

# Radiogalaksije u polju COSMOS

Filip Matković

Mentorica: prof. dr. sc. Vernesa Smolčić

28. siječnja 2021.

# Polje COSMOS

- COSMOS – eng. *Cosmic Evolution Survey*
- Koordinate centra polja:  
RA = 10h 00m 28.6s  
DEC = +02° 12' 21.0''
- Kutna veličina polja iznosi  $1.4^\circ \times 1.4^\circ$



30'

Preuzeto s <https://cosmos.astro.caltech.edu/>

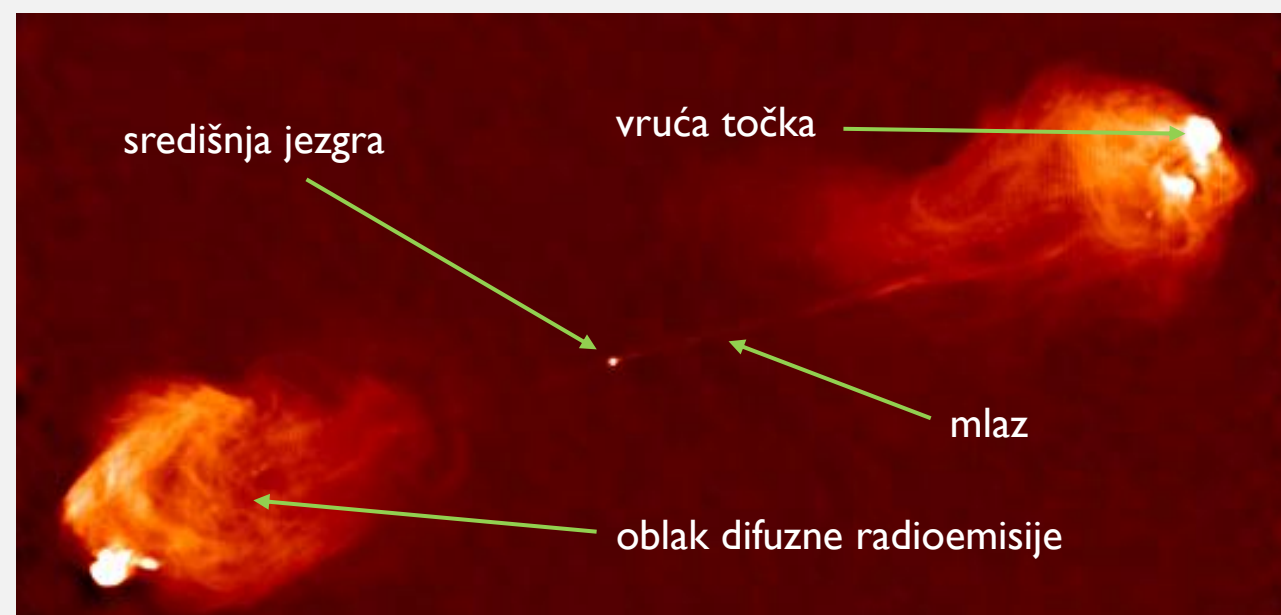
# VLA radioteleskop

- VLA – eng. *Very Large Array*
- Lokacija: Novi Meksiko, SAD
- 27 aktivnih paraboloidnih radioantena, svaka promjera 25 metara
- Raspon frekvencija između 74 MHz i 50 GHz

