

Autoreferat

1. Imię i nazwisko.

Dorota Koziel-Wierzbowska

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

Doktor – Uniwersytet Jagielloński, 2008, *Spektroskopia optyczna gigantycznych radiogalaktyk*, promotor: prof. dr hab. Jerzy Machalski, praca wyróżniona przez Radę Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

Uniwersytet Jagielloński, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Instytut Obserwatorium Astronomiczne – luty 2009 – luty 2012, **asystent**

Uniwersytet Jagielloński, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Instytut Obserwatorium Astronomiczne – luty 2012 – obecnie, **adiunkt z doktoratem**

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.

4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego:

Badanie własności AGN-ów aktywnych radiowo z uwzględnieniem ich morfologii

4.2 Lista publikacji wchodzących w skład osiągnięcia (w porządku chronologicznym)

[H1] *“FR II radio galaxies in the Sloan Digital Sky Survey: observational facts”*

Autorzy: **Koziel-Wierzbowska, D.** i Stasińska G.

Publikacja: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 415, 1013pp (2011)

[H2] *„CGCG 292–057 – a radio galaxy with merger-modulated radio activity”*

Autorzy: **Koziel-Wierzbowska, D.**; Jamrozy, M.; Zoła, S.; Stachowski, G.; Kuźmich, A.

Publikacja: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 422, 1546 (2012).

[H3] *„What Distinguishes the Host Galaxies of Radio-loud; Radio-quiet AGNs?”*

Autorzy: **Koziel-Wierzbowska, D.**; Vale Asari, N.; Stasińska, G.; Sikora, M.; Goettems, E.I.; Wójtowicz, A.

Publikacja: ApJ, 846, 42 (2017).

[H4] *„Radio Sources Associated with Optical Galaxies; Having Unresolved or Extended Morphologies (ROGUE). I. A Catalog of SDSS Galaxies with FIRST Core Identifications”*

Autorzy: **Koziel-Wierzbowska, D.**; Goyal, A.; Żywucka, N.

Publikacja: ApJSS, 247, 53 (2021).

[H5] *„Identifying Radio-active Galactic Nuclei among Radio-emitting Galaxies”*

Autorzy: **Koziel-Wierzbowska, D.**; Vale Asari, N.; Stasińska, G.; Herpich, F.R.; Sikora, M.; Żywucka, N.; Goyal, A.

Publikacja: ApJ, 910, 64 (2021).

4.3 Opis osiągnięcia naukowego

Wprowadzenie

Głównym źródłem energii aktywnego jądra galaktyki (z ang. active galactic nucleus, AGN) uważa się akrecję na supermasywną czarną dziurę. Może się ona manifestować na różne sposoby i z różną mocą w całym przedziale widma elektromagnetycznego. W zakresie UV/optycznym/IR o istnieniu AGN-u może świadczyć istnienie potężowego (lub łamanego potężowego) continuum powstałego w dysku akrecyjnym i re-emitowanego przez chłodny materiał w zakresie IR, lub/i linii emisyjnych wzbudzonych w chmurach gazu przechodzących przez stożek promieniowania jonizującego emitowanego z AGN-u. Gorąca korona znajdująca się powyżej dysku akrecyjnego może być odpowiedzialna za rozpraszanie w odwrotnym efekcie Comptona fotonów do energii z zakresu rentgenowskiego. W zakresie tym obserwowane są także rentgenowski linie fluorescencyjne żelaza. Dżety radiowe, czyli skolimowane strugi cząstek relatywistycznych, mogą emitować promieniowanie w pełnym zakresie widma EM poprzez procesy synchrotronowe oraz odwrotny efekt Comptona.

Wyróżnioną klasą AGN-ów są radiogalaktyki oraz radiokwazary, w których dżety ekspandujące w ogromne płaty i pióropusze, można obserwować na falach radiowych (zobacz np. Padovani et al. 2017; Blandford et al. 2019). Obiekty te mogą tworzyć struktury o przeróżnych kształtach zaczynając od zwartych, nawet punktowych, do dużych (w rozciągłości kątowej i liniowej) i skomplikowanych tworów. Jak się szacuje, przynajmniej 10% AGN-ów jest powiązane ze źródłami radiowymi zasilanymi przez dżety (zobacz np. Kellermann et al. 2016). Jednakże, AGN-y mają bardzo zróżnicowane efektywności produkcji dżetów wynikające, jak się uważa, z szerokiego zakresu wartości spinu centralnej czarnej dziury i/lub strumienia pola magnetycznego (Blandford & Znajek 1977).

Tak jak w przypadku klasyfikacji morfologicznej galaktyk, gdzie rozkład gwiazd i materii międzygwiazdowej związany jest z własnościami fizycznymi galaktyki, wygląd struktury radiowej jest związany z własnościami fizycznymi AGN-u oraz otaczającego go ośrodka. Jest ona wynikiem wzajemnego oddziaływania dżetu relatywistycznych cząstek najpierw z ośrodkiem międzygwiazdowym, potem z ośrodkiem międzygalaktycznym (zobacz np. Mingo et al. 2019). W tym kontekście klasyfikacja morfologiczna może nieść informacje tak o centralnym jądrze i dżecie, jak i o ośrodku, w którym on propaguje. Ponieważ obserwujemy trójwymiarowe struktury rzutowane na sferę niebieską, elementem modyfikującym kształt jest projekcja. W tym kontekście prezentowana tutaj seria artykułów dotyczy badania radiogalaktyk, ale w odniesieniu do ich morfologii. Pierwsza publikacja dotyczy badania radiogalaktyk o klasycznych strukturach FR II (Fanaroff & Riley, 1974). Druga publikacja dotyczy źródeł o niestandardowych morfologiach na podstawie źródła CGCG292-057. W trzecim artykule wraz ze współautorami przebadaliśmy różnice pomiędzy radiowo głośnymi i radiowo cichymi galaktykami w poszukiwaniu przyczyny różnej efektywności produkcji dżetów. W kolejnej publikacji prezentuję katalog radiogalaktyk z dostępnymi klasyfikacjami morfologicznymi galaktyk macierzystych i struktur radiowych. Natomiast w ostatnim artykule proponuję proste i skuteczne metody oddzielenia emisji radiowej powiązanej z procesami powstawania gwiazd od tej powiązanej z dżetami.

We wszystkich prezentowanych poniżej publikacjach miałam znaczący wkład poczynając od określenia celów naukowych, poprzez określenie metody badawczej, zaangażowanie w przeprowadzone badania i porównania oraz ich weryfikację, analizy, przygotowanie manuskryptów, publikację oraz późniejszą korespondencję. Szczegółowy swój wkład jak i pozostałych współautorów do każdej publikacji podaję za każdym razem na końcu opisu wyników naukowych.

Opis głównych wyników w osiągnięciach naukowych [H1-H5]

[H1]

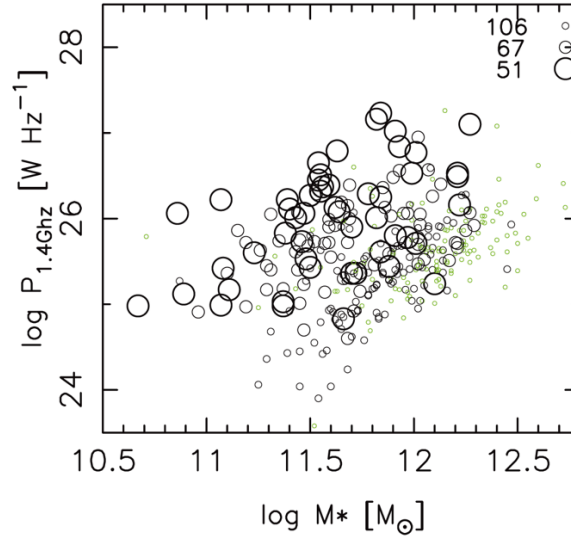
Tradycyjnie źródła radiowe dzielone są na dwie główne klasy morfologiczne: radioźródła typu Fanaroff-Riley I oraz Fanaroff-Riley II (lub w skrócie FRI i FR II za Fanaroff i Riley, którzy w 1974 roku zaproponowali powyższy podział). Źródła z obydwu klas różnią się rozkładem jasności wzdłuż wypływów: źródła FRI są jaśniejsze przy centrum natomiast źródła FR II są jaśniejsze na końcach. W literaturze klasa źródeł FR II jest traktowana jako znacznie lepiej zdefiniowana niż klasa FRI w odniesieniu do morfologii radiowej oraz rozmiaru, oraz jest znacznie bardziej zróżnicowana pod względem własności optycznych. Z tego powodu źródła

FR II stanowią dobry cel badań nad zrozumieniem zależności pomiędzy aktywnością radiową i optyczną, i dlatego wybraliśmy je jako przedmiot badań w pracy “FR II radio galaxies in the Sloan Digital Sky Survey: observational facts” autorstwa Koziel-Wierzbowska i Stasińska (2011). W tej publikacji wyselekcjonowaliśmy próbkę galaktyk FR II poprzez identyfikację źródeł radiowych z katalogów the Cambridge Radio Catalogues (3C, 4C, 5C, 6C, 7C, 8C and 9C) i gigantycznych radioźródeł z prac Janda (2006) i Machalski, Koziel-Wierzbowska & Jamrozy (2007) z główną próbką galaktyk ze Sloan Digital Sky Survey (SDSS) DR7 (Abazajian et al. 2009). Dla tak wybranych radiogalaktyk przeprowadziliśmy klasyfikację morfologiczną opartą na mapach radiowych z przeglądów NOAO VLA Sky Survey (NVSS, Condon et al. 1998) oraz Faint Images and the Radio Sky at Twenty-cm (FIRST, Becker et al. 1995), i ostatecznie otrzymaliśmy listę 401 radiogalaktyk typu FR II. Dla tych galaktyk korzystając z katalogu NVSS wyznaczyliśmy strumień radiowy na 1.4GHz, zmierzaliśmy rozmiary struktury radiowej korzystając z map FIRST lub NVSS, jeśli mapy FIRST nie były dostępne. Z przeglądu SDSS zebraliśmy fotometryczne oraz spektroskopowe, oraz z bazy danych Starlight (<http://www.starlight.ufsc.br>, see e.g. Cid Fernandes et al. 2005, 2009, 2010) parametry fizyczne jak gwiazdowa masa galaktyk, M_* , wieki populacji gwiazdowych, strumienie linii emisyjnych, jak i dyspersję prędkości, które dalej użyliśmy do oszacowania mas czarnych dziur, MBH.

Radiogalaktyki FR II w naszej próbce mają przesunięcia ku czerwieni z przedziału 0.045 oraz 0.6, i zrzucony rozmiar liniowy w skalach od galaktycznych (15kpc) do gigantycznych (2080kpc).

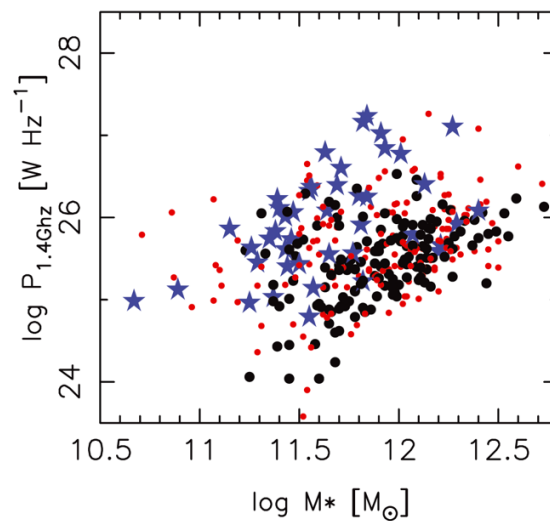
Korzystając z tak utworzonej próbki zbadaliśmy zależność między jasnością optycznych linii emisyjnych a jasnością radiową, $P_{1.4}$. Zależność ta zgłaszana była pierwotnie przez Rawlings et al. (1989). Do tego zadania użyliśmy powszechnie używanej linii [OIII]5007 oraz linii $H\alpha$, ale argumentowaliśmy, że jasność linii $H\alpha$, $L_{H\alpha}$, jest lepszym estymatorem całkowitej energii wyemitowanej w liniach niż linia [OIII] ponieważ nie zależy ona od stopnia jonizacji. W przypadku obu linii potwierdziliśmy istnienie silnej korelacji między jasnością linii oraz jasnością radiową (współczynnik korelacji Pearsona $R=0.66$ dla linii [OIII] oraz $R=0.72$ dla $H\alpha$) co wskazuje na zależność pomiędzy aktywnością AGN-u oraz mocą radiową w galaktykach FR II ze zdetektowanymi liniami emisyjnymi.

