

## Zjazd Techniczny PK UKF Zieleniec 2023

### Aparatura do łączności EME w paśmie 24GHz.

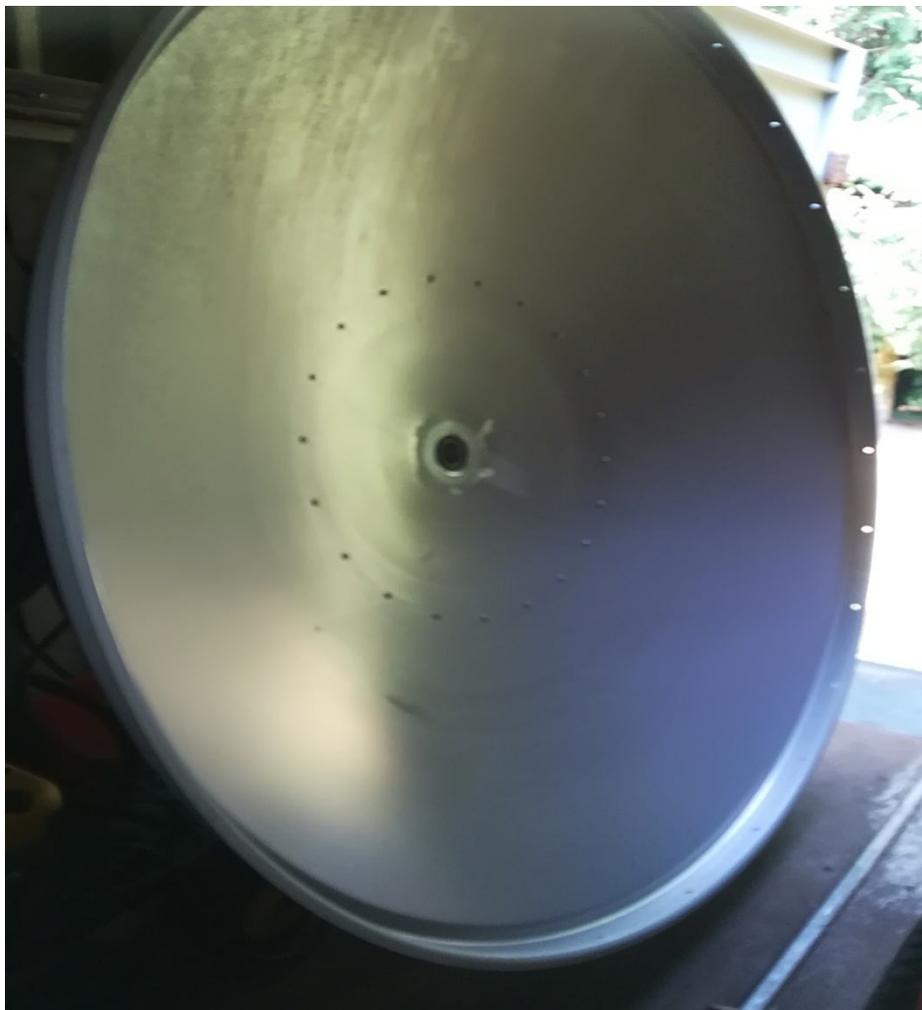
W artykule tym opisujemy, naszą wersję wykorzystania modułu Wavelab w aparaturze do łączności EME. Przy realizacji tego projektu korzystaliśmy z doświadczeń kolegów, użytkowników forum mikrofales.cafe. Mamy nadzieję, że nasz artykuł dorzuci „cegiełkę” do banku informacji o tym module.

#### Antena

Kilka lat temu wpadła nam w ręce antena paraboliczna (Fot. 1, Fot. 2), symetryczna, z pasma 23 GHz. Jako, że posiadaliśmy już moduły Wavelab i bardzo dokładną antenę z tego zakresu, podjęliśmy decyzję o budowie stacji EME na pasmo 24GHz.



Fot 1



Fot 2

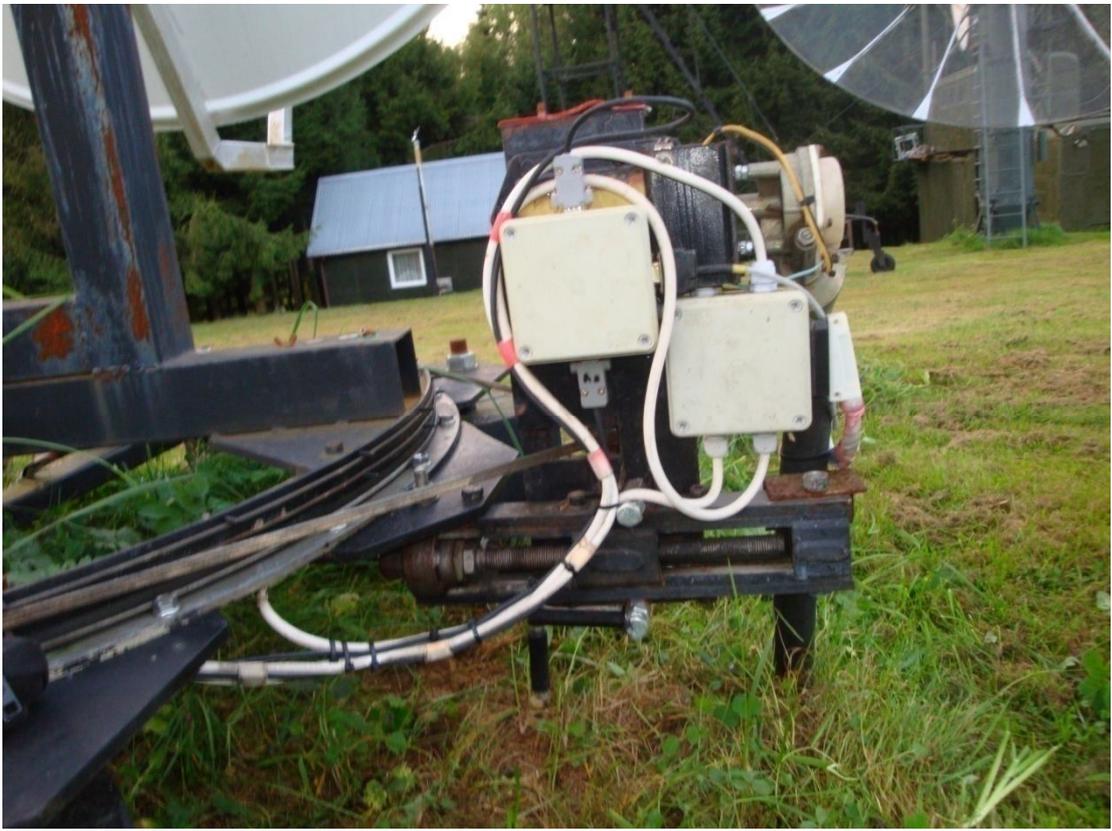
Prace ruszyły równolegle w dwóch jednoosobowych „zespołach”. Jacek SP6OPN zajął się budową rotora, a ja (SP6JLW) zająłem się budową bloku antenowego. Na 24 GHz, przy tych rozmiarach anteny (średnica 1800mm) i rozdzielczości sterowników 0.1 Deg wymagana jest bardzo wysoka precyzja napędów, co wymusza stosowanie prawie bezluzowych przekładni.

