

# **Produkcija tripleta Higgsovih bozona na Velikom hadronskom sudarivaču**

Ina Moslavac

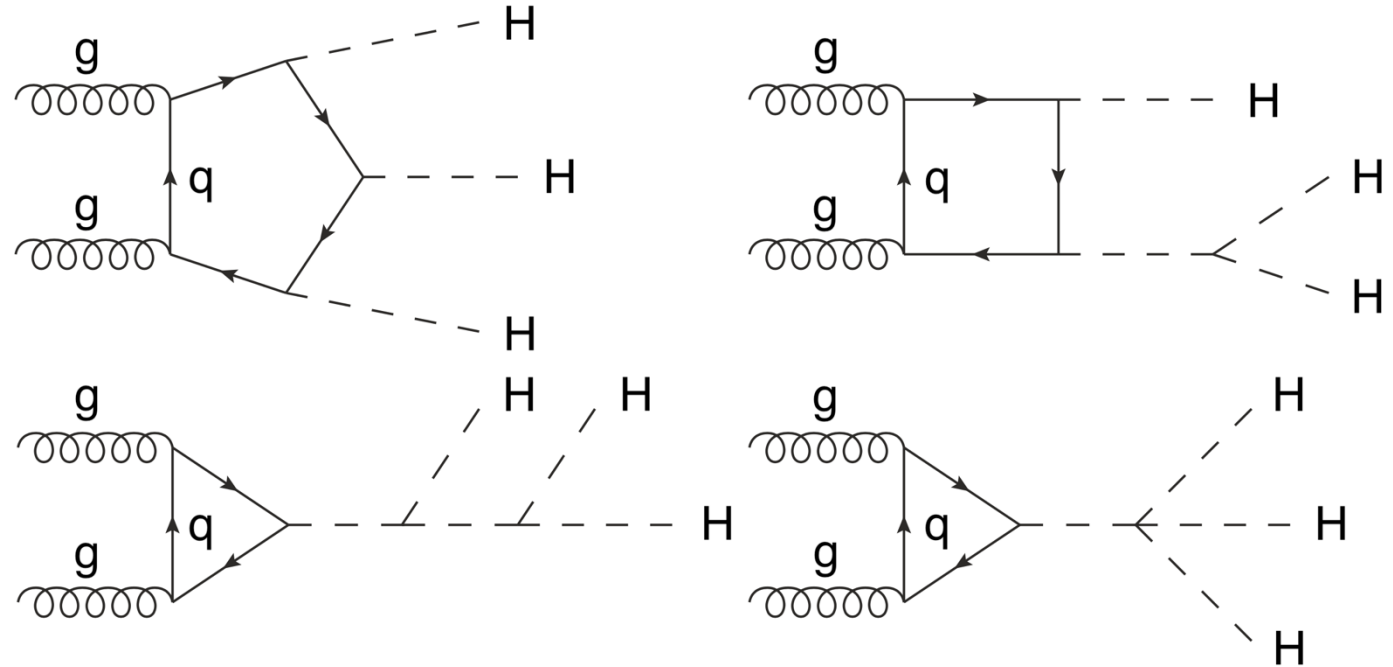
mentor: dr. sc. Dinko Ferenček



# Uvod

## SM produkcija tripleta Higgsovih bozona

- udarni presjek: 0.1 fb
- luminozitet LHC-a:  $\sim 3000 \text{ fb}^{-1}$
- omjer grananja za  $H \rightarrow bb$ :  $\sim 0.6$
- maksimalan broj događaja:  $\sim 60$



F. Maltoni, E. Vryonidou, and M. Zaro, Journal of High Energy Physics 2014, 79 (2014)

# Uvod

- proton–proton sudari na LHC–u detektirani CMS detektorom
- interakcija partona
- Kartezijev koordinatni sustav s z–osi u smjeru snopa

# Uvod

- proton-proton sudari na LHC-u detektirani CMS detektorom
- interakcija partona
- Kartezijev koordinatni sustav s z-osi u smjeru snopa
- pseudorapiditet  $\eta = -\ln \left( \tan \frac{\theta}{2} \right)$ , rapiditet  $y = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{E+p_z}{E-p_z} \right)$
- URL:  $p \gg m$ , vrijedi  $y \rightarrow \eta$
- transverzalni impuls i rapiditet su Lorentz invarijantni

# Uvod

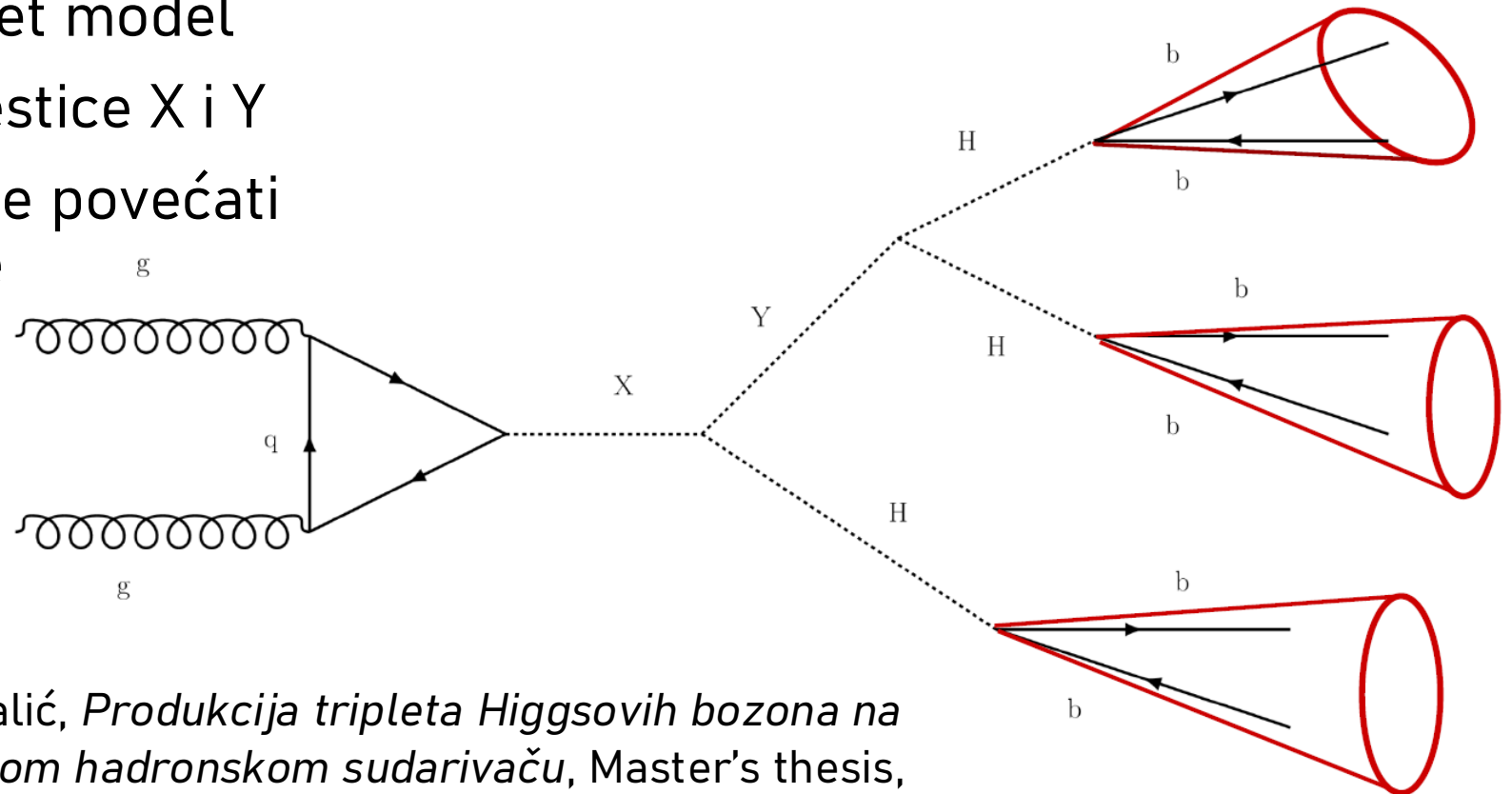
- proton–proton sudari na LHC–u detektirani CMS detektorom
- interakcija partona
- Kartezijev koordinatni sustav s z–osi u smjeru snopa
- pseudorapiditet  $\eta = -\ln\left(\tan\frac{\theta}{2}\right)$ , rapiditet  $y = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{E+p_z}{E-p_z}\right)$
- URL:  $p \gg m$ , vrijedi  $y \rightarrow \eta$
- transverzalni impuls i rapiditet su Lorentz invarijantni
- angularna udaljenost između dvije čestice:  $\Delta R = \sqrt{(\Delta\phi)^2 + (\Delta y)^2}$

# Uvod

## BSM proces $pp \rightarrow X \rightarrow YH \rightarrow 6b$

- TRSM – two real singlet model
- dvije nove skalarne čestice X i Y
- udarni presjek može se povećati za do  $\sim 2$  reda veličine

