

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

A J1456+5048 jelű röntgenkvazár és a hozzá hasonló források vizsgálata

TDK Dolgozat

Készítette:

Tar Ingrid, csillagász MSc

Csorba Dániel, fizikus BSc

Témavezető: Dr. Frey Sándor



Budapest

2014

1. Kivonat

Dolgozatunkban a J1456+5048 jelű röntgenkvazár vizsgálatával és a hozzá hasonló források felkutatásával foglalkoztunk. A kiinduló forrás érdekessége, hogy ennél a koordinátánál (R.A.: 14h 56m, DE.: 50° 48') három objektum fedezhető fel egymáshoz nagyon közel. Mivel a korai égboltfelmérések felbontása gyenge volt (ROSAT, Green Bank), ezért nem tudták elkülöníteni őket egymástól. A NED (NASA/IPAC Extragalactic Database) segítségével olyan publikációk és katalógusok után kutattunk, amelyekben az általunk vizsgált forrásokról használható adatok álltak a rendelkezésünkre. A mérési eredmények összegyűjtése után sikerült a három különböző pontforrásra vonatkozó adatokat elkülönítenünk egymástól, így megoldhatóvá vált a beazonosításuk. Munkánk során találtunk olyan cikkeket, amelyekbe tévesen kerültek bele a források adatai, és ezek közül eggyel részletesen foglalkoztunk. Felvetődtek további fontos kérdések is: vajon milyen kapcsolatban állhatnak egymással ezek az objektumok, illetve hány ehhez hasonló forrás található még, amelyek hasonló okok miatt esetleg tévesen kerültek bele az adatbázisokba? Ezen kérdéseket a dolgozatban igyekszünk megválaszolni.

Abstract

In our work, we investigated the X-ray quasar J1456+5048, and then searched for similar objects. The curiosity of this source is that around its coordinates (R.A.: 14h 56m, DE.: 50° 48') three objects can be found very close to each other. Due to the early sky surveys' low resolution (ROSAT, Green Bank), the objects could not be separated. We were looking for publications and catalogues with useful data of these sources, with the help of the NASA/IPAC Extragalactic Database (NED). After collecting the measurements from the literature, we were able to separate the data of the three distinct sources from each other, to help their correct identification. We found publications in which the source data were treated incorrectly and we show one of these in more details. Finally, further important questions emerged: what could be the relation of these objects, and how many similar cases can be found which could possibly mistakenly enter into the data bases for the same reason. We attempt to answer these questions in our work.

Tartalomjegyzék

1. Kivonat	2
2. Bevezetés.....	4
3. Betekintés a témába	5
3.1. Aktív galaxismagok	5
3.1.1. A sugárzás eredete	5
3.1.2. A kvazárok	6
3.1.3. A blazárok.....	6
3.1.4. A rádiógalaxisok	8
3.2. Rádió-, röntgen- és gamma-csillagászat	8
3.2.1. Rádiócsillagászat	8
3.2.2. A röntgencsillagászat.....	10
3.2.3. Gamma-csillagászat	11
4. Kutatás a szakirodalomban.....	14
4.1. A dolgozatunk témája és célja.....	14
4.2. NED (NASA/IPAC Extragalactic Database)	15
4.3. A J1456+5048 forrás adatainak részletezése és elemzése	15
4.4. Egy a szakirodalomban fellelhető cikk értékelése	28
4.5. A J1456+5048 röntgenkvazárhoz hasonló források keresése	30
5. Összefoglalás	39
6. Ábrajegyzék	43
7. Táblázatjegyzék.....	43
8. Felhasznált irodalom	44
9. Felhasznált internetes források.....	48
10. Függelék	49

2. Bevezetés

Dolgozatunkban a J1456+5048 jelű extragalaktikus objektummal és a hozzá hasonló forrásokkal foglalkoztunk. A kiinduló objektum azért került az érdeklődésünk középpontjába, mert a jobb felbontású távcsövek lehetővé tették azt az észrevételt, miszerint ennél az égi pozíciónál valójában három objektum látható egymás mellett, egymáshoz nagyon közel (kb. 2'-en belül). Ebből kiindulva, a szakirodalomban és csillagászati katalógusokban végzett vizsgálataink alapján bebizonyosodott, hogy a gyenge felbontású távcsövekkel mért adatok nem egy, hanem kettő, vagy mindhárom forrásra egyszerre vonatkozhattak. Ez azért nagy probléma, mert olyan későbbi publikációkba kerülhettek bele a rossz azonosítások, amelyek a blazárok alapvető tulajdonságaival foglalkoztak, és esetleges helytelen következtetéseket vonhattak le. Ezért fontos az ehhez hasonló objektumok további vizsgálata is. Felmerül a kérdés, hogy vajon hány ilyen forrás lehet még az adatbázisokban, és azok a publikációkba belekerülve mennyire változtatják meg az adott típusú objektumokra megállapított általános következtetéseket. Az elemzésünkkel bővebben foglalkozunk majd a dolgozatban.

Miért is fontos, hogy minél többet tudjunk meg az ilyen távoli aktív galaxismagokról? A csillagászok számára azért lényeges a vizsgálatuk, mert a megfigyelésükkel tulajdonképpen a Világegyetem keletkezése utáni korai időszakba tekinthetünk vissza. Segítségükkel tanulmányozhatjuk a nagytömegű fekete lyukak viselkedését, a Világegyetem szerkezetéről, felépítéséről kaphatunk új információkat, és nem utolsósorban a kozmológiai fejlődési modelleket is igazolhatjuk, pontosíthatjuk velük.

Munkánk során az említett forrásokról gyűjtöttük össze az adatokat. Ehhez a NED adatbázisában található publikációkat, katalógusokat használtuk fel. A J1456+5048 koordinátájú és a további 44 forrás vizsgálatát a 4. fejezetben mutatjuk be. A 3. fejezetben ehhez a témához kapcsolódó alapvető ismeretekkel foglalkozunk, ahol röviden kitérünk az aktív galaxismagok tulajdonságaira, osztályozásukra, sugárzásuk eredetére. Bemutatjuk, hogy a különböző sugárzásokkal a csillagászat mely ágai foglalkoznak, milyen módszerekkel detektálják őket és írunk a korábban, illetve a jelenleg használatban lévő fontosabb távcsövekről is. Az 5. fejezetben röviden összefoglaljuk a munkánkat. Végezetül a felhasznált irodalom felsorolásával zárjuk a dolgozatunkat.

3. Betekintés a témába

3.1. Aktív galaxismagok

A galaxisok egy különleges csoportja, melyet azért szokás aktívnak nevezni, mert az általa kisugárzott energia valamely hullámsávokban sokkal nagyobb a „normális” galaxisokénál. Az aktív galaxisok közül vannak, amelyek egy aktív maggal rendelkeznek (Active Galactic Nuclei – aktív galaxismag, AGN). Az ilyen galaxismagok hajtóereje egy nagy tömegű fekete lyuk (több millió vagy több milliárd naptömegnyi). A kisugárzott energia forrása a fekete lyukba folyamatosan, egy úgynevezett anyagbefogási (akkréciós) korongon keresztül behulló anyag (csillag, por, gáz). Az akkréciós korong egy gyorsan forgó, lapult képződmény, és az itt koncentrálódó anyag nagy része valóban behullik a fekete lyukba, viszont a felszabaduló energia részben kisugárzódik. Az anyag egy része az akkréciós korongra merőlegesen, relativisztikus sebességű anyagsugárként (angol megfelelője: jet) kidobódik a galaxismagból. Az aktív galaxismagok elektromágneses sugárzása a legszélesebb frekvenciatartományt fedi le (*Frey 2003*).

3.1.1. A sugárzás eredete

A nagytömegű fekete lyukat körülvevő akkréciós korongból származik a látható és ibolyántúli sugárzás nagy része. Ez a magas (akár millió fokok) hőmérsékleti sugárzásnak köszönhető, amit a magba hulló, spirális pályán mozgó, felforrósodott anyag okoz. A korong fölött található forró koronából röntgensugárzást észlelhetünk. A korongra merőlegesen, két ellentétes irányban megjelenő anyagsugár (jet) leginkább röntgen- és rádiósugárzás a jellemző, ami a szinkrotron és inverz Compton-hatásnak köszönhető. A szinkrotronsugárzás a mágneses térben relativisztikus sebességgel mozgó, elektromosan töltött részecskéktől származik, amelyek elsősorban elektronok. Ez felelős leginkább az elektromágneses spektrum kis energiájú részét jelentő rádiósugárzásért. Az inverz Compton-szórás azt jelenti, hogy a kisebb energiájú fotonok ütköznek a nagyobb energiájú elektronokkal, ezáltal egy alacsonyabb energiatartományból egy magasabb tartományba kerülnek. Ez felelős a nagyenergiájú röntgen- és gamma-sugárzásért.

Optikai és ultraibolya sugárzás észlelhető a viszonylag sűrű, a mag körül gyorsan keringő gázfelhőkből, amelyek kicsit távolabb helyezkednek el a központi magtól.

Az infravörös sugárzás a központi tartományt körülvevő porgyűrűből (tóruszból) származik, amely a belülről jövő elektromágneses sugárzás nagy részét elnyeli, és azt infravörös hullámhosszakon sugározza ki.

Ezek alapján el lehet mondani, hogy az aktív galaxismagok nem egyformán sugároznak a tér minden irányában. Az elméletek szerint a jettel rendelkező (rádiósugárzó) aktív galaxismagok esetén attól függően látunk rádiógalaxist, kvazárt, blazárt, hogy milyen irányból látunk rá erre az objektumra. Az 1. ábrán is láthatjuk, hogy az egész jelenségcsoport értelmezhető ugyanannak az aktív galaxismagnak a más-más irányú nézetével (*Frey 2004; Gabányi 2009*).

3.1.2. A kvazárok

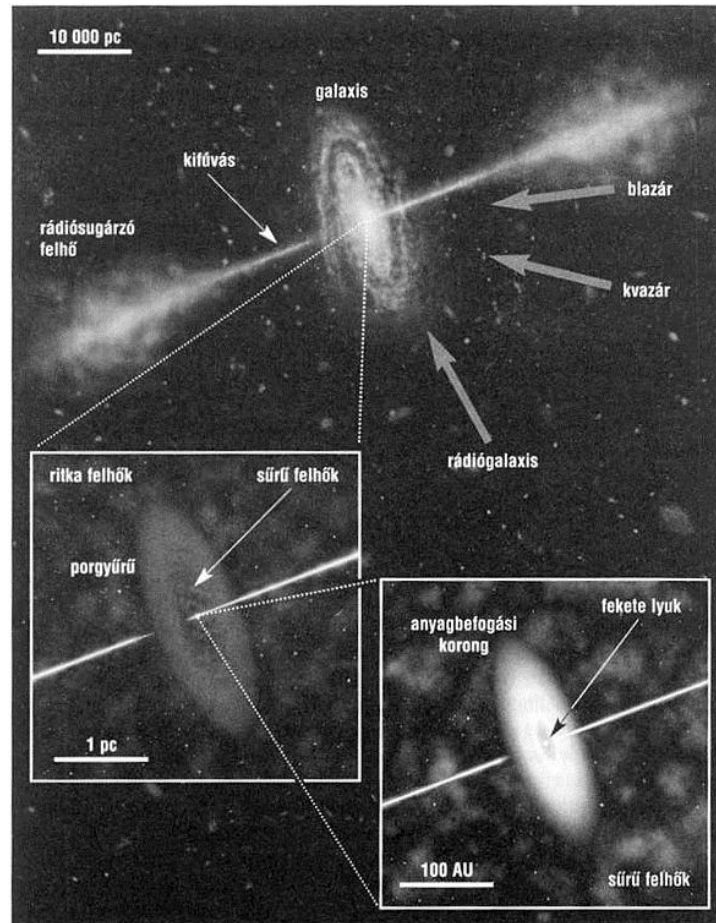
A kvazárok a Világegyetem legfényesebb objektumai közé tartoznak, méretük kicsi (naprendszernyi kiterjedésűek). Az elnevezés a felfedezésük időszakába nyúlik vissza (1963), amikor az erős rádiósugárzása révén találták meg az első kvazárt, de képe pontszerűnek tűnt az optikai felvételeken. Emiatt csillagszerű rádióforrásnak nevezték el (Quasi Stellar Radio Source – Quasar, QSR). A kvazárok optikai színekében emissziós vonalak találhatók, amiből kiderült, hogy általában nagyon nagy vöröseltolódású távoli galaxisok aktív magjai. Legtöbbjük az Ősrobbanás után 2-3 milliárd évvel keletkezett. Fényességük rendkívül gyorsan változik, de ez a változás általában nem periodikus.

Vannak olyan csillagszerű források is, amelyek nem aktívak a rádiótartományban (ezek kb. tízszer gyakoribbak). Ezeket csillagszerű objektumoknak nevezzük (Quasi Stellar Object – QSO), de szokás rájuk is a kvazár (rádiócsendes kvazár) elnevezést használni (*Frey 2003*).

3.1.3. A blazárok

A BL Lacertae (BL Lac) objektumok illetve az optikailag hevesen változó kvazárok összefoglaló elnevezése. A BL Lac objektumok a nevüket az elsőként felfedezett ilyen

objektumról kapták, amelyet először változócsillagnak gondoltak. Valójában nagyon fényes aktív galaxismagok, erősen polarizált fénnel rendelkeznek, amelyben előfordul, hogy olyan erős emissziós kontinuum található, hogy színeképükben nem figyelhető meg emissziós vonal. Jellemző rájuk az erős rádió-, röntgen- és gamma-sugárzás. A rádiósugárzó aktív galaxismagokra vonatkozó elmélet szerint (1. ábra) a blazárokból kiinduló jet a látóirányunkhoz nagyon közel mutat (Frey 2003).



1. ábra: Egy aktív galaxismag szemléltetése

(forrás: Frey 2003)

Az aktív galaxismagok közepén egy fekete lyuk (kb. százmillió naptömegnyi) található, amit egy akkréciós korong vesz körbe, és erre merőlegesen anyagkiáramlás (jet) látható. A képen nyilak jelzik, hogy a látóiránynak a szimmetriatengellyel bezárt szögétől függően milyen objektumot láthatunk (kvazár, rádiógalaxis, blazár-BL Lac objektum).

