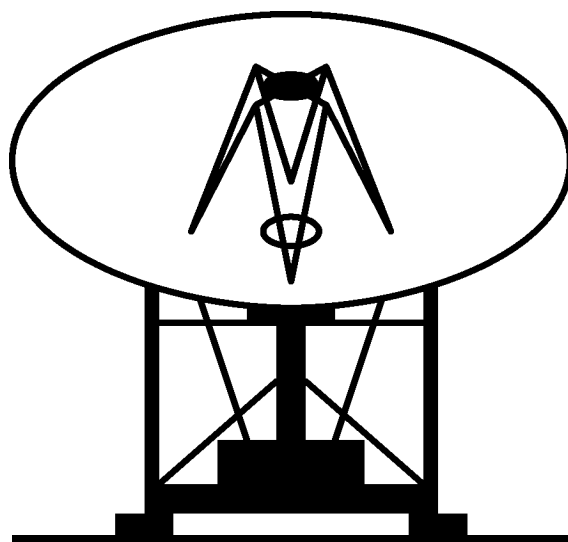


# 32-METROWY RADIOTELESKOP



Unikalność urządzenia i  
wpływ zakłóceń

**STREFA OCHRONNA**

Opracował zespół w składzie:  
prof. dr hab. A.J. Kus, prof. dr hab. S. Gorgolewski,  
dr inż. J.B. Usowicz i dr K.M. Borkowski

Centrum Astronomii UMK, Katedra Radioastronomii

Piwnice 1997

# Spis treści

<b>WSTĘP</b>	<b>3</b>
<b>RADIOTELESKOP 32 m</b>	<b>4</b>
Informacje ogólne . . . . .	4
Opis konstrukcji . . . . .	5
Geometria i inne charakterystyki anteny radioteleskopu . . . . .	8
Wyposażenie RT4 . . . . .	11
Urządzenia odbiorcze . . . . .	11
Urządzenia przetwarzające, analizujące i rejestrujące . . . . .	12
Prowadzone badania . . . . .	15
<b>ZAGROŻENIA DLA PRACY PIWNICKIEGO RADIOTELESKOPU</b>	<b>17</b>
Ogólna charakterystyka zakłóceń . . . . .	17
Zagrożenie od nadajników dużej mocy . . . . .	18
Przeciwdziałanie zakłóceniom . . . . .	21
Strefy ochronne wokół innych obserwatoriów . . . . .	22
Europa . . . . .	22
USA . . . . .	23
Propozycja strefy ochronnej . . . . .	23
<b>DODATEK 1 – Aktualny poziom zakłóceń w pasmach radioastronomicznych</b>	<b>25</b>
<b>DODATEK 2 – Charakteryzowanie emisji niepożądaney</b>	<b>28</b>
<b>DODATEK 3 – Poziomy progowe zakłóceń w radioastronomii</b>	<b>30</b>
<b>DODATEK 4 – Pasma radioastronomiczne</b>	<b>32</b>
<b>LITERATURA</b>	<b>32</b>

## WSTĘP

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie nowoczesnego instrumentu badawczego, jakim jest radioteleskop z 32 m reflektorem parabolicznym w Piwnicach koło Torunia, i zwrócenie uwagi na niebezpieczeństwa zagrażające prawidłowemu jego funkcjonowaniu. Te niebezpieczeństwa to przede wszystkim zakłócenia radiowe pochodzące od urządzeń/maszyn elektrycznych oraz nadajników radiowo–telewizyjnych i innych służb telekomunikacyjnych. Jeśli nie zostaną ustanowione strefy ochronne wokół radioteleskopu zakłócenia takie, utrudniające pracę radioteleskopu obecnie, w przyszłości mogą całkowicie uniemożliwić prowadzenie badań radioastronomicznych.

# RADIOTELESKOP 32 m

## Informacje ogólne

Omawiany instrument jest narzędziem badawczym w dziedzinie radioastronomii. Dziedzina ta zajmuje się badaniem obiektów kosmicznych poprzez odbiór i analizę ich emisji elektromagnetycznej w zakresie radiowym. Radioastronomia w fundamentalny sposób przyczynia się do lepszego rozumienia kosmosu otaczającego Ziemię, a z drugiej strony pozwala naukowcom badać warunki fizyczne i procesy, które nie mogą być symulowane w żadnym ziemskim laboratorium.

**Radioteleskop jest zespołem skomplikowanych urządzeń** służących do odbioru i analizy sygnałów radiowych pochodzących z naturalnych źródeł kosmicznych. Wiadomo, że materia posiadająca temperaturę wyższą od temperatury otoczenia wypromieniowuje energię termiczną w postaci fal elektromagnetycznych. Istnieją także inne procesy odpowiedzialne za generację takich fal w źródłach kosmicznych niezależnie od temperatury (tzw. promieniowanie nietermiczne). Źródła te to m.in. pulsary, pozostałości po supernowych, galaktyki i najodleglejsze kwazary, z których niektóre znajdują się na krańcach obserwowalnego wszechświata. Większość radioźródeł to obiekty o rozmiarach kątowych znacznie poniżej minuty łuku. Wysyłają one promieniowanie elektromagnetyczne, które pokonując olbrzymie odległości dociera do Ziemi niezwykle osłabione. Ich radiowy sygnał jest normalnie dużo słabszy (zwykle o 60 dB, tj. milion razy) od podobnego charakteru szumów elektrycznych pochodzących z tła galaktycznego, z atmosfery, z Ziemi lub generowanych w systemach odbiorczych. Jak słabe są odbierane sygnały świadczy fakt, że całkowita energia zebrana przez wszystkie radioteleskopy na przestrzeni ich istnienia nie zapaliłaby żarówki od latarki kieszonkowej na dłużej niż kilka tysięcznych części sekundy.

Cechy sygnałów radioastronomicznych zmuszają do budowania radioteleskopów o możliwie największych powierzchniach zbierających (średnicach głównych reflektorów) i wyposażania ich w możliwie najczulsze systemy odbiorcze. W tym samym celu w odbiornikach stosuje się najnowocześniejsze elementy elektroniczne chłodzone do kilkunastu stopni powyżej zera bezwzględnego (np. około  $-258^{\circ}\text{C}$ ). Wspomniane wyżej szumy tła, atmosfery itd. są mniej groźne, gdyż są w miarę stałe i mają znane charakterystyki szerokopasmowego gaussowskiego szumu losowego — podobne jak większość radioźródeł. Zakłócenia cywilizacyjne (pochodzące z nadajników, niesprawnych urządzeń odbiorczych czy iskrzących maszyn) będąc znacznie silniejsze mają ponadto zupełnie inny charakter i nieprzewidywalne przebiegi i charakterystyki.

Orientacyjna wartość teleskopów RT4 (32-m) i RT3 (15-m) wynosi łącznie 150 mld starych złotych — w przybliżeniu tyle samo, ile kompleks budynków Katedry Radioastronomii wraz z wyposażeniem.

## Opis konstrukcji

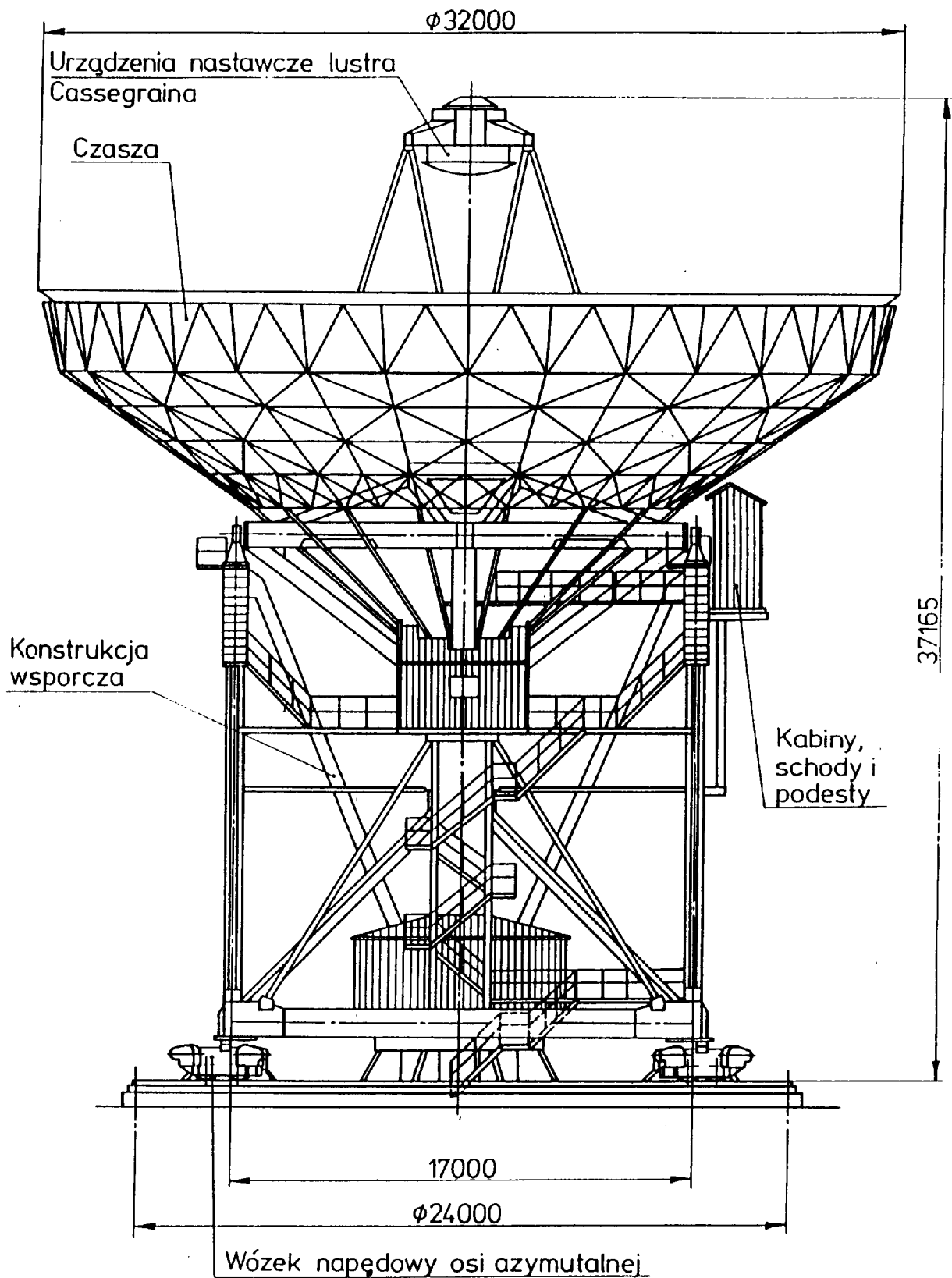
32-metrowa antena jest dziełem wielu zespołów z całej Polski. Założenia do projektu opracowali radioastronomowie toruńscy. Projektantem głównym był, podobnie jak w przypadku poprzedniej 15-metrowej anteny, mgr inż. Zygmunt Bujakowski. Przy pracach projektowych wykorzystano także doświadczenia specjalistów z kilku zagranicznych ośrodków związanych z budowaniem instrumentów radioastronomicznych (m.in. z Jodrell Bank, Cambridge, Rutherford Appleton Laboratory i Bonn).

Antena tego teleskopu jest w pełni sterowalną konstrukcją o montażu horyzontalnym, z reflektorem głównym o średnicy 32 m, pracującą w klasycznym układzie Cassegraina z demontowalnym hiperbolicznym lustrem wtórnym o średnicy 3,2 m. Na reflektor główny, w kształcie paraboloidy obrotowej, składa się 336 paneli ułożonych w siedmiu koncentrycznych pierścieniach. Wszystkie panele mają taką samą długość (1,6 m) a szerokość zależną od przynależności do jednego z siedmiu pierścieni ( $1,2 \div 1,6$  m). Wykonane są z blachy aluminiowej o grubości 2,5 mm przynitowanej do ramy zbudowanej z aluminiowych teowników. Średniokwadratowa odchyłka powierzchni paneli od paraboloidy wynosi mniej niż 0,35 mm. Panele są mocowane do konstrukcji teleskopu na czterech regulacyjnych śrubach umieszczonych w narożnikach panelu. Po ostatecznej justacji dalmierzem laserowym i metodami geodezyjnymi pomiary wykazały dokładność 0,2 mm ustawienia narożników paneli względem siebie.

Sterowanie odbywa się wokół dwóch osi — stałej pionowej i ruchomej poziomej z absolutną dokładnością  $0,002^\circ$ . Bieżącą kontrolę położenia anteny oraz prędkości ruchu zapewniają 19-bitowe przetworniki kąta umieszczone bezpośrednio na osiach obrotu. Celem wyeliminowania luzów w napędach zastosowano system podwójnych silników w każdym zespole napędowym, pracujących w trybie *antibacklash*, polegającym na tym, że w każdym napędzie są po dwa silniki, z których gdy jeden napędza, to drugi hamuje (z siłą ok. 10 % nominalnego ciągu wynoszącego 27,5 Nm).

