

Andrzej Kus

# *Polski 90-m radioteleskop*

## *— potrzeby, propozycja, szanse budowy*

*Toruńscy  
radioastronomowie  
we współpracy z ośrodkami  
zagranicznymi opracowują  
koncepcję budowy  
i wykorzystania w Polsce  
dużego radioteleskopu  
o średnicy czaszy ok. 90 m*



Antena 32-m radioteleskopu w Piwnicach k. Torunia. Fot. A. Kus

Pomysł budowy i naukowego wykorzystania radioteleskopu o wielkiej czułości i dużym polu widzenia zrodził się już ponad 5 lat temu podczas licznych dyskusji dotyczących zaangażowania Polski w duże, ogólnoświatowe projekty radioastronomicznych (VLBI, ALMA, SKA). Dyskusje prowadzone w Toruniu oraz za granicą doprowadziły do krystalizacji pomysłu w 2009 r.

Przy tworzeniu koncepcji uczestniczyli wybitni specjaliści z Jodrell Bank Centre for Astrophysics oraz uczeni ze Szwecji, Holandii i Niemiec. Swoje poparcie dla realizacji projektu wyrazili w uchwale Konsorcjum EVN (European VLBI Network) dyrektorzy 10 europejskich instytutów radioastronomicznych (12.11.2009). Zainteresowanie budową radioteleskopu w rejonie Kujawsko-Pomorskiem wykazały władze lokalne i wpływowi politycy regionu. W tym względzie jest nadzwyczajne, wręcz entuzjastyczne wsparcie planów budowy. Koszt inwestycji, jeśli projekt zostanie zaakceptowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, będzie pokryty z europejskich funduszy strukturalnych, co oznacza, że nie ob-

ciążą budżetu państwa. Silne wsparcie ośrodków zagranicznych wzmacnia szansę pozytywnego rozpatrzenia wniosku w Brukseli. Szczególnie ważne jest jednak poparcie środowiska naukowego w kraju i jego aktywne zaangażowanie w tworzenie struktury instytutu narodowego, który zajmować się winien utrzymaniem i wykorzystaniem tak okazałego, unikatowego instrumentu. W tej sprawie trwają negocjacje z ośrodkami krajowymi i zagranicznymi. Jedna uczelnia nie zapewni należytego i efektywnego wykorzystania takiej dużej, ponadnarodowej infrastruktury. Kształt nowego ośrodka radioastronomii jest aktualnie formułowany w prowadzonych dyskusjach i konsultacjach z zainteresowanymi instytucjami. Złożenie końcowej propozycji, a więc wniosku o finansowanie, przewidziano na wiosnę 2010 r.

Z pewnością zapytacie Państwo, dlaczego mamy inwestować właśnie w taki instrument i jaka jest geneza tej konkretnej propozycji. Po pierwsze, nasz kraj ma do dyspozycji ogromne środki europejskie na rozwój infrastruktury, w tym także infrastruktury nauki. Jest to sytuacja nadzwyczajna i w przewidywalnej

przyszłości nie będzie już miała miejsca. Jeśli środowisko astronomiczne nie przedstawi własnego znaczącego w skali europejskiej projektu polskiego instrumentu badawczego, szansa ta zostanie stracona bezpowrotnie. Większość dotychczas wydatkowanych środków na rozwój infrastruktury nauki i edukacji jest przeznaczana na poprawienie bazy lokalowej istniejących ośrodków. Tylko niewielką część wykorzystuje się na budowę nowych instalacji badawczych. W tej chwili praktycznie nie ma projektów aparaturowych o szandarowym znaczeniu, które wykorzystają dostępne środki. Jeśli nie zaproponujemy inwestycji, która będzie miała szerokie wsparcie społeczne (a astronomia ma), to zmarnujemy tę wyjątkową szansę. Niestety, ze względu na warunki klimatyczne i geograficzne niecelowa jest budowa dużego teleskopu optycznego na terenie naszego kraju, a ponadto byłoby to niekonsekwentne postępowanie w związku ze staraniem Polski o przyjęcie do ESO. Warto tu przypomnieć, że dla polskiej astronomii przystąpienie do ESO jest najważniejszym obecnie celem strategicznym uzgodnionym przez całe środowisko astronomiczne.