$$2m_H < m_Y < m_X - m_H$$

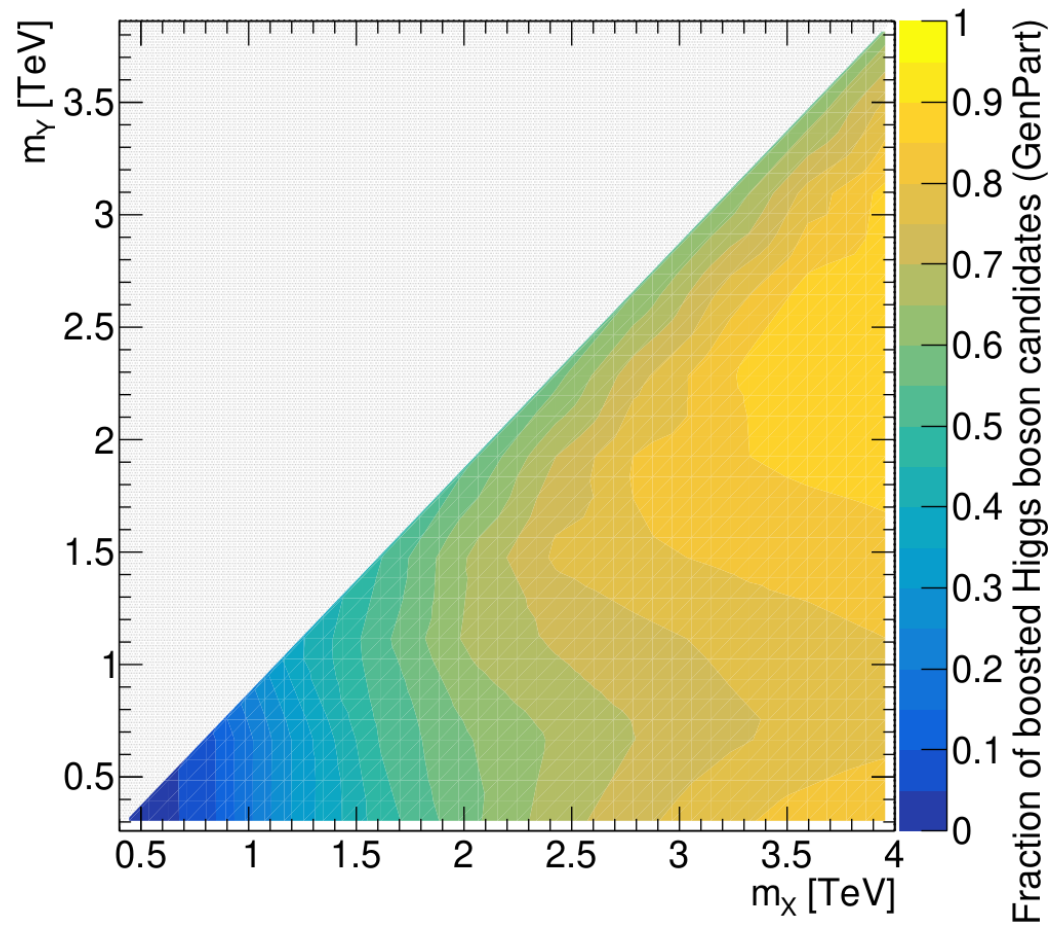


L. Čalić, *Produkcija tripleta Higgsovih bozona na Velikom hadronskom sudarivaču*, Master's thesis, Sveučilište u Rijeci, Odjel za fiziku (2021)

# Efikasnost selekcija

# Efikasnost selekcija

## Razina generiranih čestica

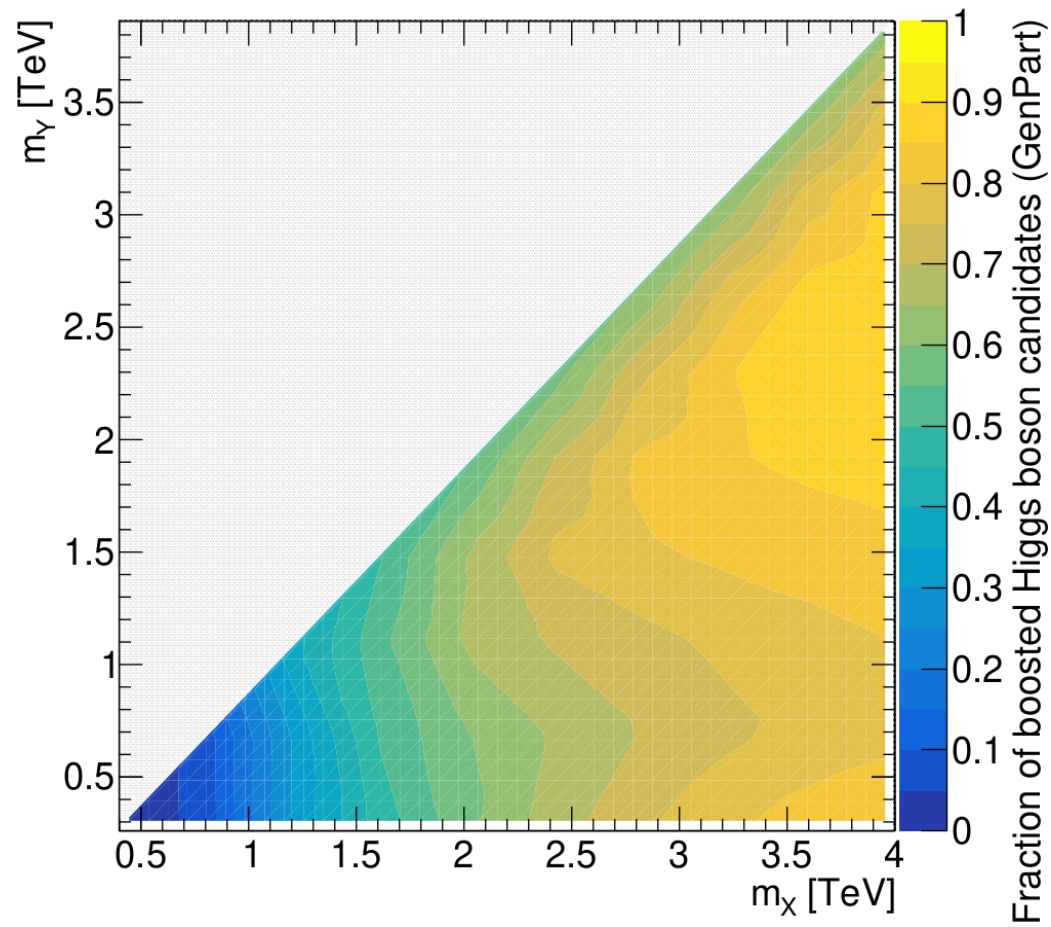


- udio ultrarelativističkih Higgsovih kandidata

$$\varepsilon_{gen} = \frac{N_{boosted}}{N_{tot}}$$

# Efikasnost selekcija

## Razina generiranih čestica



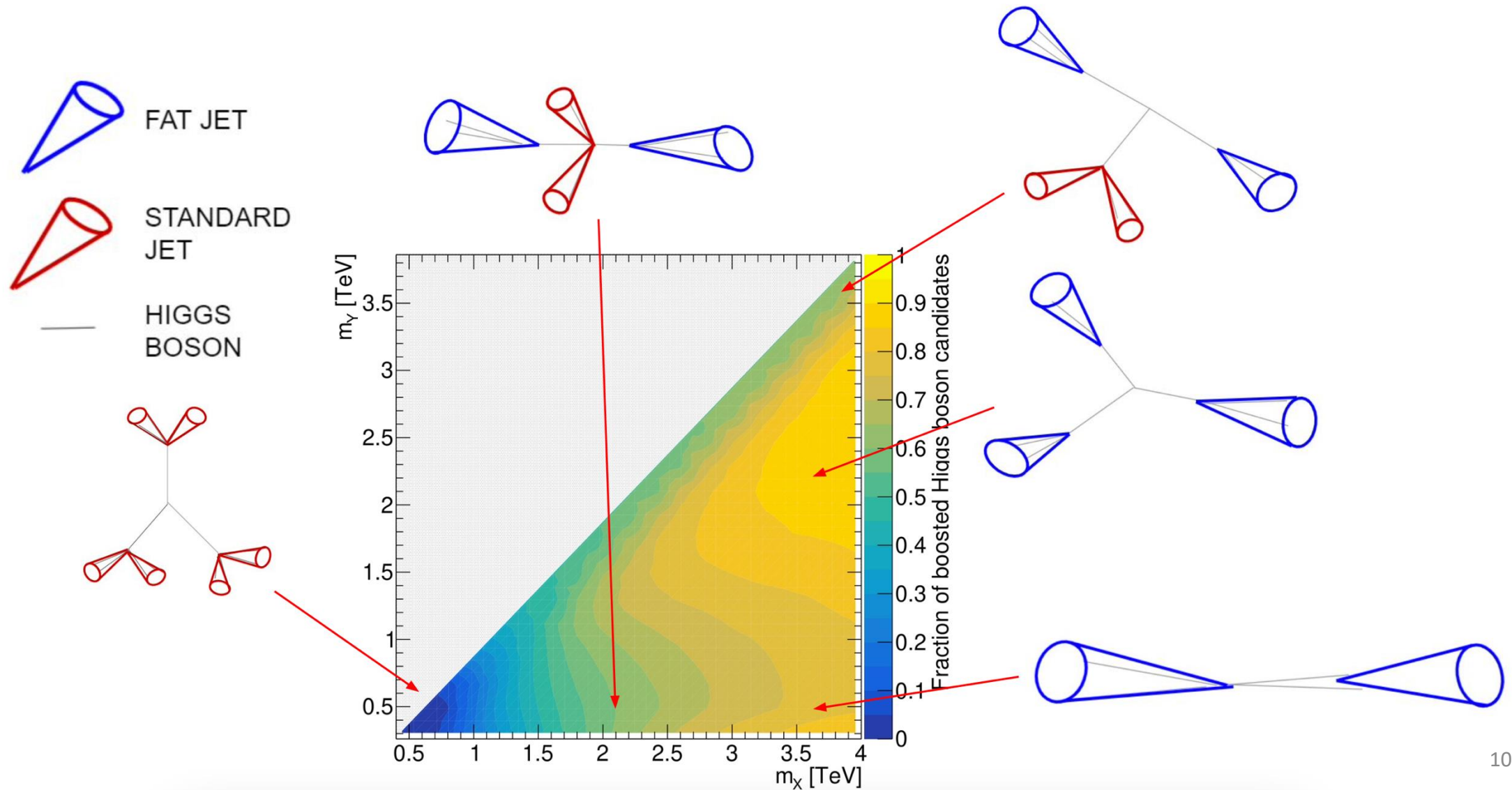
- udio ultrarelativističkih Higgsovih kandidata