Cała konstrukcja nośna zamontowana jest na czterech dwukołowych wózkach napędzanych podobnie jak w osi wysokości (takie same silniki i kompensacja luzów). Wózki poruszają się po jezdni — grubej szynie — rozłożonej na kole o średnicy 24 m.

Z powodu istnienia zmiennych odkształceń grawitacyjnych lustra głównego wprowadzono dodatkowy ruch kompensacyjny lustra wtórnego. W sumie sterowanie radioteleskopu oparte jest na 8 silnikach w osi azymutu (ruch wokół pionu), 4 — w osi wysokości (oś pozioma) oraz 5 — w mechanizmach ruchu lustra Cassegraina. System sterowania obejmuje też komputer nadzorujący (HP435rt), szereg sterowników i kontrolerów i zespoły napędowe (firmy Lenze).



Rysunek 1: Schemat konstrukcyjny radioteleskopu 32-metrowego — widok w pozycji bazowej.

## Charakterystyka techniczna 32 m radioteleskopu

Typ .....	sterowalna antena paraboliczna
Montaż .....	horyzontalny
Optyka do ok. 1 GHz .....	ognisko pierwotne
— powyżej ok. 1 GHz .....	system Cassegraina
Średnica torowiska .....	24,0 m
Największa wysokość (powyżej fundamentu) .....	37,6 m
Panele: ilość (7 pierścieni) .....	64+64+64+64+32+32+16 = 336
— rozmiary .....	224×(120 ÷ 160) cm
Dokładność wykonania paneli czaszy (rms) .....	<0,35 mm
— ustawienia względem wzorca obrotowego (rms) .....	1,0 mm
— czaszy po justacji dalmierzem laserowym i teodolitem (rms) .....	0,2 mm
— wykonania subreflektora (rms) .....	0,05 mm
— ustawienia osi subreflektora względem paraboloidy (max) .....	0,1 mm
— poziomowania torowiska (max) .....	0,3 mm
— poziomowania osi wysokości (max) .....	0,3 mm
Grawitacyjne odkształcenia (brzeg czaszy; max) .....	4,2 mm
Odstępstwa od homologii w położeniu zenitalnym (rms) .....	0,11 mm
— — — — horyzontalnym (rms) .....	0,14 mm
Zakres obrotu w osi wysokości .....	+2 ÷ +95 °
— — — — azymutu (od południka) .....	±270 °
— ruchu subreflektora wzdłuż osi .....	±60 mm
— obrotu subreflektora wokół dwóch osi .....	±5 °
Szybkość ruchu czaszy w osi wysokości .....	0,004 ÷ 14,7 °/min
— — — — azymutu .....	0,008 ÷ 31 °/min
Dokładność śledzenia (w obu osiach) .....	0,002 °
Blokowanie apertury przez subreflektor i jego podpory .....	7,44 %
Obciążenie na torowisku .....	~620 t
— na osi wysokości (w tym przeciwwaga: ~90 t) .....	~320 t
Ciężar wyposażenia elektrycznego .....	~2 t
— urządzeń w kabinie centralnej (pod anteną) .....	9,4 t
— stalowych szyn (o szerokości 180 mm) .....	42,5 t
— konstrukcji do montażu i konserwacji subreflektora .....	~16 t
Dopuszczalna szybkość wiatru podczas użytkowania .....	16 m/s
Graniczna szybkość wiatru grożąca uszkodzeniem .....	56 m/s
Dopuszczalna grubość oblodzenia .....	2 cm
— zakres temperatur .....	-25 ÷ +35 °C

Większość prac obserwacyjnych prowadzona jest w systemie Cassegraina, na co zezwala obecność hiperbolicznego lustra wtórnego o średnicy 3,2 m umieszczonego między ogniskiem paraboloidy a głównym reflektorem. Promieniowanie kosmiczne, po odbiciu od paraboloidy i lustra wtórnego, skupia się w ognisku wtórnym, gdzie umieszcza się właściwe anteny, tzw. *oświetlacze*, i systemy odbiorcze. Ze względu na dużą ilość używanych pasm i częste zmiany obserwowanych częstości — nawet w czasie jednej sesji obserwacyjnej — najważniejsze systemy odbiorcze są na stałe instalowane w pobliżu ogniska wtórnego. Wybór właściwego oświetlacza następuje przez odpowiedni przechył lustra Cassegraina. Istnieje też możliwość obserwacji w trybie ogniska pierwotnego (w zasadzie na dłuższych falach,  $\lambda \geq 50$  cm). W tym celu przewidziano specjalne urządzenie do demontowania lustra Cassegraina i instalowania tam urządzeń odbiorczych (w pojemniku ogniska pier-

wotnego).

Niezwykle ważną charakterystyką teleskopu jest dokładność wykonania reflektorów. Decyduje ona o jego użyteczności na krótkich falach. Wiadomo, że jeśli błąd średniokwadratowy (rms) powierzchni luster wynosi  $\sigma$ , to traci się na skuteczności wykorzystania apertury anteny o czynnik:

$$\eta_\sigma = e^{- (4\pi\sigma/\lambda)^2}.$$

Często przyjmuje się, że radioteleskop jest użyteczny do fal  $\lambda = 16\sigma$ , kiedy jego skuteczność maleje do 54 % (o czynnik  $\eta_\sigma = 0,54$ )<sup>1</sup>. Zmierzona dokładność głównego reflektora teleskopu 32-metrowego wynosi 0,4 mm, co oznacza dużą sprawność na fali 7 mm i możliwą używalność na 3 mm (ok. 100 GHz). Stawia to toruńską antenę wśród najlepszych w świecie anten średnich wielkości.

## Geometria i inne charakterystyki anteny radioteleskopu

Parametry geometryczne anteny określają w pełni cztery parametry: średnica reflektora głównego ( $d$ ), długość ogniskowej ( $f$ ), średnica reflektora wtórnego (subreflektora,  $d_s$ ) i położenie ogniska wtórnego, np. jego odległość od wierzchołka paraboloidy ( $h$ ). Pozostałe parametry można obliczyć z zależności matematycznych podanych w załączonej tabeli.

Własności użytkowe radioteleskopu zależą od częstości obserwacji. Napięciową charakterystykę kierunkową wyznacza transformata Fouriera z rozkładu pola elektrycznego na aperturze instrumentu. W przypadku apertury o symetrii kołowej dwuwymiarowa transformata Fouriera sprowadza się do transformaty Hankela. Dla teleskopu 32-metrowego, którego apertura ma kształt koła z otworem w środku, charakterystykę napięciową można przybliżyć wyrażeniem:

$$\mathcal{U}(x) = \frac{\beta \frac{2J_2(x)}{x} + (1 - \beta)J_1(x) - J_1(x \frac{d_s}{d}) \frac{d_s}{d}}{x},$$

gdzie:

$J_n$  są funkcjami Bessela pierwszego rodzaju,

$x = \pi(d/\lambda) \sin \theta$ ,

$\lambda = c/\nu$  jest długością fali obserwowanego promieniowania o częstości  $\nu$ ,

$\theta$  — to kąt między danym kierunkiem a osią symetrii,

$\beta$  charakteryzuje oświetlenie apertury przyjęte w postaci funkcji:

$1 + \beta(2r/d)^2$ , gdzie  $r$  jest odległością od osi symetrii do danego miejsca na aperturze.

W  $\mathcal{U}(x)$  składnik z funkcją  $J_2$  odpowiada za rozkład pola ważony funkcją  $1 + (2r/d)^2$ , składnik z  $J_1(x)$  — za rozkład równomierny, zaś z  $J_1(xd_s/d)$  — za wewnętrzny otwór w aperturze o średnicy  $d_s$ . Charakterystykę mocy promieniowania takiej anteny można zapisać w formie

$$\mathcal{P}(\theta) = \mathcal{U}^2 \left( \pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta \right).$$

---

<sup>1</sup>Niekiedy za najmniejszą długość fali bierze się  $4\pi\sigma$ , przy której skuteczność wykorzystania powierzchni wynosi ok. 37 %.

## Parametry geometryczne radioteleskopu

### Główny reflektor (paraboloida)

Średnica .....	$d$	32,0 m
Odległość ogniskowa .....	$f$	11,2 m
Stosunek ogniskowej do średnicy .....	$f/d$	0,35
Głębokość czaszy .....	$H = d^2/(16f)$	5,7143 m
Kąt rozwarcia .....	$2\Theta_o = 4 \arctg[d/(4f)]$	142,1507 °
Powierzchnia całkowita .....	$8\pi f^2[\cos^{-3}(\Theta_o/2) - 1]/3$	899,45 m <sup>2</sup>
Apertura (powierzchnia zbierająca) .....	$\pi d^2/4$	804,25 m <sup>2</sup>
Równanie paraboli <sup>†</sup>	$r = \sqrt{4f(f - z)} = 2f \operatorname{tg}(\Theta/2)$	

### Radioteleskop w układzie Cassegraina

Średnica hiperbolicznego subreflektora .....	$d_s$	3,2 m
Wysokość ogniska wtórnego nad wierzchołkiem czaszy .....	$h$	1,0 m
Kąt rozwarcia subreflektora .....	$2\Phi_o = 2 \arctg[2(\frac{f-h}{d_s} - \frac{f-H}{d})]$	18,8256 °
Efektywna ogniskowa .....	$F = d/[4 \operatorname{tg}(\Phi_o/2)]$	97,1729 m
Powiększenie radioteleskopu .....	$F/f$	8,6762
Odległość ognisk .....	$2c = f - h$	10,2 m
Mimośród hiperboli .....	$c/a = (F + f)/(F - f)$	1,2605
Nachylenie asymptoty $\alpha = \arccos(a/c) = \arccos[(F - f)/(F + f)]$ .....		37,5044 °
Odległość wierzchołka hiperboloidy od ognisk .....	$c - a$	1,0541 m
.....	$c + a$	9,1459 m
Głębokość subreflektora .....	$c - a - (f - H)d_s/d$	0,5056 m
Różnica dróg optycznych do obu ognisk .....	$(f - h)a/c$	8,0917 m
Całkowita powierzchnia subreflektora .....		
.....	$\pi c^2 \left( q\sqrt{q^2 - \cos^2 \alpha} - \sin \alpha - \cos^2 \alpha \ln \frac{q + \sqrt{q^2 - \cos^2 \alpha}}{1 - \sin \alpha} \right)$	8,7728 m <sup>2</sup>
.....	gdzie $q = \sqrt{1 + (d_s/2)^2/(c^2 - a^2)}$	1,1250
Powierzchnia cienia subreflektora na aperturze .....	$\pi d_s^2/4$	8,0425 m <sup>2</sup>
Równanie hiperboli <sup>†</sup>	$r = \sqrt{(c^2 - a^2)[(\frac{c-z}{a})^2 - 1]} = \frac{(c^2 - a^2) \sin \Theta}{a + c \cos \Theta}$	

<sup>†</sup>  $r$  jest odległością od osi symetrii radioteleskopu, wzdłuż której mierzona jest współrzędna  $z$ , poczynając od ogniska paraboloidy (pokrywającego się z jednym z ognisk hiperboloidy) i dodatnio w kierunku czaszy.  $\Theta$  jest kątem pomiędzy osią  $z$  i promieniem wodzącym. (KMB)

Rozdzielczość kątową, czyli szerokość głównej wiązki charakterystyki kierunkowej na połowie mocy promieniowania (HPBW), paraboloidy o średnicy  $d$  określa zatem wzór:

$$\Theta_{\text{HPBW}} = 2 \arcsin\left(3,602 \frac{\lambda}{2\pi d}\right) \approx 1,147 \frac{\lambda}{d} [\text{rad}].$$

Występujący tutaj współczynnik liczbowy  $3,602/\pi = 1,147$  jest właściwy dla oświetlenia w postaci  $1 + \beta(2r/d)^2$ , gdzie  $\beta = 0,75$  (tj. z 12 dB tłumieniem na skraju czaszy), oraz dla  $d/d_s = 10$ . Rozdzielczości 32-metrowego teleskopu dla kilku typowych częstotliwości ( $\nu$ ) zawiera poniższa tabelka.



