

**Preverjanje položaja
radioaktivnih izvirov med
obsevanjem tumorjev v
brahiterapiji**

Kazalo

- Kaj je brahiterapija
- Načrt naprave in naši cilji
- Simulacija naprave
- DAQ
- Testiranja
- Pogled naprej

Zgodovina

- V. Cindro – završen projekt 2003
- M. Batič – mladi raziskovalec 2004
- Sprejet projekt razreda A (3 leta, 12MSIT/leto, 1565 ur C razreda) 2007
 - Nosilec IJS
 - Onkološkimi institut
 - Sofinancer iz gospodarstva Elgoline d.o.o. (+25% sredstev)

Motivacija

- Aplikativni projekti v prednostnih kategorijah NRRP
 - Uproraba znanj o pozicijsko občutljivih detektorjih v medicini!
- ↓
- Možnost razvoja komercialnega produkta iz prototipne naprave - aplikacije
 - Kratek čas za R&D – enostavna naprava, dostopnost komponent
- ↓
- Potreba po nadzoru položaja izvora v brahiterapiji z možnostjo načrtovanja on-line obsevalnih načrtov v prihodnosti

Brahiterapija I

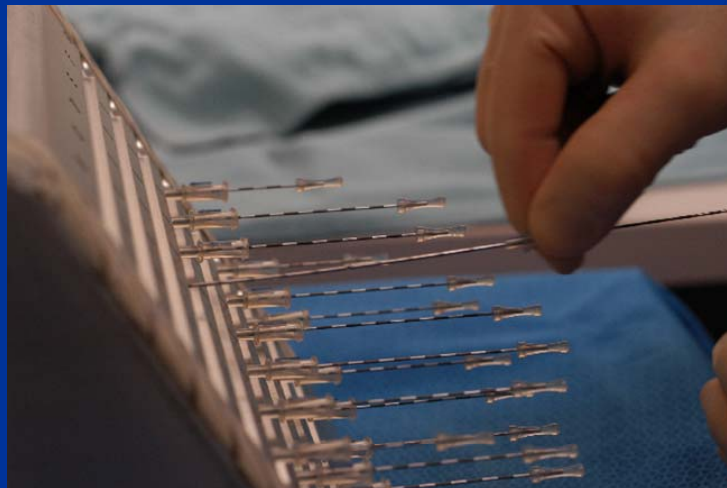
- Brahiterapija je oblika radioterapije, kjer se radioaktivni izvor vstavi v tumor. V glavnem se uporablja za zdravljenje raka npr. na prostati, za raka na glavi ali v vratu. V uporabi od leta 1920...

- Površinska (β ^{90}Sr)
- Telesne odprtine - notranja
- Krvožilni sistem notranja

Katetrna – notranja
(γ ^{192}Ir , ^{125}I)

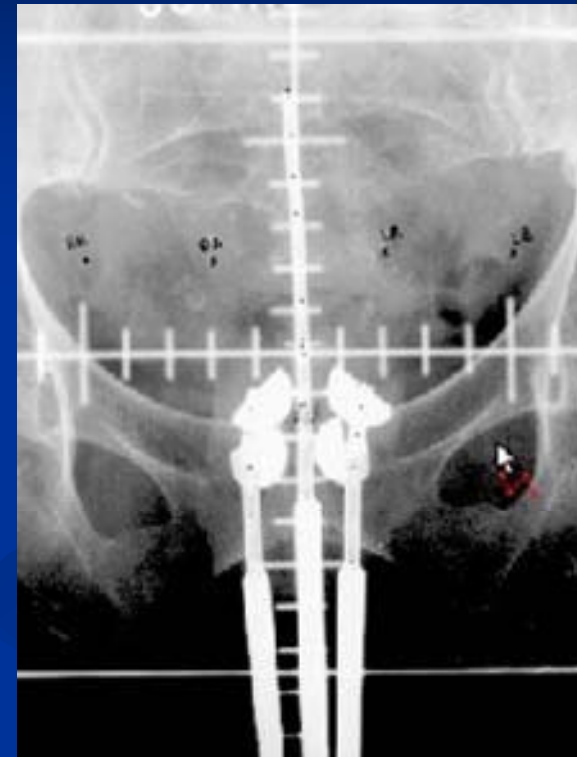
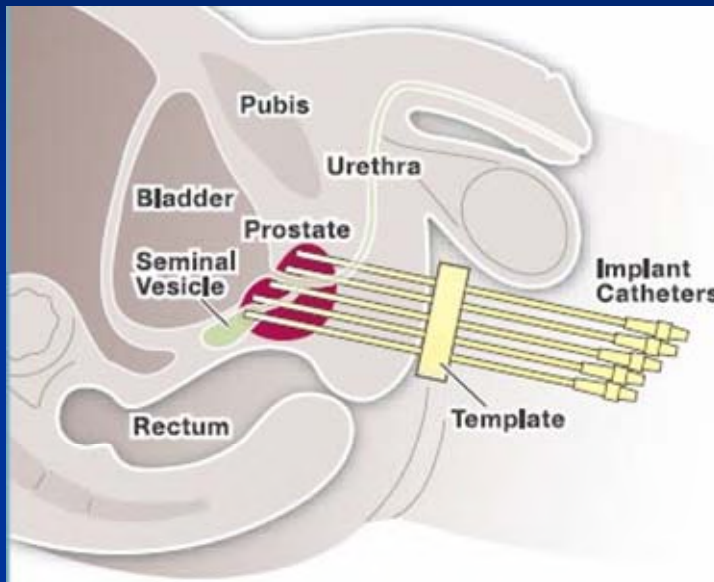
High Dose Rate

Low Dose Rate
(3×10^{10} Bq)



Brahiterapija II

- V izbrani tumor se vstavijo cevke glede na položaj, velikost tarčnega volumna – tumorja



- Izračuna se obsevalni načrt
 - določitev položaja izvora (točk) med obsevanjem
 - čas nahajanja izvora na posamezni točki med obsevanjem (po pacientu nalepijo dozimetre, da ugotovijo škodo)

Brahiterapija III

(prednosti pred zunajimi obsevanji in trajno BT)

- kratko trajanje terapije - vse skupaj ~1 teden
- ohranjanje strukture organov in njihove funkcije
- malo stranskih učinkov
- dobra pokritost raka različnih oblik vse do najmanjših
- v naprej znana porazdelitev doze in možna ocena škode
- velika točnost doze, ki je lahko za različne tumorje različna
- Možna homogenost porazdelitve doze
- Premikanje pacienta ni tak problem
- možno večkratno zdravljenje – ponovitev raka
- ni premikanja semen po ostalih organih
- ni izpostavljanja sevanju ostalih bližnjih ljudi

Cilj naprave

Cilj: čimbolj natančno, enostavno in cenejše slednje izvoru med terapijo! Ni QA.