Rozwój infrastruktury kraju ze środków unijnych oznacza też dodatkowe uwarunkowania; nowa infrastruktura powinna być zlokalizowana na terenie naszego kraju. Warunki te spełnia dobrze radioastronomia. Już w latach 70. na ówczesnych kongresach nauki polskiej staraniem prof. W. Iwanowskiej przyjęto uchwałę wspierania radioastronomii jako ważnej dziedziny obserwacyjnej astronomii mającej szansę rozwoju w Polsce. Oczywiście od tamtych czasów wiele się zmieniło, ale nieprzyjazne warunki pogodowe nie uległy poprawie, a ogólnoświatowe trendy wydają się nadal wspierać ten kierunek rozwoju. Z najważniejszych wielkich instalacji o charakterze ogólnoświatowym przypomnieć tu trzeba dwa. ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), wielki interferometr budowany przez ESO, USA i Japonię w Andach Chilijskich oraz SKA (Square Kilometer Array), radioteleskop o powierzchni zbierającej 1 km<sup>2</sup>, który w roku 2025 rozpocznie działanie, najprawdopodobniej w Australii. W obydwu inwestycjach Polska nie uczestniczy ze względu na zacofanie technologiczne i ekonomiczne. Ale nie jest z nami całkiem źle. Nasz

## Dwa największe na świecie sterowalne radioteleskopy



1. 100-m średnicy radioteleskop w Effelsberg należący do Max-Planck Institut fuer Radioastronomie (Niemcy). Nowy polski 90 m radioteleskop będzie miał czaszę reflektora podobnej wielkości, ale w pełni pokrytą panelami z cienkiej blachy aluminiowej. W proponowanej konstrukcji 90 m radioteleskopu nie będzie skomplikowanych i drogiej napędów ruchu w azymucie i wysokości

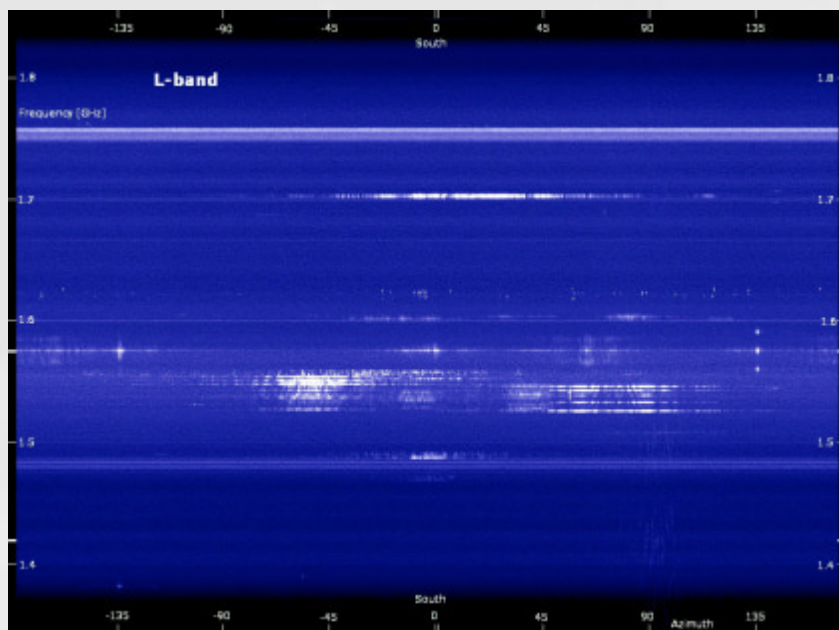


2. 100x110 m czasza teleskopu GBT Narodowego Obserwatorium Radioastronomicznego (USA). Antena paraboliczna, offsetowa porusza się w azymucie i wysokości podobnie do anteny z Effelsberg. Jest bardzo ciężka i bardzo droga. Długie ramię podpierające lustro wtórne i utrzymujące systemy odbiorcze sprawia poważne kłopoty eksploatacyjne. Aktywna powierzchnia reflektora głównego umożliwi pracę do 100 GHz. Proponowana 90-m antena polskiego radioteleskopu będzie prawie 10-krotnie lżejsza i 10 razy tańsza