Teoretyczna rozdzielczość kątowna ( $\Theta_{\text{HPBW}} = 2 \arcsin(0,573\lambda/d)$ ) paraboloidu  
o średnicy  $d = 32$  m oraz jego kierunkowość

$\nu$ [MHz]	327	408	610	1420	1660	2290	5000	8100	22000	43000	100000
$\lambda$ [cm]	91,7	73,5	49,1	21,1	18,1	13,1	6,00	3,70	1,36	0,70	0,30
$\Theta_{\text{HPBW}}$ [']	113	90,5	60,5	26,0	22,2	16,1	7,39	4,56	1,68	0,859	0,369
[°]	1,882	1,508	1,009	0,433	0,371	0,269	0,123	0,076	0,028	0,014	0,006
$\mathcal{D}/1000$	11	17	37	200	274	521	2490	6520	48100	184000	994000

Innymi ważnymi charakterystykami radioteleskopu są jego *powierzchnia skuteczna* i *kierunkowość*. Jeśli przez *kąt bryłowy charakterystyki kierunkowej* określimy wielkość:

$$\Omega_A = \int_{4\pi} \mathcal{P}_n(\theta, \varphi) d\Omega = 2\pi \int_0^\pi \frac{\mathcal{P}(\theta)}{\mathcal{P}_{max}} \sin\theta d\theta,$$

gdzie  $\mathcal{P}_{max}$  jest mocą w kierunku maksimum promieniowania, to kierunkowość  $\mathcal{D}$  obliczymy z:

$$\mathcal{D} = \frac{4\pi}{\Omega_A} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \mathcal{A}_{ef}.$$

$\mathcal{D}$  wyraża przybliżoną liczbę radioźródeł, jaką antena może rozdzielić przy równomiernym ich rozkładzie na niebie, (w praktyce liczba źródeł jest o około rząd mniejsza), zaś  $\mathcal{A}_{ef}$  to skuteczna powierzchnia anteny, która w danym przypadku (przy wyżej przyjętym modelu charakterystyki) wynosi:

$$\mathcal{A}_{ef} \approx 711,5 \text{ m}^2.$$

Powyższa wielkość nie uwzględnia tzw. omowych strat sygnału, strat na skutek rozpraszania na nieidealnych lustrach i wynikających z cienia rzucanego przez podpory lustra wtórnego. W praktyce powierzchnię skuteczną wyznacza się z obserwacji radioźródeł o znanych gęstościach strumienia promieniowania. Jeśli źródło o gęstości strumienia  $F$  wywoła tzw. temperaturę antenową (patrz rozdz. VII)  $T_A$  to:

$$\mathcal{A}_{ef} = 2k \frac{T_A}{F},$$

gdzie  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$  jest stałą Boltzmannna.

Od strony długich fal ograniczeniem użyteczności tego teleskopu jest efekt blokowania (przesłaniania) powierzchni reflektora przez konstrukcję nośną urządzeń instalowanych w ognisku pierwotnym. Zjawisko to staje się coraz groźniejsze w miarę jak rośnie długość fali. Można przyjąć, że oświetlacze są całkowicie przesłonięte przez podpory, gdy średnia odległość podpór sięga ok. pół długości fali. To kryterium zezwalałoby na obserwacje nawet na częstotliwościach znacznie poniżej 100 MHz, ale na dolną granicę przewidziano najniższą ze standartowych częstotliwości VLBI — 327 MHz.

Czynnik blokowania powierzchni pozostaje jednak ważny z powodu wpływu na skuteczność wykorzystania apertury. Szczegółowe obliczenia analityczne i w oparciu o graficzne rzutowanie wykazują w sumie ok. 7,44 % strat apertury, co czyni ok. 14 % strat w skuteczności anteny wywołanych blokowaniem apertury.

Układ dwuantenowy typu Cassegraina zapewnia dobre parametry anteny, ale równocześnie podpory lustra wtórnego mogą stać się skutecznym reflektorem dla źródeł zakłóceń rozmieszczonych na ziemi.

## Wyposażenie RT4

Nowoczesny radioteleskop, jakim jest RT4 (32 m), składa się z anteny, urządzeń odbiorczych, urządzeń przetwarzania, analizy i rejestracji odbieranych sygnałów oraz urządzeń sterowania. Ponadto, jest on wspomagany przez systemy pomiaru czasu, dystrybucji częstotliwości standardowych (synchronizowanych do wzorca atomowego) oraz układów monitorujących lokalne warunki meteorologiczne.

Radioteleskop RT4 jest wyposażony w nowoczesne chłodzone (do 15 K) systemy odbiorcze na wszystkie podstawowe radioastronomiczne pasma w przedziale 327 MHz – 100 GHz (na obecnym etapie jest to aparatura na pasma 1420 – 1680 MHz, 5 GHz i 6 GHz). Są to szerokopasmowe radiometry mierzące dwie składowe polaryzacji, kontrolowane komputerowo, z układem przemiany częstotliwości synchronizowanym do atomowego wzorca częstotliwości — masera wodorowego (EFOS-15). Odbiorniki i oświetlacze umieszczone są na stałe w kabinie ogniska wtórnego, a wybór częstotliwości obserwacji odbywa się automatycznie poprzez przechylenie lustra Cassegraina na żądany przez operatora oświetlacz lub przez wprowadzenie stałej poprawki pozycjonowania.

## Urządzenia odbiorcze

Używane obecnie urządzenia odbiorcze zbudowano we współpracy z wieloma ośrodkami radioastronomicznymi w USA i Europie. Spełniają one najwyższe wymagania stawiane współczesnym odbiornikom. Szumy własne wzmacniaczy wejściowych, mierzone temperaturą równoważną  $T_R$ , nie przekraczają 5 K (moc szumów własnych wynosi więc  $T_R k = \sim 7 \cdot 10^{-23}$  W/Hz, gdzie  $k$  jest stałą Boltzmanna). Czynniki ograniczające ostateczną czułość odbiornika to termiczna emisja fal radiowych z samej anteny, z atmosfery i odbicia promieniowania gruntu ziemskiego. Sumarycznie poziom szumów własnych anteny, nieba i odbiornika wynosi  $T_{sys} \leq 25$  K (ok.  $3 \cdot 10^{-22}$  Ws).

Sygnały analizowane w badaniach radioastronomicznych mają temperatury równoważne,  $T_{syg}$ , (a więc i odpowiednią moc  $T_{syg} k$ )

$$T_{syg} = 6 \frac{T_{sys}}{\sqrt{\Delta\nu \cdot \tau}},$$

gdzie  $\Delta\nu$  jest szerokością pasma w hercach (Hz), a  $\tau$  — stałą czasową w sekundach. Dla typowych zastosowań  $\Delta\nu = 10^8$  Hz, a czas integracji 10 minut, tj.  $\tau = 600$  s, zatem

$$T_{syg} = 6 \frac{25}{\sqrt{6 \cdot 10^2 \times 10^8}} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ K}$$

czyli 40 000 razy poniżej szumów własnych! Odpowiadająca moc wynosi w tym wypadku  $P_{syg} = 8 \cdot 10^{-27}$  W/Hz (!).

Moc sygnału odbieranego przez radioteleskop o efektywnej powierzchni zbierającej  $A_{ef} = 711 \text{ m}^2$  wynosi

$$P_{syg} = \frac{1}{2} A_{ef} S \Delta f,$$

gdzie  $S$  jest monochromatyczną gęstością strumienia promieniowania wyrażoną w jańskich ( $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1}$ ).

W przytoczonym powyżej przykładzie, sygnałowi  $6 \cdot 10^{-4} \text{ K}$  odpowiada strumień promieniowania radiowego w jednostkowym paśmie

$$S = \frac{2P_{syg}}{A_{ef}} = \frac{2 \times 8 \cdot 10^{-27}}{711} = 2,2 \cdot 10^{-29} \text{ Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1} \text{ lub } 2,2 \text{ mJy}.$$

Często zdarza się, że czas integracji mierzonego sygnału,  $\tau$ , sięga wielu godzin. Wtedy czułości mogą być wyższe o rząd wielkości.

O ostatecznej czułości radioteleskopu decydują więc  $A_{ef}$  (powierzchnia anteny), szumy własne urządzeń odbiorczych, ale nade wszystko poziom sygnałów zakłócających. Nie trudno obliczyć, że gdyby nadajnik telefonu komórkowego pracował w pasmach urządzeń odbiorczych radioteleskopu, to jego wykrycie byłoby możliwe na Marsie już po 5 minutach integracji sygnału (!), zaś magnetowid działający na Księżycu byłoby widać niemal natychmiast po skierowaniu nań radioteleskopu. Na szczęście pasma radioastronomiczne są chronione konwencjami międzynarodowymi, sygnowanymi także przez nasz kraj.

Zagrożeniem są jednak nadajniki dużej mocy wypromieniowujące częstotliwości harmoniczne, a także wpływające na urządzenia radioteleskopu innymi drogami niż przez antenę odbiorczą. Te inne drogi to sieć energetyczna oraz liczne połączenia pomiędzy podzespołami całej aparatury odbiorczej.

## Urządzenia przetwarzające, analizujące i rejestrujące

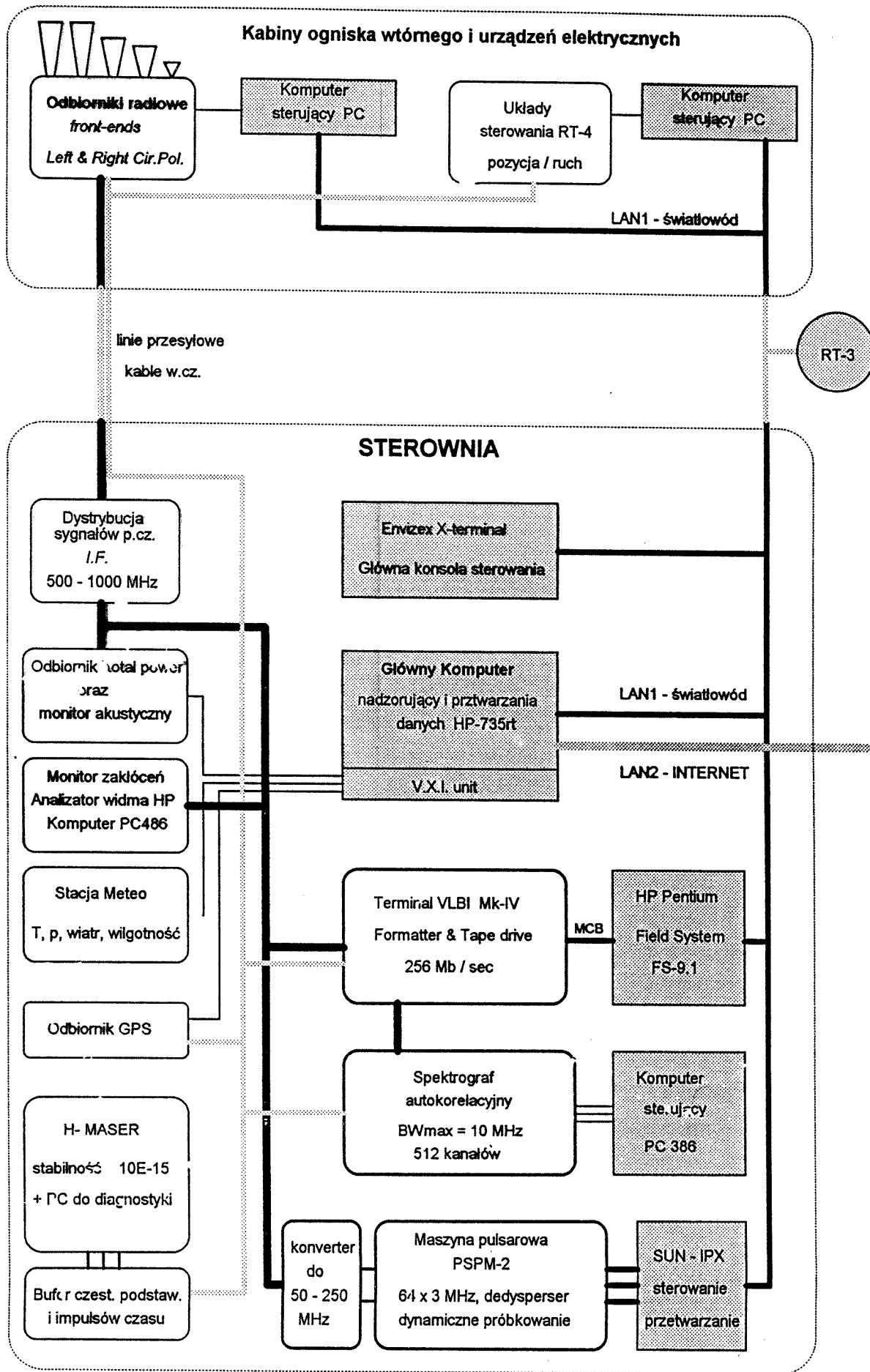
Odebrany przez anteną i wzmocniony do poziomu ok.  $-15 \text{ dBm}$  sygnał jest przesyłany łąkami kablowymi (koncentryczne linie przesyłowe), o długości ok.  $300 \text{ m}$ , do pomieszczenia sterowni. Tutaj, po dodatkowym wzmocnieniu i kompensacji strat (zależnych od częstotliwości), następuje dystrybucja do kilku urządzeń analizujących sygnały. Typowy poziom tych sygnałów mieści się w granicach  $-20 \div -10 \text{ dBm}$ , a ich pasmo obejmuje przedział  $0,1 \div 1000 \text{ MHz}$ .