Zbadaliśmy także zależność pomiędzy mocą radiową znormalizowaną przez masę czarnej dziury a tempem akrecji wyrażonym przez parametr Eddingtona estymowany przez $L_{H\alpha}/MBH$ (Kauffmann & Heckman 2009). Te dwie wielkości są także silnie skorelowane. Sprawdziliśmy także rozkład parametru Eddingtona w płaszczyźnie $P_{1.4}$ vs M_* (zobacz Rys. 1) i znaleźliśmy, że dla danej masy galaktyki najsilniejsze radiogalaktyki FR II mają także największe wartości parametru Eddingtona, natomiast dla danej jasności radiowej, parametr Eddingtona maleje z rosnącą masą galaktyki.



Rys.1. Zależność pomiędzy $P_{1.4\text{ GHz}}$ i masą galaktyki M^* radiogalaktyk FR II. Rozmiar symboli odpowiada wartości parametru Eddingtona $L\text{H}\alpha/\text{MBH}$. Duże kółka: $\log L\text{H}\alpha/\text{MBH} > -0.8$; kółka o średnim rozmiarze: $\log L\text{H}\alpha/\text{MBH}$ pomiędzy -1.5 a -0.8 ; małe czarne kółka: $\log L\text{H}\alpha/\text{MBH} < -1.5$; bardzo małe zielone kółka: $\text{H}\alpha$ nie zdetektowana (Kozieł-Wierzbowska & Stasińska. 2011).

Jasne plamy w miejscach, gdzie relatywistyczne dżety oddziałują z ośrodkiem nazywane są gorącymi plamami (definicja podana m.in. w Hardcastle et al. 1998). Jednakże te struktury nie są obserwowane we wszystkich źródłach FR II. Często rozdzielczość map radiowych nie pozwala na rozdzielenie gorących plam od płatów radiowych, ale także gorące plamy mogą nie być już widoczne w reliktach radiowych, czyli źródłach, w których centralna aktywność już ustała (Kaiser, Schoenmakers & Rottgering 2000; Marecki & Swoboda, 2011). Możemy zatem przypuszczać, że obecność gorących plam może być związana z pewnymi własnościami AGN-u. W tym kontekście ponownie przeanalizowaliśmy diagramy $P_{1.4}$ vs M^* (zobacz Rys. 2) oraz $P_{1.4}/\text{MBH}$, ale oznaczając źródła z oraz bez gorących plam. Pokazaliśmy w ten sposób, że dla



Rys 2. Rozkład radioźródeł FR II z gorącymi plamami w płaszczyźnie ($P_{1.4\text{ GHz}}$, M^*). Gwiazdy: obiekty z gorącymi plamami; duże punkty: obiekty bez gorących plam; małe punkty: obiekty, dla których klasyfikacja nie była możliwa (Kozieł-Wierzbowska & Stasińska. 2011).

danej masy galaktyki jasność radiowa oraz stosunek $P_{1.4}/MBH$ źródeł FR II z gorącymi plamami mają systematycznie większe wartości niż te w pozostałych źródłach. **Pokazaliśmy zatem, że obecność gorących plam jest związana z wyższą efektywnością radiową AGN-u.**

Pokazaliśmy, że te galaktyki FR II, które można przedstawić na klasycznym diagramie BPT (Baldwin, Phillips i Terlevich 1981) lub podobnych diagramach, mieszczą się w obszarze charakteryzowanym przez twarde promieniowanie jonizujące, gdzie udział gorących gwiazd we wzbudzeniu jest niewielki lub żaden. Jest to spodziewany wynik, gdyż wiadomo, że radiogalaktyki są na ogół identyfikowane z masywnymi galaktykami eliptycznymi z bardzo niskimi tempami powstawania gwiazd. W porównaniu z galaktykami macierzystymi AGN-ów znalezionych w próbie galaktyk SDSS, **wśród radiogalaktyk występuje znacznie większy odsetek obiektów o bardzo twardym polu promieniowania jonizującego i dużym parametrze jonizacji.** Istnieje jednak kilka obiektów, które leżą blisko linii podziału pomiędzy czystymi galaktykami gwiazdotwórczymi a galaktykami macierzystymi AGN-ów. Jest to a priori zaskakujące, ponieważ nic nie wskazuje na to, by w tych obiektach obecnie powstawały gwiazdy. Sugerujemy, że obiekty te są jonizowane przez raczej miękkie pole promieniowania w porównaniu z resztą źródeł FR II.

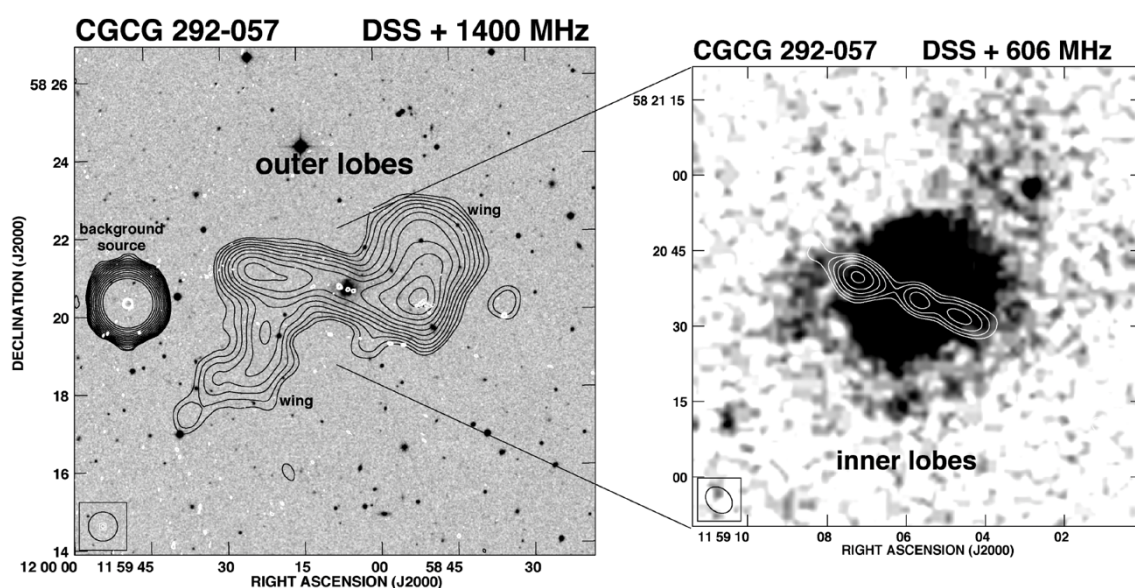
Badając własności linii emisyjnych radioźródeł FR II znaleźliśmy trzy **galaktyki z podwójnymi profilami linii.** Takie profile są często interpretowane jako manifestacja istnienia podwójnych supermasywnych czarnych dziur. Ułamek źródeł FR II z podwójnymi profilami linii w badanej próbie nie był duży, zatem poszukiwania podwójnych profili kontynuowano w 2022 roku ze studentką, Agatą Szkodzińską, która wykorzystała większą próbkę radiogalaktyk typu FR II. Wśród 730 radiogalaktyk FR II z widmami z SDSS DR7 Szkodzińska znalazła kolejne trzy radiogalaktyki z podwójnymi profilami linii oraz dodatkowo trzy źródła z wyjątkowo szerokimi liniami. Badania te zostały podsumowane w pracy licencjackiej pani Szkodzińskiej i będą kontynuowane w pracy magisterskiej.

W projekcie tym użyliśmy publicznie dostępnych danych radiowych i optycznych, aby zbadać własności radiogalaktyk FR II. Chociaż klasa ta jest uważana za dobrze zdefiniowaną i zawierającą najbardziej energetyczne źródła to, jak pokazaliśmy, radiogalaktyki FR II mogą mieć jasności radiowe z szerokiego zakresu wartości. Znaleźliśmy, że galaktyki FR II pokazują continuum własności w zależności od parametru Eddingtona, a źródła z gorącymi plamami mają największe wartości $P_{1.4}/MBH$. Pokazaliśmy także, że radiogalaktyki FR II tworzą niejednorodną grupę pod względem własności linii emisyjnych. Pokazaliśmy także, że struktury FR II znajdowane są w galaktykach eliptycznych, preferencyjnie w tych o największych masach.

W projekcie tym byłem inicjatorem badań i głównym wykonawcą. Mój wkład do niniejszego artykułu polegał na zdefiniowaniu celów naukowych, selekcji próbki, przygotowaniu danych radiowych, klasyfikacja morfologiczna, przygotowanie wszystkich wykresów, analiza danych optycznych oraz radiowych, znaczny udział w dyskusji oraz przygotowaniu tekstu publikacji. Byłem także autorem korespondencyjnym. Współautorka, Grażyna Stasińska miała wkład w klasyfikację morfologiczną, analizę danych z bazy Starlight i linii emisyjnych, dyskusję oraz przygotowanie manuskryptu.

[H2]

Nie wszystkie struktury radiowe mogą być opisane jednym z typów Fanaroff i Riley. Wśród dodatkowych klas radioźródeł można wymienić radiogalaktyki podwójno-podwójne (Schoenmakers et al. 2000) charakteryzujące się dwiema parami współliniowych dżetów, czy struktury X-shaped (Leahy & Parma 1992, Cheung 2007), w których dwie pary łobów są ustawione względem siebie pod pewnym kątem. Są to klasy, które do tej pory używane były jako niezależne. W 2012 roku ogłosiliśmy **odkrycie źródła**, które posiada jednak obydwie te charakterystyki. Struktura radiowa zidentyfikowana przez nas z galaktyką **CGCG 292-057** posiada zewnętrzną strukturę typu X-shaped, oraz posiada ślady powtarzającej się aktywności w formie wewnętrznej struktury podwójno-podwójnej (Rys. 3). Dodatkowo, CGCG 292-057 jest galaktyką post-merger. Taka kombinacja cech sprawia, że jest to unikatowy i wyjątkowy cel badań aktywności dżetowej w AGN-ach.



Rys 3. Mapy CGCG 292-057 na 1400 MHz z przeglądu VLA. Po lewej: mapa konturowa całej struktury z przeglądu NVSS (czarny) i FIRST (biały) nałożone na optyczny obraz z DSS. Po prawej: konturowa mapa struktury wewnętrznej pochodząca z przeglądu GMRT na 606 MHz nałożona na obraz DSS (Kozieł-Wierzbowska et al. 2012).

