

„Siegają tam, gdzie wzrok nie sięga” - kamień milowy w rozwoju światowej radioastronomii!

W europejskim czasopiśmie *Astronomy & Astrophysics* został właśnie opublikowany artykuł opisujący największy i najbardziej szczegółowy radiowy przegląd nieba. W gronie badaczy (m.in. z Holandii, Niemiec, Francji, Wielkiej Brytanii, Włoch, Szwecji, Irlandii, Łotwy czy Bułgarii) zaangażowanych w ten wyjątkowy na skalę światową projekt są astronomowie z Polski!

Międzynarodowa grupa naukowców przy użyciu radioteleskopu Low Frequency Array (LOFAR) stworzyła niezwykle szczegółową radiową mapę Wszechświata. Jest ona kompletna jak nigdy dotąd! Obrazuje aż 13,7 miliona galaktyk aktywnych i ujawnia położenia związanych z nimi supermasywnych czarnych dziur oraz niezwykle różnorodność zasilanych przez nie układów, których emisja radiowa może rozciągać się na miliony lat świetlnych. Opublikowany przegląd *LOFAR Two-metre Sky Survey (LoTSS-DR3)* jest przykładem doskonałej międzynarodowej współpracy naukowej.

Obserwacje nieba na niskich częstotliwościach radiowych ujawniają zupełnie inny obraz Wszechświata niż ten, który jest widoczny w zakresie światła odbieranego przez nasze oczy. Znaczna część emisji radiowej generowana jest przez naładowane relatywistyczne cząstki poruszające się w polu magnetycznym. Obserwacje radiowe pozwalają astronomom śledzić bardzo energetyczne zjawiska, takie jak wielkoskalowe skolimowane wypływy plazmy – dżety – emanujące z okolic supermasywnych czarnych dziur czy burzliwe procesy formowania gwiazd zachodzące w galaktykach w różnych epokach kosmologicznych.

Dzięki niezwyklej rozdzielczości kątowej, mapy LOFAR-a ujawniły również rzadkie i nieuchwytnie dotąd obiekty, w tym np. zlewające się gromady galaktyk, słabe pozostałości po wybuchach supernowych czy rozbłyski generowane przez gwiazdy. Te, głębokie jak jeszcze nigdy dotąd, mapy radiowe Wszechświata już teraz umożliwiły astronomom przeprowadzenie setek nowych analiz, dostarczając cennych informacji na temat powstawania i ewolucji struktur kosmicznych, przyspieszania cząstek do ekstremalnych energii oraz konfiguracji kosmicznych pól magnetycznych.

Dziesięć lat międzynarodowej współpracy

„Opublikowane dane są wynikiem ponad dziesięciu lat obserwacji, przetworzenia ogromnej ilości danych i wnikliwych analiz naukowych przeprowadzonych przez międzynarodowy zespół badaczy” – tłumaczy dr Timothy Shimwell, główny autor publikacji, astronom pracujący w Netherlands Institute for Radio Astronomy (ASTRON) oraz na Uniwersytecie w Lejdzie w Holandii.

Osiągnięcie to stanowi przykład modelowej współpracy w ramach Europejskiego Konsorcjum Infrastruktury Badawczej LOFAR (European Research Infrastructure Consortium LOFAR

ERIC), skupiającego ekspertów z Holandii, Niemiec, Francji, Wielkiej Brytanii, Polski, Włoch, Szwecji, Irlandii, Łotwy i Bułgarii. Unikalna konstrukcja interferometru LOFAR obejmuje 38 stacji w Holandii i 14 stacji międzynarodowych rozszaniach po całej Europie, przy czym najbardziej odległe są od siebie oddalone o prawie 2000 kilometrów, tworząc jeden z największych, najbardziej czułych i precyzyjnych radioteleskopów na świecie. „W Polsce działają trzy stacje interferometru LOFAR: w Borówcu koło Poznania, należąca do Centrum Badań Kosmicznych, w Bałdach koło Olsztyna, której właścicielem jest Uniwersytet Warmińsko-Mazurski oraz w Łazach koło Bochni, należąca do Uniwersytetu Jagiellońskiego” – wyjaśnia prof. Marek Jamroz z Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Przełomowe odkrycia

„Możemy analizować różne populacje supermasywnych czarnych dziur i generowanych przez nie wielkoskalowych wpływów na różnych etapach ich ewolucji. Badać, jak ich właściwości zależą nie tylko od parametrów samej czarnej dziury, ale także od własności galaktyki macierzystej i ośrodka, w którym się znajdują” – zauważa prof. Martin Hardcastle z Uniwersytetu Hertfordshire w Wielkiej Brytanii. Co więcej, pierwsze analizy pozwoliły już oszacować tempo formowania gwiazd w milionach galaktyk i prześledzić, jak ewoluowało ono na przestrzeni kolejnych epok kosmologicznych.