3.1.4. A rádiógalaxisok

A rádiógalaxisok hasonlóak a kvazárokhoz, de luminozitásuk pár nagyságrenddel kisebb. Jellemzőek rájuk szintén a széles emissziós vonalak, amikről kimutatható, hogy nagyon magas hőmérsékleten és erősen turbulens közegben jöttek létre. A rádiógalaxisok szinte mindig elliptikus galaxisokkal egyeznek meg. Rádiófényességük viszont nagyságrendekkel nagyobb, mint amit más, az optikai tartományban hozzájuk hasonlónak tűnő galaxisokban megfigyelhetünk. A rádiósugárzás az aktív magból és a belőle kiinduló jetekből, valamint a jetek által táplált rádiósugárzó lebenyekből érkezik (Frey 2003; *ELTE Csillagászati Tanszék honlap*).

3.2. Rádió-, röntgen- és gamma-csillagászat

Mint már említettem az előző részben, az aktív galaxismagok energia-kibocsátása az elektromágneses spektrum legszélesebb tartományát fedi le, ezért többfrekvenciás megfigyelések szükségesek ahhoz, hogy a viselkedésüket és fizikai tulajdonságaikat tanulmányozni tudjuk. A tulajdonságaik vizsgálata azért fontos a csillagászok számára, mert a kvazárok a Világegyetem legmesszebről megfigyelhető objektumai közé tartoznak. Segítségükkel tanulmányozni tudjuk a hatalmas fekete lyukakat, statisztikai vizsgálatukkal új ismereteket kapunk a Világegyetem szerkezetéről, fejlődéséről, illetve a különböző kozmológiai fejlődési modelleket is ellenőrizni lehet velük.

3.2.1. Rádiócsillagászat

A rádiócsillagászat a csillagászat azon ága, amely a Földön kívüli térből érkező természetes rádiósugárzásokat detektálja. A rádiótartomány az elektromágneses spektrum legnagyobb hullámhosszú és legkisebb energiájú része. A csillagászati megfigyelések szempontjából szerencsés, hogy a Föld légköre a rádióhullámok számára átlátszó. Így rádiócsillagászati méréseket földi eszközökkel is tudunk végezni.

Történeti áttekintés

A rádiócsillagászat kezdete az 1930-as évekre tehető, amikor az Egyesült Államokban Karl Jansky először észlelt a Földön kívülről érkező rádióhullámokat a 15 m-es

hullámhosszon. Majd 1942-ben felfedezték a Napunk rádiósugárzását, 1951-ben detektálták először a csillagközi semleges hidrogén 21 cm-es (1420,4 MHz) sugárzását. További fontos esemény volt a kvazárok felfedezése (1963), a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás (1965) és a pulzárok felfedezése (1967) (Frey 2004).

Működésének elve

A rádiócsillagászat alapvető mérőberendezése a rádióantenna, amit rádiótávcsőnek is nevezünk. Egy rádiótávcső három fő részből áll: antenna, rádióvevő és az adatrögzítő. A legelterjedtebb antennatípus a paraboloid. Az erre érkező rádióhullámok a fókuszpontban elhelyezett hullámvezetőből továbbjutnak a vevőkészülékbe.

A távcsövek felbontóképessége a paraboloid tányér átmérőjével egyenesen arányos, viszont az alkalmazott hullámhosszal fordítottan, ezért egy-egy elszigetelt rádiótávcsővel nem lehet olyan jó felbontást elérni, mint az optikai távcsövekkel (pl. egy nagyméretű, 100 m-es tányér a 4 cm-es hullámhosszon 1,4 ívperces felbontásra képes). Emiatt kifejlesztették a rádió-interferométereket. Ezek úgy működnek, hogy meghatározott távolságra helyeznek el egymástól két (vagy több) távcsövet. A távcsövek összeköttetésével hozzák létre az antennák által azonos időben, azonos objektumról felvett jelek interferenciáját. Itt a felbontóképesség az antennák távolságával, a bázisvonal hosszával arányos. Viszont ahhoz, hogy egy rádióforrást több vetületben is fel tudjanak térképezni, antennasorozatokat építettek ki, amelyek alkalmasak arra, hogy a bázisvonal hosszát változtatni lehessen a megfigyelés alatt (apertúra-szintézis) (Frey 1998).

Ilyen rendszerek működtek és működnek például Cambridge-ben (Anglia, 5 km-es bázisvonal), Green Bankben (USA, 3,2 km-es bázisvonal), Új-Mexikóban (USA). Az utóbbi a VLA (Very Large Array – nagyon nagy antennasorozat), ami 27 db, Y alakban elhelyezett, egyenként 25 méter átmérőjű tányérból álló sorozat (NRAO honlap). Felbontóképessége 6 cm-es hullámhosszon 0,6 ívmásodperc, a bázisvonalak az Y vonalak mentén 21-21-19 kilométer hosszúak lehetnek. A VLA-t alkotó rádiótávcsövek közötti távolságot szabályozni tudják. Így a különböző konfigurációkban az interferométer különböző felbontású rádióméréseket képes végezni.

2013-ban felavatták Chilében az ALMA-t (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) (ALMA honlap). Ez az együttes 66 távcsőből áll, amelyek összesített gyűjtőfelülete egy futballpályányi területet foglalna el. Az interferométeres elven

működő távcsőrendszer milliméteres vagy annál rövidebb hullámhosszakon képes detektálni a rádióhullámokat.

A VLBI rendszer

A VLBI (Very Long Baseline Interferometry – nagyon hosszú bázisvonalú interferometria) technika lényege, hogy a Föld különböző pontjain lévő távcsövek között több száz, több ezer km távolság van. Itt a beérkezett jelek nem egy közös vevőkészülékbe futnak, hanem külön-külön mágnesszalagokon vagy mágneslemezekre rögzítik őket. A rögzített méréseket később a korrelátoron összejuttatják és előállítják az interferenciát. Az egymástól független jelsorozatok időbeli összetartozását atomórákkal biztosítják. A Föld átmérőjét megközelítő bázishosszakon ezred ívmásodperc körüli felbontóképességet is elérni lehet. Napjainkban már működik az e-VLBI technika, amelynél a távoli antennák össze vannak kötve, így nem szükséges a méréseket rögzíteni, az interferencia rögtön előállítható (Frey 1998).

Van egy mód arra is, hogy a felbontóképességet még tovább növeljük. Ehhez az egyik távcsövet az űrben helyezik el (űr VLBI rendszer). Az elsőt a japánok helyezték üzembe (VSOP – VLBI Space Observatory Programme, 1997). A HALCA (Highly Advanced Laboratory for Communications and Astronomy) Föld körül keringő műholdon helyeztek el egy 8 méter átmérőjű, kinyitható antennát. A maximális bázisvonal hossza 27 000 km, a rendszer felbontása az ívmásodperc néhány százszázad része volt.

Oroszország 2011. július 18-án indította Föld körüli útjára a Radioastron nevezetű csillagászati műholdat, melynek fő műszere egy 10 méter átmérőjű rádiótávcső. Az űr-interferometria segítségével 8 mikroívmásodperces felbontással tanulmányozhatják a rádiósugárzó objektumokat (Radioastron honlap).

Az ilyen technikával már részletesen feltérképezhetjük az extragalaktikus objektumok legbelső szerkezetét.

3.2.2. A röntgensillagászat

A működésének elve

A röntgensillagászat az elektromágneses tartomány nagyenergiájú, rövid hullámhosszú spektrumában végzett megfigyeléseinek alapul. Esetében a megfigyelésnek nem a

hullámhosszát (λ), hanem a fotonok energiáját (E) adják meg az elektronvolt (eV) ezerszeres (keV) és milliószoros (MeV) egységeiben.¹

Két fő részre osztható a röntgentartomány:

- Kemény röntgen: 10–100 keV (0,01–0,1 nm)
- Lágy röntgen: 0,1–10 keV (0,1–10 nm)

A légkör a sugárzásnak ezt a tartományát nem engedi át a röntgenfotonok ionizáló hatása miatt. Ezért ha csillagászati megfigyeléseket akarunk végezni ebben a tartományban, akkor a műszereinket fel kell juttatni a világűrbe. A nagyenergiájú fotonok az optikában alkalmazott homorú tükröző felületű és a rádióban alkalmazott paraboloid antennákon nem visszaverődnének, hanem áthaladnának, ezért fókuszálásukra kifejlesztették a Wolter-féle távcsövet. Működésének alapja, hogy a fotonok kis szögben érkeznek a koncentrikusan egymásba ágyazott, enyhén paraboloid és hiperboloid felületű vékony fémlemezekre, amelyek összegyűjtik az érzékelőre a sugárzást (*Szatmáry és munkatársai 2002*).

Történeti áttekintés

A megfigyelő röntgenszillagászat kifejlődése a XX. század közepére tehető, amikor 1949-ben a felső légkörbe felbocsátottak egy rakétát, amelyre egy Geiger–Müller-számlálót helyeztek el, és ezzel észlelték az első égi röntgenforrást, méghozzá a Napból. Nagy áttörést jelentett, amikor R. Giacconi 1962-ben a rakétakísérletével először fedezte fel a Naprendszeren kívülről érkező röntgensugárzást (a Skorpió csillagképben lévő Scorpius X-1 forrást). Szintén a 60-as évekre tehető a röntgenháttér felfedezése is. Ezen sikerek hatására virágzásnak indultak az űrtávcsőépítési projektek, melyek közül a legfontosabbakat a gamma-csillagászatról szóló fejezet utáni táblázatban foglalom össze. (1. táblázat) (*Szatmáry és munkatársai 2002*).

3.2.3. Gamma-csillagászat

A gamma-csillagászat – úgy, mint a röntgenszillagászat – a nagyenergiájú csillagászat egyik ága.

Az energia nagysága alapján több kisebb csoportra bontható a tartománya:

¹ Átváltás: $E \text{ (keV)} = 1,24/\lambda \text{ (nm)}$

- Ultranagy energiájú gamma-sugárzás: $> 10^8$ MeV
- Nagyon nagy energiájú gamma-sugárzás: 10^4 – 10^8 MeV
- Nagyenergiájú gamma-sugárzás: 30 – 10^4 MeV
- Közepes energiájú gamma-sugárzás: 10 – 30 MeV
- Alacsony energiájú gamma-sugárzás: 1 – 10 MeV
- Lágú gammasugárzás: $0,1$ – 1 MeV

A röntgensugárzáshoz hasonlóan a gamma-sugarakat sem engedi át a légkörünk, mivel a Compton-szórás és párkeltés² miatt elnyelődnek ott, ezért a detektálásukra szintén űrtávcsöveket kell használni. A gamma-tartományban mérő űrtávcsöveknél a röntgenszállagászatnál alkalmazott Wolter-féle távcső típus nem válik be (*Szatmáry és munkatársai 2002*). Itt még a mai napig „elnyeletéssel” végzik a megfigyeléseket, de ezzel csak pontatlanul lehet a fotonok beérkezési irányát megállapítani. Kódolt maszkolási technikát alkalmaznak, aminek az alapja, hogy a gamma-sugarak nem verődnek vissza, nem törnek meg, egyenes vonalban terjednek (*Szatmáry és Szabados 2009*). Ezért a detektor elé 1-2 m-re egy speciális mintázatú maszkot helyeznek el, amely egyes részén elnyeli, máshol átengedi a gamma-fotonokat. Pontforrás esetén a maszk árnyéka vetül a detektorra, kiterjedt forrás esetén pedig a képet több ilyen árnyék eredőjéből kapjuk meg. A geometriai elrendezés alapján rekonstruálni lehet az égitest irányát és a gamma-sugárzás intenzitás-eloszlását. A fontosabb gamma-távcsöveket az 1. táblázatban mutatom be.

300 GeV energia felett viszont alkalmazhatóak a földi Cserenkov-távcsövek is, melyek nem közvetlenül a gamma-fotonokat, hanem a légkörben kiváltott hatásukat detektálják. Amikor elnyelődnek a gamma-fotonok a légkörben, akkor másodlagos kozmikus sugárzást idéznek elő, és ennek a sugárzásnak a töltött részecskéi okozzák az úgynevezett Cserenkov-sugárzást³, ami kis nyílásszög mentén lejut a Föld felszínéig. Ez a fény már megfigyelhető nagyméretű optikai és ultraibolya távcsövekkel. Ilyen Cserenkov-féle távcsövek például a Whipple-távcső Dél-Arizonában, a Mount Hopkins hegyen 2000 méter felett, illetve a CANGAROO és CANGAROO II, amely Dél-Ausztráliában található. Ez 10 méter átmérőjű, 114 darab 80 cm átmérőjű, kör alakú tükrökből áll össze (*Szatmáry és munkatársai 2002*).

² Párkeltés: Ha elég nagy a foton energiája, akkor egy antirészecske-pár keletkezhet (pl. pozitron és elektron).

³ Cserenkov-sugárzás: ha egy elektron gyorsabban mozog a folyadékban vagy gázban, mint az adott közegre vonatkozó fénysebesség, akkor a környező anyagban fénylést kelt.

Jelenleg már van olyan távcső is, amely nem csak a nagy, hanem a kisebb energiákon is képes megfigyeléseket végezni, ilyen például a MAGIC (Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov Telescope). A MAGIC távcső 17 méter átmérőjű tükörrel rendelkezik, amely 15 GeV-ig képes megfigyeléseket végezni.