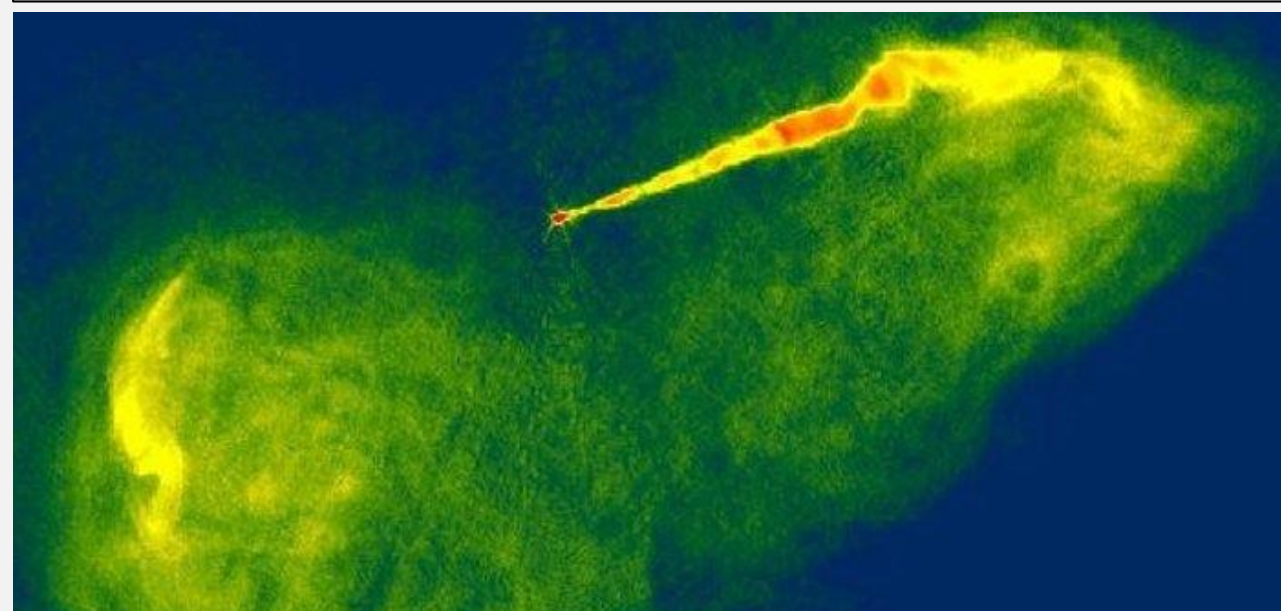


# Radiogalaksije

- Radiogalaksija – galaksija s aktivnom galaktičkom jezgrom čiji je luminozitet najveći u radiovalnom području elektromagnetskog spektra.
- Radi se uglavnom o masivnim eliptičnim galaksijama.
- Morfologija radiogalaksije:
  - središnja jezgra (eng. *core*)
  - mlazovi (eng. *jets*)
  - oblaci difuzne radioemisije (eng. *lobes*)

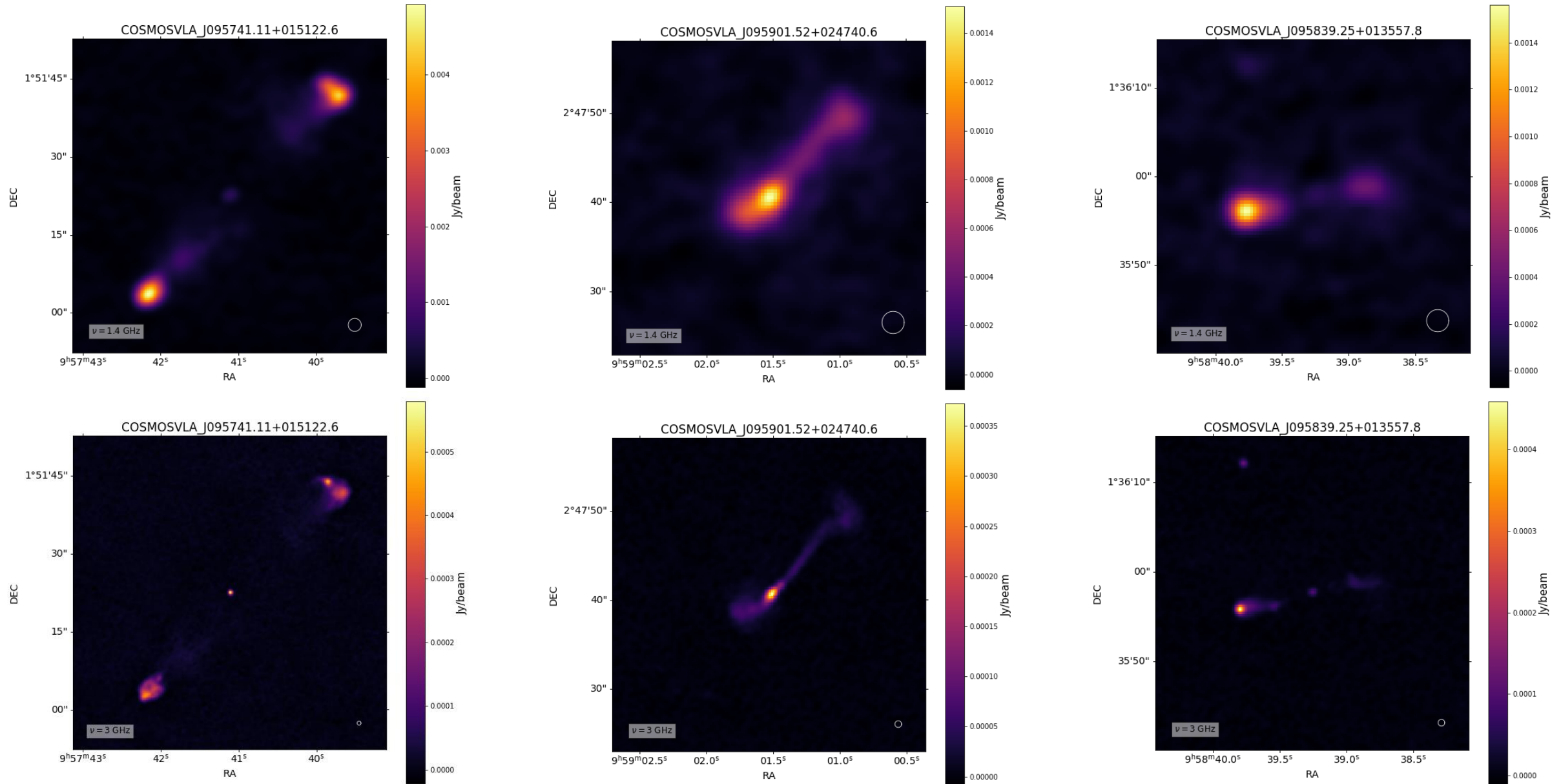


Slika radiozračenja radiogalaksije Cygnus A snimljena radioteleskopom VLA na valnoj duljini od 6 cm. Preuzeto s <https://cass.ucsd.edu/hexte/people/pblanco/cyga.html>.