„Mapy LOFAR-a pozwalają na drobiazgową analizę ośrodka międzygwiazdowego w galaktykach. Ujawniają one konfigurację i natężenie pola magnetycznego oraz obecność relatywistycznych cząstek promieniowania kosmicznego” – mówi prof. Krzysztof Chyży z Uniwersytetu Jagiellońskiego.

„Badając gromady galaktyk, dostrzegamy wielkoskalowe fale szokowe oraz turbulencje powodujące przyspieszenie cząstek i wzmacnianie pola magnetycznego na obszarze milionów lat świetlnych - niespodziewanie, obserwujemy te zjawiska znacznie częściej niż wcześniej przewidywaliśmy” - dodaje dr Andrea Botteon z Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) w Bolonii we Włoszech.

Zebrane dane są dokładnie analizowane pod kątem rzadkich zjawisk astrofizycznych, a zespół badawczy odkrył już kilka z nich, w tym sporadyczne i zmienne źródła radiowe, nieznanie wcześniej pozostałości po supernowych, jedne z największych i najstarszych znanych radiogalaktyk oraz emisję radiową pochodzącą z oddziaływania planet pozasłonecznych z ich macierzystymi gwiazdami.

Innowacje techniczne

Przetwarzanie danych obserwacyjnych wymagało opracowania nowych technik, które precyzyjnie poprawiały poważne zniekształcenia sygnałów radiowych spowodowane przez obecność górnej warstwy atmosfery zawierającej naładowane cząstki - jonosfery Ziemi. By przetworzenie 13 000 godzin obserwacji było możliwe, analiza danych musiała zostać oparta na wydajnej automatyzacji i optymalizacji.

„Skala wyzwań związanych z oprogramowaniem była ogromna” – podkreśla dr Cyril Tasse z Obserwatorium Paryskiego we Francji, kierujący zespołem odpowiedzialnym za opracowanie algorytmów. „Projektowanie, udoskonalanie i optymalizacja algorytmów zajęły nam lata, ale teraz pozwalają nam one rutynowo uzyskiwać niezwykle ostre i szczegółowe obrazy nieba w zakresie fal radiowych o niskiej częstotliwości. Dane o dużej rozdzielczości

czasowej pozwalają na przykład na poszukiwanie zmiennych w czasie sygnałów generowanych przez gwiazdy posiadające planety”.

Dodatkowym wyzwaniem było wyodrębnienie danych z archiwów teleskopu i rozłożenie obciążenia obliczeniowego na wiele wysokowydajnych systemów komputerowo-obliczeniowych. „Ilość danych, z którymi mieliśmy do czynienia – łącznie 18,6 petabajtów – była ogromna i wymagała ciągłego przetwarzania i monitorowania przez wiele lat, wykorzystując ponad 20 milionów godzin pracy procesorów” – mówi dr Alexander Drabent z Obserwatorium w Turyngii w Niemczech.

Perspektywy na przyszłość

W związku z trwającą modernizacją teleskopu LOFAR do wersji LOFAR2.0, Konsorcjum planuje wykorzystać wyniki obecnego projektu (tzw. LoTSS-DR3), a także opracować algorytmy przetwarzania danych w taki sposób, aby podwoić ich prędkość pracy. Dodatkowo, najnowsze osiągnięcia w dziedzinie przetwarzania danych pozwolą na łatwiejsze tworzenie map na podstawie obserwacji radiowych o znacznie wyższej rozdzielczości, a to otworzy drzwi do jeszcze bardziej szczegółowych badań – dotychczas niedostępnych.

„LoTSS-DR3 nie jest zwieńczeniem badań, ale ważnym kamieniem milowym” – zauważa dr Wendy Williams z obserwatorium Square Kilometer Array Observatory. „Nowe instrumenty takie jak LOFAR2.0 pozwolą mapować Wszechświat na falach radiowych z jeszcze większą czułością i rozdzielczością, przenosząc obecne badania daleko w przyszłość”.