A röntgen- és gamma-csillagászat legfontosabb távcsövei:

1. táblázat: Röntgen- és gamma-távcsövek (forrás: Szatmáry és Szabados 2009, kiegészítve)		
Működésének időszaka	Név (ország)	Tartomány
1949	V2 rakéta (USA)	Nap röntgensugárzásának felfedezése
1962	Aerobee rakéta (USA)	Első röntgenforrás a Naprendszerben
1967	Vela (USA)	Gamma-kitörések felfedezése
1970–73	Uhuru (NASA)	Első égboltfelmérés röntgen tart.
1972–73	SAS-2 (USA)	Első szonda a gamma-tartományban
1975–82	COS B (ESA)	Tejútrendszer első gamma-térképe
1978–81	Einstein (NASA)	Első leképező röntgentávcső
1983–86	EXOSAT (ESA)	Lágy röntgen és UV tartomány
1987–91	Ginga (Japán)	Röntgen és gamma-tartomány
1989–98	Granat (Oroszország)	Röntgen és gamma-tartomány
1990–99	ROSAT (Németország, USA)	Teljes égboltfelmérés lágy röntgenben
1991–2000	Compton GRO (NASA)	Gamma-tartomány
1993–2000	ASCA (Japán, NASA)	Röntgentartomány
1995–2012	RXTE (NASA)	Röntgenészlelések
1996–2002	BeppoSAX (Olaszország, Hollandia)	Röntgen- és gamma-tartomány
1999–	Chandra (NASA)	Nagyfelbontású röntgenmegfigyelések
1999–	XMM-Newton (ESA)	Röntgenmegfigyelések
2002–	INTEGRAL (ESA, NASA, Oroszország)	Gamma-tartomány
2004–	Swift (USA, UK, Olaszország)	Gamma-, röntgen-, UV, optikai tart.
2008–	Fermi/GLAST (NASA)	Széles gamma-tartomány
2012–	NuSTAR (NASA)	Nagyfelbontású röntgenmegfigyelések

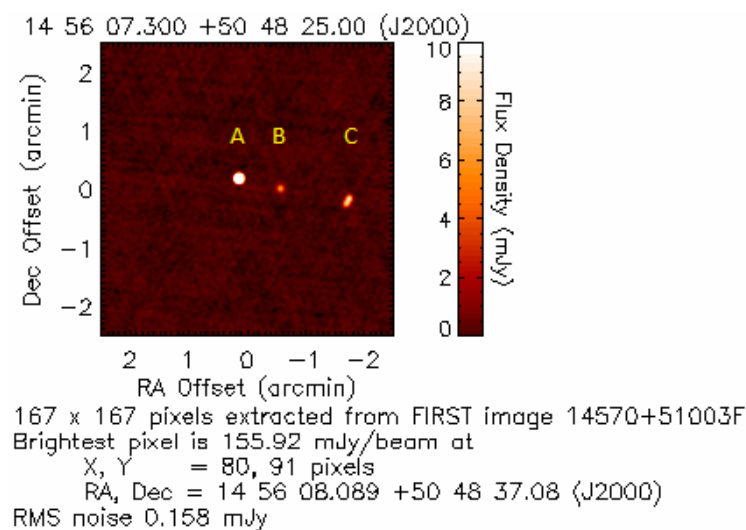
A fenti táblázatban feltüntettem a fontosabb röntgen- és gamma-tartományban mérő űrtávcsöveket. A színek jelentése: fehér (röntgentartomány), sárga (gamma-tartomány), szürke (mindkettő)

4. Kutatás a szakirodalomban

4.1. A dolgozatunk témája és célja

Dolgozatunkban a J1456+5048 nevű objektumot és a hozzá hasonló forrásokat (44 db) fogjuk megvizsgálni. A kiinduló forrás érdekessége, hogy ennél a koordinátánál (közelítő rektaszcenzió: 14h 56m, deklináció: 50° 48') egymáshoz közel három rádióforrás is megfigyelhető (2. ábra). Ez abban okoz problémát, hogy a korai röntgen-, rádió- és gamma-felmérések felbontása túl alacsony volt ahhoz, hogy ezeket a forrásokat el tudják különíteni egymástól, így előfordult az, hogy az észlelt sugárzást nem csak egy, hanem kettő vagy mindhárom forrásra egyszerre mérték meg, emiatt pedig előfordultak tévedések (összekeverték őket). A továbbiakban ez azért gond, mert az ilyen és ehhez hasonló esetek belekerültek olyan publikációkba, ahol például a blazárok általános tulajdonságait vizsgálták (erre később a 4.4-es fejezetben kitérünk).

A célunk az volt, hogy a forrásokról összegyűjtsük a cikkekben, katalógusokban szereplő adatokat, ami segíthet tisztázni a lehetséges szakirodalmi tévedések hátterét és következményeit. Ehhez kiindulásul a NED adatbázisát használtuk fel, hogy ellenőrizhessük, melyik mérés melyik forrásra vagy forrásokra együtt vonatkozhatott a három közül.



2. ábra: VLA FIRST képkivágás a kérdéses területről

(forrás: <http://sundog.stsci.edu/>)

A 2. ábrán látható egy $5' \times 5'$ -es méretű, 1,4 GHz-es frekvencián készült képkivágás a területről, ami magába foglalja a három forrást. A könnyebb érthetőség kedvéért az objektumokat „A”, „B” és „C” betűkkel jelöltük, és a későbbiekben így hivatkozunk rájuk.

4.2. NED (NASA/IPAC Extragalactic Database)

A NED egy olyan adatbázis, amely extragalaktikus objektumokról nyújt nekünk adatokat minden hullámhossz-tartományban. Több száz égboltfelmérést és több tízezer publikációt tartalmaz, melyek segítségével pozíciókat, alapvető adatokat, objektumok neveit érhetjük el. Az objektumokra több szempont alapján is rá lehet keresni: név, közeli név vagy pozíció, típus, referenciák kódjával. A referenciákra pedig az objektum neve vagy a publikáció szerzője alapján is rátalálunk (*NED honlap*).

4.3. A J1456+5048 forrás adatainak részletezése és elemzése

Az adatok gyűjtéséhez felhasználtam a NED adatbázisában szereplő publikációkat, amelyekben szerepel a forrásunk. Ezeket szeretnénk most részletezni.

2. táblázat: ROSAT által mért adatok (forrás: Brinkmann et al. 1997)	
Név	RX J1456.0+5048
Rektaszcenzió (rövk.: R.A. [h:m:s], J2000)	14:56:08.13
Deklináció (rövk.: DE. [°:':"], J2000)	50:48:36.3
Röntgen fluxus (0,1-2,4 keV)	$3,303 \cdot 10^{-14} \text{ W/m}^2$ (hiba: $0,135 \cdot 10^{-14} \text{ W/m}^2$)
VLA rádió fluxussűrűség (5 GHz)	207 mJy^4 (<i>Laurent-Muehleisen et al. 1997</i>) ⁵
ROSAT pozíciós pontossága (8. ábra)	$30'' = 0,5'$
VLA felbontása (9. ábra)	$0,4''$
Típus	BL Lac

Az RX rövidítés azt jelzi, hogy a forrás a ROSAT röntgenkatalógusából származik (ROSAT X-ray catalog), a J pedig azt, hogy a koordináták J2000 epochára vannak megadva.

⁴ $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W/m}^2/\text{Hz}$

⁵ A hivatkozott eredeti katalógusban nem 207 mJy, hanem 212 mJy szerepel (lásd: 3. táblázat)

ROSAT teljes égboltfelmérés (ROSAT All-Sky Survey – RASS)

Lágy röntgensugaras egész égbolton felmérés a 0,1–2,4 keV-os sávban (1990. augusztus 1. – 1991. február 1.). Pozíciós pontossága 30'' (0,5'). Szögfelbontása kb. 1,8'.

A táblázatban szereplő koordináták szerint az adatok az „A” jelű forrásra vonatkoznak, viszont a ROSAT rossz felbontása (1,8') miatt a röntgen fluxus az „A” és a mellette lévő „B” forrásra mért adat, a VLA rádió fluxussűrűsége pedig az „A” objektumra kapott érték.

VLA (Very Large Array)

Az Amerikai Egyesült Államokban, Új-Mexikó államban található, az NRAO (National Radio Astronomy Observatory) által üzemeltetett interferométer. Legjobb felbontása 5 GHz-en 0,4''.

3. táblázat: ROSAT: aktív galaxisok azonosítása (forrás: Laurent-Muehleisen et al. 1997)	
Név	RGB 1456+508
R.A. ([h:m:s], J2000)	14:56:08.13
DE. ([°:':"], J2000)	50:48:36.3
Teljes fluxussűrűség (GB6, 5 GHz)	232 mJy (bizonytalansága: 21 mJy)
„Mag” fluxussűrűség (VLA, 5 GHz)	212 mJy

A névben szereplő RGB rövidítés azt jelenti, hogy összevetették a RASS röntgen és a Green Bank 6 cm-es hullámhosszon (5 GHz-es frekvencián) készült rádió katalógust és azonosították a mindkettőben szereplő forrásokat. A RASS adatokat a 2. táblázatban részleteztem, a Green Bank (GB6) katalógusában található adatok pedig a következők:

4. táblázat: GB6 katalógusból vett adatok (forrás: Gregory et al. 1996)	
Név	GB6 J1456+5048 vagy GB6 B1454+5100
R.A. ([h:m:s], J2000)	14:56:07.3
DE. ([°:':"], J2000)	50:48:25
Fluxussűrűség (5 GHz)	232 mJy
Felbontás	108''

A 91 m átmérőjű Green Bank rádiótávcsővel⁶ elérhető felbontással az „A” és „B” forrás egynek látszik (felbontatlan), ezért az általa mért rádió fluxussűrűség mindkettő forrásra vonatkozik.

5. táblázat: RBSC katalógusból vett adatok (forrás: Voges et al. 1999)	
Név (a „B” jelű forrás)	1RXS J145603.4+504824
R.A. ([h:m:s], J2000)	14:56:03.40
DE. ([°:':"], J2000)	50:48:24.5
Pozíciós hiba	7"
Röntgen fluxus (0,1-2,4 keV)	$2,14 \cdot 10^{-14} \text{ W/m}^2$

A névben szereplő 1RXS azt jelzi, hogy ez a forrás a ROSAT All-Sky Bright Source katalógusból (RBSC) származik. A ROSAT által mért röntgen fluxus itt szintén több objektumra („A” és „B”) vonatkozik. Érdekes megjegyezni, hogy a röntgen fluxus a RASS értékhez képest (2. táblázat) kb. 35%-kal kisebb. Az eltérés oka, hogy az 1RXS katalógushoz a ROSAT égboltfelmérés adatait később új módszerrel dolgozták fel.

6. táblázat: A FIRST adatbázis katalógusa (forrás: http://sundog.stsci.edu/cgi-bin/searchfirst)	
1, Név („C” objektum)	FIRST J145556.3+504813
R.A. ([h:m:s], J2000)	14:55:56.316
DE. ([°:':"], J2000)	50:48:13.15
Fluxussűrűség (FIRST 1,4 GHz)	20,86 mJy
2, Név („B” objektum)	FIRST J145603.6+504825
R.A. ([h:m:s], J2000)	14:56:03.624
DE. ([°:':"], J2000)	50:48:25.96
Fluxussűrűség (FIRST 1,4 GHz)	9,45 mJy
3, Név („A” objektum)	FIRST J145608.1+504836
R.A. ([h:m:s], J2000)	14:56:08.112
DE. ([°:':"], J2000)	50:48:36.39
Fluxussűrűség (FIRST 1,4 GHz)	168,18 mJy
FIRST felbontása (1,4 GHz)	5,4"

A FIRST (Faint Images of the Radio Sky at Twenty-one centimeters, azaz halvány képek az égről 21 cm-es rádiótartományban) felmérés a VLA B konfigurációjával

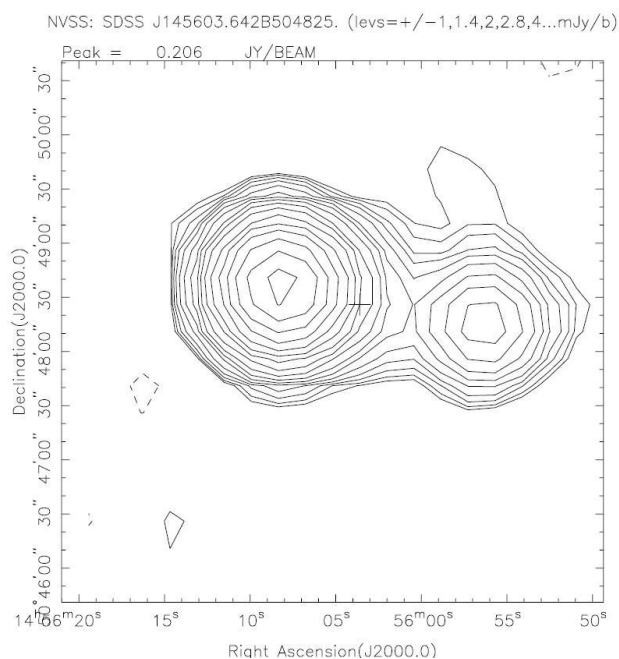
⁶ A 91 m-es Green Bank-i rádiótávcső ma már nem létezik, szerkezete 1988-ban összeomlott. http://www.nrao.edu/whatisra/hist_300ft.shtml

készült. Felbontása ezen a hullámhosszon 5'' körül van és az égnek majdnem ugyanazt a részét térképezi fel, amit az SDSS (Sloan Digital Sky Survey) optikai felmérés is (*FIRST honlap*). Ezért fel tudjuk használni arra, hogy a FIRST segítségével megtaláljuk a rádióforrás optikai megfelelőjét az SDSS adatbázisban. A 2. ábrán a három rádióforrást („A”, „B”, „C”) a FIRST térkép alapján jelöltem meg.

7. táblázat: RBSC-NVSS minták (forrás: Bauer et al. 2000)	
Név (a B jelű forráskoordinátaiból)	1RXS J145603.4+504824
R.A. ([h:m:s], J2000)	14 56 03.62
DE. ([°:':"], J2000)	50 48 26.0
RBSC röntgen fluxus (0,1-2,4 keV)	$2,1 \cdot 10^{-14} \text{ W/m}^2$
NVSS fluxussűrűség (1,4 GHz)	245,3 mJy („A”+„B” forrásra vonatkozik)
NVSS/FIRST felbontása (4. kép)	45'' / 5,4''

Az RBSC a ROSAT All-Sky Bright Source Catalogue rövidítéséből, az NVSS pedig az NRAO VLA Sky Survey rövidítésből származik. Az NVSS felmérés esetében a VLA távcsőrendszere ugyanazon a frekvencián dolgozott, mint a FIRST (1,4 GHz), de a felbontása gyengébb, mint a FIRST felbontása, ahogyan az a táblázatban is látható. Ebben a cikkben a fő probléma szerintem, hogy a fluxussűrűség értéke nem a megadott koordinátájú forrásra vonatkozik, amivel összepárosították (lásd: 6. táblázat). A két táblázatban előforduló adatok közti eltérés oka az lehet, hogy más időpontban lettek megmérve az adatok, és így előfordulhat, hogy más értéket kapunk, a BL Lac objektumok változékonysága miatt.