Podstawa anteny zamontowana jest na wielkogabarytowym łożysku kulkowym o średnicy 1200mm (Fot. 3). Ostatni stopień przełożenia to przekładnia linkowa o regulowanym naciągu (Fot.4). Ta przekładnia nie posiada żadnych luzów a jej duże przełożenie praktycznie niweluje luzy w poprzedzających zębatych przekładniach. Całkowite przełożenie jest bardzo duże, nikt z nas tego nie liczył ani nie projektował, wynika ono z zastosowanych elementów, które posiadaliśmy w naszych zasobach. Pełny obrót, 360 deg trwa ok. 90 minut. Istnieje możliwość rozłączenia sprzęgła między przekładniami zębatymi a przekładnią linkową (Fot. 5), wtedy można szybko ręcznie (kręcąc korbką) wstępnie ustawić antenę na pozycję startową bądź serwisową.

Napęd elewacji złożony jest z siłownika śrubowego i przekładni ślimakowej, tam też jest możliwość odłączenia siłownika i szybkiego ręcznego ustawienia elewacji (Fot. 6). Nie będę się skupiał na szczegółowym opisie tych rozwiązań gdyż są one unikalne wymuszone przez zastosowane przez nas elementy. Istotne jest to aby była możliwość szybkiego ustawienia anteny w położenie serwisowe (pomiar szumu Słońca, Księżyc itp.) i powrotu do prędkości operacyjnej, która jest bardzo mała, wymuszona rozdzielczością sterownika.



Fot. 3



Fot. 4



Fot. 5



Fot.6



Fot. 7

W naszym projekcie zrezygnowaliśmy z oryginalnego promiennika, gdyż według rad doświadczonych kolegów niemożliwe jest osiągnięcie wymaganych parametrów szumowych systemu przy stosowaniu tego typu oświetlacza. Zostało wykonane łożo, umocowane na specjalnym wysięgniku (Fot 8), na którym na elementach regulacji położenia w trzech osiach instalowany jest blok antenowy z promiennikiem powszechnie stosowanym w aparaturze .



Fot. 8



Fot. 9

Fotografia (Fot.9) ilustruje kompletny zestaw przygotowany do pomiaru szumów termicznych słońca. Przygotowaliśmy też uchwyt umożliwiający montaż bloku antenowego w ognisku naszej 4'ro metrowej anteny (Fot. 10). Wyniki pomiarów szumu słonecznego obaliły „mity” o wymogu stosowania anten o wręcz idealnym kształcie i gładkiej równej powierzchni. Okazuje się, że poziom szumu uzyskany na antenie, która sprawia wrażenie jak by była tłoczona „kolanem na piasku” jest przynajmniej o 2dB większy niż na antenie która w założeniu miała być lepsza! Z tych pomiarów nie należy wyciągać pochopnych wniosków. Kąt połowy mocy dla anteny o średnicy 4m jest dużo mniejszy od średnicy kątowej Księżyca, w związku z tym ocena skuteczności anten może być inna, trzeba to sprawdzić na sygnałach odbitych od Księżyca. Po tych próbach podjęliśmy decyzję o kontynuowaniu projektu z wykorzystaniem większej anteny i dopiero po osiągnięciu celu (pierwsza łączność) wrócimy do pierwotnego rozwiązania.



Fot. 10

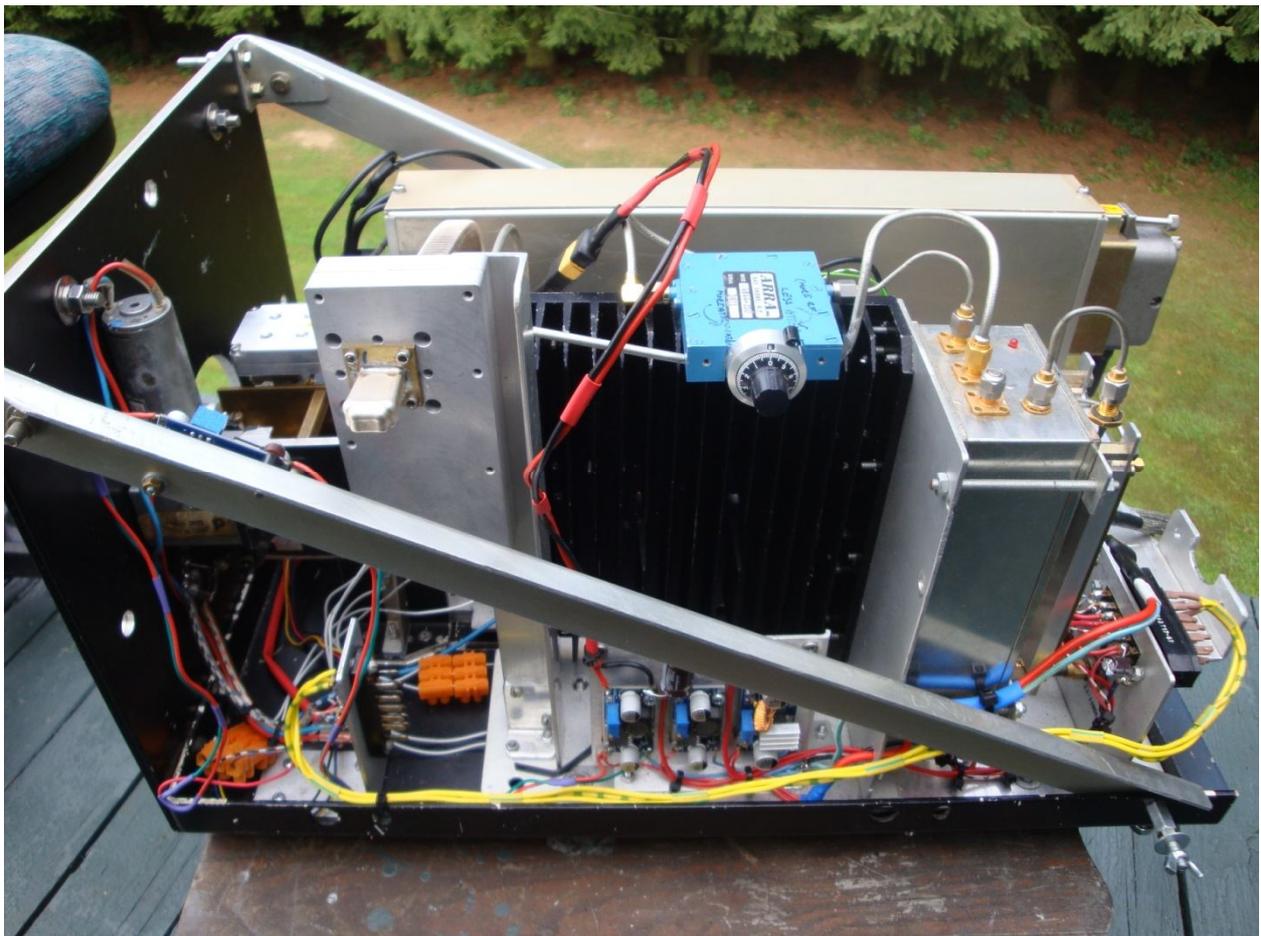


## Blok antenowy

Blok zbudowany jest oparciu o moduł Wavelab wersja XP z pierwszą pośrednią 2364 MHz i drugą 144 MHz (Fot.11, Fot.12) .