WIĘCEJ INFORMACJI O PROJEKCIE

DANE PUBLIKACJI

Tytuł: “The LOFAR Two-metre Sky Survey VII. Third Data Release”,

Autorzy: T.W. Shimwell, M. J. Hardcastle, C. Tasse, i inni

Czasopismo: Astronomy & Astrophysics, 2026

DOI: 10.1051/0004-6361/202557749

<https://doi.org/10.1051/0004-6361/202557749>

INSTYTUCJE ZAANGAŻOWANE W PROJEKT

Instytucja koordynująca badania LOFAR w Polsce:

POLFAR – Konsorcjum LOFAR w Polsce, im. Profesor Katarzyny Otmianowskiej-Mazur, stanowi dwanaście jednostek naukowo-badawczych: Uniwersytet Jagielloński, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Centrum Badań Kosmicznych PAN, Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe Instytutu Chemii Bioorganicznej PAN, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Uniwersytet Szczeciński, Uniwersytet Zielonogórski, Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Uniwersytet Wrocławski oraz Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Koordynatorem POLFAR jest prof. Andrzej Krankowski z Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego. Dane z trzech polskich stacji LOFAR są przesyłane do centrali w Holandii dedykowanymi światłowodami sieci PIONIER. Natomiast Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe dostarcza specjalistyczne usługi magazynowania i przetwarzania dużych ilości danych LOFAR-a.

Instytucja wiodąca LOFAR:

The Netherlands Research School for Astronomy (NOVA) is the alliance of the astronomical institutes of the universities of Amsterdam, Groningen, Leiden, and Nijmegen. The mission of Top Research School NOVA is to carry out frontline astronomical research in the Netherlands, to train young astronomers at the highest international level, and to share its new discoveries with society. The NOVA laboratories are specialised in building state-of-the-art optical/infrared and submillimetre instrumentation for the largest telescopes on earth.

NAUKOWCY Z POLSKI ZAANGAŻOWANI W BADANIA LoTSS DR3

Uniwersytet Jagielloński w Krakowie:

prof. dr hab. Krzysztof Chyży (ewolucja promieniowania kosmicznego i pól magnetycznych w galaktykach, emisja radiowa z ośrodka międzygwiazdowego)

dr hab. Marek Jamroz, prof. UJ (ewolucja czasowa oraz dynamiczna radiogalaktyk i obiektów wysokoenergetycznych)

dr Arpita Misra (wieloczęstotliwościowa i wielozakresowa ewolucja radiogalaktyk osobliwych)

dr Sagar Sethi (ewolucja dynamiczna gigantycznych radiogalaktyk)

Narodowe Centrum Badań Jądrowych:

dr Pratik Dabhade (ewolucja czasowa jasnych i gigantycznych radiogalaktyk, wpływ ich aktywności na otoczenie międzygwiazdowe i międzygalaktyczne, analiza populacyjna radiogalaktyk)

prof. dr hab. Katarzyna Małek (ewolucja galaktyk, badanie frakcji pyłowej ośrodka międzygwiazdowego, modelowanie widma energetycznego galaktyk, masowa klasyfikacja galaktyk)

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski:

dr hab. Marcin Hajduk, prof. UWM (badanie mgławic planetarnych, gwiazd typu post-AGB i układów symbiotycznych oraz obszarów formowania gwiazd)

dr Sagar Sethi (ewolucja dynamiczna gigantycznych radiogalaktyk; od 02.12.2025 pracownik naukowy UWM)

Centrum Fizyki Teoretycznej PAN:

dr hab. Maciej Bilicki, prof. CFT (masowa identyfikacja galaktyk i kwazarów w przeglądach nieba, ewolucja kosmologiczna obiektów oraz struktur wielkoskalowych)

dr Szymon Nakoneczny (kosmologia obserwacyjna i teoretyczna, uczenie maszynowe, badanie kwazarów)

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu:

dr hab. Magdalena Kunert-Bajraszewska, prof. UMK (badania galaktyk aktywnych głównie w zakresie radiowym ze szczególnym uwzględnieniem wczesnych etapów ewolucji tych obiektów oraz analiza radiowych zjawisk przejściowych)

OSOBY DO KONTAKTU

dr hab. Marek Jamroz, współautor, Uniwersytet Jagielloński
marek.jamroz@uj.edu.pl

dr Timothy Shimwell, autor wiodący, ASTRON
shimwell@astron.nl

prof. Huub Röttgering, współautor, Leiden University
rottering@strw.leidenuniv.nl

ŹRÓDŁA GRAFIKI I VIDEO

- Obraz wysokiej rozdzielczości: różne typy radiogalaktyk zasilane energią supermasywnych czarnych dziur. Prawa autorskie: Maya Horton and the LOFAR surveys collaboration):