A FIRST (2. ábra) és az NVSS térképe (3. ábra) közötti különbség, hogy a FIRST felbontóképessége jobb 1,4 GHz-en, mint az NVSS felbontása. Ez utóbbi felmérés a VLA legrövidebb bázisvonalakat adó D konfigurációjával készült. A két képkivágás ugyanakkora területet ábrázol. A táblázatban szereplő rektaszcenzió és deklináció a „B” forrásra vonatkozik (az NVSS képen kereszt jelöli), viszont az NVSS fluxussűrűség az abban a felmérésben felbontatlan „A” és „B” forrásra vonatkozó érték.



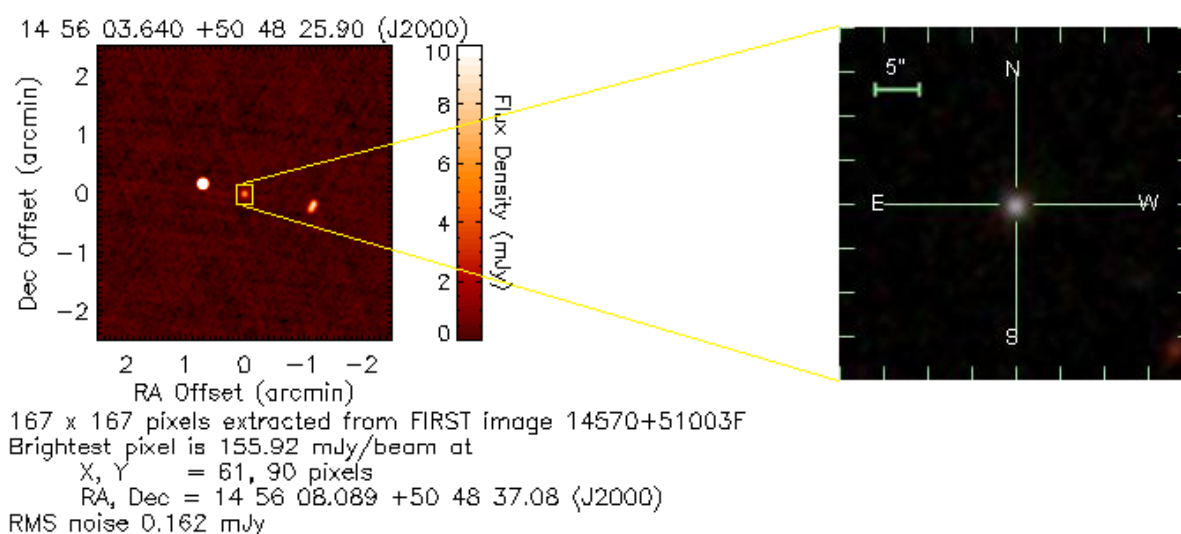
3. ábra: Az NVSS 1.4 GHz-es térképe
(forrás: <http://www.cv.nrao.edu/nvss/postage.shtml>)

8. táblázat: Rádióhangos aktív galaxisok a ROSAT felmérésben (forrás: Reich et al. 2000)	
Név	RGB J1456.1+5048
R.A. ([h:m:s], J2000)	14:56:06.4
DE. ([°:':"], J2000)	50:48:16
Fluxussűrűség 11 cm (2,7 GHz)	280 mJy
Fluxussűrűség 6 cm (5 GHz)	292 mJy
Fluxussűrűség 2,8 cm (10,7 GHz)	253 mJy
Röntgen fluxus (0,1–2,4 keV)	$3,303 \cdot 10^{-14} \text{ W/m}^2$
Optikai magnitúdó (V)	19,10 mag
Felbontás 11, 6 és 2,8 cm hullámhosszon	3,8', 2' és 1'

A cikkben olyan forrásokat vizsgáltak meg, amelyek rádió fluxussűrűsége 5 GHz-en erősebb, mint 100 mJy. A fluxussűrűség-mérések az effelsbergi 100 m-es rádiótávcsővel (Németország) készültek. A megfigyelésekhez alapul vett RGB pozíció az „A” és „B” forrás közé esik, a felbontása miatt a mért adatok az „A” és „B” (11 cm-es hullámhosszon még a „C”) forrásokra lesznek érvényesek.

9. táblázat: SDSS optikai felmérés adatai (forrás: Anderson et al. 2007)	
RASS név	J145603.4+504824
SDSS megfelelőjének a neve („B” objektum)	J145603.64+504825.9
u magnitúdó	19,57 mag (hiba: $\pm 0,035$ mag)
g magnitúdó	19,36 mag (hiba: $\pm 0,011$ mag)
r magnitúdó	19,07 mag (hiba: $\pm 0,012$ mag)
i magnitúdó	18,86 mag (hiba: $\pm 0,013$ mag)
z magnitúdó	18,64 mag (hiba: $\pm 0,037$ mag)
SDSS felbontása	0,1''
Korrigált röntgenfluxus (0,1–2,4 keV)	$2,2190 \cdot 10^{-14} \text{ W/m}^2$
Vöröseltolódás (z)	0,4786

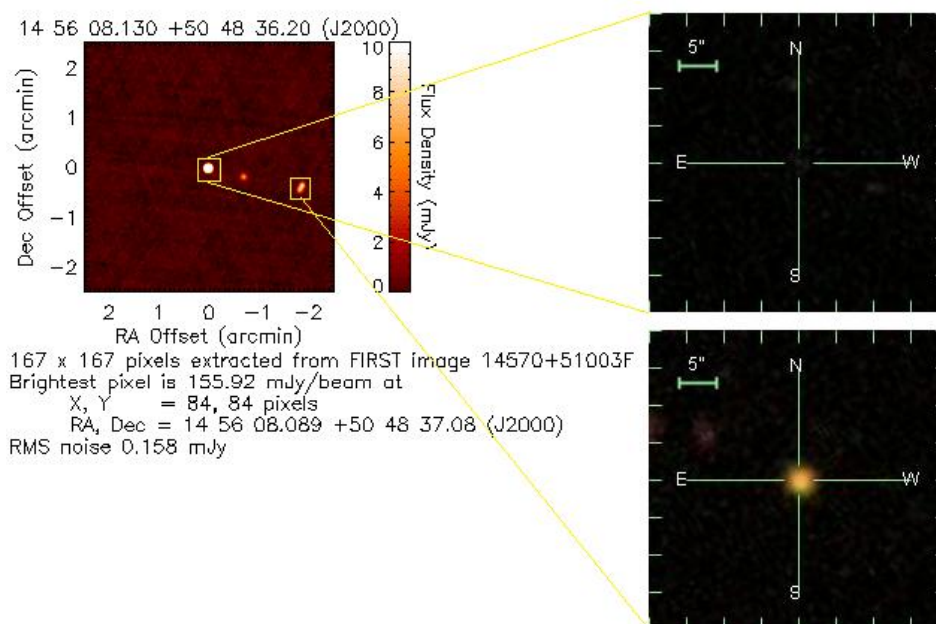
A cikkben a RASS röntgen felmérésének az optikai azonosítását mutatják be az SDSS segítségével. A táblázatban szereplő adatok az SDSS Data Release 5 (DR5) katalógusából származnak, ahol a vöröseltolódásnak 0,48 értéket számoltak (5. ábra) (Adelman-McCarthy et al. 2007). Ez majd azért lesz érdekes, mert erre a forrásra két vöröseltolódási érték is található a szakirodalomban! A magasabb ($z=1,379$) érték az SDSS későbbi kiadásából származik, de a színekép, aminek alapján meghatározták ugyanaz (6. ábra). Az SDSS optikai égboltfelméréshez egy 2,5 m-es teleszkópot használnak, amely az Apache Point Observatory-ban található, Új-Mexikóban. Öt színszűrővel rendelkezik: u, g, r, i, z.



4. ábra: VLA FIRST képből kivágott égterület és a „B” forrás optikai képe az SDSS alapján
(forrás: <http://sundog.stsci.edu> [bal] és <http://cas.sdss.org> [jobb])

A 6. képen látható ugyanaz a spektrum, ami az 5. ábrán is. A különbség, hogy itt a színekép automatikus elemzése során más vonalakat azonosítottak be, ezáltal egy másik vöröseltolódást kaptak a „B” jelű forrásra: 1,3785. Ez az adat az SDSS Data Release 9-ből (DR9) származik (Ahn et al. 2012).

10. táblázat: SDSS fotometriai katalógus (forrás: Adelman-McCarthy et al. 2009)	
Név (az „A” jelű objektum)	SDSS J145608.13+504836.2
u magnitúdó	23,262 mag (hiba: $\pm 0,66$ mag)
g magnitúdó	23,099 mag (hiba: $\pm 0,17$ mag)
r magnitúdó	22,862 mag (hiba: $\pm 0,25$ mag)
i magnitúdó	22,531 mag (hiba: $\pm 0,29$ mag)
z magnitúdó	20,528 mag (hiba: $\pm 0,20$ mag)
Név (a „C” jelű objektum)	SDSS J145556.626+504805.80
u magnitúdó	21,602 mag (hiba: $\pm 0,164$ mag)
g magnitúdó	19,072 mag (hiba: $\pm 0,010$ mag)
r magnitúdó	17,630 mag (hiba: $\pm 0,006$ mag)
i magnitúdó	16,949 mag (hiba: $\pm 0,005$ mag)
z magnitúdó	16,550 mag (hiba: $\pm 0,010$ mag)
Felbontás	0,1”



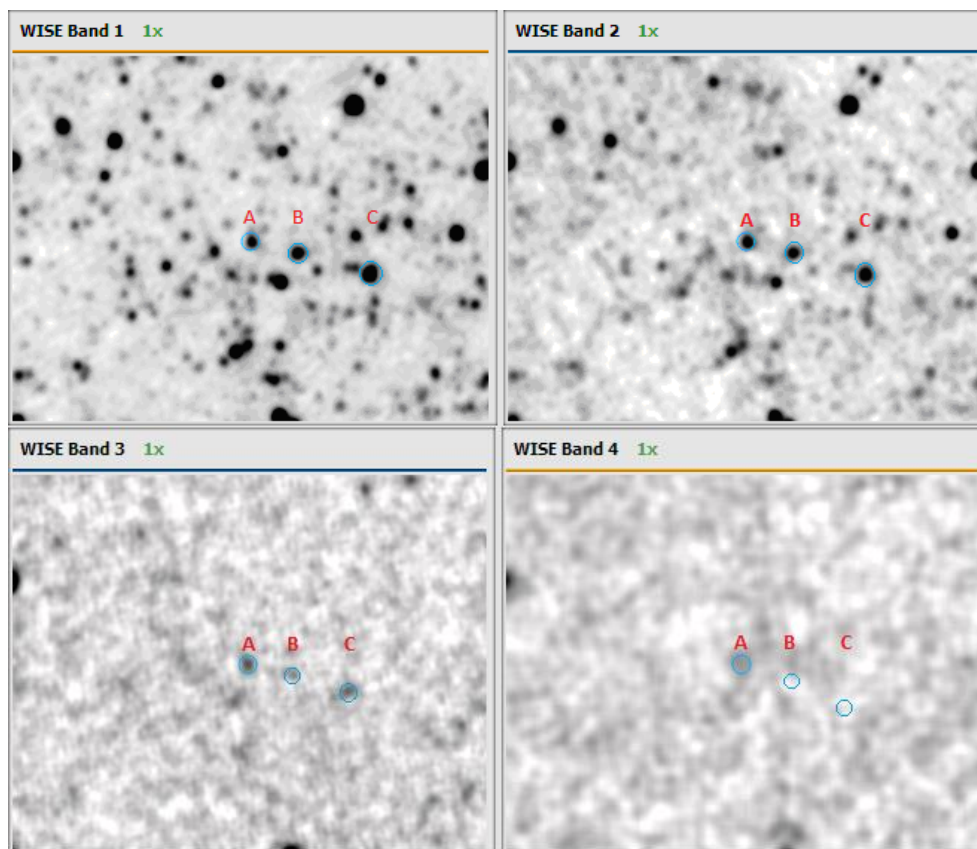
7. ábra: A VLA FIRST képkivágás és az „A”, illetve „C” forrás optikai képe az SDSS alapján
(forrás: <http://sundog.stsci.edu> [bal] és <http://cas.sdss.org/astro> [jobb])

A 7. ábrán bal oldalon látható a FIRST rádiótérképből kivágott égterület. A jobb oldali két kép az SDSS által készített felvételek az „A” és „C” forrásnak megfelelő

pozíciókban. Ahogyan a jobb felső képen és a táblázatban olvasható magnitúdókból is látszik, az „A” forrás nagyon halvány, még épp elegendően fényes ahhoz, hogy az SDSS detektálni tudja (határmagnitúdója: 23 mag). Így a rá vonatkozó mérések nem megbízhatóak. A „C” forrás esetén a rádió (FIRST, 14:55:56.3 +50:48:13) és optikai (SDSS, 14:55:56.6+50:48:05.8) pozíciók eltérése megközelíti a 10”-et, ezért az azonosításuk kétséges.

11. táblázat: A WISE felmérés adatai (forrás: Cutri et al. 2012)	
Név („A” objektum)	WISE J145608.10+504836.5
W1 (3, 35 μ m)	15,455 mag (hiba: $\pm 0,039$ mag)
W2 (4, 6 μ m)	14,511 mag (hiba: $\pm 0,047$ mag)
W3 (11, 6 μ m)	12,009 mag (hiba: $\pm 0,174$ mag)
W4 (22, 1 μ m)	8,995 mag (hiba: $\pm 0,320$ mag)
Név („B” objektum)	WISE J145603.62+504826.1
W1 (3, 35 μ m)	15,013 mag (hiba: $\pm 0,033$ mag)
W2 (4, 6 μ m)	14,612 mag (hiba: $\pm 0,050$ mag)
W3 (11, 6 μ m)	12,418 mag (hiba: $\pm 0,0238$ mag)
W4 (22, 1 μ m)	>9,557 mag
Név („C” objektum)	WISE J145556.61+504806.1
W1 (3, 35 μ m)	14,308 mag (hiba: $\pm 0,027$ mag)
W2 (4, 6 μ m)	14,211 mag (hiba: $\pm 0,040$ mag)
W3 (11, 6 μ m)	>13,101 mag
W4 (22, 1 μ m)	>9,623 mag
Felbontás W1, W2, W3, W4	6,1”, 6,4”, 6,5” és 12,0”

A WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer) a NASA széles látómezejű infravörös égtérképező űrtávcsöve. Négy hullámhosszon térképezte fel az eget (a táblázatban szerepelnek), illetve a felbontását is a táblázatban tüntettem fel (*WISE honlap*). A táblázatban néhány adatot azért írtunk pirossal, mert azok a detektálási határnak felelnek meg, vagyis azt mondják meg, hogy mennyi a felmérés érzékenysége azon a ponton. Ha lenne ott forrás, akkor legalább ennyi lenne a magnitúdója (legfeljebb ilyen fényes lehetne).