$$\varepsilon_{gen} = \frac{N_{boosted}}{N_{tot}}$$

## Ultrarelativistički Higgsovi kandidati

- rapiditet  $|\eta| < 2$
- angularna udaljenost  $\Delta R(b, \bar{b}) < 0.8$

# Efikasnost selekcija

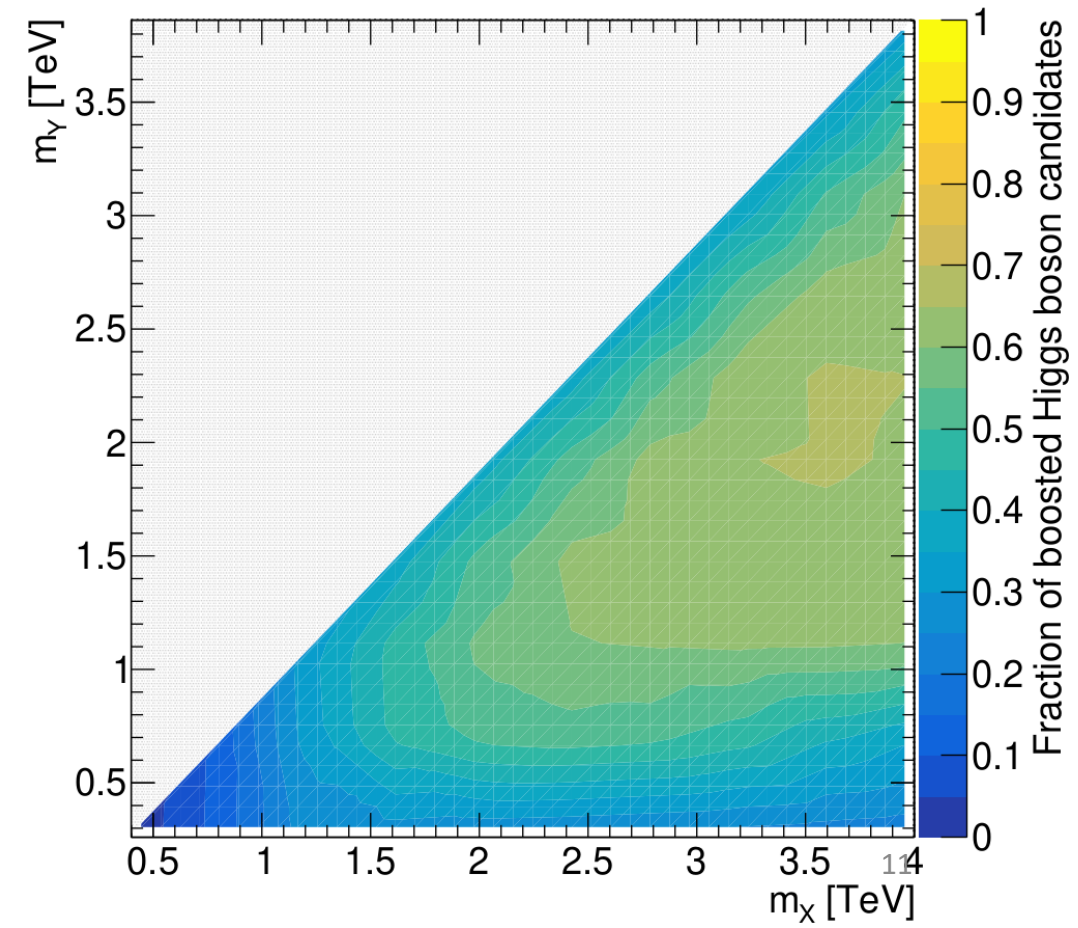


# Efikasnost selekcija

## Razina rekonstruiranih hadronskih mlazova

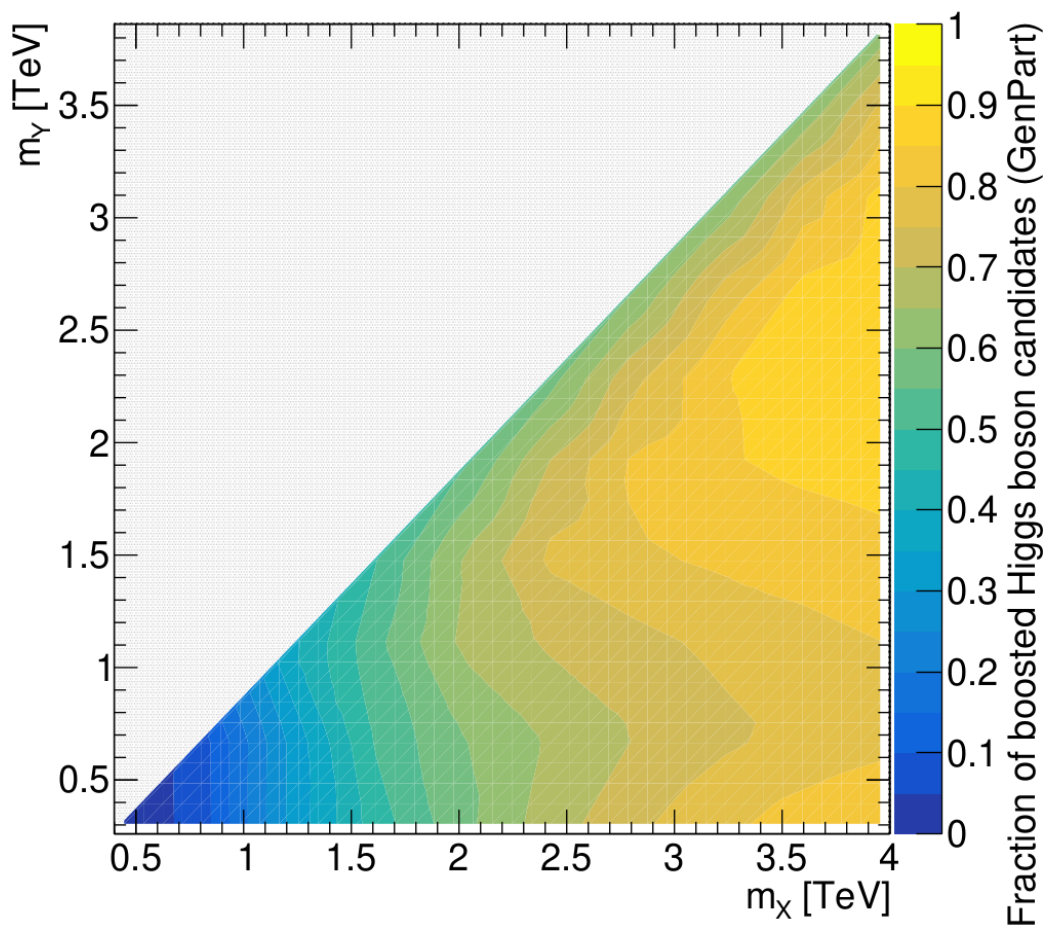
### Ultrarelativistički Higgsovi kandidati

- transverzalni impuls  $p_T^{jet} > 250$  GeV
- masa mlaza  $100 < m_{jet} < 150$  GeV
- rapiditet  $|\eta^{jet}| < 2$

