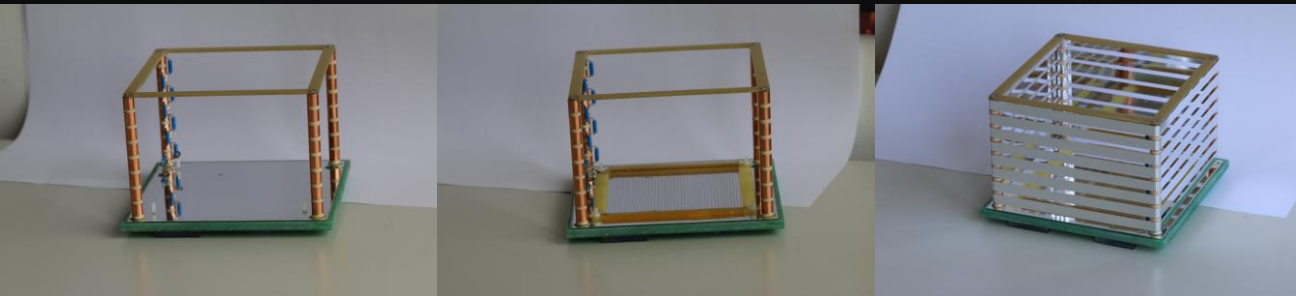
- Driftová komora objemu $\approx 3,4\text{ l}$, naplnená plynom $Ne - CO_2$ [90 % – 10 %] v prietokovom režime pri tlaku 1 atm
- Zdroj ionizujúceho žiarenia sa použil izotop $^{90}_{38}\text{Sr}$ (β^- žiarič s $E_{\beta^-} = 0,546\text{ MeV}$) s frekvenciou vyletujúcich častíc $\approx 10\,000\text{ Hz}$ a taktiež sa do plynovej zmesi pridával $^{220}_{86}\text{Rn}$ (α žiarič s $E_{\alpha} = 6,4\text{ MeV}$)
- Použitie tejto komory s parametrami na obrázku (*) sa však ukázalo byť neúčinné, iónový signál čítaný z vrchnej elektródy (katódy) nebol viditeľný, preto sa od tejto konfigurácie upustilo

Driftová komora II



- Pre neúčinnosť predošlej konfigurácie sa zamenila GEM fólia urýchľujúca ióny za vláknennú mrežu (Wire GRID s rozptylom $\text{Cu} - \text{Be}$ vlákien 2,5 mm a priemerom $100 \mu\text{m}$)
- Kým pri predchádzajúcej konfigurácii k urýchleniu iónov dochádzalo v otvoroch GEM fólie $\sim 50 \text{ kV/cm}$ ale iba na vzdialenosti $\approx 100 \mu\text{m}$
- Použitím vláknenej mreže sa ióny urýchľovali v priestore medzi čítacou katódou a mrežou (5 mm; $1000 - 2000 \text{ V/cm}$)
- Napriek tomu iónový signál bol nečitateľný pre relatívne veľký šum (pri rôznych variáciách nastavení)

Driftová komora III

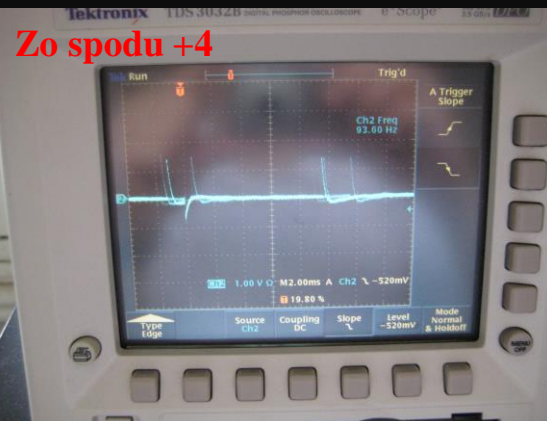


(**)

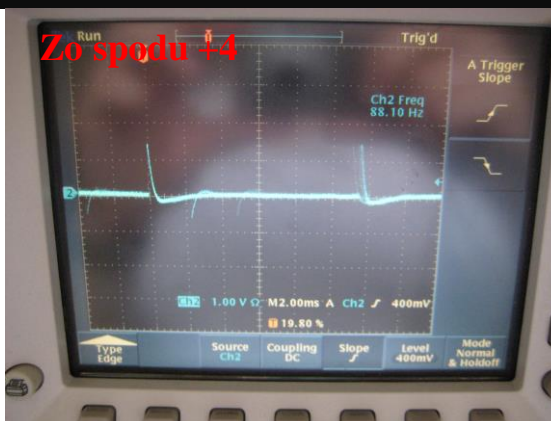
- Po neúspešných pokusoch sa rozhodlo vytvoriť nový field cage s novým umiestnením vláknennej mriežky voči čítacej katóde
- Na určenie presnej vzdialenosti (2 mm) medzi mriežkou a katódou sa využili výsledky simulácií pomocou programu Garfield
- Z časových dôvodov bolo nutné zredukovať počet striepok nachádzajúcich sa vo field cage-i (z predošlých 10 na 8)