- določiti relativne položaje cevk in ugotoviti velike premike
- ugotoviti, da se izvori gibljejo po pravi cevki
- ugotoviti, ali je kakšen izvor po pomoti ostal v pacientu

Osnovne lastnosti naprave, ki so pogojene z zgornjimi lastnostmi:

- Ciljno področje sledenja: $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$, na razdalji 30 cm
- Določiti prostorsko točko vsaj vsako sekundo (dwell time je približno nekaj sekund na razdalji nekaj mm)
- Resolucija okoli 1 mm

Obstojajo različni poskusi:

- “GPS” na podlagi diamantnih detektorjev
- podobno kot mi samo s scintilatorskimi fiberi

Osnovni gradniki

DETEKTOR

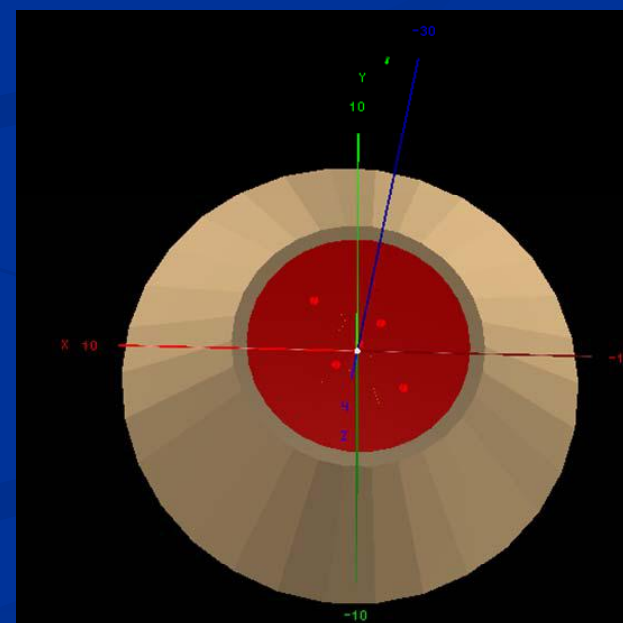
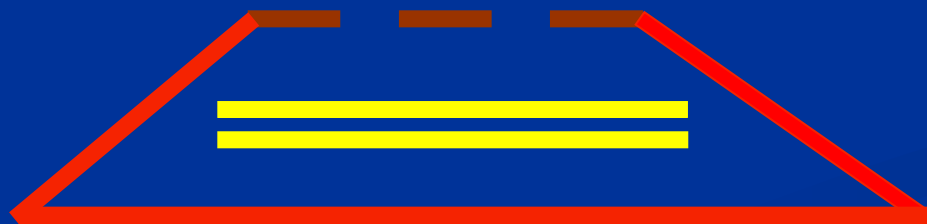
- 2x silicijev strip detektor (ATLAS design , 80 μm pitch – bondirano 6x skupaj, 480 μm pitch)
- 2x bralni čip VA-TA GP3_V1

OHIŠJE

- velika površina detektorjev – omogoča več zaslonk – stereo gledanje
- Pb zaslonke
- trenutno se nagibamo k 5 zaslonkam
- Nastavljiva razdalja med zaslonko in detektorji
- Vse skupaj postavjeno na prenosno mizo

DAQ:

- Komunikacija preko paralelnega vmesnika
- GUI Software FLTK (open GL)