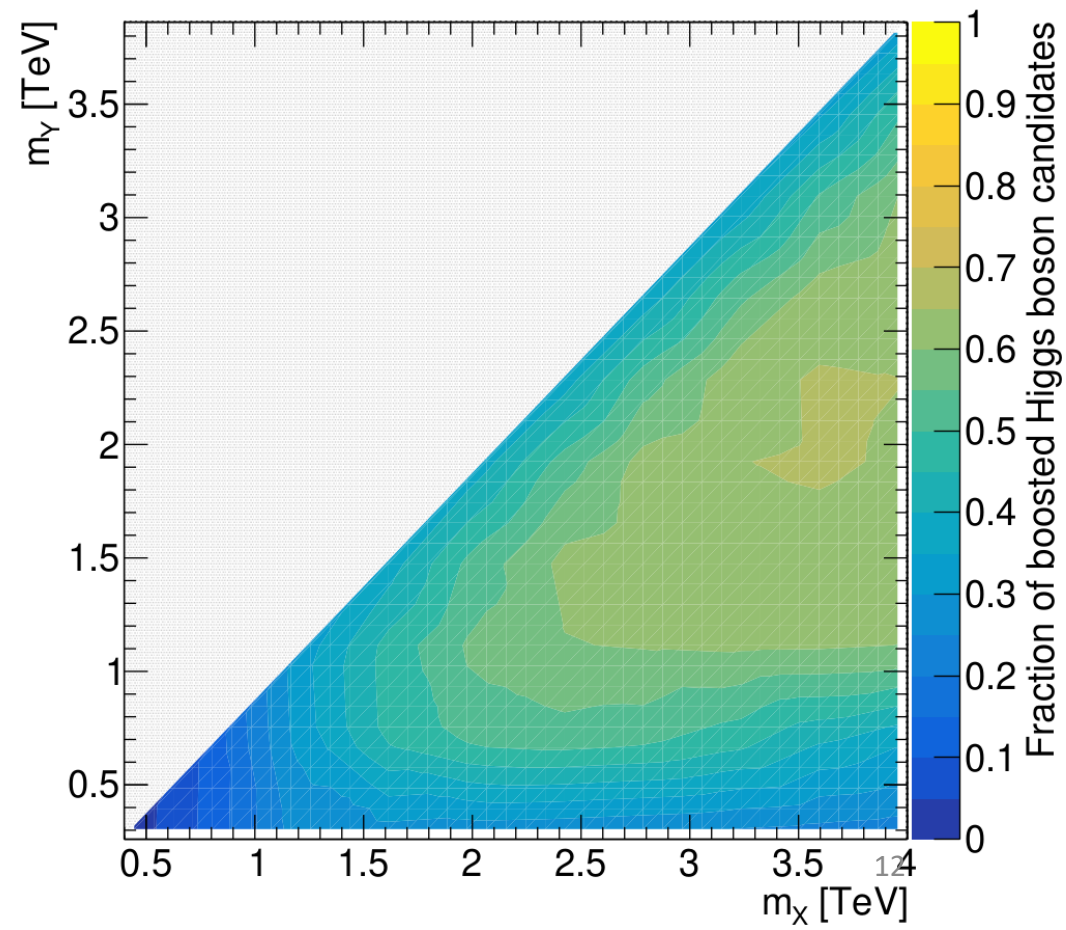


# Efikasnost selekcija

## Razina generiranih čestica

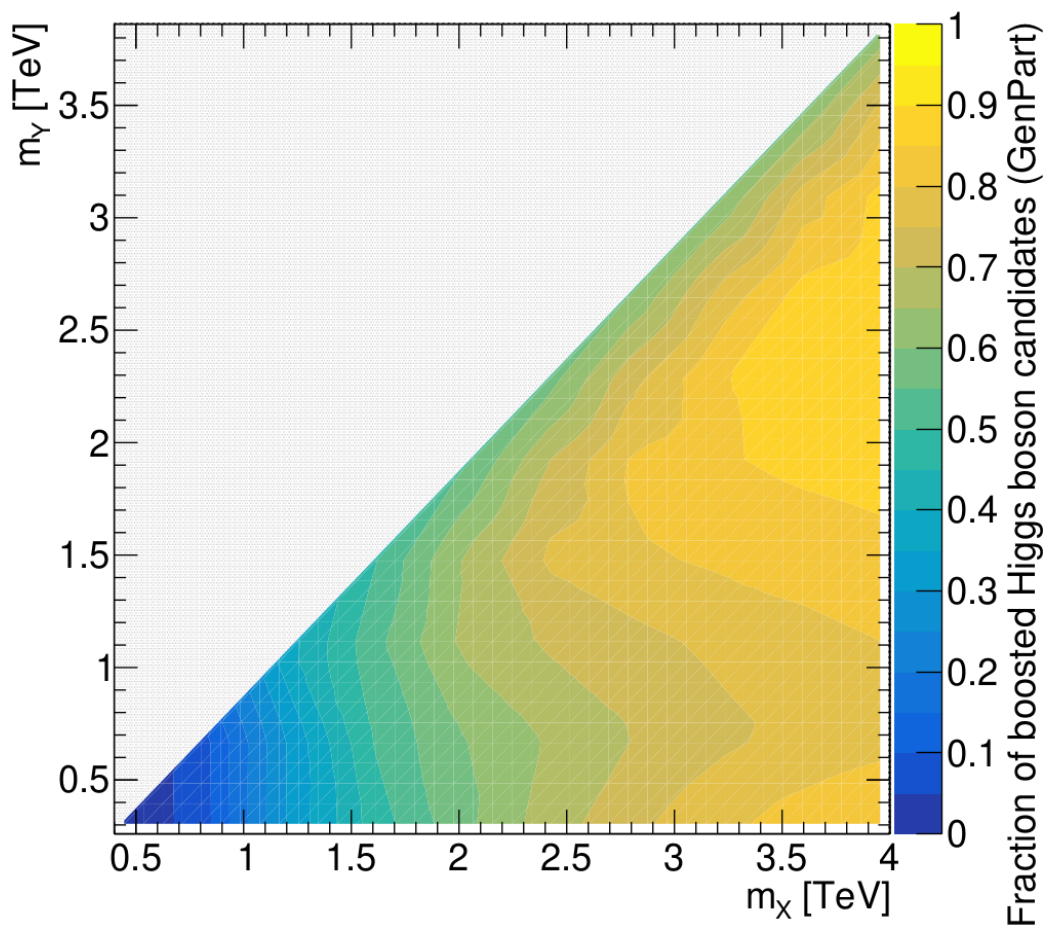


## Razina rekonstruiranih hadronskih mlazova

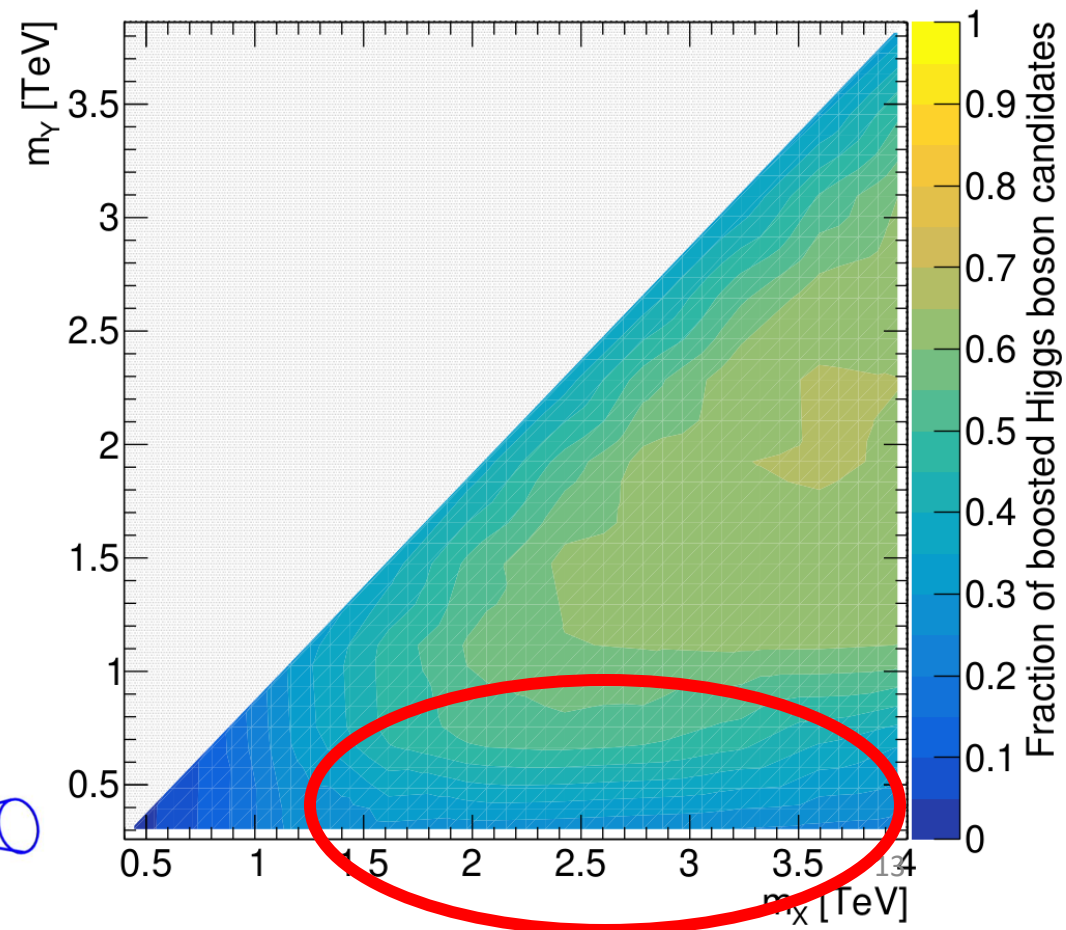


# Efikasnost selekcija

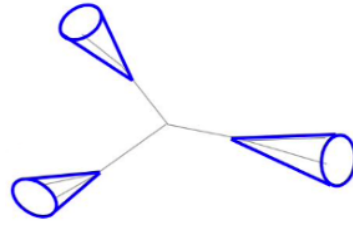
## Razina generiranih čestica



## Razina rekonstruiranih hadronskih mlazova

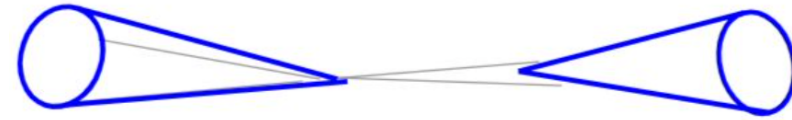
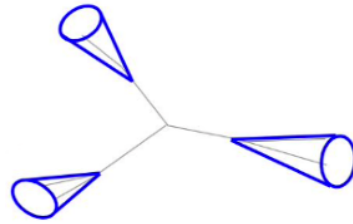


# Selekcije



| Signalno područje                                                                                                                                                   |                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| $\geq 3$ AK8 mlaza s<br>$p_T > 250 \text{ GeV}$<br>$ \eta  < 2.5$<br>$100 \text{ GeV} < m < 150 \text{ GeV}$                                                        |                                 |
| Kategorije: ParticleNet ocjena $> 0.9105$                                                                                                                           |                                 |
| Pad                                                                                                                                                                 | Prolaz                          |
| 0 mlazova zadovoljava uvjet                                                                                                                                         | $\geq 1$ mlaz zadovoljava uvjet |
| Validacijsko područje                                                                                                                                               |                                 |
| Isto kao signalno područje, ali dva vodeća mlaza (prema $p_T$ ) imaju masu<br>$60 \text{ GeV} < m < 100 \text{ GeV}$ ili<br>$150 \text{ GeV} < m < 250 \text{ GeV}$ |                                 |

# Selekcije



| Signalno područje                                                                                                                                                   |                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| $\geq 3$ AK8 mlaza s<br>$p_T > 250$ GeV<br>$ \eta  < 2.5$<br>$100 \text{ GeV} < m < 150 \text{ GeV}$                                                                |                                 |
| Kategorije: ParticleNet ocjena $> 0.9105$                                                                                                                           |                                 |
| Pad                                                                                                                                                                 | Prolaz                          |
| 0 mlazova zadovoljava uvjet                                                                                                                                         | $\geq 1$ mlaz zadovoljava uvjet |
| Validacijsko područje                                                                                                                                               |                                 |
| Isto kao signalno područje, ali dva vodeća mlaza (prema $p_T$ ) imaju masu<br>$60 \text{ GeV} < m < 100 \text{ GeV}$ ili<br>$150 \text{ GeV} < m < 250 \text{ GeV}$ |                                 |

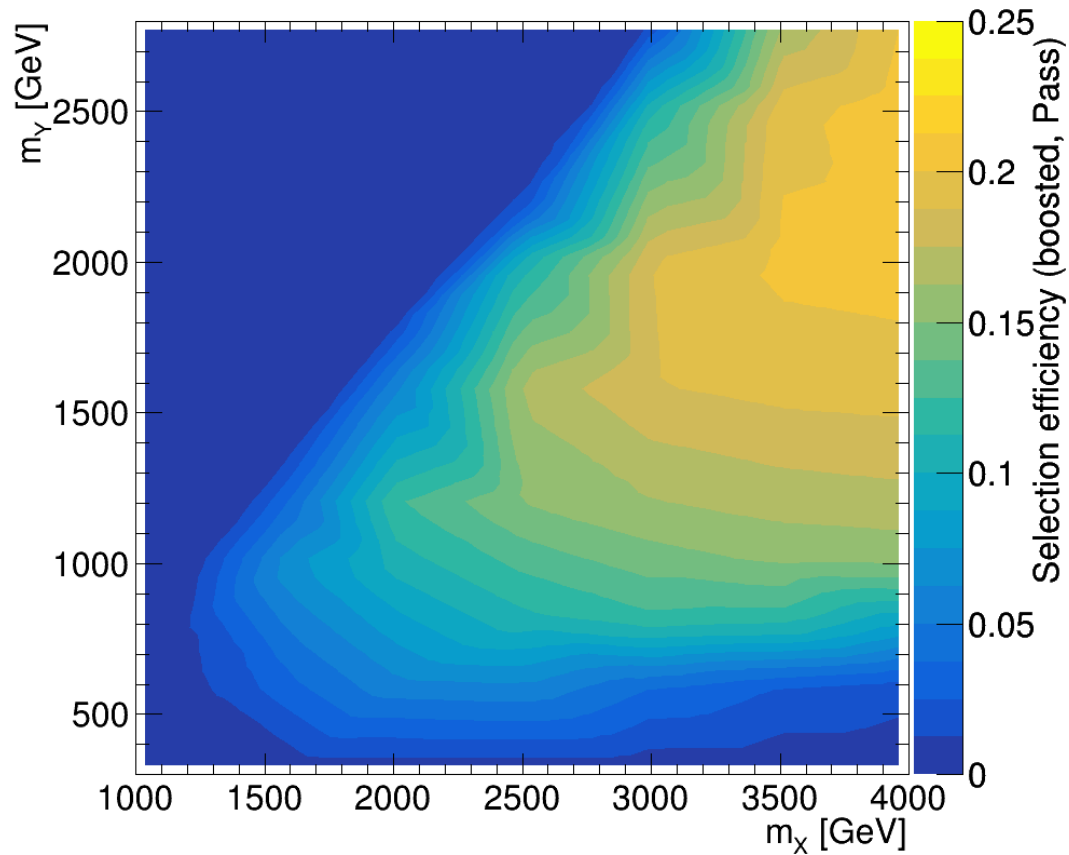
## Dijet selekcija - promjene

- $\geq 2$  AK8 mlaza s
- “back-to-back” konfiguracija mlazova  
 $\Delta\phi > 2$
- jedan Higgsov kandidat  
 $100 \text{ GeV} < m < 150 \text{ GeV}$
- jedan Y kandidat  $m > 250 \text{ GeV}$