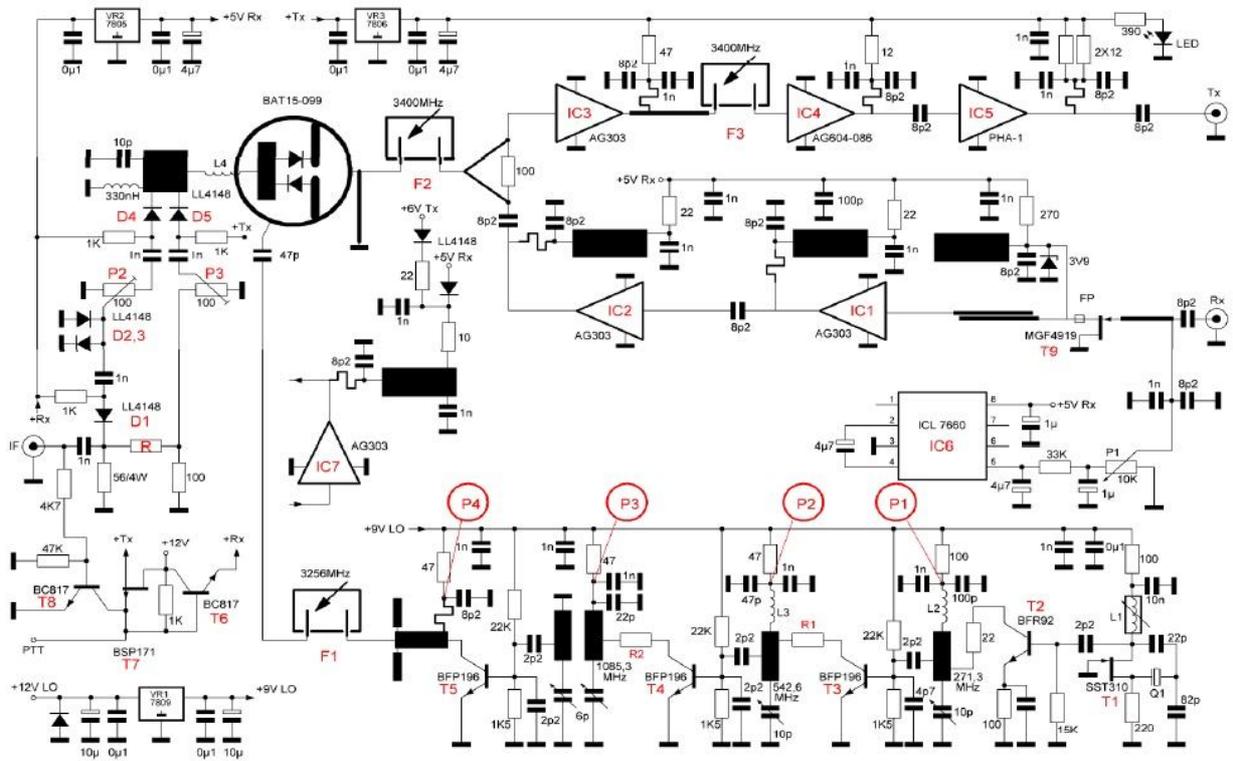
W bloku znajdują się następujące elementy:

- Wavelab XP
- transwerter 2364/144 wg DJ6EP
- podwójny syntezer częstotliwości 1100MHz i 1807MHz.
- lampa z falą bieżącą plus zasilacz do niej
- tor falowodowy i detektor pomiaru mocy wyjściowej
- przełącznik falowodowy z serwomechanizmem
- lna