Badania optycznej galaktyki macierzystej rozpoczęliśmy od analizy obrazów i widm z przeglądu SDSS. Przeanalizowaliśmy wartość tzw. współczynnika koncentracji definiowanego jako stosunek promieni zawierających 90 oraz 50 procent światła w filtrze r (Shimasaku et al. 2001; Strateva et al. 2001), i używanego jako wskaźnik typu morfologicznego. Wartość jaką uzyskaliśmy równa 2.81 umiejscawia CGCG 292-057 na pograniczu pomiędzy galaktykami eliptycznymi i spiralnymi (Strateva et al. (2001) jako wartość graniczną podaje 2.83). Dlatego, zaplanowaliśmy własne obserwacje optyczne przy użyciu dwóch teleskopów: 60 cm teleskopu w Obserwatorium Uniwersytetu Pedagogicznego na Suhorze, oraz 2 m teleskopu Faulknes Telescope North w Las Cumbres Observatory Global Telescope (LCOGT). Otrzymane obrazy zostały poprawione na ślady promieniowania kosmicznego oraz złożone w obraz kolorowy. Obraz z Obserwatorium na Suhorze, który wykonany był z gorszą zdolnością rozdzielczą, ale z lepszą czułością pokazuje rozciąglą strukturę przypominającą ramiona spiralne, oraz słaby ogon gwiazd i gazu rozciągający się na odległość 1 minuty łuku (ok. 60kpc) od centrum. Obrazy

z LCOGT wykonane z lepszą zdolnością rozdzielczą pokazują zaburzoną strukturę w centrum galaktyki. Obydwa obrazy pokazują, że **CGCG292-057 nie może być uznana za niezaburzoną galaktykę spiralną, ale za merger**, lub galaktykę już po zlaniu się oddziałujących galaktyk (Rys. 4).



Rys 4. Kolorowe obrazy CGCG 292–057 uzyskane (góra) 60-cm teleskopem w Obserwatorium na Suhorze i (dół) 2m teleskopem LCOGT. Obydwa obrazy mają tę samą skalę i orientację (Kozieł-Wierzbowska et al. 2012).

Dalej użyliśmy dostępnych w przeglądzie SDSS widm by zbadać własności linii emisyjnych oraz populacji gwiazdowych CGCG 292-057. Apertura SDSS odpowiadająca 3 sekundom łuku próbowała 3.1 kpc centralnych regionów galaktyki. Co ciekawe, **linie emisyjne widoczne w galaktyce CGCG292-057 pokazują podwójne profile co może świadczyć o istnieniu w tym systemie podwójnej supermasywnej czarnej dziury**. Bazując na tym postulujemy, że CGCG292-057 jest w stadium po zlaniu się oddziałujących galaktyk, w którym jednak supermasywne czarne dziury jeszcze się nie połączyły. Wykorzystując dyspersję prędkości z przeglądu SDSS (242.6km/s) oraz zależność Tremaine et al. (2002) wyznaczyliśmy masę czarnej dziury (lub pary czarnych dziur) na $\log(\text{MBH}/M_{\text{Sun}}) = 8.47$.

Struktura radiowa CGCG292-057 była przez nas badana na podstawie archiwalnych danych radiowych z przeglądów NVSS, FIRST, oraz WENSS (Rengelink et al. 1997), oraz dedykowanych obserwacji Giant Metrewave Radio Telescope (GMRT). Rozciągała, zewnętrzna struktura jest dobrze zobrazowana w przeglądach NVSS i WENSS i pokazuje kształt X. Struktura podwójno-podwójna jest widoczna na mapach FIRST, gdzie widoczne są trzy piki emisji, z których centralny pokrywa się z centrum galaktyki macierzystej. Struktura wewnętrzna została użyta do wyznaczenia inklinacji źródła. Na podstawie asymetrii tej struktury wyznaczono kąt inklinacji na równy 79 stopni. Ustawienie osi dżetów z osiami galaktyki macierzystej było tematem kilku prac. W silnych radiogalaktykach występuje pewne

preferencyjne ustawienie osi dżetów wzdłuż mniejszej osi galaktyki. Jednakże, Saripalli & Subrahmanyan (2009) zauważyli, że w źródłach X-shaped nachylenie osi dżetów do głównej osi galaktyki wynosi ok. 50 stopni.

Na podstawie danych z NVSS i WENSS uzyskano mapy indeksu widmowego CGCG292-057 pomiędzy obserwacjami na 327MHz oraz 1400MHz. Pokazują one, że widmo wypłaszcza się idąc od centrum na zewnątrz struktur. Jednakże indeks widmowy w skrzydłach jest jedynie trochę stromszy co jest zaskakujące z tego powodu, że według modeli, w których struktura X-shaped powstała hydrodynamicznie, lub poprzez reorientację dżetu skrzydła powinny być starsze. W tym wypadku indeks widmowy jest porównywalny do tego, który mielibyśmy w przypadku istnienia dwóch niezależnych AGN-ów (Lal & Rao 2005, 2007). Użyliśmy także danych polaryzacyjnych z NVSS do zbadania własności struktury CGCG292-057. **Cała struktura jest spolaryzowana w stopniu ok. 19% co jest typową wartością dla źródeł X-shaped** (Dennett-Thorpe et al. 2002).

Istnienie CGCG292-057 oraz hipoteza Chiaberge et al. (2015), że radiowo głośne AGN-y powstają poprzez mergery zainspirowała nas do zbadania profili jasności galaktyk macierzystych radioźródeł o różnych morfologiach. Z Anną Wójtowicz badałyśmy obrazy z Hubble Space Telescope (HST) galaktyk macierzystych źródeł X-shaped, podwójno-podwójnych oraz FRII w poszukiwaniu śladów oddziaływań. Wyniki te w 2017 roku zostały zawarte w pracy magisterskiej pani Anny Wójtowicz i pokazywały, że frakcja śladów interakcji w źródłach X-shaped oraz podwójno-podwójnych jest większa niż w klasycznych źródłach FRII. Badania te są obecnie kontynuowane z większymi i lepiej zdefiniowanymi próbkami radioźródeł o różnych morfologiach.

W niniejszym projekcie byłam inicjatorem badań oraz ich głównym wykonawcą. Jestem odkrywczą źródła, zebrałam optyczne i radiowe dane archiwalne, zaplanowałam obserwacje optyczne, analizowałam widma SDSS, analizowałam dostępne dane radiowe oraz badałam strukturę morfologiczną CGCG 292-057. Miałam znaczący wkład w dyskusję przeprowadzoną ze wszystkimi współautorami oraz przygotowanie manuskryptu. Byłam także autorem korespondencyjnym. Marek Jamroz przygotował analizę danych polarymetrycznych oraz przeprowadził redukcję danych z GMRT. Stanisław Zoła oraz Grzegorz Stachowski włączyli się w przeprowadzenie obserwacji optycznych natomiast Agnieszka Kuźmich włączyła się w złożenie obserwacji z różnych filtrów optycznych i przygotowanie obrazu kolorowego.

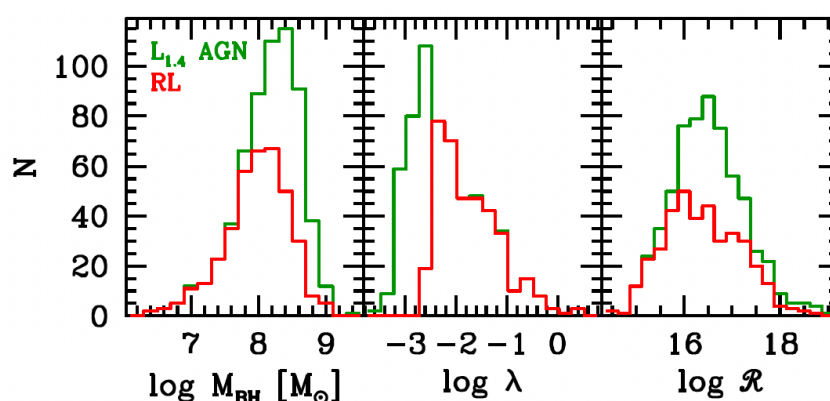
[H3]

Większość aktywnych jąder galaktycznych nie jest aktywna radiowo, tj. nie wytwarza relatywistycznych dżetów radiowych. Z drugiej strony, nie wszystkie klasyczne radiogalaktyki z rozciągniętymi strukturami mają linie emisyjne w widmach optycznych (Hine & Longair, 1979), co świadczy o tym, że pomimo obserwowanej zależności między jasnością radiową i jasnością linii emisyjnych, aktywność radiowa i optyczna AGN-u nie są ze sobą wprost związane (np. Best et al. 2005). W 2017 roku opublikowaliśmy artykuł, w którym przedstawiliśmy własne badania dotyczące różnic we własnościach galaktyk macierzystych radiowo głośnych oraz radiowo cichych AGN-ów (Kozieł-Wierzbowska et al. 2017).

W pracy tej skoncentrowaliśmy się na AGN-ach typu 2, tj. zasłoniętych przez torus, z współczynnikiem Eddingtona, λ , będącym stosunkiem jasności bolometrycznej AGN-u wyznaczonej na podstawie jasności linii H α do jasności Eddingtona, większym od 0.003.

Wzięcie pod uwagę tylko zasłoniętych AGN-ów pozwoliło nam uniknąć zanieczyszczenia widma optycznego przez potęgowe kontinuum, natomiast limit $\lambda > 0.003$ gwarantuje eliminację z próbki AGN-ów z nieefektywną radiacyjnie akrecją, dla których zależność między jasnością bolometryczną a jasnością linii H α może się różnić.

W niniejszym projekcie starannie wyselekcjonowaliśmy galaktyki na podstawie jakości ich widma optycznego oraz pozycji na diagramie BPT. Usunęliśmy z próbki galaktyki „w spoczynku”, tj. takie, w których emisja w liniach może być produkowana przez gorące, małowymagowe, wyewoluowane gwiazdy (Cid Fernandes et al. 2011). Po zastosowaniu selekcji optycznej pierwotna próbka zmniejszyła się z ponad 900,000 obiektów do 19,286 galaktyk. Porównaliśmy tę próbkę z katalogiem Best & Heckman (2012) zawierającym 18,286 radiogalaktyk wyselekcjonowanych z przeglądu SDSS i radiowych katalogów NVSS i FIRST. Best & Heckman (2012) w swoim katalogu podzielili obiekty radiowe na AGN-y oraz galaktyki tworzące gwiazdy bazując na szeregu różnych kryteriów. W naszym projekcie wzięliśmy pod uwagę tylko te obiekty, które autorzy sklasyfikowali jako AGN-y. Ograniczając listę do obiektów z $\lambda > 0.003$ otrzymaliśmy próbkę 376 radiowo głośnych (z ang. radio-loud, RL) galaktyk. Wybraliśmy także próbkę porównania galaktyk radiowo cichych (z ang. radio-quiet, RQ) opierając się na parametrze R zdefiniowanym jako logarytm stosunku jasności $L_{1.4}/L_{H\alpha}$. W próbce porównania znalazło się 10,918 galaktyk RQ mających $R < 15.8$.



Rys 5. Histogramy pokazujące masę czarnej dziury, współczynnik Eddington oraz radiogłośność R. Radioźródła z próbki Best & Heckman (2012) sklasyfikowane jako AGNy (próbka L1.4 AGN) są wykresowane w kolorze zielonym, próbka RL badana w niniejszym artykule jest pokazana kolorem czerwonym (Kozieł-Wierzbowska et al. 2017).

W opublikowanym artykule zaznaczyliśmy (Rys. 5), że wybierając tylko źródła z akrecją efektywną radiacyjnie (co było zasadne z punktu widzenia założeń projektu) znacznie ograniczyliśmy badaną próbkę, gdyż **większość radiowo głośnych źródeł o dużych masach czarnej dziury i dużym parametrze radiogłośności R ma małe wartości λ .**

Dane optyczne użyte w projekcie zostały pobrane z bazy Starlight, natomiast dane radiowe pobrano z katalogu Best & Heckman (2012), oraz katalogów FIRST i NVSS.

