

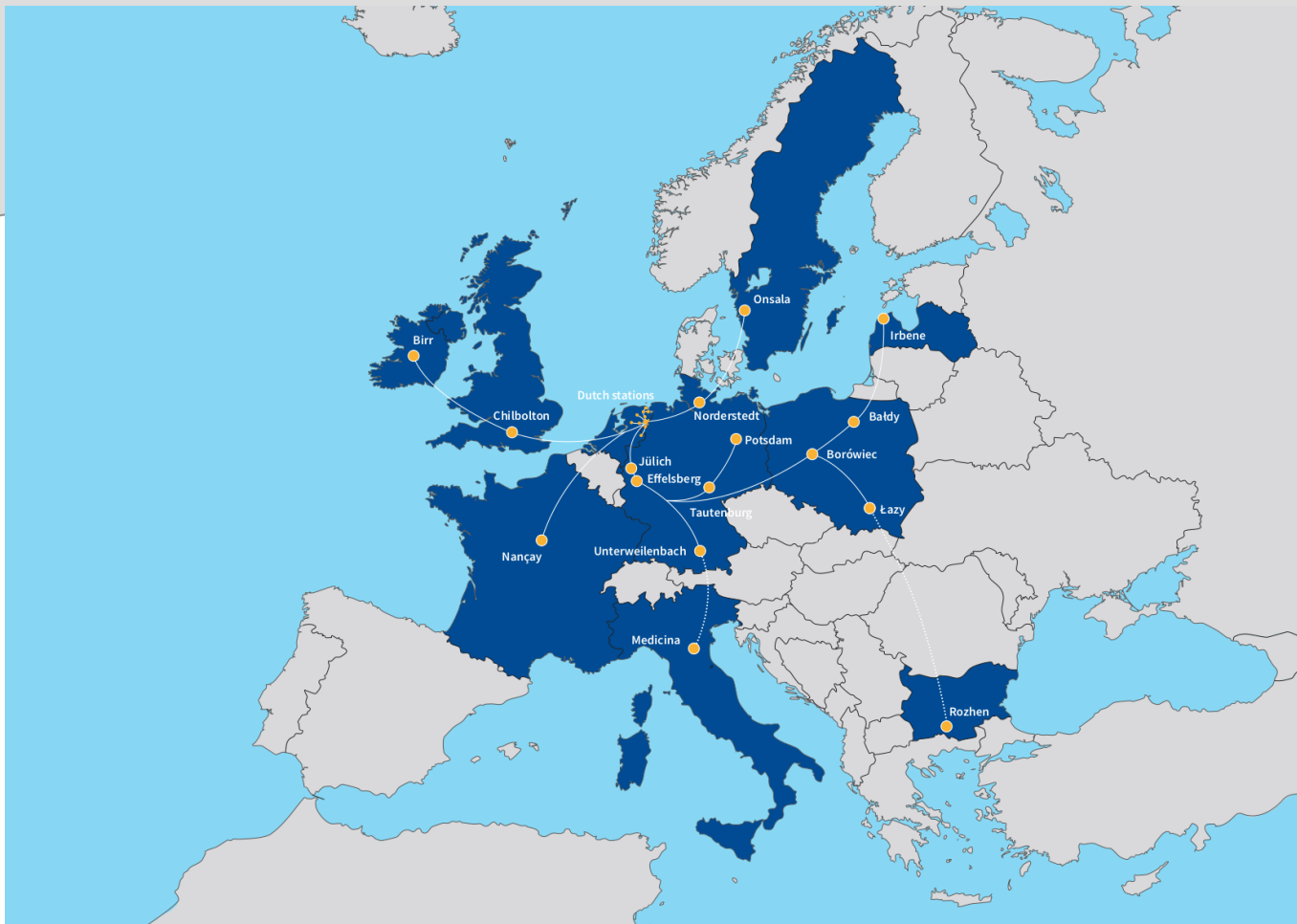
# LOFAR-VLBI obrazowanie wysokiej rozdzielczości na niskich częstotliwościach

Mateusz Olech

Andrzej Krankowski  
Aleksandra Wołowska  
Marcin Hajduk



UNIVERSITY  
OF WARMIA AND MAZURY  
IN OLSZTYN



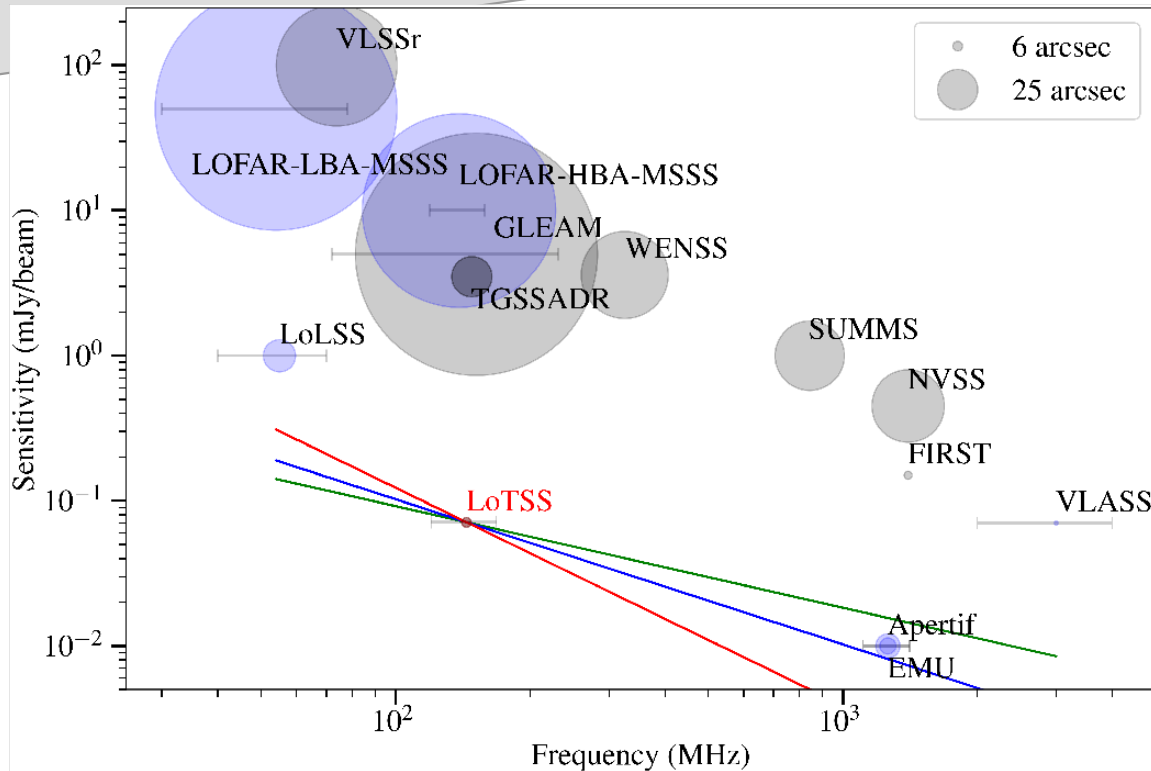
Sieć składa się 38 stacji Holenderskich z czego:

- 24 to stacje 'core' w obszarze 4km
- 14 to stacje 'remote' odległe od siebie do 120km

Oraz

- 14 stacji międzynarodowych, długość baz ~2000km

Większość obecnych badań używa tylko stacji Holenderskich



LoTSS 120-168 MHz (HBA)  
 ~20deg<sup>2</sup>, rozdzielczość 6"  
 typowa czułość: 100uJy/beam  
 głębokie pole: 10uJy/beam

LoLLS 42-60MHz (LBA)  
 Rozdzielczość 15"  
 typowa czułość 1mJy/beam

Z uwzględnieniem stacji międzynarodowych rozdzielczość wzrosłaby do nawet 0.3" dla HBA i około 1" dla LBA

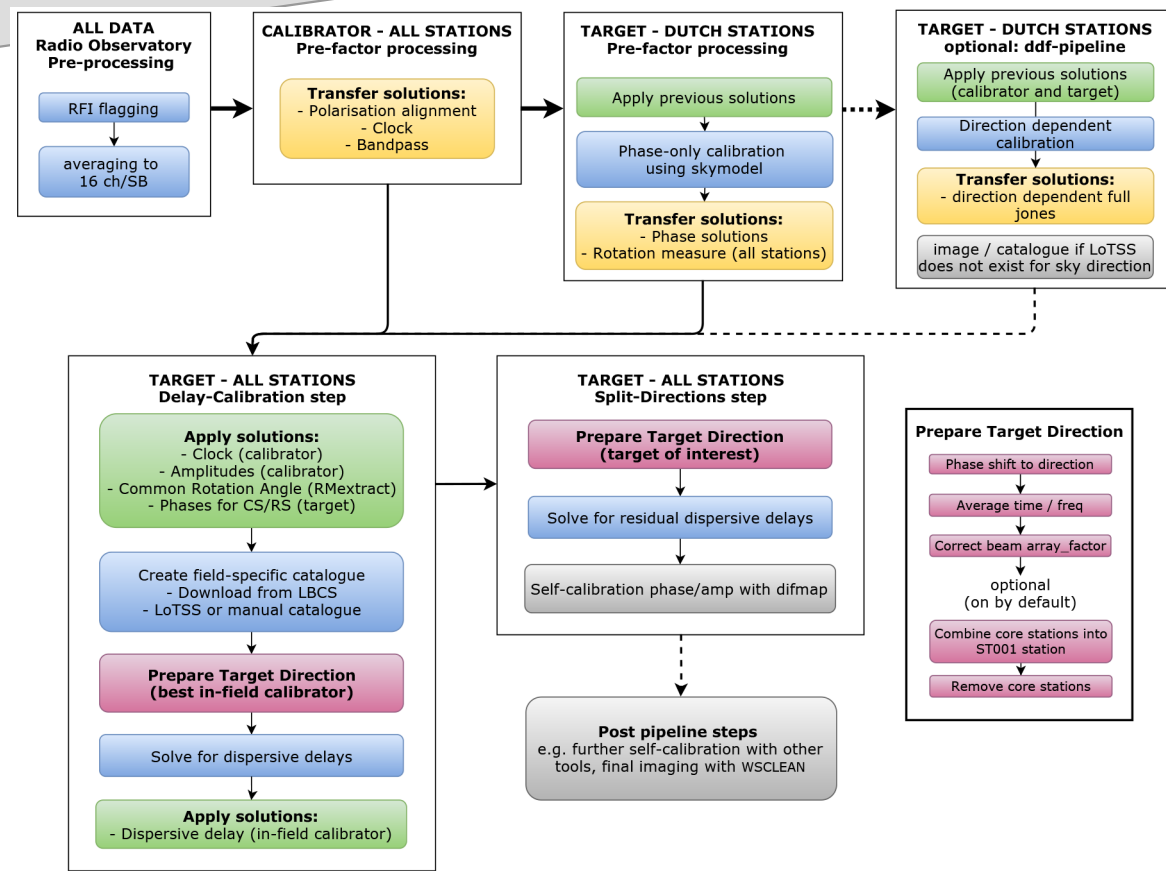
# Wyzwania technik LOFAR VLBI

- Bardzo duże ilości danych (~16TB z jednej 8h obserwacji)
- Techniki kalibracji działające dla sieci >1GHz nie działają na bardzo niskich częstotliwościach
- „software telescope”
- Różnice w wiązce anten Holenderskich i międzynarodowych
- Mała ilość dobrze zbadanych kalibratorów ( w tym momencie jest to mniejszy problem dzięki opublikowaniu LBCS)
- Jonosfera ma bardzo duży wpływ na obserwacje nawet przy wykorzystaniu tylko anten Holenderskich, na długich bazach ten wpływ się zwielokrotnia
- Konieczność kalibracji nie tylko faz ale również zapóźnień i ‘rate’u’ (fringe-fitting)
- Jonosfera wprowadza nie tylko zaburzenia w czasie ale również dyspersje w częstotliwości, konieczność rozwiązania f-f jednocześnie w czasie jak i częstotliwości, dotychczas software taki jak AIPS nie brały tego pod uwagę ze względu na wyższe częstotliwości obserwacji

# Pipeline LOFAR VLBI

Opracowany w wyniku współpracy międzynarodowej (Morabito et al. 2022)

1. Opracowanie danych sieci Holenderskiej, 'uśrednienie' danych do jednej wirtualnej anteny
2. Użycie tych wyników w kalibracji stacji międzynarodowych, (TEC, dTEC)
3. Aplikacja rozwiązań do wszystkich danych
4. Split wybranych obiektów, self-calibration i tworzenie map



