

Karakterizacija detektorskih modulov za spremljanje protonskih curkov za nadgradnjo sledilnika spektrometra ATLAS

F9 SEMINAR- PREDSTAVITEV MAGISTRSKE NALOGE

Avtor: Miha Mali

Mentor: prof. dr. Marko Mikuž
Somentor: dr. Andrej Gorišek



Univerza v Ljubljani

Fakulteta za matematiko in fiziko

Oddelek za fiziko

Študijski program fizika in smer Fizika
jedra in osnovnih delcev

Uvod

Veliki hadronski trkalnik (LHC):

- odkrivanje novih pojavov
- dva curka protonov z energijo delcev do 7 TeV
- nadgradnja na HL-LHC

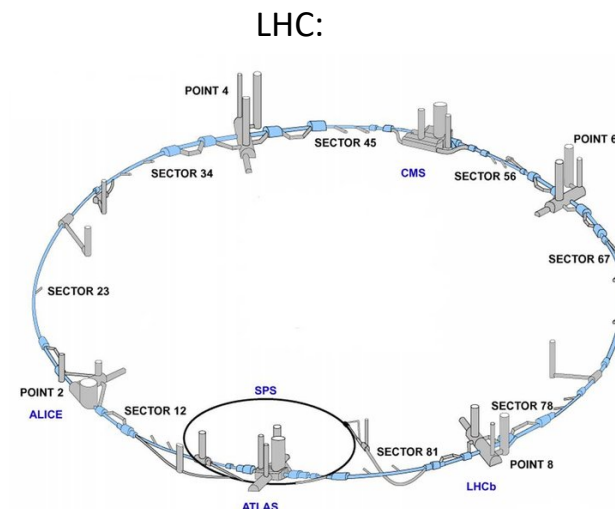


Nevarnost poškodb trkalnika in detektorjev.

Detektorski sistem BCM' za spremljanje curkov:

- del detektorja: bralni čip Calypso

Karakterizacija modulov z nameščenim čipom Calypso.



Nadgradnja LHC-ja in detektorja ATLAS

Trenutna luminoznost: $\frac{dR}{dt} = \mathcal{L} \cdot \sigma$

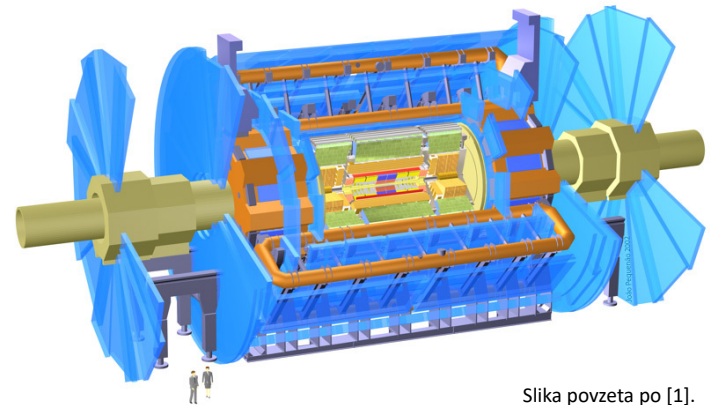
Integrirana luminoznost: $\mathcal{L}_{int} = \int \mathcal{L} dt$

Pričakovana integrirana luminoznost HL-LHC: $\sim 3000-4000 \text{ fb}^{-1}$

Nadgradnja detektorja ATLAS:

- zamenjava obsevanih komponent
- nadgradnja zmogljivost
- novi sistem BCM'

Detektor ATLAS:



Slika povzeta po [1].

Sistem BCM' za spremljanje protonskih curkov

Namen: zaznavanje nestabilnosti protonskih curkov in meritev luminoznosti.

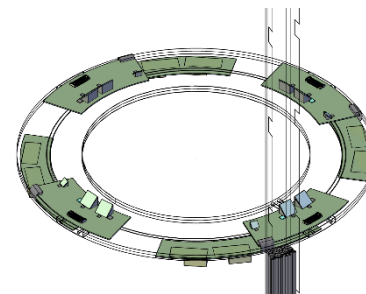
Dva detektorska obroča z diamantnimi senzorji in bralnimi čipi Calypso.

Zaznani delci ozadja so znak nestabilnosti curkov.

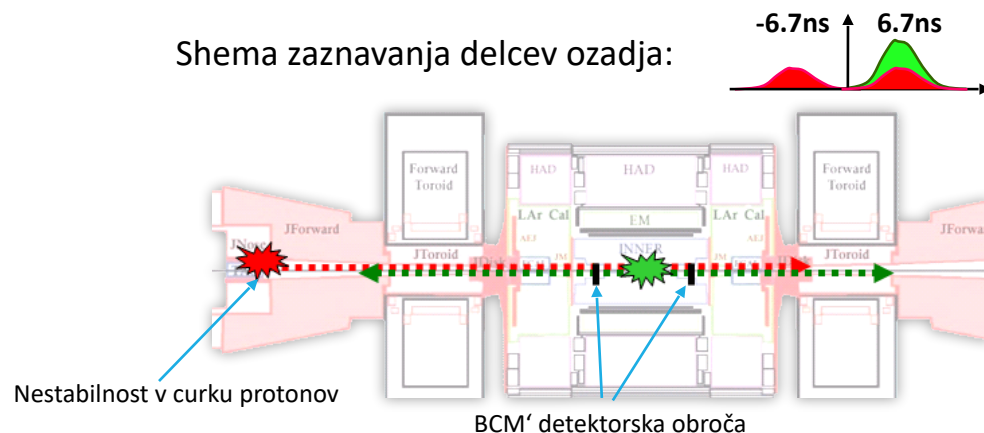
Odziv detektorja: nekaj nanosekund

Nadzorovan izmet curka: $<360 \mu\text{s}$

Detektorski obroč:



Shema zaznavanja delcev ozadja:



Bralni čip Calypso

Pretvorba zaznane ionizacije na pCVD diamantu v ToT in ToA signal.

4x

Vhodni kanal



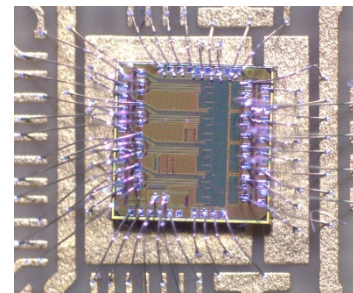
Analogni izhod + 2 diferencialna izhoda

Nastavljiv prag za proženje diferencialnih izhodov čipa pri konstantnem deležu signala.