Porównanie galaktyk RL i RQ na diagramach BPT i WHAN (Cid Fernandes et al 2011) pokazało, że **w obu próbkach panują bardzo podobne warunki jonizacji**. Pokazaliśmy także, że w naszych próbkach podobnie jak w poprzednich badaniach (np. Ferrarese & Merritt 2000; Kormendy & Ho 2013) masa galaktyki, M_* , i masa czarnej dziury, MBH , są ze sobą ściśle skorelowane. Jednakże, rozkłady tak M_* jak i MBH w galaktykach RL i RQ są inne,

dlatego postanowiliśmy sparować obiekty z tych próbek w masie czarnej dziury. A ponieważ dla danej wartości MBH λ może się różnić o dwa rzędy wielkości, postanowiliśmy sparować galaktyki także w λ . Dlatego, aby zbadać co różni radiowo głośne i radiowo ciche galaktyki o podobnych własnościach AGN-u, **zastosowaliśmy metodę parowania w MBH i λ** . Dodatkowo, aby upewnić się, że klasyfikacja morfologiczna w obu próbkach będzie tak samo obciążona, galaktyki zostały sparowane także w przesunięciu ku czerwieni. Przeprowadziliśmy porównanie własności galaktyk RL i do trzech ich najbliższych odpowiedników z RQ galaktyk.

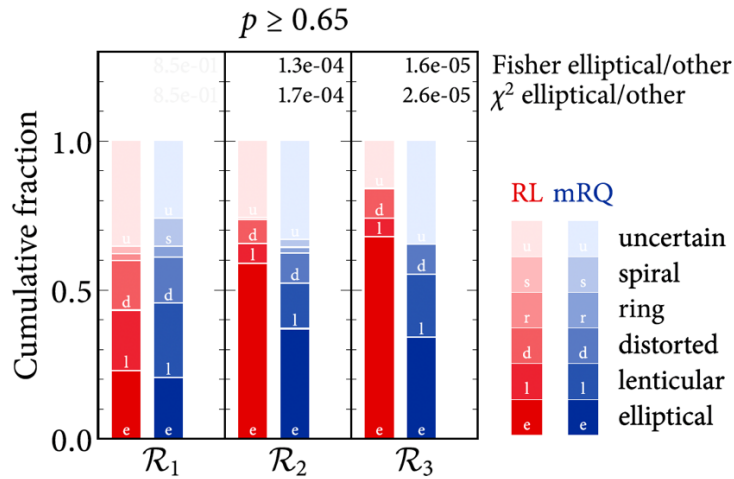
Przeprowadziliśmy porównanie galaktyk RL i ich odpowiedników w RQ galaktykach w trzech przedziałach wartości R. Galaktyki w przedziale o wartościach radiogłośności poniżej 15.8 (odpowiadającej wartości 10 w klasycznej definicji podanej przez Kellermann, Kellermann et al. 1989) są zwyczajowo traktowane jako radiowo ciche. W naszej procedurze z próbki galaktyk RL usunęliśmy wszystkie galaktyki, które w katalogu Best & Heckman (2012) zostały sklasyfikowane jako produkujące gwiazdy, dlatego emisja radiowa naszych źródeł RL z $R < 15.8$ jest zdominowana najprawdopodobniej przez wiatry z dysków akrecyjnych (np. Zakamska et al. 2016). Galaktyki RL z $R > 16.8$ odpowiadają najbardziej radiowogłośnym obiektom, często o morfologii FR II.

Wśród parametrów fizycznych galaktyki macierzystej AGN-u, które porównaliśmy w obu próbkach znalazły się masa galaktyki, M_* , kolor (u-r), współczynnik koncentracji, CI, stosunek osi galaktyki macierzystej, b/a, ekstynkcja mgławicowa, A_V , stosunek linii [OIII]/H β , oraz szerokość połowkowa linii [OIII]. Z tych parametrów tylko M_* oraz (u-r) są nierozróżnialne w obu próbkach. Wynik dla masy galaktyki jest zrozumiały, gdyż przeprowadziliśmy parowanie galaktyk w masie czarnej dziury, która jak pokazaliśmy, jest skorelowana z masą galaktyki. Jednakże, podkreślimy, że **M_* rośnie z rosnącą wartością parametru R**. Co warto podkreślić, chociaż ogólnie kolor (u-r) różni się w próbkach RQ i RL, to gdy porównamy własności sparowanych przez nas źródeł, różnica ta nie jest już widoczna.

Co także jest interesujące, wartość współczynnika CI dla obiektów RL z $R > 15.8$ jest systematycznie większa niż dla sparowanych źródeł RQ. Podobne wniosek można wyciągnąć dla stosunku osi b/a. Wynik ten sugeruje, że galaktyki RQ i RL mogą się różnić pod względem morfologii galaktyki macierzystej, przy czym galaktyki macierzyste źródeł radiowo głośnych są bardziej eliptyczne. Zauważyliśmy także różnicę w wartości FWHM linii [OIII] gdzie galaktyki RL mają te wartości systematycznie większe oraz szerokość ta rośnie z malejącą wartością R. W przedziale R o najniższych wartościach różnica w A_V nie jest znacząca, ale rośnie z rosnącą wartością R.

Mając dane dotyczące linii emisyjnych sprawdziliśmy także która z linii [OIII] czy H α lepiej estymuje jasność bolometryczna AGN-u. Linia [OIII] jest powszechnie używana jako najjaśniejsza linia w widmie. Jest ona także obserwowana w zakresie optycznym do większych wartości przesunięcia ku czerwieni. Jednakże, część emisji w linii [OIII] może pochodzić z regionów HII, i zależeć od warunków jonizacji i metaliczności. Z drugiej strony, także jasność linii H α może być zaburzona przez emisję z regionów HII, ale pozostałe parametry nie mają na nią wpływu. Zatem sprawdziliśmy czy używając jasności bolometrycznej AGN-u, parametru Eddingtona, oraz radiogłośności wyznaczonych w oparciu o jasność linii [OIII] możemy powtórzyć nasze wyniki i faktycznie uzyskaliśmy zgodne wyniki.

Nasze porównania powtórzyliśmy także dla “czystych” próbek, z których wyrzucone zostały wszystkie galaktyki leżące na diagramie BPT blisko linii dzielącej galaktyki tworzące gwiazdy i AGN-y. W tych „czystych” próbkach różnica w szerokości linii [OIII] zachowana została tylko dla przedziału R z najmniejszymi wartościami co świadczy o tym, że nasza hipoteza, że emisja radiowa RL galaktyk jest związana z wiatrem z dysku lub słabo skolimowanymi dżetami, a poszerzenie linii wynika z deponowania części energii wypływu w ośrodek w regionie powstawania wąskich linii emisyjnych. Jednakże, wartości współczynnika CI oraz b/a dla galaktyk RL i sparowanych galaktyk RQ są nadal różne co pokazuje, że różnica między morfologiami optycznymi tych źródeł sparowanych w parametrach AGN-u jest istotna.



Rys 6. Zbiorcze histogramy dla galaktyk RL (odcienie czerwonego) i RQ (odcienie niebieskiego), które sklasyfikowaliśmy jako eliptyczne, soczewkowate, zaburzone, pierścieniowe oraz spiralne, w trzech przedziałach radiogłośności (Kozieł-Wierzbowska et al. 2017).

Bazując na wynikach pokazujących różnicę w CI i b/a między galaktykami RL i RQ postanowiliśmy przeprowadzić wizualną klasyfikację morfologiczną galaktyk RL i najlepiej dopasowanej do nich w parametrach AGN-u galaktyki RQ. Przyjęty przez nas schemat klasyfikacji zawierał pięć klas morfologicznych: galaktyki eliptyczne, zaburzone, spiralne, soczewkowate oraz pierścieniowe, oraz określenia możliwych śladów oddziaływania: główne oraz drobne zderzenia, ogon, prawdopodobna interakcja, oraz brak śladów oddziaływania. Każdy obraz z SDSS został sklasyfikowany przez sześć osób, a galaktyka otrzymała konkretną klasyfikację, gdy przynajmniej cztery osoby były zgodne w swojej ocenie. W pozostałych przypadkach klasyfikacja galaktyki była oznaczana jako niepewna. Zauważyliśmy, że **w dwóch przedziałach z $R > 15.8$ frakcja galaktyk eliptycznych była większa w grupie radiogalaktyk RL niż wśród radiogalaktyk RQ** (Rys. 6) co potwierdza wyniki uzyskane na podstawie CI i b/a. Co jednak podkreślaliśmy, radiogalaktyki z małą wartością CI nie są galaktykami spiralnymi, ale są albo galaktykami soczewkowatymi albo zaburzonymi. Co podkreślaliśmy także **frakcja galaktyk eliptycznych w grupie galaktyk RL rośnie z rosnącą radiogłośnością**. Podobne wyniki uzyskaliśmy na podstawie danych z Galaxy Zoo 1, natomiast te dane nie były dostępne dla wszystkich galaktyk w naszych próbkach.

Przeciwnie do wyników Chiaberge et al. (2015) nie widzieliśmy żadnej systematycznej różnicy pomiędzy galaktykami RL i RQ gdy braliśmy pod uwagę ślady oddziaływania między galaktykami. Jednak, nie możemy wykluczyć, że aktywność wielu radiowo głośnych galaktyk

jest wzbudzana poprzez zderzenia z mniejszymi galaktykami, które są znacznie trudniejsze do wykrycia.

Wyniki badań przedstawione w niniejszym artykule pokazują, że efektywność produkcji dżetów nie jest zdeterminowana tylko parametrem Eddingtona i masą czarnej dziury. Różna efektywność produkcji dżetów jest zdeterminowana także przez ilość pola magnetycznego skumulowanego w AGN-ie i/lub przez spin czarnej dziury, co wynika z mechanizmu produkcji dżetów (mechanizm Blandforda – Znajka).

W projekcie tym byłam inicjatorem badań oraz głównym wykonawcą, przygotowałam dane radiowe, zorganizowałam klasyfikację morfologiczną galaktyk, brałam udział w przygotowaniu tekstu i byłam autorem korespondencyjnym. Natalia Vale Asari wykonała parowanie radiowo głośnych oraz radiowo cichych galaktyk, przygotowała diagramy, brała udział w dyskusji oraz powstaniu części tekstu. Grażyna Stasińska przeanalizowała wyniki pod kątem dodatku do jasności linii emisyjnych pochodzącego od regionów HII oraz uczestniczyła w dyskusji i powstawaniu tekstu. Marek Sikora brał udział w interpretacji teoretycznej wyników a Anna Wójtowicz i Elisa Goettems brały udział w klasyfikacji morfologicznej galaktyk.

[H4]

Pracując z katalogiem Best & Heckman (2012) radiogalaktyk z przeglądu SDSS zdaliśmy sobie sprawę, że może on pomijać wiele słabych zwartych jak i rozciągniętych radioźródeł. Duża liczba zwartych źródeł w porównaniu z rozciągniętymi radioźródłami stwarza potrzebę uzyskania statystycznie znaczących próbek tych obiektów. Z tego powodu zdecydowaliśmy się przeprowadzić selekcje radiogalaktyk z wykorzystaniem spektroskopowego katalogu galaktyk SDSS oraz radiowych przeglądów NVSS i FIRST. W głównym katalogu, opublikowanym i włączonym do niniejszej serii jako [H4], radioźródła zidentyfikowanych z galaktykami optycznymi i mających zwarte lub rozciągnięte morfologie (z ang. Radio sources associated with Optical Galaxies and having Unresolved or Extended morphologies, ROGUE) I (Kozieł-Wierzbowska et al. 2020) zawarte są radioźródła posiadające identyfikację w SDSS DR7, oraz mające centralny komponent z katalogu FIRST w odległości nie większej niż 3 sekundy łuku od pozycji optycznej galaktyki. Obecnie są przygotowywane dwa rozszerzenia tego katalogu: katalog radioźródeł bez centralnej detekcji w FIRST (ROGUE II), oraz katalog radioźródeł zidentyfikowanych z kwazarami z przeglądu SDSS DR7 (ROGUE III). Motywacją do stworzenia kolejnego katalogu opartego na przeglądach SDSS i FIRST/NVSS była chęć posiadania listy radioźródeł z: (1) spektroskopowo wyznaczonym przesunięciem ku czerwieni, (2) dobrej jakości widmem optycznym, (3) niskim limitem gęstości strumienia radiowego, (4) zmierzonym strumieniem radiowym, (5) klasyfikacją morfologiczną galaktyki macierzystej oraz struktury radiowej. Katalog ROGUE I ma te same ograniczenia jak użyte do jego utworzenia katalogi optyczny i radiowe, jednakże, może być wykorzystany do utworzenia statystycznie kompletnej próbki radioźródeł.