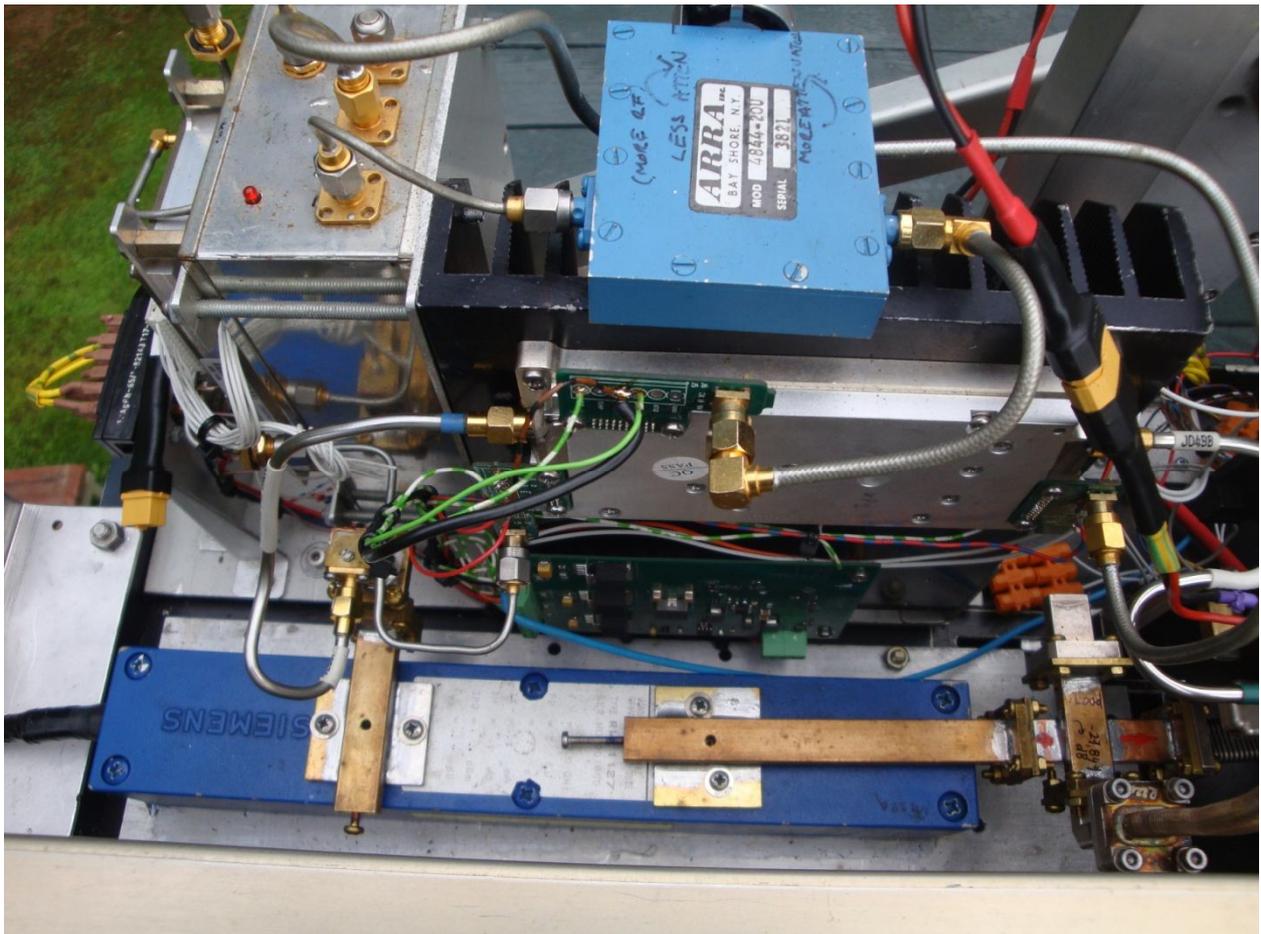


Fot. 11

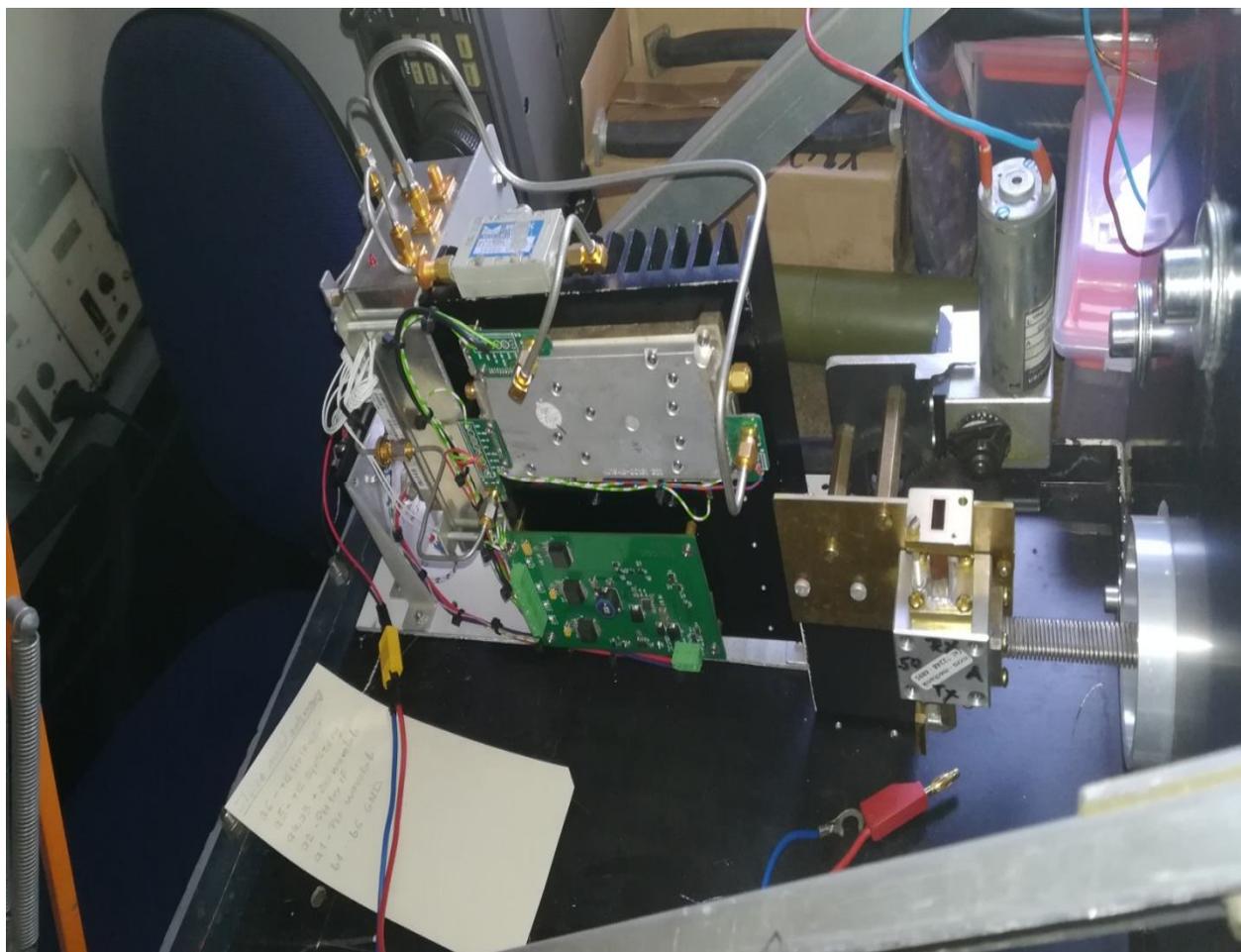
Blok antenowy zasilany jest jednym napięciem 28V. Zasilacz znajduje się w shack'u i jest połączony z blokiem antenowym linią o przekroju 6mmxmm. Zasilacz lampy twt zasilany jest bezpośrednio z linii a pozostałe elementy ( zasilacz wavelab'a, trv DJ6EP, LNA) za pośrednictwem dodatkowych zasilaczy impulsowych dopasowujących napięcie oraz oddzielających galwanicznie te elementy od długiej linii zasilającej. Transwertery, syntezer, zasilacze oraz detektor zamontowane są na dodatkowej podstawie, która pozwala na szybki demontaż całego zespołu z bloku antenowego. W obudowie transwertora (Ilpcz) zamontowane jest dodatkowe gniazdo SMA za pośrednictwem którego podajemy sygnał 1100MHz na bazę tranzystora T4 w torze heterodyny. Tranzystor T4 teraz pracuje jako wzmacniacz i przy tym poziomie sygnału 1100MHz należało zmienić punkt pracy bo nie „odtykał” się. Widoczny na fotografii regulowany tłumik służy do ustawienia poziomu sygnału nadawczego 2364MHz. Lampa TWT oraz zasilacz do niej przymocowane są do jednego dużego radiatora, którego żebra wystawione są ”pod podłogę” bloku antenowego.



