

Fizički odsjek, Prirodoslovno-
matematički fakultet, Bijenička 32,
Zagreb

Polje COSMOS i pankromatski pregled neba

MENTORICA:

prof.dr.sc. Vernesa
Smolčić

STUDENT

Ivor Vice Bulaja

Polje COSMOS

Radiovalni izvori

Grupe galaksija

UVOD

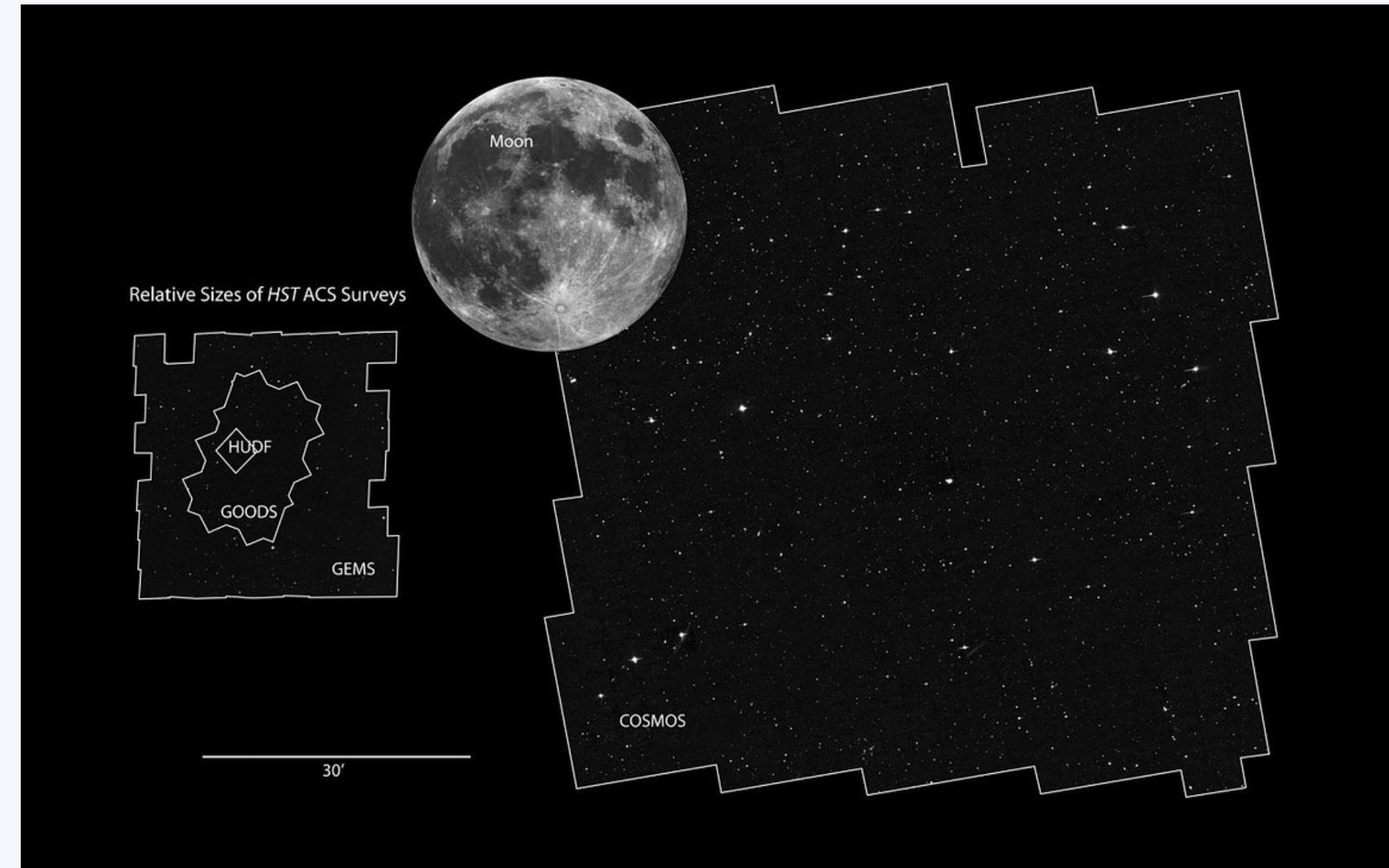
Polje COSMOS i pankromatski pregled neba

Što je COSMOS?

- COSMOS (Cosmic Evolution Survey) – jedno od najopsežnijih astronomskih istraživanja velikih razmjera.
- Obuhvaća područje od 2 kvadratna stupnja na nebu

Multispektralna opažanja:

- Rendgensko zračenje (Chandra, XMM-Newton) ←
- Radio valovi (Very Large Array – VLA) ←
- Optička opažanja (Hubble Space Telescope)
- Infracrvena opažanja (Spitzer, Herschel)



Izvor – <https://cosmos.astro.caltech.edu/page/public>

Astrofizički objekti koji emitiraju zračenje u radiovalnom dijelu elektromagnetskog spektra