# Pre-factor

## Wstępna redukcja:

- Flagowanie złych anten i RFI
- Uśrednianie danych, 4s i 16 kanałów na subband
- Modelowanie i usuwanie wpływu źródeł z A-team

## Kalibrator:

- Znalezienie modelu kalibratora z katalogu
- Rozwiązanie gain dla polaryzacji XX/YY i poprawek wiązki
- Rotacja Faraday'a
- TEC (Total electron content)
- Bandpass
- Przesunięcia zegarów
- Wszystkie rozwiązania są później zapisywane w pliku hdf5



# Pre-factor

Źródło:

- Pre-factor działa tylko na antenach Holenderskich, usuwa anteny międzynarodowe co zmniejsza ilość danych 6-krotnie
- Usunięcie jasnych źródeł spoza pola
- Usunięcie jonosferycznej Rotation Measure z poprawek GPS
- Zastosowanie kalibracji uzyskanych z kalibratora w kolejności: polaryzacja, bandpass, zegary, wiązka, RM
- Uśrednienie danych
- Kalibracja phase-only używająca modelu nieba TGSS-ADR1 (Intema et al. 2017)
- Połączenie rozwiązań uzyskanych z kalibratora i ze źródła

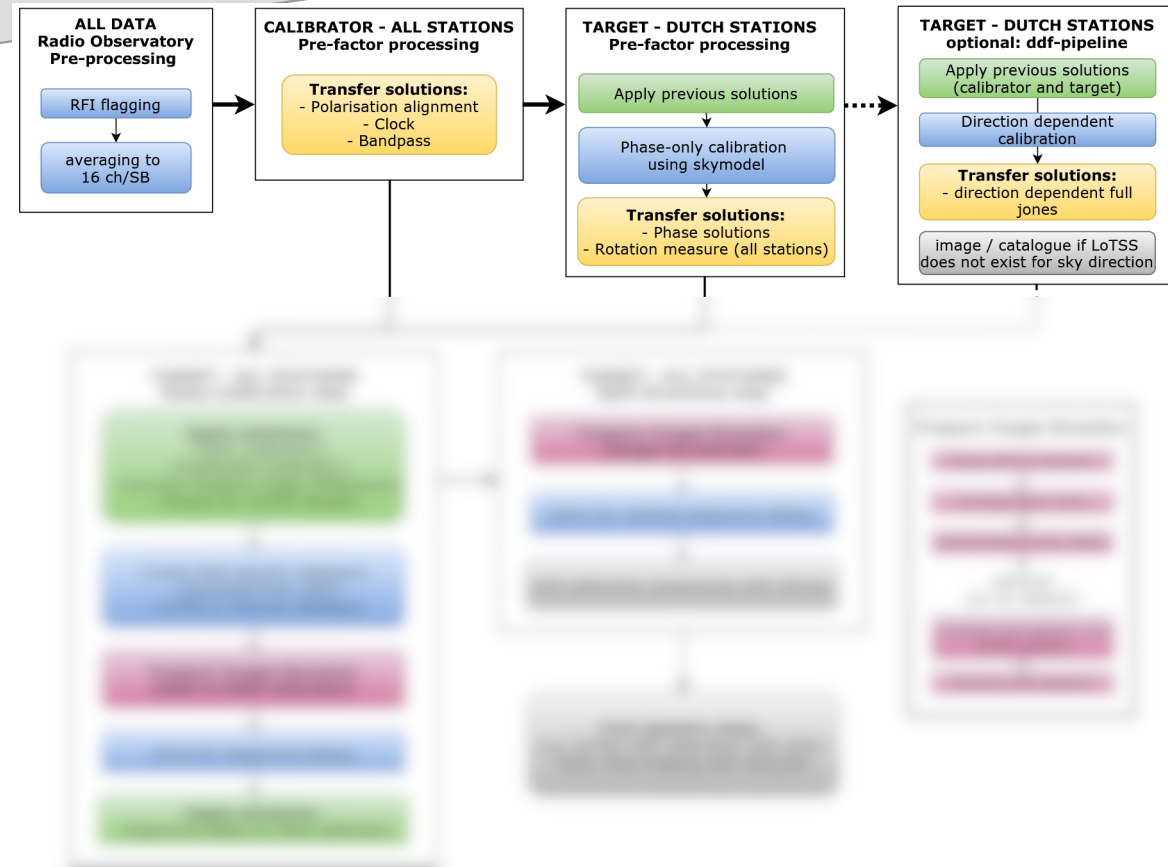


# Ddf-pipeline (krok opcjonalny)

Dla analizy danych wide-field jak również kontynuacji redukcji VLBI zaleca się wykonać również kalibrację zależną od kierunku (direction-dependent) z użyciem ddf-pipeline

W wyniku uzyskujemy:

- Science ready obrazy w rozdzielczości 6''
- Macierz Jones'a która poprawia dane ze stacji core i remote, jest to ważne bo w następnym kroku te stacje są ze sobą uśredniane więc chcemy jak najlepszą koherencję tych danych
- Identyfikację silnych źródeł pola które mogą posłużyć do kalibracji