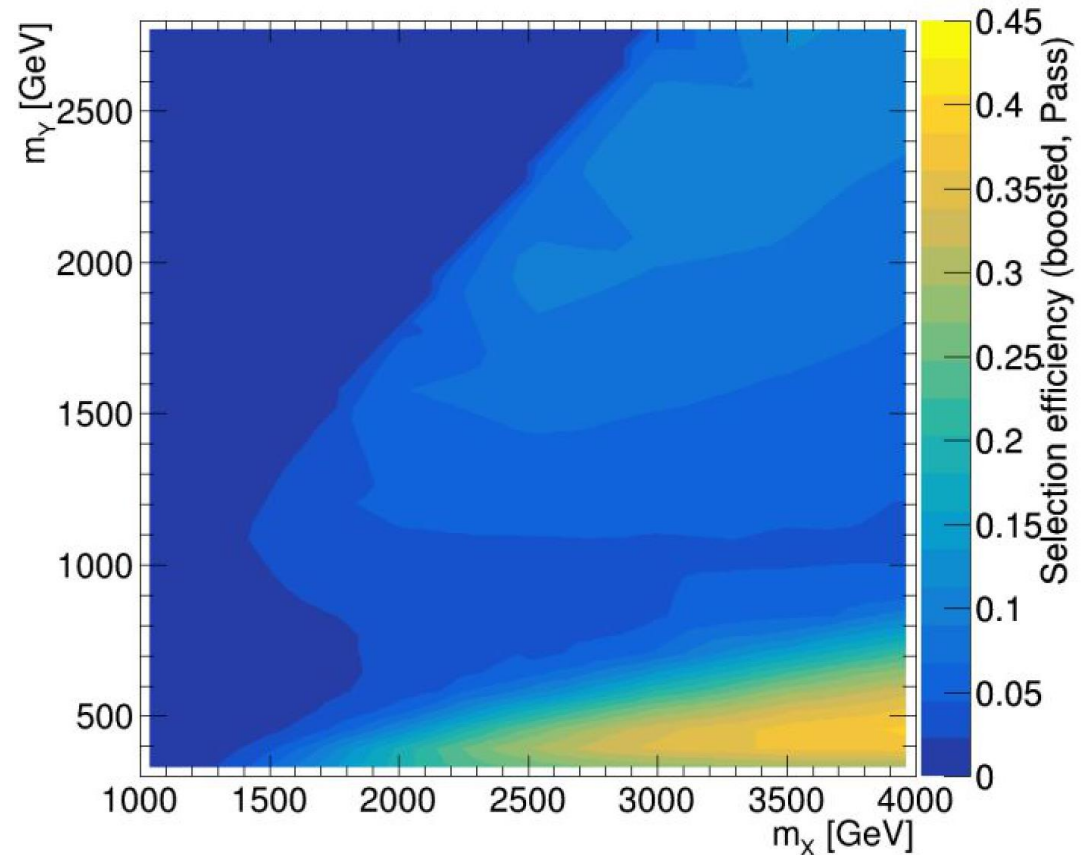
# Efikasnost selekcija

$$\varepsilon = \frac{N_{selected}}{N_{tot}}$$

trijet selekcija



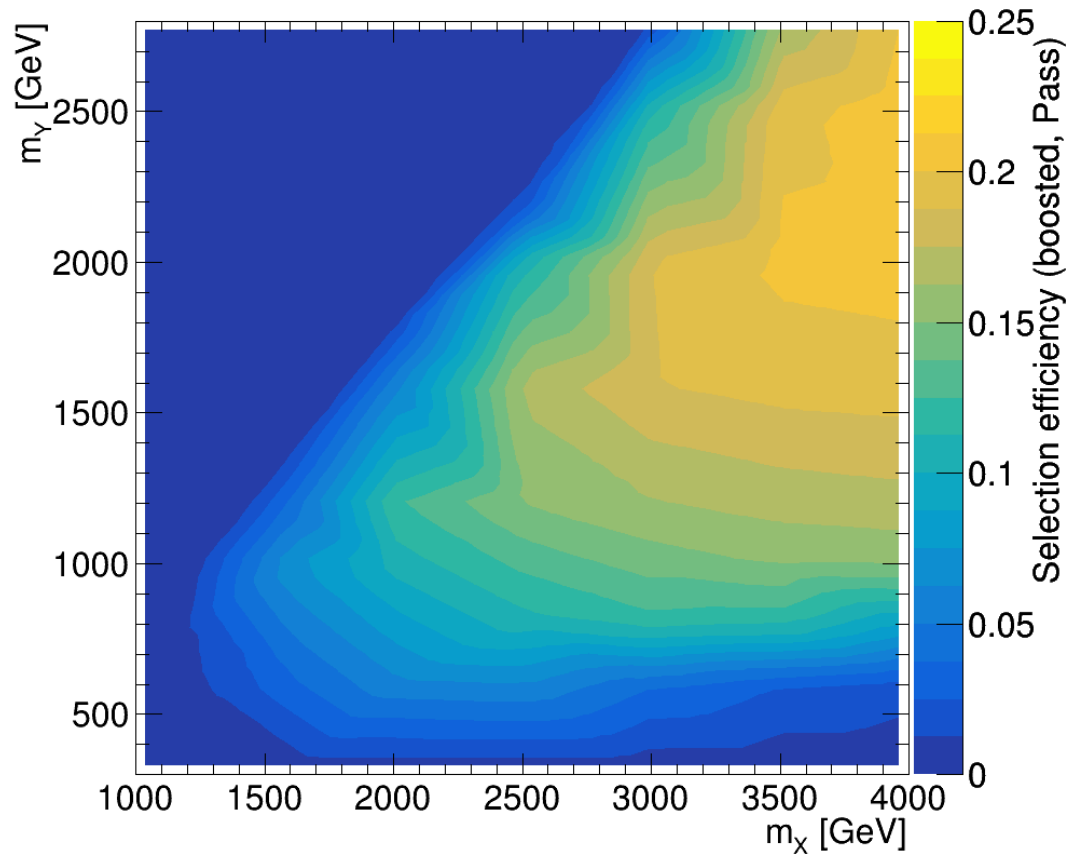
dijet selekcija



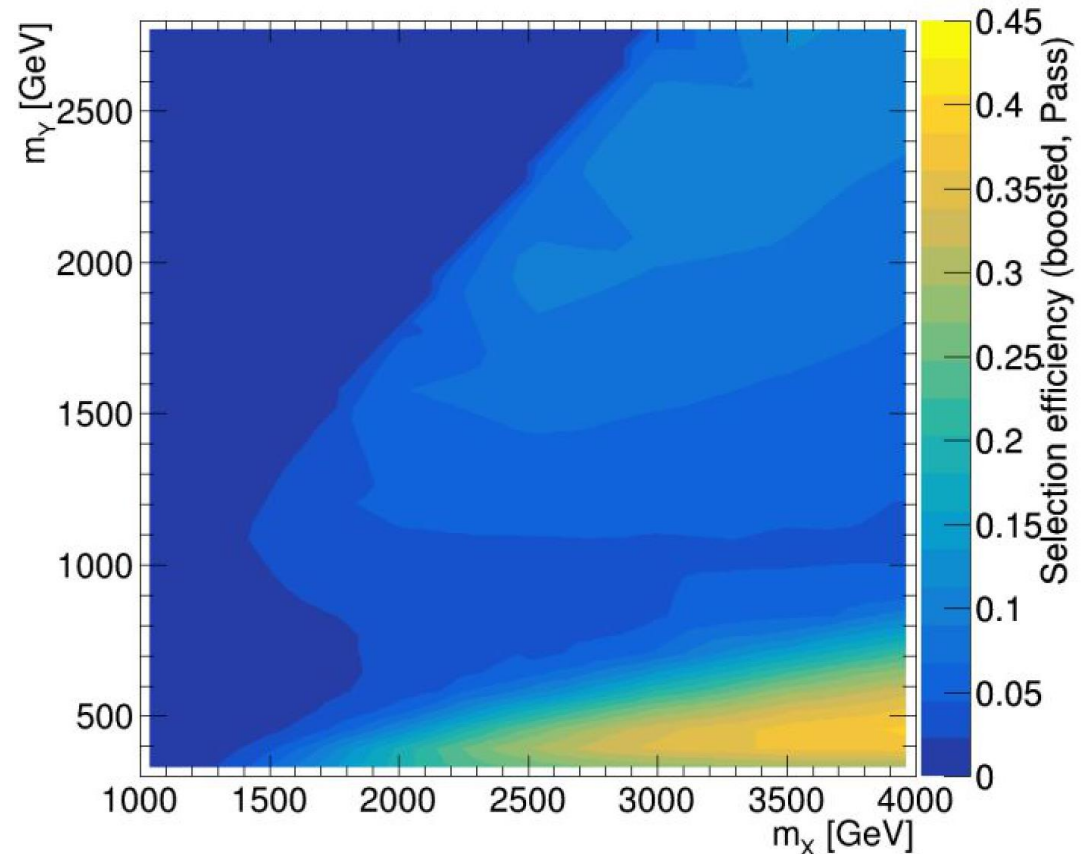
# Efikasnost selekcija

$$\varepsilon = \frac{N_{selected}}{N_{tot}}$$

trijet selekcija



dijet selekcija



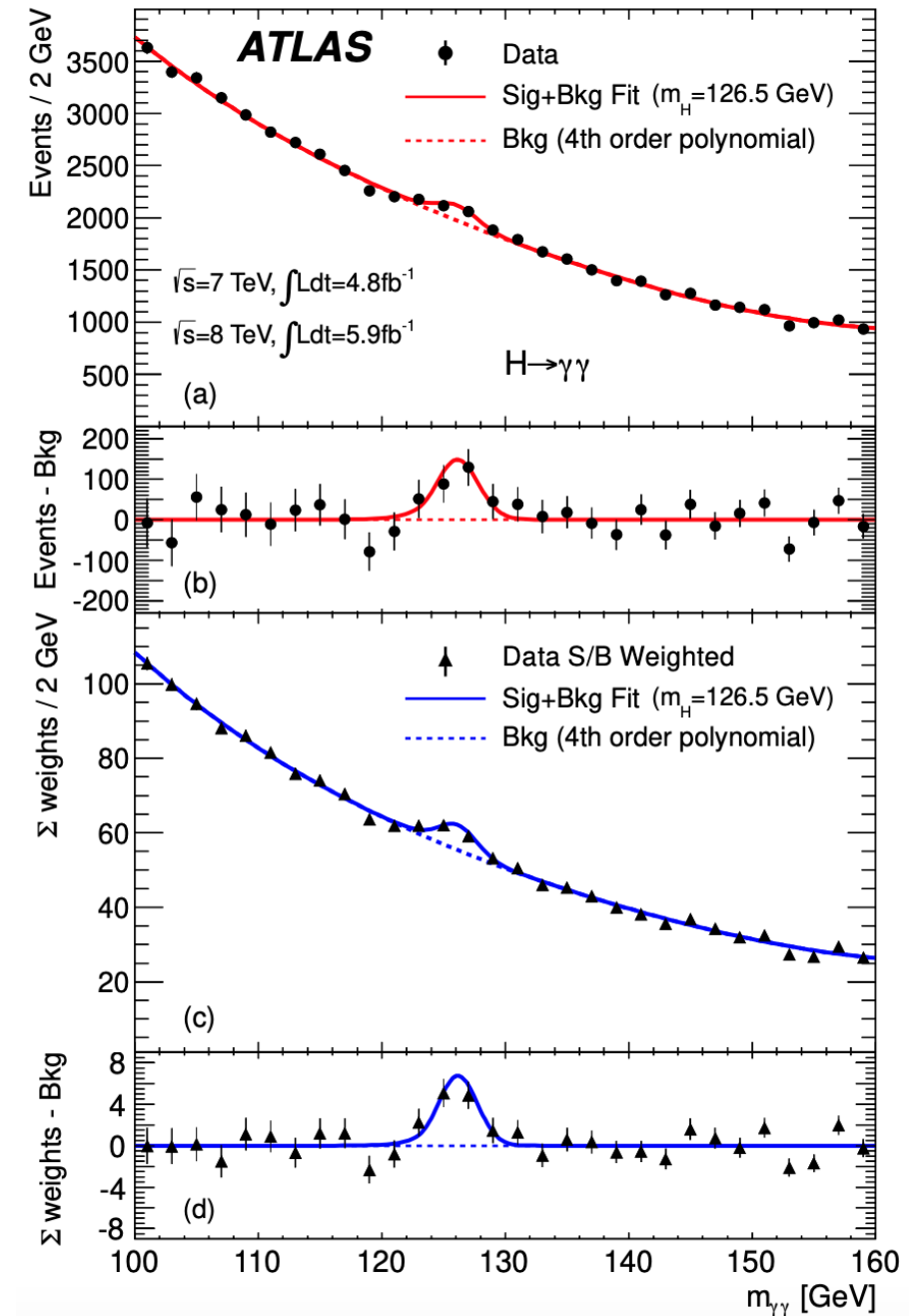
Efikasnost selekcije poboljšana za do  $\sim 1$  red veličine

# Procjena pozadine

# Procjena pozadine

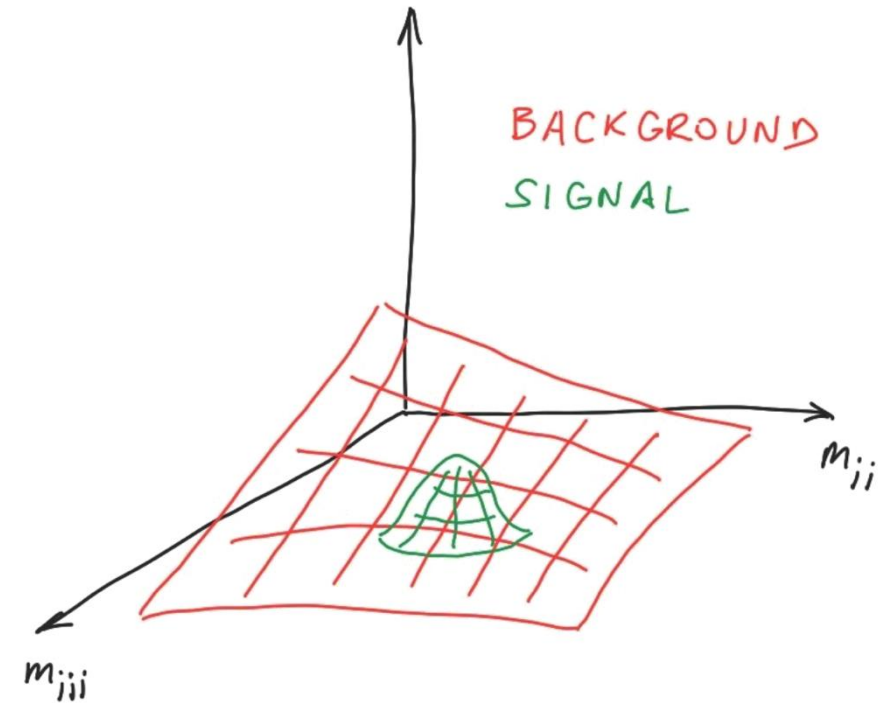