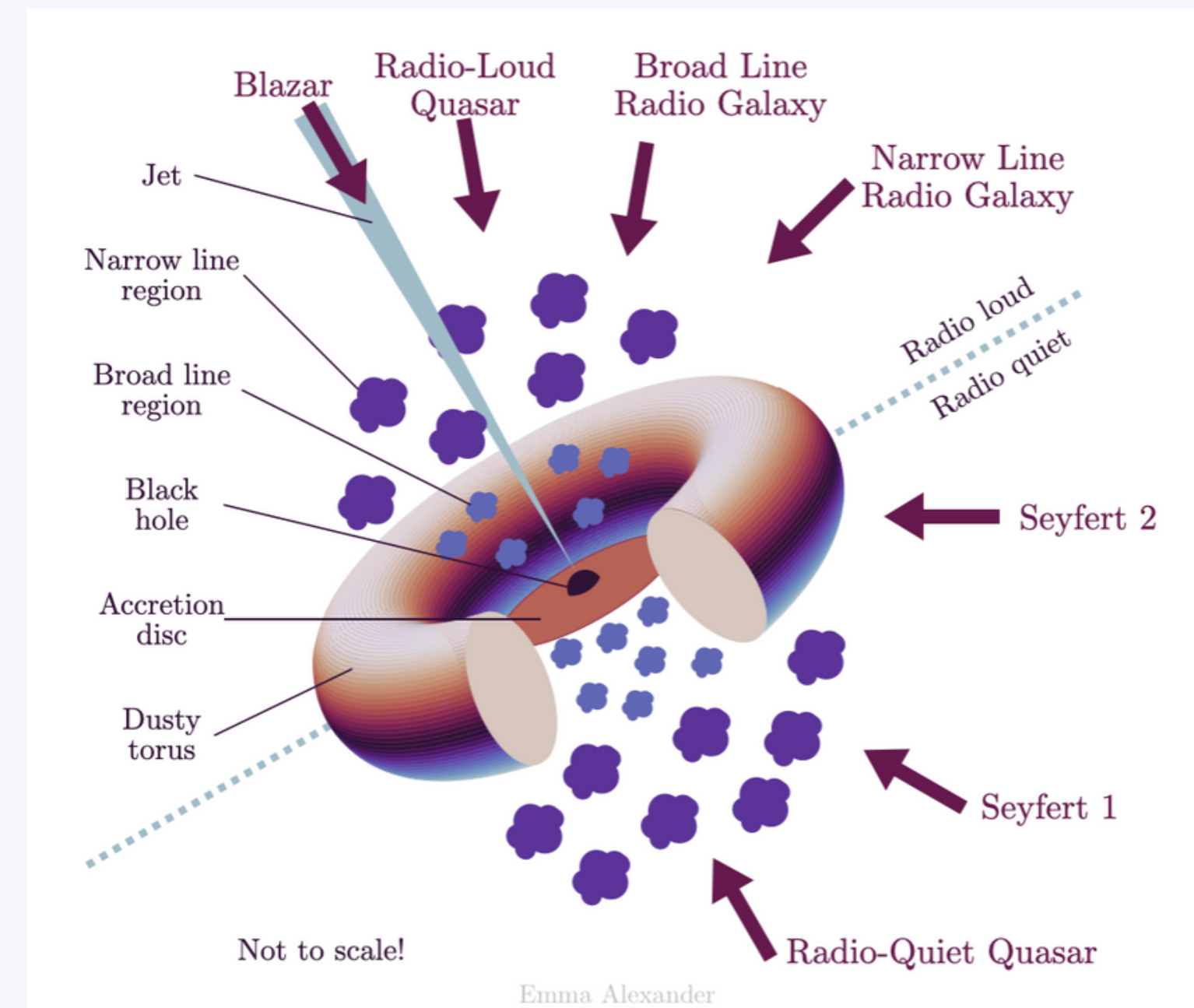
Primjeri:

- Aktivne galaktičke jezgre (AGN)
- Radiogalaksije, kvazari, pulsari, ostaci supernova

Aktivne galaktičke jezgre (AGN):

- Proces pokreće akrecija materijala na supermasivnu crnu rupu.
- Emitiraju snažne mlazove relativističkih čestica.

————→ Sinkotronsko zračenje



Izvor: Wikimedia Commons.
"Unified AGN Model" by Emm
Alexander.



Izvor: ESA/Hubble, CC BY 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=41059760>

Gravitacijski vezane strukture sastavljene od:

- Desetaka do stotina galaksija
- Međugalaktičkog plina
- Tamne tvari

Najčešće kozmičke strukture u svemiru

Međugalaktička plazma:

- Zagrijana na temperature od nekoliko milijuna kelvina
- Emitira rendgensko zračenje putem *bremsstrahlung* emisije

Radiovalni katalog

Rendgenski katalog

Crveni pomaci

PODACI

Polje COSMOS i pankromatski pregled neba

KATALOG: "VLA COSMOS – 3 GHz Multiwavelength Counterpart Catalog"

- 384 sata opažanja Karl G. Jansky Very Large Array (VLA)
- Rezolucija: 0,75 lučne sekunde
- Osjetljivost: 2,3 $\mu\text{Jy}/\text{beam}$
- 7729 detektiranih izvora

PODACI:

- 1.4 Ghz radio luminozitet
- zvjezdana masa
- fotometrijski i spektroskopski crveni pomak