Driftová komora III – výstupy na osciloskope

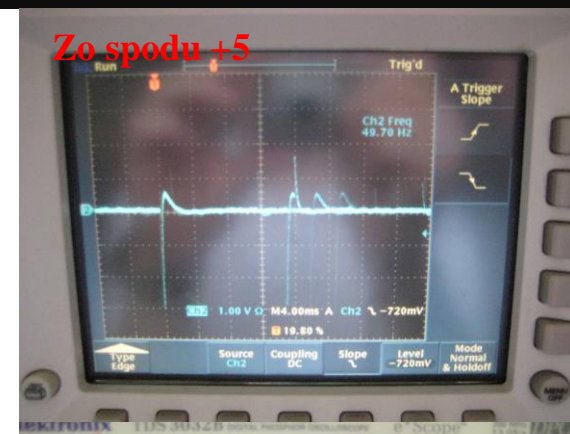
Zo spodu +4



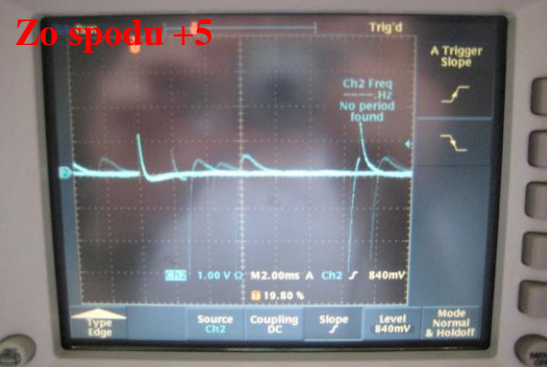
Zo spodu +4



Zo spodu +5



Zo spodu +5



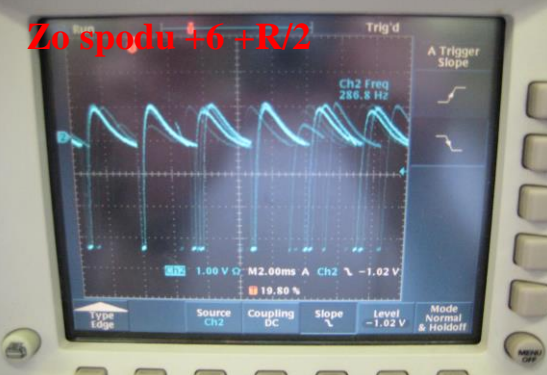
Zo spodu +6



Zo spodu +6



Zo spodu +6 +R/2



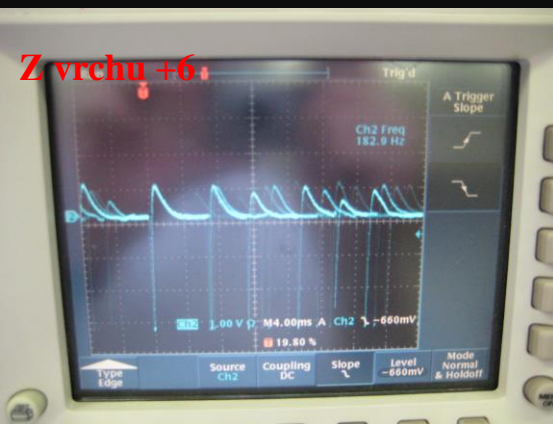
Zo spodu +6 +R/2



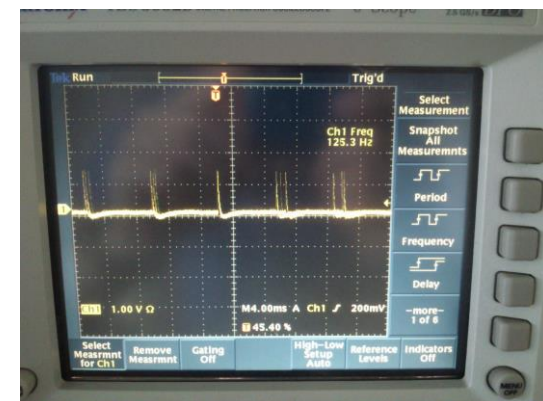
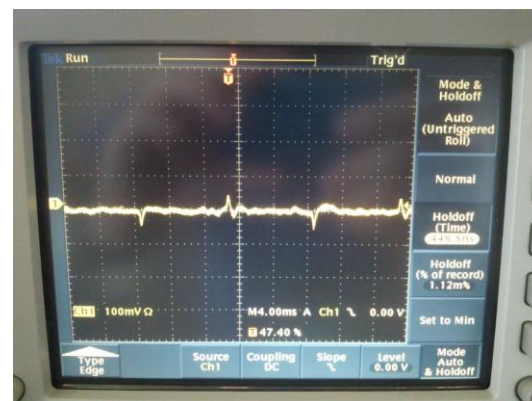
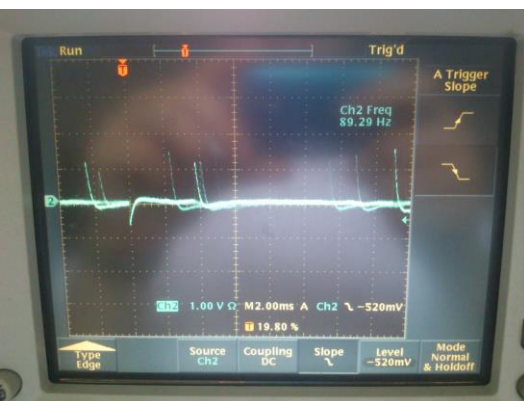
Z vrchu +1