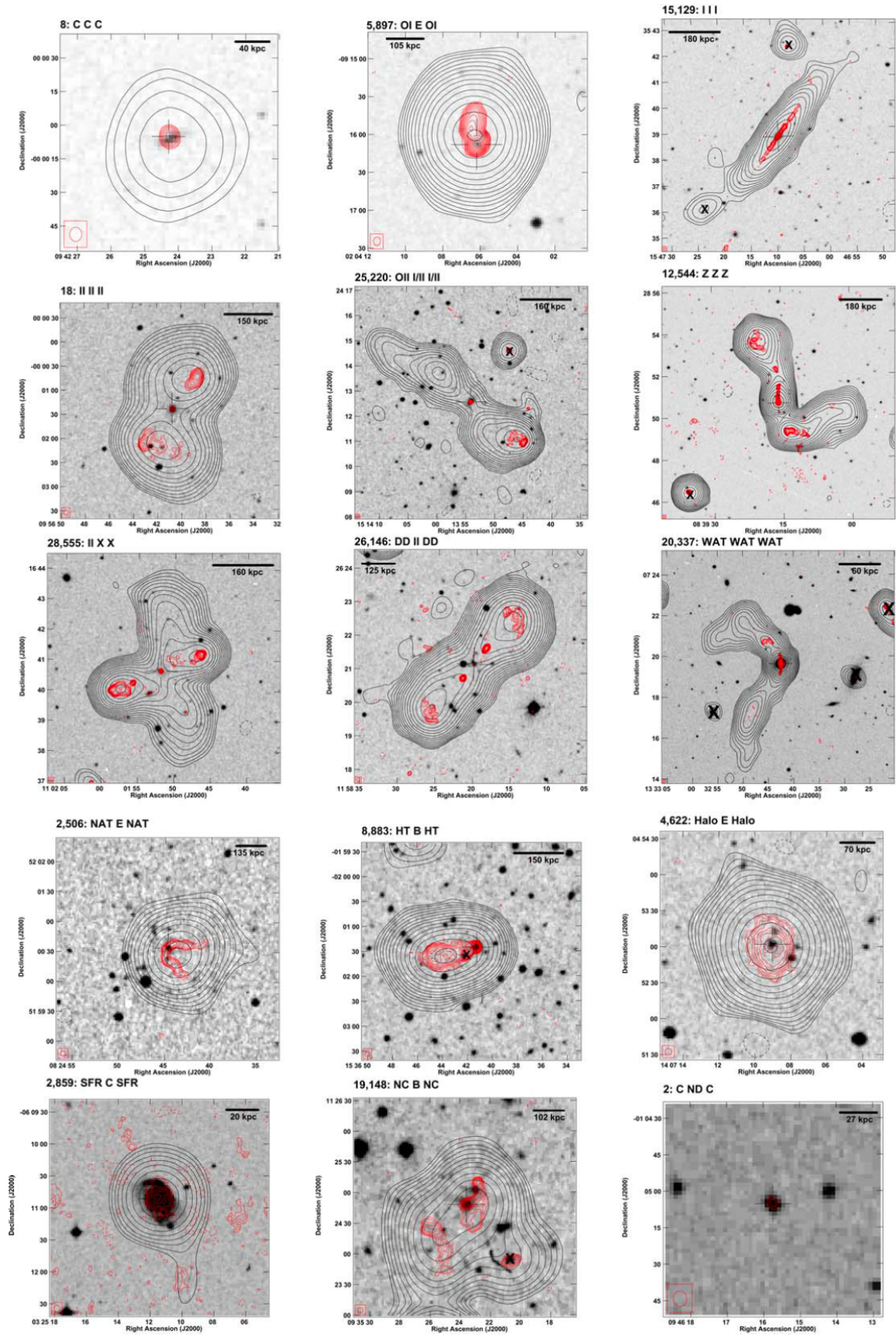
W erze dużych przeglądów radiowych jak nadchodząca SKA lub jej poprzednicy jak MeerKAT, LOFAR czy ASKAP, wizualna inspekcja map radiowych może nie być wykonalna. Katalog ROGUE jest wykonany przez ludzi, poprzez wizualną klasyfikację źródeł. Może być on jednak wykorzystany jako próbka do uczenia algorytmów do automatycznej identyfikacji i klasyfikacji źródeł.

Selekcję i klasyfikację źródeł przeprowadziliśmy w następujących krokach:

- a. Selekcja optycznej próbki macierzystej z przeglądu SDSS z Main Galaxy Sample (Strauss et al. 2002), oraz z Red Galaxy Sample (Eisenstein et al. 2001) poprzez wybór galaktyk z dobrą jakością widm optycznych. Po odrzuceniu powtarzających się obserwacji z SDSS DR7, otrzymaliśmy listę 662,531 galaktyk.
- b. Porównanie pozycji optycznych z SDSS z pozycją radiową detekcji w katalogu FIRST dopuszczając różnicę maksymalnie 3 sekund łuku.
- c. Przygotowanie obrazów optycznych z nałożonymi konturami radiowymi z rozmiarem kątowym odpowiadającym rozmiarowi liniowemu 1Mpc w odległości galaktyki macierzystej dla 32,616 galaktyk z identyfikacjami z FIRST.
- d. Klasyfikacja wszystkich wyselekcjonowanych tak radioźródeł bazując osobno na mapach FIRST i NVSS. Użyliśmy kilku klas radiowych: zwarte, wydłużone (pojedyncza detekcja ale nie punktowa), FRI, FRII, hybrydowy (każdy płąt o innej morfologii FR), jednostronne FRI, jednostronne FRII, Z-shaped, X-shaped, podwójno-podwójne, tzw. wide-angle tail (WAT), tzw. narrow-angle tail (NAT), head-tail, halo, region formowania gwiazd, niejasne, połączone. Ze względu na różnicę w rozdzielczości i czułości przeglądów NVSS i FIRST, końcowa klasyfikacja na 1.4GHz była oparta na kombinacji klasyfikacji z obydwu przeglądów (przykładowe źródła pokazane na Rys 7).
- e. Klasyfikacja optyczna galaktyk macierzystych oparta na kolorowych obrazach z SDSS o rozmiarze 120 sekund łuku. Użyliśmy klas galaktyk eliptycznych, soczewkowatych, spiralnych, zaburzonych, pierścieniowych, zderzających się (merger), oraz gdy obserwowano nie centrum galaktyki ale regiony formowania się gwiazd lub inne części galaktyki oznaczaliśmy je odpowiednio jako regiony formowania się gwiazd lub widma niecentralne.
- f. Wyznaczenie strumienia radiowego w oparciu o pomiary z katalogów FIRST i NVSS. Pomiary zostały przeprowadzone osobno dla katalogu FIRST i NVSS, a potem obydwa pomiary zostały użyte do określenia, który pomiar lepiej estymuje całkowity strumień źródła na 1.4GHz. Strumień centralnego komponentu z FIRST został użyty do oszacowania strumienia jądra radiowego.
- g. Obliczenie absolutnej jasności optycznej używając widomej jasności SDSS w filtrze r.

W wyniku tej selekcji zidentyfikowaliśmy 32,616 radioźródeł. Był to największy katalog, zidentyfikowanych, połączonych i wizualnie sklasyfikowanych radioźródeł. Co jest warte podkreślenia, tworząc katalog ROGUE zidentyfikowaliśmy wszystkie detekcje z katalogów FIRST i NVSS, które razem tworzą fizycznie związane źródło. Zadanie to jest wymagające i czasochłonne, ale identyfikacja manualna ma w tym względzie przewagę nad identyfikacją automatyczną, która nie zawsze daje poprawne wyniki.

Ważnym wynikiem naszej klasyfikacji jest to, że **większość źródeł** a katalogu ROGUE, dokładnie 29,237 galaktyk, **ma morfologię zwartą lub tylko nieznacznie rozciąglą**. Kolejne **2503 obiekty mają morfologię rozciąglą**. Pozostałe 876 źródeł zostały zidentyfikowane jako obszary powstawania gwiazd, obiekty połączone (z innym leżącym blisko na sferze niebieskiej źródłem), albo niezdetektowane (galaktyka optyczna i zidentyfikowana emisja radiowa nie są



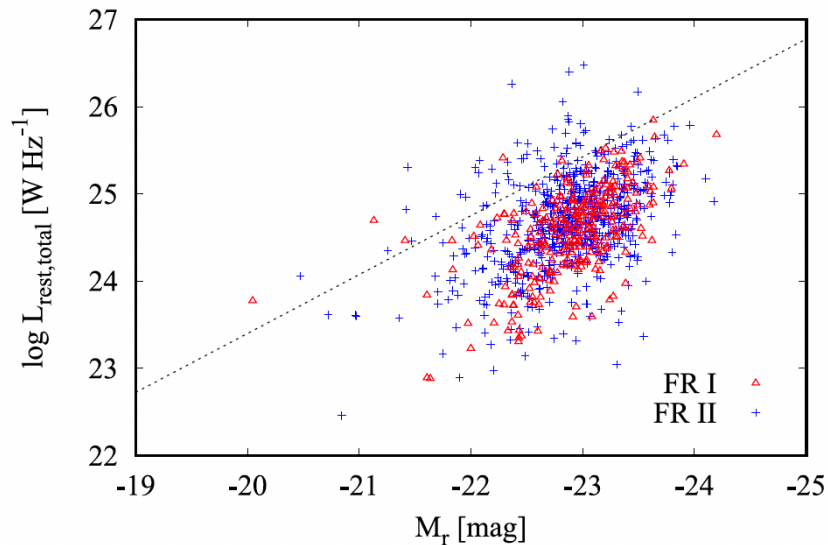
Rys 7. Przykłady morfologii radiowych przypisanych źródłom z katalogu ROGUE I. Kontury radiowe z przeglądu FIRST pokazane są w kolorze czerwonym, a z przeglądu NVSS w kolorze czarnym. W tle widoczny jest optyczny obrazek z DSS (Kozień-Wierzbowska et al. 2020).

fizycznie związane). W grupie źródeł rozciągniętych największą grupę (~77%) stanowią źródła o morfologiach FR. Źródła o wygiętej strukturze tworzą grupę 20% rozciągniętych źródeł, a źródła podwójno-podwójne, X-shaped, Z-shaped stanowią ~3%. Liczby te zawierają łącznie źródła o pewnej i niepewnej klasyfikacji.

W kontekście klasyfikacji morfologicznej galaktyki macierzystej **większość galaktyk to galaktyki eliptyczne** (~60%), galaktyki spiralne stanowią ok. 16%, zaburzone ~12% a soczewkowate ~7%. Pozostałe ~5% to galaktyki zderzające się, pierścieniowe, oddziałujące oraz z poprzeczką.

W próbie ROGUE I około 2% radiogalaktyk z rozciągniętą strukturą radiową jest zidentyfikowana z galaktykami spiralnymi, zaburzonymi lub soczewkowatymi. Jak się można było spodziewać pozostałe radiogalaktyki rozciągnięte są zidentyfikowane z galaktykami eliptycznymi.