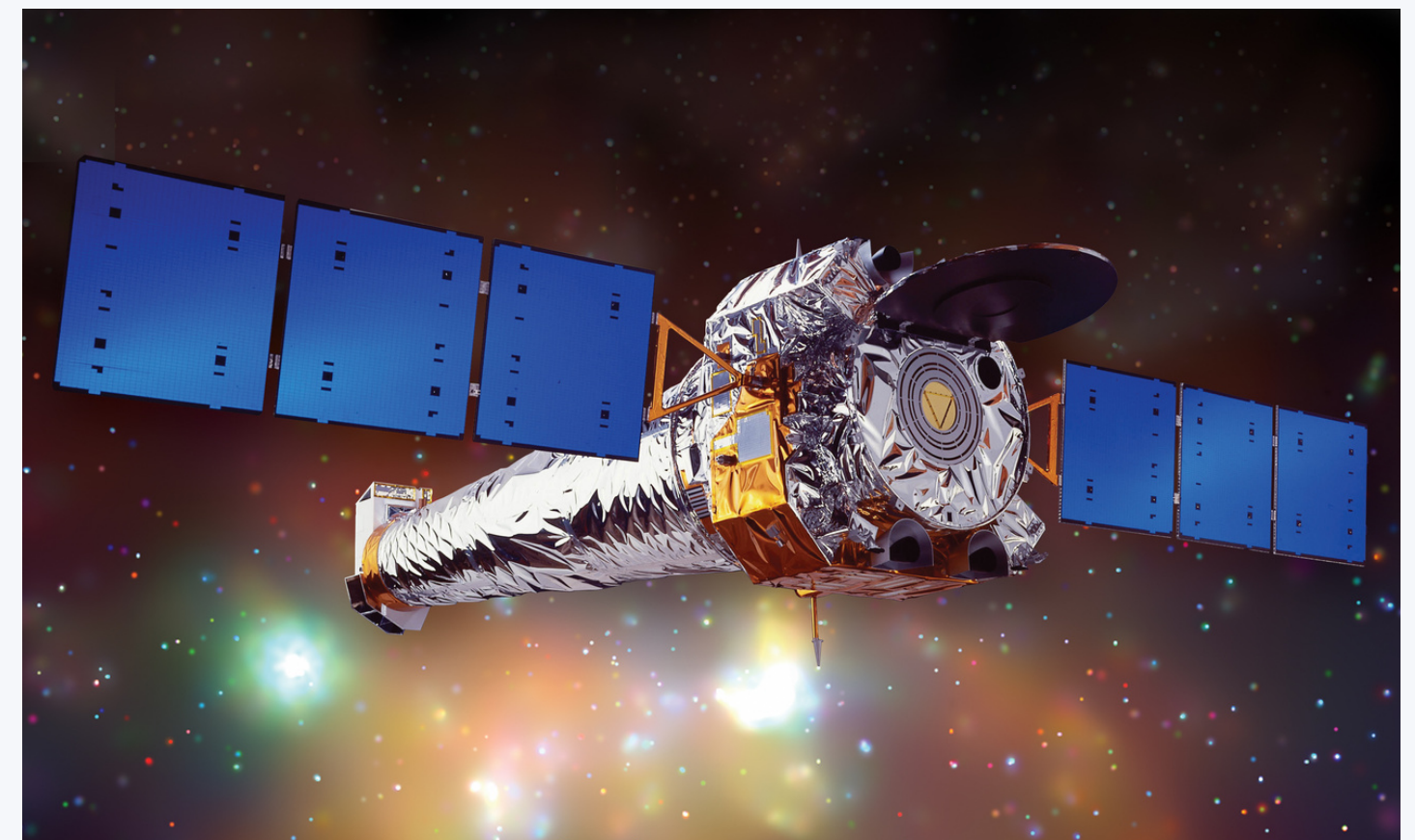
Izvor: Hajor – Own work, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=138997>

KATALOG: "COSMOS X-ray Group Catalog – Gozaliasl 2019"

- XMM–Newton i Chandra opservatoriji
- Detektirane rendgenske grupe do granice toka $3 \cdot 10^{-16} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Raspon masa od $8 \cdot 10^{12} M_{\odot}$ do $3 \cdot 10^{14} M_{\odot}$
- Crveni pomak: $0.08 < z < 1.53$

PODACI:

- R200: Radijus unutar kojeg je gustoća halo-a 200 puta veća od kritične gustoće svemira
- Masa M200
- fotometrijski i spektroskopski crveni pomak



Izvor: NASA/CXC/NGST –
<http://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=11185> (image link), Public Domain,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=38252467>

Fotometrijski crveni pomak:

- Procjena temeljena na svjetlini objekata u različitim filtrima
- Brzo određivanje za veliki broj objekata
- Manja preciznost, pogreške kod blijedih i udaljenih objekata

Spektroskopski crveni pomak:

- Precizno određivanje pomoću apsorpcijskih i emisijskih linija u spektru
- Zahtijeva dulja opažanja, primjenjuje se na manji broj objekata

Podaci korišteni u analizi:

- Fotometrijski katalog: COSMOS2015
- Spektroskopski izvori: zCOSMOS, DEIMOS/Keck II, VUDS, MOSDEF, SDSS DR12

Korelacija kataloga

Filtriracijski kriteriji

Metoda analize

METODE

Polje COSMOS i pankromatski pregled neba

Alat:

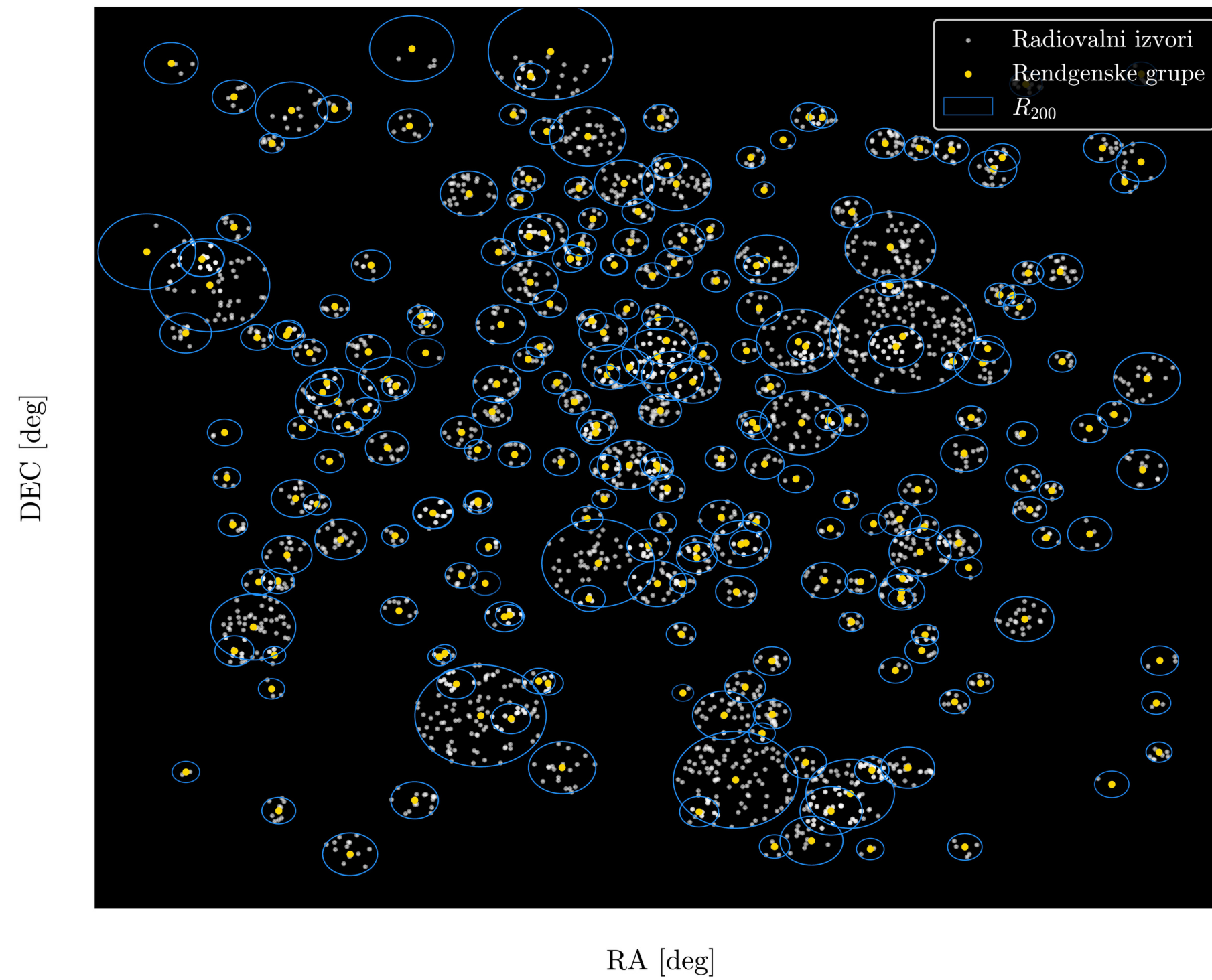
- TOPCAT (Tool for Operations on Catalogues and Tables)
- Omogućuje unakrsnu korelaciju i analizu velikih skupova podataka

Proces korelacije:

- Unakrsna korelacija rendgenskog i radiovalnog kataloga prema položaju izvora
- Početna rezolucija određena najvećom vrijednošću $R_{200} = 0.0986$ deg

Rezultati:

- Početno podudaranje: 32,455 radiovalnih izvora s grupama galaksija
- Nakon filtracije prema R_{200} : 3,166 podudaranja
- Vraćanjem na $10 \cdot R_{200}$ ponovno uključeno svih 32,455 izvora



Potrebna je dodatna filtracija podataka

Crveni pomak:

- označava pomak spektra objekta prema većim valnim duljinama zbog širenja svemira.

$$z = \frac{\lambda_{\text{promatrano}} - \lambda_{\text{izvorno}}}{\lambda_{\text{izvorno}}}$$

Primjena u analizi:

- Uključivanje treće dimenzije (udaljenosti) u analizu

Kriterij pridruživanja:

$$z_{\text{ri}} = z_{\text{g}} \pm 3\sigma(1 + z_{\text{g}})$$

z_{ri} – crveni pomak radiovalnog izvora

z_{g} – crveni pomak grupe

$\sigma = 0.01$

Rezultat:

- Broj podudaranja smanjen sa 32,455 na 2,311 nakon uključivanja crvenog pomaka

Luminozitet:

- Radio luminozitet ($L_{1.4\text{GHz}}$) označava ukupnu energiju emitiranu u radiovalovima na frekvenciji 1.4 GHz, prilagođenu referentnom okviru izvora
- Izračun temeljen na izmjerenoj fluksnoj gustoći (Sv)