kraj ze swoimi 15-m a następnie 32-m radioteleskopem UMK jest od roku 1982 członkiem Europejskiego Konsorcjum EVN i współuczestniczy w tworzeniu kontynentalnego i globalnego radioteleskopu o średnicy 10 tys. km i równoważnej czułości porównywalnej do pojedynczego paraboloidu o średnicy ~400 m. W tej chwili sieć EVN, a szczególnie e-EVN (jego wersja pracująca w czasie rzeczywistym, połączona szerokopasmowym, dedykowanym łączem światłowodowym), jest najbardziej zaawansowanym technologicznie i fizycznie największym jednorodnym instrumentem astronomicznym na świecie. System EVN nadal się rozwija, dołączając nowe anteny i nowe instytucje. Do czasu SKA pozostanie najpotężniejszym instrumentem badawczym współczesnej radioastronomii. Nawet po uruchomieniu SKA, EVN będzie nadal dominującym przyrządem badawczym na niebie północnym. Warto wiedzieć, że to dzięki współpracy w VLBI i doświadczeniu w rozwijaniu i aplikacji technik interferometrii powstało wiele instrumentów astronomicznych oraz koncepcje nowych, w tym ALMA i SKA.

Czy Polska potrzebuje nowego radioteleskopu, aby odgrywać istotną rolę w VLBI? Niewątpliwie tak. Do istniejącej sieci EVN włączają nowe anteny Hiszpanie (40 m), Włosi (64 m), Rosjanie (3×32 m i 2×70 m), Chińczycy (50 m i 64 m). Wraz z dużymi instalacjami europejskimi (100 m MPIfR, 76 m JBO) oraz Arecibo rola mniejszych anten dramatycznie spada. Atrakcyjne na-



Poziom cywilizacyjnych zakłóceń radiowych w Piwnicach. Skan po horyzoncie przy użyciu czułego systemu odbiorczego na pasmo L (1,4 — 1,9 GHz). Nie wykorzystano wzmocnienia 32-m anteny (60 dB, 10° razy), bo spowodowałoby to pełną saturację odbiorników. Poziom zakłóceń radiowych w miejscu proponowanej lokalizacji nowego radioteleskopu jest od 100 do 1000 razy niższy! Na osi X jest azymut, a na osi Y jest częstotliwość odbieranych zakłóceń. Miasto Toruń jest w przedziale azymutu +/-60°

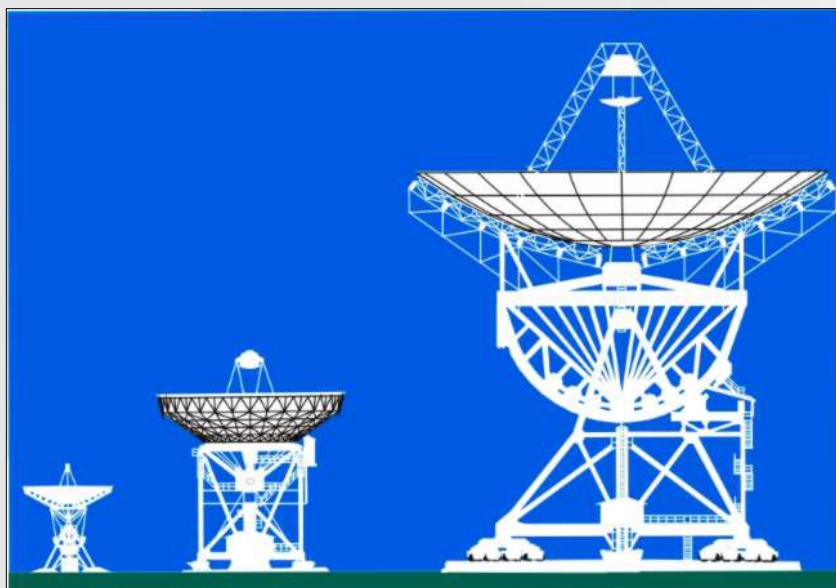
ukowo badania wymagają najwyższej czułości i rozdzielczości kątowej. Jeśli nie powiększymy polskiego wkładu do EVN, to stopniowo nasz udział będzie malał i za ok. 10 lat znaczenie 32-m anteny dla interferometrii zostanie znacznie zredukowane. Innym niepokojącym czynnikiem, wręcz zagrożeniem dla toruńskiej 32-m anteny jest lawinowo rosnący poziom radiowych zakłóceń generowanych przez współczesną cywilizację. Ucieczka z instrumentami pomiarowymi daleko od miast, w rejonach niezamieszkałych prawnie chronionych przed

zabudową mieszkalną, np. do parków narodowych jest praktykowanym w świecie skutecznym działaniem ochrony naziemnych badań astronomicznych. Nowy proponowany radioteleskop będzie ulokowany daleko od kompleksów miejskich i musi mieć prawnie usankcjonowaną strefę ciszy radiowej w promieniu wielu kilometrów.