Porównując jasności radiowe rozciągniętych radiogalaktyk z różnymi morfologiami FR zauważyliśmy, że jasności źródeł FRI i FR II na 1.4 GHz w naszej próbie są porównywalne (Rys. 8). Jest to dość zaskakujący wynik, gdyż galaktyki FR II są uważane za jaśniejsze. Diagram Ledlowa-Owena (Ledlow & Owen, 1996) dla radioźródeł FRI i FR II z katalogu ROGUE pokazuje, że większość źródeł FR II znajduje się poniżej oryginalnej linii dzielącej te dwie klasy obiektów, tj. są to głównie źródła słabe radiowo. Jest to interesujący wynik, zgodny z wynikami uzyskanymi w przeglądzie LOFAR (Mingo et al. 2019) i pokazujący, że **w przeglądach o niskim poziomie detekcji radiowej populacja źródeł FR II o małych jasnościach jest znacząca**.



Rys 8. Rozkład jasności radiowej na częstotliwości 1.4 GHz vs. jasność absolutna, M_r dla źródeł FRI (269 źródeł; czerwone trójkąty) i FR II (730 źródeł; niebieskie krzyże) z katalogu ROGUE I (Kozieł-Wierzbowska et al. 2020).

Dokładna klasyfikacja radioźródeł pozwoliła na identyfikację nowych obiektów jak gigantyczne radioźródła lub źródeł z nieklasycznymi morfologiami jak X- lub Z-shaped czy galaktyki podwójno-podwójne. W przeglądach tak już dobrze przebadanych jak NVSS i FIRST byliśmy w stanie zidentyfikować 33 nowe gigantyczne radiogalaktyki i dodatkowych 22 kandydatów na „giganty”, 4 nowe źródła podwójno-podwójne i kolejnych 12 kandydatów, 3

potwierdzone i 6 kandydatów na źródła X-shaped, oraz 18 potwierdzonych i 7 kandydatów na źródła Z-shaped.

W projekcie ROGUE jestem pomysłodawcą, organizatorem prac i głównym wykonawcą. Do moich zadań należało przygotowanie listy optycznych galaktyk, weryfikacja identyfikacji automatycznej, ustalenie schematów klasyfikacji, generowaniu map radiowych, przeprowadzenie części klasyfikacji i łącznie z Natalią Żywucką jej weryfikacja, przygotowanie statystyk, porównań z innymi katalogami i przygotowanie manuskryptu. Jestem także autorem korespondencyjnym. Arti Goyal brała udział w ustalaniu ostatecznego schematu klasyfikacji radiowej, identyfikacji automatycznej źródeł radiowych z FIRST z galaktykami optycznymi oraz uczestniczyła w niektórych etapach klasyfikacji. Natalia Żywucka brała udział w klasyfikacji radiowej i optycznej źródeł, generowaniu wykresów i tworzeniu list nowych źródeł. Obie współautorki brały udział w dyskusji i tworzeniu części tekstu.

[H5]

Jednym z bardziej wymagających zadań w analizie i badaniu dużych katalogów źródeł radiowych jest podział tych źródeł na te zasilane przez AGN oraz te z emisją radiową związaną z obszarami powstawania gwiazd. Podczas gdy galaktyki z rozciągniętą strukturą są niezaprzeczalnie zasilane przez AGN, tak w radioźródłach o zwartej strukturze pytanie o źródło emisji radiowej nie jest trywialne. Katalog ROGUE został opublikowany bez wskazania źródła emisji radiowej poszczególnych obiektów. W wielu publikacjach (jak np. Best & Heckman, 2012; Sabater et al. 2019) do rozdzielenia emisji radiowej pochodzącej z tych dwóch procesów używano kombinacji różnych kryteriów. Celem niniejszej pracy było znalezienie prostej metody do rozróżnienia emisji radiowej pochodzącej od AGN-u od tej związanej z aktywnością gwiazdotwórczą. Zaproponowaliśmy więc dwie metody, które mogą być stosowane niezależnie od siebie w zależności od dostępności danych.

Podstawą pierwszej metody jest dobrze znana korelacja pomiędzy jasnością radiową a jasnością w dalekiej podczerwieni odkryta dla normalnych galaktyk z aktywnością gwiazdotwórczą (np. Condon 1992, Wang et al. 2019). Emisja radiowa w tych galaktykach zawiera emisję swobodno-swobodną z regionów HII oraz z promieniowania synchrotronowego z pozostałości po supernowych zatem niesie informację o populacjach gwiazdowych młodszych niż ok. 10^8 lat. Z drugiej strony emisja w dalekiej podczerwieni mierzy jasność bolometryczną masywnych gwiazd re-emitowane przez pył międzygwiazdowy. Stąd oczekuje się, że obserwowana emisja w zakresie radiowym i dalekiej podczerwieni będą ze sobą ściśle połączone. Niestety, brak jest danych w dalekiej podczerwieni wystarczająco głębokich i dostępnych dla dużego fragmentu nieba, które można by było użyć do charakterystyki galaktyk ROGUE. Jednakże, istnieją przeglądy w średniej podczerwieni jak AKARI (Murakami et al. 2007) czy WISE (Wright et al. 2010), które można użyć do tego celu. Rosario et al. (2013) użyli danych z WISE aby pokazać, że dla AGN-ów wyselekcjonowanych z SDSS, i posiadających linie emisyjne, diagram jasność W3 versus jasność na 1.4 GHz ma dwie gałęzie. Wymienieni autorzy wskazali, że diagram taki może być użyty jako narzędzie do badania procesów gwiazdotwórczych i procesów akrecji w AGN-ach. Diagram ten został także użyty przez Mingo et al. (2016) do badania własności gwiazdotwórczych w próbce AGN-ów wyselekcjonowanych z danych radiowych i rentgenowskich.

Wraz z współautorami zaproponowaliśmy jeszcze prostszą wersję tego diagramu, który nazwaliśmy **diagramem MIRAD** (z ang. MId-infrared vs RADio), w którym wykorzystaliśmy

gęstość strumienia w paśmie W3 oraz radiowym 1.4 GHz. Na diagramie tym widać dwie rodziny obiektów z galaktykami formującymi gwiazdy na górnej gałęzi. Sprawdziliśmy kilka kryteriów podziału AGN-ów radiowych i galaktyk formujących gwiazdy, ale ponieważ żaden z nich nie był bardziej odpowiedni od innych przyjęliśmy najprostszą linię tj. $F_{W3} = F_{1.4GHz}$. Co ciekawe, to samo kryterium rozdziela radiowo głośne oraz radiowo ciche AGN-y w próbie AGN-ów wyselekcjonowanych z katalogu Swift/BAT (Rusinek et al. 2020). Wśród 23,294 galaktyk z ROGUE I, które mają użyteczne dane w przeglądzie WISE, 10,995 jest radiowymi AGN-ami. Ponieważ katalog ROGUE zawiera bliskie galaktyki (przesunięcie ku czerwieni $< \sim 0.5$) używamy tego diagramu w płaszczyźnie gęstości strumienia. Jednakże, dla próbek z większego zakresu odległości może być użyta wersja z jasnościami po zastosowaniu do nich korekcji K.

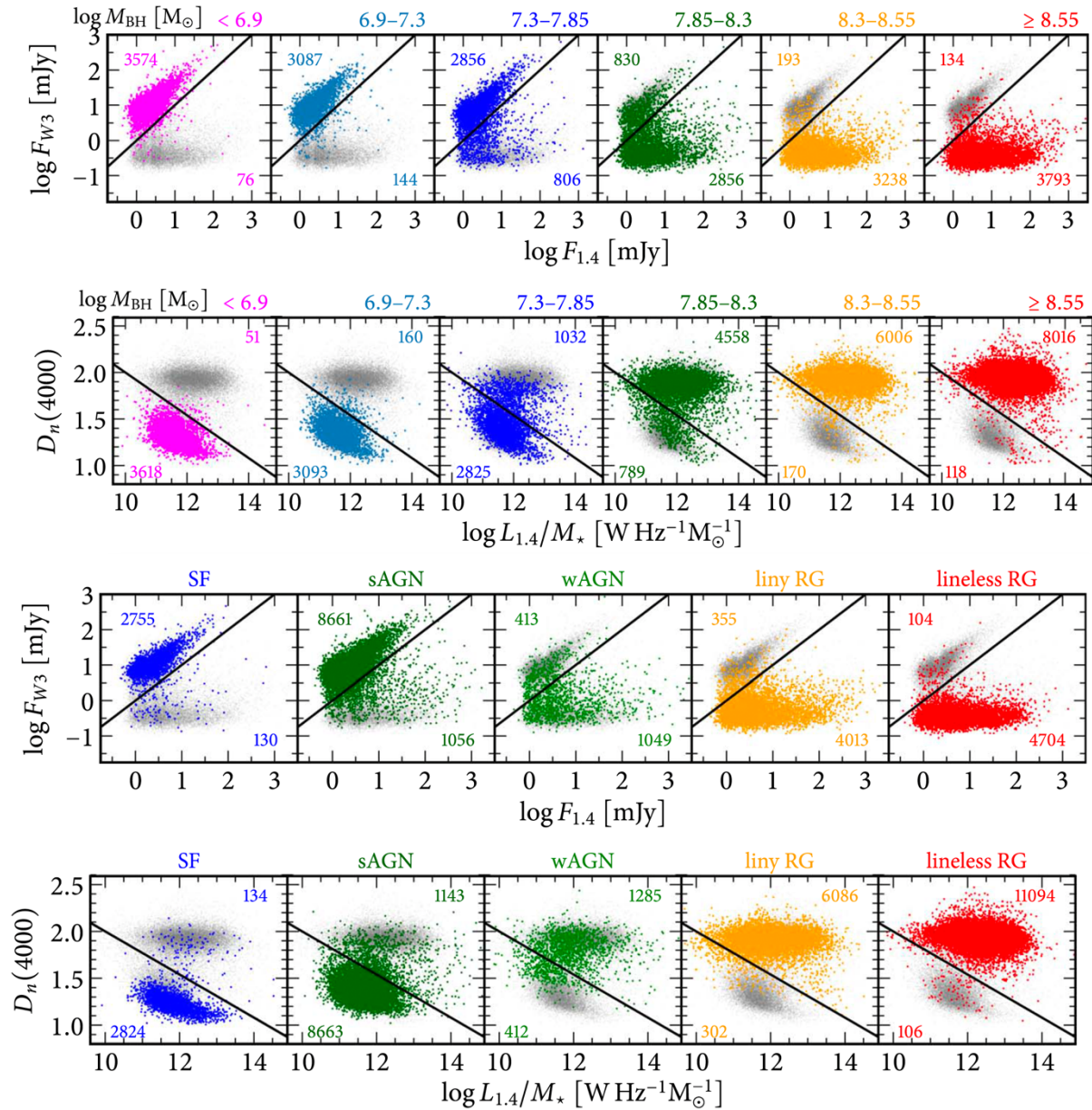
Alternatywnym diagramem, który zbadaliśmy oraz proponujemy do separowania galaktyk formujących gwiazdy of AGN-ów radiowych jest używany już poprzednio diagram $D_n(4000)$ vs $L_{1.4}/M^*$ (**DLM**). Może on być używany z galaktykami ROGUE I gdyż dla wszystkich galaktyk z tego katalogu dostępne są wartości $D_n(4000)$ oraz M^* z bazy Starlight. Może on być także używany do obiektów, dla których pomiary W3 nie są dostępne. Dla tego diagramu proponujemy linię, która jest jak najbardziej kompatybilna z podziałem na diagramie MIRAD. Do jej znalezienia użyliśmy kryterium jakości (Baldry et al. 2004), który jest iloczynem frakcji galaktyk zaklasyfikowanych jako formujące gwiazdy w diagramie MIRAD, które są tak samo zaklasyfikowane w diagramie DLM, C_{SF} , frakcji galaktyk sklasyfikowanych jako formujące gwiazdy w diagramie DLM i tak samo sklasyfikowane w diagramie MIRAD, R_{SF} , oraz kompletności C_{AGN} oraz wiarygodności R_{AGN} podobnie zdefiniowanych, ale dla AGN-ów radiowych, $P = C_{SF}R_{SF}C_{AGN}R_{AGN}$. Także tutaj użyliśmy źródeł FRI i FRII oraz galaktyk formujących gwiazdy z diagramu BPT by zdefiniować podział, oraz zaproponowaliśmy linię $D_n(4000) = -0.23 L_{1.4}/M^* + 4.3$, która daje największą wartość P.