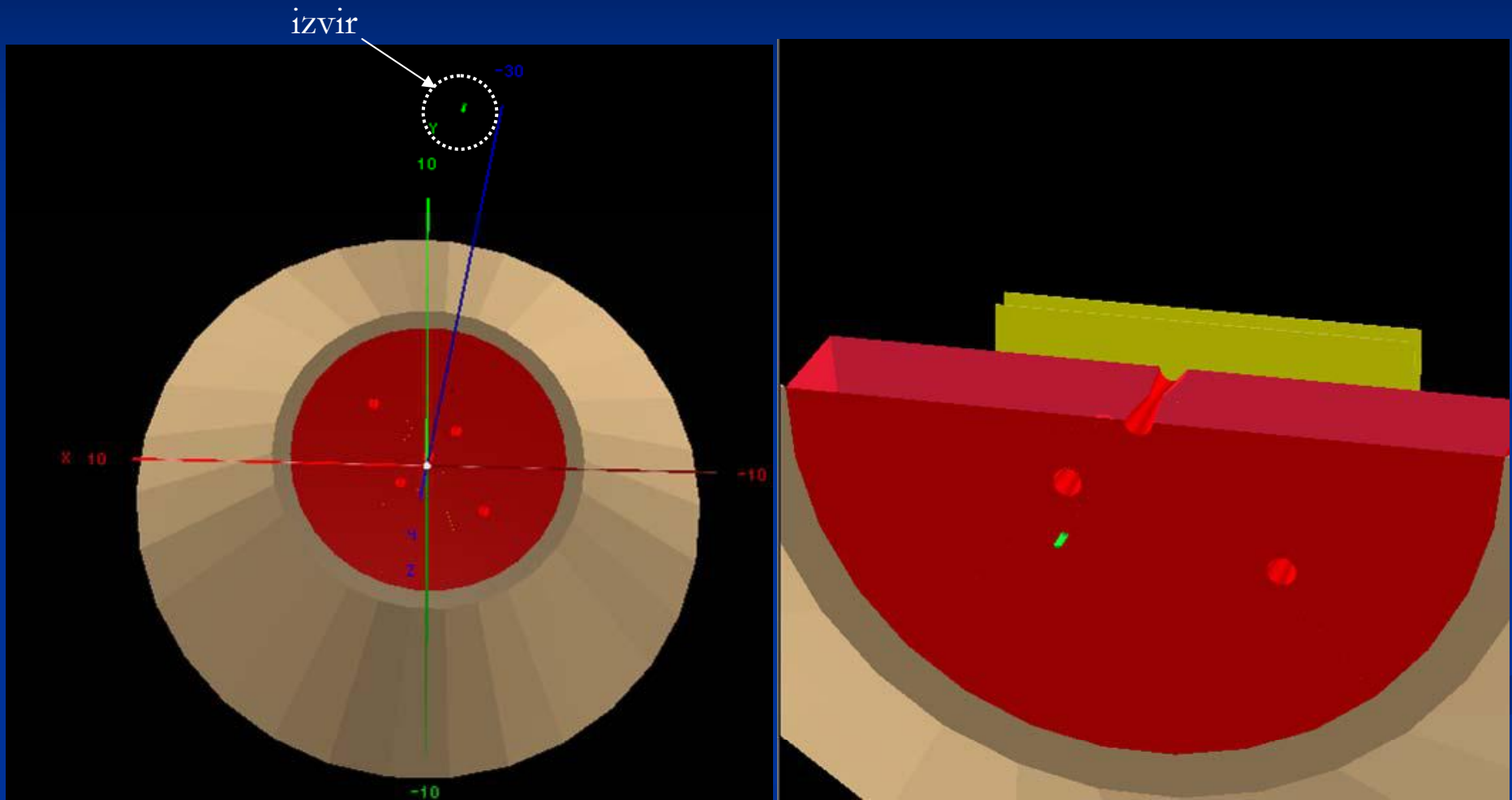


Simulacija

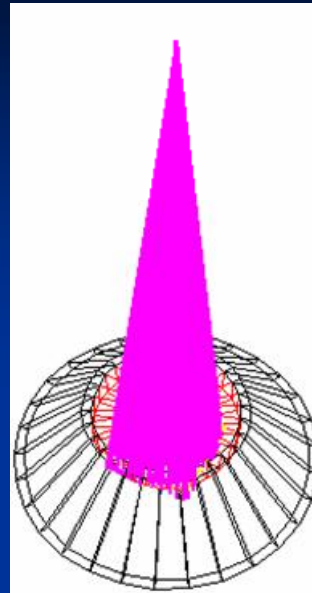
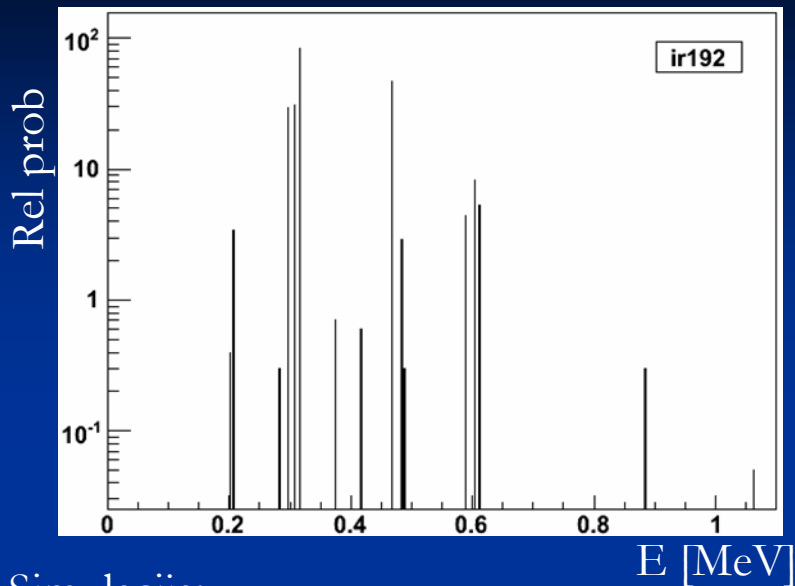
- Študij izvedljivosti
- Optimizacija naprave – določitev parametrov
 - razdalja detektorjev od zaslonk (viden prostorski kot, resolucija)
 - oblika, število in položaj zaslonk (učinkovitost, hitrost, resolucija)
 - debelina ščita
- Določanje optimalnih algoritmov za rekonstrukcijo

Simulacija (I)

Osnovni gradniki so zaslonka in za njo postavljeni detektorji!
(prikazana geometrija se je izkazala za optimalno v simulacijah)



Simulacija (II)



- Omejiti se velja le na tiste fotone, ki lahko zadenejo detektor
- Enakomerna generacija po enakomerno dolgem sevalcu 4 mm.

Simulacija:

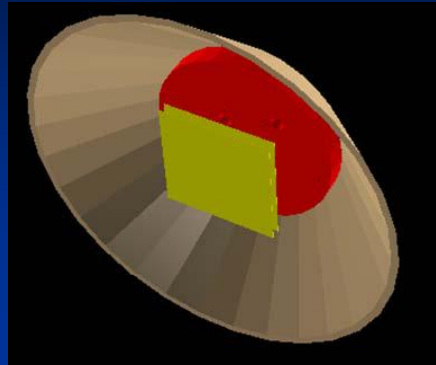
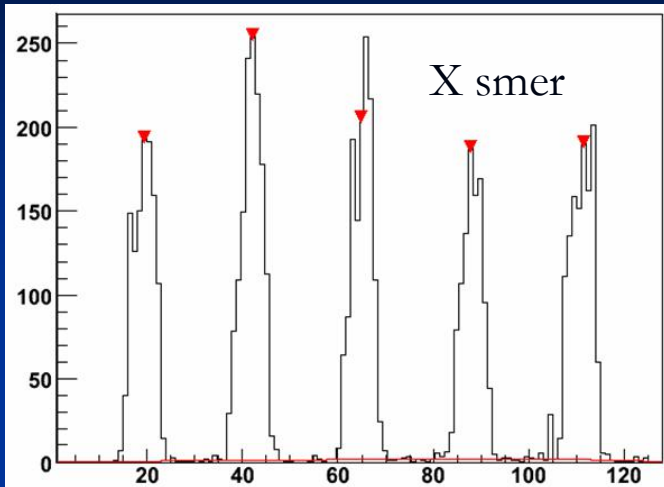
- ROOT (GEOM paket), fizikalni procesi Compton, fotoefekt (eksponent)
- vsakemu izsevanemu fotonu se sledi skozi sistem in se polni drevesa (ntuple)

```
tri->Branch("pos",&event.pos,"pos[3]/F"); //position of the source
tri->Branch("r0",&event.r0,"r0[3]/F"); //emitted photon birth
tri->Branch("r1",&event.r1,"r1[3]/F"); //detector plane x hit
tri->Branch("r2",&event.r2,"r2[3]/F"); //detector plane y hit
tri->Branch("or",&event.or,"or/F"); //orientation of sensors
tri->Branch("ncs",&event.ncs,"ncs/I"); //number of Compton scatterings
tri->Branch("nmt",&event.nmt,"nmt/I"); //number of material traversed
tri->Branch("Emi",&event.Emi,"Emi/F"); //emitted photons before hits
tri->Branch("ncsSi",&event.ncsSi,"ncsSi[2]/I"); //number of steps in silicon
tri->Branch("Ep",&event.Ep,"Ep[2]/F"); //Energy of the photon at Si
tri->Branch("DEp",&event.DEp,"DEp[2]/F"); //Energy deposited in Si
tri->Branch("prob",&event.prob,"prob[2]/F"); //Interaction probability
```

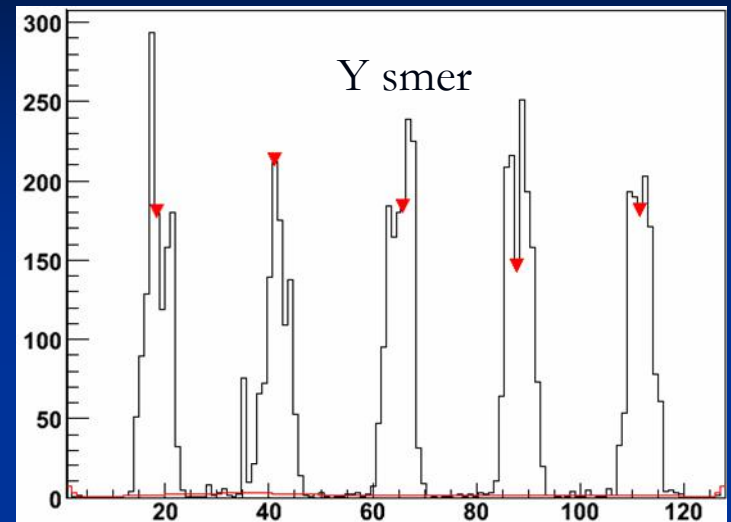
- Polnimo verjetnosti za interakcijo v Si detektorju, če ga zadene foton
 - Analiza poteka na drevesa; drift naboja v Si ne upoštevamo (ni potrebe), vsaka int. šteje kot zadetek
- marec, 2008 Preverjanje položaja radioaktivnih izvirov med obsevanjem tumorjev v brahiterapiji