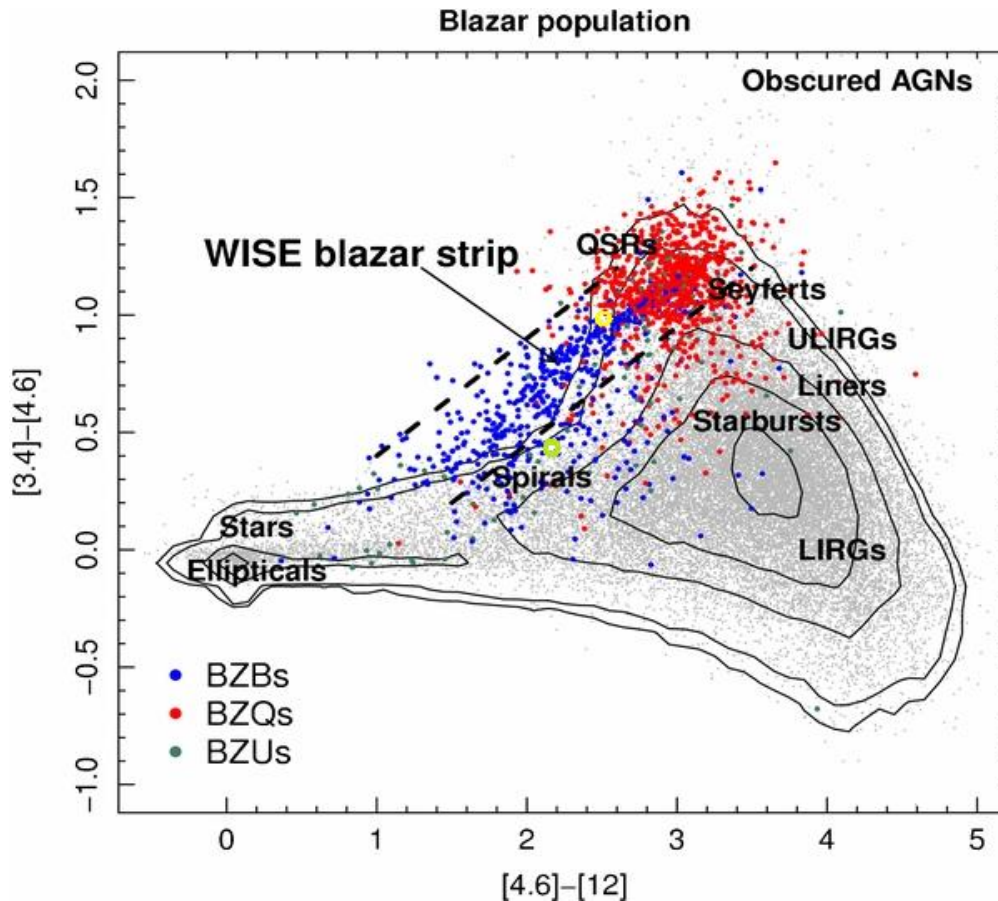


8. ábra: A WISE 4 sávjában készült infravörös képek a forrásokról
(forrás: <http://irsa.ipac.caltech.edu>)

A 8. ábrán külön bejelöltem kék karikával a forrásokat, és piros nagybetűvel megadtam az objektumok jelzéseit, hogy a táblázatban lévő adatokkal könnyebben lehessen párosítani.

A 9. ábrán, felhasználva a 12. táblázat WISE magnitúdó adatait, bejelöltem az általunk vizsgált forrásokat, hogy a színindexeik alapján hol helyezkednek el (zöld: „A”, sárga: „B”). A színindexeket az 13. táblázatban tüntettem fel. A képen a rövidítések a következőket jelentik: BZB (BL Lac objektum), BZQ (lapos spektrumú rádió-kvazár), BZU (bizonytalan típus), QSR (normál kvazár), ULIRG (ultrafényes infravörös galaxisok), LIRG (fényes infravörös galaxisok).

Ezen cikk szerzői azt mutatták be a WISE adatain keresztül, felhasználva ehhez a [4,6]–[12] μm és [3,4]–[4,6] μm -es szín-szín diagramot, hogy miként lehetséges a termikus és nem termikus sugárzással jellemezhető források (főként blazárok) elkülönítése. Az ábrán WISE blazar strip (WBS) felirattal jelölt (WISE blazár sáv) régió egy infravörösben nem termikus sugárzással dominált szakasz, mely segítségével azonosítani tudják az eddig még bizonytalan típusú forrásokat.



9. ábra: A $[3,4]-[4,6]$ és $[4,6]-[12]$ μm szín-szín diagram a WISE termikus forrásokról és blázárokról.
(forrás: Massaro et al. 2011a)

A grafikonon feltüntettük a dolgozatban vizsgált „A” (zöld) és „B” (sárga) objektumokat is, amelyek az infravörös színindexeik alapján a WISE blazár sávja közelében helyezkednek el.

12. táblázat: WISE színindexek (módszer: Massaro et al. 2011a)		
Tartomány (μm)	„A” jelű forrás (μm)	„B” jelű forrás (μm)
$[4,6]-[12]$	2.2	2.5
$[3,4]-[4,6]$	0.4	0.94

A táblázatba a „C” jelű forrást a hiányzó 12 μm -es detektálás miatt nem írtuk bele, mint látható a 12. táblázatban is. A színindexekből és az ábrán elfoglalt helyzetük alapján látható, hogy mindkét forrásunk a WBS-ben vagy közvetlen közelében fekszik. Habár az „A” forrás egy kicsit túl van a sáv vázlatosan berajzolt határán, de a WISE különböző sávjaiban mért magnitúdók pontosságát is megnézve, mondhatjuk rá, hogy beleesik a sávba. A „B” forrásunk a képen a BZQ osztályába tartozó ismert

objektumokhoz hasonlít, azaz egy lapos spektrumú rádió–kvazár, amely a diagramon közel fekszik a normál kvazárokhoz (QSR) és a Seyfert–galaxisokhoz. Az „A” forrásunk a BZB-k által elfoglalt területen, azaz BL Lac objektumok között van. Ez az eredmény összhangban van azzal, hogy a „B” objektumunk az, amelyik jelentősebb röntgen-aktivitást mutat, az „A” jelű pedig az, amelyik rádióban erősebb.

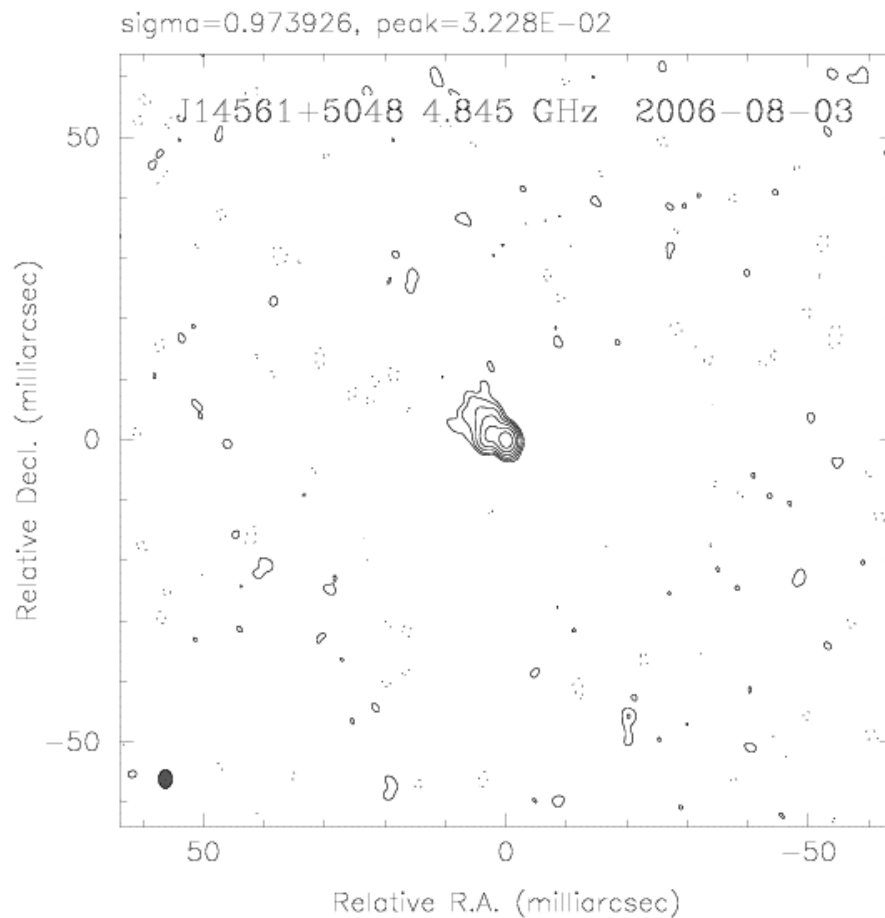
13. táblázat: Swift–XRT pont források katalógusa (forrás: D’Elia et al. 2013)	
Név (a „B” jelű objektum)	1SWXRT J145603.6+504826
0,5–10 keV fluxus	$4,42 \cdot 10^{-15} \text{ W/m}^2$
0,5–2 keV fluxus	$2,23 \cdot 10^{-15} \text{ W/m}^2$
2–10 keV fluxus	$2,17 \cdot 10^{-15} \text{ W/m}^2$
Felbontás	18”

A Swift a NASA űrtávcsöve, amely több hullámhosszban készíti a megfigyeléseit (röntgen, ultraibolya, optikai, gamma). A táblázatban a röntgenteleszkópjával készített adatok szerepelnek (XRT). A forrás nevében az SWXRT jelölés a Swift-XRT pontforrás katalógusra utal. A Swift felbontása alapján a röntgenadatokat a középső, azaz a „B” forrásra mérte.

14. táblázat: VLBA felmérés 5 GHz-en (forrás: Helmboldt et al. 2007)	
Név (az „A” jelű objektum)	VIPS J14561+5048
R.A. ([h:m:s], J2000)	14:56:08.1199
DE. ([°:’:’’], J2000)	50:48:36.307
CLASS fluxussűrűség (8,4 GHz)	259,2 mJy (<i>Myers et al. 2003</i>)
VLBI fluxussűrűség (5 GHz)	60,6 mJy
Forrás típus	Mag és jet
Jet pozíciós szöge (északról kelet felé mérve)	47,4°
VLBA felbontása	0,005”

15. táblázat: CLASS felmérés adatai (forrás: Myers et al. 2003)	
Név	GB6 145607+504825
CLASS 8,4 GHz-es fluxussűrűség	259,2 mJy
Felbontás	0,2”

A 15. táblázatban szereplő forrás nevében található VIPS rövidítés jelentése: VLBA (Very Long Baseline Array) Imaging and Polarimetry Survey. A VLBI nagyon nagy bázisvonalú interferometriáról (Very Long Baseline Interferometry) már a bevezetőben többet is írtam. A 16. táblázatban lévő CLASS felmérés neve: The Cosmic Lens All-Sky Survey. 1994 és 1999 között 13783 rádióforrást figyelt meg a VLA A konfigurációjával (8,4 GHz), amelynek a felbontása így 0,2".



10. ábra: A VLBA által készített rádiótérkép az „A” jelű forrásra
(forrás: <http://www.phys.unm.edu/~gbtaylor/VIPS/vipsdat/J14561+5048.shtml>)

A nagy felbontású VLBA rádióképen látható (10. ábra) a blazárokra jellemző kompakt mag és egyoldali jet szerkezetet.

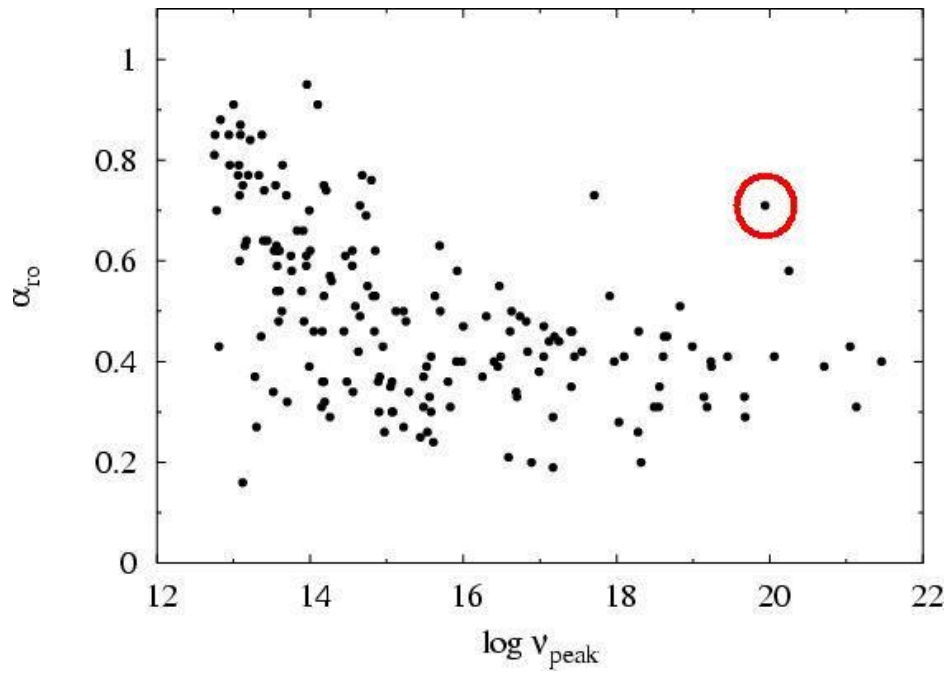
4.4. Egy a szakirodalomban fellelhető cikk értékelése

16. táblázat: Adatok a BL Lac objektumok spektrális energia-eloszlásáról (forrás: Nieppola et al. 2006)	
Név	RXS J1456.0+5048
R.A. ([h:m:s], J2000)	14:56:03.7
DE. ([°:':"], J2000)	50:48:25
Szinkrotron csúcs frekvencia logaritmusa	$\log \nu_{\text{peak}} = 19,94 \text{ Hz}$
Típus	HBL (High-energy-peak BL Lac)