Obecnie dysponujemy czterema urządzeniami do przetwarzania i analizy odbieranych sygnałów.

(a) **Radiometr mocy całkowitej** z dodatkowym wzmocnieniem ok.  $30 \text{ dB}$  w paśmie  $0,1 \div 1000 \text{ MHz}$ , z detektorem i kompensacyjnym wzmacniaczem prądu stałego o wybieralnej stałej czasowej. Sygnał wyjściowy tego

urządzenia jest rejestrowany w komputerze za pomocą szybkiego przetwornika analogowo-cyfrowego (A/D). Radiometr ten, odbierający całe pasmo, jest szczególnie wrażliwy na obecność sygnałów generowanych w urządzeniach nadawczych w pasmach  $0,1 - 1000 \text{ MHz}$ . Służy on do standardowych pomiarów strumienia radiowego w tzw. *continuum*, czyli widma ciągłego.

(b) **Terminal VLBI**. Ten najnowocześniejszy teraz na świecie terminal VLBI firmy Penny+Giles został zakupiony z grantu Unii Europejskiej w 1996 r. za sumę  $300\,000 \text{ ecu}$ . Urządzenie to jest standardem światowym używanym do obserwacji w ramach międzynarodowego programu badawczego — interferometrii wielkobazowej (VLBI). Efektem



tej współpracy jest synteza radioteleskopu o równoważnej średnicy 12000 km (średnica globu ziemskiego). Taki globalny radioteleskop ma ogromną rozdzielczość kątową (ostrość obrazów) i służy do badań rozmaitych obiektów kosmicznych.

VLBI jest najbardziej złożoną i technologicznie zaawansowaną ze wszystkich technik stosowanych w naziemnych obserwacjach astronomicznych na świecie.

Terminal składa się z kilku urządzeń: konwerterów z filtrami, formatera cyfrowego oraz jednostki pamięci taśmowej (rejestratora). Sygnały docierające z urządzeń odbiorczych w pasmach 500–900 MHz są „przenoszone” do zakresu *video*,  $1 \text{ kHz} \div 16 \text{ MHz}$ , wzmacniane, zamieniane na ciągi impulsów cyfrowych i rejestrowane w tempie 250 Mb/s (megabitów na sekundę) równocześnie na 8 ścieżkach instrumentalnego rejestratora magnetycznego. Taśmy z zapisaną informacją o sygnale wraz z precyzyjnym czasem przesyłane są do korelatora VLBI (w RFN lub USA). Tam dane zarejestrowane przez różne stacje uczestniczące w danym projekcie są jednocześnie odtwarzane, korelowane i przetwarzane. Uzyskane w wyniku tej obróbki zespolone współczynniki korelacji służą do odtwarzania obrazów obserwowanych obiektów.

Terminal VLBI i programy VLBI są w mniejszym stopniu podatne na zakłócenia, ale — z uwagi na rangę i znaczenie międzynarodowe — jakość rejestrowanych danych musi być bardzo wysoka.

(c) **Spektrograf.** Zbudowany we własnym zakresie cyfrowy spektrograf autokorelacyjny (512 kanałów) umożliwia badanie wąskostęgowych emisji radiowych. Analizowane pasma zawierają się w przedziale  $1 \text{ kHz} - 8 \text{ MHz}$ .

Do prac spektroskopowych używana jest część terminala VLBI zawierająca stopnie przemiany częstości, mieszacze jednowstęgowe, filtry i wzmacniacze zakresu *video*. Spektrograf autokorelacyjny, a ściślej układ próbkujący, połączony jest z jednym z wielu wyjść monitorujących terminala VLBI. Funkcja autokorelacji sygnału tworzona jest na korelatorach z licznikami podłączonymi do rejestru przesuwonego. Bezpośrednia transformata Fouriera tej funkcji stanowi widmo sygnału w analizowanym paśmie.

Spektrograf należy do urządzeń najbardziej narażonych na zakłócenia. Obecność nawet bardzo słabych emisji generowanych przez urządzenia nadawcze całkowicie rujnuje uzyskiwane widma emisji cząstek materii międzygwiazdowej.

W roku 1997 planujemy uruchomić nowy spektrograf pracujący w zakresie  $1 \text{ kHz} - 100 \text{ MHz}$  z 16000 kanałów. Obecnie urządzenie to jest w budowie, a jego projekt i podzespoły pochodzą z National Radio Astronomy Observatory (USA).

(d) **Maszyna pulsarowa.** Jest to jedno z najnowocześniejszych w świecie urządzeń do badania gwiazd neutronowych — pulsarów. Zbudowane zostało na University of Pennsylvania (USA) pod kierunkiem prof. A. Wolszczana. Od czasu uruchomienia maszyny w lipcu 1966 r. pracuje ona nieustannie i jest wykorzystywana do ważnego programu poszukiwania nowych układów planetarnych.

Maszyna pulsarowa posiada konwertery z pasma  $700 \div 900$  na  $50 \div 250 \text{ MHz}$  oraz 64 odbiorniki o wstęgach szerokości 3 MHz każdy. Sygnały po detekcji i dalszym wzmocnieniu są cyklicznie próbkowane i integrowane (synchronicznie z okresem pulsara) w pamięci komputera. Dane zbierane są w bloki obejmujące 10–30 minut obserwacji.

Ponieważ maszyna pulsarowa analizuje równocześnie sygnał w paśmie o szerokości 200 MHz (promieniowanie w przedziale  $1400 \div 1600 \text{ MHz}$ ), jest więc niezmiernie wrażliwa na sygnały zakłócające. Okresowe modulacje pojawiające się w sygnale zakłócającym (takie jak np. rytmiczna muzyka lub modulacja radaru) są w stanie całkowicie zniszczyć serię prowadzonych pomiarów.

Badania pulsarów należą do prestiżowego programu o zasięgu międzynarodowym. Jego

znaczenie jest fundamentalne dla międzynarodowej pozycji nauki polskiej.

(e) Z systemami odbiorczymi i rejestrującymi współpracują następujące urządzenia:

1. Zestaw aparatury do lokalnej służby czasu i generowania wzorcowych częstości obejmujący maser wodorowy, odbiornik sygnałów satelitarnego systemu nawigacyjnego GPS oraz układy dystrybucji impulsów czasu i częstości podstawowych. Maser, czyli **wodorowy wzorzec częstości** EFOS 15, został wykonany (za 250 000 USD) na nasze zamówienie przez firmę Observatoire de Neuchâtel (Szwajcaria) i charakteryzuje się stabilnością rzędu  $10^{-15}$  (w okresie 1000 s). Jest on podstawowym źródłem rozprawdzanych impulsów czasu (co 1, 10, 20 s i 1 min.) oraz częstości (100 kHz, 1, 5, 10 i 20 MHz). **Odbiornik GPS**, Model 8812 firmy TRAK Systems, służy do nawiązania czasu zegara atomowego (opartego na naszym maserze) z międzynarodowym czasem koordynowanym UTC.
2. Sprzężona z komputerem **stacja meteorologiczna** przeznaczona do monitorowania warunków atmosferycznych: temperatury, ciśnienia i wilgotności powietrza oraz prędkości i kierunku wiatru.

Przedstawione instrumentarium Katedry służy do badań radioastronomicznych. Oprócz tego w pracowniach naszej placówki prowadzone są prace nad metodami pomiarów radiowych oraz prace konstrukcyjne. Budowane są tutaj unikalne, nadzwyczaj czułe urządzenia i prace te oczywiście wymagają czystego „eteru”. Wysoki poziom sygnałów radiowych o częstości 225 kHz wymagać będzie szczególnych zabiegów, by sygnały Polskiego Radia nie indukowały się na otwartych przewodach połączeniowych testowanych lub budowanych urządzeń.

## Prowadzone badania

Osiągnięte parametry 32-m radioteleskopu oraz omówione charakterystyki techniczne stawiają go w czołówce najlepszych na świecie instrumentów radioastronomicznych w tej klasie rozmiarów. Przewyższa on pod względem kilku charakterystyk nawet zupełnie niedawno zbudowane podobne radioteleskopy w Europie Zachodniej. W Europie Środkowej w ogóle brak jest tego typu urządzeń badawczych. Jest on wykorzystywany głównie w naukowej współpracy międzynarodowej i jest dostępny dla wszystkich polskich astronomów. Dziedziny badań interferometrii wielkobazowej (VLBI) oraz badań pulsarów należą do awangardowych w całej nauce (przypomnijmy odkrycie prędkości nadświatlnych w kwazarach, czy odkrycie planet wokół pulsarów).

Teleskop ten nadaje się idealnie — w takim celu był budowany — do obserwacji techniką **interferometrii VLBI**. W technice tej radioteleskopy na różnych kontynentach obserwują jednocześnie te same obiekty, a odbierane sygnały zapisywane są specjalnymi *terminalami* na taśmach magnetycznych z szybkością rzędu 100 000 000 próbek na sekundę i później obrabiane komputerowo. Takim sposobem w komputerze można efektywnie zsintezować instrument pod względem rozdzielczości kątowej równoważny pojedynczemu radioteleskopowi o rozmiarach niemal całej Ziemi. Uzyskiwane rozdzielczości sięgają dziesiątków mikrosekund łuku ( $0,00001''$ ), co odpowiada kątowi pod jakim byłoby widać z Ziemi piłeczkę pingpongową na Księżycu. Od lutego 1997 r. możliwości te wzrosną jeszcze kilkakrotnie po wystrzeleniu specjalnego satelity z aparaturą VLBI (VSOP).

Mapy kwazarów uzyskiwane ze wspomnianymi rozdzielczościami dostarczają unikalnych informacji o budowie i ewolucji tych niezwykłych obiektów. Toruńska stacja VLBI

już od kilkunastu lat należy do europejskiej sieci (European VLBI Network) dzięki wcześniejszemu wykorzystaniu do tego celu mniejszego (15-metrowego) teleskopu. Po w sukcesie w pierwszych obserwacjach VLBI nowym radioteleskopem (w szczególności w lutym i marcu 1997 r.) na świecie wzrosło zainteresowanie stacją toruńska i oczekuje się m.in., że odegra ona kluczową rolę w całym przedsięwzięciu VSOP, satelitarnej VLBI!

Drugim ważnym programem badawczym są **obserwacje pulsarów**, przy których RT4 pracuje niezależnie od innych światowych obserwatoriów, chociaż oczywiście we współpracy. Chodzi tu o zapewnienie monitorowania tych gwiazd neutronowych przez całą dobę, co nie może być zrealizowane w jednym czy dwóch obserwatoriach. Ze względu na ograniczony czas widoczności większości obiektów kosmicznych w jednym miejscu trzeba zapewnić sieć teleskopów, które obserwują dany pulsar po kolei w miarę jak pojawia się on nad horyzontem stacji.

Aktualnie prowadzi się także **badania spektroskopowe** w oparciu o zbudowany w Katedrze spektrograf autokorelacyjny. Prace te dotyczą pomiarów emisji radiowej gwiazd późnego typu oraz badań materii międzygwiazdowej.

W niedalekiej perspektywie planuje się wykorzystanie RT4 do **prac geodezyjnych** mających na celu wyznaczenie położenia anteny względem światowej sieci geodezyjnej z precyzjami 1 cm. Ten aspekt może się okazać bardzo ważny dla Polski i regionu Torunia, gdyż w świetle najnowszych wyników badań polskich geologów, przez całą Polskę (i w pobliżu Torunia) biegnie jeden z uskoków skorupy ziemskiej na płycie euroazjatyckiej. Długofalowe precyzyjne monitorowanie położenia teleskopu pozwoli wykryć ewentualne powolne zmiany będące wczesnymi zwiastunami możliwości wystąpienia trzęsienia ziemi.

Wzrost poziomu zakłóceń lokalnych może całkowicie uniemożliwić wykorzystanie teleskopu jako instrumentu badawczego radioastronomii i geodezji. Zamykając na zawsze badania radioastronomiczne, antenę można byłoby wówczas wykorzystać jedynie jako instrument aktywny, nadający silne sygnały radiowe (np. do dalekosiężnej łączności kosmicznej, radarowego wykrywania meteorów lub innych celów cywilnych lub militarnych).

# ZAGROŻENIA DLA PRACY PIWNICKIEGO RADIOTELESKOPU

## Ogólna charakterystyka zakłóceń

Ze względu na bardzo małą moc promieniowania obiektów obserwowanych metodami radioastronomicznymi nawet niewielkie sygnały wygenerowane na Ziemi zakłócają obserwacje, albo wręcz całkowicie uniemożliwiają detekcję (wykrycie) tych obiektów. Problem ten jest znacznie groźniejszy niż ten występujący np. w telekomunikacji. Na to, żeby np. wykryć impulsy przeciętnych pulsarów potrzeba uśredniać synchronicznie z okresem pulsara dziesiątki i setki tysięcy normalnie niewidocznych na tle naturalnych szumów (kosmicznych i atmosferycznych) pojedynczych pulsów. W takiej sytuacji wystarczy jeden krótki, nawet niezbyt silny, impuls zakłócający, by całkowicie zepsuć wielogodzinne obserwacje. Naturalnie, systematyczne zakłócenia, nawet słabsze ale pochodzące z pracującego w sposób ciągły nadajnika, są o wiele groźniejsze.