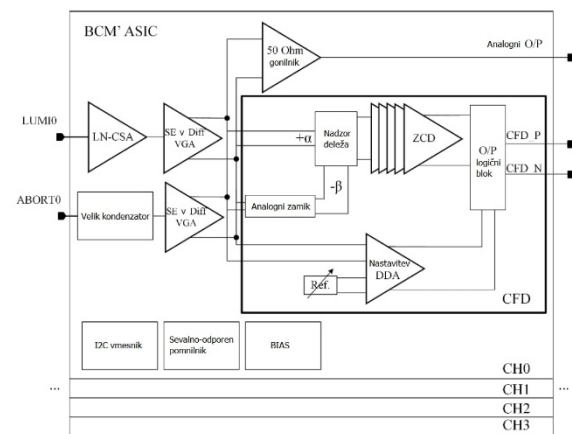
Čip grajen v 65 nm sevalno odporni tehnologiji, vzdrži TID vsaj 3 MGy (300 Mrad).

Razmerje signal/šum po obsevanju večje od 10.

Čip Calypso na testnem modulu:



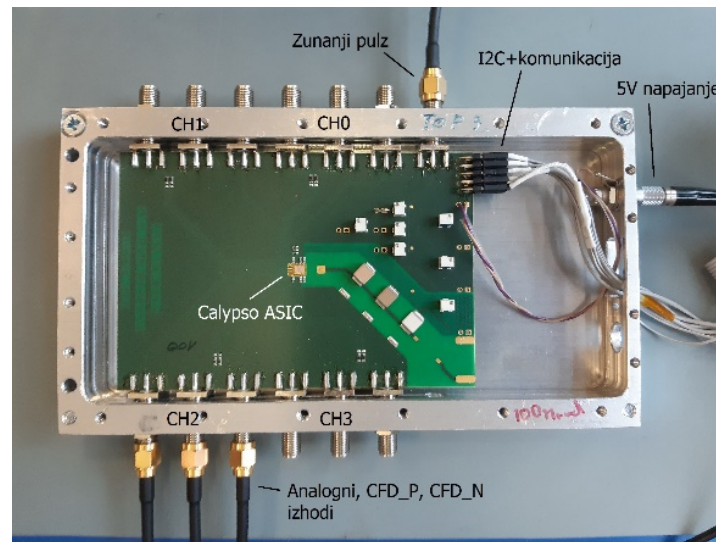
Shema bralnega vezja:



Karakterizacija detektorskih modulov

- Vpliv različne TID na delovanje čipa Calypso.
- Pričakovan signal in razmerje signal/šum za meritve z minimalno ionizirajočimi delci (MIP).

Detektorski modul



Meritve z zunanjim pulzerjem

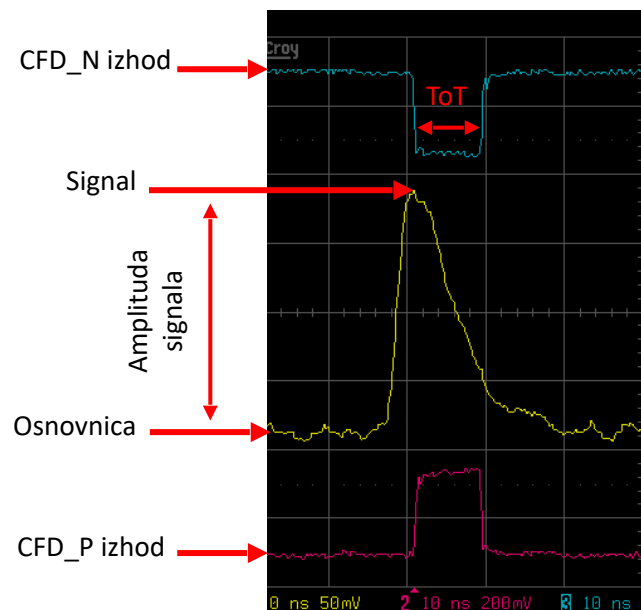
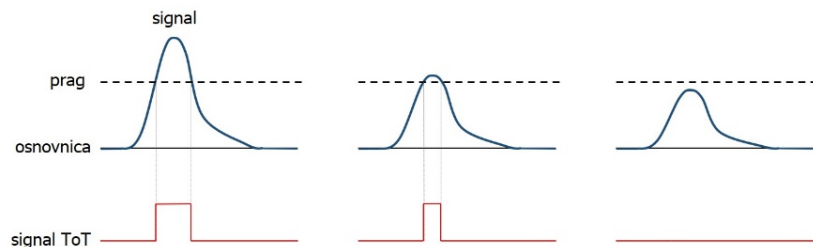
Simulacija odziva diamantnega senzorja.

Testiranje vseh analognih in kvazi-digitalnih (CFD) izhodov z osciloskopom.

Moduli:

Modul	TID [MGy]	TID [Mrad]
OSU2	0	0
OSU4	0	0
LJU100	1	100
LJU300	3	300

Čas nad pragom (ToT):



Meritve z zunanjim pulzerjem: ojačanje zunanjega pulza

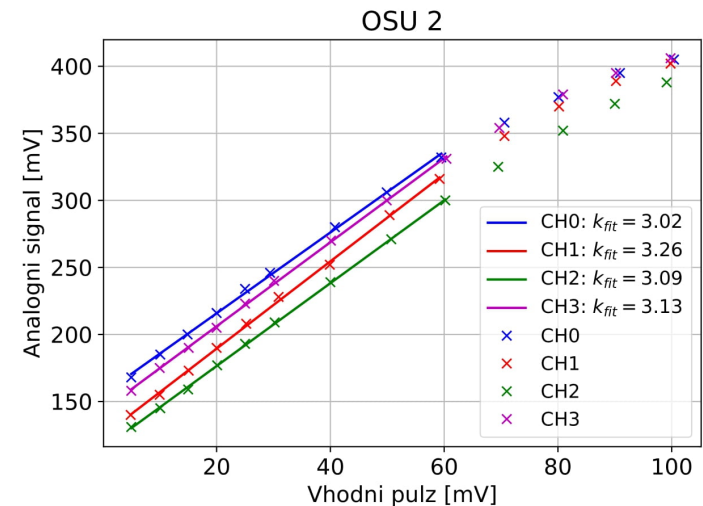
Višina analognega signala v odvisnosti od amplitude zunanjega pulza.