Schemat ideowy transwertera DJ6EP



Fot.12

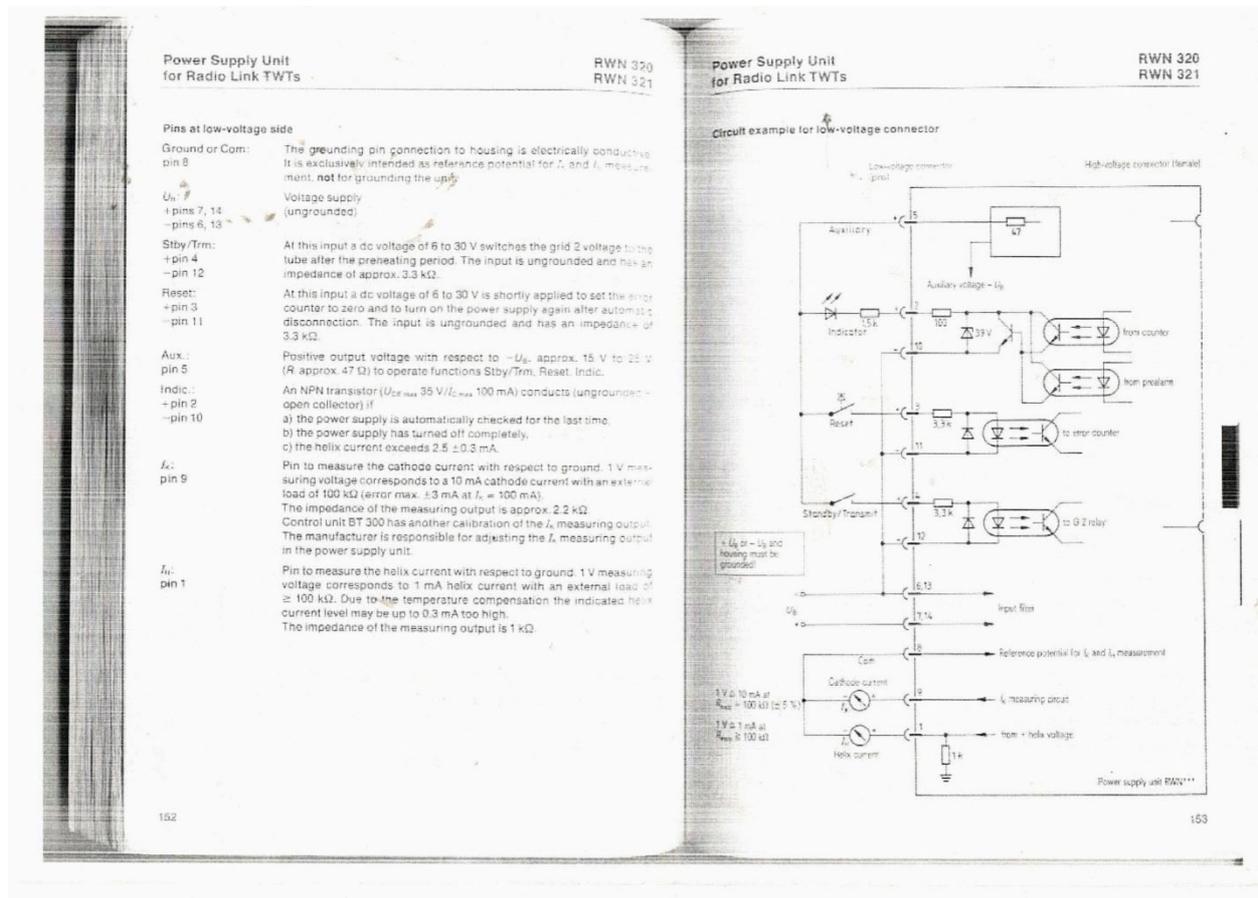


**Fot. 13**

Przełącznik falowodowy (Fot. 13) napędzany jest precyzyjnym serwomechanizmem pozyskanym ze sprzętu medycznego. Posiada on sprzęgło przeciążeniowe i regulowane odbojniki, które pozwalają na idealne krańcowe położenie ruchomych elementów przełącznika. Mechanizm posiada też mikroprzełączniki współpracujące ze sterownikiem. Sterownik ten zarządza zmianą stanu Rx/Tx całego systemu. Stan PttTx, po zainicjowaniu przez operatora, musi utrzymywać się w trybie „samo podtrzymania”. Zanik zasilania w czasie nadawania spowoduje, że serwomechanizm nie przełączy przełącznika falowodowego w tryb Rx (brak zasilania silnika). Powrót zasilania nie może przywrócić stanu PttTx, musi być on ponownie zainicjowany (potwierdzony) przez operatora. Z tego nieokreślonego stanu można też przejść w tryb Rx. Ze sterownika podawany jest też sygnał Ptt do transceivera. Na górnych wrotach przełącznika zamocowany jest przedwzmacniacz DU3T.

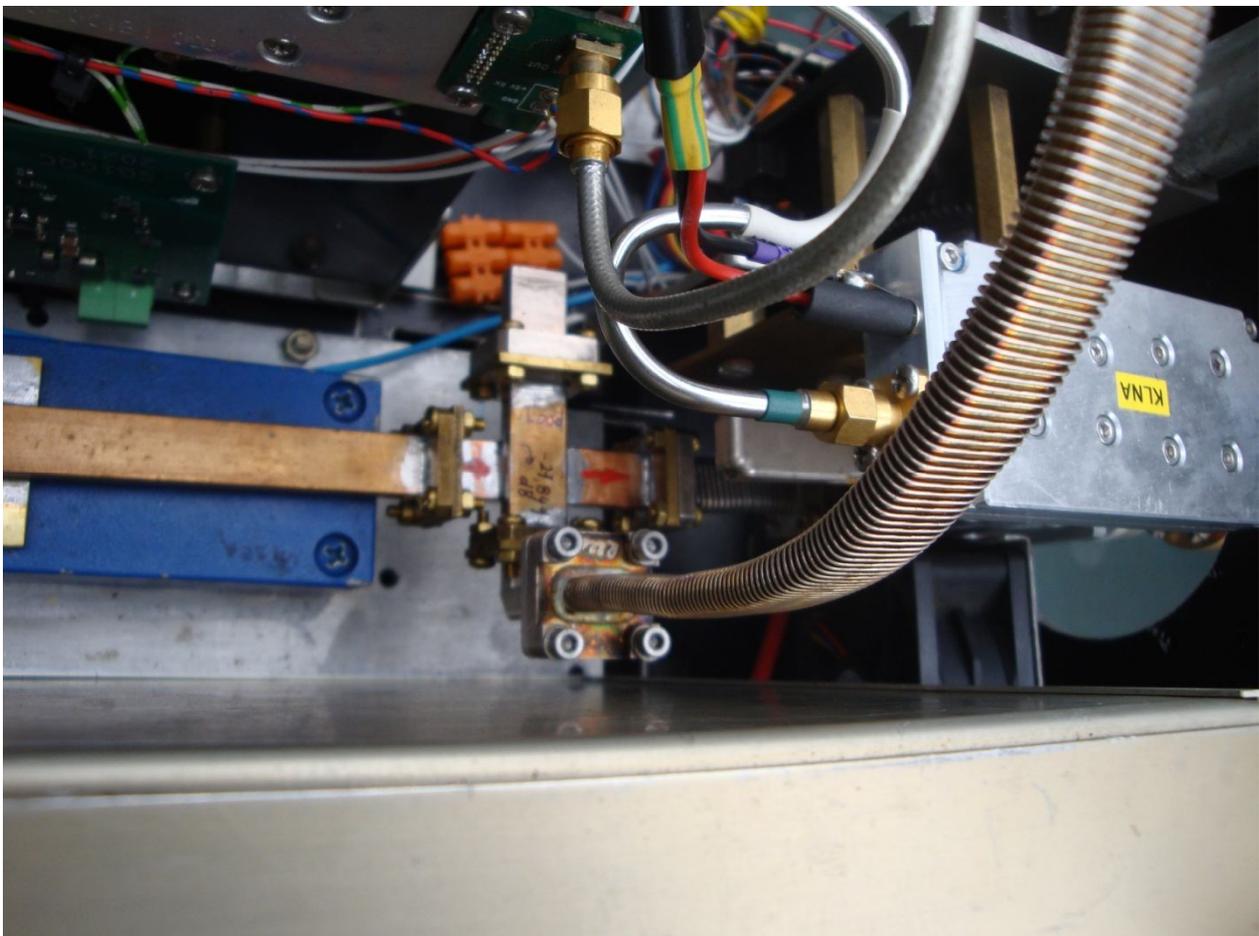
## Monitor mocy wyjściowej

W sytuacji, kiedy aparatura zainstalowana jest w rejonie ogniska anteny, konieczne jest zdalne monitorowanie podstawowych parametrów urządzenia. Nie ma problemu z pomiarem prądu heliksa i katody lampy z falą biegnącą, ponieważ sygnały (napięcia) odpowiadające tym parametrom wyprowadzone są na odpowiednie zaciski na gnieździe zasilacza (Fot.14) i bez problemu można je przestać linią do shacku.