Generalnie zakłócenia są generowane przez urządzenia elektrotechniczne i z reguły powstają w obwodach elektrycznych tych urządzeń. Do ważniejszych źródeł zakłóceń zalicza się:

- maszyny i narzędzia elektryczne (przemysłowe i domowego użytku)
- urządzenia przełączające i inne z ruchomymi stykami (np. silniki elektryczne, generatory)
- lampy jarzeniowe i inne przyrządy wykorzystujące wyładowania w gazach (np. reklamy neonowe, tyratrony, ignitrony, używane w układach prostowniczych, układach sterowania i automatyki)
- spawarki, zgrzewarki elektryczne i elektrofiltry (np. do odpylania gazów spalinowych)
- urządzenia mikrofalowe (np. kuchenki)
- urządzenia zapłonowe silników z zapłonem iskrowym
- linie i urządzenia wysokiego napięcia oraz trakcji elektrycznych
- urządzenia przemysłowe, medyczne i naukowe wielkiej częstotliwości
- odbiorniki radiowe, telewizyjne, magnetowidy, telewizja satelitarna, telefony bezprzewodowe (w tym komórkowe), ruchome służby, CB Radio i in.
- nadajniki radiowe i telewizyjne.

Źródła te wytwarzają zakłócenia ciągłe (modulowane przebiegi sinusoidalne) w pewnych pasmach częstości (np. ostatnie trzy grupy urządzeń), bądź impulsy i trzaski, które mają bardzo szerokie widmo, tzn. ujawniają się praktycznie na wszystkich pasmach pracy radioteleskopów. Niektóre urządzenia (np. wyładowania w gazie) generują zakłócenia o charakterze szumowym w szerokim zakresie częstości.

Sygnały zakłócające docierają do systemów odbiorczych na ogół wprost przez antenę, ale mogą też być indukowane w innych obwodach (np. liniach zasilających, liniach przesyłowych, przewodach diagnostyki radioteleskopu itd.). Moc odbieranego zakłócenia zależy



od odległości od jego źródła do anteny (jego moc maleje w zasadzie z kwadratem odległości, co oznacza że np. zakłócenie wygenerowane w odległości 1 km będzie miało skutek 100 razy większy niż takie samo zakłócenie powstające w odległości 10 km). Skutki jednak mogą być większe lub mniejsze w zależności od ukształtowania terenu (odbicia promieniowania), naturalnych lub sztucznych przeszkód oraz warunków pogodowych (warstwa śniegu lub wilgotna gleba są dobrymi lustrami).

## Zagrożenie od nadajników dużej mocy

W przypadku modulacji amplitudy (AM) połowa mocy nadajnika jest emitowana na fali nośnej i stanowi bardzo ostry prążek o wstędze poniżej 1 mHz lub znacznie mniej, w zależności od czystości widmowej wzorca częstotliwości. Jest to fakt podstawowy. Dobre generatory kwarcowe mają stabilność rzędu  $10^{-9}$  co daje 0,225 mHz. Wzorce atomowe mają od tysiąca do miliona razy lepszą stabilność, a więc odpowiednio do użytego wzorca również bardziej monochromatyczny prążek widmowy. Ma to istotne znaczenie dla obserwacji radioastronomicznych z długim czasem integracji, nie wyłączając oczywiście obserwacji pulsarów oraz linii widmowych jak również i VLBI gdzie czas obserwacji sięga nawet 12 godzin.

Częstotliwości harmoniczne fali nośnej o gęstości mocy 1 GW/Hz dla stabilności  $10^{-9}$ , lub od jednego terawata wzwyż dla wzorców atomowych, stanowią bardzo groźne źródła koherentnych zakłóceń. Sygnały te integrują się praktycznie we wszystkich obserwacjach — od najkrótszych stałych czasowych integratorów w obserwacjach milisekundowych pulsarów aż do wszystkich obserwacji VLBI włącznie.

Ponieważ w obserwacjach radioastronomicznych wykorzystuje się wzorzec wodorowy o stabilności lepszej od  $10^{-14}$  (oznacza to, że wzorzec taki jest koherentny ze sobą przez okres ponad  $10^5$  godz., tzn. ponad 11,4 lat!) umożliwia to prowadzenie pomiarów chronometrycznych pulsarów przez co najmniej taki okres bez potrzeby rekaliibracji czasu i częstotliwości. Wiac więc jasno, że wymagania radioastronomii są naprawdę wygórowane i są nie spotykane w innych służbach, które posługują się metodami radiowymi.

W radioastronomii posługujemy się bardzo prostymi sposobami oznaczania czułości systemów odbiorczych radioteleskopów. Jest to n.p. skala temperaturowa, która bez skomplikowanych przeliczeń pozwala porównywać zakłócenia, czułość i stosunek sygnału do szumów (S/N). Wynika ze znanego wyrażenia na moc sygnału:  $P = kTB$ , gdzie  $k$  jest stałą Boltzmann'a,  $T$  temperaturą szumową wyrażoną w kelwinach (K), a  $B$  jest szerokością wstęgi częstotliwości odbiornika. Stąd temperatura  $T = P/(kB)$  dla wstęgi 1 Hz i mocy 1 wata wynosi  $T = 1/k$ . Tak więc 1 W/Hz odpowiada temperaturze równoważnej  $1/k = 7,25 \times 10^{22}$  K, zaś 1 GW/Hz =  $7,25 \times 10^{31}$  K ! Wzorce atomowe mogą tę temperaturę podnieść co najmniej od tysiąca do miliona razy — są to temperatury równoważne znacznie przekraczające temperaturę *Big Bang*'u w czasie Plancka tzn. w momencie, gdy Wszechświat miał wiek równy  $10^{-34}$  s. Daje to wyobrażenie o tym, jak niesamowicie jaskrawym źródłem promieniowania na falach radiowych jest n.p. proponowany nadajnik na fali o długości 1333 m czyli na częstotliwości 225 kHz.

Jak w tej skali wygląda czułość radioteleskopów? Wyrażona w kelwinach zawiera się ona w zakresie od 30  $\mu$ K (dla promieniowania relikтового o temperaturze 2,7 K) do dziesiątków mK dla innych obserwacji. Oznacza to, że S/N w radioastronomii leży w przedziale od 0,00001 do 0,01. Inne służby wymagają S/N > 100, radioteleskopy mają

więc czułość od  $10^4$  do  $10^7$  razy większą od powszechnie stosowanych sposobów łączności radiowej.

Radioastronomowie mają długie lata doświadczeń w budowie superczułych urządzeń odbiorczych, które rutynowo odbierają sygnały od setek do setki tysięcy razy słabszych od tzw. temperatury systemowej radioteleskopu  $T_{sys}$ . Na  $T_{sys}$  składają się szумы wzmacniacza wejściowego oraz reszty odbiornika, przyczynek od strat sygnału w oświetlaczu, temperatura „nieba” w kierunku badanego radioźródła oraz promieniowanie termiczne otoczenia radioteleskopu widzianego przez listki boczne anteny.

Jaki związek mają te wywody z konkretnym proponowanym nadajnikiem o mocy 1 MW położonym około 21 km na zachód od Piwnic, gdzie znajduje się 32 m radioteleskop, który jest uznany za wzorcowy przez European VLBI Consortium w wyniku ostatnich kampanii obserwacyjnych VLBI?

Jak poinformowało nas Polskie Radio pole elektryczne tego nadajnika przy antenie 32 m w Piwnicach wynosić będzie „zaledwie 1 V/m”! Oznacza to, że przy wertykalnej polaryzacji wektora pola elektrycznego  $E$  w obszarze ogniska radioteleskopu pojawią się zmienne prądy wywołane przez potencjał pola od  $\pm(22 \div 36)$  V, w zależności od kąta elewacji anteny czyli gdy „patrzy” ona na kierunki nieco powyżej horyzontu aż do zenitu. Uziemienie całej anteny nie będzie skuteczne i będą po niej płynęły prądy o częstotliwości 225 kHz.

Takie potencjały powodują silne przesterowanie elementów nieliniowych, jakimi są np. „diody kuprytowe”, jak je dawniej nazywano. Te proste diody miały dwie elektrody — jedną miedzianą, a drugą z miedzi pokrytej tlenkiem miedzi — i były używane nawet jeszcze po II Wojnie Światowej w prostownikach do ładowania akumulatorów, prostownikach używanych w multimetrach na zakresach pomiaru prądów i napięć zmiennych, oraz tzw. „sirutorach” jako detektorach w odbiornikach radiowych. Mają one bardzo dobre właściwości jako prostowniki ponieważ ich próg przewodzenia (ok. 0,2 V) jest niższy niż w diodach germanowych (0,3 V), a szczególnie krzemowych (0,7 V). Wszystkie instalacje miedziane, w których utleni się jeden z przewodów są takimi diodami. Ponadto, elementy konstrukcje metalowe radioteleskopu wystawione na działanie kwaśnych deszczów łatwo stają się detektorami elektrolitycznymi (opisywano je już w przedwojennych podręcznikach radiotechniki). Na samej antenie spodziewać się można szereg u takich diod przełączanych napięciami rzędu 100 razy wyższymi niż próg przewodzenia tych diod. Inne jeszcze liczne diody elektrolityczne będą powstawać w czasie deszczu, mgły i rosy na płotach, lampach i innych wertykalnych strukturach metalowych w otoczeniu radioteleskopu.

Diody takie będą generowały impulsy prostokątne, których harmoniczne mają moc odwrotnie proporcjonalną do kwadratu stosunku częstotliwości,  $\nu_h$  do 225 kHz, a więc 10 000 harmoniczna (tj. 2,25 GHz) będzie  $10^8$  razy słabsza od podstawowej częstotliwości. Czym jest jednak czynnik  $10^8$  wobec wysokiej czułości odbiorników radioteleskopów? Jeżeli moc na diodzie będzie rzędu 1 mW, której odpowiada temperatura równoważna  $0,001 \times 7,25 \times 10^{22}$  K =  $7,25 \times 10^{19}$  K, wtedy przy czułości systemu odbiorczego tylko na poziomie 0,01 K jest to aż o czynnik  $7,25 \times 10^{19} / (10^8 \times 0,01) = 7,25 \cdot 10^{13}$  powyżej tej czułości!

Sygnały takie przedostawać się będą osłabione o dziesiątki decybeli przez listki boczne anteny 32 m i będą jeszcze wtedy na poziomie 10 do potęgi kilkanaście razy silniejsze od czułości radioteleskopu. Zjawiska te wystąpią na odległościach takich, gdzie pole jest rzędu 1 V/m, które przełącza takie diody, nie wystąpi zaś na odległościach takich gdzie pole ma natężenie rzędu 0,1 V/m lub słabsze, gdyż diody te nie będą przełączane, nie będą więc generować harmonicznych częstotliwości w pasmach UKF, VHF i na mikrofalach.

Zakłócenia takie wskute generacji całego grzebienia harmonicznych o odstęp często-

ści nadawanej 225 kHz występują wielokrotnie — ponad 40 razy w pasmie 10 MHz - typowej najwęższej wstędze odbiornika radioteleskopu. W przypadku obserwacji pulsarów czy VLBI używa się pasm o szerokości setek megaherców do 0,5 GHz. Zakłócenia takie są szczególnie groźne, ponieważ nie można ich odfiltrować, gdyż wchodzi one razem z sygnałem odbieranym z badanego radioźródła na wejściu czułych kriogenicznie chłodzonych wzmacniaczy wejściowych radioteleskopu.

Nie należy wreszcie zapominać o nieliniowościach w samym nadajniku opartym o urządzenia lampowe. Wszystkie lampy elektronowe nie wyłączając stopni wstępnych, a szczególnie wzmacniaczy końcowych, które ze względu na potrzebę uzyskania dużej sprawności pracują raczej w klasie B lub nawet C, a nie w klasie A, są z natury rzeczy nieliniowe. Produkują więc harmoniczne i to niemałej mocy. Nawet gdyby dało się doprowadzić do uzyskania zawartości harmonicznych na mikrofalach na poziomie miliard razy niższym niż nośna to i tak możemy mieć jeszcze gęstość mocy 1 W/Hz, tzn. temperaturę  $7,25 \times 10^{22}$  K ! Takie sygnały są szczególnie groźne w przypadku anteny 225 kHz widocznej ponad horyzontem przez 32 m radioteleskop w Piwnicach odległy zaledwie o 21 km od nadajnika w Solcu. Odległa antena, która nie „wystaje” ponad horyzont jest znacznie bardziej bezpieczna, ponieważ harmoniczne w pasmie dcm i cm nie propagują się dobrze poza horyzont.