Driftová komora III – výstupy na osciloskope

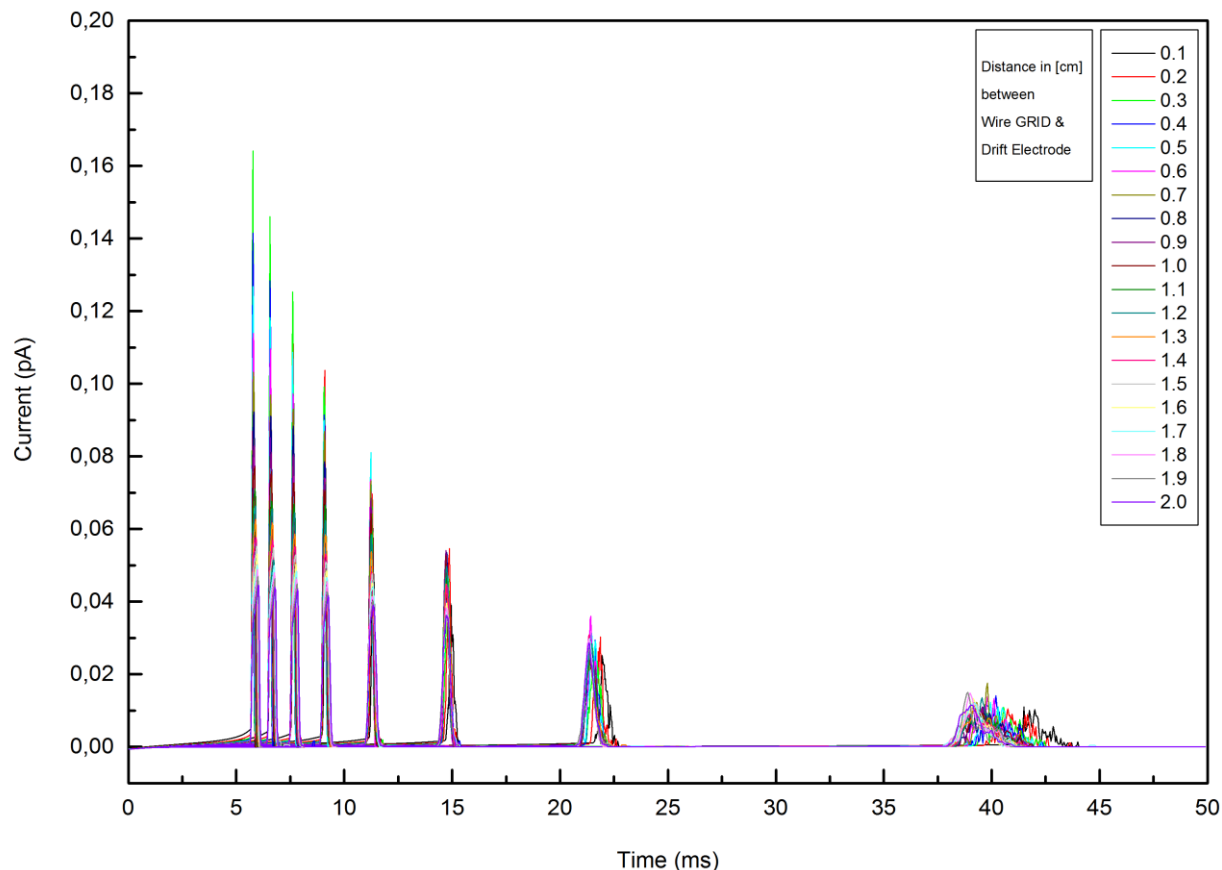


- Pri meraniach poslednou konfiguráciou III sa okrem chaotického šumu objavil periodický šum s relatívne veľkou amplitúdou $\sim 4 V$ (šum mal krátku nábehovú hranu ale na rozdiel od klasických signálov pochádzajúcich od výbojov preukazoval výraznú periodicitu, šum bol prítomný bez použitia žiadneho zdroja ionizujúceho žiarenia)
- Na predchádzajúcich obrázkoch sú zobrazené výstupy z osciloskopu pri postupne „bajpasovaných“ rezistoroch z deliča napätia