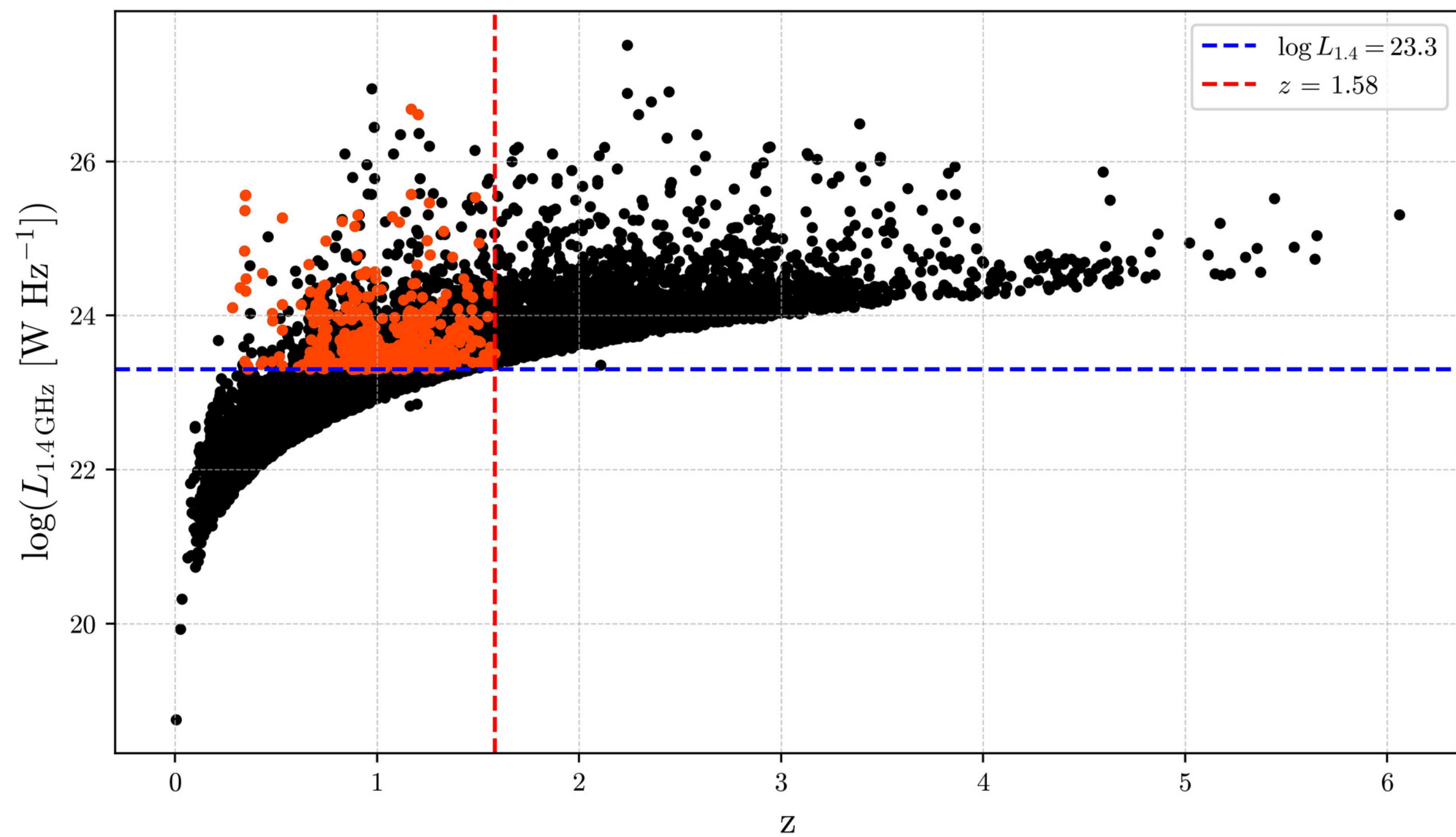
Primjena u analizi:

- Donja granica luminoziteta određena je na temelju najvećeg crvenog pomaka u uzorku ($z=1.58$)
- Uključeni su samo izvori s $L_{1.4\text{GHz}} \geq 10^{23.3} \text{ W/Hz}$
- Podjednaka raspodjela luminoziteta u cijelom uzorku

Rezultat:

- Broj podudaranja smanjen sa 2,311 na 694 izvora.

Radio luminozitet na 1.4 Ghz



Zvezdana masa:

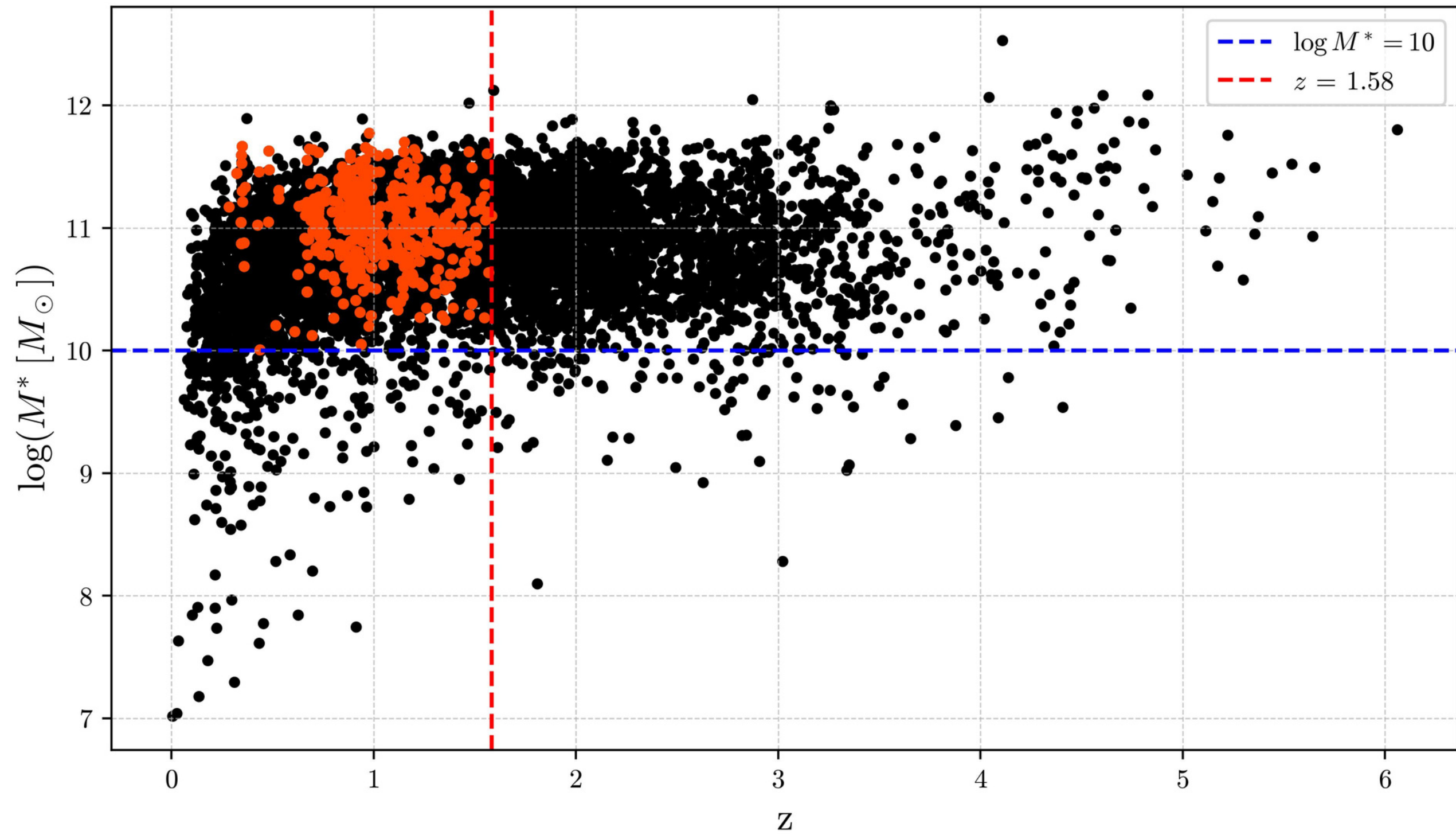
- Zvezdana masa (M_*) označava ukupnu masu zvijezda unutar galaksije
- Procijenjena metodom prilagodbe spektralne energetske distribucije (SED)