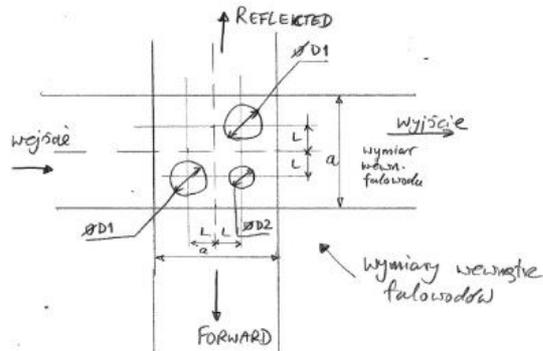
Fot. 14

Do monitorowania mocy wyjściowej, w torze falowodowym na wyjściu lampy zamontowany jest sprzęgacz (Fot. 15). Sprzęgacz wykonany został z dwóch odcinków falowodu WR42. Dokumentację udostępnił Paweł WA6PY. Wymiary otworów sprzęgających wykonane zostały dla sprzężenia -25dB. Pomiary gotowego sprzęgacza, wykonane przez Pawła SQ1GQC, dały wynik -28dB. Sygnał pomiarowy ze sprzęgacza dostarczony jest do falowodowego detektora (Fot.16, Fot. 17) za pomocą giętkiego falowodu i kolana falowodowego. Tłumienie tych elementów jest ok. 1.5dB i tę wartość należy dodać do sprzężenia naszego sprzęgacza. Detektor posiada szereg wyjść, a dzięki pomiarom wykonanym przez Andrzeja SP8XXN posiadamy charakterystyki każdego wyjścia tego detektora. Jedno z wyjść połączone jest linią z analogowym miliwoltomierzem umieszczonym na płycie czołowej sterownika przekaźnika falowodowego (Fot. 19). Na płycie czołowej jest też gniazdo pomiarowe (BNC), które poprzez linię, podłączone jest do innego, nieobciążonego wyjścia detektora. Na tej fotografii, obok sterownika, znajduje się interfejs zasilacza lampy TWT (schemat na Fot. 14). Te dwa elementy współpracują ze sobą, ale interfejs można odłączyć i użyć do testowania lamp „na stole”.