- Z uvedených obrázkov (a tak tiež i pri iných variáciách bajpasovania rezistorov) je veľmi komplikované vytvoriť ucelený záver
- V ďalšom sme sa pokúšali od filtrovať periodický šum z elektrickej siete (neúspešne) a tiež sme sa snažili zredukovať vplyv z vonkajšieho okolia premiestnením aparatúry do iného laboratória (neúspešne)



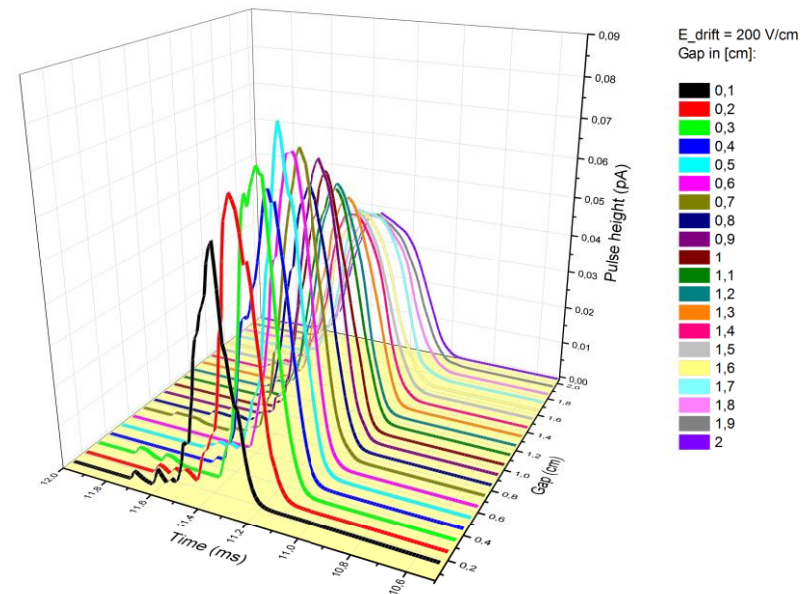
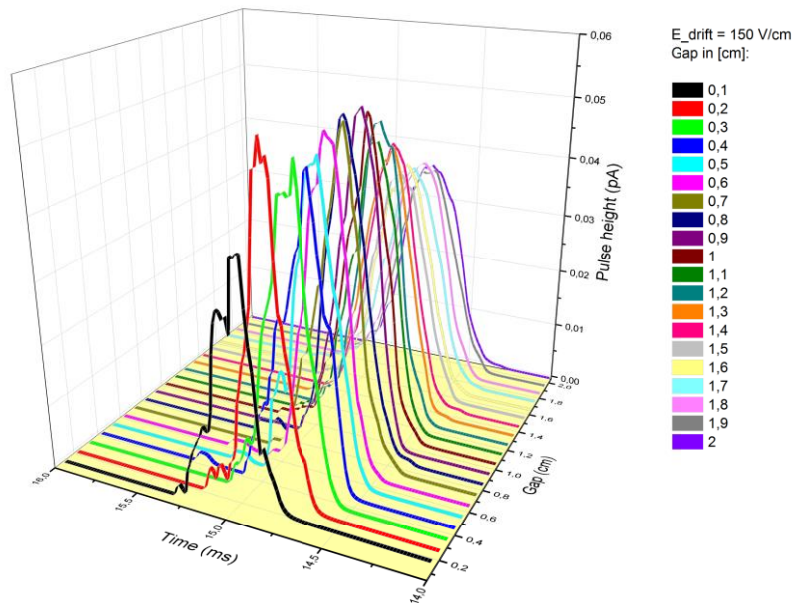
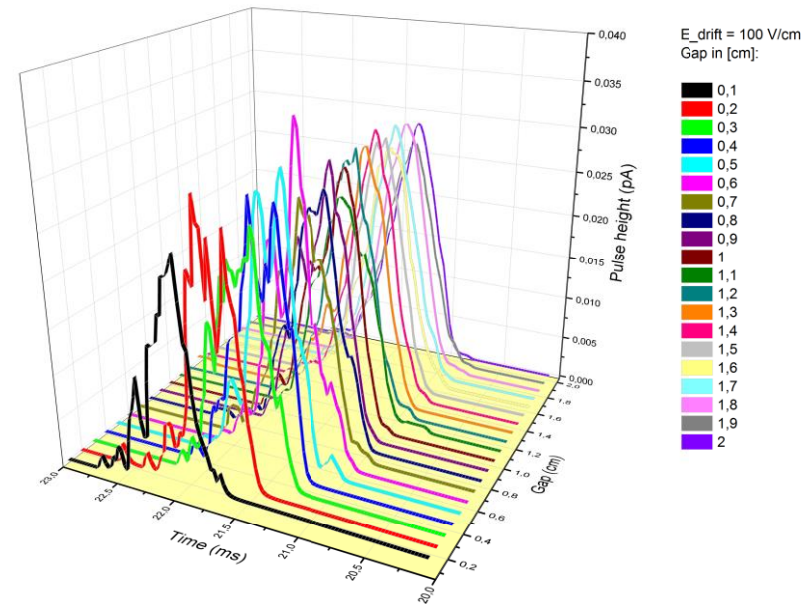
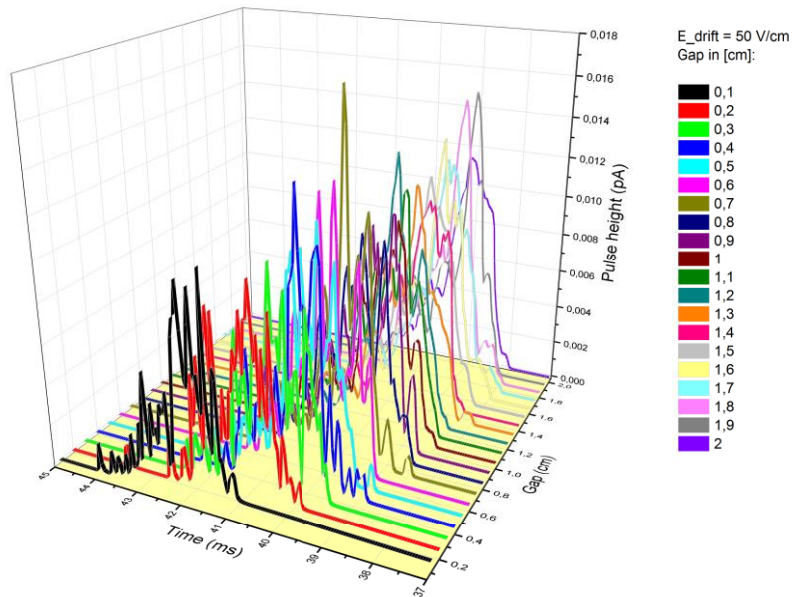
Simulácie v programe Garfield