Primjena u analizi:

- Donja granica zvezdane mase određena na temelju najvećeg crvenog pomaka ($z=1.58$).
- Uključene galaksije s $M_* \geq 10^{10} M_\odot$
- Podjednaka raspodjela zvezdanih masa u cijelom uzorku

Rezultat:

- Broj podudaranja smanjen sa 694 na 689 izvora.



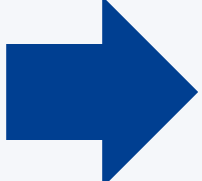
Masa M200:

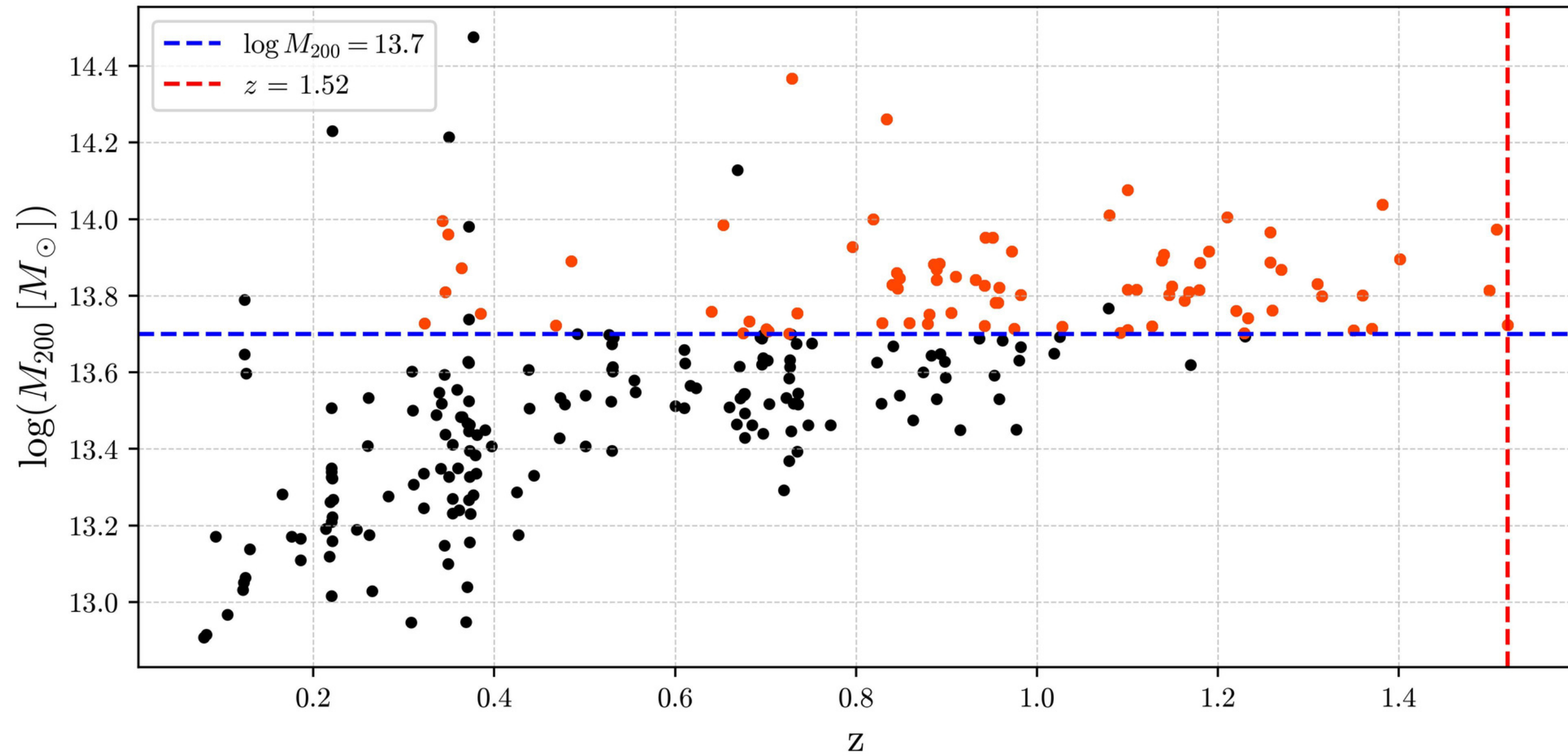
- M200: Masa halo-a unutar radijusa R_{200} , gdje je prosječna gustoća 200 puta veća od kritične gustoće svemira
- Mjerenja temeljena na rendgenskom sjaju
- Korišten je kalibrirani LX–M200 odnos pomoću podataka o slabom gravitacijskom lećanju