Fot. 15

sprzęgacz kierunkowy z trzema otworami

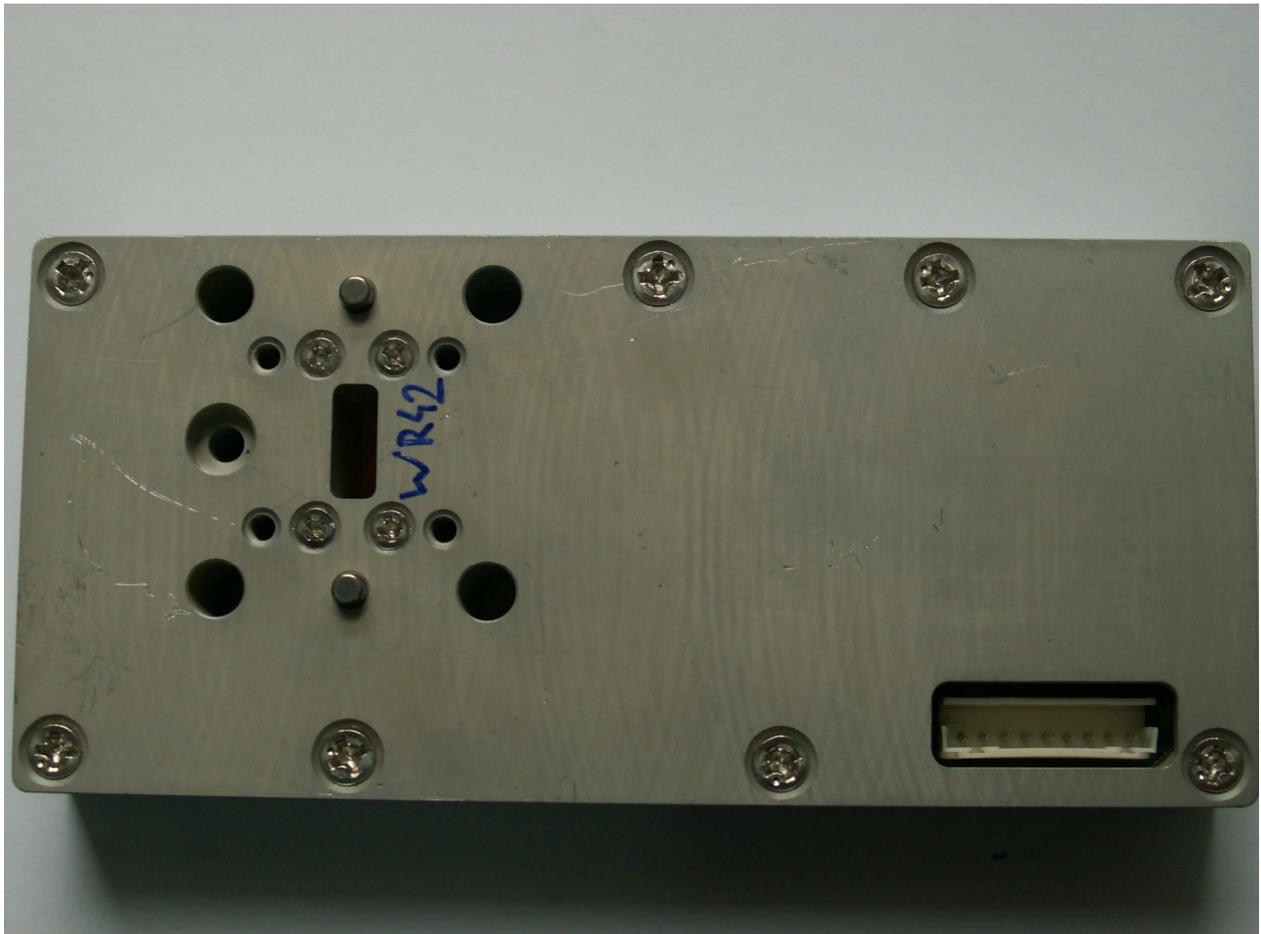


	Inside				freq		λg [mm]	C [dB]	L [mm]	D1/a	D1 [mm]	D2 [mm]	L/a		
	a [mm]	b [mm]	a [mm]	b [mm]	Fc [GHz]	λc [mm]								GHz	λ [mm]
16 - WR90	0.9	0.4	22.860	10.160	6.562	45.720	10.368	28.935	37.37182	20	4.671477	0.41	9.3726	6.2484	0.204352
										25		0.35	8.001	5.334	
										30		0.29	6.6294	4.4196	
										35		0.25	5.715	3.81	
										40		0.215	4.9149	3.2766	
WR75	0.75	0.375	19.050	9.525	7.874	38.100	10.368	28.935	44.47726	20	5.559657	0.41	7.8105	5.207	0.291846
										25		0.35	6.6675	4.445	
										30		0.29	5.5245	3.683	
										35		0.25	4.7625	3.175	
										40		0.215	4.09575	2.7305	
WR62	0.622	0.311	15.799	7.899	9.494	31.598	10.368	28.935	72.01901	20	9.002377	0.41	6.47508	4.318339	0.569814
										25		0.35	5.52958	3.686387	
										30		0.29	4.581652	3.054435	
										35		0.25	3.9497	2.633133	
										40		0.215	3.396742	2.264495	
WR51	0.51	0.255	12.954	6.477	11.579	25.908	24.048	12.475	14.2338	20	1.779225	0.41	5.31114	3.54076	0.137349
										25		0.35	4.5339	3.0226	
										30		0.29	3.75666	2.50444	
										35		0.25	3.2385	2.159	
										40		0.215	2.78511	1.85674	
WR42	0.42	0.17	10.668	4.318	14.061	21.336	24.048	12.475	15.3775	20	1.922188	0.41	4.37388	2.91592	0.180183
										25		0.35	3.7338	2.4892	
										30		0.29	3.09372	2.06248	
										35		0.25	2.667	1.778	
										40		0.215	2.29362	1.52908	

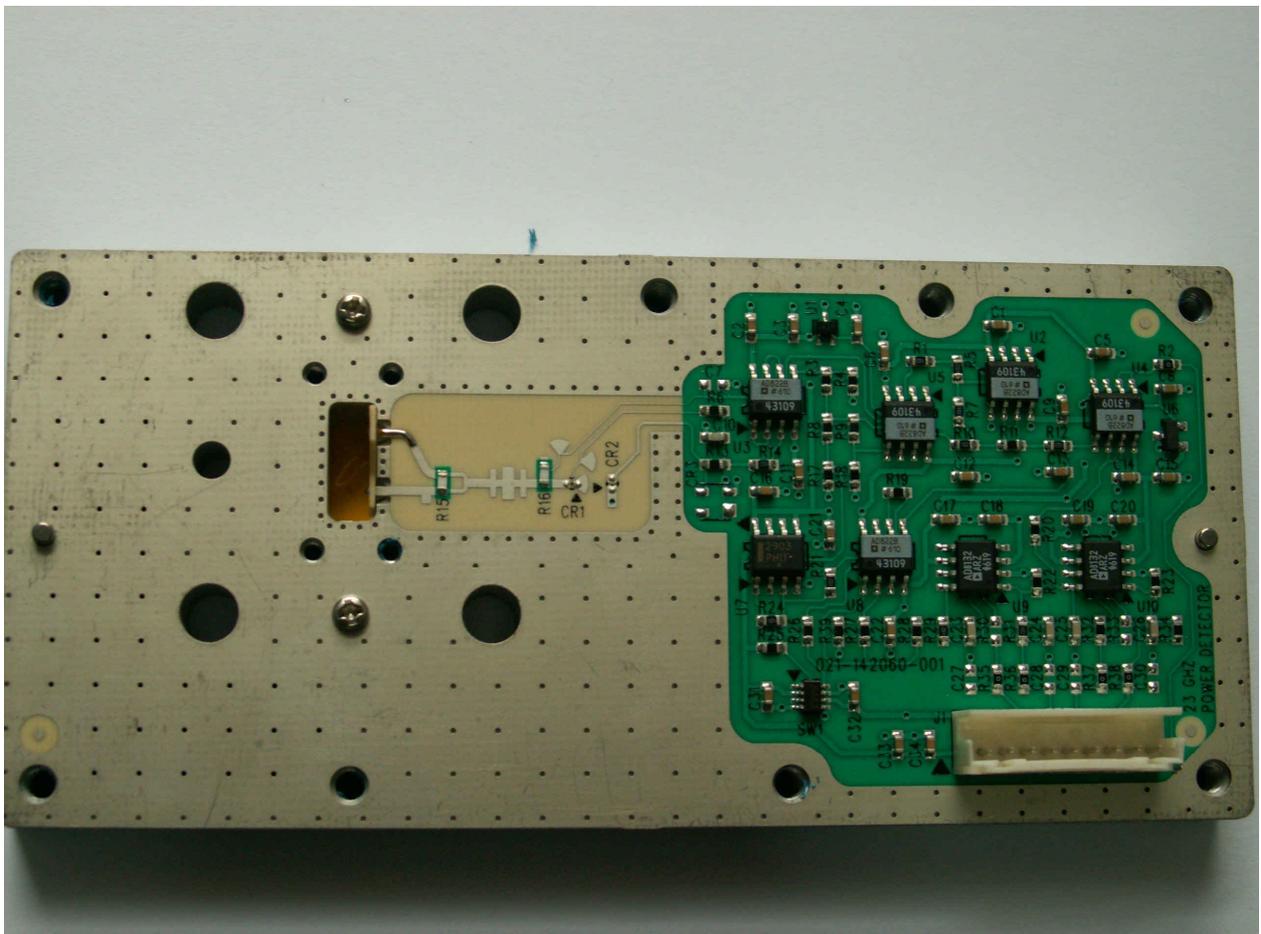
Falowodowy sprzęgacz kierunkowy WA6PY.