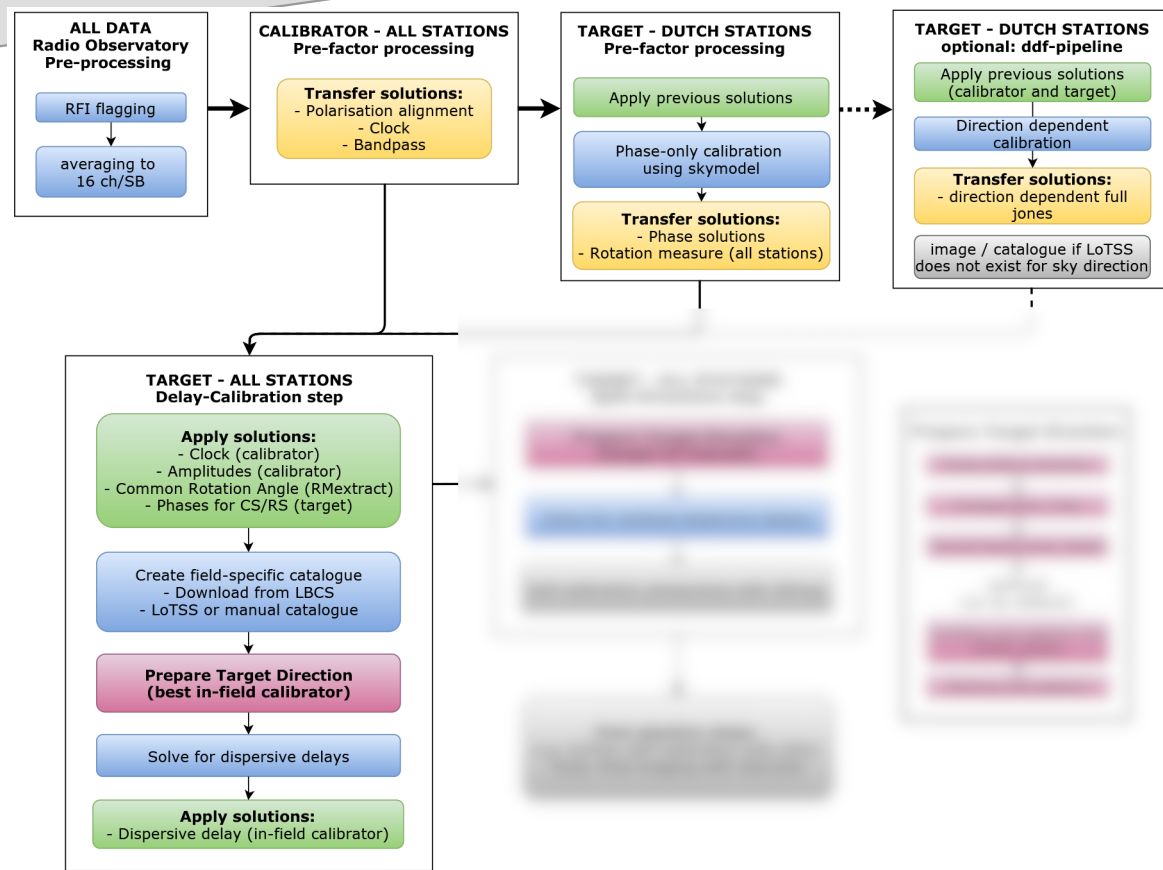


# Delay-calibration dla międzynarodowych baz

Zebranie danych o źródłach używając mapy 6" z poprzedniego kroku i katalogu The Long-Baseline Calibrator Survey (LBCS)

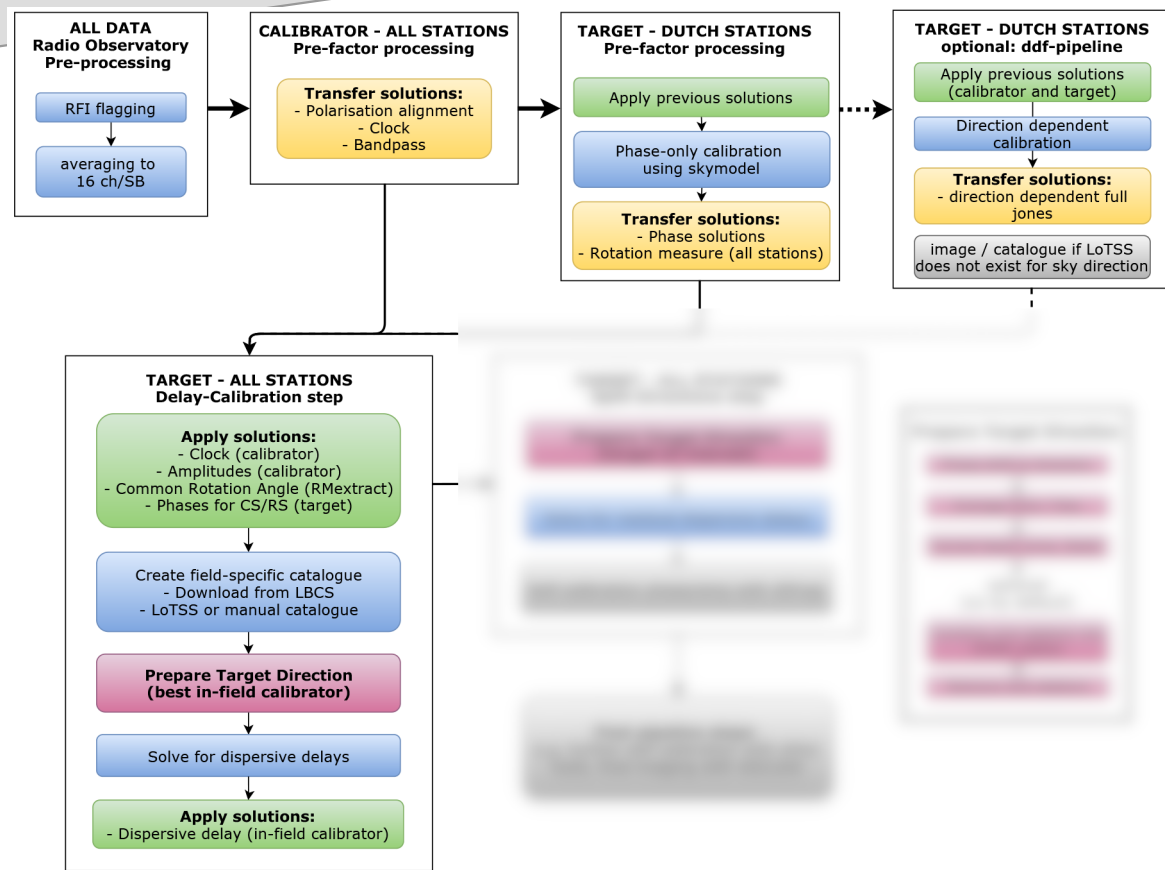
Pipeline szuka najlepszego kalibratora jak najbliżej centrum fazowego/pozycji źródła które nas interesuje

Gdy znajdzie odpowiednie źródło przeprowadza kalibrację TEC na kalibratorze i stosuje je na naszym targetcie



# Delay-calibration dla międzynarodowych baz

- Dane są uśrednione do 2 kanałów na subband i 8s w czasie znacząco zmniejszając FoV i redukując wpływ innych silnych obiektów
- Stacje core są uśrednione tworząc jedną wirtualną antenę
- Ujednolicenie wiązki poszczególnych stacji
- Jest obliczane differential TEC (dTEC) który można zinterpretować jako zmiany w fazie pomiędzy poszczególnymi stacjami
- Rozwiązania są później zastosowane do pełnego nieuśrednionego datasetu



