

Modeliranje 1-D porazdelitev (Razpadi Higgsovega bozona)

1. domača naloga pri predmetu *Praktikum strojnega učenja v fiziki*

Domen Vaupotič

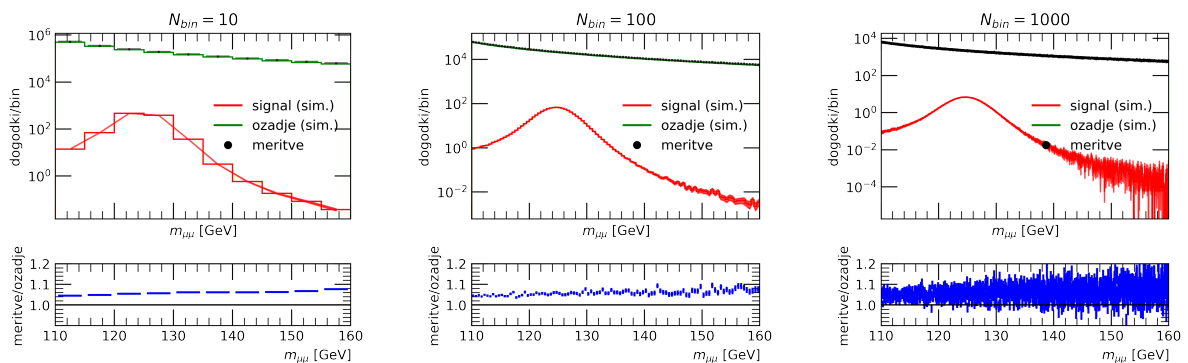
1 Higgsov bozon

Eden izmed pomembnejših dosežkov Velikega hadronskega trkalnika LHC v laboratoriju CERN je eksperimentalna potrditev obstoja Higgsovega bozona z mirovno maso $125,18(16) \text{ GeV}/c^2$. Trkalnik deluje tako, da do velikih energij pospeši curka, ki nato čelno trčita med seboj. Pri tem nastane plejada novih delcev, ki jih po celotnem prostorskem kotu zaznavajo okoliški detektorji. Obstoj Higgsovega bozona potrdimo tako, da med razpadnimi produkti najdemo ustrezni par delcev pri pravi energiji. Higgsov bozon so tako dosedaj potrdili že z izmerjenimi produkti $b\bar{b}$, WW , gg , $\tau\tau$, ZZ , $\gamma\gamma$, preliminarni rezultati pa potrjujejo še najdbo para $\mu\mu$.

V tej nalogi bomo iz meritev ter simuliranih porazdelitev poskušali izluščiti signal razpadnega para mionov, pri čemer bomo preizkusili več različnih metod modeliranja in glajenja porazdelitev.

2 Histogrami

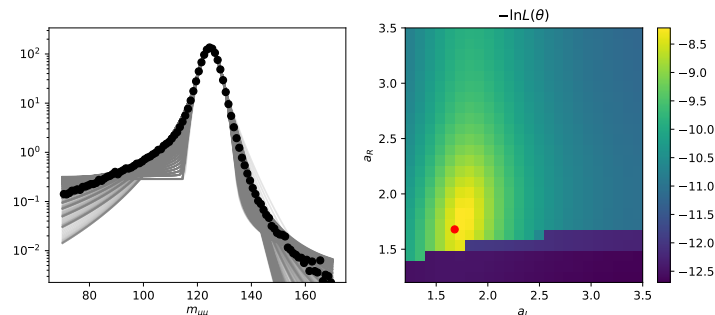
Oglejmo si za začetek histograme. Če povečujemo število razredov, se število dogodkov sorazmerno manjša, posledično pa se povečuje napaka. Pri vseh nadaljnjih izračunih bom uporabljal delitev z $N_{\text{bin}} = 50$.