Simulacija (III)

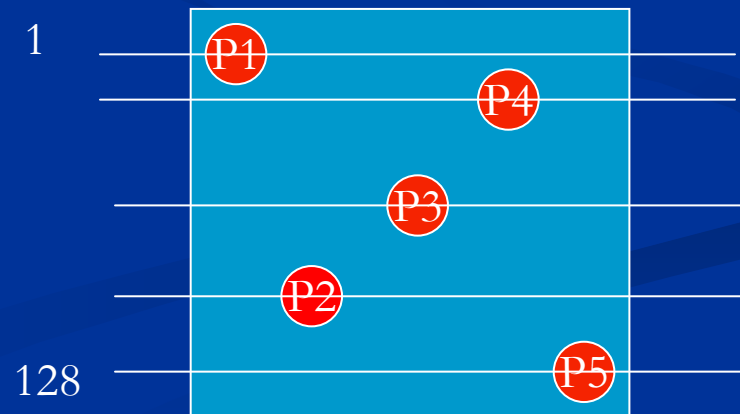
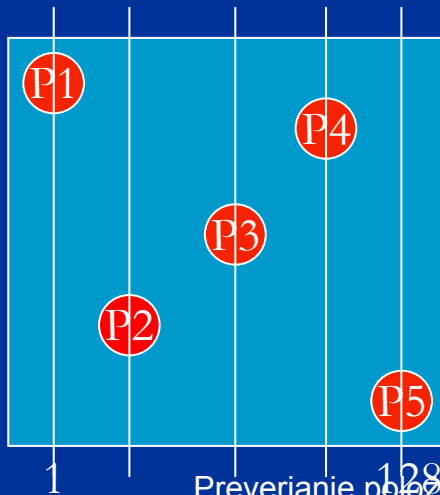
porazdelitev zadetkov po detektorjih



debelina zaslone 1.2 cm
 $R_z = 2$ mm, $R_n = 1$ mm

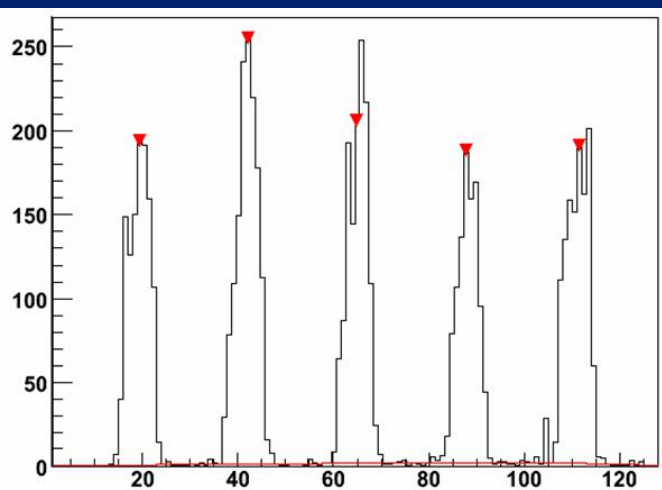


Vse P1...P4 povežemo z ustreznimi zaslonkami, potegnemo premice in poiščemo izvor!
Razvoj robustnega algoritma za določanje vrhov in njihovo povezavo s pin-holi tudi v neidealnih primerih je končan.

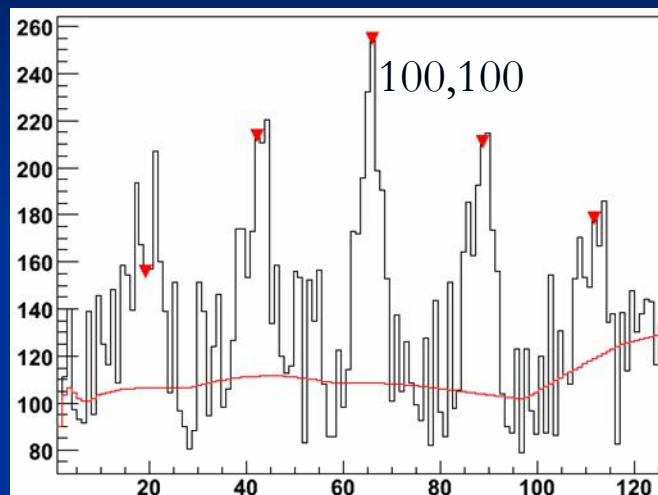


Simulacija (IV)

Algoritem temelji na *M.Morbac et al., Nuclear Instruments and Methods in Research Physics A 443(2000), 108-125.*

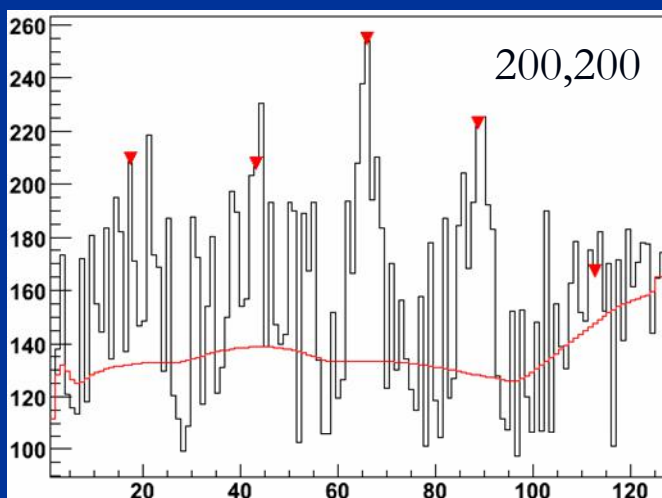


P1=19.355469
P2=42.175781
P3=65.988281
P4=88.808594
P5=111.628906



y=19.355469
y=42.175781
y=65.988281
y=88.808594
y=111.628906

... tudi če dodamo precej šuma in ozadja uspe poiskati vrhove.
common mode odštevamo