Izračunano ojačanje G: $G = \frac{k}{e_0 \cdot K_e} \text{ [mV/fC]}, \quad K_e = 468.75 \text{ e/mV}$

Preračunano ojačanje G v enotah mV/fC:

Modul	G_{CH0}	G_{CH1}	G_{CH2}	G_{CH3}
OSU2	40.21 ± 0.74	43.41 ± 0.66	41.14 ± 0.62	41.68 ± 0.64
OSU4	40.61 ± 0.60	40.74 ± 0.63	41.28 ± 0.65	40.88 ± 0.66
LJU100	36.88 ± 0.71	38.21 ± 0.65	38.61 ± 0.69	37.68 ± 0.66
LJU300	45.40 ± 0.60	43.94 ± 0.72	49.27 ± 0.94	41.68 ± 0.72

Meritev odvisnosti:

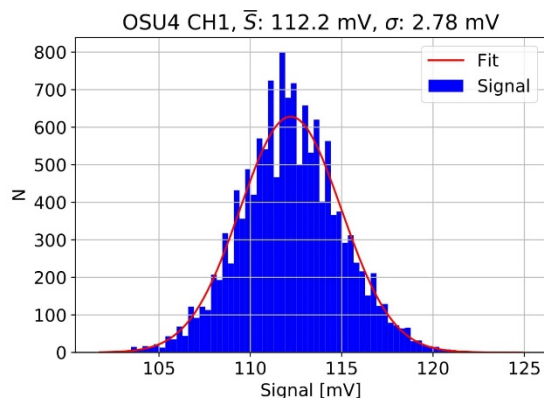


Meritve z zunanjim pulzerjem: karakterizacija analognih izhodov

Meritev osnovnice in šuma pred analognim signalom.

Ločljivost osciloskopa: 0.3125 mV

Porazdelitev vrednosti za en kanal:



Izmerjene vrednosti osnovnice:

Modul	CH0 S_B	CH1 S_B	CH2 S_B	CH3 S_B
OSU2	149.0 mV	121.4 mV	113.1 mV	138.7 mV
OSU4	106.4 mV	112.2 mV	102.9 mV	129.5 mV
LJU100	185.0 mV	138.5 mV	148.2 mV	142.9 mV
LJU300	63.8 mV	98.0 mV	149.8 mV	117.9 mV

Izmerjene vrednosti šuma:

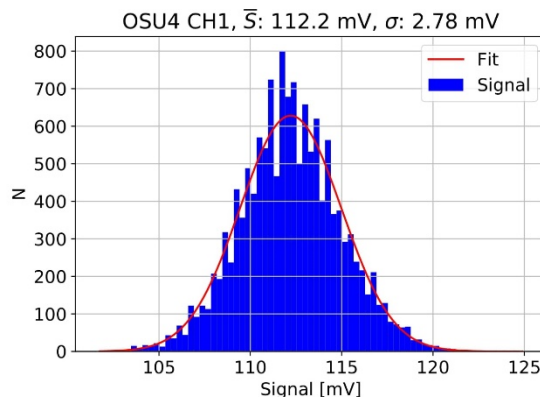
Modul	CH0 σ_S	CH1 σ_S	CH2 σ_S	CH3 σ_S
OSU2	2.91 mV	2.59 mV	2.45 mV	2.54 mV
OSU4	2.63 mV	2.78 mV	2.77 mV	2.86 mV
LJU100	3.05 mV	2.83 mV	3.03 mV	2.90 mV
LJU300	2.61 mV	3.06 mV	4.09 mV	3.14 mV

Meritve z zunanjim pulzerjem: karakterizacija analognih izhodov

Meritev osnovnice in šuma pred analognim signalom.

Ločljivost osciloskopa: 0.3125 mV

Porazdelitev vrednosti za en kanal:



Izmerjene vrednosti osnovnice:

Modul	CH0 S_B	CH1 S_B	CH2 S_B	CH3 S_B
OSU2	149.0 mV	121.4 mV	113.1 mV	138.7 mV
OSU4	106.4 mV	112.2 mV	102.9 mV	129.5 mV
LJU100	185.0 mV	138.5 mV	148.2 mV	142.9 mV
LJU300	63.8 mV	98.0 mV	149.8 mV	117.9 mV

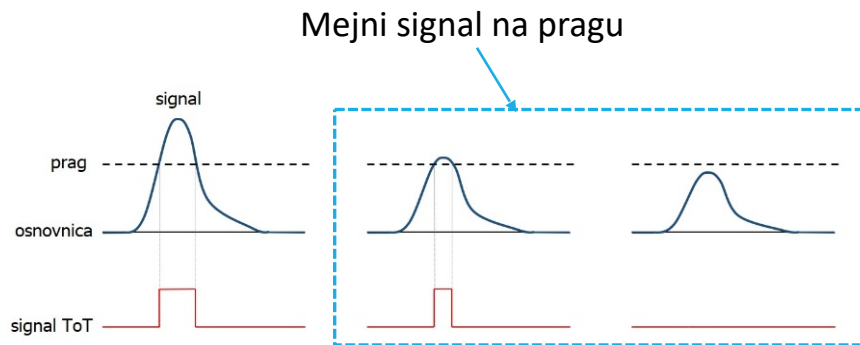
Izmerjene vrednosti šuma v **elektronih**:

Modul	CH0 σ_S	CH1 σ_S	CH2 σ_S	CH3 σ_S
OSU2	452 e	372 e	372 e	380 e
OSU4	404 e	426 e	419 e	437 e
LJU100	516 e	462 e	490 e	480 e
LJU300	359 e	435 e	518 e	470 e

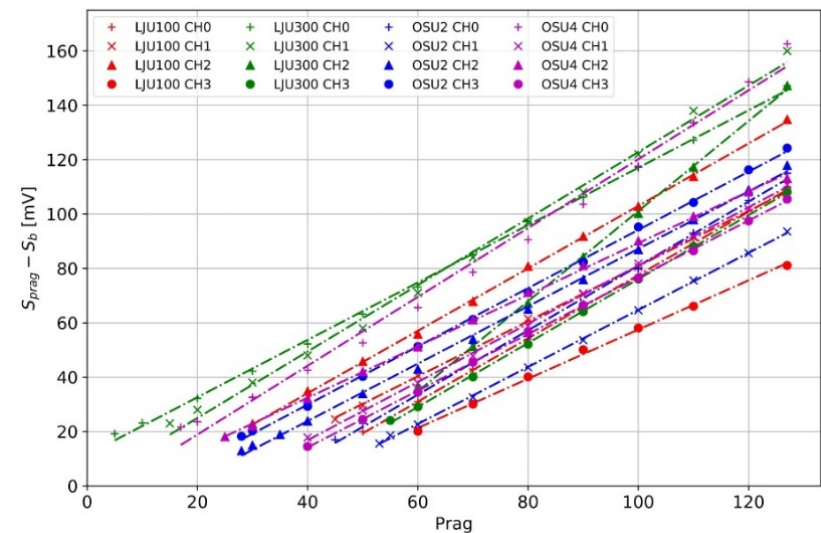
Meritve z zunanjim pulzerjem: spreminjanje praga CFD

Določanje mejnega analognega signala za različno izbran prag CFD.