Zadania naukowe realizowane przez sieci VLBI dotyczą rozwiązywania najważniejszych problemów współczesnej astrofizyki. Udział w EVN przynosi ogromne korzyści materialne i intelektualne dla instytucji partnerskich.

W dyskusjach prowadzących do sformułowania zadań naukowych dla nowego instrumentu poszukiwaliśmy obszaru badań dotąd dziewiczego, ale zarazem na tyle atrakcyjnego, by wzmocnić naturalny podstawowy argument wynikający z udziału w VLBI. Nie chodzi przecież o budowę jeszcze jednego dużego radioteleskopu, kopii już istniejących uniwersalnych instrumentów. W końcu mamy ograniczony, ale jednak możliwy dostęp do takich teleskopów, jak 100-m w Effelsberg (MPIfR) czy 76-m w Jodrell Bank, a także innych nowoczesnych sieci interferometrycznych (MERLIN, VLA, VLBA). Jakże zatem korzyści naukowe spłyną po zbudowaniu dużego polskiego 90-m radioteleskopu?

Obszarem, w którym przyniesie on znaczący wkład, są superczułe (głęboko-



Radioteleskopy CA UMK. 15-m RT3, 32-m RT4 i propozycja inż. Zygmunta Bujakowskiego (projektanta dwu poprzednich) 70-m radioteleskopu RT5. Projekt RT5 jest też rozważany jako możliwe rozwiązanie konstrukcyjne dla 90-m anteny

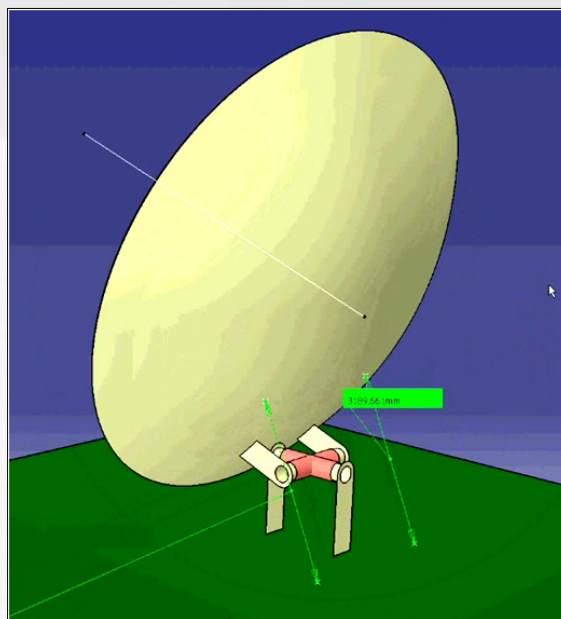
kie) radiowe przeglądy nieba w pasmach fal centymetrowych (6–22 GHz). Podstawowa idea to realizacja „radiowego OGLE”. Żaden z istniejących dużych radioteleskopów albo się nie nadaje, albo nie przeznaczy dużej części czasu obserwacyjnego na głębokie, systematyczne przeglądy nieba północnego. Nawet po rozpoczęciu funkcjonowania SKA nowy polski radioteleskop może pozostać wiodącym instrumentem w tym obszarze badań. Oczywiście planowane są obserwacje i studia pojedynczych wybranych obiektów, ale głównym celem pozostaną systematyczne, kompleksowe przeglądy dużych obszarów nieba. W pasmach fal centymetrowych pogoda i stan atmosfery nie tworzą ograniczeń. Obserwacje mogą być prowadzone przez 24 godziny na dobę, a to zwiększa szansę wysokiej skuteczności naukowej.