Oczywiście wtedy antena musiałaby „patrzeć” wprost na maszt nadajnika, ale rozproszone promieniowanie od różnych obiektów w terenie nawet po osłabieniu o wiele rzędów wielkości może być nadal bardzo groźne dla radioteleskopu 32 m w całym paśmie mikrofalowym. Wtedy, gdy antena radioteleskopu skierowana jest na dowolny obszar nieba, dochodzą do niej sygnały przez listki boczne. Są one dziesiątki decybeli słabsze od czułości anteny w listku głównym, ale przy tak potężnych sygnałach będą zakłócały lub uniemożliwiały odbiór przez cały czas (24 godz.). Wnioski te są przerażające — umiejscowienie 1-MW nadajnika w takiej odległości od Piwnic może być st wyrokiem śmierci na Polską Radioastronomię, która zajmuje czołowe miejsce w Europi. Dotyczy to także innych nadajników o dużych mocach.

Wiadomo również, że jedna z metod pomiaru jakości kontaktów łączówek polega na pomiarze intermodulacji 2-ch generatorów różniących się o 1 kHz przy pomocy słuchawek i wykorzystaniu najwyższej czułości ucha w tym obszarze widma akustycznego. Nie ma możliwości wyeliminowania na radioteleskopie, w Katedrze Radioastronomii i w Obserwatorium Astronomicznym w Piwnicach, ani zabudowaniach Majątku UMK, wszystkich instalacji elektrycznych, aby uniknąć tego rodzaju efektów generujących zakłócenia pracy radioteleskopu 32 m.

Dlaczego nadajniki TV np. w Trzeciewcu i Sierpcu nie są tak groźne jak proponowany w Solcu i to na 225 kHz? Otóż pracują one na falach rzędu 0,5 m i mają około 10 razy mniejszą moc efektywną i są położone ponad 2 razy dalej. Daje to ponad 20 razy słabsze pole tzn. mniej niż 50 mV/m i nie sumuje się potencjał indukowany na dłuższych przewodach. Dodatkowo należy zauważyć, że ponieważ najwyższe różnice potencjałów zaindukowane przez fale rzędu 0,5 m są rzędu 25 mV/m, a więc nie wystarczają o czynnik conajmniej 5 do włączania diod kuprytowych, czy elektrolitycznych. Podobnie ma się sprawa z innymi nadajnikami FM na UKF, które mają znacznie mniejsze moce i fale o długości rzędu 3 m.

Należy również zwrócić uwagę na praktyczne wyeliminowanie obserwacji Słońca na fali 2,36 m (127 MHz) działającej od 1958 r. w ramach Światowej Służby Słońca. Odbiornik ten ma pasmo przenoszenia ponad 300 kHz, „złapie” więc przynajmniej dwa prążki harmonicznych 225 kHz, które na tej częstotliwości są conajmniej 100 razy silniejsze od tych na

falach decymetrowych. Nie należy zapominać, że maszt ten będzie widoczny nad horyzontem z Piwnic, podobnie jak ma to miejsce w przypadku o ponad dwa razy bardziej odległego masztu nadajnika w Trzeciewcu.

Oszacowania te pokazują, że nadajnik o mocy 1 MW położony tak blis może uniemożliwić w ogóle prowadzenie jakichkolwiek obserwacji radioastronomicznych w Piwnicach, gdzie jak wiadomo posługujemy się radiometrami o czułościach od 10 000 do 10 000 000 razy większymi niż te, których używają inne służby radiowe.

Zespół nasz działa w European VLBI Network, od sierpnia 1982 roku (jako 6-ty w Europie przed Francją i Włochami), a w Światowej Sieci VLBI jesteśmy już od 1984 roku. W ostatnim okresie kilka razy braliśmy udział w obserwacjach próbnych w ramach światowej sieci VLBI w celu skoordynowania tej sieci do nowych zadań — Orbitalnej VLBI. W lutym 1997 roku wprowadzono na orbitę Japońską Stację VLBI, która pozwoli na syntezę radioteleskopów na falach 18 – 21 cm, 6 cm i 1,35 cm kilka razy większych od globalnego radioteleskopu, w którym uczestniczymy już od 1984 r.

Polska ma po raz pierwszy w swej historii korzystną pozycję geograficzną dla VLBI, i już w 1980 roku byliśmy pod presją radioastronomów z Europy i Ameryki, aby włączyć się do europejskiego i światowego systemu VLBI. Sami przygotowywaliśmy się do tego bardzo trudnego i wymagającego zadania od końca lat 60-tych w ramach przygotowań do obchodów 500-lecia urodzin Mikołaja Kopernika.

Przypomnieć warto, że VLBI ma zdolności rozdzielcze największe w całym widmie fal elektromagnetycznych i daleko wyprzedza pod tym względem astronomię optyczną. Słynny orbitalny teleskop Hubble'a musiałby mieć średnicę lustra nie **2,4 m** lecz **2,4 km**, aby mógł konkurować z od kilku już lat rutynową VLBI, w której i nasz radioteleskop z dużym powodzeniem uczestniczy. Obecnie orbitalna VLBI wchodzi w obszar zdolności rozdzielczych rzędu **10 mikrosekund łuku (!)**, co wymagałoby na orbicie teleskopu optycznego o ponad **10 km średnicy!**

Podobnie ma się sprawa z badaniami pulsarów prowadzonymi przez obecnego dyrektora Centrum Astronomicznego w Toruniu prof. Aleksandra Wolszczana. Ma on tu zainstalowany drugi najwyższej na świecie klasy system zwany „maszyną pulsarową”, który służy jemu i jego zespołowi do poszukiwania dalszych układów planetarnych.

## Przeciwdziałanie zakłóceniom

Wśród wielu rodzajów zakłóceń obserwacji radioastronomicznych są takie, które można wyeliminować jedynie poprzez działania na arenie międzynarodowej i krajowej (gospodarka przydziałami częstości różnorodnym służbom cywilnym i wojskowym naziemnym i satelitarnym oraz dbałość o czystość pasm). W tym celu istnieją właściwe organizacje międzynarodowe. W Europie jest to Committee on Radio Astronomy Frequencies (CRAF, Komitet d/s Częstości Radioastronomicznych) przy European Science Foundation (Europejskiej Fundacji Naukowej). W obszarze lokalnym w grę wchodzi jedynie: (a) tworzenie stref ochronnych i (b) budowanie ekranów przeciwwzakłóceńowych.

Na długą metę praktycznie konieczne jest stworzenie strefy ochronnej, gdyż inne środki nie gwarantują wystarczającej skuteczności i są kosztowne. Zwykle praktykuje się strefy o promieniu  $3 \div 15$  km wokół obserwatoriów.

Kiedy powstawało (pierwsze lata po II wojnie światowej) Obserwatorium Astronomiczne w Piwnicach, jego lokalizację wybrano po starannych analizach okolic Torunia. Teren ten oddzielony jest od miasta pasem lasu, którego część stanowi rezerwat przyrody. Od początku obszar wokół Obserwatorium był prawnie chroniony. Decyzją Wojewódzkiej Rady Narodowej w promieniu 5 km od Obserwatorium nie można było wznosić żadnych budowli bez uzgodnienia z dyrektorem Obserwatorium. Budowę obserwatorium radioastronomicznego również planowano przyjmując, że owa strefa ochronna nadal obowiązuje.

Jednym ze sposobów osłabiania wpływu zakłóceń lokalnych jest budowa ekranów w postaci ścian przewodzących (płotów z siatki o oczkach mniejszych od 0,1 długości fali) o wysokości zależnej od wysokości instrumentów. Np. w Nançay (Francja) rozważa się budowę ściany o wysokości 30 – 40 m. Z analiz tam przeprowadzonych wynika, że ekran taki stłumiłby zakłócenia o 25 – 34 dB (ok. 1000-krotnie). Ekran 25-metrowy jest obecnie budowany wokół największego na świecie radioteleskopu 300 m (niesterowalnego, którego czaszę stanowi zagłębienie terenu) w Arecibo (Puerto Rico). W przypadku radioteleskopu piwnickiego ekran musiałby mieć wysokość 40 m i długość ok. 3,5 km. Trzeba pamiętać jednak, że taki ekran zasłoniłby skutecznie także sygnały stacji TV dla obszaru ok. 5 km na południowy-wschód od konstrukcji.

Posadzenie pasa względnie niskiego lasu o szerokości 1–2 km wokół radioteleskopu jest korzystne lecz absolutnie nie gwarantuje skutecznej ochrony przed zakłóceniami powstającymi za nim, ze względu na nieznaczne tłumienie i dużą wysokość instrumentu (blisko 40 m).

## **Strefy ochronne wokół innych obserwatoriów**

### **Europa**

#### 1. Netherlands Foundation for Research in Astronomy

Radiowe Obserwatoria WSRT i Dwingeloo - Holandia posiadają prawnie chronioną strefę ciszy radiowej (żadnych nadajników) w promieniu 5 km oraz strefę 15 km o ograniczonej urbanizacji. W strefie pierwszej do 5 km dopuszczalna jest jedynie działalność rolnicza, do 15 km każda nowa inwestycja (przemysłowe i usługowe nie mogą powstawać) musi być uzgodniona z obserwatorium.

#### 2. Istituto di Radioastronomia, Bolonia, Włochy

Wokół obserwatorium są wyłącznie grunty rolnicze. Wewnątrz strefy 1 km nic nie może być budowane, modyfikowane czy wykopywane bez zgody obserwatorium. Do 3 km niedopuszczalna jest zabudowa przemysłowa i usługowa.

3. Max-Planck Institut für Radioastronomie, Effelsberg k. Bonn, RFN

Strefa ochronna o promieniu 2,5 km nie dopuszcza żadnych zmian, od 2,5 do 4 km aktywność budowlana uzgadniana musi być z obserwatorium. W strefach tych obowiązuje cisza radiowa.

4. Nuffield Radio Astronomy Laboratory, Jodrell Bank, Anglia

Rozmiary strefy ochronnej wynoszą od 3 do 10 km i wynikają z uwarunkowań lokalnych oraz z wymogów prowadzonych prac badawczych. Wewnątrz strefy każda aktywność budowlana jest negocjowana z obserwatorium. Nie dopuszcza się także obecności nadajników radiowych i telewizyjnych.

5. Onsala Space Observatory, Onsala, Szwecja

Obserwatorium położone jest na terenie rezerwatu przyrody. W strefie tej (w promieniu kilku kilometrów) obowiązuje strefa całkowitej ciszy radiowej.

## USA

1. Narodowe Obserwatorium Radioastronomiczne, Green Bank, Charlottesville, WV

Wokół obserwatorium utworzono (chronioną prawem federalnym) strefę ciszy radiowej obejmującą obszar 200 x 200 km. W promieniu 2 mil od obserwatorium nielegalnym jest użytkowanie jakichkolwiek urządzeń elektrycznych, które mogą powodować zakłócenia radiowe. Teren obserwatorium i okolic ma wyjątkowo małe zaludnienie. Każda aktywność budowlana musi być uzgodniona z władzami lokalnymi i obserwatorium.

## Propozycja strefy ochronnej

W związku z ciągle rosnącymi zagrożeniami badań radioastronomicznych w Polsce jest bardzo pilna konieczność zabezpieczenia możliwości prowadzenia tych unikalnych badań obecnie i w przyszłości. Gwałtowny rozwój telekomunikacji, urbanizacja terenów podmiejskich, rozpowszechnianie taniej elektroniki użytkowej sprawiają iż badania radioastronomiczne muszą uzyskać status nauki chronionej. Poczynione w ostatnich latach inwestycje, rozwinięta współpraca międzynarodowa i wysoka pozycja polskiej radioastronomii w świecie zmuszają nas do aktywnej obrony dotychczasowych osiągnięć.