Proženje na kvazi-digitalnem diferencialnem pulzu ToT, povprečenje vsaj 200 valovnih oblik.



Izmerjene amplitude signala na pragu:



Meritve z zunanjim pulzerjem: spreminjanje praga CFD

Določanje mejnega analognega signala za različno izbran prag CFD.

Proženje na kvazi-digitalnem diferencialnem pulzu ToT, povprečenje vsaj 200 valovnih oblik.

Signal pri najnižjem in najvišjem pragu, preračunan v elektronih:

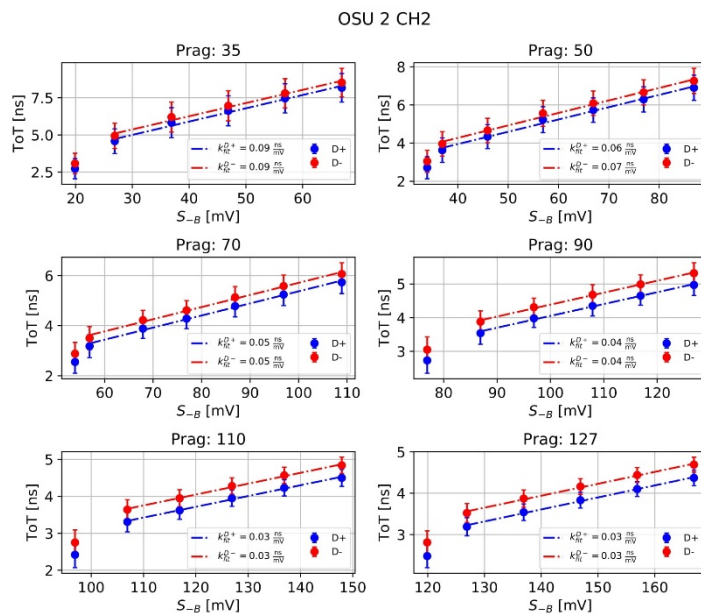
Modul	CH1		CH2		CH3		CH4	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
OSU2	2639	17850	2421	14528	2002	18300	2836	19289
OSU4	3320	24990	2736	17029	2782	17382	2228	16214
LJU100	3384	18615	4146	18192	3858	22811	3401	13724
LJU300	2639	20235	3162	21994	4976	20235	3313	14860

Meritve z zunanjim pulzerjem: karakteristike diferencialnih izhodov

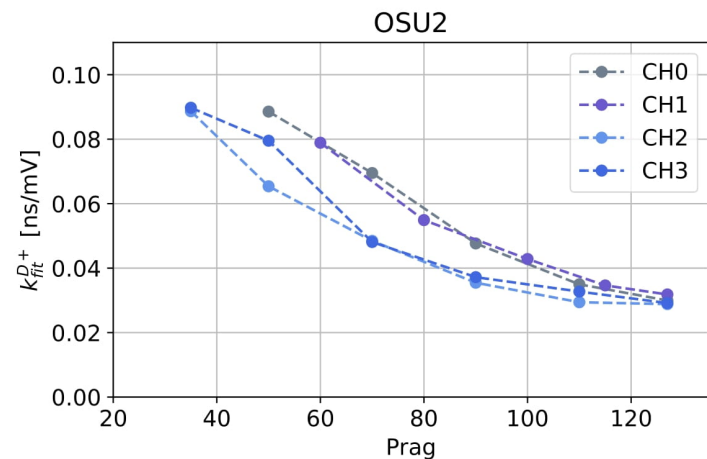
Dolžina diferencialnih D+ in D- signalov ToT v odvisnosti od amplitude analognega signala (S_B).

Linearna funkcija prilagojena odvisnosti ToT od S_B .

Meritve za en kanal:

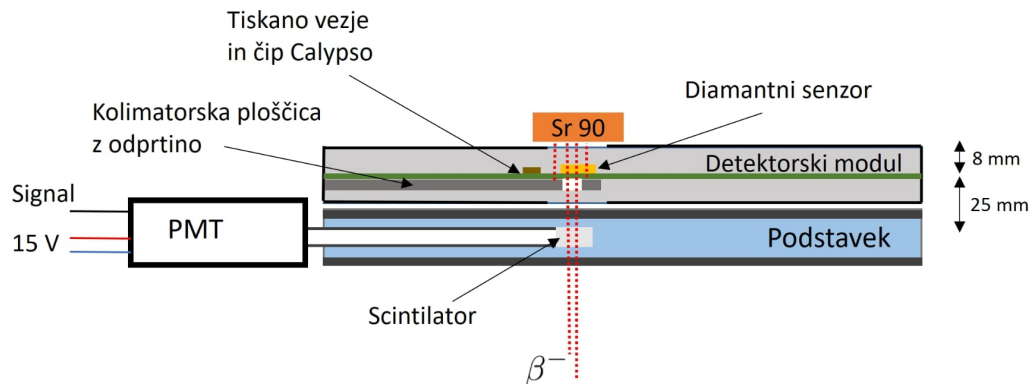


Primerjava koeficientov linearne funkcije:

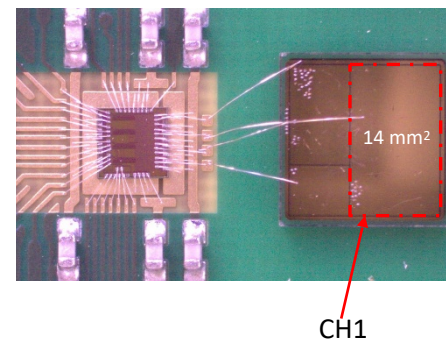


Meritve minimalno ionizirajočih delcev z nameščenim pCVD diamantom

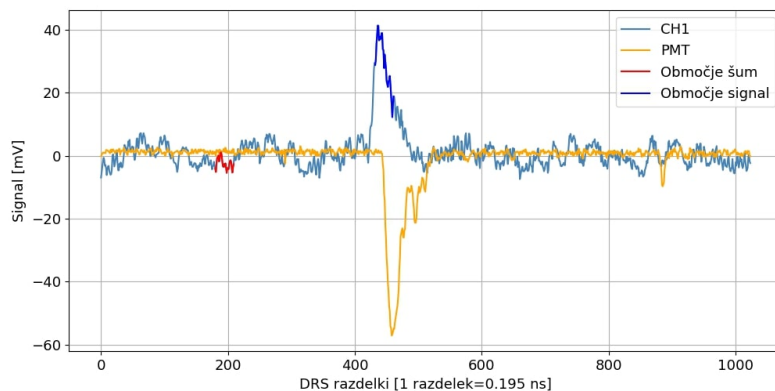
Laboratorijska postavitve za meritve delcev MIP:



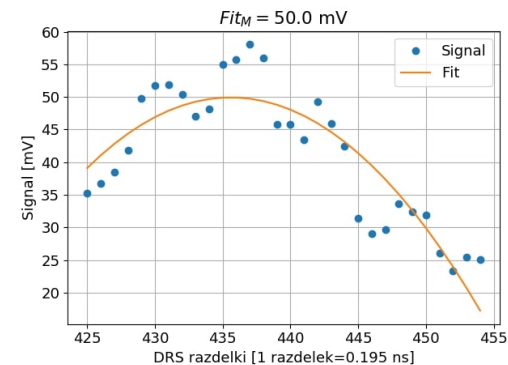
Diamantni senzor povezan na neobsevan čip Calypso:



Pričakovana valovna oblika:



Določanje signala delca MIP:



Meritve delcev MIP

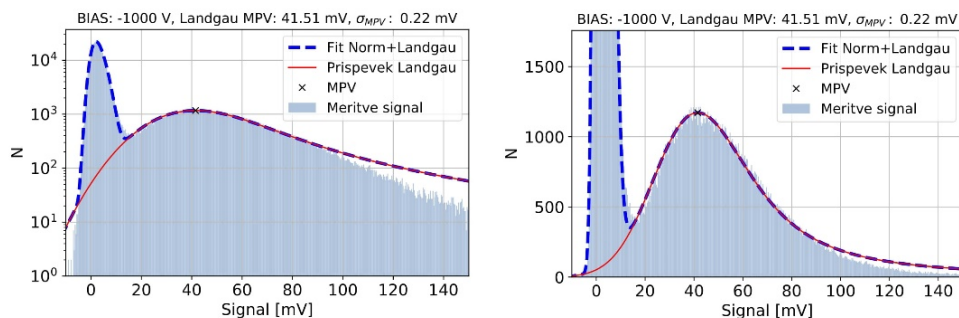
Meritvi pri napetostih 1000 V in -1000 V na diamantnem senzorju.

Porazdelitvi signalov prilagojena funkcija:

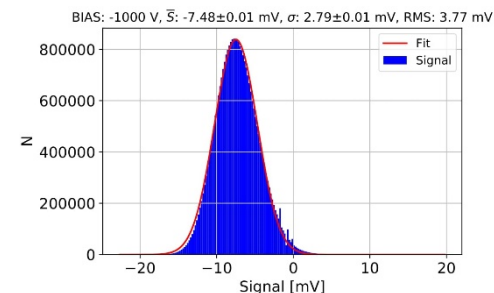
$$f = \text{Norm}_{\text{skew}} + \text{Landgau}$$

Poševna normalna
porazdelitev (šum)
Konvolucija
Landau*Gauss (signal)

Porazdelitev signalov in določena vrednost MPV pri -1000 V:



Določitev osnovnice in velikosti šuma:



Izračunani rezultati in razmerje signal/šum (S/N):

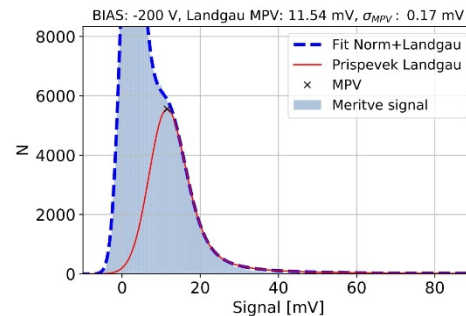
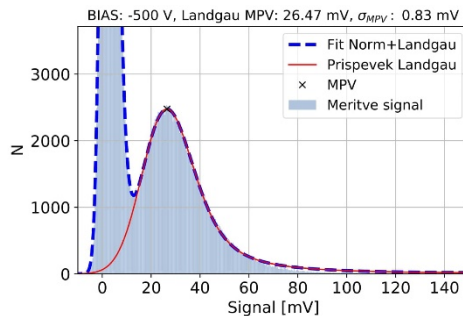
Visoka napetost	Šum	MPV	S/N
-1000 V	2.79±0.01 mV	41.51±0.22 mV	14.9±0.10
+1000 V	2.60±0.01 mV	34.24±0.23 mV	13.2±0.10

Meritve delcev MIP: meritve pri nižjih negativnih napetostih

Meritvi pri napetostih -500 V in -200 V na diamantnem senzorju.

Večje prekrivanje med signalom in šumom.

Porazdelitev signalov in določena vrednost MPV za obe napetosti:



Izračunani rezultati za vse tri meritve pri negativni napetosti:

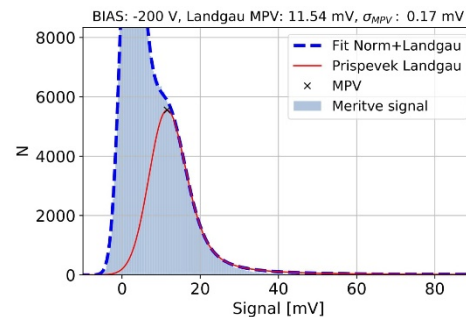
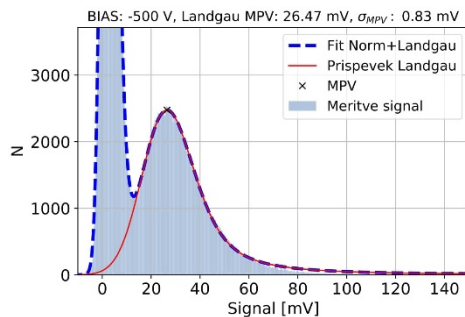
Napetost	Temni tok	Šum	MPV	S/N
-1000 V	-3 ± 0.5 nA	2.79 ± 0.01 mV	41.51 ± 0.22 mV	14.9 ± 0.10
-500 V	-0.1 ± 0.05 nA	3.13 ± 0.01 mV	26.47 ± 0.83 mV	8.5 ± 0.27
-200 V	-0.1 ± 0.05 nA	3.14 ± 0.01 mV	11.54 ± 0.17 mV	3.68 ± 0.06

Meritve delcev MIP: meritve pri nižjih negativnih napetostih

Meritvi pri napetostih -500 V in -200 V na diamantnem senzorju.