- Cieľom simulácie bolo nájsť najoptimálnejšiu vzdialenosť medzi vlákennou mrežou a čítacou katódou
- Pri simuláciách sa využil programový balík Garfield (<http://garfield.web.cern.ch/garfield/>)
- Za východiskový bod sa použila geometria podobná obrázku (**), v simulácii sa však väčší dôraz kládol práve na určenie vzdialenosti medzi mrežou a katódou (nešlo o detailné simulovanie celej geometrie komory so všetkými možnými vplyvmi)
- Na grafe sú zobrazené tvary signálov a ich pozícia v čase pre driftové polia od 50 V/cm do 400 V/cm krokom 50 V/cm a pre rôzne vzdialenosti mreža – katóda od $0,1\text{ cm}$ do 2 cm krokom $0,1\text{ cm}$

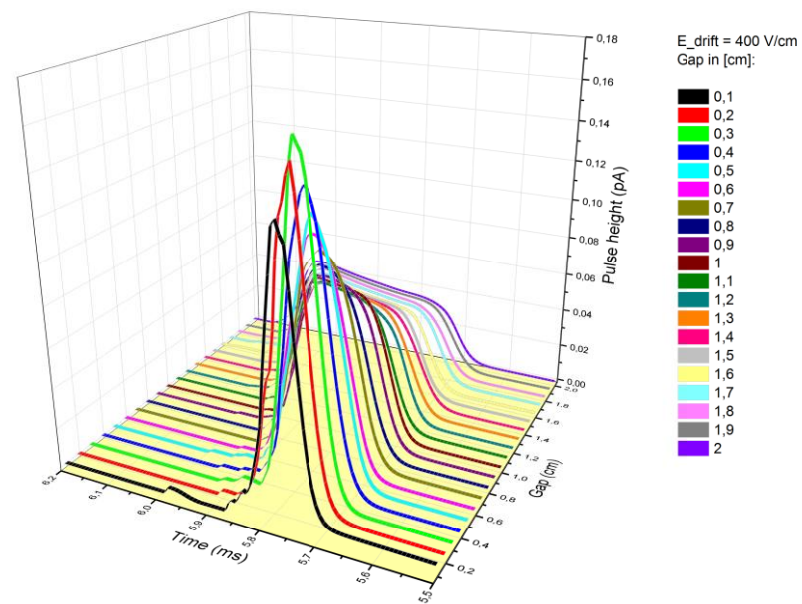
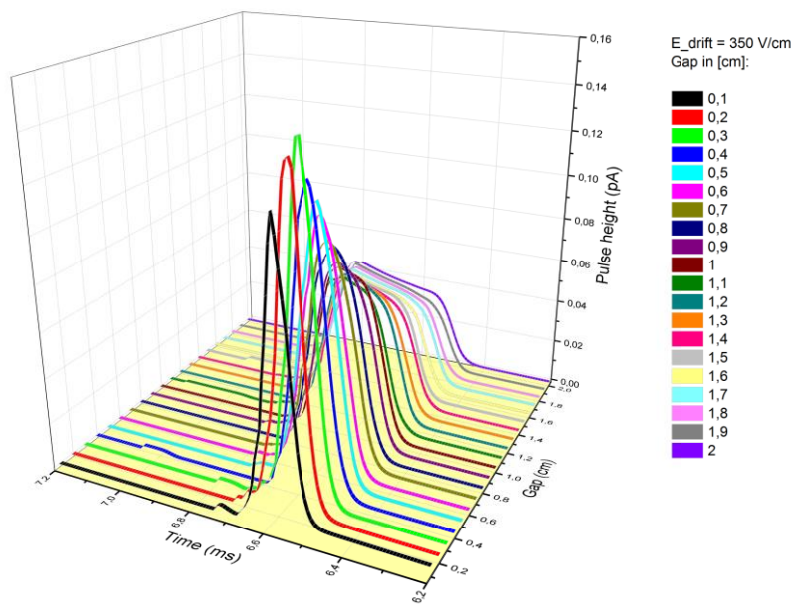
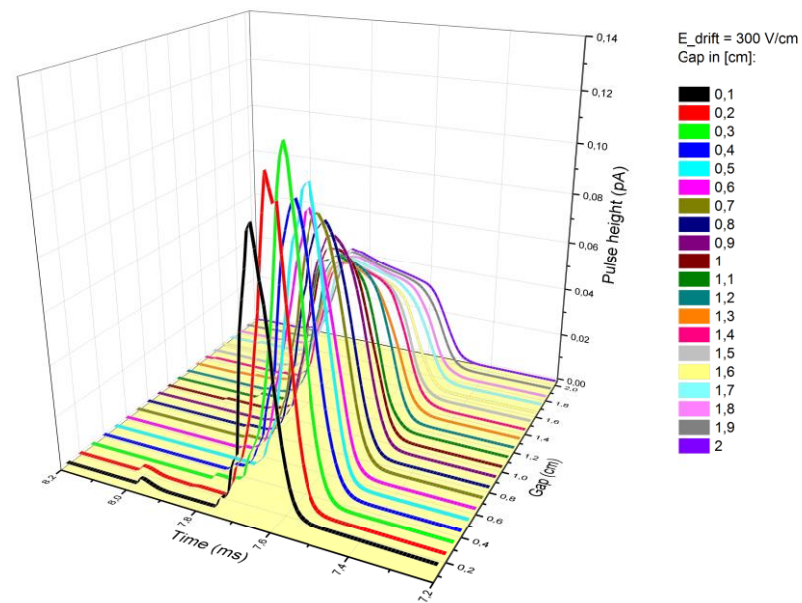
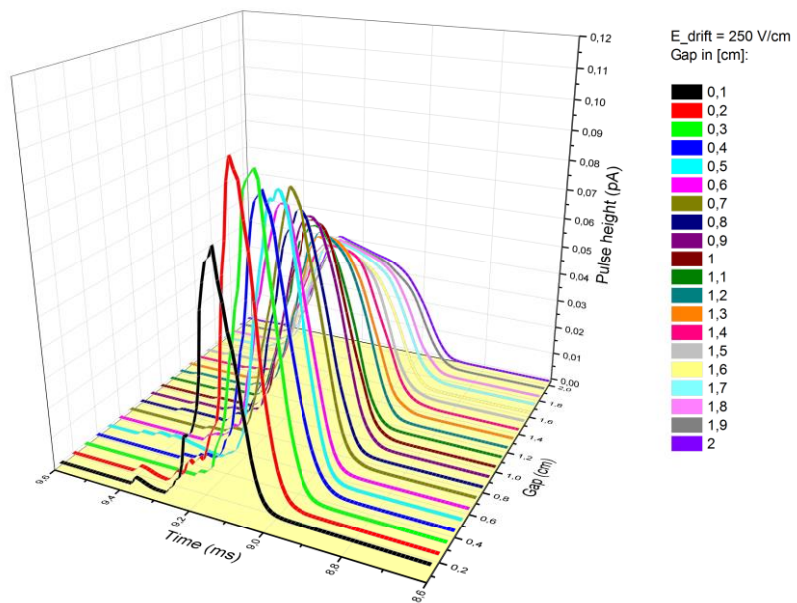


- Na nasledujúcich slide-och sú jednotlivé píky pre prislúchajúce driftové polia zobrazené vo väčšom detaile