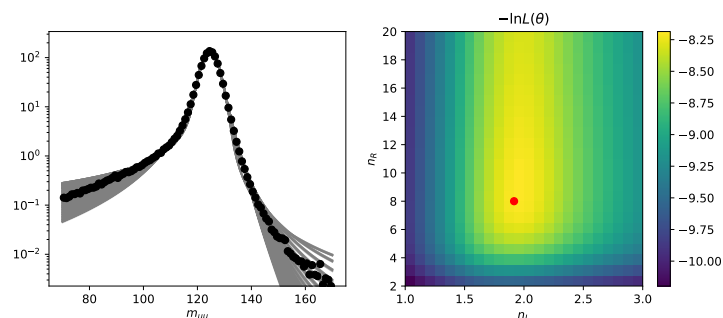
Slika 1: Histogrami meritev in simuliranega signala ter ozadja pri različnem številu razredov, N_{bin} .

3 Modeliranje signala

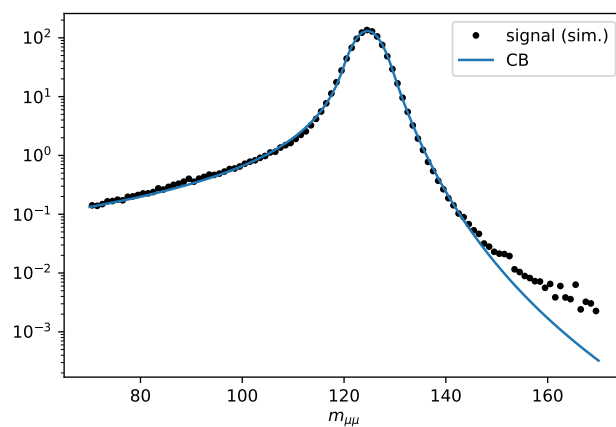
Simulirani signal lahko opišemo s funkcijo oblike *Crystal Ball*, ki je kombinacija osrednje gaussovske porazdelitve in potenčnih repov. Ker funkcija vsebuje preveč parametrov, ki so povrh še močno korelirani, ustrezno prileganje poiščemo s pregledom po parih parametrov, kar je prikazano na slikah 2 in 3. Končni rezultat najboljšega prileganja je prikazan na sliki 4.



Slika 2: Prileganje funkcije *Crystal Ball* s pregledom po parametrih α_L in α_R .



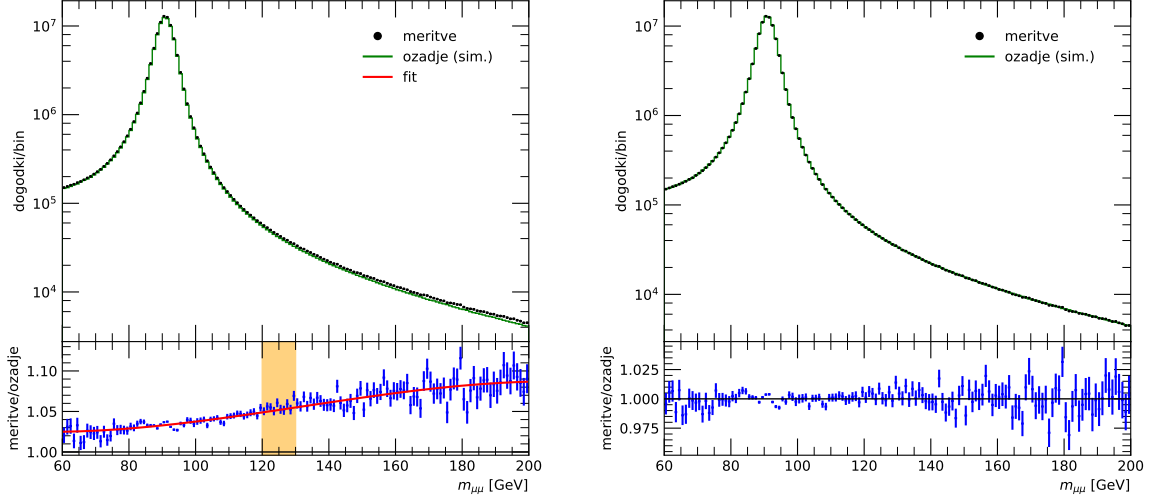
Slika 3: Prileganje funkcije *Crystal Ball* s pregledom po parametrih n_L in n_R .



Slika 4: Najbolje prilegana funkcija CB na simulirani signal.