y=17.371094
y=43.167969
y=65.988281
y=88.808594
y=112.621094

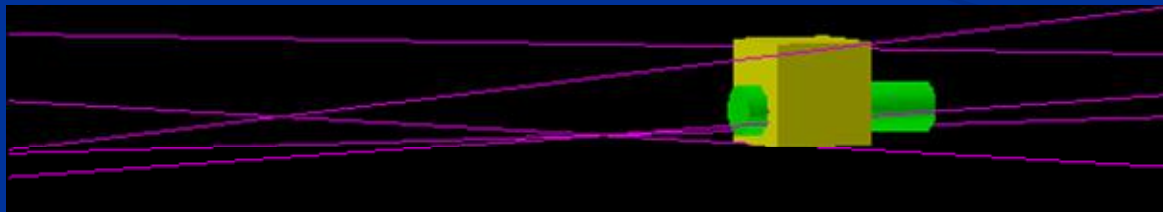
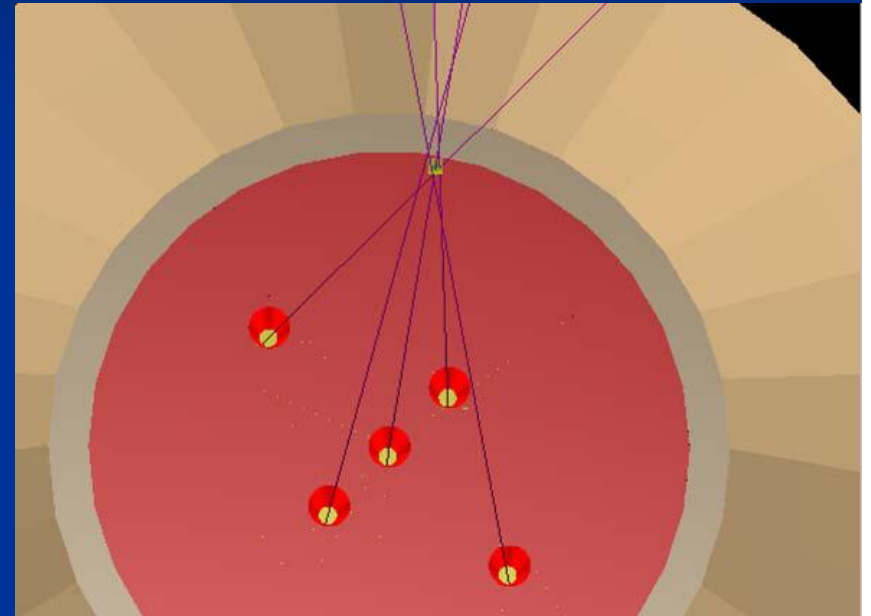
marec, 2008

Preverjanje položaja radioaktivnih izvirov med obsevanjem tumorjev v brahiterapiji

Simulacija (V)

Dve metodi sta implementirani v simulaciji:

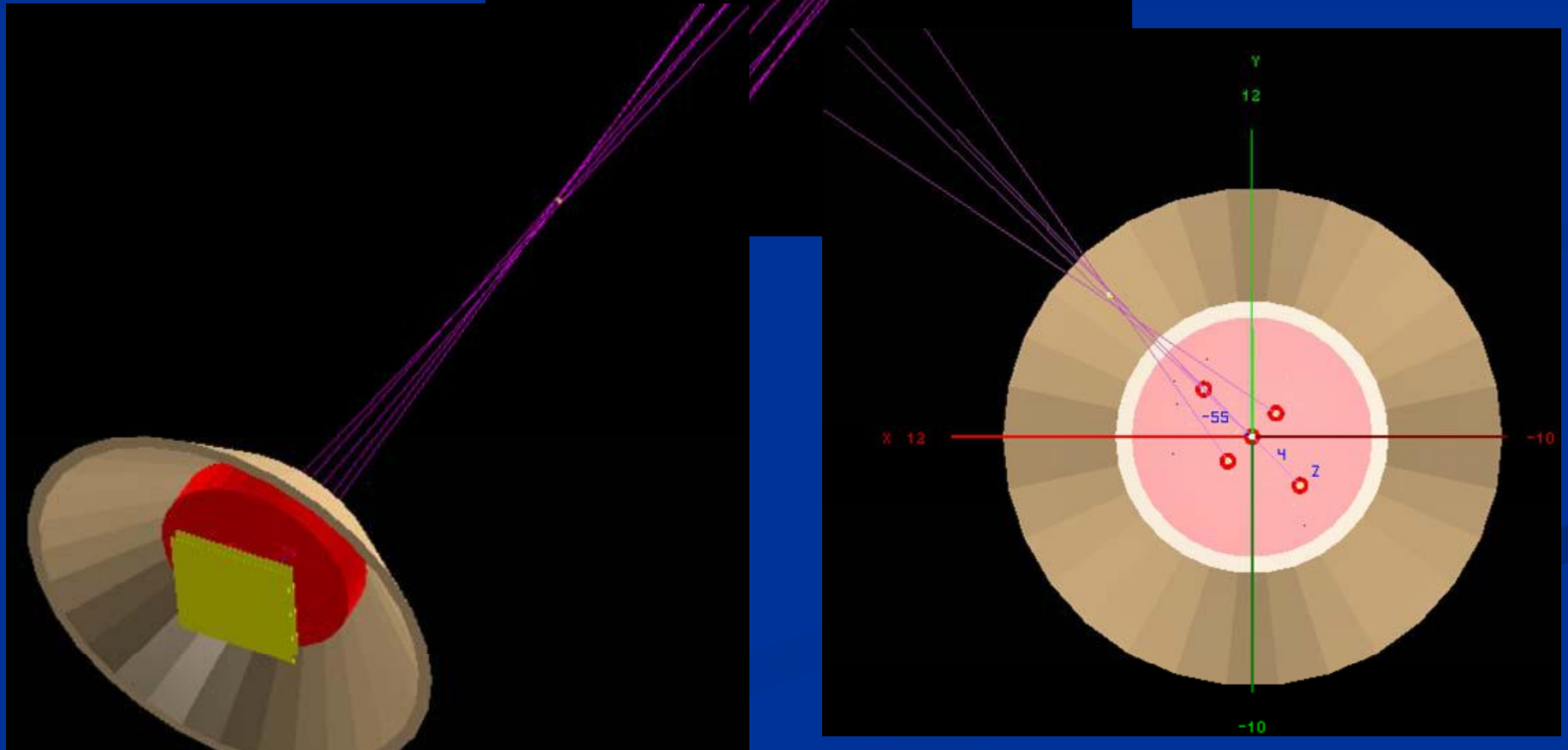
- Iskanje točke, ki ima min. razdaljo $(d/\sigma)^2$ do vseh premic (minimizacija - MINUIT)
- Kombinacije parov različnih premic in povprečenje točk, kjer je razdalja med dvema min.