# Aplikowanie wszystkich poprawek do danych, obrazowanie i samo-kalibracja

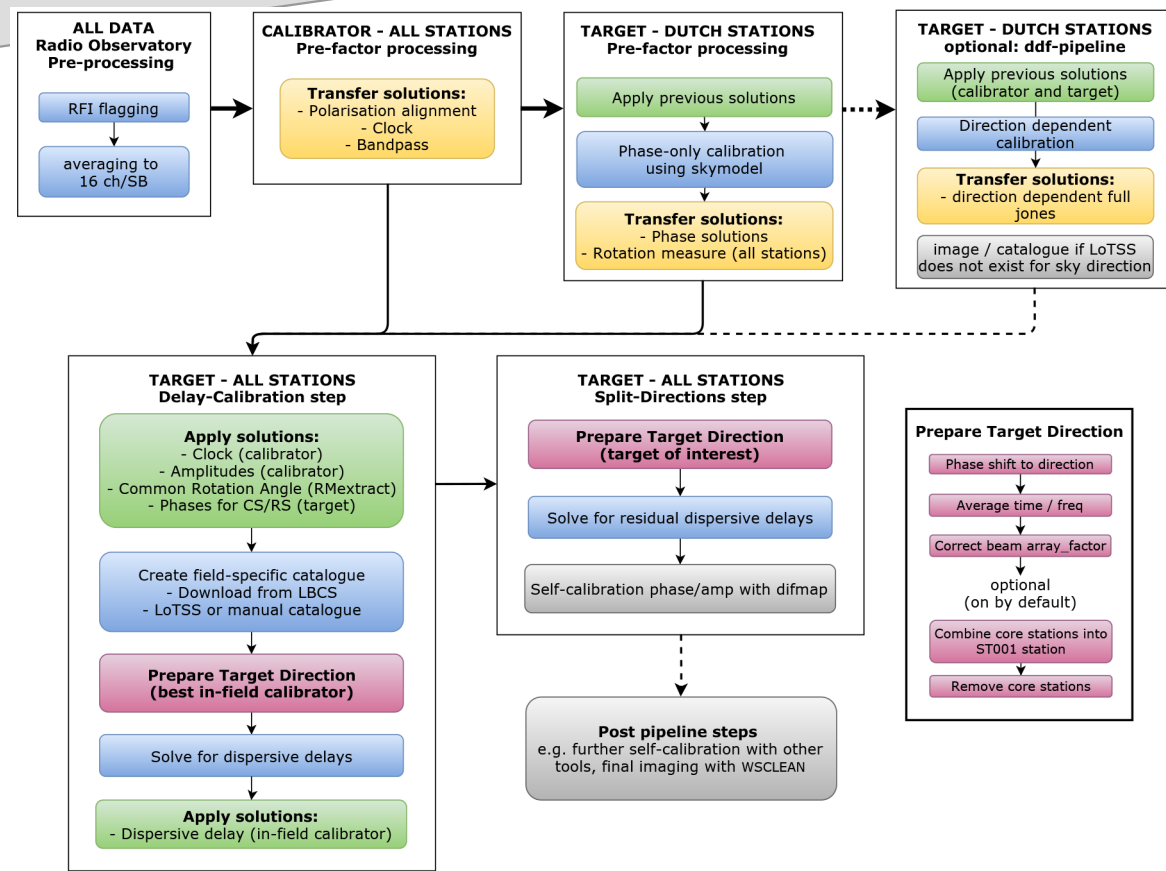
Użytkownik dostarcza katalog interesujących go obiektów

Skalibrowane dane są przesuwane w kierunkach wybranych obiektów

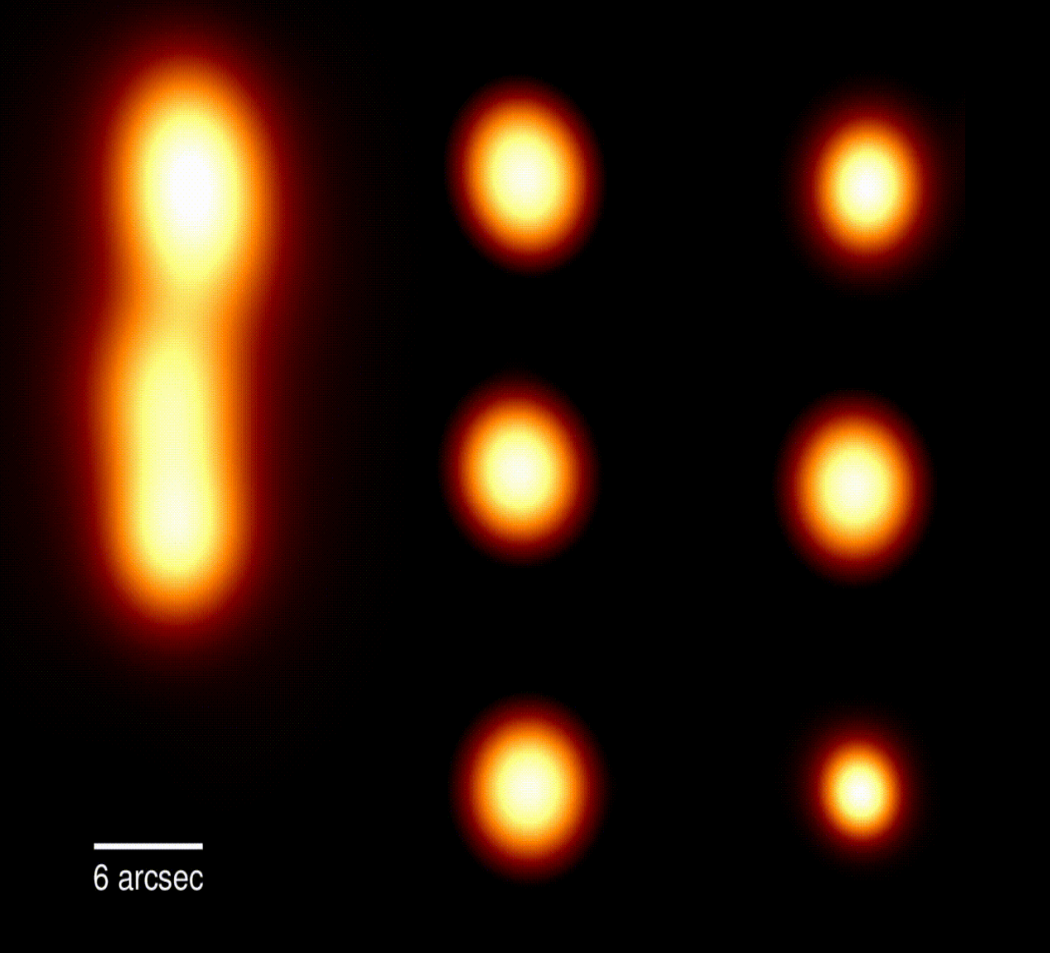
Pipeline rozdzielający dane uśrednia stacje core