Večje prekrivanje med signalom in šumom.

Porazdelitev signalov in določena vrednost MPV za obe napetosti:



Ocenjeni rezultati v **elektronih** ($G \approx 40$ mV/fC):

Napetost	Temni tok	Šum	MPV	S/N
-1000 V	-3 ± 0.5 nA	435 e	6470 e	14.9 ± 0.10
-500 V	-0.1 ± 0.05 nA	488 e	4130 e	8.5 ± 0.27
-200 V	-0.1 ± 0.05 nA	489 e	1800 e	3.68 ± 0.06

Zaključki

Po obsevanju nismo opazili večjih sprememb v delovanju čipa Calypso.

Linearna odvisnost diferencialnih izhodov ToT pri vseh izmerjenih čipih.

Razmerje signal/šum večje od zahtevane vrednosti 10, vendar nižje od željenega.

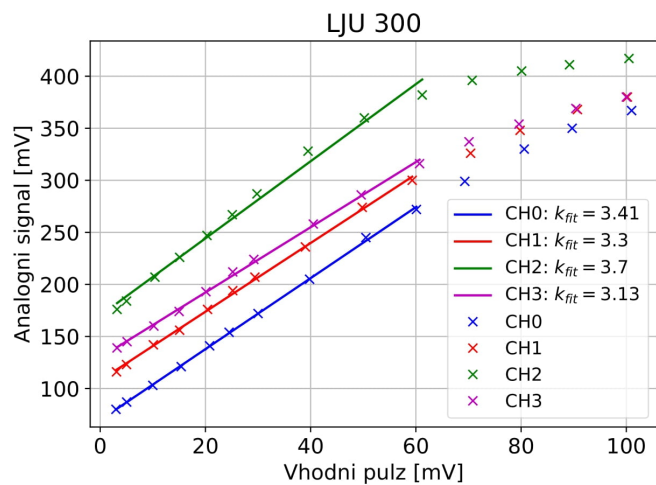
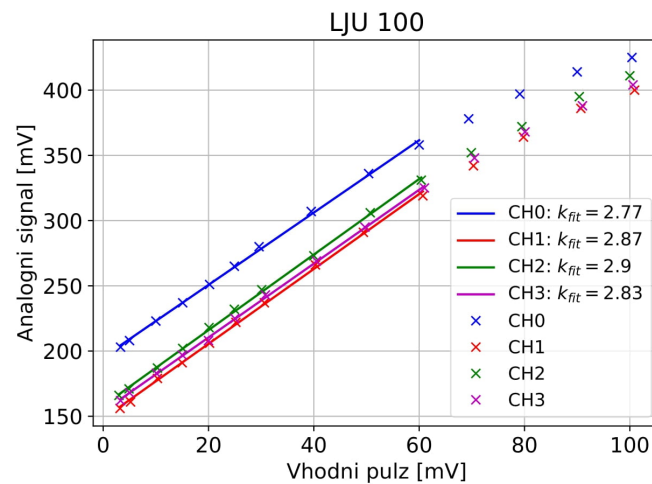
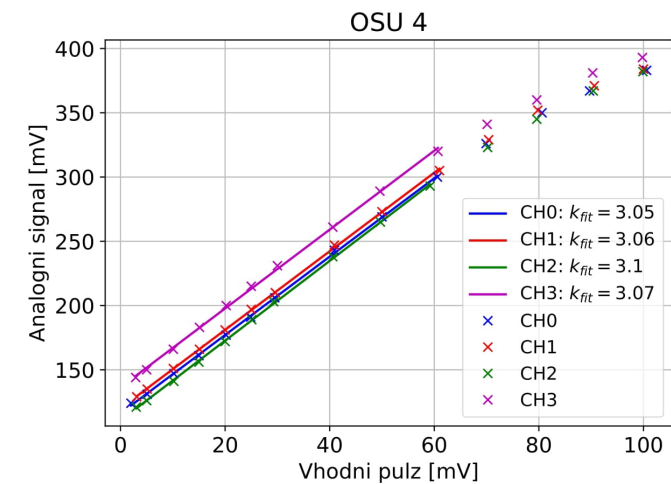
- Nadaljnje testiranje čipa Calypso že v teku.
- Zbrani rezultati bodo uporabljeni pri načrtovanju izboljšane generacije čipa imenovane Calypso_D.