Primjena u analizi:

- Donja granica mase određena na temelju najvećeg crvenog pomaka ($z=1.52$)
- Uključene grupe s $M_{200} \geq 10^{13.7} M_{\odot}$

Rezultat:

- Broj podudaranja smanjen sa 689 na 439 izvora  **Konačni katalog**



Definicija:

- broj objekata N unutar prstenastog područja podijeljen s površinom tog područja (*bin*)

$$\Sigma = \frac{N}{A_{bin}}$$

Normalizacija udaljenosti:

- udaljenosti radiovalnih izvora normaliziraju se s radijusom R_{200}

$$A_{bin} = \pi(r_{vanjski}^2 - r_{unutarnji}^2)$$

Metoda podjele

- Logaritamska podjela *bin*-ova
- Analiza uključuje pet *bin*-ova u rasponu od $0.01R_{200}$ do $10R_{200}$

REZULTATI I RASPRAVA

Polje COSMOS i pankromatski pregled neba

Opservacije:

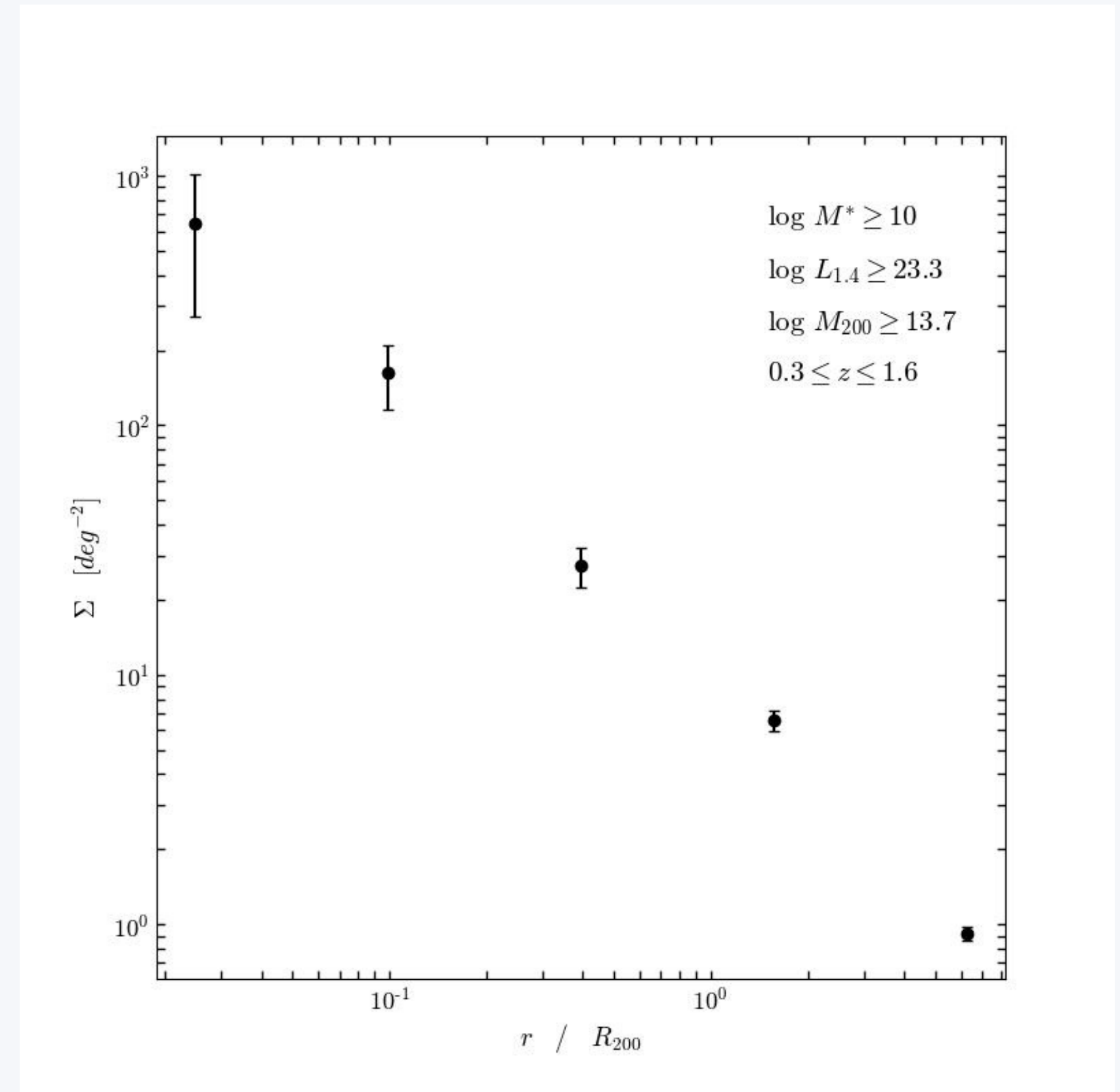
- Površinska gustoća opada s povećanjem udaljenosti od središta grupa

Uzroci opadanja:

- Gravitacijska sila snažnija u središnjim regijama

Statistički značaj:

- Veće nesigurnosti u središnjim područjima zbog manjeg broja izvora.