Slika radiozračenja radiogalaksije M87 snimljene radioteleskopom VLA u veljači 1989. godine. Preuzeto s <https://esahubble.org/images/opo9943b/>.

# Gustoća toka zračenja tri odabrane radiogalaksije



# BRATS – eng. *Broadband Radio Astronomy Tools*

- Softverski paket (Linux i Mac) za spektralnu analizu podataka radiovalnog zračenja nekog radioizvora.
- Najvažniji alati:
  - mapiranje spektralnog indeksa
  - minimizacija indeksa ubrizgavanja
  - prilagodba modela spektralne starosti
  - ...

```
filip@filip-VirtualBox: ~/Desktop/Radio3_new_casa
filip@filip-VirtualBox:~/Desktop/Radio3_new_casa$
filip@filip-VirtualBox:~/Desktop/Radio3_new_casa$
filip@filip-VirtualBox:~/Desktop/Radio3_new_casa$ brats

#####
#           Welcome to the Broadband Radio Analysis Tools (BRATS) Software           #
#                                     Version 2.6.3                                   #
#                                                                                     #
#           For further information and support, please visit:                       #
#           http://www.askanastronomer.co.uk/brats                                  #
#                                                                                     #
#           Developed by Jeremy J. Harwood (Jeremy.Harwood@physics.org)            #
#                                                                                     #
#           If you have made use of this software please cite                       #
#           Harwood et al., 2013, MNRAS, 435, 3353                                  #
#           Harwood et al., 2015, MNRAS, 454, 3403                                  #
#####

BRATS: load
Enter directory name: radio3
Background file path: radio3
Region file path (Default: full map): radio3
Redshift of the target source (-1 to exit): 0.49297
```

# Spektralni indeks

- Spektar sinkrotronskog zračenja radiogalaksije  $S_\nu$  (gustoća toka zračenja) na frekvenciji  $\nu$ :

$$S_\nu \propto \nu^{-\alpha}$$

$\alpha$  – spektralni indeks

- Energetska distribucija elektrona:

$$n(E) = n_0 E^{-2\alpha+1} (1 - \beta)^{(2\alpha+1)-2}$$

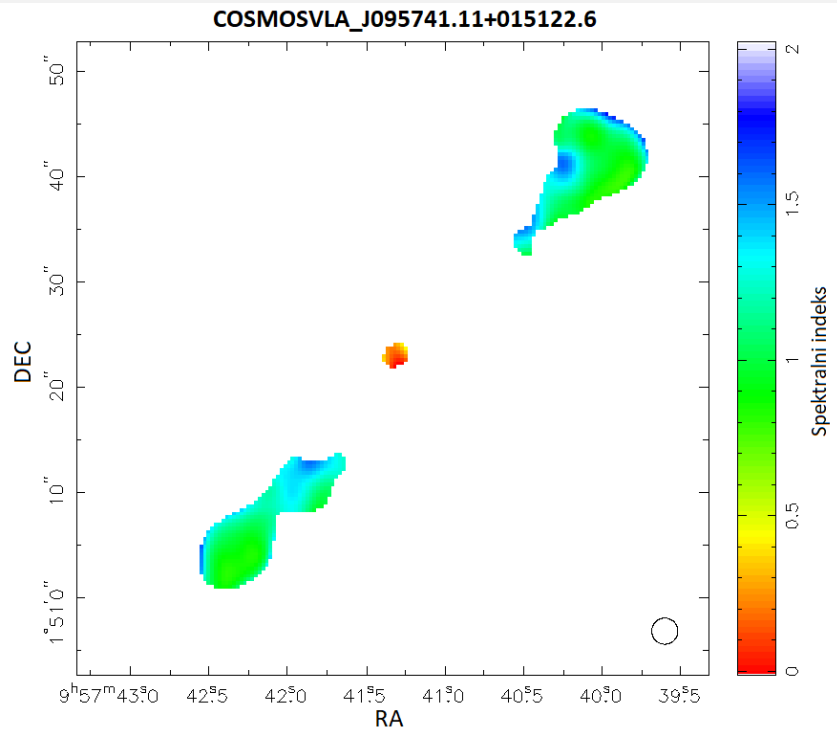
$\beta$  – vremenski ovisan gubitak energije