W katalogu ROGUE I najbardziej ograniczone są dane z przeglądu WISE i gęstości strumienia w W3. Wiele radiowych AGN-ów ma W3 poniżej limitu detekcji WISE i nie może być sklasyfikowanych z użyciem diagramu MIRAD. W ROGUE stosunek liczby radiowych AGN-ów do galaktyk formujących gwiazdy wynosi 1.61 dla podziału przy użyciu diagramu DLM, oraz 0.89 gdy użyje się do tego celu diagramu MIRAD. Pokazuje to, że przez ograniczenia obserwacyjne diagram MIRAD podaje zafałszowane całkowite ilości AGN-ów radiowych wśród radiowo zdetektowanych galaktyk.

Używając diagramów MIRAD oraz DLM zademonstrowaliśmy zmianę frakcji radiowych AGN-ów z rosnącą masą czarnej dziury (Dunlop et al. 2003). Obydwa diagramy wskazują, że **radiowe AGN-y znajdują się preferencyjnie w galaktykach z czarnymi dziurami o masach większych niż $M^{7.8} M_{Sun}$** co jest zgodne z wcześniejszymi badaniami pokazującymi, że ilość radiowo głośnych AGN-ów rośnie gwałtownie w galaktykach z masami czarnych dziur masywniejszymi niż około $10^8 M_{Sun}$.

Używając diagramów MIRAD i DLM pokazaliśmy także jakie morfologie optyczne mają galaktyki macierzyste tych dwóch klas emiterów radiowych. Pokazaliśmy, że znakomita większość radiowych AGN-ów to galaktyki eliptyczne. Galaktyki późniejszy typów morfologicznych lokują się na górnej gałęzi na diagramie MIRAD. Galaktyki ze śladami oddziaływania także leżą głównie na górnej gałęzi co pokazuje, że ich emisja jest związana z procesami gwiazdotwórczymi. Jednakże, około 13% tych galaktyk leży na dolnej gałęzi co jest zgodne z hipotezą, że znaczna część radiowych AGN-ów jest identyfikowana z galaktykami mergerami (np. Chiaberge et al. 2015).

Diagramy MIRAD i DLA mogą być użyte do zbadania źródła emisji radiowej w pięciu kategoriach galaktyk zdefiniowanych w pracy Cid Fernandes et al. (2011) czyli galaktykami formującymi gwiazdy, silne AGN-y (optyczne), słabe AGN-y, galaktyki „w spoczynku” z liniami emisyjnymi, oraz galaktyki „w spoczynku” bez linii emisyjnych. Jak można oczekiwać w galaktykach formujących gwiazdy emisja radiowa prawie w każdym wypadku pochodzi z procesów gwiazdotwórczych. Także w znacznej części silnych AGN-ów optycznych emisja radiowa pochodzi z procesów gwiazdotwórczych, a jedynie około 11% tych obiektów to radiowe AGN-y. Natomiast populacja radiowych AGN-ów dominuje wśród słabych AGN-ów optycznych a ich ilość jest jeszcze większa wśród galaktyk „w spoczynku”.



Rys 9. Diagramy MIRAD i DLM w przedziałach masy czarnej dziury (dwa górne panele) oraz z różnymi klasyfikacjami widmowymi z diagramu WHAN (dwa dolne panele). Wszystkie źródła z próbek ROGUE I–WISE pokazane są jako szare punkty. Liczby na diagramach pokazują ilości obiektów w poszczególnych rejonach (Kozieł-Wierzbowska et al. 2021)

W tej publikacji pokazaliśmy, że istnieją proste metody odsiania galaktyk formujących gwiazdy od radiowych AGN-ów w katalogach radioźródeł. Użycie tylko jednej metody znacznie ułatwia zrozumienie i ocenienie zafałszowań wprowadzonych przez selekcję w próbce. Używając dwóch narzędzi, które mogą być używane niezależnie od siebie i są tak samo efektywne, pokazujemy, że w próbce wyselekcjonowanej z katalogu spektroskopowego SDSS i przeglądów radiowych NVSS/FIRST, radiowe AGN-y są głównie znajdowane w galaktykach z najmasywniejszymi czarnymi dziurami, są zidentyfikowane z galaktykami eliptycznymi i są głównie słabymi optycznie AGN-ami lub galaktykami które przestały formować gwiazdy i są jonizowane przez fotony z gorących, mało masywnych i wyewoluowanych gwiazd, a emisja w $H\alpha$ nie estymuje jasności bolometrycznej AGN-u.

W niniejszej publikacji byłam pomysłodawcą projektu i użycia diagramu MIRAD do rozdzielania obiektów z różnym źródłem emisji radiowej. Mój wkład polegał także na zbadaniu rozkładu obiektów o różnych własnościach na diagramach DLM i MIRAD, jak masa czarnej dziury, morfologie radiowe i optyczne. Brałam dominujący udział w dyskusji wyników oraz powstawaniu manuskryptu. Byłam także autorem korespondencyjnym. Natalia Vale Asari włączyła się poprzez zaproponowanie metody znajdowania najlepszej separacji obiektów na obu diagramach, analizie danych oraz dyskusję i napisanie części tekstu. Grażyna Stasińska zaproponowała użycie diagramu DLM w uzupełnieniu do diagramu MIRAD, brała udział w dyskusji oraz powstaniu tekstu. Fabio Herpich włączył się poprzez przygotowanie danych W3 co także opisał w manuskrypcie. Marek Sikora brał udział w dyskusji i interpretacji teoretycznej. Natalia Żywucka brała udział w kompletowaniu literatury oraz Arti Goyal włączyła się do dyskusji wyników projektu.

Podsumowanie

Przedstawiłam pięć publikacji, w których wraz ze współautorami zajmowałam się analizą wieloczęstotliwościowych danych AGN-ów aktywnych radiowo. W naszych badaniach użyliśmy szeregu różnych metod i dużych próbek obiektów by przetestować znane jak i zaproponowane przez nas hipotezy dotyczące AGN-ów, głównie z dżetami radiowymi, oraz zbadać własności galaktyk macierzystych i linii emisyjnych w radioźródłach o różnych morfologiach radiowych. Dodatkowo, zaprezentowaliśmy listy obiektów radiowych, które są już dostępne publicznie, i które mogą być użyte do dalszych badań radiogalaktyk.

Wyniki mogę podsumować jako:

- a. Pokazałam, że radiogalaktyki FR II mogą mieć jasności radiowe z szerokiego zakresu wartości. Znalazłam, że galaktyki FR II pokazują continuum własności w zależności od parametru Eddingtona, a źródła z gorącymi plamami mają największe wartości $P_{1.4}/MBH$. Pokazałam także, że radiogalaktyki FR II tworzą niejednorodną grupę pod względem własności linii emisyjnych oraz że struktury FR II znajdowane są w galaktykach eliptycznych, preferencyjnie w tych o największych masach.
- b. Zaprezentowałam nowo odkryte radioźródło CGCG292-057 mające własności źródła podwójno-podwójnego, co jest oznaką wznowienia aktywności radiowej źródła, oraz źródła o morfologii X-shaped, co jest wynikiem przeorientowania dżetu. Dodatkowo radioźródło to jest zidentyfikowane z galaktyką wykazującą oznaki przebytego zderzenia co może tłumaczyć skomplikowaną strukturę radiową źródła.
- c. Pokazałam, że radiowo głośne i radiowo ciche galaktyki sparowane we własnościach AGN-u różnią się typem morfologicznym co świadczy o tym, że efektywność produkcji dżetów nie jest zdeterminowana tylko parametrem Eddingtona i masą czarnej dziury.

Różna efektywność produkcji dżetów jest zdeterminowana także przez ilość pola magnetycznego skumulowanego w AGN-ie i/lub przez spin czarnej dziury.

- d. Zaprezentowałam katalog radiogalaktyk z optycznego przeglądu SDSS i radiowych przeglądów FIRST i NVSS, które mają znane spektroskopowe przesunięcia ku czerwieni, wyznaczone gęstości strumienia na częstotliwości 1.4GHz oraz przypisane optyczne i radiowe klasyfikacje morfologiczne.
- e. Przedstawiłam dwie metody separacji radioźródeł o różnym pochodzeniu emisji radiowej. Pokazałam także, że radiowe AGN-y identyfikowane są głównie z galaktykami eliptycznymi o czarnych dziurach bardziej masywnymi niż $10^{7.8} M_{\text{Sun}}$. Dodatkowo pokazałam jakie są źródła emisji radiowej w słabych i silnych optycznych AGN-ach.

Literatura

- Abazajian K. N. et al. 2009, ApJS, 182, 543
Baldry, I. K., Glazebrook, K., Brinkmann, J., et al. 2004, ApJ, 600, 681
Baldwin J. A., Phillips M. M., Terlevich R. 1981, PASP, 93, 5
Becker R. H., White R. L., Helfand D. J. 1995, ApJ, 450, 559
Best, P. N., & Heckman, T. M. 2012, MNRAS, 421, 1569
Best P. N., Kauffmann G., Heckman T. M., Ivezić Z. 2005, MNRAS, 362, 9
Blandford, R., Meier, D., & Readhead, A. 2019, ARA&A, 57, 467
Blandford, R. D., & Znajek, R. L. 1977, MNRAS, 179, 433
Cheung C. C. 2007, AJ, 133, 2097
Chiaberge, M., Gilli, R., Lotz, J. M., & Norman, C. 2015, ApJ, 806, 147
Cid Fernandes R., Mateus A., Sodre L., Stasińska G., Gomes J. M. 2005, MNRAS, 358, 363
Cid Fernandes R. et al. 2009, Rev. Mex. Astron. Astrofis., 35, 127
Cid Fernandes R., Stasińska G., Schlickmann M. S., Mateus A., Vale Asari N., Schoenell W., Sodre L. 2010, MNRAS, 403, 1036
Cid Fernandes, R., Stasińska, G., Mateus, A., & Vale Asari, N. 2011, MNRAS, 413, 1687
Condon, J. J. 1992, ARA&A, 30, 575
Condon J. J., Cotton W. D., Greisen E. W., Yin Q. F., Perley R. A., Taylor G. B., Broderick J. J., 1998, AJ, 115, 1693
Dennett-Thorpe J., Scheuer P. A. G., Laing R. A., Bridle A. H., Pooley G., G., Reich W. 2002, MNRAS, 330, 609
Dunlop, J. S., McLure, R. J., Kukula, M. J., et al. 2003, MNRAS, 340, 1095
Eisenstein, D. J., Annis, J., Gunn, J. E., et al. 2001, AJ, 122, 2267
Fanaroff, B. L., & Riley, J. M. 1974, MNRAS, 167, 31P
Ferrarese, L., & Merritt, D. 2000, ApJL, 539, L9
Hardcastle M. J., Alexander P., Pooley G. G., Riley J. M. 1998, MNRAS, 296, 445
Hine R. G., Longair M. S. 1979, MNRAS, 188, 111
Janda K., 2006, MSc Dissertation, Jagiellonian University, Krakow
Kaiser C. R., Schoenmakers A. P., Rottgering H. J. A., 2000, MNRAS, 315, 381
Kauffmann G., & Heckman T. M. 2009, MNRAS, 397, 135
Kellermann K.I., Condon J.J., Kimball A.E., Perley R.A., Ivezić, Z. 2016, ApJ, 831, 168
Kormendy, J., & Ho, L. C. 2013, ARA&A, 51, 511
Kozieł-Wierzbowska, D., & Stasińska, G. 2011, MNRAS, 415, 1013
Kozieł-Wierzbowska, D., Jamroz M., Zola S., Stachowski G., Kuźmich A., 2012, MNRAS, 422, 1546
Kozieł-Wierzbowska, D., Vale Asari, N., Stasińska, G., et al. 2017, ApJ, 846, 42