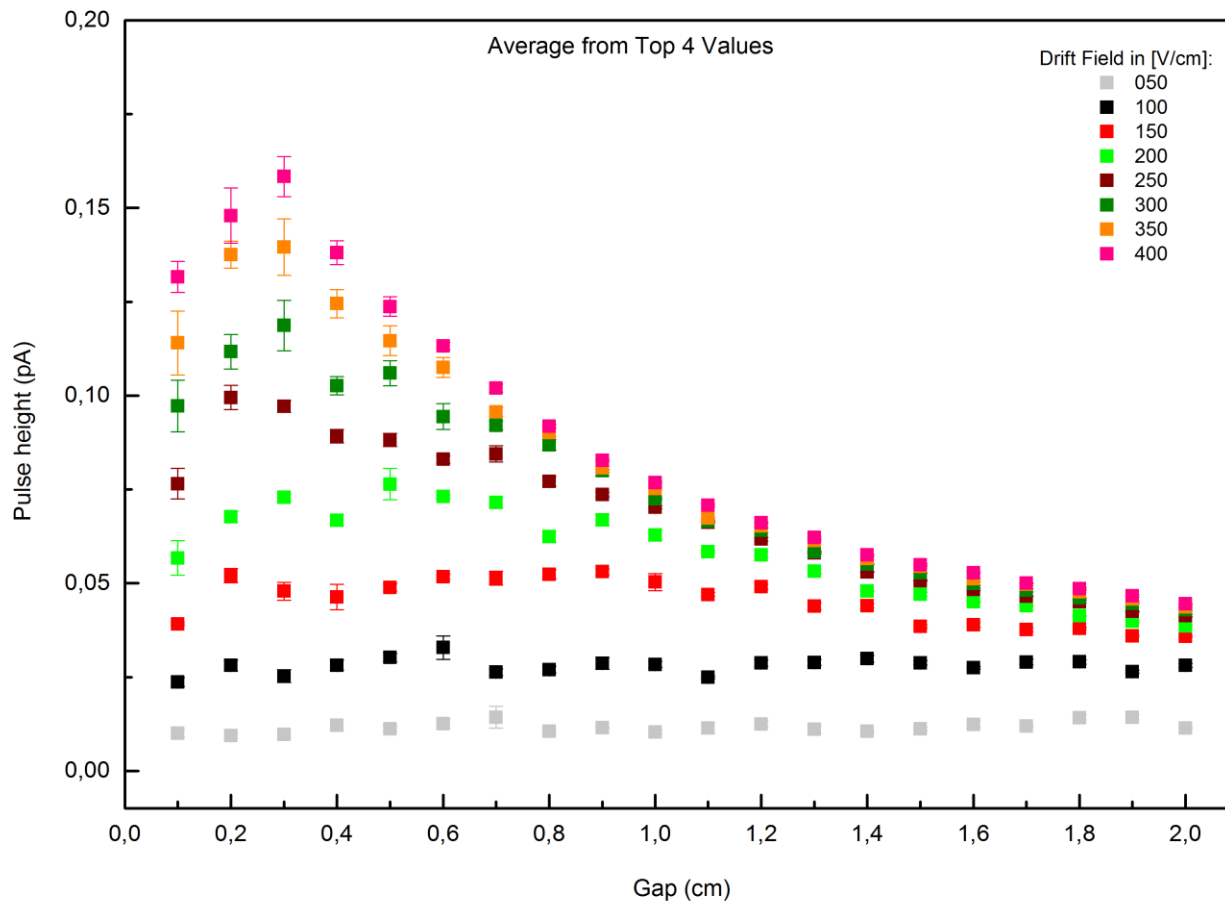
Simulácie v programe Garfield



Simulácie v programe Garfield

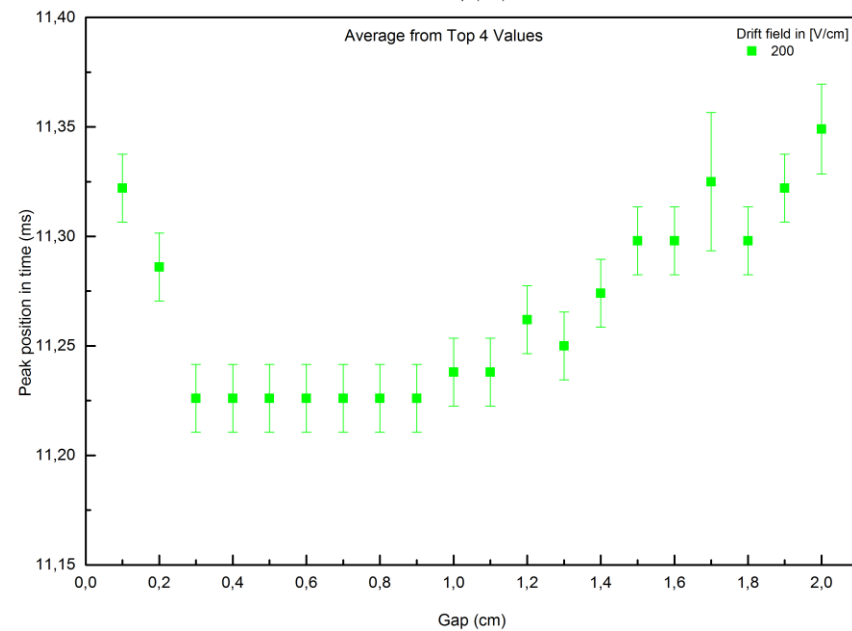