$n_0$  – početna energetska distribucija elektrona

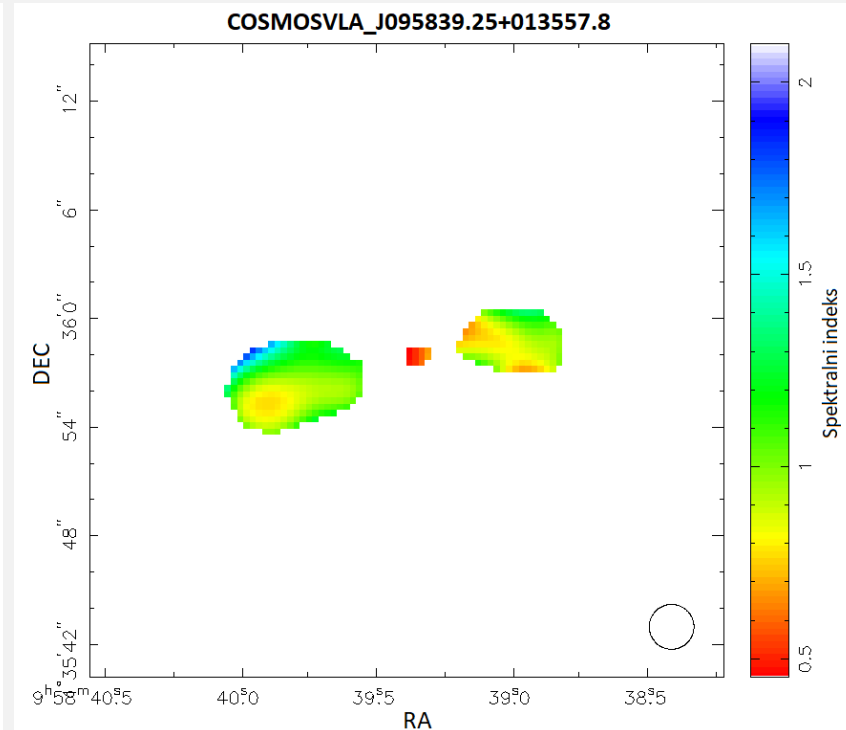
- Spektralni indeks  $\alpha$  za dvije frekvencije  $\nu_1$  i  $\nu_2$ :

$$\alpha = - \frac{\log S_2 - \log S_1}{\log \nu_2 - \log \nu_1}$$

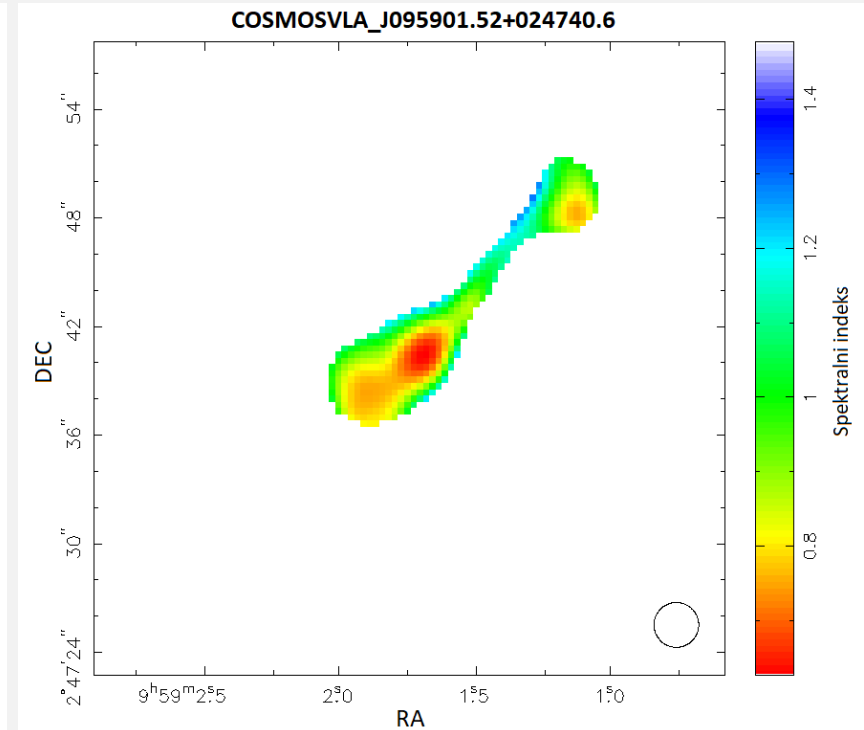
# Mape spektralnog indeksa $\alpha$ za tri odabrane radiogalaksije



$$\alpha_{min} = -0.01 \pm 0.58$$
$$\alpha_{max} = 1.76 \pm 0.73$$
$$\alpha_{mean} = 1.10$$



$$\alpha_{min} = 0.45 \pm 1.16$$
$$\alpha_{max} = 1.83 \pm 1.01$$
$$\alpha_{mean} = 0.99$$



$$\alpha_{min} = 0.63 \pm 0.28$$
$$\alpha_{max} = 1.28 \pm 1.13$$
$$\alpha_{mean} = 0.91$$



# Indeks ubrizgavanja

- BRATS → minimizacija  $\chi^2$  vrijednosti prilagodbe modela spektralne starosti (u našem slučaju JP model) za dane vrijednosti indeksa ubrizgavanja  $\alpha_{inj}$ :

$$\chi^2 = \sum_{\nu=1}^N \left( \frac{S_{i,\nu} - S_{model,\nu}}{\Delta S_{i,\nu}} \right)^2$$

$N$  – broj frekvencija,  $S_{i,\nu}$  – gustoća toka zračenja za piksel  $i$  na frekvenciji  $\nu$ ,  
 $S_{model,\nu}$  – gustoća toka zračenja koju daje model spektralne starosti na frekvenciji  $\nu$