Kozieł-Wierzbowska, D., Goyal, A., & Żywucka, N. 2020, *ApJS*, 247, 53
 Kozieł-Wierzbowska, D., Vale Asari, N., Stasinska, G., et al. 2021, *ApJ*, 910, 64
 Lal D. V., Rao A. P., 2005, *MNRAS*, 356, 232
 Lal D. V., Rao A. P., 2007, *MNRAS*, 374, 1085
 Leahy J. P., Parma P., 1992, in Roland J., Sol H., Pelletier G., eds, *Extragalactic Radio Sources*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, p. 307
 Ledlow, M. J., & Owen, F. N. 1996, *AJ*, 112, 9
 Lintott, C., Schawinski, K., Bamford, S., et al. 2011, *MNRAS*, 410, 166
 Lintott, C. J., Schawinski, K., Slosar, A., et al. 2008, *MNRAS*, 389, 1179
 Machalski, J., Kozieł-Wierzbowska, D., Jamroz, M., 2007, *Acta Astron.*, 57, 227
 Marecki A., & Swoboda B. 2011, *A&A*, 525, A6
 Mingo, B., Watson, M. G., Rosen, S. R., et al. 2016, *MNRAS*, 462, 2631
 Mingo, B., Croston, J. H., Hardcastle, M. J., et al. 2019, *MNRAS*, 488, 2701
 Murakami, H., Baba, H., Barthel, P., et al. 2007, *PASJ*, 59, S369
 Padovani, P., Alexander, D. M., Assef, R. J., et al. 2017, *A&ARv*, 25, 2
 Rawlings S., Saunders R., Eales S. A., Mackay C. D., 1989, *MNRAS*, 240, 701
 Rengelink R. B., Tang Y., de Bruyn A. G., Miley G. K., Bremer M. N., Rottgering H. J. A., Bremer M. A. R. 1997, *A&AS*, 124, 259
 Rosario, D. J., Burtscher, L., Davies, R., et al. 2013, *ApJ*, 778, 94
 Rusinek, K., Sikora, M., Kozieł-Wierzbowska, D., & Gupta, M. 2020, *ApJ*, 900, 125
 Sabater, J., Best, P. N., Hardcastle, M. J., et al. 2019, *A&A*, 622, A17
 Saripalli L., Subrahmanyam R. 2009, *ApJ*, 695, 156
 Schoenmakers A. P., de Bruyn A. G., Rottgering H. J. A., van der Laan H., Kaiser C. R. 2000, *MNRAS*, 315, 371
 Shimasaku K. et al. 2001, *AJ*, 122, 1238
 Strateva I. et al. 2001, *AJ*, 122, 1861
 Strauss, M. A., Weinberg, D. H., Lupton, R. H., et al. 2002, *AJ*, 124, 1810
 Tremaine S. et al. 2002, *ApJ*, 574, 740
 Wang, L., Gao, F., Duncan, K. J., et al. 2019, *A&A*, 631, A109
 Wright, E. L., Eisenhardt, P. R. M., Mainzer, A. K., et al. 2010, *AJ*, 140, 1868
 Zakamska, N. L., Lampayan, K., Petric, A., et al. 2016, *MNRAS*, 455, 4191

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.
 - a. Doświadczenie naukowe w zakresie organizacji pracy, nawiązywania współpracy naukowej, realizowania projektów badawczych zdobywałam w trakcie krótkoterminowych wyjazdów odbywanych we współpracy z **LUTH, Observatoire de Paris, Meudon we Francji**. W latach 2007 – 2013 wyjazdy od 2 do 6 tygodniowe odbywały się zwykle dwa razy w roku. W roku 2016 odbył się dodatkowy dwutygodniowy wyjazd. W 2003 roku odbyłam miesięczny staż w **Max Planck Institute for Radioastronomy**, Bohn, Niemcy.
 - b. Wyjazdy do **CAMK, Warszawa**, w ramach pracy w projekcie grantowym NCN kierowanym przez prof. dr hab. Marka Sikorę.

- c. Organizacja spotkań naukowych odbywających się w Krakowie, Warszawie i Paryżu w ramach projektów naukowych finansowanych z projektów **NCN** oraz w ramach współpracy polsko-francuskiej **HECOLS, LEA Astro-PF**.
 - d. Prowadzenie **projektów obserwacyjnych** przy użyciu instrumentów radiowych: VLA, LOFAR, GMRT, optycznych: VLT, WHT, Subaru, SALT oraz szeregu mniejszych teleskopów, rentgenowskich: Chandra.
 - e. Kierownik aktywnego projektu grantowego **NCN OPUS**, oraz kierownik i wykonawca w sześciu zakończonych już projektach NCN/MNiSW.
 - f. Jestem kierownikiem **projektu ROGUE** (www.rogue.oa.uj.edu.pl) , w którym razem z zespołem katalogujemy źródła radiowe zidentyfikowane z galaktykami (ROGUE I – opublikowany, część niniejszego wniosku, i ROGUE II – przygotowane do publikacji) i kwazarami (ROGUE III – w przygotowaniu) z przeglądu SDSS DR7.
 - g. Jestem recenzentem w **Astrophysical Journal, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Astronomy & Astrophysics**. Recenzuję średnio dwa artykuły rocznie.
 - h. Badanie radioźródeł w gromadach galaktyk (Stawarz et al. 2014; Hagino et al. 2015) oraz identyfikacja źródeł rentgenowskich (Hill et al. 2011)
 - i. Prowadzenie obserwacji astronomicznych we współpracy z Obserwatorium Suhora, Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie, współpraca ciągła od 1999 do 2013 roku (Nasiroglu et al. 2017; Baran et al. 2013; Siwak et al. 2012; Krzesinski et al. 2012; Siwak et al. 2010; Baran et al. 2009, oraz wcześniejsze prace).
 - j. Udział w kampaniach obserwacyjnych projektu the Whole Earth Telescope (Bischoff-Kim et al. 2019; Thompson et al. 2010; Provencal et al. 2009, oraz wcześniejsze prace).
 - k. Badanie ciasnych układów podwójnych (Gazeas et al. 2021; Zola et al. 2010, oraz wcześniejsze prace)
 - l. Badanie zmienności blazarów i kwazarów (Goyal et al. 2018; Bhatta et al. 2018; Pihajoki et al. 2013; Villforth et al. 2010; Valtonen et al. 2009, oraz wcześniejsze prace)
 - m. Udział w badaniach ekstremalnie młodych radioźródeł (Wołowska et al. 2021a; Wołowska et al. 2021b; Kosmaczewski et al. 2021; Kosmaczewski et al. 2020)
 - n. Badania modeli produkcji dżetów w różnych typach AGN-ów (Rusinek et al. 2020; Rusinek et al. 2017; Sikora et al. 2013)
 - o. Badania dynamicznej ewolucji radioźródeł (Machalski, Kozieł-Wierzbowska, Goyal, 2021; Machalski et al. 2011; Kuligowska et al. 2009, oraz wcześniejsze prace)
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.
- 1. **Prowadzenie zajęć dydaktycznych** (m.in. Astrofizyka obserwacyjna, Astronomia Gwiazdowa i Pozagalaktyczna, Statystyka, Współczesne Metody Obserwacji) w

wymiarze 210 godzin rocznie (nie wlicza się w to okresów urlopu macierzyńskiego/rodzicielskiego). W ankietach studenckich uzyskałam wysokie i bardzo wysokie oceny zajęć. W 2017 zostałam za to wyróżniona nagrodą Rektora UJ.

2. W latach 2009-2023 prowadziłam **3 prace licencjackie oraz 3 prace magisterskie**. Jedna interdyscyplinarna praca magisterska została napisana przez studenta Zakładu Informatyki Stosowanej FAIS UJ. Prowadzone są badania do kolejnej pracy magisterskiej. Byłam recenzentem kilku prac licencjackich oraz magisterskich, a także brałam udział w komisjach egzaminacyjnych w egzaminach licencjackich.
3. Współpracowałam z dr hab. Zdzisławem Goldą nad wdrożeniem **Krajowych Ram Kwalifikacji** oraz przygotowaniem programu i efektów kształcenia na kierunku Astronomia w OA UJ, 2011
4. Jestem członkiem **Rady Programowej** na kierunku Astronomia, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ.
5. Do 2020 roku byłam **przedstawicielem** niesamodzielnych nauczycieli akademickich do **Rady Obserwatorium Astronomicznego UJ**.
6. Do 2020 roku byłam **przedstawicielem** niesamodzielnych nauczycieli akademickich do **Rady Wydziału FAIS UJ**.
7. Jestem członkiem **Komisji Rewizyjnej Polskiego Towarzystwa Astronomicznego** na lata 2021-2025, członkiem Europejskiego Towarzystwa Astronomicznego oraz stowarzyszenia Astronomia Nova.
8. **Organizacja konferencji:**
 - a. From the land of salt to the heavens of SALT, workshop, 2007, **LOC**
 - b. *Understanding Relativistic Jets*, Kraków, 2011, **LOC**
 - c. *Astronomia w Krakowie wczoraj - dziś – jutro*, Kraków 17.05.2014, **LOC**
 - d. *Relativistic Jets: Creation, Dynamics, and Internal Physics*, Kraków 20-24.04.2015, **LOC**
 - e. Zjazd Europejskiego Towarzystwa Astronomicznego, EAS2023, Kraków, 10-14 lipca 2023, **chair of the Hosting Committee, SOC**
 - f. Udział w panelu dyskusyjnym w ramach konferencji „The 3C Extragalactic Radio Sky: Legacy of the Third Cambridge Catalogue”, Turyn, Włochy, 16-20 września 2019
9. Byłam w jury 5 **Międzynarodowej Olimpiady Astronomii i Astrofizyki**, 2011.

10. Byłam w jury **Ogólnopolskiego Młodzieżowego Seminarium Astronomicznego** w 2022 roku oraz w etapie wojewódzkim organizowanym przez MOA Niepołomice w 2022 oraz 2023.
 11. Opublikowałam artykuł popularnonaukowy pt. *Radio „giant”. The origin of the largest object in the Universe has been uncovered*, **Atomium Culture**, 2010-2011
 12. **Prowadziłam wykłady** w ramach Wieczorów z Gwiazdami w OA UJ, Uniwersytetu Trzeciego Wieku UJ, festiwali nauki w szkołach w województwie małopolskim (Kraków, Zielonki).
 13. Jestem **sekretarzem Zakładu** Astronomii Gwiazdowej i Pozagalaktycznej, Obserwatorium Astronomiczne UJ.
 14. Prowadzę kronikę uczestników **Seminarium** Piątkowego OA UJ.
7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

W trakcie pracy naukowej wygłosiłam szereg seminariów w ośrodkach krajowych takich jak m.in. OA UJ, CAMK Warszawa, UMK Toruń, Uniwersytet Jana Długosza w Częstochowie.

.....
(podpis wnioskodawcy)