Do danych zastosowane są wszystkie otrzymane wcześniej poprawki, po tym dane są uśredniane

Jeśli użytkownik nie chce tego robić sam to:  
Przeprowadzana jest samo-kalibracja  
Produkowane są obrazy w wysokiej rozdzielczości



# LOFAR VLBI



# Implementacja LOFAR VLBI pipeline w Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim



Pierwsza instalacja:

Lokalny serwer ARTEMIS

- Dell Power Edge R740xd
- 2x intel Xeon Gold 6248R, 3.0GHz, 48 rdzeni
- RAM 256GB DDR4 ECC RDIMM 2933MHz
- HDD:
  - a) 6X 8TB SATA 6G, 3.5"512e, 7200rpm, Enterprise
  - b) 2x 480GB SATA Read Intensive 6Gbps 2.5" Hot-plug, 3.5" HYB CARR, 1 DWPD, 876 TBW
  - c) 2x 1.92TB SSD SAS Read Intensive 12Gbps 2.5" Hot-plug, 3.5" HYB CARR

Klastry superkomputerowe

Grant 636 w Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe (PCSS), PI: Aleksandra Wołowska

50 tys godz CPU  
30TB miejsca dyskowego (wystarczające na opracowywanie jednego eksperymentu jednocześnie)

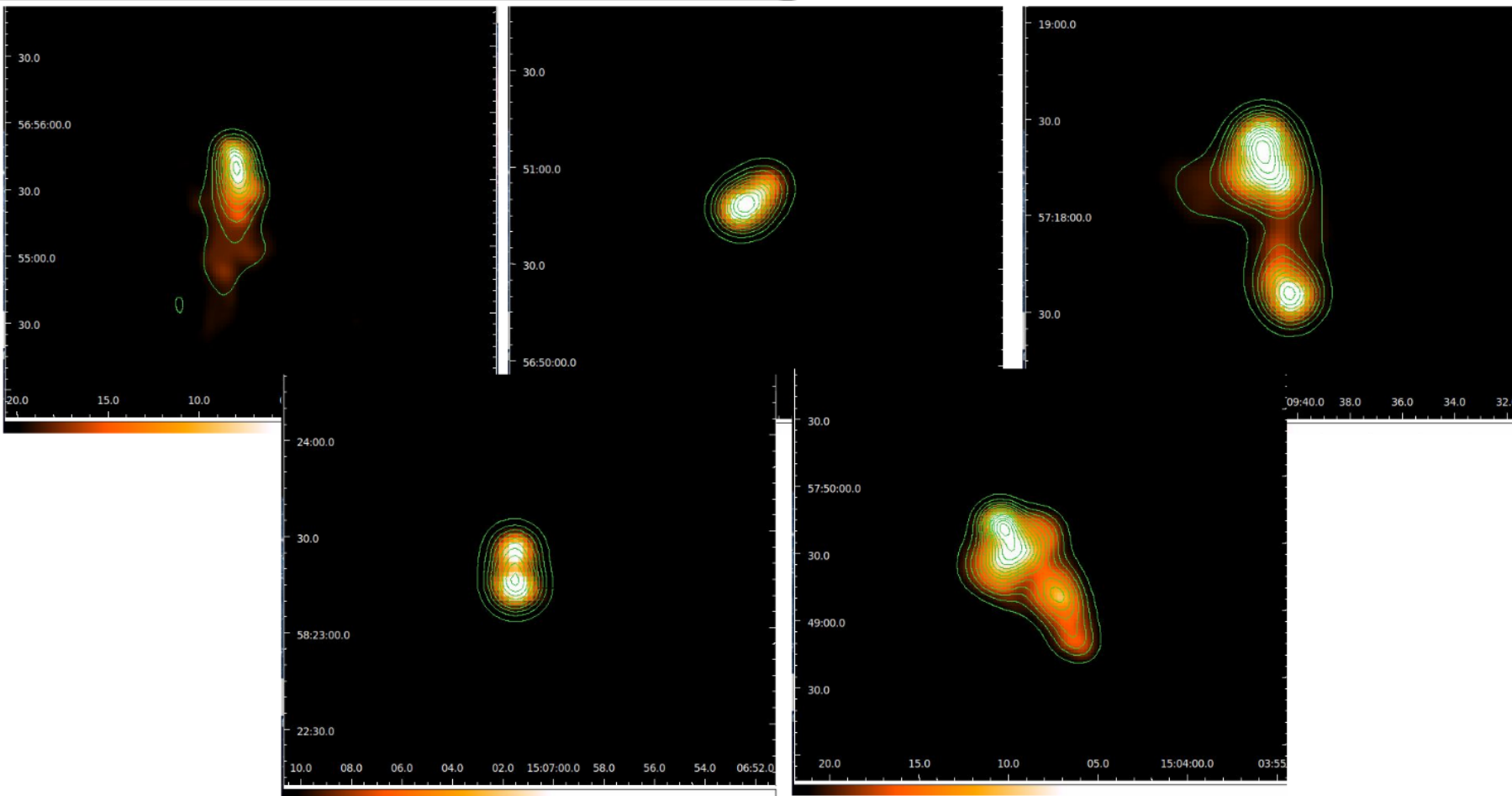
**Przyszłość** (work in progress):

Nowy klaster obliczeniowy z dyskiem >PB dzięki współpracy z Robertem Pękalem (PCSS)