- Minimum sume  $\chi^2$  vrijednosti po svim pikselima daje najbolji indeks ubrizgavanja.
- Aproksimativno magnetsko polje u oblacima radiozračenja neke radiogalaksije:

$$B = 5.69 \times 10^{-9} \left[ 2(1+z)^{3+\alpha} \frac{1}{\theta_x \theta_y l} \frac{F_0}{\nu_0^\alpha} \frac{\nu_2^{\frac{1}{2}-\alpha} - \nu_1^{\frac{1}{2}-\alpha}}{\frac{1}{2}-\alpha} \right]^{\frac{2}{7}} \text{ [T]}$$

$z$  – crveni pomak izvora,  $\alpha$  – srednji spektralni indeks cijelog izvora,  
 $l$  – veličina izvora na nebu (kpc),  $\nu_1 = 0.01$  GHz,  $\nu_2 = 100$  GHz,  
 $\theta_x$  i  $\theta_y$  – velika i mala poluos rezolucijskog elementa (lučne sekunde),  
 $F_0$  – gustoća toka zračenja (Jy ili Jy/beam) na frekvenciji  $\nu_0$  (GHz)

Oznaka radiogalaksije	$\alpha_{inj}$	B [T]
COSMOSVLA_J095741.11+015122.6 (Radio_01)	0.16	$3.98 \times 10^{-10}$
COSMOSVLA_J095839.25+013557.8 (Radio_02)	0.46	$4.09 \times 10^{-10}$
COSMOSVLA_J095901.52+024740.6 (Radio_03)	0.63	$2.86 \times 10^{-10}$

# Jaffe-Perola (JP) model spektralne starosti

- Spektralna starost:

$$t_{spec} = \frac{3}{2} \frac{B^2}{B^2 - B_{CMB}^2} \left( \frac{c_7}{\nu_b} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ Mgod}$$

$B$  – magnetsko polje (nT),  $B_{CMB} = 0.318(1+z)^2$  [nT],  
 $c_7 = 1.12 \times 10^3$  nT<sup>3</sup> Mgod<sup>2</sup> GHz,  $\nu_b$  – frekvencija prekida

- Model gustoće toka zračenja:

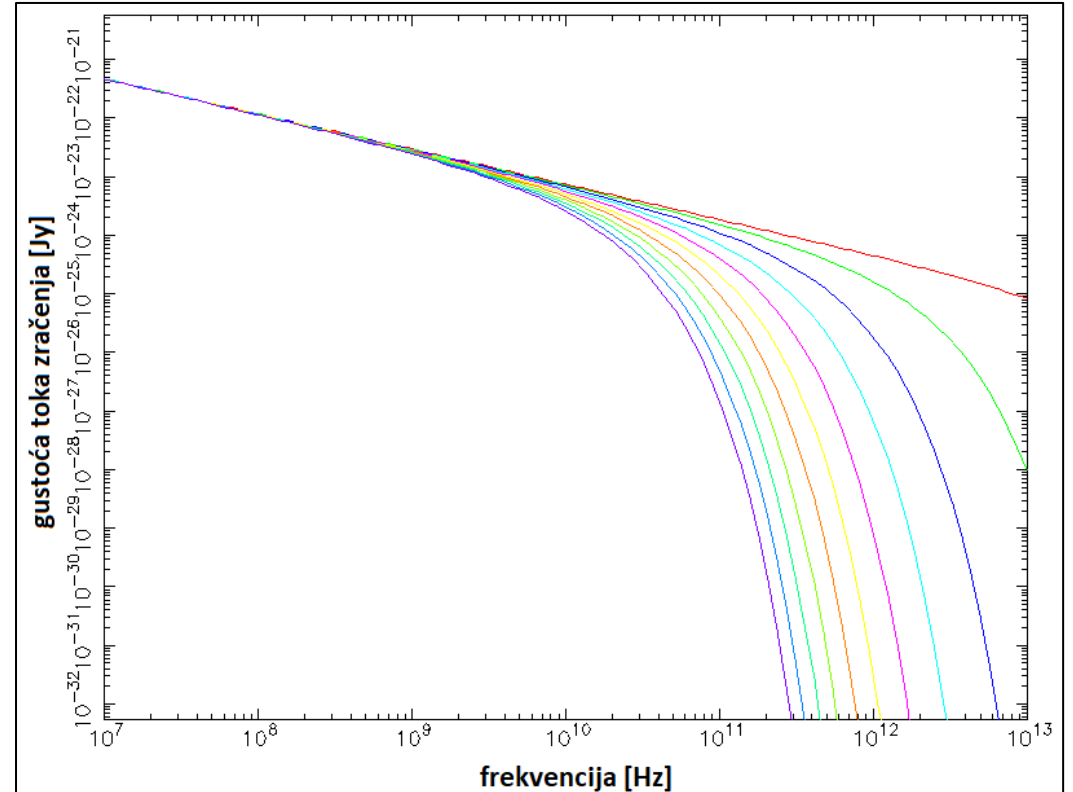
$$S_{model} = \frac{\sqrt{3}e^3 B}{8\pi\epsilon_0 c m_e} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_{E_{min}}^{E_{max}} x \int_x^{\infty} K_{5/3}(y) \frac{1}{2} \sin^2(\delta) n(E) dE d\delta dy$$