Zatem jakie cechy powinien spełniać nowy instrument? Zaczniemy od wielkości powierzchni zbierającej reflektora. Im większa, tym oczywiście lepiej, czynnikiem limitującym są jednak koszty i ograniczenia ruchu czaszy. W tej chwili optymalną wydaje się być czasza o średnicy 90 m. Tak duży instrument stałby się trzecim w pełni sterowanym radioteleskopem na świecie. Dla zapewnienia dużego pola widzenia musi to być długoogniskowy układ Cassegraina. Pozwoli nam to zainstalować ok. 50 równoległe działających systemów odbiorczych (docelowo ok. 100) stanowiących rodzaj radiowej kamery

„CCD”. Prace nad takimi matrycami odbiorczymi są zaawansowane, a toruński ośrodek odgrywa znaczącą rolę w programach europejskich finansujących budowę i eksploatację szerokokątnych kamer radiowych. Aktualnie na 32-m radioteleskopie w Piwnicach pracuje już system 16 odbiorników (16 pikseli) na fali 1 cm, co sprawia, że technologie budowy i eksploatacji matryc odbiorczych są w CA UMK dobrze opanowane. Każdy tor odbiorczy nowej kamery dla 90-m radioteleskopu będzie pracować

w paśmie 6–22 GHz, w dwu kanałach polaryzacji kołowej, posiadać 8 podpasm o szerokości 2 GHz oraz szerokopasmowy cyfrowy konwerter umożliwiający dla każdego odbiornika (oraz każdej polaryzacji i każdego podpasma) uzyskanie kompleksowej informacji radiometrycznej (strumień promieniowania), polaryzacyjnej, spektralnej o dowolnym czasie integracji od milisekund do minut. Taka uniwersalna kamera radiowa sprawi, że teleskop będzie równoważny 50 (docelowo 100) równoległym pracującym radioteleskopom, każdy o średnicy 90 m.

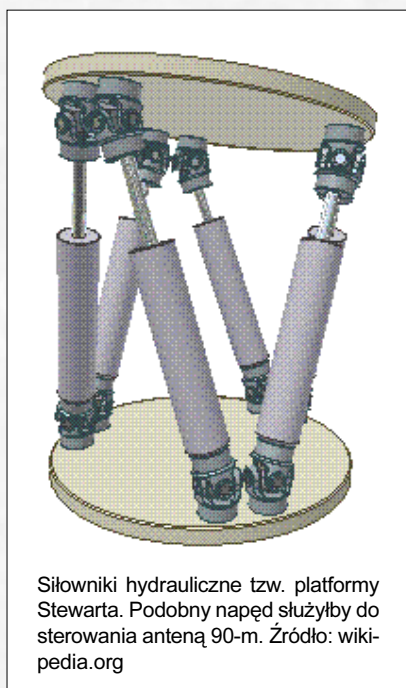
Strumień danych spływających non stop, dla każdej pozycji anteny będzie wstępnie redukowany i rejestrowany z automatycznym podglądem w czasie rzeczywistym dla weryfikacji zjawisk niezwykłych i oczywiście dostępny do późniejszej analizy *offline*.



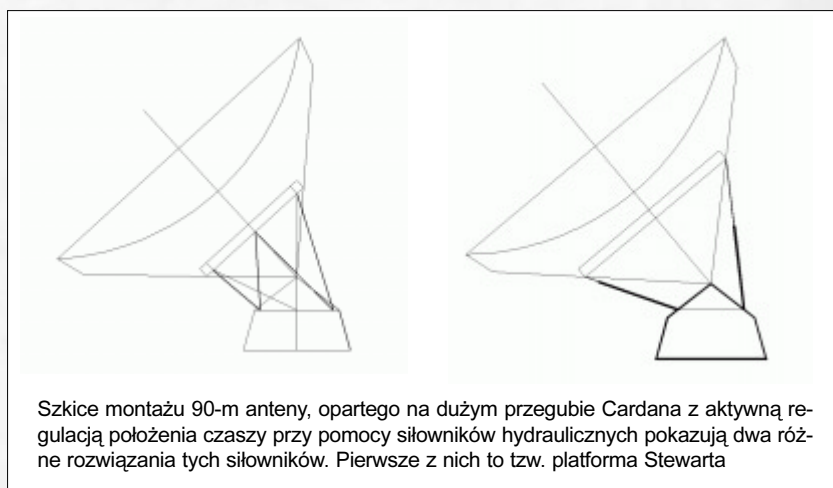
Propozycja montażu i sterowania lekkiej anteny parabolicznej wg prof. L. Baatha ze Szwecji. Nasza propozycja przenosi punkt podparcia do centrum konstrukcji