Możliwość redukcji danych przez kilka osób jednocześnie

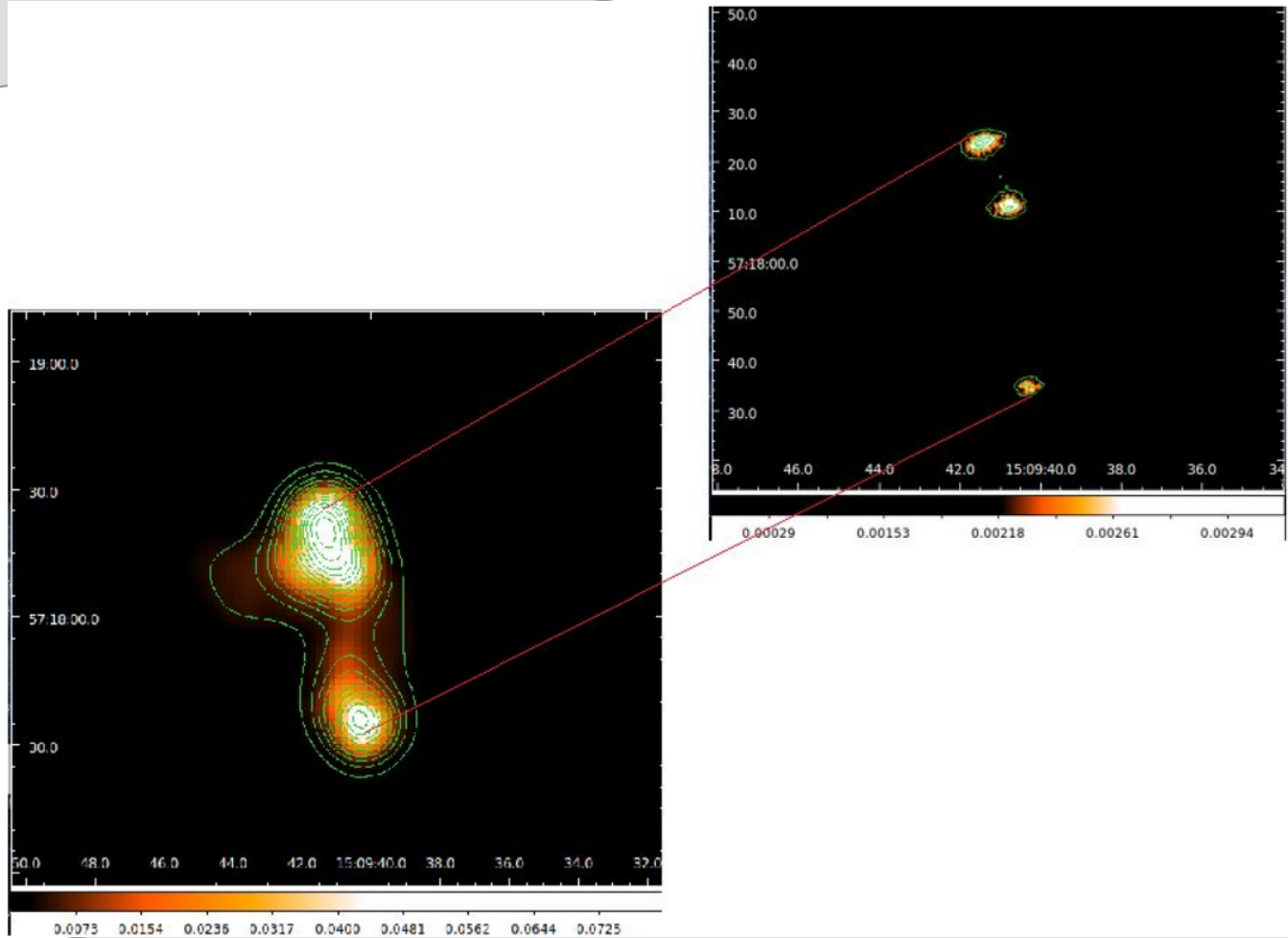
# Pierwsze wyniki

Projekt LT5\_007 – „LOFAR surveys: Opening up a new window on the Universe” PI: Huub Rottgering