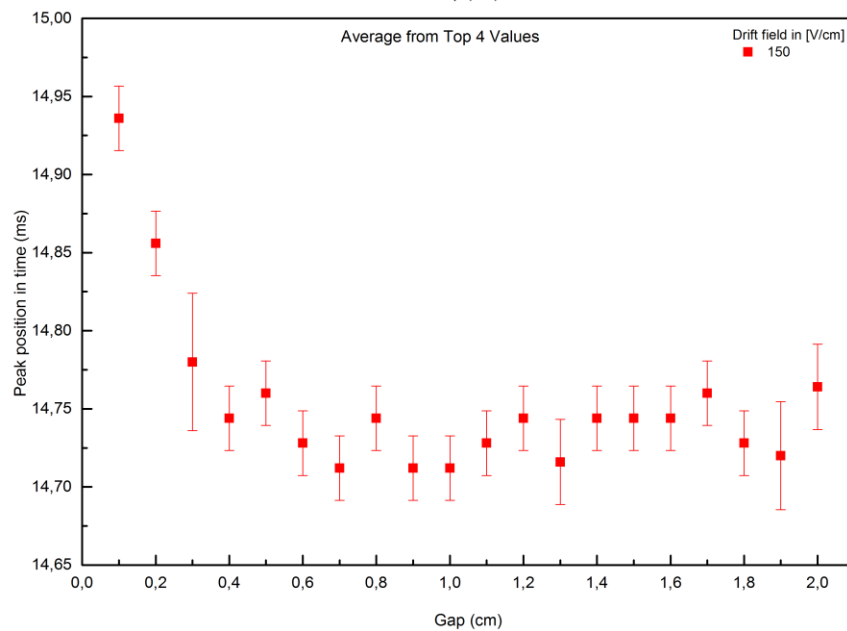
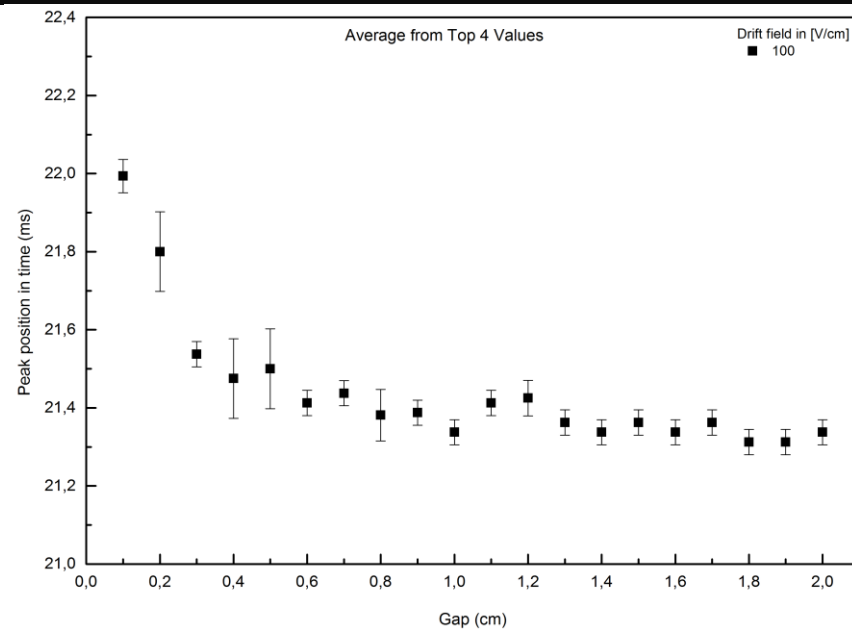
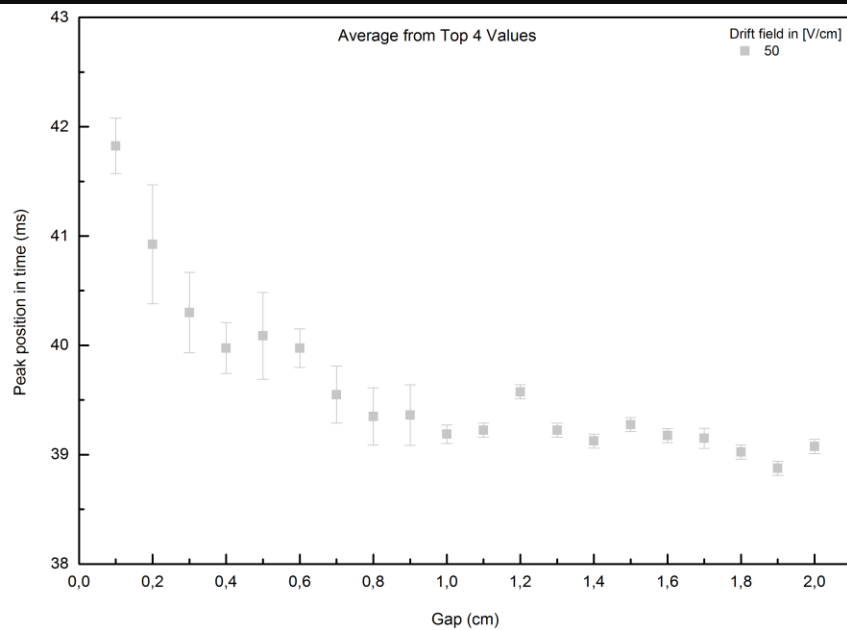