Instrument tej klasy może stanowić jądro narodowego interferometru. Duża powierzchnia zbierająca sprawi, że np. użycie w dowolnym ośrodku anteny o średnicy 7 m tworzy równoważny interferometr dwu 25 m średnicy anten (takich jak w VLA!). Dla anteny „zewnątrznej” o średnicy 15 m tworzy się interferometr dwu anten, każda o 37 m średnicy. W rezultacie będzie to najprostsz i najtańszy sposób utworzenia polskiego interferometru, którego koncepcje proponowaliśmy pod nazwą PIAST. Po zbudowaniu 90-m radioteleskopu niemal natychmiast możliwe stanie się połączenie z 32-m anteną w Piwnicach, 15-m anteną OA UJ i 32 m anteną w Psarach.

Celem naukowym głębokich przeglądów nieba jest najogólniej badanie obiektów „foreground” wręcz fundamentalnie ważnych dla pełnej analizy



Siłowniki hydrauliczne tzw. platformy Stewarta. Podobny napęd służyłby do sterowania anteną 90-m. Źródło: wikipedia.org



Szkiełki montażu 90-m anteny, opartej na dużym przegubie Cardana z aktywną regulacją położenia czaszy przy pomocy siłowników hydraulicznych pokazują dwa różne rozwiązania tych siłowników. Pierwsze z nich to tzw. platforma Stewarta



CMB (mikrofalowego promieniowania relikтового) i dla poznania własności populacji najmłodszych zwartych obiektów wczesnego Wszechświata. Innymi zadaniami są wysokiej rozdzielczości studia Galaktyki, poszukiwanie i badania pulsarów oraz poszukiwanie i badania obiektów typu „transients” — losowo emitujących impulsowe promieniowanie radiowe. Program naukowy jest dobrze przemyślany, a do jego realizacji oraz do przygotowania stosownej aparatury i oprogramowania deklarują udział naukowcy z MPIfR (Niemcy), JIVE (Joint Institute for VLBI in Europe, Holandia) i JBO (Anglia).

Czy jest możliwa budowa takiego supernowoczesnego instrumentu w Polsce i gdzie należy go ulokować? Tak, jest to



Przykłady radiowych kamer — matryc odbiorczych rozwijanych dla radioteleskopów: u góry 11-elementowy system odbiorczy 64-m radioteleskopu w Parkes (Australia), poniżej 16-elementowa kamera OCRA (na falę 1 cm) zbudowana w ramach programu europejskiego FARADAY (FP5) dla toruńskiego 32-m radioteleskopu. Kamera ta jest już zainstalowana i pracuje od grudnia 2009 r. Toruński zespół radioastronomów ma duże doświadczenie w prowadzeniu obserwacji przy użyciu matryc odbiorczych i aktywnie uczestniczy w europejskich programach budowy i zastosowań nowej generacji kamer radiowych (APRICOT FP7)

możliwe. Jeśli chodzi o lokalizację, to miejscem już wybranym jest Dębowiec w sercu Borów Tucholskich w gminie Osie, rejon o ekstremalnie niskim poziomie zakłóceń radiowych, na terenie Wdeckiego Parku Krajobrazowego. W tej chwili jest wstępna zgoda właściciela terenu i lokalnych władz, pozytywne głosy docierają z Urzędu Ochrony Środowiska.

Decyzja o ewentualnej realizacji zadania będzie zależeć od wysokości kosztów inwestycji. Duże teleskopy, takie jak 100 m w Effelsberg lub GBT (USA) kosztowały od 150 do 200 mln dolarów. Oczywiście na taki wydatek nawet z puli europejskiej nas nie stać. Zatem jak zbudować duży, w pełni sterowalny teleskop za, powiedzmy, ¼ kosztów? Czy jest to realistyczne? Koszt radioteleskopu rośnie z trzecią potęgą jego średnicy (ilość materiałów) i praktycznie liniowo z graniczną częstotliwością obserwacji (precyzja wykonania). Na czym i ile można zaoszczędzić? Waga GBT to 9 tys. ton, radioteleskop w Effelsberg waży 6 tys. ton. Czasza reflektora każdego z nich to zaledwie 1 tys. ton (toruński 32 m radioteleskop waży 600 ton, jego czasza ok. 90 ton). Zatem cała konstrukcja wsporcza i sterująca czaszy anteny to zasadniczy składnik wysokiego kosztu budowy.