Literatura

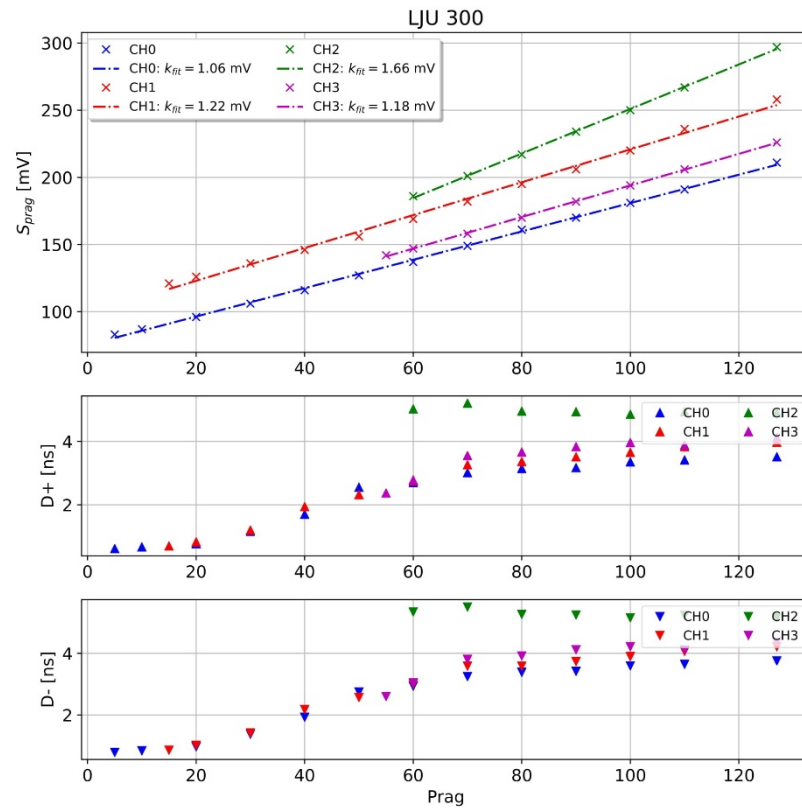
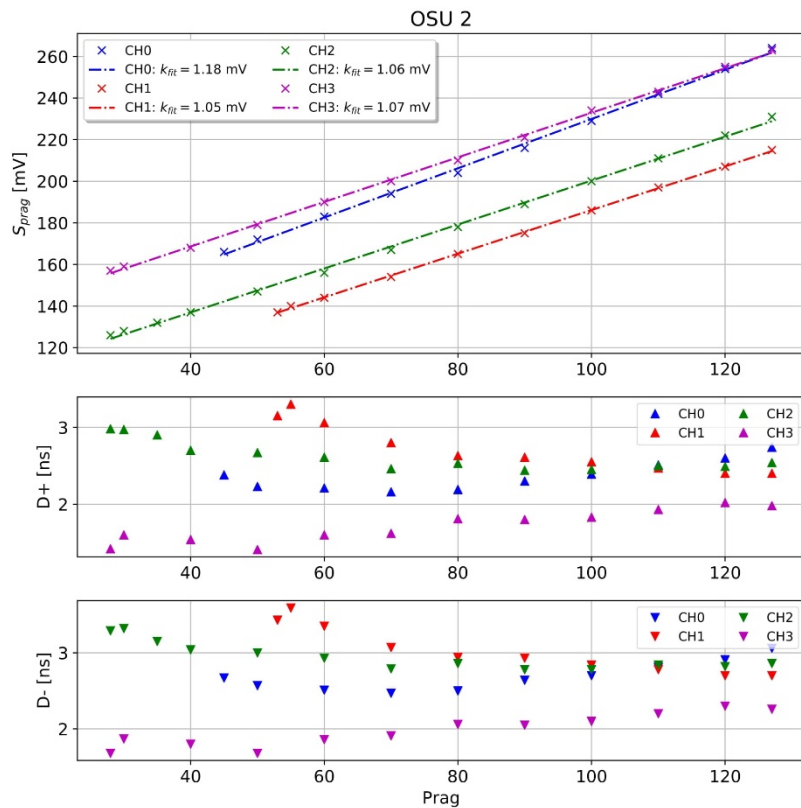
- [1] J. Pequenão in A. Maio, *A virtual reality image of ATLAS*, ATLAS Collection (2002).
- [2] W. R. Leo, *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments* (Springer Berlin Heidelberg, 1994).
- [3] L. Mostafa, K. Rachid in S. M. Ahmed, *Comparison between beta radiation dose distribution due to LDR and HDR ocular brachytherapy applicators using GATE Monte Carlo platform*, Physica Medica **32**, 1007 (2016).
- [4] S. C. Arfaoui, C. C. Joram in C. E. Z. Casella, *Characterisation of a Sr-90 based electron monochromator*, Teh. por. (CERN, Geneva, 2015).