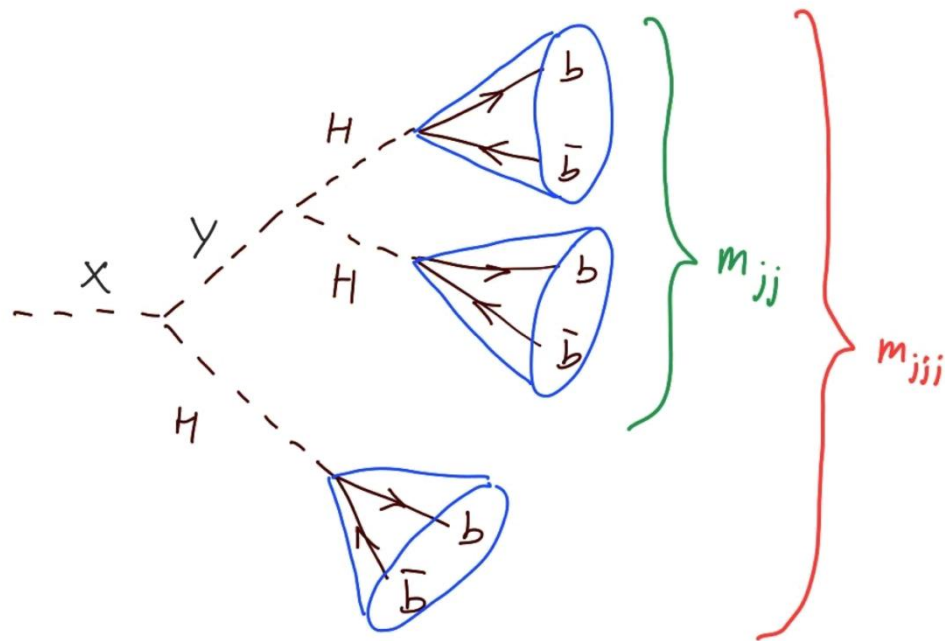
- otkriće Higgsovog bozona
- izbočina u broju događaja u ovisnosti o invarijantnoj masi produkata raspada

ATLAS Collaboration, Physics Letters B 716, 1–29 (2012)



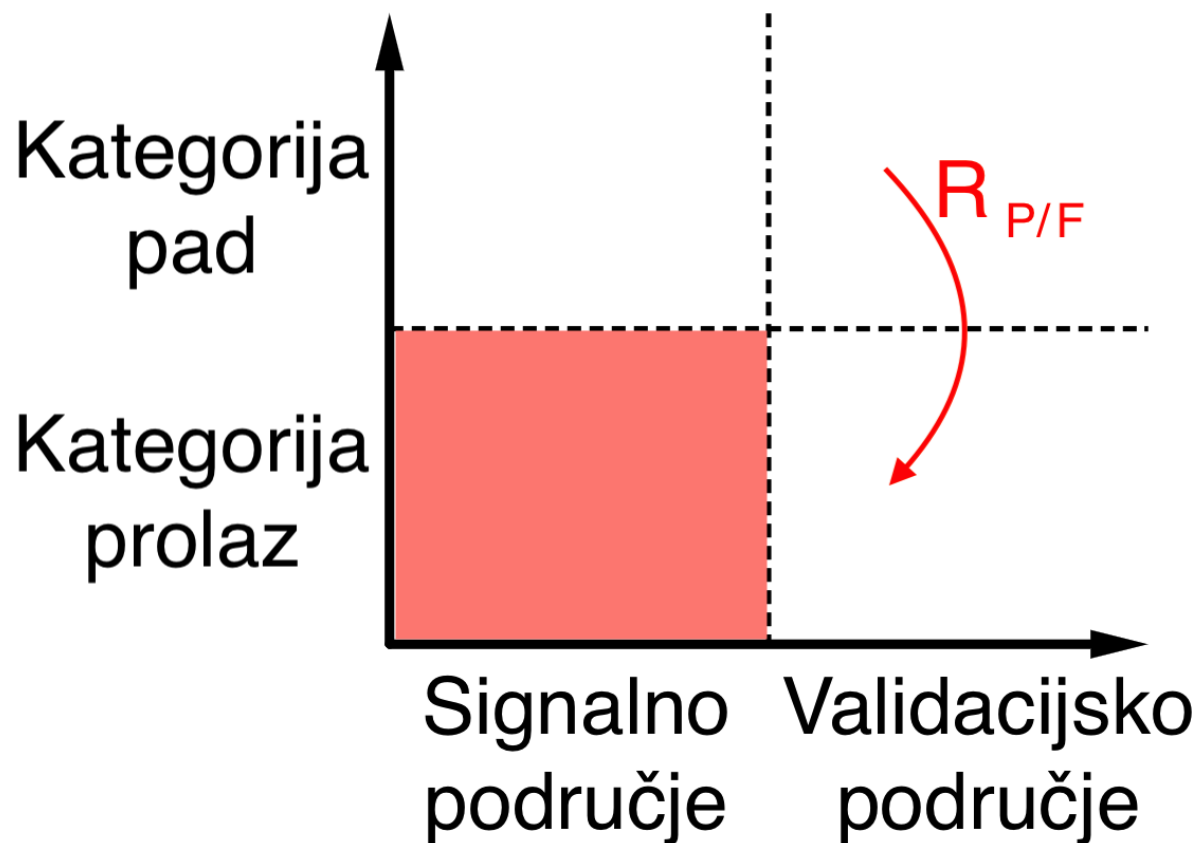
# Procjena pozadine

- potraga za 2D izbočinom



# Procjena pozadine

- 2DAlphabet – procjena pozadine temeljena na podacima



$R_{P/F}$  ... analitička prijenosna funkcija koja povezuje broj događaja u kategorijama prolaz i pad