[Obraz LoTSS DR3 AGN HighRes.jpg](#)

- Obraz niskiej rozdzielczości: różne typy radiogalaktyk zasilane energią supermasywnych czarnych dziur. Prawa autorskie: Maya Horton and the LOFAR surveys collaboration):

[Obraz LoTSS DR3 AGN LowRes.jpg](#)

- Na zdjęciu z przeglądu LoTSS DR3 dominują radiogalaktyki N315 i N383 ze spektakularnymi, skrzyżnymi dżetami napędzanymi przez centralne supermasywne czarne dziury. Znajdują się one w odległości 223 i 209 milionów lat świetlnych od Ziemi i wyróżniają tu na tle setek znacznie bardziej oddalonych radiogalaktyk, widocznych jako słabe punkty. Prawa autorskie: LOFAR surveys collaboration.

[LoTSS DR3/LoTSS DR3 NGC315 3C31 300dpi.jpg](#)

- LOFAR spogląda w głąb naszej Galaktyki w kierunku konstelacji Orła, gdzie eksplodowało wiele masywnych gwiazd. Widoczna jest duża Mgławica Manatee (na dole po prawej) i wiele innych pozostałości po supernowych, przypominających bańki. Za nimi znajduje się tło oddalonych radiogalaktyk. Prawa autorskie: LOFAR surveys collaboration.

[LoTSS DR3/LoTSS DR3 galactic1 300dpi.jpg](#)

- Niebo obserwowane przez LOFAR – od słynnej galaktyki Andromedy (M31, na górze) po NGC 315 i NGC 383. Obraz obejmuje część konstelacji Andromedy i Ryb, zajmując obszar około 15 stopni kwadratowych – to mniej więcej tyle, ile wynosi rozpiętość dłoni wyciągniętej na długość ramienia.

[LoTSS DR3/LoTSS DR3 M31 NGC315 3C31 300dpi.jpg](#)

- Interaktywna mapa nieba:

https://lofar-surveys.org/public_hips/LoTSS_DR3_high_hips/

- Wszystkie zdjęcia i filmy wraz z opisami:

[LoTSS-DR3-all-material.zip](#)

- Oryginalna publikacja

https://www.oa.uj.edu.pl/press_release/LoTSS_DR3/LoTSS_DR3_AAaccepted.pdf

INFORMACJA DOTYCZĄCA LOFAR-ERIC

LOw Frequency ARray (LOFAR) to rewolucyjny radioteleskop zaprojektowany i zbudowany przez Holenderski Instytut Radioastronomiczny (ASTRON). W odróżnieniu od tradycyjnych anten parabolicznych, LOFAR składa się z tysięcy prostych elementów – dipoli rozmieszczonych w całej Europie, połączonych sieciami światłowodowymi. Dane pochodzące ze wszystkich anten są łączone za pomocą potężnych komputerów w celu tworzenia radiowych obrazów nieba.

LOFAR jest zarządzany przez konsorcjum LOFAR European Research Infrastructure Consortium (LOFAR ERIC), które zrzesza instytucje z ośmiu krajów. Polska jest członkiem założycielem LOFAR ERIC, który stanowi przykład doskonałej międzynarodowej współpracy naukowej, łączącej infrastrukturę, zasoby obliczeniowe i specjalistyczną wiedzę.

SZCZEGÓŁY TECHNICZNE PRZEGLĄDU LoTSS-DR3

Pokrycie nieba: 19035 stopni kwadratowych (88% nieba północnego)

Ilość skatalogowanych obiektów: 13 667 877

Zakres częstotliwości: 120-168 MHz (długość fali ~2 metry)

Zdolność rozdzielcza: 6 sekund łuku (9 sekund łuku poniżej deklinacji 10°)

Średnia czułość: 92 μ Jy na wiązkę

Objętość danych: 18,6 petabajtów przetworzonych danych; 590 terabajtów: finalny produkt

Czas obserwacji: 12 950 godzin w przeciągu 10,5 lat

Użyta moc obliczeniowa: ~20 milionów godzin pracy rdzenia obliczeniowego

Dostęp do danych: Wszystkie produkty LoTSS-DR3 (obejmujące m.in. mapy i katalogi pokrywające 19035 stopni kwadratowych nieba północnego, czyli 46% całego nieba, informacje dotyczące polaryzacji, dane skalibrowane oraz 590 terabajtów produktów finalnych) są publicznie udostępniane za pośrednictwem stron:

- <https://lofar-surveys.org/dr3.html>
- <https://repository.surfsara.nl/collection/lotss-dr3>