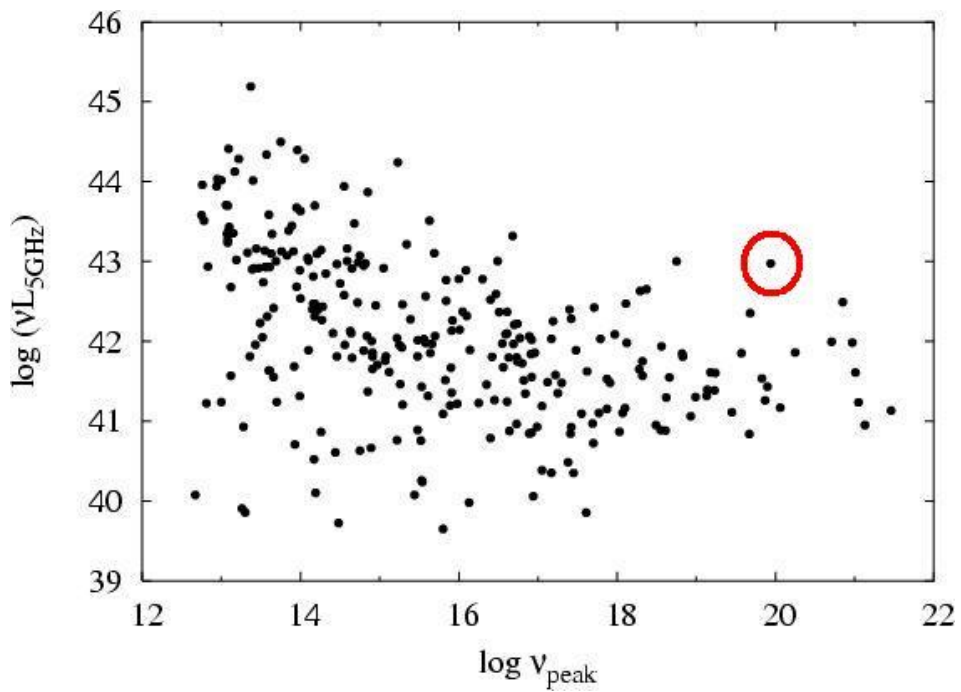
A Nieppola et al. (2006) cikkben összeállították a Metsähovi Radio Observatory BL Lac mintájának a többfrekvenciás adatait (5 GHz, 32 GHz, 5500 Å). Ezeknek a forrásoknak kiszámították a spektrális energia-eloszlását (SED, $\log \nu F$ a $\log \nu$ függvényében). Erre illesztettek parabolafüggvényt, hogy meg tudják határozni a szinkrotron csúcs frekvenciát ($\log \nu_{\text{peak}}$). Ezek után megnézték, hogy a luminozítás hogyan függ a szinkrotron csúcs helyétől.

A mi esetünkben a probléma már a szinkrotron csúcs meghatározásánál is felmerül, hogy ha nem helyesen megmért rádió fluxussűrűségek felhasználásával illesztenek parabolát. A Nieppola et al. (2006) cikkből vett, példaként mellékelte két ábrán (11. és 12. ábra) be van jelölve a dolgozatomban szereplő forrás (piros karika). A 11. képen a rádió-optikai színképindexet ábrázolják a csúcs frekvencia logaritmusának ($\log \nu_{\text{peak}}$) függvényében, a teljes mintára. Viszont az eddig általam összegyűjtött adatokból nyilvánvaló, hogy az erős rádióforrás az „A” jelű objektum, ami optikai tartományban annyira halvány, hogy az SDSS-ben szinte nem is látszik. A másik, a „B” jelű forrás pedig rádióban halvány, viszont erős aktivitást mutat röntgenben, valamint optikai megfelelője is fényes. A publikációban a két forrást azonosnak tekintették a színképindex és az SED meghatározásánál.

A 12. képen látható, hogy a minta többi tagjához képest nagy rádió luminozítás párosul hozzá, ami nem meglepő, hiszen ahonnan az 5 GHz-es fluxussűrűséget vették, ott nem csak egy, hanem több forrásra egyszerre mérték meg az adatot, a távcső elégtelen felbontása miatt (Laurent-Muehleisen et al. 1997).



11. ábra: Rádió-optikai színeképindex, a csúcs frekvencia logaritmusának függvényében
A forrásom piros karikával van bejelölve.
(forrás: Nieppola et al. 2006)



12. ábra: Az 5 GHz-es rádió luminozitás a csúcs frekvencia függvényében ábrázolva
(logaritmikus skálán)
(forrás: Nieppola et al. 2006)

4.5. A J1456+5048 röntgenkvazárhoz hasonló források keresése

A dolgozat első részében szereplő J1456+5048 jelű forrás vizsgálata után felmerült az a kérdés, hogy hány ahhoz hasonló forrás lehet még az égbolton. Előfordulhat, hogy a szakirodalomban ezek – szintén a korai égboltfelvételek gyengébb felbontása miatt – esetleg rosszul kerülhettek bele a publikációkba. Ahhoz, hogy ezt, illetve az esetleges probléma nagyságát megállapítsuk, segítségül hívtuk a Topcat⁷ nevű katalóguskezelő programot (Taylor 2005). A program segítségével további olyan objektumokat szűrtünk ki a FIRST és ROSAT katalógusaiból, amelyek tulajdonságai hasonlítanak az eddig vizsgált forrás jellemzőihez:

A szűrés lépései az alábbiak voltak:

- A FIRST katalógusából⁸ olyan párokat kerestünk ki, ahol az egyik társ fluxussűrűsége nagyobb, mint 160 mJy (ez közelítőleg megegyezik a J145608.1+504836, A-val jelölt forrás fluxussűrűségével), a másiké pedig nagyobb, mint 9 mJy (ez közelítőleg a B jelű, J145603.6+504825 katalógusszámú rádióforrás fluxussűrűsége) (ld. 6. táblázat)
- A források legyenek kompaktak. Ez azt jelenti, hogy a FIRST szerint legyenek felbontatlanok. A FIRST felbontása 5,4″.
- Egymástól mért távolságuk legyen legfeljebb 45″, ami közelítőleg az általunk jelölt „A” és „B” forrás szögtávolságával (43.8″) egyezik meg.
- Az így kapott 959 forráspárt összevetettük a ROSAT All-Sky Survey Bright Source Catalogue (1RXS) nevű katalógussal⁹, azaz olyan forrásokat kerestünk, amelyek a pozíciós hibahatáron belül egy ROSAT röntgenforrással egyeznek meg.
- Eredményül 45 párt kaptunk. Köztük szerepelt egyébként a J1456+5048 jelű forrás is, ezzel megerősítve, hogy a szűrési módszerünk jól működött.

A fennmaradó 44 forrást a NED-ben összegyűjtött publikációk és katalógusok segítségével vizsgáltuk meg. A célunk az volt, hogy kiszűrjük azokat az eseteket, ahol nem lehet megállapítani a fizikai összetartozásukat. Ezekben az esetekben előfordulhat,

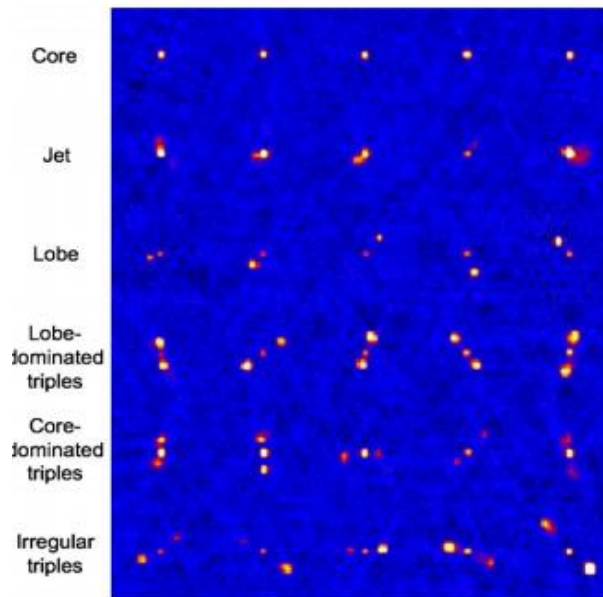
⁷ <http://www.star.bris.ac.uk/~mbt/topcat/>

⁸ <http://sundog.stsci.edu/first/catalogs/readme.html>

⁹ <http://www.xray.mpe.mpg.de/rosat/survey/rass-bsc/>

hogy a J1456+5048 esetéhez hasonlóan, esetleg hibásan szerepelnek a katalógusokban, publikációkban. A tulajdonságaikat az 17. táblázatban foglaljuk össze.

A 17. táblázatban szereplő források mindegyike összetartozik valamilyen módon. Az AGN-ek látóirány szerint különböző struktúrákat mutathatnak, mint például blazár, kvazár, rádiógalaxis (lásd: 3. Betekintés a témába fejezet).



13. ábra: AGN-ek osztályozásarádiószerkezetük alapján
(forrás: Kimball et al. 2011)

A 44 forrás közül a legtöbb mag vagy lebeny által dominált kvazár, rádiógalaxis, illetve maggal és jettel rendelkező blazár. Találtunk egy összeolvadó galaxist is (J1128+5833), illetve két forrás (J2342-0322 és J1031+6020) van a 44 közül, melyekről az elérhető szakirodalmi információ alapján még nem tudtuk hitelesen megállapítani a tulajdonságaikat. Ezeknek jobban utána kell még néznünk.

Mivel a kiválogatott 44 forrásról elmondhatjuk, hogy többségében összetartoznak, ezért a publikációkban és a katalógusokban szereplő röntgen- és rádióminták statisztikai elemzésében nem okoz nagy gondot a kiinduló forráshoz (J1546+5048) hasonló jelenség. Azok a cikkek, amelyek a blazárok általános tulajdonságaival foglalkoznak, alapvetően nem lehetnek tévesek, egy-egy elszigetelt, a J1546+5048-hoz hasonlóan tévesen azonosított forrás fordulhat elő legfeljebb. Megjegyeznénk, hogy ez a vizsgálat inkább csak jelzésértékű, mivel most csak olyan forrásokat vizsgáltunk meg, amelyek tulajdonságai a kiinduló forráshoz hasonlítanak. Ahhoz, hogy pontosabb statisztikát lehessen mondani, több adatot kellene elemeznünk.

Forrás koordinátái (J200)	Források száma (J200)	Táv. arcs	Fluxussűrűség mJy	Típus	z	Morfológia	Hivatkozás
10:00:16.47+00:05:25.6	10:00:16.471+00:05:25.55 10:00:17.647+00:05:23.94 10:00:18.461+00:05:18.64 10:00:19.631+00:05:33.22	0.1 17.7 30.7 48.0	407.73 100.56 358.25 8.13 (külön forrás)	Rádiógalaxis	0.91	mag + dupla lebeny	Proctor (2011)
10:04:45.75+22:25:19.4	10:04:45.746+22:25:19.38 10:04:45.559+22:24:51.08 10:04:45.785+22:25:55.67	0.1 28.4 36.3	36.95 284.24 260.71	Rádiógalaxis	0.98	mag + dupla lebeny	Proctor (2011)
10:14:47.09+23:01:16.4	10:14:47.090+23:01:16.42 10:14:47.123+23:01:05.42 10:14:45.536+23:01:48.39	0.0 11.0 38.5	673.56 143.03 1.08 (szellemkép)	Kvazár (FSRS)	0.57	mag + jet	Kellermann et al. (2004)
10:15:39.45+59:44:50.06	10:15:39.448+59:44:50.62 10:15:41.611+59:44:43.86 10:15:43.306+59:44:39.23	0.0 17.7 31.3	14.02 42.80 162.75	Rádiógalaxis	0.53	mag + dupla lebeny	Proctor (2011)
10:17:48.70+27:31:58.8	10:17:48.699+27:31:58.79 10:17:50.020+27:32:08.95	0.0 20.3	194.42 974.88	Kvazár	0.47	mag + jet	Price et al. (1993)
10:31:44.71+60:20:30.7	10:31:44.714+60:20:30.74 10:31:45.393+60:20:37.75	0.1 8.7	326.47 12.79	Kvazár	1.23	Kompakt forrás vagy mag + jet?	Vizuális osztályozás

17. táblázat folytatás

FSRS: Flat Spectrum Radio Source, azaz lapos spektrumú rádióforrás. A táblázatban mindegyik forrás összetartozik (blazár, rádiógalaxis), a J1031+6020 jelű forrás még bővebb utánanézést igényel a szakirodalomban.

Forrás koordinátái (J200)	Források száma (J200)	Táv. arcsec	Fluxussűrűség mJy	Típus	z	Morfológia	Hivatkozás
11:33:12.90+50:08:36.3	11:33:12.901+50:08:36.31 11:33:13.403+50:08:42.50	0.0 7.9	434.79 398.93	Kvazár	-	mag + dupla lebeny	Machalski & Condon (1983)
12:20:33.68+33:43:15.6	12:20:33.675+33:43:15.60 12:20:33.885+33:43:07.97	0.1 8.0	722.05 2096.92	BAL QSO	1.53	mag + dupla lebeny	Stoeke et al. (1985)
12:23:09.32+37:07:03.3	12:23:09.322+37:07:03.27 12:23:11.220+37:07:01.89 12:23:12.315+37:07:01.97	0.0 22.8 35.8	137.27 47.20 179.47	Kvazár	0.49	mag + dupla lebeny	Flesch (2010)
12:24:54.46+21:22:46.4	12:24:54.463+21:22:48.69 12:24:55.164+21:22:48.69 12:24:54.823+21:22:56.48	0.1 10.1 11.3	1661.81 333.18 98.03 (szellemkép)	Kvazár (FSRS)	0.43	mag + dupla lebeny	Price et al. (1993)
12:29:05.82+02:02:53.66	12:29:05.821+02:02:53.66 12:29:06.736+02:03:08.93	0.0 20.5	13133.77 35558.44	Kvazár (FSRS)	0.15	mag + jet	Kellermann et al. (2004)
12:47:20.17 +32:08:51.1	12 47 20.168 +32 08 51.11 12 47 20.821 +32 09 00.89 12 47 21.450 +32 09 06.00	0.0 12.8 22.1	147.24 132.09 190.74	Kvazár	0.949	mag +dupla lebeny	Swarup et al. (1984)
12:56:10.776-05:47:12.21	12:56:10.776-05:47:12.21 12:56:11.163-05:47:21.72	0.1 11.1	805.41 10641.53	Kvazár (FSRS)	0.54	mag + jet	Kellermann et al. (2004)
13:07:52.16 +06:42:55.6	13 07 52.163 +06 42 55.62 13 07 54.156 +06 42 29.14 13 07 53.553 +06 41 48.19	0.0 39.8 70.5	15.31 550.13 275.78	Kvazár	0.601	mag + dupla lebeny	Massaro et al. (2011b)

17. táblázat folytatás

A táblázatban mindegyik forrás összetartozik. BAL QSO jelentése: Broad Absorption Line Quasar.