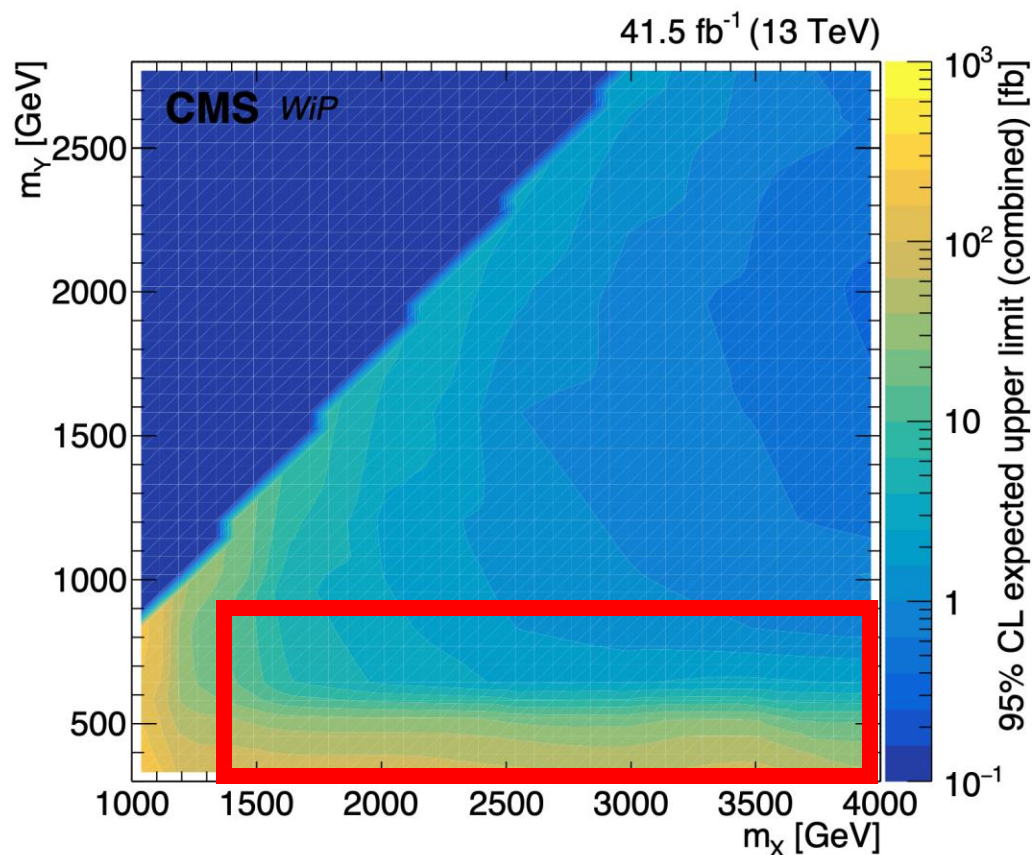
# Očekivane gornje granice udarnih presjeka

# Očekivane gornje granice udarnih presjeka

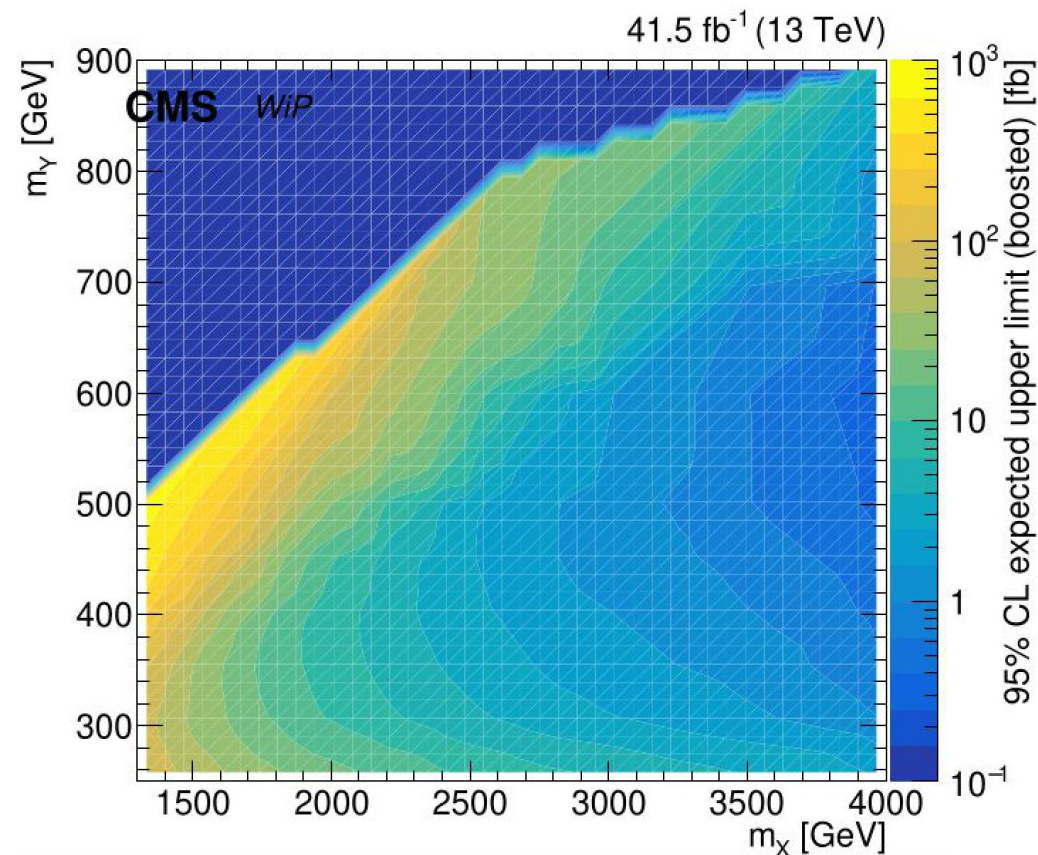
- s određenom razinom pouzdanosti možemo isključiti postojanje procesa u podacima iz simulacije
- ako 95% pouzdana očekivana gornja granica udarnog presjeka iznosi 50 fb, tada s razinom pouzdanosti od 95% možemo isključiti da u podacima iz simulacije postoji proces koji ima udarni presjek od 50 fb