$\epsilon_0$  – električna permitivnost vakuumu,  $m_e$  – masa elektrona,  $E$  – energija elektrona,  $c$  – brzina svjetlosti,  $\delta$  – kut između vektora brzine elektrona i fiksnog magnetskog polja,  $K_{5/3}$  – Besselova funkcija reda 5/3,  $x \equiv v/v_c$ , kritična frekvencija  $\nu_c = \gamma^2 e B_{\perp} / 2\pi m_e$ ,  $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$ ,  $v$  – brzina elektrona,  $n(E)$  – energetska raspodjela elektrona

- Vremenski ovisan gubitak energije elektrona za JP model:

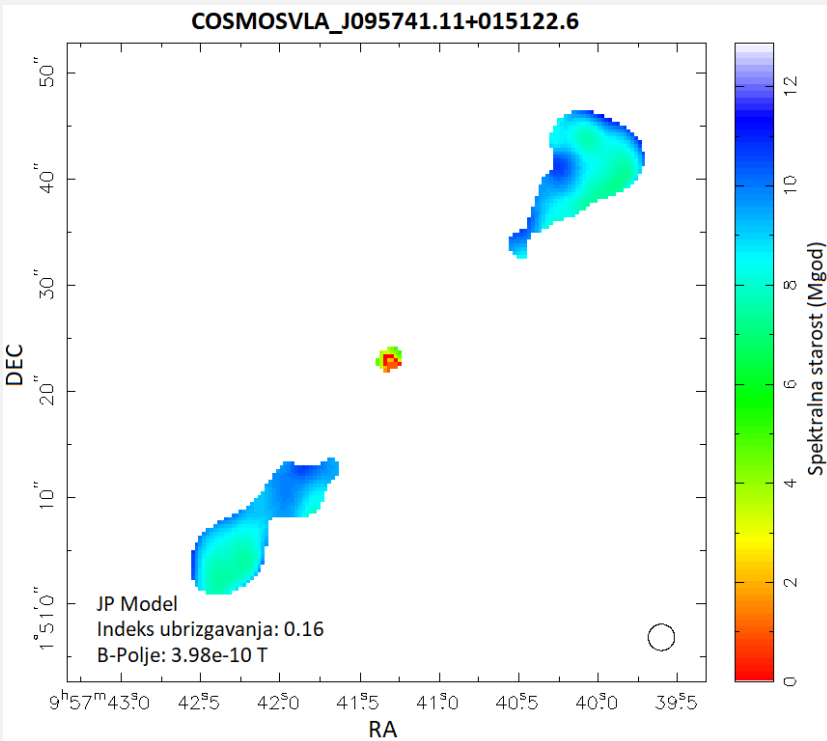
$$\beta_{JP} = B^2 E t \frac{4\sigma_T}{6m_e^2 \nu_c^3 \mu_0}$$

$t$  – vrijeme proteklo od početne akceleracije elektrona,  $\mu_0$  – magnetska permeabilnost vakuumu,  $\sigma_T$  – Thomsonov udarni presjek



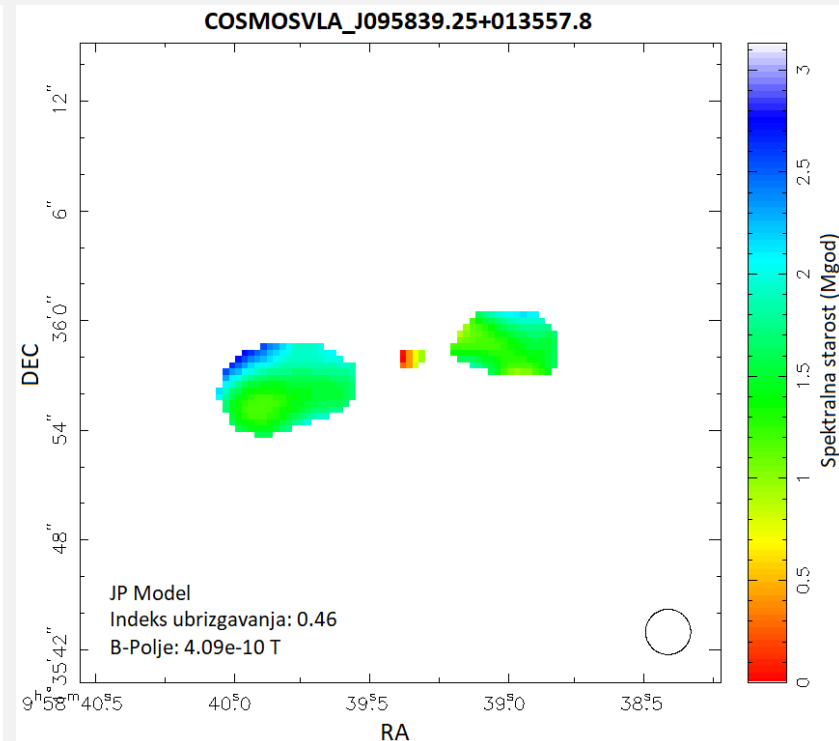
JP model gustoće toka zračenja za frekvencije između 10 MHz i 10 THz uz  $\alpha_{inj} = 0.6$  i  $B = 1$  nT. Crvena krivulja odgovara spektralnoj starosti od 0 Mgod, a ljubičasta krivulja spektralnoj starosti od 10 Mgod.