Forrás koordinátái (J200)	Források száma (J200) FIRST – 50"-en belül	Táv. arcsec	Fluxussűrűség mJy	Típus	z	Morfológia	Hivatkozás
13:10:28.609+32:20:54.54	13:10:28.609+32:20:54.54 13:10:28.668+32:20:43.95	0.0 10.6	39.48 1506.33	Kvazár (FSRS)	0.99	mag + jet	Airapetyan et al. (1997)
13:19:46.22 +51:48:05.6	13 19 46.225 +51 48 05.56 13 19 47.238 +51 48 01.74 13 19 44.959 +51 48 18.10	0.1 10.2 17.1	297.21 345.72 78.92	Kvazár	1.0575	mag+jet	Kimball et al. (2010)
13:57:04.44+19:19:07.2	13:57:04.437+19:19:07.23 13:57:04.044+19:19:21.96 13:57:04.769+19:18:39.76	0.0 15.8 37.8	1434.96 278.14 212.40	Kvazár	0.72	mag + dupla lebeny	Massaro et al. (2011b)
14:25:05.32+24:03:55.7	14:25:50.320+24:03:55.67 14:25:50.651+24:04:03.53 14:25:50.551+24:04:14.45	0.0 9.0 20.1	464.51 320.89 694.11	Kvazár	0.63	mag + dupla lebeny	Saikia et al. (1986)
14:43:01.01+52:01:40.8	14:43:01.012+52:01:40.79 14:43:02.579+52:01:37.00 14:43:02.730+52:01:28.25 14:43:03.622+52:01:24.98 14:42:56.144+52:01:34.66	0.0 15.0 20.2 28.8 45.3	1569.57 278.94 63.87 206.89 6.4 (szellemkép)	Rádiógalaxis	1.57	mag + dupla lebeny	Kataoka et al. (2003)
15:24:41.576+15:21:32.56	15:24:41.576+15:21:32.56 15:24:41.619+15:21:21.23	0.1 11.4	28.65 330.29	Kvazár (FSRS)	0.63	mag + jet	Liu et al. (2002)
15:33:14.80+13:32:25.4	15:33:14.801+13:32:25.43 15:33:15.430+13:32:21.72 15:33:12.545+13:32:07.39	0.0 9.9 37.5	639.01 467.83 1.08 (szellemkép)	Rádiógalaxis	0.77	mag + dupla lebeny	Price et al. (1993)

17. táblázat folytatás

A táblázatban mindegyik forrás összetartozik (Kvazár, Rádiógalaxis).

5. Összefoglalás

Az aktív galaxismagokból származó sugárzás az elektromágneses spektrum teljes tartományát lefedi. A nagy teljesítménnyel sugárzó objektumok energiájukat egy, a középpontban elhelyezkedő, hatalmas tömegű fekete lyuk környezetéből nyerik. A rádiósugárzó aktív galaxismagoknak aszerint, hogy a látóirányukhoz képest hogyan helyezkednek el, több típusát is megfigyelhetjük: kvazárok, blazárok, rádiógalaxisok.

Az itt említett objektumok a Világegyetem legidősebb, legnagyobb teljesítménnyel sugárzó, ezáltal a legmesszebről megfigyelhető extragalaktikus forrásai közé tartoznak. Emiatt, mint már a dolgozatunk elején is említettük, nagyon fontos a csillagászok számára az aktív galaxismagok vizsgálata:

- A fekete lyukak tanulmányozása céljából
- A galaxismag és a galaxis kölcsönhatásának vizsgálata céljából
- A Világegyetem szerkezetéről, fejlődéséről új információkat kapni
- Kozmológiai fejlődési modellek ellenőrzésére

Ezért fontos, hogy minél több, pontosabb információt tudjunk meg az ilyen objektumok fizikai tulajdonságairól, felépítéséről, fejlődéséről.

A dolgozatunkban mi is ilyen extragalaktikus forrásokkal foglalkoztunk. A első célunk az volt, hogy megvizsgáljuk a J1456+5048 nevű objektumot. Ez a forrás azért érdekes és tanulságos számunkra, mert ritkán fordul elő az, hogy három objektum egymáshoz ennyire közel legyen látható. Ez a látszólagos közelség azért okozhat nagy problémát, mert a korai égboltfelmérések felbontása nagyon gyenge volt ahhoz, hogy az említett objektumokat el tudják különíteni egymástól. Így olyan mérési adatokat kaptak, amik nem egy, hanem két, vagy akár mindhárom forrásra egyszerre vonatkoztak (lásd: ROSAT, Green Bank). Emiatt hibásan kerültek bele olyan tanulmányokba is, amelyek a blazárok alapvető tulajdonságaival foglalkoznak, kisebb vagy nagyobb megfigyelt minták adatainak felhasználásával.

A munkamódszerünk az volt, hogy a NED és a benne fellelhető publikációk, katalógusok segítségével összegyűjtöttük a forrásokra vonatkozó adatokat, és kiderítettük, hogy melyik mérés pontosan melyik objektumra (vagy objektumokra)

vonatkozhatott. Az adatok összegyűjtése után én a következő jellemzőket gyűjtöttük össze a három forrásról („A”, „B” és „C” jelöléseket ld. a 2. ábrán):

„A” nevű forrás: Az adatokból és a 18. ábrából kiderült, hogy ez az objektum egy blazár. Erős rádió emissziót mutat, röntgenben gyenge. Optikai tartományban a fényessége az SDSS felmérés határmagnitúdója közelébe esik, ezért lényegében nem is lehet látni az általa készített képeken. Halványsága miatt színekp vonalainak vöröseltolódása sem ismert. A dolgozatunkban található nagy felbontású (VLBI) rádió képen is látható, hogy a forrás egy kompakt magból, és egy belőle kiinduló egyoldali jetből áll. Ez jellemző a blazárookra.

„B” nevű forrás: Erős röntgen–emisszióval rendelkezik, viszont rádióban sokkal halványabb, mint az A jelű forrás. Az SDSS felmérés alapján sikerült az optikai azonosítása. (Érdekesség, hogy ugyanannak a színekpnek a felhasználásával két, jelentősen különböző vöröseltolódást is mértek.)

„C” nevű forrás: Rádióban kevés adat található róla. Nem mondható erősnek, már a VLA FIRST felmérés felbontása mellett is kiterjedtnek (nem pontszerűnek) tűnik. Optikai azonosítása kétséges.

A források beazonosítása után megállapítottuk, hogy léteznek olyan publikációk, amelyekbe valóban hibásan kerültek bele az adatok. Az előző fejezetben részletesen bemutattunk egy ilyen esetet (*Nieppola et al. 2006*).

A források adatainak rendszerezése után a következő fontos kérdés merült fel: vajon milyen kapcsolat lehet a három forrás között? A következő lehetőségek képzelhetők el:

- Előfordulhat, hogy a három objektum („A”, „B” és „C”) fizikailag összetartozik
- Látszólagos közelségüket gravitációs lencsehatás okozza. Ez azt jelenti, hogy a földi megfigyelő és egy távolabbi objektum közé, pontosan a távoli objektum irányába egy nagy tömeg, például egy galaxis esik. Ekkor a fény útja meggömbül, ezáltal a távolabbi objektum fényét felerősítheti, eltorzíthatja, sőt megdőbbszörözheti a képét.

- Véletlen egybeesés, vagyis az objektumok tőlünk mért távolsága eltérő, csak véletlenül az égbolt ugyanarra a területére esnek.

Ha feltételeznénk, hogy az „A”, „B” és „C” források tőlünk egyforma távolságban, egymás mellett vannak, akkor megbecsülhetjük az egész rendszer méretét. Az elfogadott kozmológiai modell (Hubble-állandó $H_0=71$ km/s/Mpc, $\Omega_m=0,27$ és $\Omega_\Lambda=0,73$) alapján, $z=0,479$ vöröseltolódást alapul véve 1” szögméretnek 5,49 kpc méret felel meg¹⁰. Így az „A” és „C” kb. 2’-es távolsága (7. ábra) kb. 660 kpc. Ez megfelelhetne akár egy nagyobb rádiógalaxisnak is, amelyekből 1 Mpc-et meghaladó méretűeket is ismerünk. Ha az adatbázisokban található másik vöröseltolódással ($z=1,379$) végezzük el a számítást, kb. 1 Mpc méretet kapunk.

A VLBI technikával készített képen (10. ábra) az „A” nevű forrásnak jól látható az anyagsugara. Ez a jet bal oldalra (pontosabban északkeleti irányban) indul, tehát el lehet mondani erre, hogy feltehetőleg nincs köze a tőle távolabb, de mellette jobbra (nyugat felé) lévő „B” forráshoz. Ez utalhat arra, hogy az „A” és „B” objektum nincs fizikai kapcsolatban.

Fizikai összetartozásukat legkönnyebben a vöröseltolódásuk megméréseével lehetne kizárni. Mivel csak a „B” forrásra van ilyen adat, és az „A” forrás elég halvány, sőt gyakorlatilag nem is lehet látni az SDSS képein, ezért egy az SDSS-nél jobb érzékenységgű, nagy távcsővel végzett színeképmérésre lenne szükségünk, hogy bizonyossággal megállapíthassuk ezt a tényt. A „C” nevű objektumról sajnos kevés adat állt rendelkezésre. Találtunk egy optikai forrást a hozzá tartozó koordinátákhoz közel, de a pozíciók eltérése alapján egyáltalán nem biztos, hogy tényleg erre a rádióforrásra mérték az adatokat.

A J1456+5048 objektum megvizsgálása után a Topcat nevű katalóguskezelő program segítségével olyan forrásokat szűrtünk ki a FIRST és ROSAT katalógusából, melyek tulajdonságai hasonlítanak a kiindulóéhoz. A célunk ezzel az volt, hogy megvizsgáljuk: hány olyan eset lehetséges még, amit a J1456+5048 esetén tapasztaltunk. Így egy elképzelés alkothatunk arról, hogy mennyire lehetnek hibásak az ilyen objektumokkal

¹⁰ <http://www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html>

foglalkozó publikációk. A kapott 44 forrásra elmondhatjuk, hogy mindegyik összetartozik (egy esetben két összeolvadó galaxisról van szó), bár még két esetet jobban meg kell vizsgálnunk, a hiányos szakirodalmi adatok miatt. Így megállapíthatjuk, hogy az ilyen források osztályának általános tulajdonságait vizsgáló cikkek annyira nem lehetnek tévesek az adatok szempontjából, legfeljebb pár olyan forrás lehetséges, ami bosszúságot okozhat. Nyilván ahhoz, hogy pontosabb statisztikát tudjunk felállítani, érdemes lenne még több forrást megvizsgálni, mert itt csak olyanok kerültek szóba, amelyek rádió- és röntgentulajdonságaik, illetve az égbolton mért távolságuk alapján a mi kiinduló objektumunkhoz (J1456+5048) hasonlítanak.

6. Ábrajegyzék

1. ÁBRA: EGY AKTÍV GALAXISMAG SZEMLÉLTETÉSE	7
2. ÁBRA: VLA FIRST KÉPKIVÁGÁS A KÉRDÉSES TERÜLETRŐL.....	14
3. ÁBRA: AZ NVSS 1.4 GHz-ES TÉRKÉPE	19
4. ÁBRA: VLA FIRST KÉPBŐL KIVÁGOTT ÉGTERÜLET ÉS A „B” FORRÁS OPTIKAI KÉPE AZ SDSS ALAPJÁN	20
5. ÁBRA: A "B" JELŰ FORRÁS VÖRÖSELTOLÓDÁSÁNAK ELSŐ VIZSGÁLATA A SPEKTRUMA ALAPJÁN.....	21
6. ÁBRA: A "B" JELŰ FORRÁS VÖRÖSELTOLÓDÁSÁNAK MÁSODIK VIZSGÁLATA A SPEKTRUMA ALAPJÁN	21
7. ÁBRA: A VLA FIRST KÉPKIVÁGÁS ÉS AZ "A", ILLETVE „C” FORRÁS OPTIKAI KÉPE AZ SDSS ALAPJÁN	22
8. ÁBRA: A WISE 4 SÁVJÁBAN KÉSZÜLT INFRAVÖRÖS KÉPEK A FORRÁSOKRÓL	24
9. ÁBRA: A [3,4]-[4,6] ÉS [4,6]-[12]] μm SZÍN-SZÍN DIAGRAM A WISE TERMÍKUS FORRÁSOKRÓL ÉS BLAZÁROKRÓL.	25
10. ÁBRA: A VLBA ÁLTAL KÉSZÍTETT RÁDIÓTÉRKÉP AZ „A” JELŰFORRÁSRA	27
11. ÁBRA: RÁDIÓ-OPTIKAI SZÍNKÉPINDEX, A CSÚCS FREKVENCIA LOGARITMUSÁNAK FÜGGVÉNYÉBEN	29
12. ÁBRA: AZ 5 GHz-ES RÁDIÓ LUMINOZITÁS A CSÚCS FREKVENCIA FÜGGVÉNYÉBEN ÁBRÁZOLVA.....	29
13. ÁBRA: AGN-EK AZONOSÍTÁSA.....	31