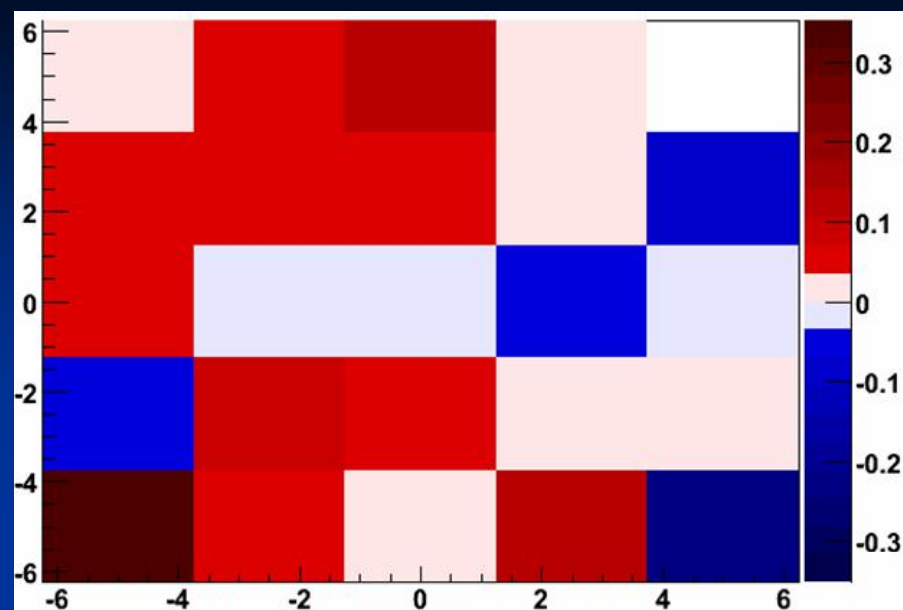
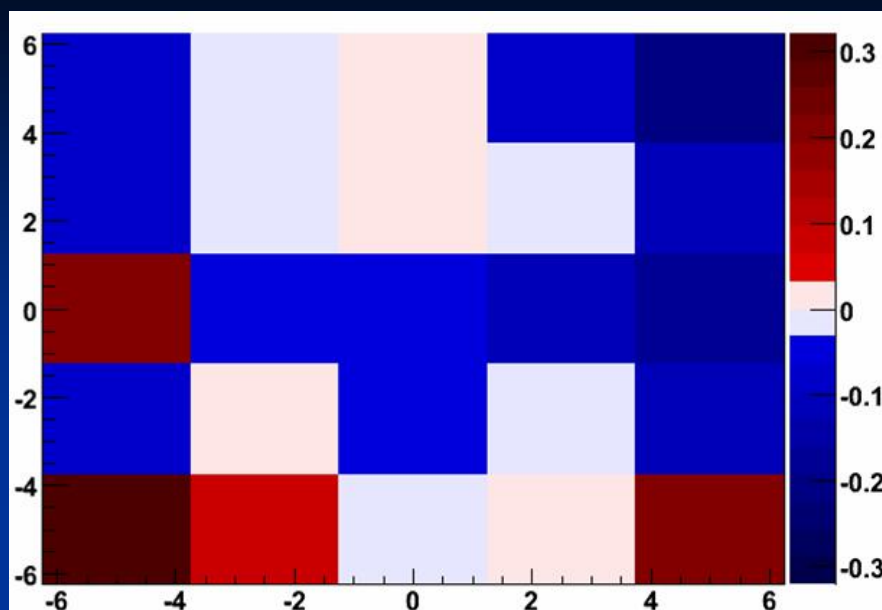
Primer določitve tarčnega volumna (rumeno) in izvora (zeleno)

Simulacija (VI)

Določitev pri izmaknjenem položaju izvora.



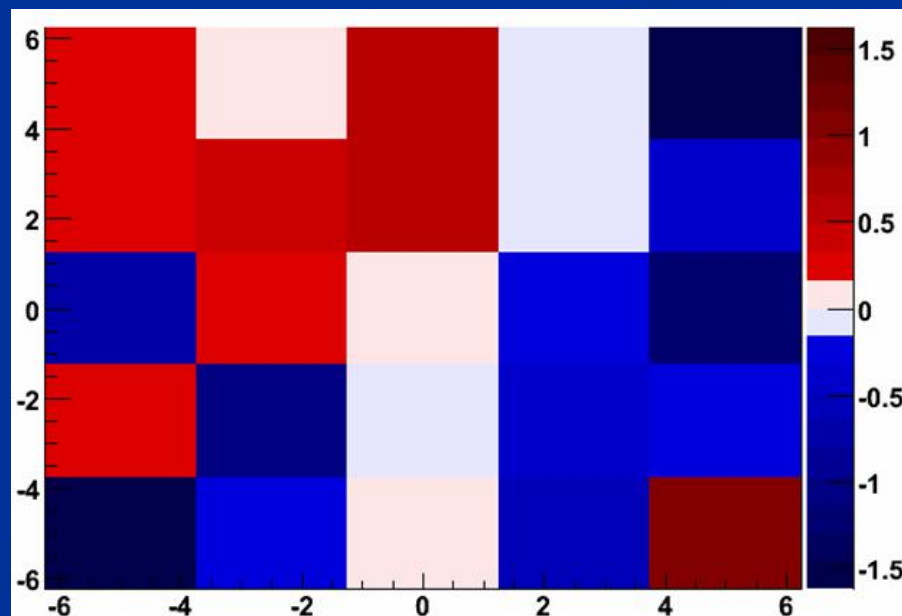
Primer: (simulated-true) položaja izvora v x,y in z smeri [cm]



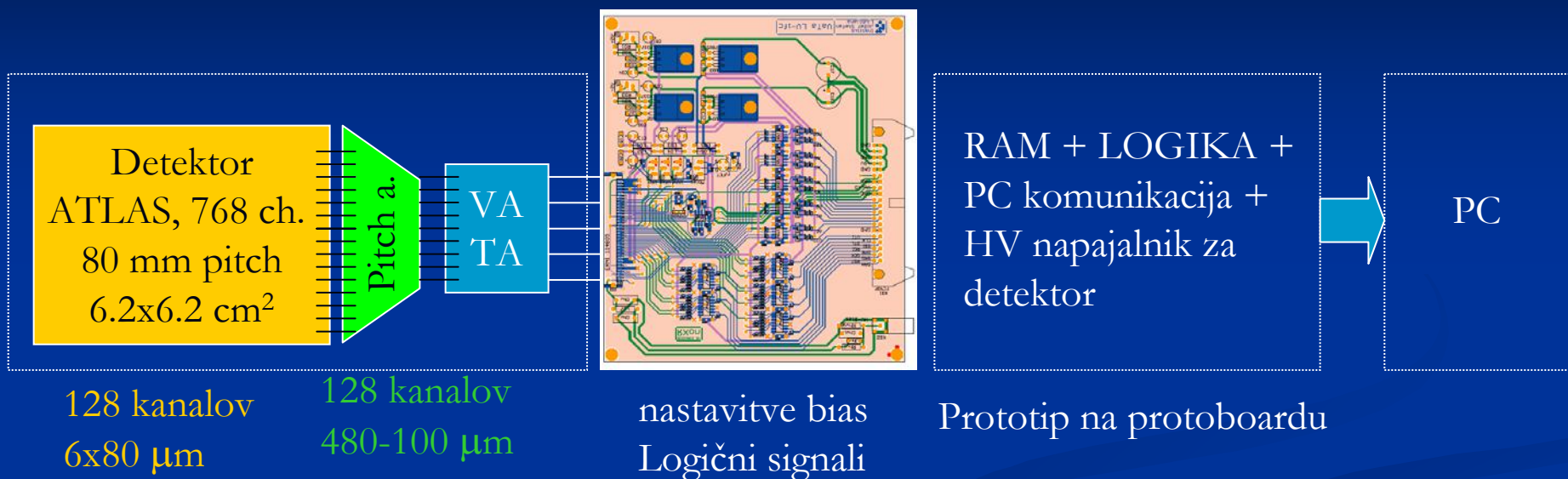
Z=25 cm

Slika v $<0.01\text{ s}>$, relativno majhna statistika je bila uporabljena + algoritem z napakami (neizločanje netočno določenih vrhov)

Zajemanje več slik pri istem položaju bo zmanjšalo napako + izboljšani algoritmi. Ob veliki gostoti točk bomo delali Kalmanov filter.