4 Modeliranje ozadja

Simulirano ozadje se ne ujema dobro z meritvami, kar lahko vidimo na sliki 5, levo. Napoved lahko popravimo tako, da jo pomnožimo z nekim preprostim nastavkom, npr. polinomom tretje stopnje. Pri prileganju polinoma na napako izpustimo območje signala.



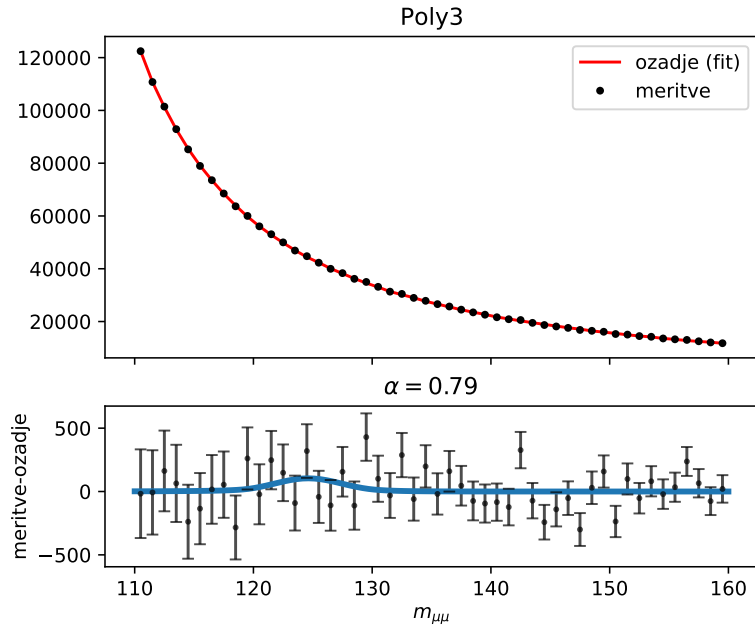
Slika 5: Simulirano ozadje se slabo ujema z meritvami (levo), zato napoved pomnožimo s kubičnim polinomom. Oranžen pas je pričakovano območje signala. Popravljen napoved (desno).

Simulirani signal pa lahko pred prileganjem na podatke tudi poljubno zapleteno zgladimo. Lahko ga modeliramo s teoretično motiviranimi nastavki, npr. modificirano Breit-Wignerjevo porazdelitvijo (mBW) ali formulo Atlas, ali pa ga regulariziramo z metodami strojnega učenja, kot sta SVM (*support vector machine*, metoda podpornih vektorjev) ali GPR (*Gaussian process regression*, regresija z Gaussovskimi procesi). Postopek izluščenja signala je torej sledeč:

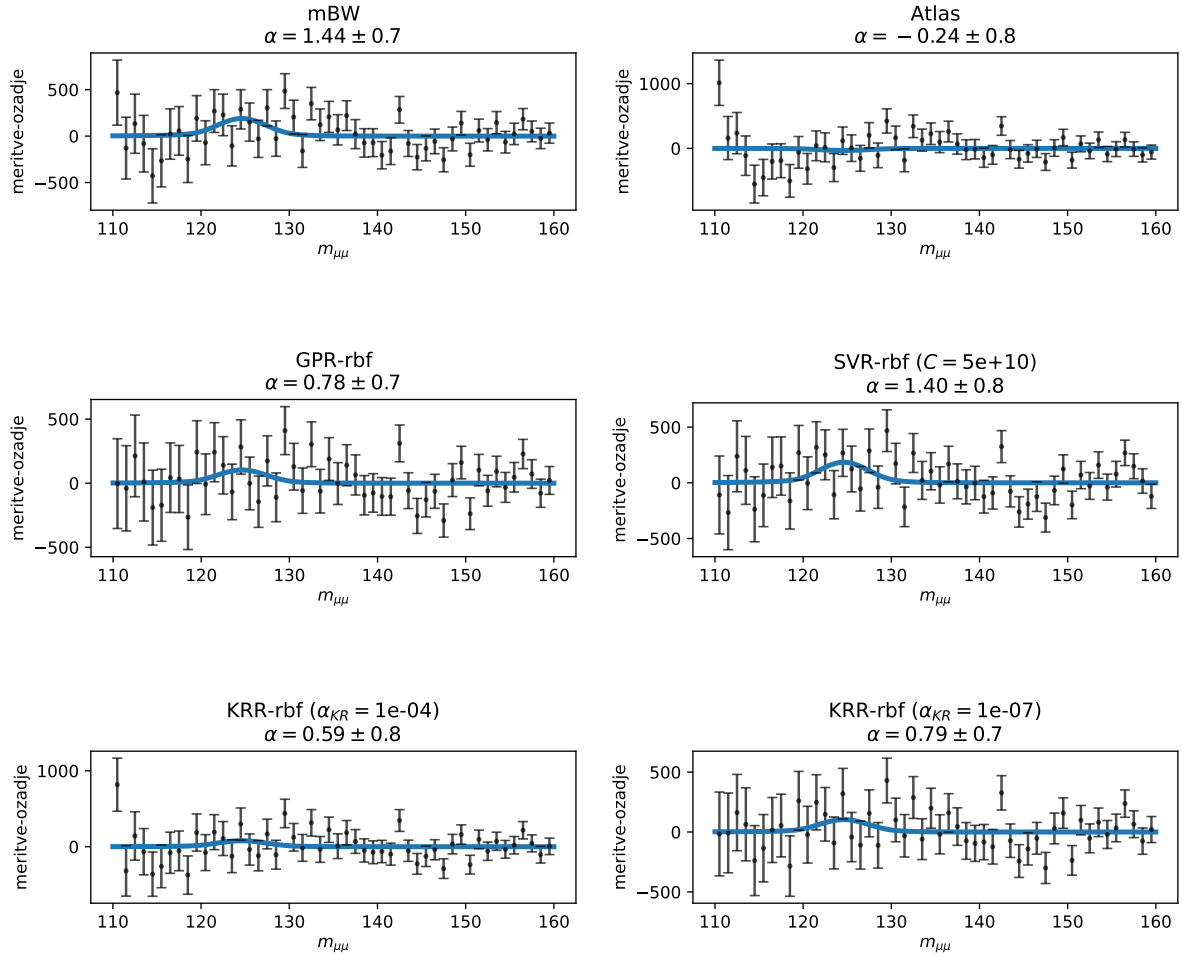
1. simulirano ozadje zgladimo ali nanj prilegamo teoretičen nastavek,
2. dobljeno funkcijo pomnožimo s polinomskim nastavkom tretje stopnje in prilegamo na meritve, pri čemer izpustimo pričakovani interval signala [120 GeV, 130 GeV],
3. od meritev odštejemo končno napoved za ozadje, da dobimo signal,
4. na signal prilegamo funkcijo $\alpha \cdot \text{CB}$, pri čemer je CB najboljše prilegana funkcija *Crystal Ball* na simulirani signal.

Na sliki 6 je prikazan primer, kjer simuliranega signala nismo gladili, temveč smo ga zgolj prilegali meritvam z dodanim polinomskim nastavkom.

Na spodnjih slikah so prikazani končni signali še za ostale metode. Opazimo, da odstopa metoda Atlas, kjer je prileganje zelo slabo. Najbolje sta se odrezali prileganje mBW in regularizacija SVR, kjer smo dosegli $\alpha \sim 1,4$. Metodi GPR in KRR z jedrom RBF sta dali podoben rezultat, $\alpha \sim 0,79$. Pri metodi KRR sta prikazana rezultata z različnim parametrom α_{KR} , ki določa stopnjo regularizacije (večji α_{KR} pomeni močnejšo regularizacijo).



Slika 6: Končni rezultat prileganja ozadja na podatke in izluščenega signala z metodo enostavnega popravka simulacije.



5 Zaključek

V nalogi smo iz meritev Velikega hadronskega trkalnika v drugem obdobju (2015–2018) izluščevali signal, s katerim bi potrdili prisotnost razpadnega mehanizma Higgsovega bozona na dva miona. Preizkusili smo različne metode za glajenje in regularizacijo simuliranih podatkov ter uspešno zaznali pravi signal. V nalogi smo sicer posvetili znatno premalo pozornosti pravilni in natančni obravnavi merskih napak ter njihovi propagaciji skozi modeliranje.