7. Táblázatjegyzék

1. TÁBLÁZAT: RÖNTGEN- ÉS GAMMA-TÁVCSŐVEK.....	13
2. TÁBLÁZAT: ROSAT ÁLTAL MÉRT ADATOK.....	15
3. TÁBLÁZAT: ROSAT: AKTÍV GALAXISOK AZONOSÍTÁSA	16
4. TÁBLÁZAT: GB6 KATALÓGUSBÓL VETT ADATOK	16
5. TÁBLÁZAT: RBSC KATALÓGUSBÓL VETT ADATOK	17
6. TÁBLÁZAT: A FIRST ADATBÁZIS KATALÓGUSA.....	17
7. TÁBLÁZAT: RBSC-NVSS MINTÁK	18
8. TÁBLÁZAT: RÁDIÓHANGOS AKTÍV GALAXISOK A ROSAT FELMÉRÉSBEN	19
9. TÁBLÁZAT: SDSS OPTIKAI FELMÉRÉS ADATAI	20
10. TÁBLÁZAT: SDSS FOTOMETRIAI KATALÓGUS	22
11. TÁBLÁZAT: A WISE FELMÉRÉS ADATAI	23
12. TÁBLÁZAT: WISE SZÍNINDEXEK	25
13. TÁBLÁZAT: SWIFT–XRT PONT FORRÁSOK KATALÓGUSA.....	26
14. TÁBLÁZAT: VLBA FELMÉRÉS 5 GHz-EN	26
15. TÁBLÁZAT: CLASS FELMÉRÉS ADATAI	26
16. TÁBLÁZAT: ADATOK A BL LAC OBJEKTUMOK SPEKTRÁLIS ENERGIA-ELOSZLÁSÁRÓL.....	28
17. TÁBLÁZAT: 44 FORRÁS ELEMZÉSE.....	32-38

8. Felhasznált irodalom

- Adelman-McCarthy J.K.; Agüeros M.A.; Allam S.S. et al.: The Fifth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey. The Astrophysical Journal. Supplement Series 172, 634-644 (2007)
- Adelman-McCarthy J.K.; Abazajian K.N.; Agüeros M.A. et al.: The Seventh Data Release of the Sloan Digital Sky Survey. The Astrophysical Journal. Supplement Series 182, 543-558 (2009)
- Ahn C.P.; Alexandroff R.; Allende Prieto C. et al.: The Ninth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey: First Spectroscopic Data from the SDSS-III Baryon Oscillation Spectroscopic Survey. The Astrophysical Journal Supplement Series 203, 21 (2012)
- Airapetyan E.A.; Matveenko L.I.: The fine structure of compact radio sources from geodetic data. Astronomy Letters 23, 64-70 (1997)
- Anderson S.F.; Margon B.; Voges W. et al.: A Large, Uniform Sample of X-Ray-emitting Active Galactic Nuclei from the ROSAT All Sky and Sloan Digital Sky Surveys. The Astronomical Journal 133, 313-329 (2007)
- Bauer F.E.; Condon J.J.; Trinh X.T. et al.: RBSC-NVSS Sample. I. Radio and Optical Identifications of a Complete Sample of 1556 Bright X-Ray Sources. The Astrophysical Journal. Supplement Series 129, 547-562 (2000)
- Bridle A.H.; Hough D.H.; Lonsdale C.J. et al.: Deep VLA imaging of twelve extended 3CR quasars. The Astrophysical Journal 108, 766-820 (1994)
- Brinkmann W.; Siebert J.; Feigelson E.D. et al.: Radio-loud active galaxies in the northern ROSAT All-Sky Survey. II. Multi-frequency properties of unidentified sources. Astronomy and Astrophysics 323, 739-748 (1997)
- Condon J.J.; Cotton W.D.; Greisen E.W. et al.: The Astronomical Journal 115, 1693-1716 (1998)
- Cutri R.M. et al., WISE All-Sky Data Release, <http://wise2.ipac.caltech.edu/docs/release/allsky/expsup/index.html> (2012)
- D'Elia V.; Perri M.; Pucetti S. et al.: The seven year Swift-XRT point source catalog (1SWXRT). Astronomy and Astrophysics 551, A142 (2013)
- Falomo R.; Scarpa R.; Bersanelli M.: Optical spectrophotometry of blazars. The Astrophysical Journal. Supplement Series 93, 125-143 (1994)

- Flesch E.: An All-Sky Atlas of Radio/X-ray Associations. Publications of the Astronomical Society of Australia 27, 283-235 (2010)
- Frey S.: Kvazárok. Meteor csillagászati évkönyv 2003, 222. o.
- Frey S.: Rádiógalaxisok és kvazárok: égi háromszögelési pontok. Meteor csillagászati évkönyv 1998, 178-187. o.
- Frey S.: Az Univerzum, amelyben élünk: Extragalaktikus csillagászat. Magyar Tudomány 2004/6, 732. o.
- Gabányi K.: Kvazárok gyors fényességváltozásai rádiótartományban. Fizikai Szemle 2009/10, 354. o.
- Gehrz R.D.; Sramek R.A.; Weedman D.W.: Starbursts and the extraordinary galaxy NGC 3690. The Astrophysical Journal 267, 551-562 (1983)
- Gregory P.C.; Scott W.K.; Douglas K. et al.: The GB6 Catalog of Radio Sources. The Astrophysical Journal. Supplement Series 103, 427-432 (1996)
- Helmboldt J.F.; Taylor G.B.; Tremblay S. et al.: The VLBA Imaging and Polarimetry Survey at 5 GHz. The Astrophysical Journal. Supplement Series 658, 203-216 (2007)
- Kataoka J.; Edwards P.; Georganopoulos M. et al.: Chandra detection of hotspot and knots of 3C 303. Astronomy and Astrophysics 399, 91-97 (2003)
- Kellermann K.I.; Lister M.L.; Homan D.C. et al.: Sub-milliarsecond imaging of quasars and active galactic nuclei. III. Kinematics of parsec-scale radio jets. The Astrophysical Journal 609, 539-563 (2004)
- Kimball A.E.; Ivezić Z.; Wiita P.J.; Schneider D.P.: Correlations of quasar optical spectra with radio morphology. The Astrophysical Journal 141, 182 (19 pp) (2011)
- Laurent-Muehlesien S.A.; Kollgard R.I.; Ryan P.J. et al.: Radio-loud active galaxies in the northern ROSAT All-Sky Survey. I. Radio identifications. Astronomy and Astrophysics 122, 235-247 (1997)
- Lister M.L.; Gower A.C.; Hutchings J.B.: High frequency VLA observations of low-redshift quasars: core structure, variability, and orientation. The Astrophysical Journal 108, 821-827 (1994)
- Liu F.K.; Zhang Y.H.: A new list of extra-galactic radio jets. Astronomy and Astrophysics 381, 757-760 (2002)

- Machalski J.; Condon J.J.: A complete sample of intermediate-strength radio sources selected from the GB/GB2 1400 MHz surveys. III. High-resolution observations and optical identifications of sources with normal or flat spectra. *The Astrophysical Journal* 88, 143-160 (1983)
- Massaro F.; D'Abrusco R.; Ajello M.; Grindlay J.E.; Smith H.A: Identification of the infrared non-thermal emission in blazars. *The Astrophysical Journal Letters* 740, L48 (2011a)
- Massaro F.; Harris D.E.; Cheung C.C.: Large-scale extragalactic jets in the Chandra ERA. I. Data reduction and analysis. *The Astrophysical Journal. Supplement Series* 197, 24 (14 pp) (2011b)
- Meurs E.J.A.; Unger S.W.: MERLIN observations of 4C 29.6 (3C 59) and 4C 35.37: two radio structures misidentified with Seyfert galaxies. *Astronomy and Astrophysics* 252, 63-68 (1991)
- Myers S.T.; Jackson N.J.; Browne W.A. et al.: The Cosmic Lens All-Sky Survey – I. Source selection and observations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 341, 1-12 (2003)
- Nieppola E.; Tornikoski M.; Valtaoja E.: Spectral energy distribution of a large sample of BL Lacertae objects. *Astronomy and Astrophysics* 445, 441-450 (2006)
- Price R.; Gower A.C.; Hutchings J.B. et al.: VLA observations of 91 quasars at $0.35 < z < 1$. *The Astrophysical Journal. Supplement Series* 86, 365-387 (1993)
- Proctor D.D.: Morphological annotations for groups in the database. *The Astrophysical Journal. Supplement Series* 194, 31 (33 pp) (2011)
- Rector T.A.; Stocke J.T.: The Properties of the Radio-Selected 1 Jy Sample of BL Lacertae Objects. *The Astronomical Journal* 122, 565-584 (2001)
- Reid A.; Shone D.L.; Akujor C.E. et al.: High resolution radio maps of quasars from the Jodrell Bank 966 MHz survey. *Astronomy and Astrophysics. Supplement Series* 110, 213-268 (1995)
- Reid R.I.; Kronberg P.P.; Perley R.A.: VLA images at 5 GHz of 212 southern extragalactic objects. *The Astrophysical Journal. Supplement Series* 124, 285-381 (1999)

- Reich W.; Fuerst E.; Reich P. et al.: Radio-loud active galaxies in the northern ROSAT All-Sky Survey. IV. Properties of sources stronger than 100 mJy at 5 GHz. *Astronomy and Astrophysics* 363, 141-153 (2000)
- Saikia D.J.; Shastri P.; Cornweel T.J.; Salter C.J.: A study of one-sided radio quasars. *IAU Symposium* 119, 219 (1986)
- Saikia D.J.; Shastri P.; Cornwell T.J. et al.: Extragalactic sources with very asymmetric radio structure: VLA and MERLIN observations. *Journal of Astrophysics and Astronomy* 10, 203-235 (1989)
- Snellen I.A.G.; McMahon R.G.; Hook I.M. et al.: Automated optical identification of a large complete northern hemisphere sample of flat-spectrum radio sources with $S_{6\text{cm}} > 200$ mJy. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 329, 700-746 (2002)
- Stocke J.T.; Burns J.O.; Christiansen W.A.: VLA observations of quasars with „Dogleg” radio structure. *The Astrophysical Journal* 299, 799-813 (1985)
- Swarup G.; Sinha R.P.; Hilldrup K.: Hotspots and radio lobes of quasars *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 208, 813-843 (1984)
- Szatmáry K.; Kiss L.; Mészáros Sz.; Vinkó J.: Röntgen- és gammacsillagászat. *Meteor csillagászati évkönyv* 2002, 244. o.
- Szatmáry K.; Szabados L.: Űrtávcsövek. *Meteor csillagászati évkönyv* 2009, 333. o.
- Taylor M.B.: TOPCAT & STIL: Starlink Table/VOTable Processing Software. In: *Astronomical Data Analysis Software and Systems XIV*, ASP Conference Series, Vol. 347, P. Shopbell, M. Britton, R. Ebert (eds), San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, p.29 (2005)
- Voges W.; Aschenbach B.; Boller T. et al.: The ROSAT All-Sky Survey bright source catalogue. *Astronomy and Astrophysics* 349, 389-405 (1999)
- White R.L.; Becker R.H.: A new Catalog of 30.239 1.4 GHz sources. *The Astrophysical Journal. Supplement Series* 79, 331-467 (1992)
- Xu W.; Readhead A.C.S.; Pearson T.J. et al.: The FIRST Caltech-Jodrell Bank VLBI survey. III. VLBI and MERLIN observations at 5 GHz and VLA observations at 1.4 GHz. *The Astrophysical Journal. Supplement Series* 99, 297-348 (1995)

9. Felhasznált internetes források

- ALMA honlap: <http://www.almaobservatory.org/en/about-alma>
- ELTE csillagászati tanszék honlapja: <http://astro.elte.hu/icsip>
- CADE (Centre d'Analyse de Données Etendues) honlap: <http://cade.irap.omp.eu/dokuwiki/doku.php?id=rass>
- Radioastron honlap: <http://www.asc.rssi.ru/radioastron/documents/docs.html>
- NED (NASA/IPAC Extragalactic Database) honlap: <http://ned.ipac.caltech.edu/>
- NRAO honlap: <http://www.vla.nrao.edu/>
- SWIFT honlap: http://swift.gsfc.nasa.gov/about_swift/#science
- WISE honlap: <http://wise.ssl.berkeley.edu/astronomers.html>

10. 1. Függelék

Munkánk során a J1456+5048 jelű extragalaktikus objektummal és a hozzá hasonló forrásokkal foglalkoztunk. A kiinduló objektum azért került az érdeklődésünk középpontjába, mert a mai jobb felbontású távcsövek lehetővé tették azt az észrevételt, miszerint ennél az égi pozíciónál valójában három objektum látható egymás mellett, egymáshoz nagyon közel (kb. 2'-en belül). Ebből kiindulva, a szakirodalomban és csillagászati katalógusokban (NASA/IPAC Extragalactic Database - NED segítségével) végzett vizsgálataink alapján bebizonyosodott, hogy a gyenge felbontású távcsövekkel (ROSAT, Green Bank) mért adatok nem egy, hanem kettő, vagy mindhárom forrásra egyszerre vonatkozhattak. Ez azért okozhat nagy problémát, mert olyan későbbi publikációkba kerülhettek bele a rossz azonosítások, amelyek például a blazárok alapvető tulajdonságaival foglalkoztak, és így esetleges helytelen következtetéseket vonhattak le. Ezért fontos az ehhez hasonló objektumok további vizsgálata is. Természetesen felmerül a kérdés, hogy vajon hány ilyen forrás lehet még az adatbázisokban, és azok a publikációkba belekerülve mennyire változtatják meg az adott típusú objektumokra megállapított általános következtetéseket.

Elsődleges célunk az volt, hogy a fent említett kiinduló forrásokról összegyűjtsük a cikkekben, katalógusokban szereplő adatokat, ami segíthet tisztázni a lehetséges szakirodalmi tévedések hátterét és következményeit. Ehhez kiindulásul a **NED adatbázisát** használtuk fel, hogy ellenőrizhessük, melyik mérés melyik forrásra vagy forrásokra együtt vonatkozhatott a három közül. A szakirodalmi kutatások után sikerült beazonosítani a forrásokra vonatkozó tulajdonságokat, melyekre majd a dolgozatban bővebben kitérünk. Ezután felmerült az a kérdés, hogy hány ehhez hasonló forrás lehet még az égbolton. Előfordulhat, hogy ezek – szintén a korai égboltfelmérések gyengébb felbontása miatt – esetleg rosszul kerülhettek bele a publikációkba. Ahhoz, hogy ezt, illetve az esetleges probléma nagyságát megállapítsuk, segítségül hívtuk a **Topcat** nevű katalóguskezelő programot. A program segítségével további olyan objektumokat szűrtünk ki a FIRST és ROSAT katalógusaiból, amelyek tulajdonságai hasonlítanak a kiinduló forrás jellemzőihez. Az így talált 44 forrást a NED-ben összegyűjtött publikációk és katalógusok segítségével vizsgáltuk meg. A célunk az volt, hogy kiszűrjük azokat az eseteket, ahol nem lehet megállapítani a fizikai összetartozásukat. Ezekben az esetekben előfordulhat, hogy a J1456+5048 esetéhez hasonlóan, esetleg hibásan szerepelnek a katalógusokban, publikációkban.