DAQ (I)



128 kanalov
6x80 μm

128 kanalov
480-100 μm

nastavitve bias
Logični signali

Prototip na protoboardu

Kaj vse imamo:

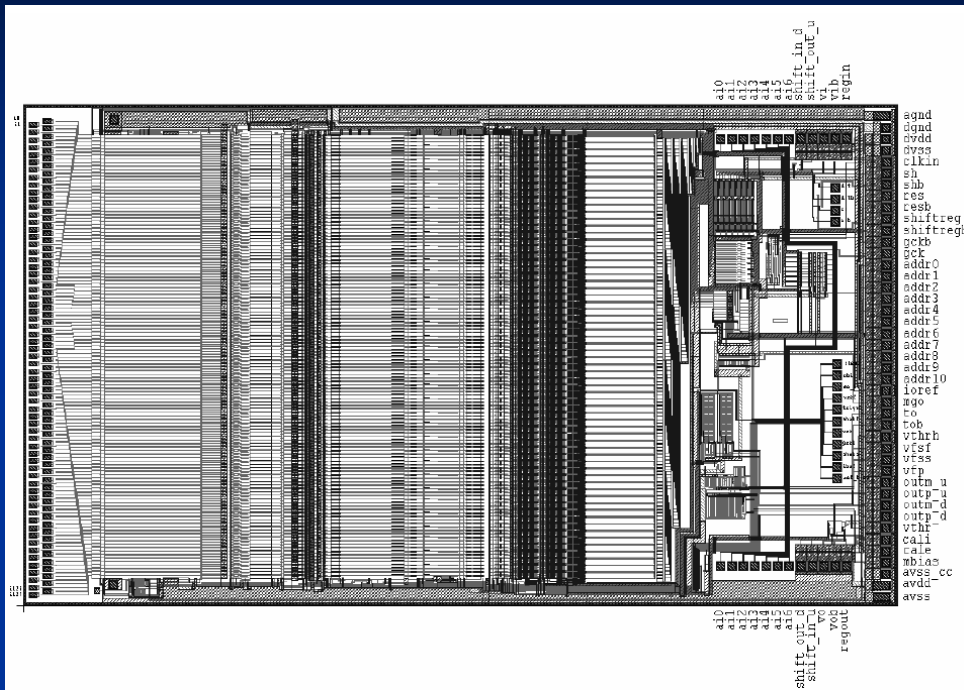
- ✓ Vse komponente za PCBje (tudi za kontrolni board)
- ✓ Detektorje – že testirane (4x, 300 μm (0.1% eff.))
- ✓ VA-TA čipe
- ✓ IM boarde

Kaj še nimamo:

- ✗ Pitch adapterjev
- ✗ HV napajalnika (enostavno)
- ✗ Narejenega končnega načrta za kontrolni board

Kapaciteta detektorja okoli 2-3 pF, common mode, šum \rightarrow do celo nekaj deset keV
Kako bo s hlajenjem – najbrž konvekcijsko z majhnim ventilatorjem!

DAQ (II)



VATA GP3

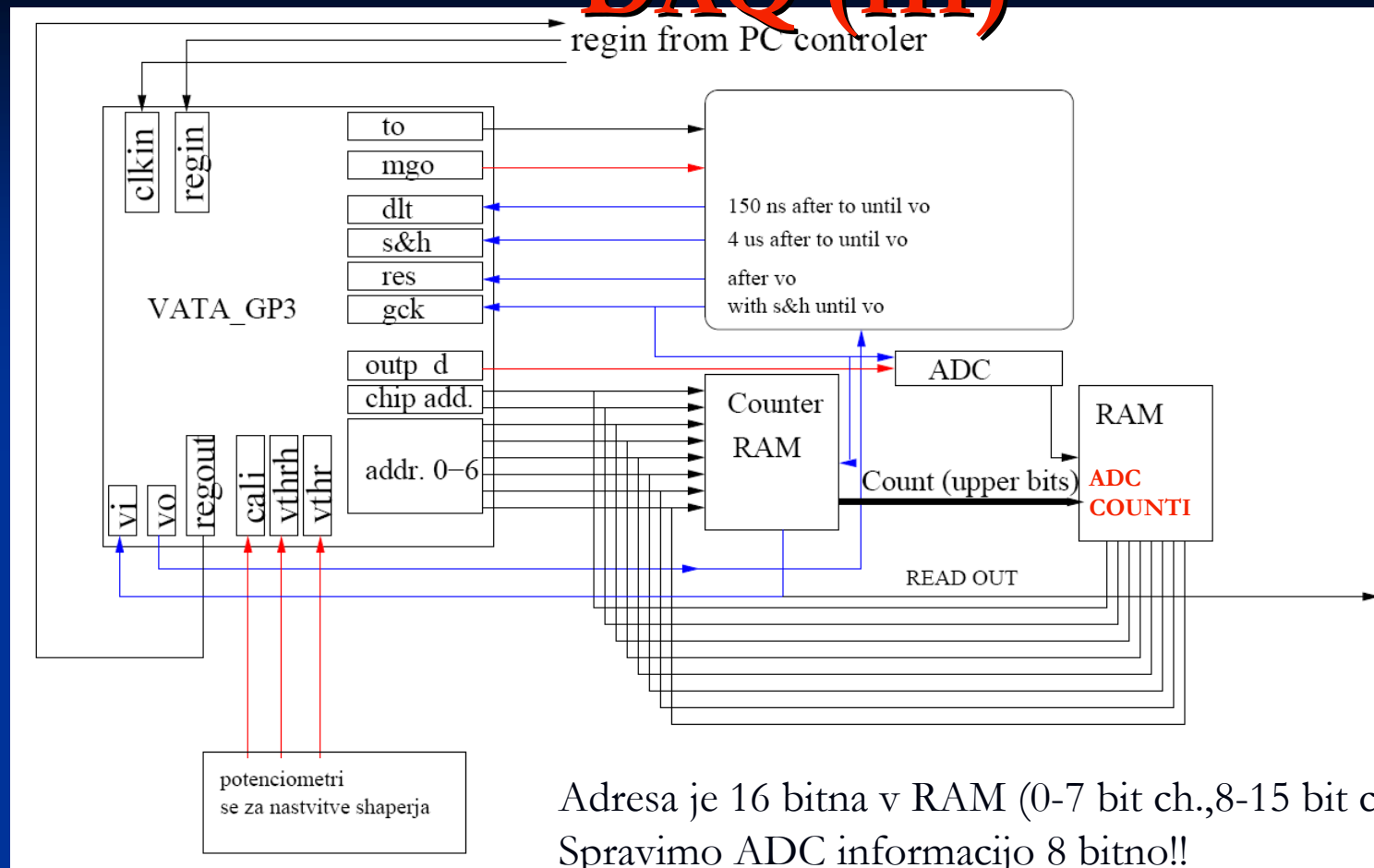
- Trigger (150ns shapping)
- Signal (2 μ s shapping for ADC)
- 128 kanalov
- Šum ocenjen na 10 keV