Dodatek

Ojačanje – preostali moduli

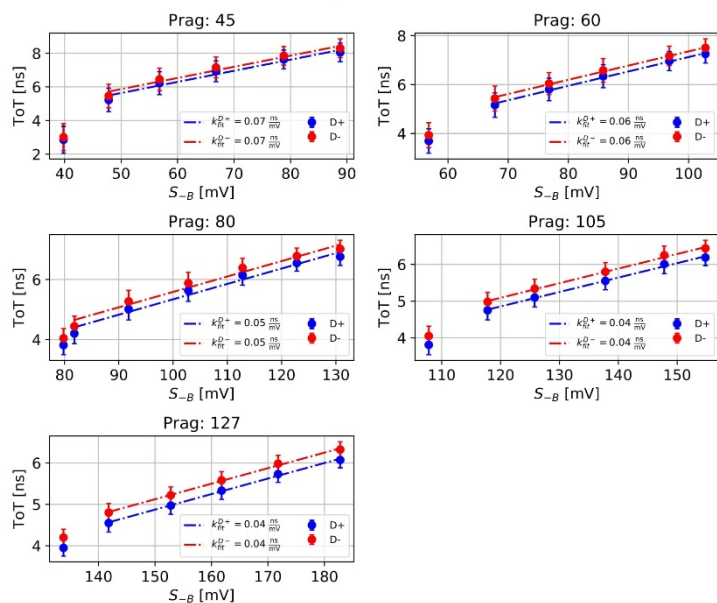


Mejni signal na pragu CFD: analogni in digitalni signali

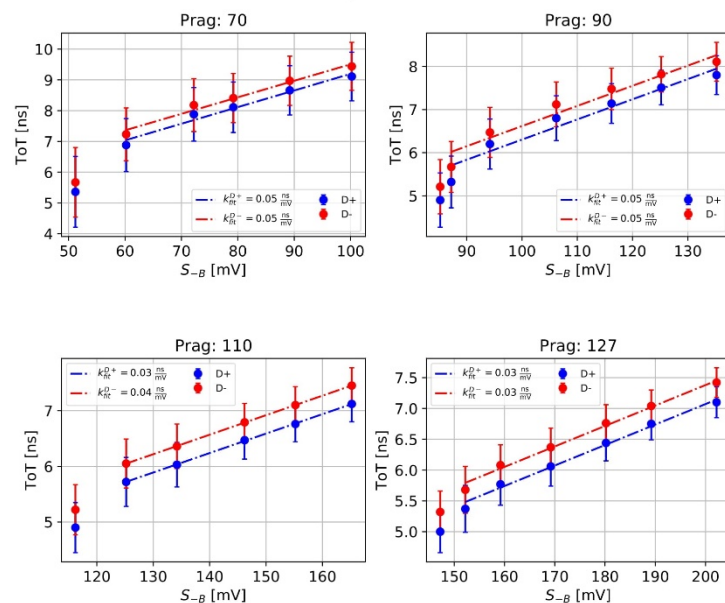


Diferencialni izhodi – obsevana modula

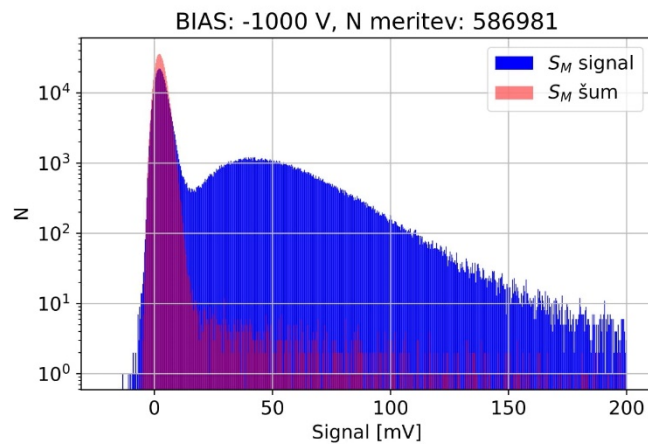
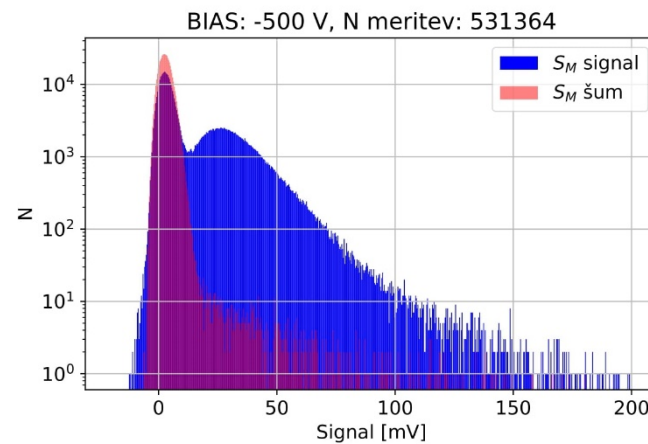
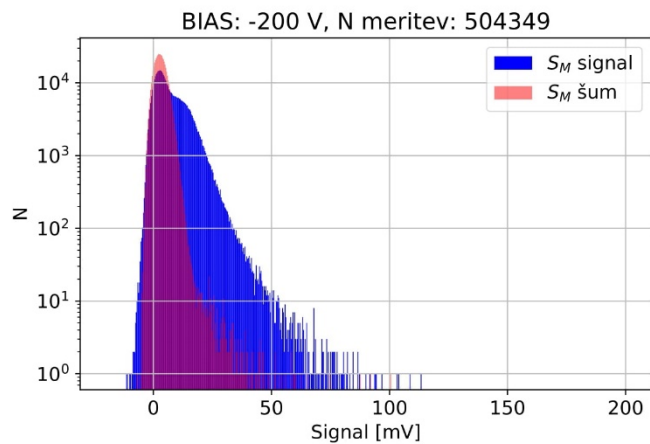
LJU 100 CH2



LJU 300 CH2



Primerjava območja šuma in signala



Osciloskopa

LeCroy WavePro 950:

- Frekvenca vzorčenja: 4 GHz
- Pasovna širina: 1 GHz
- Ločljivost: 8-bitni DAC

DRS4 Evaluation Board V5:

- Frekvenca vzorčenja: 5.12 GHz
- Pasovna širina: 700 MHz
- Ločljivost: 16-bitni DAC

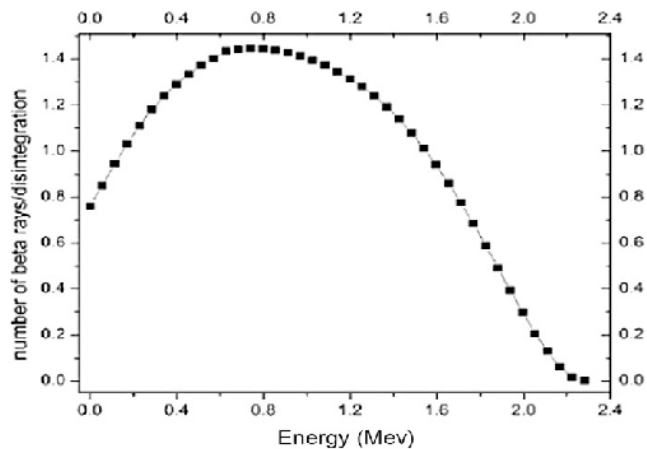
Stroncij-90

Beta sevalci:

Source	Half-life	$E_{\max}$ [MeV]
^3H	12.26 yr	0.0186
^{14}C	5730 yr	0.156
^{32}P	14.28 d	1.710
^{33}P	24.4 d	0.248
^{35}S	87.9 d	0.167
^{36}Cl	3.08×10^5 yr	0.714
^{45}Ca	165 d	0.252
^{63}Ni	92 yr	0.067
$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	27.7 yr/64 h	0.546/2.27
^{99}Tc	2.12×10^5 yr	0.292
^{147}Pm	2.62 yr	0.224
^{204}Tl	3.81 yr	0.766

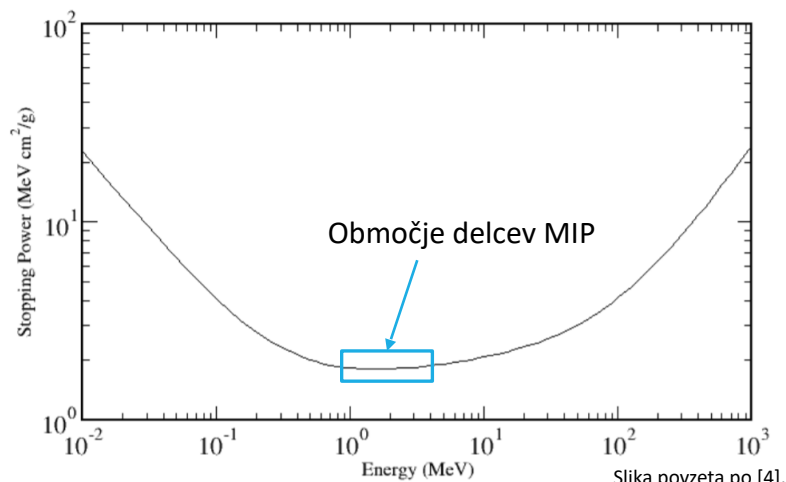
Tabela vzeta iz [2].

Energijski spekter elektronov
pri β razpadu:



Slika povzeta po [3].

Energijske izgube elektronov:



Slika povzeta po [4].