Dla radykalnej redukcji kosztów zaproponowaliśmy innowacyjny system montażu i sterowania czaszy nowego radioteleskopu w oparciu o siłowniki hydrauliczne. W odróżnieniu od dotychczas stosowanych typów montażu i napędów istniejących anten nowy radioteleskop nie będzie się obracał w azymucie, a jedynie pochylał bez obrotu w dowolnym kierunku przynajmniej 60° od zenitu. Musi oczywiście zapewnić precyzyjne śledzenie za obiektami astronomicznymi a także wybranie dowolnego sposobu skanowania. W efekcie waga proponowanego nowego, polskiego radioteleskopu wyniesie ok. 1000 ton, a koszt łączny nie więcej niż 100 mln zł. W tej kalkulacji są uwzględnione wydatki na rozbudowę lokalnej infrastruktury i zakupy niezbędnej aparatury.



50-metrowa antena radioteleskopu w Miyun — jednego z kilku nowych chińskich radioteleskopów

Konsultacje z firmą Mostostal (wykonawcy toruńskich radioteleskopów) i biurem projektowym urealniają wykonalność takiego ambitnego zadania w ramach ww. środków. Idealem byłoby, aby właśnie polskie firmy i polski przemysł skonsumowały fundusze europejskie. Teoretycznie jest to możliwe. Nie ma przeszkód, by krajowy przemysł rozwinął swoje możliwości projektowe i wykonawcze w obszarze nowoczesnych, innowacyjnych technologii. Byłby to ważny argument wspierający decyzję przyznania finansowania inwestycji.

Zespół Katedry Radioastronomii Centrum Astronomii UMK nie jest duży, ale posiada dobrze przygotowaną i doświadczoną kadrę pracowników inżynierjno-technicznych. Nawet bez zwiększenia liczebności tej grupy pracowników jest możliwe zapewnienie niezawodnego funkcjonowania nowego instrumentu. Kadra naukowa, istotnie szczupła, wymaga współdziałania z innymi krajowymi ośrodkami astronomicznymi w ramach przygotowanego już projektu powołania konsorcjum.

Zmierzamy do zminimalizowania kosztów utrzymania i eksploatacji. Istnieje realna szansa, by drastycznie nie przekroczyć tych aktualnie ponoszonych na utrzymanie 32-m radioteleskopu. Szacujemy, że zwiększona dotacja ze strony programów europejskich w ramach udostępniania instrumentu dla astronomów zagranicznych (Trans National Access) oraz utrzymanie dotychczasowej kadry technicznej przez UMK wraz z powiększonym wsparciem SPUB otrzymywanym z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego wystarczą na pokrycie bieżących wydatków.

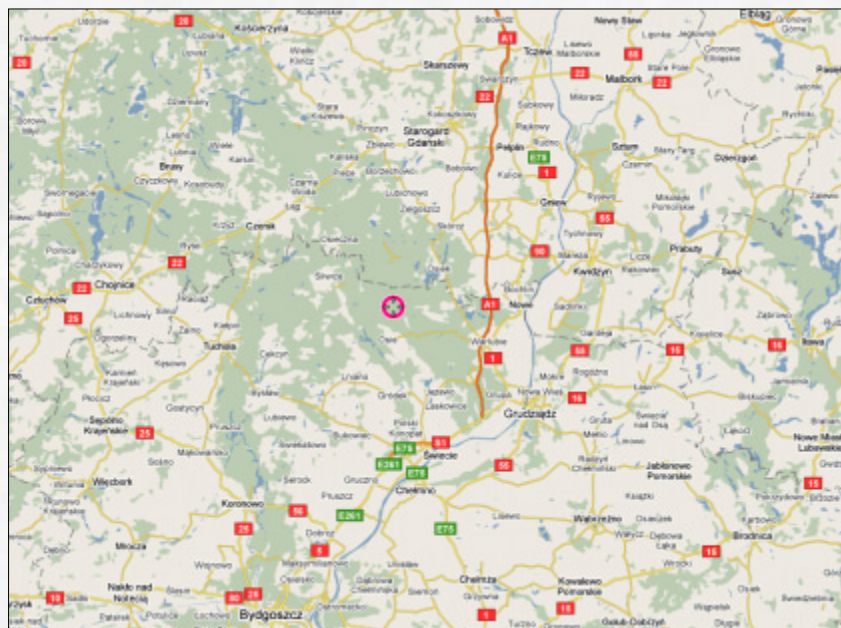
## Podstawowe parametry techniczne i eksploatacyjne proponowanego 90-m radioteleskopu