# Očekivane gornje granice udarnih presjeka

trijet selekcija

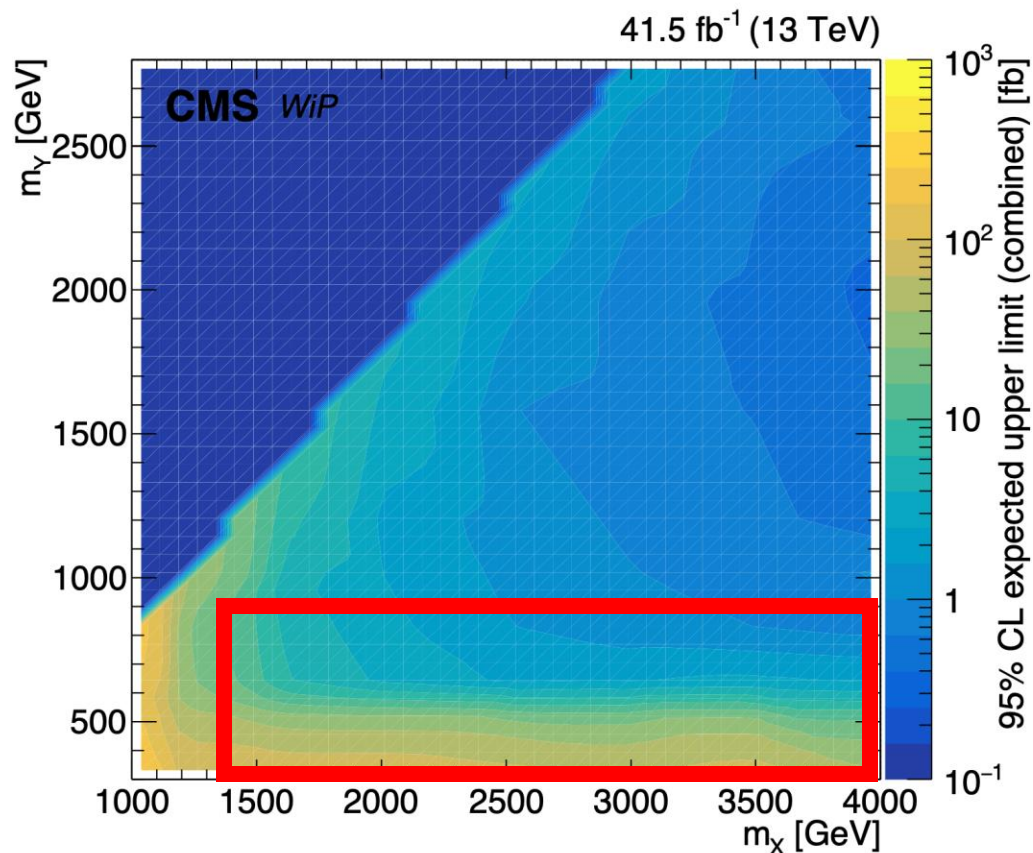


dijet selekcija

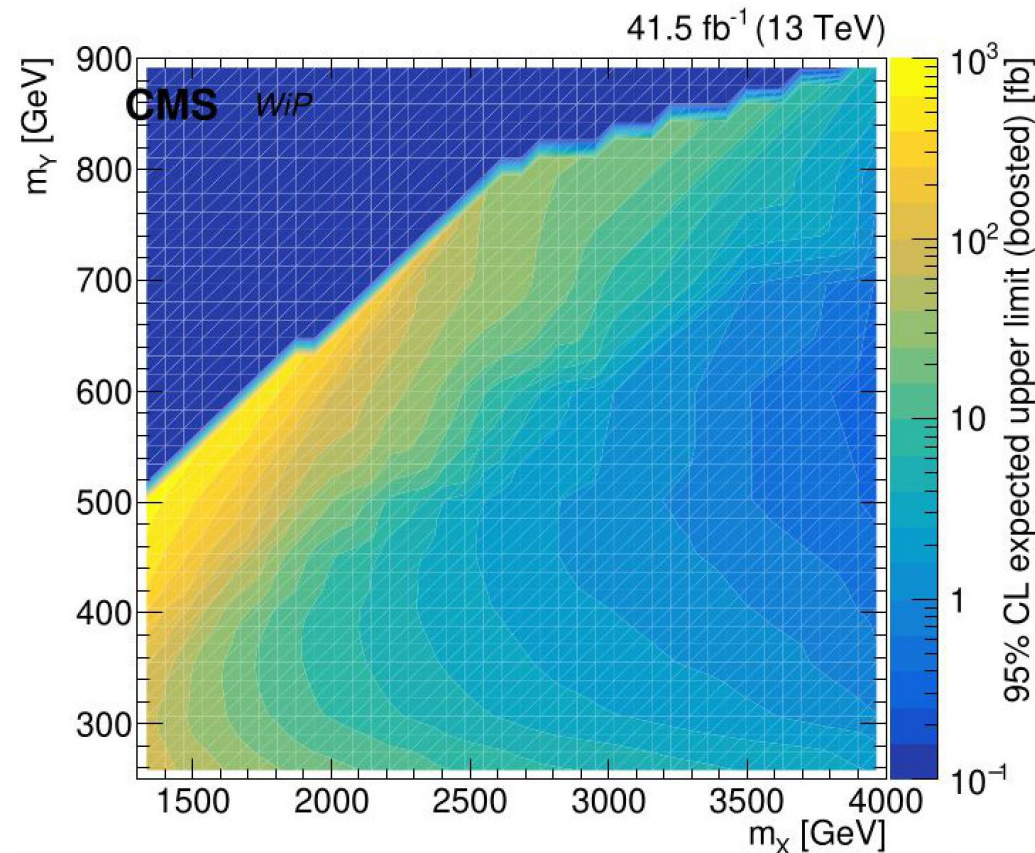


# Očekivane gornje granice udarnih presjeka

trijet selekcija



dijet selekcija



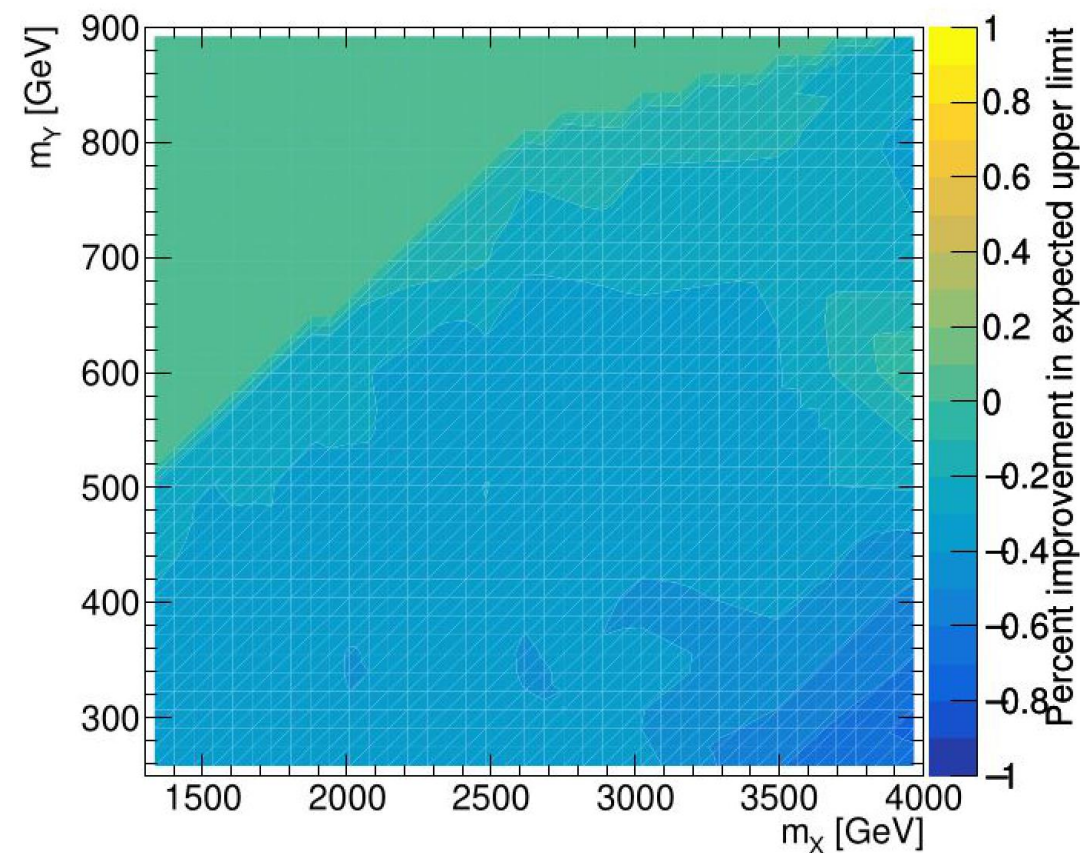
Očekivane gornje granice udarnih presjeka poboljšane do 45 puta

# Poboljšanja analize

# Poboljšanja analize

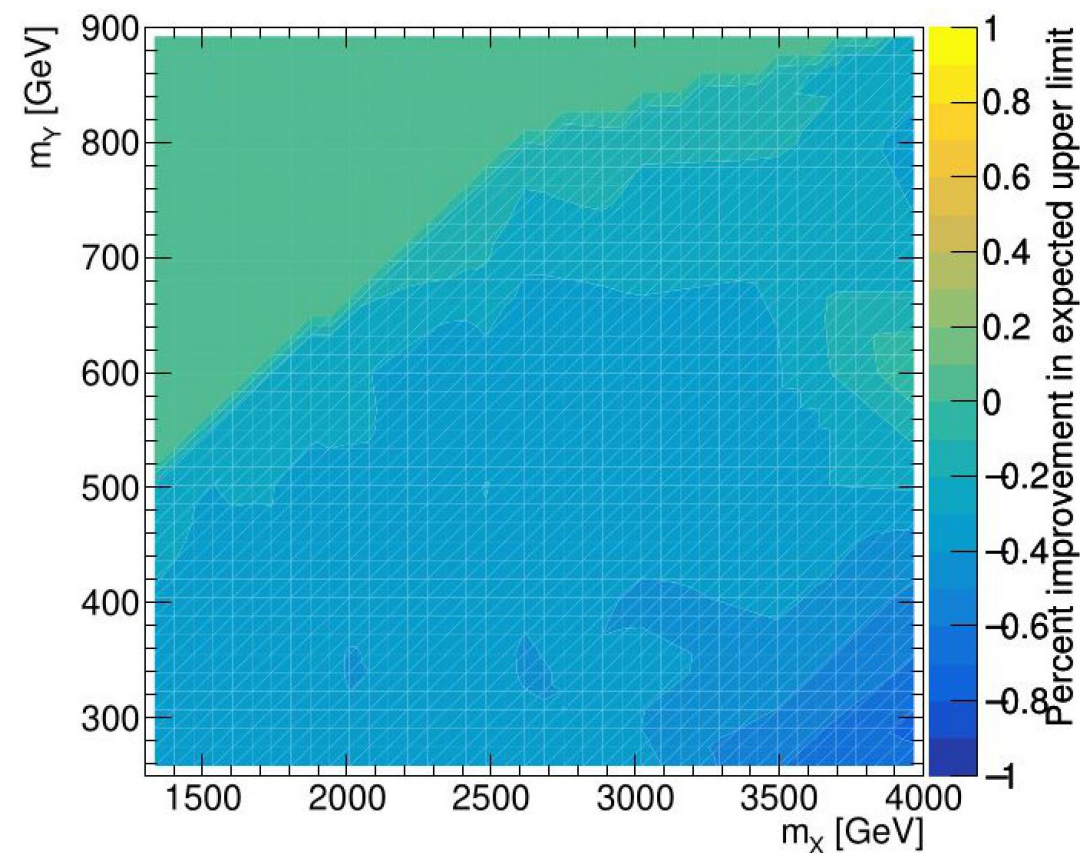
$$\text{poboljšanje} = \frac{\text{novo} - \text{staro}}{\text{staro}}$$

2017. vs 2017. & 2018.



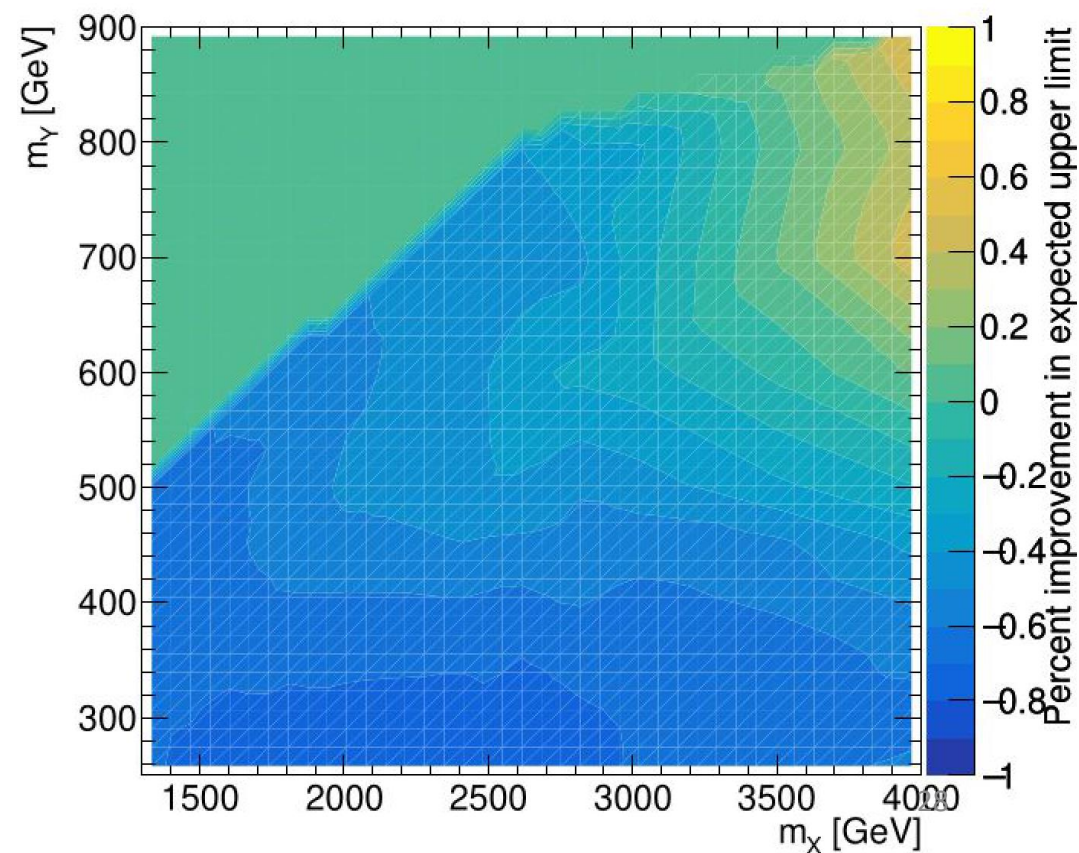
# Poboljšanja analize

2017. vs 2017. & 2018.



$$\text{poboljšanje} = \frac{\text{novo} - \text{staro}}{\text{staro}}$$

Softdrop vs. ParticleNet masa



# Zaključak

- definirali smo novu selekciju za dijet topologiju  
$$pp \rightarrow X \rightarrow YH \rightarrow 6b$$
- efikasnost selekcije događaja poboljšana za do  $\sim 1$  red veličine
- očekivane gornje granice udarnih presjeka poboljšane za do 45 puta
- dodatna poboljšanja: više podataka ili bolji selekcijski kriteriji

# Hvala na pažnji!

Ina Moslavac

mentor: dr. sc. Dinko Ferenček