Več načinov delovanja:

- Ob triggerju pošlje komplet multipleksan signal (lahko deluje z več čipi Nx128 kanalov)
- **Ob triggerju pošlje samo zadete kanale + njihove adrese (deluje pa le z enim čipom)**
- Ob triggerju pošlje samo zadete kanale + sosede + adrese

- Omogoča maskiranje kanalov, določanje tresholda z internim DAC, testne pulze
- **Česa se bojimo: velike razlike ničelnih nivojev in "common mode"**

DAQ (III)



Veze narejeno!

Adresa je 16 bitna v RAM (0-7 bit ch., 8-15 bit count)
Spravimo ADC informacijo 8 bitno!!

Potek zajemanja podatkov:

- V RAMu imamo števec, ki vrednost za zadeti kanal ob vsakem dogodku poveča za 1 (hitmap)
- Hkrati dobimo analogni signal, ki preko ADC shranimo v RAM. Ta je dovolj globok, **da shrani vse dogodke dokler ni kateri od kanalov dosegel 255 zadetkov**, to sproži readout na PC
- Reset vsega rama in nov štart
- Hitrost, ki jo lahko dosežemo je po grobi oceni nekaj Hz (> hitrost pomika manipulatorja)

DAQ - Software

Vsa komunikacija bo potekala preko LPT porta:

- Erik ima veliko izkušenj pri izdelavi (gre za low-level programiranje)
- Imamo izkušnje s programiranjem ATLAS-CableTesterja (gre za podobno branje)

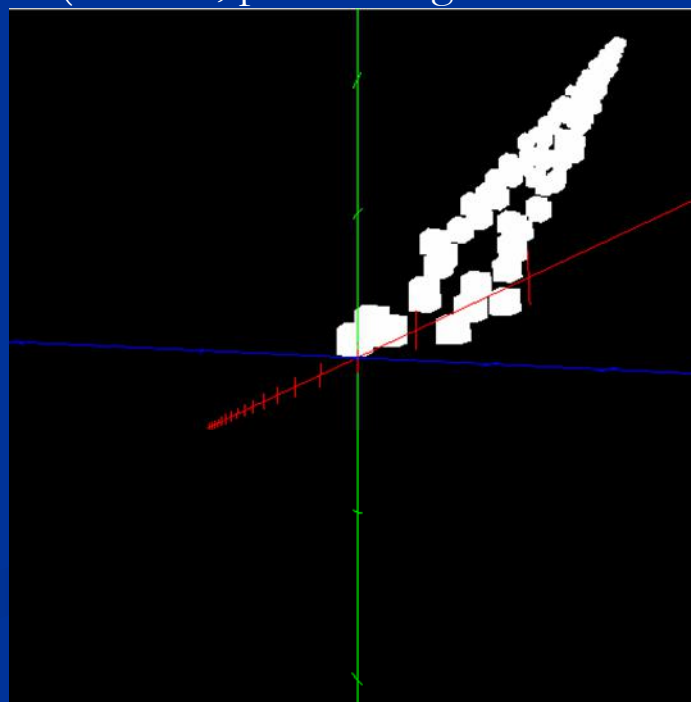
V prvi verziji bo:

- Možnost nastavitve
- Sledenje točkam, Prikaz merjenih točk, 3D vizualizacija

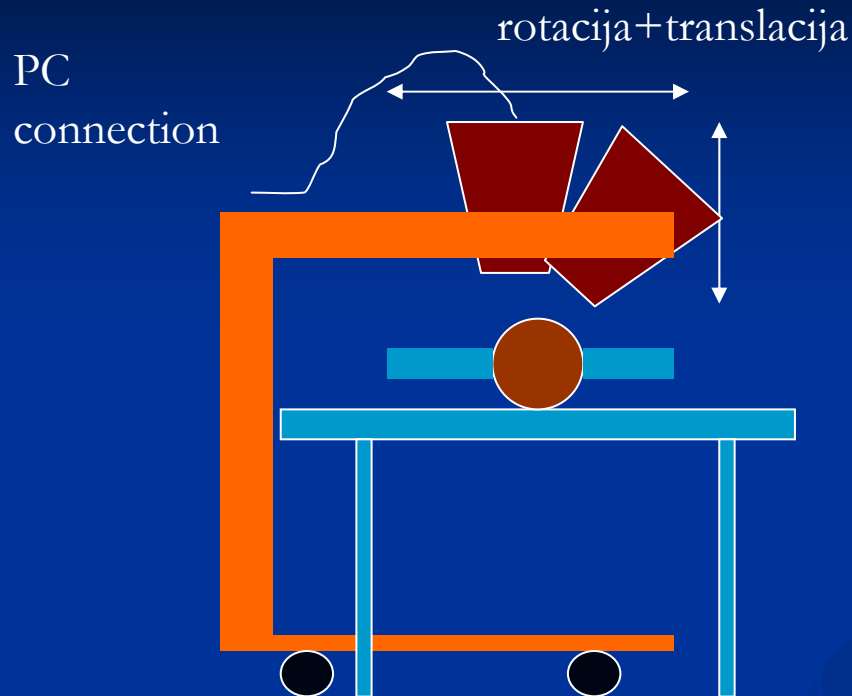
Ne bo:

- Algoritmov za ugotavljanje položaja cevok (track fit, pametni algoritmi za dihanje in premikanje)

Primer online vizualizacija merjenih točk v 3D (open GL)



Testiranja



- Izdelava fantoma, Kocka voda s katetri narejena na OI,
- Izdelava primerne mize, ki bo omogočala nastavljanje različnih položajev (OI)

Kaj pa testiranja radiacijskih poškodb:

- Radiacijske poškodbe elektronike ne bi smele biti problem, saj bo elektronika ščitena s Pb v škatli
- Radiacijske poškodbe detektorjev tudi ne:
 - energija pod tresholdom za clustre – šele po ~ 1000 kGy (mnogo več kot je življenska doba naprave) pride do inverzije, ki celo izboljša detector
 - narastel bo tok, kar pomeni nekaj več šuma
 - trapping ne bo problem

Prihodnost?

Sprotno popravljanje obsevalnega načrta:

- optična kamera
- ultrazvočna kamera
 - odpornost na obsevanje?
 - upravljanje?
- CT slikanje sprotno ...

Morda uspešno prodajanje naprav ...