Jedynym skutecznym działaniem jest formalne utworzenie strefy ochronnej wokół obserwatorium. Strefa ta przez okres najbliższych 20. lat powinna spełniać następujące wymagania:

1. strefa A (0 - 1 km) - ścisły zakaz budowy nowych i rozbudowy istniejących obiektów, grunty wyłącznie rolnicze. Zakaz budowy nowych dróg komunikacyjnych
2. strefa B (1 - 3 km) - zakaz budowy nowych obiektów mieszkalnych, zakładów usługowych i przemysłowych z możliwością jedynie rozbudowy istniejących zagród. Zakaz budowy nowych dróg dla komunikacji samochodowej

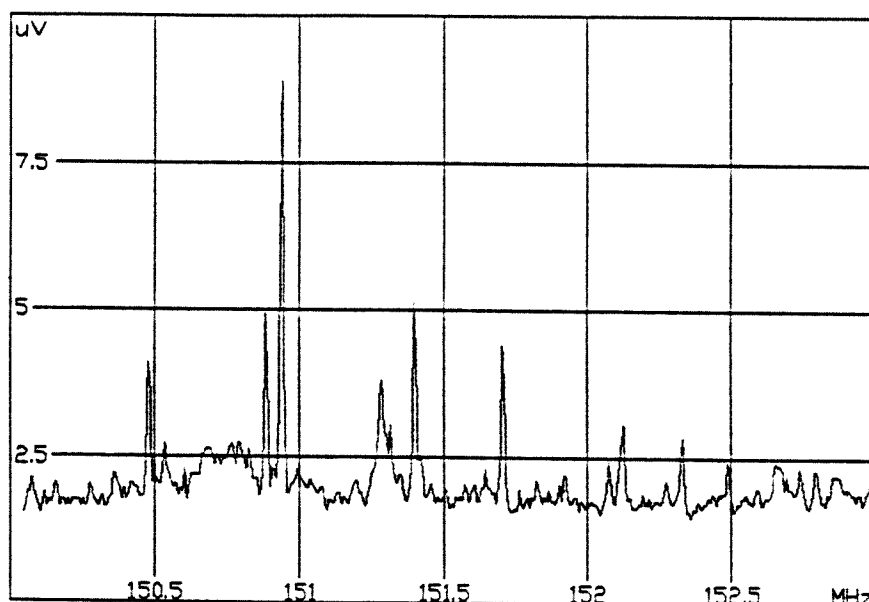
3. strefa C (3 - 4 km) - dopuszczalna jedynie rozproszona zabudowa jednorodzinna a nowe zagrody można będzie budować jedynie na własnych gruntach o powierzchni użytków rolnych powyżej 5 ha
4. strefa D (0 - 4 km) - w której będzie zakaz użytkowania urządzeń radiowych nadawczych z wyjątkiem służb państwowych w sytuacjach wyższej konieczności
5. strefa E (4 - 8 km) - w której wydanie licencji na użytkowanie radiowych urządzeń nadawczych będzie warunkowane uzyskaniem stosownej zgody kierownictwa CA UMK
6. strefa F (0 - 30 km) - zakaz instalowania nowych nadajników radiowych, TV i komunikacyjnych o mocy większej niż 500 W. Dotychczas używane nadajniki nie mogą zwiększać mocy promieniowanej
7. strefa G (30 - 50 km) zakaz lokalizowania nowych nadajników o mocy większej niż 500 kW. Dotychczas używane urządzenia nie mogą zwiększać mocy promieniowanej. Dopuszczalne natężenie pola w Piwnicach 10 mV/m.

# DODATEK 1 – Aktualny poziom zakłóceń w pasmach radioastronomicznych

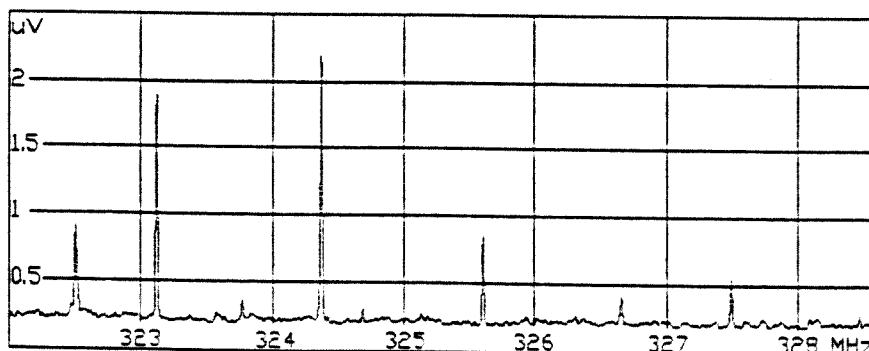
Na wykresach poniżej przedstawiono poziomy sygnałów (generowanych w urządzeniach nadawczych) wchodzących bezpośrednio w zastrzeżone pasma radioastronomiczne. Zgodnie z decyzjami Międzynarodowej Unii Telekomunikacyjnej w pasmach tych nie powinno być żadnych sygnałów. Pomiarów dokonano analizatorem widma Hewlett Packard HP8592D z anteną ćwierćfalową na terenie obserwatorium w Piwnicach.

W pasmach 150, 327 i 410 MHz nie ma już możliwości prowadzenia badań radioastronomicznych. Pasma 1420 i 1660 MHz są także zaburzane obecnością niepożądaną emisji oraz zakłóceniami intermodulacyjnymi.

## 150 MHz



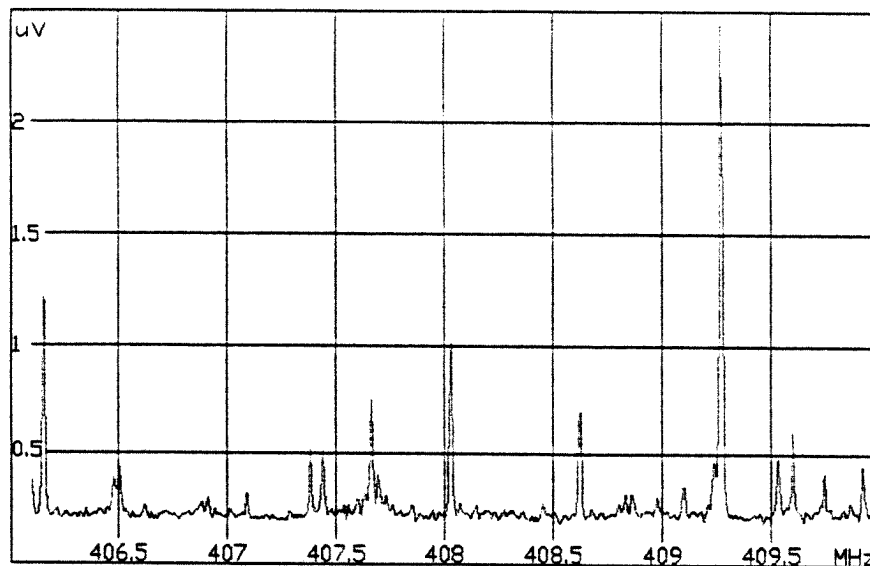
## 327 MHz



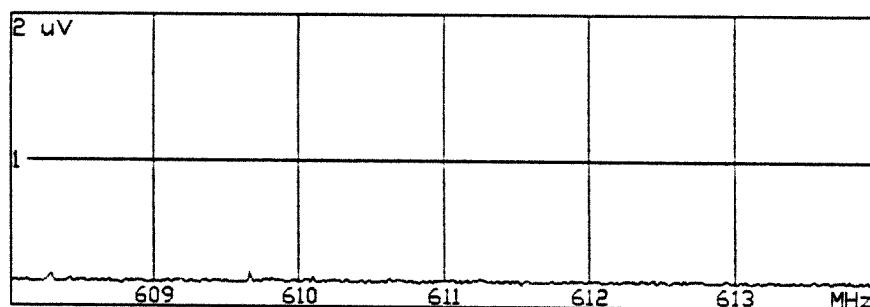


Pasma 410 i 610 MHz

410 MHz



610 MHz





# DODATEK 2 – Charakteryzowanie emisji niepożądaney

## 1. Wyrażenia i jednostki dla emisji niepożądaney

Poziom emisji niepożądaney (z ang. *spurious emissions*) w danym paśmie częstotliwości określa się zwykle w wartościach:

- mocy
- natężenia pola mierzonego w danej odległości od źródła zakłóceń (FS)
- gęstości strumienia mocy mierzonej w danej odległości od źródła zakłóceń (PFD)

W radioastronomii i satelitarnej łączności radiowej poniżej częstotliwości 1 GHz do oceny i pomiarów poziomu zakłóceń używa się zazwyczaj wielkości PFD.

## 2. Jednostki

Jednostką mocy w układzie SI jest wat, jednak moc emisji niepożądaney podaje się w następujących jednostkach: dBpW, nW, dBm lub dBW. Używa się również wielkości zwanej widmową gęstością mocy, czyli mocy przypadającej na jednostkowy przedział częstotliwości.

Jednostką natężenia pola w układzie SI jest V/m. Natężenie pola zakłóceń wyraża się w  $\mu\text{V}/\text{m}$  lub  $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ .

Jednostką gęstości strumienia mocy w układzie SI jest  $\text{W}/\text{m}^2$ . Gęstość strumienia mocy emisji niepożądaney wyraża się w  $\text{dB}(\text{W}/\text{m}^2)$  lub w  $\text{mW}/\text{cm}^2$ .

## 3. Zależności pomiędzy mocą, natężeniem pola i gęstością strumienia mocy

Znane są proste zależności, które wyprowadzono przyjmując upraszczające założenia: swobodna przestrzeń, strefa daleka.

Natężenie pola zakłóceń oblicza się ze wzoru

$$FS = \sqrt{30 \frac{\text{EIRP}}{D}} \quad [\text{V}/\text{m}]$$

gdzie:  $D$  — odległość pomiędzy źródłem zakłóceń a punktem pomiarowym w metrach, EIRP — równoważna izotropowa promieniowana moc w watach

Wartość maksymalna FS wynosi

$$FS_{max} = 1.6 \cdot FS$$

dla anteny pomiarowej umieszczonej 10 m nad powierzchnią ziemi w odpowiednio dobranym punkcie pomiarowym.

Natężenie pola zakłóceń wyrażone w  $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$  wynosi

$$E = 120 + 20 \log(FS).$$

Gęstość strumienia mocy w  $W/m^2$  wyraża się jako

$$PFD = FS^2(120\pi).$$

Ta sama wielkość wyrażona w  $dB(W/m^2)$  ma postać

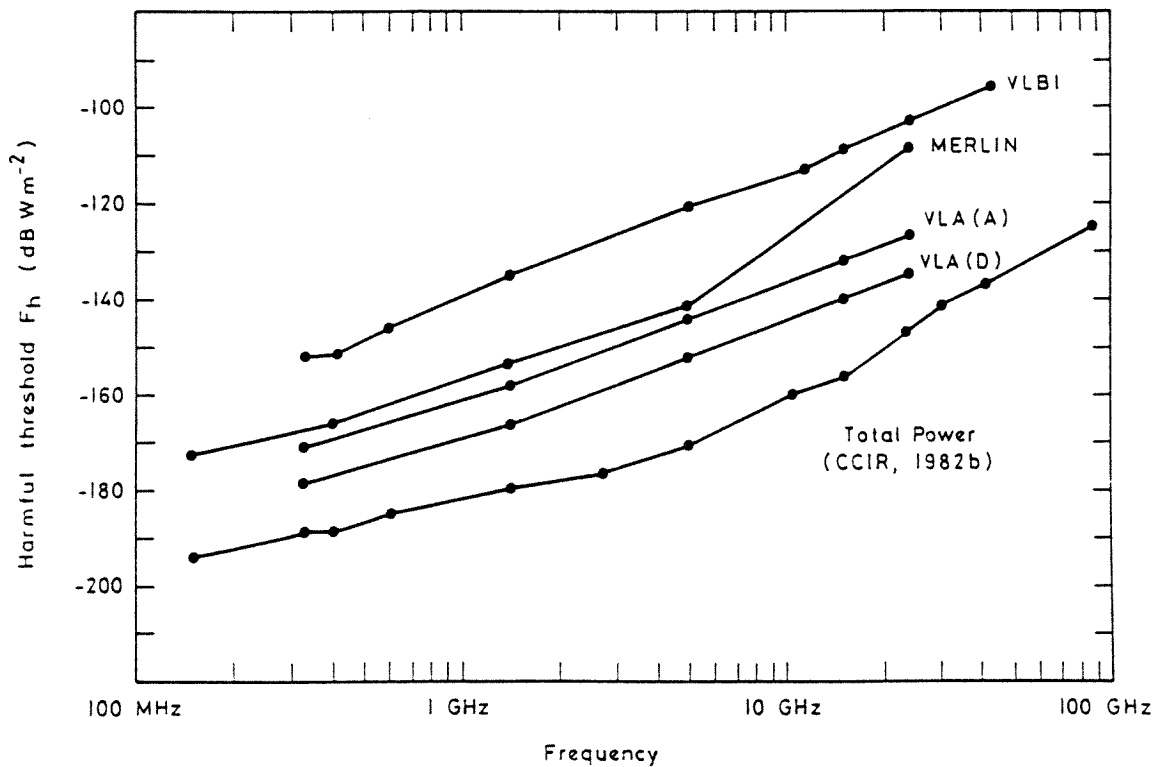
$$pfd = 10 \log (PFD).$$

EIRP	EIRP	EIRP	EIRP	ERP	E field Free Space	E field max OATS	pfd Free Space	pfd max OATS
(dBm)	(nW)	(dB(pW))	(dBW)	(dBm)	(dB( $\mu V/m$ )) at 10 m	(dB( $\mu V/m$ )) at 10 m	(dB( $W/m^2$ )) at 10 m	(dB( $W/m^2$ )) at 10 m
-90	0.001	0	-120	-92.15	-5.2	-1.2	-151.0	-147.0
-80	0.01	10	-110	-82.15	4.8	8.8	-141.0	-137.0
-70	0.1	20	-100	-72.15	14.8	18.8	-131.0	-127.0
-60	1	30	-90	-62.15	24.8	28.8	-121.0	-117.0
-50	10	40	-80	-52.15	34.8	38.8	-111.0	-107.0
-40	100	50	-70	-42.15	44.8	48.8	-101.0	-97.0
-30	1000	60	-60	-32.15	54.8	58.8	-91.0	-87.0
-20	10000	70	-50	-22.15	64.8	68.8	-81.0	-77.0
-10	100000	80	-40	-12.15	74.8	78.8	-71.0	-67.0
0	1000000	90	-30	-2.15	84.8	88.8	-61.0	-57.0

Tabela przedstawia zależności pomiędzy wartościami mocy (EIRP, ERP), natężeniem pola zakłóceń (FS,  $FS_{max}$ ) i gęstością strumienia mocy (PFD) w różnych jednostkach.