# Mape spektralne starosti za tri odabrane radiogalaksija



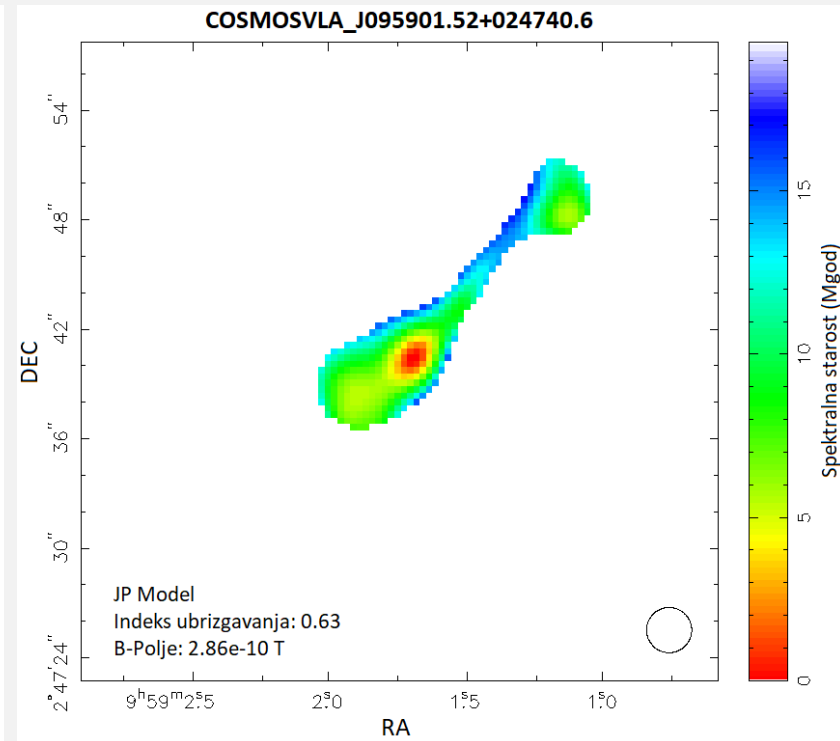
$$t_{min} = 0.00^{+6.56}_{-0.00} \text{ Mgod}$$

$$t_{max} = 11.21^{+2.81}_{-2.40} \text{ Mgod}$$



$$t_{min} = 0.00^{+2.44}_{-0.00} \text{ Mgod}$$

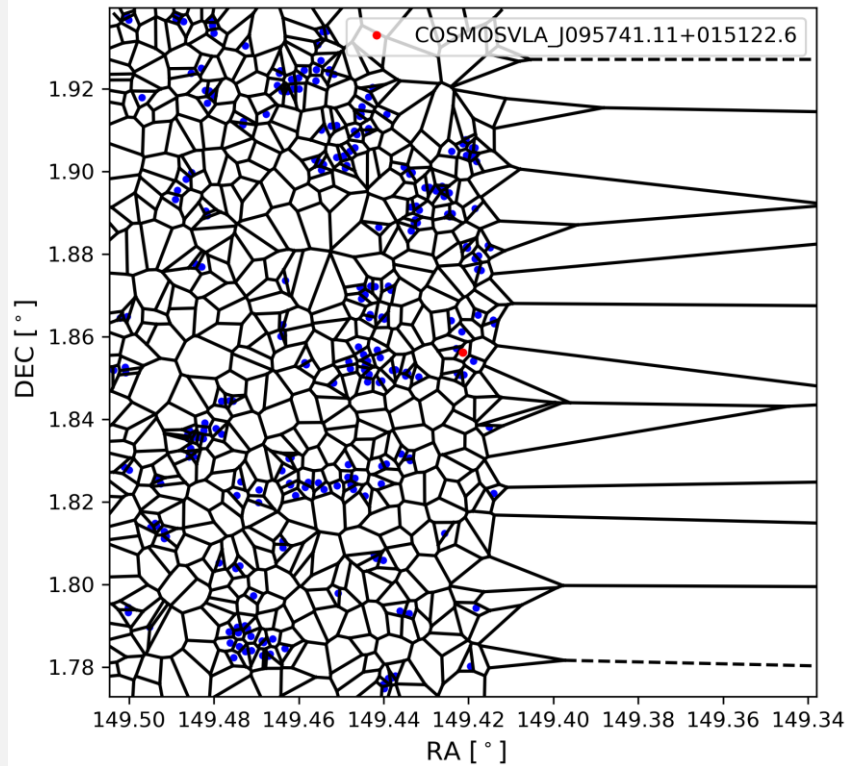
$$t_{max} = 2.72^{+1.40}_{-1.22} \text{ Mgod}$$