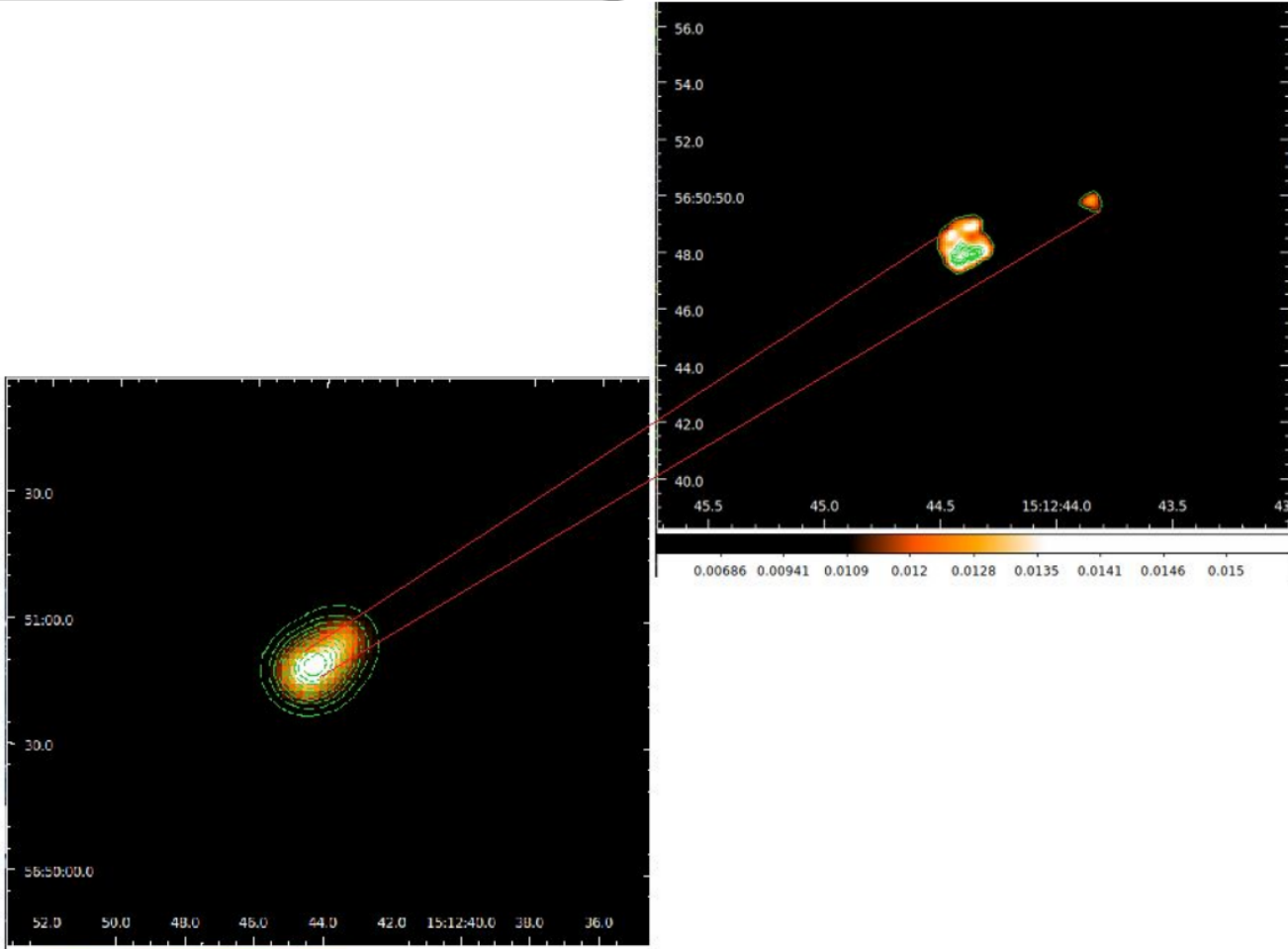
# Pierwsze wyniki

Projekt LT5\_007 – „LOFAR surveys: Opening up a new window on the Universe” PI: Huub Rottgering



# Pierwsze wyniki

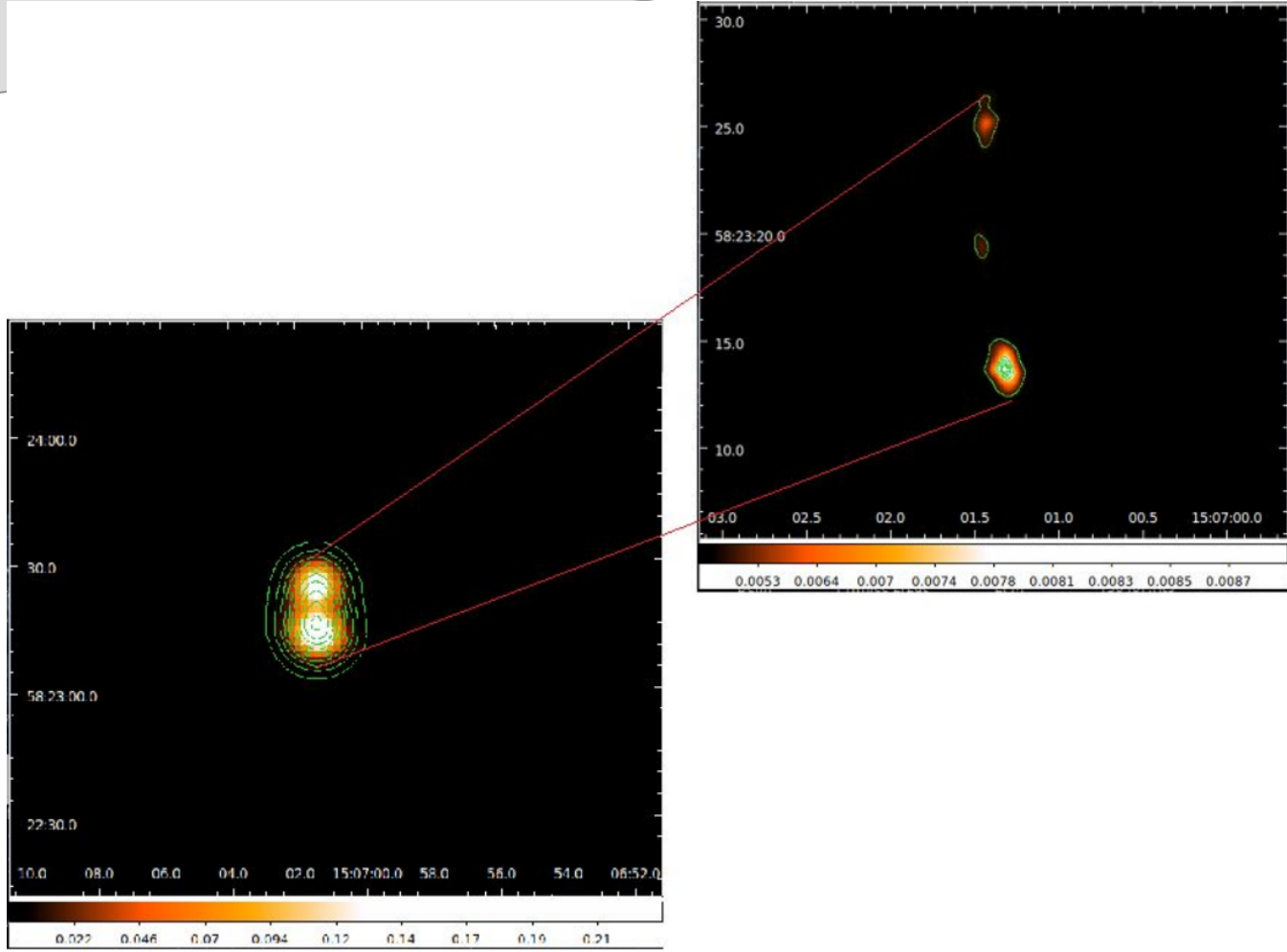
Projekt LT5\_007 – „LOFAR surveys: Opening up a new window on the Universe” PI: Huub Rottgering





# Pierwsze wyniki

Projekt LT5\_007 – „LOFAR surveys: Opening up a new window on the Universe” PI: Huub Rottgering



# Podsumowanie

- Pipeline jest ciągle dopracowywany przez kilka europejskich grup badawczych
- Końcowym celem prac jest w pełni automatyczna ścieżka redukcji danych z minimalnym wkładem użytkownika którego interesują wysokiej jakości obrazy które może wykorzystać w badaniach
- Już na tym etapie pipeline może być wykorzystany do tego celu lecz wymaga on jeszcze dużo pracy jak i zasobów komputerowych
- Celem naszej grupy jest stworzenie i udostępnienie naukowcom serwera na którym będą mogli wykonać te bardzo wymagające obliczenia
- Zainteresowanych zachęcamy do kontaktu z nami!!