Simulácie v programe Garfield

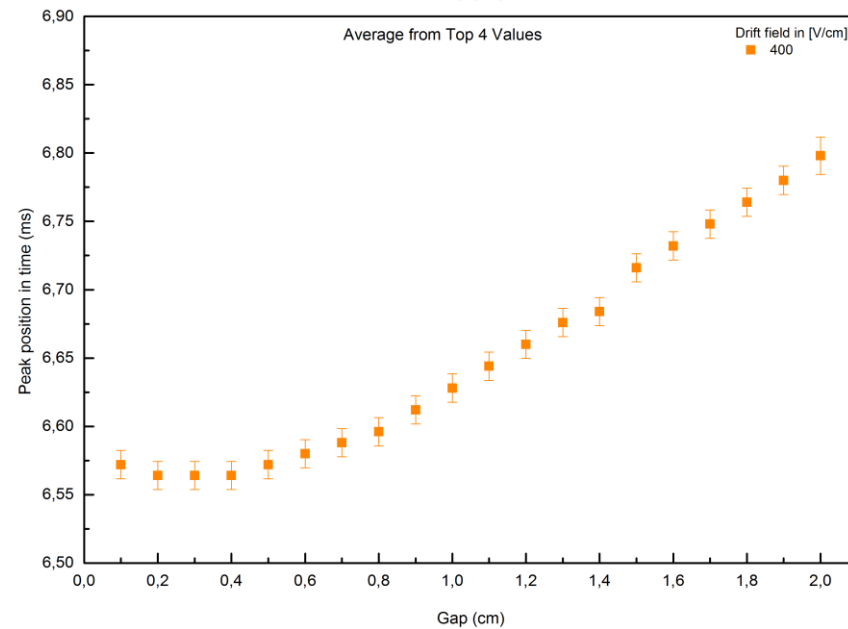
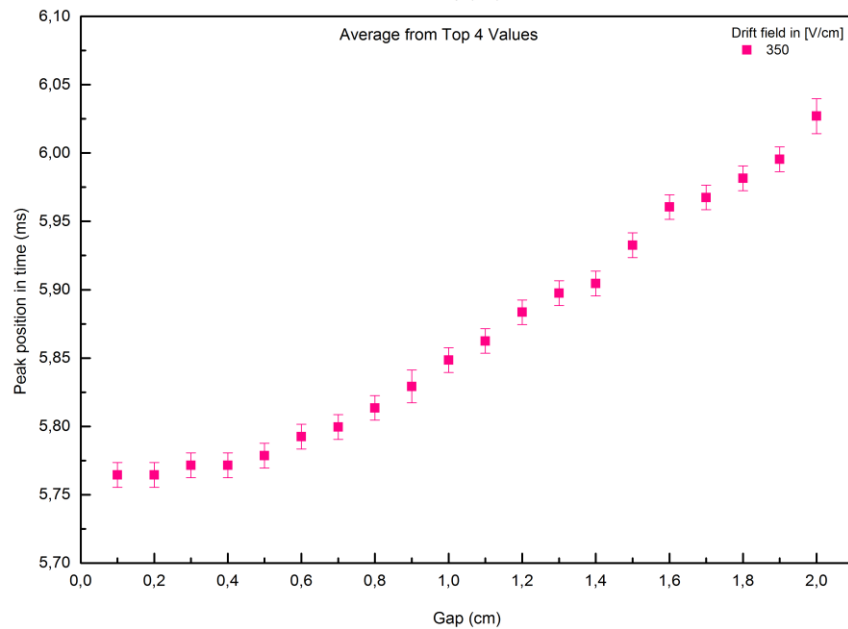
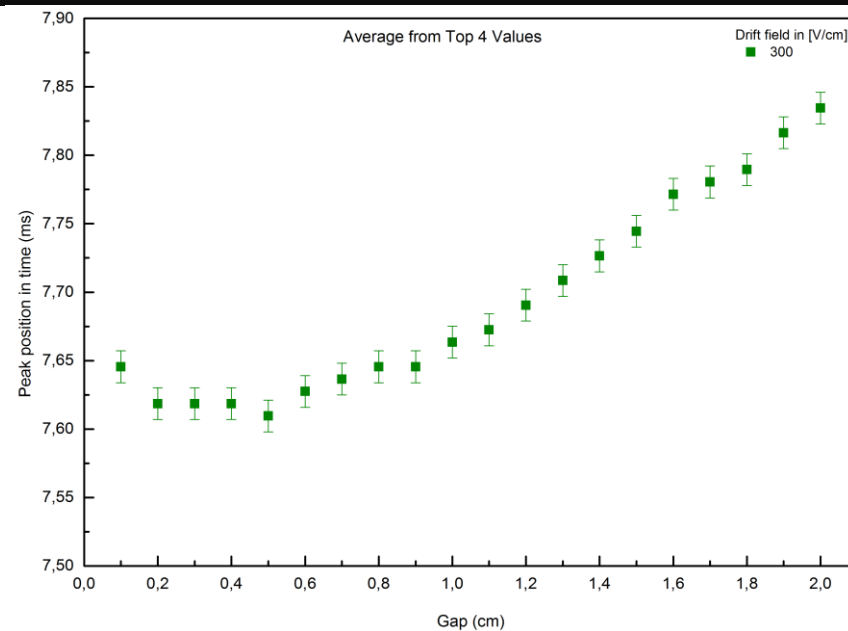
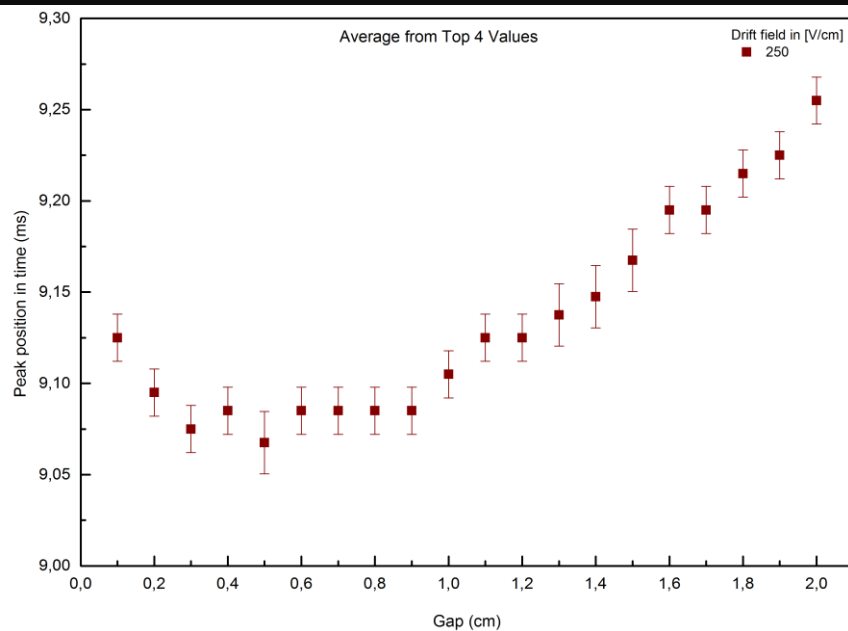


- Na grafe sú zobrazené stredné hodnoty zo 4 najväčších hodnôt pík (vrcholov pík) v závislosti od vzdialenosti mreža – katóda pre rôzne driftové polia
- Z grafu vidno, že maximálne amplitúdy pík signálov dostávame pre malé vzdialenosti (0,2 – 0,3 cm)
- Na nasledujúcich slide-och sú zobrazené závislosti stredných hodnôt zo 4 najväčších hodnôt pík v závislosti od vzdialenosti mreža – katóda pre rôzne driftové polia, ale na y-ovej osi je zobrazená ich poloha v čase

Simulácie v programe Garfield



Simulácie v programe Garfield



Zhrnutie výsledkov

- Boli postupne vytvorené 3 konfigurácie driftovej komory s GEM fóliou (zdroj kladných iónov)
- V prvých dvoch boli pozorované elektrónové signály s pomerom šum/signál $\approx 50 - 60 \%$
- V tretej konfigurácii nebolo možné pozorovať elektrónový signál v dôsledku prítomnosti periodického šumu s veľkou amplitúdou
- Bohužiaľ ani v jednej konfigurácii nebol pozorovaný iónový signál
- Simulácie v programe Garfield priniesli užitočné výsledky pri projektovaní nových driftových komôr využívajúcich napr. GEM fóliu, napr. ukazujú mieru rozptylu pozície píku v čase (v niektorých prípadoch rádov $\approx 1 \text{ ms}$)



ĎAKUJEM ZA POZORNOSŤ



ALICE



Výsledky riešenia projektu „Výskum zvýšenia rýchlosti zberu dát v rámci inovácie detektora TPC ALICE v CERN-e“ boli dosiahnuté s podporou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR v rámci poskytnutia dotácie v zmysle § 8a zákona č.172/2005 Z. z. o organizácii štátnej podpory výskumu a vývoja a o doplnení zákona č. 575/2001 Z. z. o organizácii činnosti vlády a organizácii ústrednej štátnej správy v znení neskorších predpisov v platnom znení.