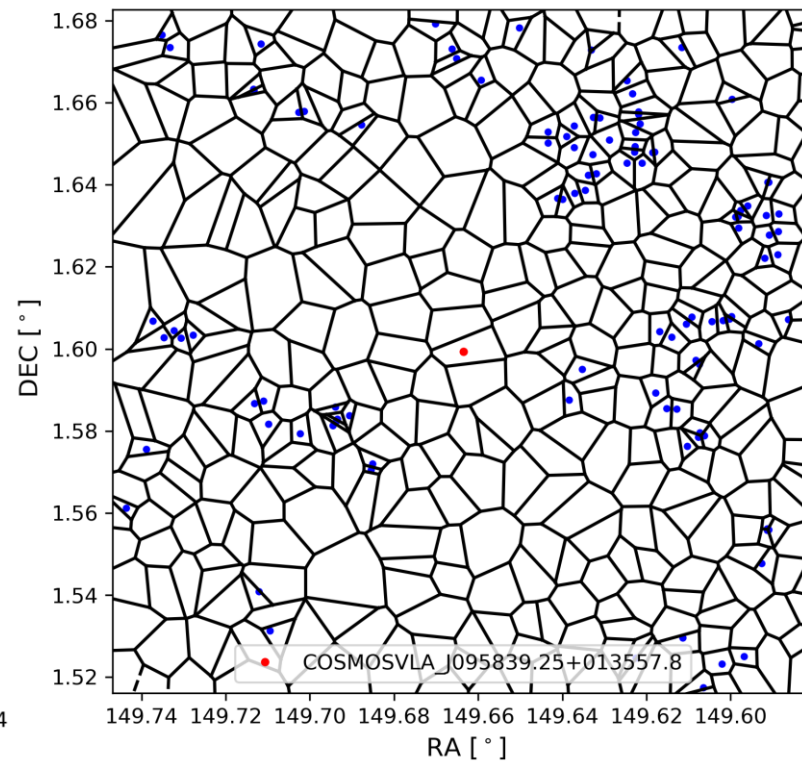
$$t_{min} = 0.00^{+4.55}_{-0.00} \text{ Mgod}$$

$$t_{max} = 17.01^{+6.08}_{-7.55} \text{ Mgod}$$

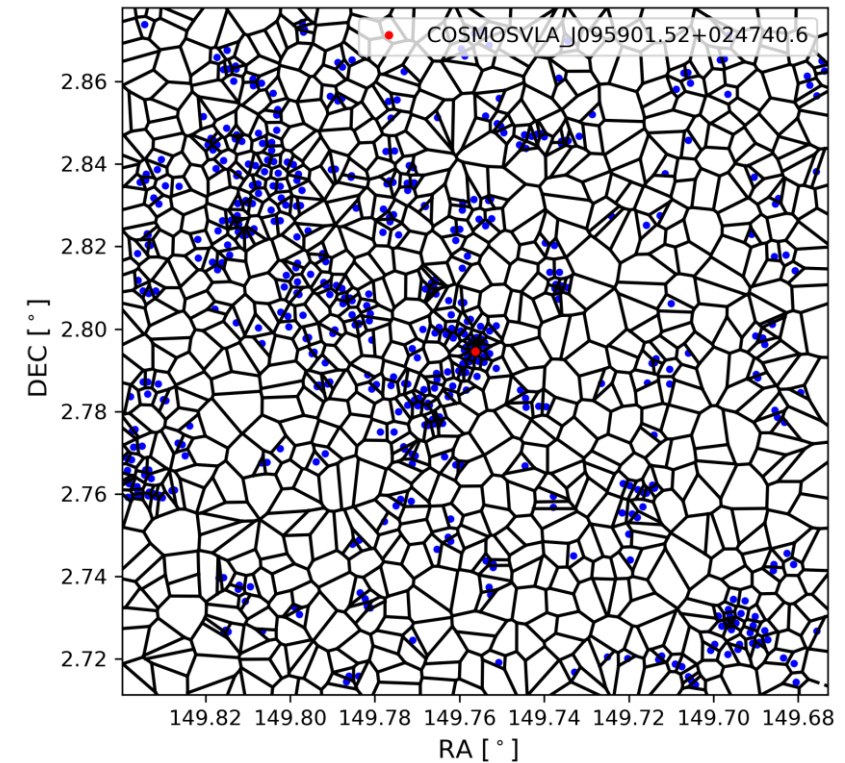
# Voronoi teselacija



$$z_{phot}(\text{Radio}_01) = 0.9848$$



$$z_{phot}(\text{Radio}_02) = 1.668$$



$$z_{spec}(\text{Radio}_03) = 0.49297$$

- Korišten je katalog položaja (RA, DEC) i crvenog pomaka ( $z$ ) 937 013 galaksija unutar polja COSMOS.
- Za izradu Voronoi dijagrama odabrane su galaksije između  $z - 0.1$  i  $z + 0.1$ , gdje je  $z$  crveni pomak radiogalaksije.
- Prag povećane lokalne gustoće galaksija:  $\rho > \bar{\rho} + 10\sigma_\rho$

# Zaključak

- Mape spektralnog indeksa – porast nagiba spektra zračenja s udaljavanjem od središta radiogalaksije i središta oblaka radiozračenja.
- Određivanje indeksa ubrizgavanja vremenski najzahtjevniji korak u određivanju spektralne starosti.
- Velika spektralna starost radiogalaksija Radio\_01 i Radio\_03, mala spektralna starost radiogalaksije Radio\_02.
- Velika lokalna gustoća galaksija oko radiogalaksija Radio\_01 i Radio\_03, mala lokalna gustoća galaksija oko radiogalaksije Radio\_02.
- Mogućnost utjecaja okoline radiogalaksija na njihovu spektralnu starost – plan istraživanja za budućnost.