Parametry		Wielkość/typ	Uwagi
System optyczny		Cassegrain	
Średnica czaszy reflektora	D	90 m	Paraboloida obrotowa
Ogniskowa głównego reflektora	f	31,5 m	
Światłosiła	f/D	0,35	
Lustro wtórne średnica	d	9 m	Hiperboloida obrotowa
Efektywna ogniskowa	F	273 m	
Położenie ognika wtórnego		3 m	Powyżej powierzchni czaszy
Precyzja wykonania powierzchni		0,5 mm	RMS
Zakres ruchów anteny (w wysokości)		25–90°	Pochylenie w każdym kierunku
Precyzja sterowania		0,002°	Pozycjonowanie i śledzenie
Maksymalna prędkość ruchu		30 deg/min	Ruch tylko w wysokość
Całkowita waga		~1000 ton	
Pole widzenia (straty < 5%)		1–2°	Zależnie od wielkości kamery
Zakres częstotliwości pracy		1–22 GHz	W ognisku wtórnym
Rozdzielczość kątowna		2,7–0,5 arcmin	W zakresie 5–22 GHz
Czułość radioteleskopu przy 1 sek integracji		1,2 mJy	Dla kontinuum, 5 × RMS
Czułość radioteleskopu dla 1 godz. integracji		20 mikroJy	jw
Temperatura szumowa systemu odbiorczego		25–35 K	W zakresie 5–22 GHz
Konfuzja (ograniczenie rozdzielczości kątownej)		0,3–0,1 mJy	Dla 5–22 GHz
Liczba niezależnych odbiorników w macierzy odb.		49 (~100)	I etap (docelowo)
Liczba niezależnych torów odbiorczych		784 (1600)	
Rozdzielczość spektralna		1 kHz	
Rozdzielczość czasowa		0,1 ms	
Rodzaj cyfrowych „backendów”		FPGA	Projekt FP7 UNIBOARD
Lokalizacja		Dębowiec	53°39'31,4"N 18°21'43,8"E
Transmisja danych do obserwatora		>10 Gb/s	Dedykowana sieć światłowodowa

Oprócz dobrze uzasadnionych naukowych celów proponowanej inwestycji istotnym elementem jest stworzenie ponadnarodowego centrum radioastronomii, które, oprócz rozwijania badań w tej dziedzinie w ramach szerokiej współpracy międzynarodowej, zapew-

ni miejsca pracy dla młodego pokolenia astronomów. Niestety w aktualnych warunkach malejącego zapotrzebowania na kadrę nauczycieli akademickich nie mogą oni liczyć na pojawienie się nowych etatów w macierzystych jednostkach uniwersyteckich. W przyszłości

naukę skutecznie będzie można rozwijać wokół międzynarodowych laboratoriów badawczych (posiadających unikatową w skali europejskiej infrastrukturę) wspieranych przez uniwersyteckie i PAN-owskie instytuty. Mamy nadzieję, że nowy 90-m radioteleskop stanie się załącznikiem i przykładem dobrego funkcjonowania narodowego centrum badawczego. Szanse na realizację tego ambitnego zadania są znaczne. Liczymy na szerokie poparcie inicjatywy budowy dużego, nowoczesnego radioteleskopu w Polsce. Nie tylko stałibyśmy się posiadaczem trzeciego co wielkości radioteleskopu na świecie, ale zapewnilibyśmy rozwój i miejsce pracy wielu młodym uczonym, którzy dzięki temu osiągną znaczące sukcesy w dziedzinie trudnej, ale niezwykle owocnej.



Planowana lokalizacja 90-m radioteleskopu. Źródło: mapa.Szukacz.pl

*Radioastronom prof. dr hab. Andrzej Kus jest obecnie dyrektorem Centrum Astronomii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika i Przewodniczącym Europejskiego Konsorcjum VLBI na lata 2009–2011*