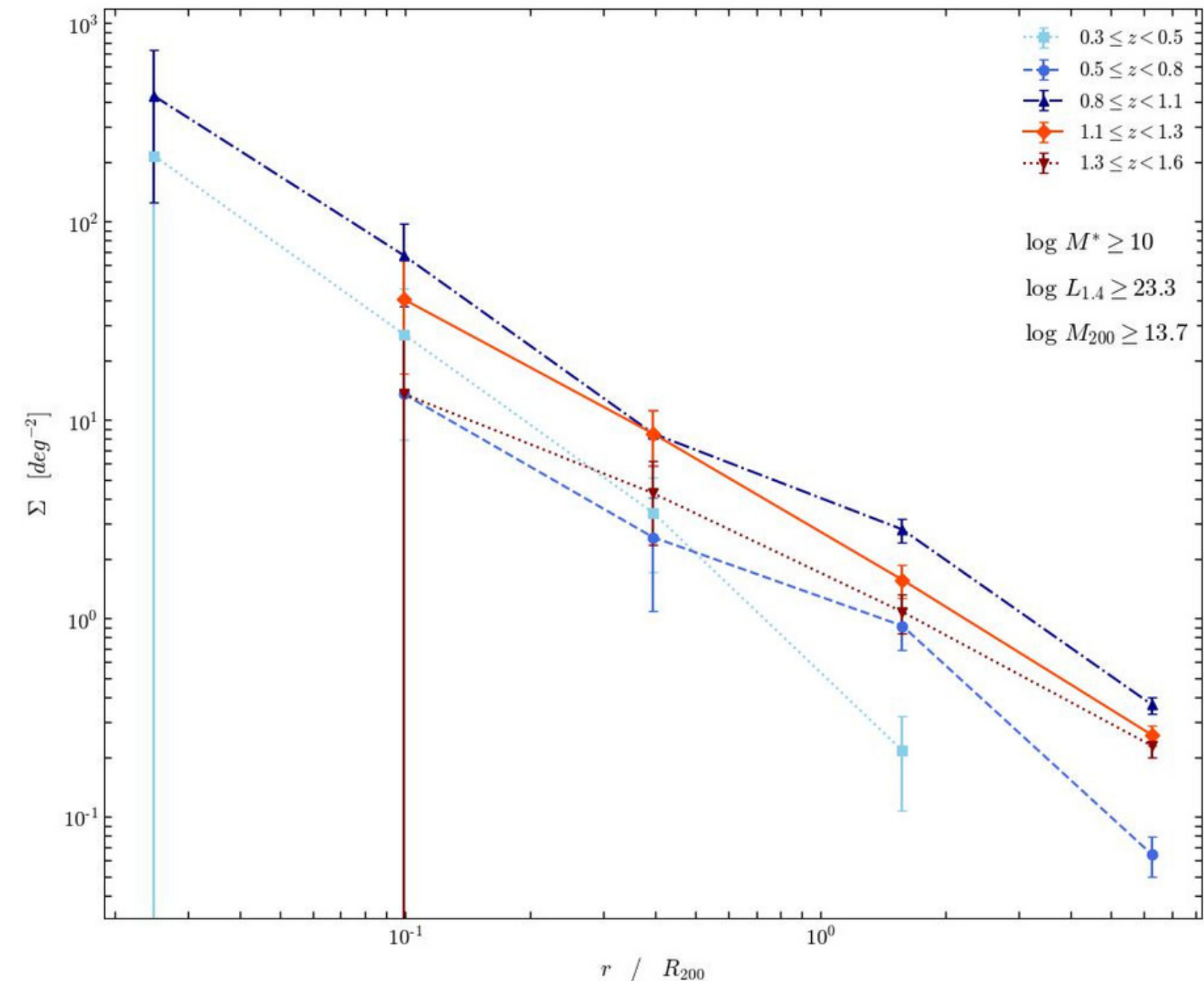
- U središnjim regijama opažena prisutnost izvora samo za $0.8 \leq z \leq 1.1$
- Na većim udaljenostima opažen pad gustoće s manjim crvenim pomakom

Hipoteze:

- Moguće fluktuacije uzrokovane malim brojem podataka.
- Potrebna daljnja analiza

Trendovi:

- U grupama: Statistički značajna razlika u gustoći nije primijećena.
- Izvan grupa: Površinska gustoća pokazuje ovisnost o crvenom pomaku



Slični rezultati:

- Nalazi potvrđuju gravitacijsku prirodu distribucije galaksija unutar grupa.
- Podudara se s istraživanjima poput [Smolčić 2011] i [Lin i Mohr 2007].

Posebni rezultati ovog rada:

- Uočena koncentracija izvora samo za određeni raspon crvenog pomaka ($0.8 \leq z \leq 1.1$)
- Uočena ovisnost gustoće o crvenom pomaku izvan grupa

Daljnji koraci:

- Uključivanje kontrolnog uzorka galaksija bez radio emisije.
- Detaljnija analiza utjecaja radiovalnih izvora na gustoću grupa.
- Dodatna analiza ovisnosti gustoće o crvenom pomaku – postavljanje i ispitivanje hipoteza za rezultat

Glavni rezultati:

- Površinska gustoća radiovalnih izvora opada s povećanjem udaljenosti od središta grupa galaksija
- Ovisnost gustoće o crvenom pomaku:
 - Unutar grupa nije zabilježena značajna razlika
 - Izvan grupa primijećena je statistički značajna ovisnost o z

Interpretacija

- Rezultati neovisni o crvenom pomaku potvrđuju gravitacijske učinke u središnjim regijama grupa galaksija
- Potrebna dodatna analiza u kontekstu ovisnosti o crvenom pomaku