## DODATEK 3 – Poziomy progowe zakłóceń w radioastronomii

Poziomy progowe zakłóceń szkodliwych dla służb radioastronomicznych określone są przez International Telecommunication Union w dokumencie *Recommendations ITU-R RA.769*.



Powyższy rysunek przedstawia poziomy progowe zakłóceń w obserwacjach radioastronomicznych w funkcji częstości dla różnych typów radioteleskopów. Najniższa krzywa odnosi się do pomiarów mocy całkowitej odbieranego promieniowania radiowego za pomocą pojedynczej anteny. Interferometry, składające się z połączonych ze sobą anten, takie jak VLA lub MERLIN, wykazują pewien stopień odporności na zakłócenia, który rośnie wraz z rozmiarami układu anten wyrażonymi w jednostkach długości fali. Krzywa dla interferometrii VLBI zakłada, że sygnał zakłócający ma wpływ tylko na pojedynczą antenę, co oznacza, że poziom progowy jest niezależny od konfiguracji układu anten lub jego rozmiarów.

Poniższe dane, wzięte ze wspomnianego dokumentu, przedstawiają poziomy progowe zakłóceń w pasmach częstotliwości przydzielonych służbom radioastronomicznym.

<b>Radioastronomy Band</b>	<b>Power flux Density in dBW/m<sup>2</sup></b>	<b>Spectral Power Flux Density, dBW/(m<sup>2</sup>Hz)</b>
13.36-13.41 MHz	-201	-248
25.55-26.70 MHz	-199	-249
73.0 -74.6 MHz	-196	-258
150.05-153.0 MHz	-194	-259
322.0-328.6 MHz	-204	-258
406.1-410.0 MHz	-189	-255
608 -614 MHz	-185	-253
1400-1427 MHz	-196	-255
1610.6-1613.8 MHz	-194	-238
1660 -1670 MHz	-194	-251
2690 -2700 MHz	-177	-247
4900-5000 MHz	-171	-241
10.6-10.7 GHz	-160	-240
15.35-15.4 GHz	-156	-233
22.1-22.5 GHz	-162	-233
23.6-24.0 GHz	-161	-233
31.3-31.8 GHz	-141	-228
42.5-43.5 GHz	-153	-227
86-92 GHz	-144	-222
105-116 GHz	-141	-222
164-168 GHz	-136	-216
182-185 GHz	-135	-216
217-231 GHz	-133	-215
265-275 GHz	-131	-213

Przedstawiono tu poziomy progowe gęstości strumienia mocy i widmowej gęstości strumienia mocy zakłóceń szkodliwych dla radioastronomii. Progi obliczono dla pojedynczej anteny odbierającej promieniowanie przez izotropowe listki boczne charakterystyki kierunkowości anteny o zysku 0 dBi (wskaźnik i dotyczy izotropowości) i czasie integracji 2000 sekund.

# DODATEK 4 – Pasma radioastronomiczne

Przydział pasm częstości (w MHz) dla radioastronomii  
(Wg. *Handbook for Radio Astronomy*, ESF CRAF, NFRA, Dwingeloo, 1994.)

13.26	13.36	PRIM.	3260.0	3267.0	notif.	48940	49040	PRIM.
25.55	25.67	PRIM.	3332.0	3339.0	notif.	51400	54250	notif.
37.50	38.25	secnd.	3345.8	3352.5	notif.	58200	59000	notif.
73.00	74.60	PRIM.R2	4800	4990	secnd.	64000	65000	notif.
79.25	80.25	PRIM.R3	4990	5000	PRIM.	71000	74000	notif.
150.05	153.00	PRIM.	10600	10680	PRIM.	86000	92000	PRIM.
322.00	328.60	PRIM.	10680	10700	PRIM.	92000	95000	notif.
406.10	410.00	PRIM.	14470	14500	secnd.	95000	100000	notif.
608.00	614.00	PRIM.R2	15350	15400	PRIM.	97880	98080	PRIM.
		secnd.R1,R3	22010	22210	notif.	105000	116000	PRIM.
1330.0	1400.0	notif.	22210	22500	PRIM.	140000	151000	PRIM.
1400.0	1427.0	PRIM.	22810	22860	notif.	150000	151000	secnd.
1610.6	1613.8	PRIM.	23070	23120	notif.	174000	182000	secnd.
1660.0	1660.5	PRIM.	23600	24000	PRIM.	182000	185000	PRIM.
1660.5	1668.4	PRIM.	31300	31500	PRIM.	186200	186600	secnd.
1668.4	1670.0	PRIM.	31500	31800	PRIM.	217000	231000	PRIM.
1718.8	1722.2	secnd.	36430	36500	notif.	265000	275000	PRIM.
2655.0	2690.0	secnd.	42770	43400	PRIM.	>275000	not alloc.	
2690.0	2700.0	PRIM.	47200	50200	notif.			

PRIM. = primary allocation; secnd. = secondary allocation; notif. = notification of use.

## LITERATURA

- K. Borkowski, A. Pawski, J. Stachowski, D. Szumińska, *Ocena oddziaływania zabudowy mieszkaniowo-usługowej i produkcyjnej na radioteleskop w Piwnicach k/Torunia*, Torplan, Toruń, 1995.
- P.C. Crane, L.A. Hillenbrand, *Estimating Harmful Levels of Radio-Frequency Radiation*, IAU Coll. 112 (Light Pollution, Radio Interference, and Space Debris), 1988.
- ESF-CRAF Secretariat, *Handbook for Radio Astronomy*, Dwingeloo, 1994.
- International Telecommunication Union, *ITU Radio Astronomy Handbook*, Geneva, 1996.
- International Wrocław Symposium on Electromagnetic Compatibility — EMC 94*, prace: H.C. Kahlmann; B. Darchy i R. Weber; T.A.Th. Spoelstra.
- H.C. Kahlmann, *The Passive Use of the Frequency Spectrum*, Final Report, NATO, 1996.
- W. Rotkiewicz (red.), *Przemysłowe zakłócenia radioelektryczne i ich zwalczanie*, Warszawa, 1968.
- E.N. Skomal, *Man-Made Radio Noise*, New York, 1978.
- F.G. Smith, *Astronomy now*, str. 51-52, Nov. 1992.
- A. Wojnar (red.), *Poradnik inżyniera. Radioelektryka*, Warszawa, 1969.



## COMMITTEE ON RADIO ASTRONOMY FREQUENCIES

Netherlands Foundation for Research in Astronomy, Postbus 2, 7990 AA Dwingeloo, The Netherlands

Telefax (+31) 5219 7332, Telephone (+31) 5219 7244

European Science Foundation

Dr. T.A.Th. Spoelstra

Secretary

Torun Radio Astronomy Observatory.  
Uniwersytet Mikolaja Kopernika  
Piwice, gm. Lulkowo.  
Polen.

To the Directors of  
the TORUN RADIOASTRONOMY OBSERVATORY.

Dear Sir,

Recently I learned about plans to build houses close to your observatory. We know by experience about the harmful interference that can, and will be caused by domestic use of modern electronic equipment. For these reasons the ESF-CRAF generally advises to have a "radio-free" zone of some kilometers radius around observatories.

Our concern with the intended building close to your site is twofold.

There is the general concern about the levels of harmful interference on your local work. Your scientific results will suffer from this.

But, also your contribution in the European VLBI network will probably suffer interference, and international cooperation is, and will remain extremely important.

Therefore we strongly advise you to convince the local authorities to adapt the building plans to allow your observatory enough space for a radio silent zone. We also advise you to establish channels to your local authorities to discuss the effects from local interference.

Sincerely Yours,



H.C. Kahlmann

Chairman ESF-CRAF



EUROPEAN CONSORTIUM FOR  
VERY LONG BASELINE INTERFEROMETRY



Bologna 29.04.1997

Professor Aleksander Luczak  
The Minister  
Polish Committee for Scientific Research  
00-921 Warszawa, Wspolna 1/3, Poland.

Subject: Radio Protection for the Torun Radio Astronomy  
Observatory

Your Excellency,

The Consortium of European Radio Observatories expresses its deep concern regarding the radio interference protection around the Torun 32m Radio Telescope. The reason is the recent news on a project of the Polish Government to build a powerful LW transmitter very close to the Torun Radio Astronomy Observatory.

Since radioastronomical equipment measures signals several orders of magnitude below the instrumental noise, they are particularly exposed to any source of man-made radio signals. Therefore a powerful LW transmitter, even if outside the allocated radioastronomical bands, is a potential source of trouble for sophisticated receivers and instruments.

The Torun 32m Radio Telescope is the only radioastronomical research instrument in East-Central Europe and has proven to be extremely valuable for the European VLBI Network. This telescope, equipped with high-tech modern instrumentation opens excellent opportunity for the development of local research and international cooperation in the forefront of science. Its construction has been carefully monitored by the Consortium, and has been significantly financed over the last 5 years by the Brussels EU Offices. It is now regarded as the best example of political, economical and cultural exchange in Eastern Europe as well as the flourishing example of integration of European Research to be followed by other East European countries.

We hope that there are alternative locations for the proposed LW Polish Radio transmitter and that the Torun Radio Observatory will receive the best possible protection by the Polish Government, creating a protective radio-quiet zone (with no new radio transmitters and limited housing development) around it.

Thank you for Your attention  
Yours Sincerely

*Luca Bellini*

European Consortium for VLBI Chairman

Chairman  
Dr. L. Padellini

INSTITUTE FOR  
RADIO ASTRONOMY, CNR

Via Gobetti 101  
40129 Bologna  
Italy  
tel.: +39 51 6399300  
fax: +39 51 6394431  
email: Padellini@ASTRO1.BO.CNR.IT

Vice-Chairman  
Prof. R. Wielebinski

MAX-PLANCK-INSTITUTE FOR  
RADIO ASTRONOMY

Auf dem Hügel 69  
53121 Bonn  
Germany  
tel.: +49 228 525300  
fax: +49 228 525426  
email: D6472@MPEFR-BONN.MPG.DE

# JOINT ORGANIZATION FOR SOLAR OBSERVATIONS - JOSO

Cooperation of European Solar Physicist

<i>President:</i>	<i>1st Vice-President:</i>	<i>2nd Vice-President:</i>	<i>Secretary:</i>
Dr. B. Schmieder	Dr. P. N. Brandt	Dr. A. Kučera	Prof. O. Kjeldseth-Moe
Observatoire de Paris	Kiepenheuer-Institut	Astronomical Institute	Institute of Theoret. Astrophys.
Section de Meudon	Schöneckstr. 6	Slovak Academy of Sciences	University of Oslo, P.O. Box 1029
F-92195 Meudon Cedex	D-79104 Freiburg	CS-05960 Tatranská Lomnica	N-0315 Blindern, Oslo
Ph.: 33-1-45077817	Ph.: 49-761-3198 0	Ph.: 42-969-967866	Ph.: 47-22-856510

## Resolution on Internationally Protected Radio Bands

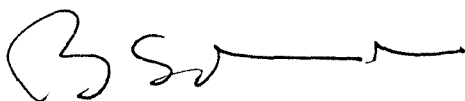
Adopted by the Board of JOSO at the 27th Annual JOSO meeting  
in Benesov, Czech Republic, October 15, 1995

The Board of the Joint Organization for Solar Observations (JOSO),

- NOTING that the radioastronomical observations are devoted to low intensity signals emitted by cosmic sources, like the Sun, and that the allocated frequencies for this passive usage are very limited,
- DEPLORING that the radioastronomical observations are increasingly affected by strong emissions due to active services close to, or even in, the "protected" bands,
- INVITE the National and the European Administrations for Radio Regulations to effectively protect the radioastronomy service from harmful interferences in the very few selected frequencies according to the international agreements stated by the International Telecommunication Union.

On behalf of the JOSO Board

Paris, 9.1.1995



Brigitte Schmieder  
President of JOSO