WR42 detector @24048 MHz, average of measuring 10 detectors

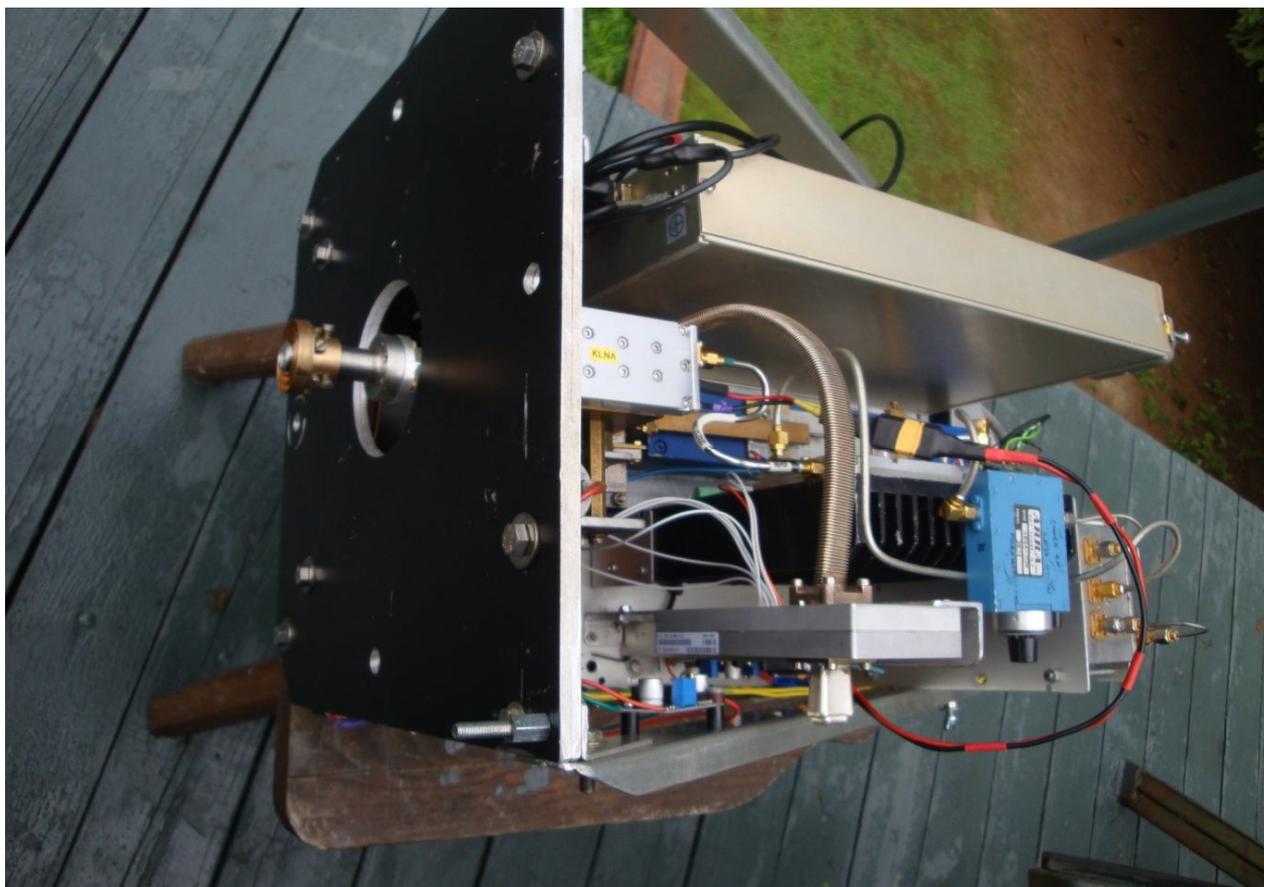
Pin [dBm]	Pin 7: H pos [mV]	Pin 6: H neg [mV]	Pin 5: L pos [mV]	Pin 4: L neg [mV]
off	15	-15	228	-228
-10			334	-334
-9			360	-360
-8			392	-392
-7			429	-429
-6			474	-474
-5			525	-525
-4			587	-587
-3			655	-655
-2			737	-737
-1			834	-834
0	66	-66	937	-937
1	74	-74	1061	-1061
2	83	-83	1168	-1168
3	94	-94	1209	-1209
4	105	-105	37	-37
5	120	-120	41	-41
6	134	-134	44	-44
7	152	-152		
8	171	-171		
9	194	-194		
10	219	-219		
11	249	-249		
12	282	-282		
13	318	-318		
14	359	-359		
15	407	-407		
16	462	-462		
17	522	-522		
18	590	-590		
19	669	-669		
20	756	-756		
21	855	-855		
22	963	-963		
23	1089	-1089		
24	1232	-1232		
25	1391	-1391		
26	1572	-1572		
27	1779	-1779		
28	2006	-2006		
29	2230	-2230		



Fot. 16



Fot. 17



Fot. 18



Fot. 19



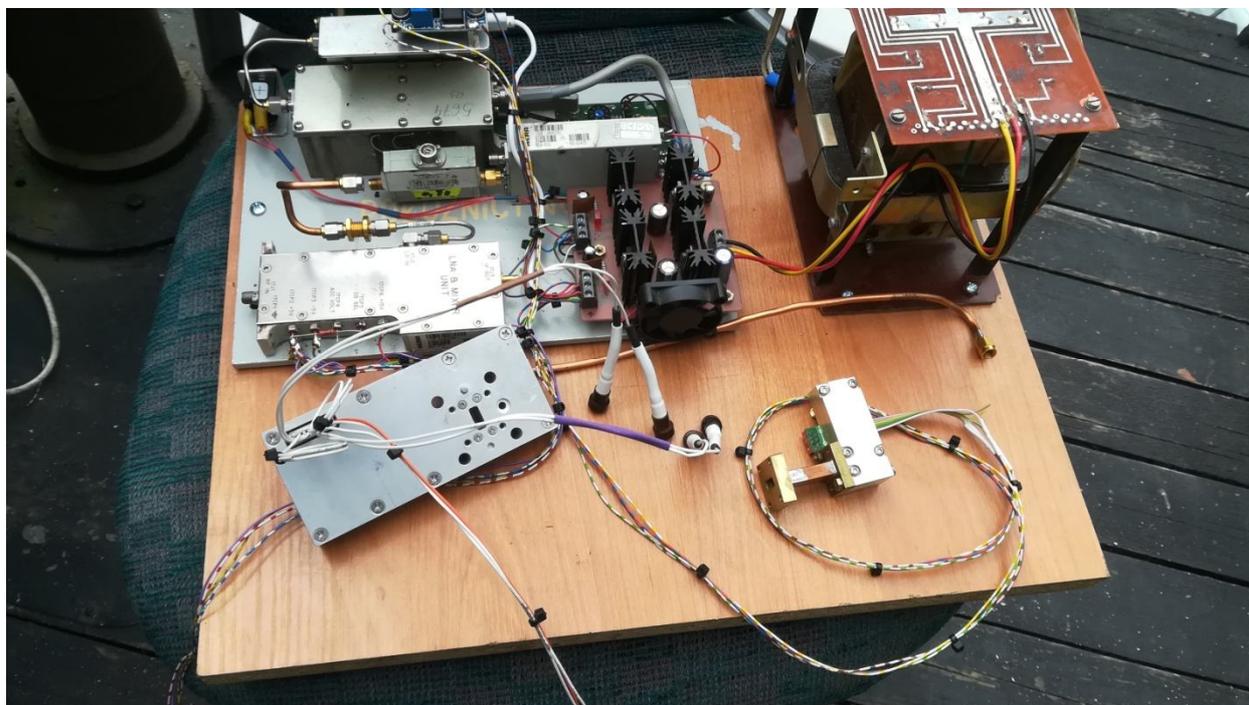
## Adaptacja Lampy RW1127

Metody adaptacji lampy do pracy na paśmie 24GHz są powszechnie znane, opisane w wielu publikacjach. W tym rozdziale pragnę podzielić się naszymi doświadczeniami z przeróbek sześciu sztuk lamp. Pierwszy etap to sprawdzenie pracy na nominalnym paśmie, kwalifikacja do dalszej przeróbki. Sygnał do sterowania lamp uzyskaliśmy zestawiając układ ( kolejności) chiński syntezer MAX2870, LNA NEC500, jako wzmacniacz sygnału syntezeru. Na wyjściu LNA uzyskujemy sygnał o mocy 25mW, częstotliwości 10368/2 MHz. Tym sygnałem sterujemy aktywny podwajacz NERA. Na wyjściu podwajacza jest regulowany tłumik, w zależności od ustawienia mamy do dyspozycji sygnał o częstotliwości 12GHz i mocy od zera do 25mW (Fot. 20). Sterując tym sygnałem lampy uzyskaliśmy mniej więcej takie same efekty, ok. 12W out.



Fot. 20

To prowizoryczne źródło sygnału zostało rozbudowane w celu uzyskania sygnału 24GHz. Sygnał 12GHz steruje blok nadajnika pozyskanego z litewskiej radiolinii. Ten nadajnik ma wyjście falowodowe (WR42) Moc zmierzona wyżej opisanym detektorem wynosi ok. 65mW (Fot. 21).



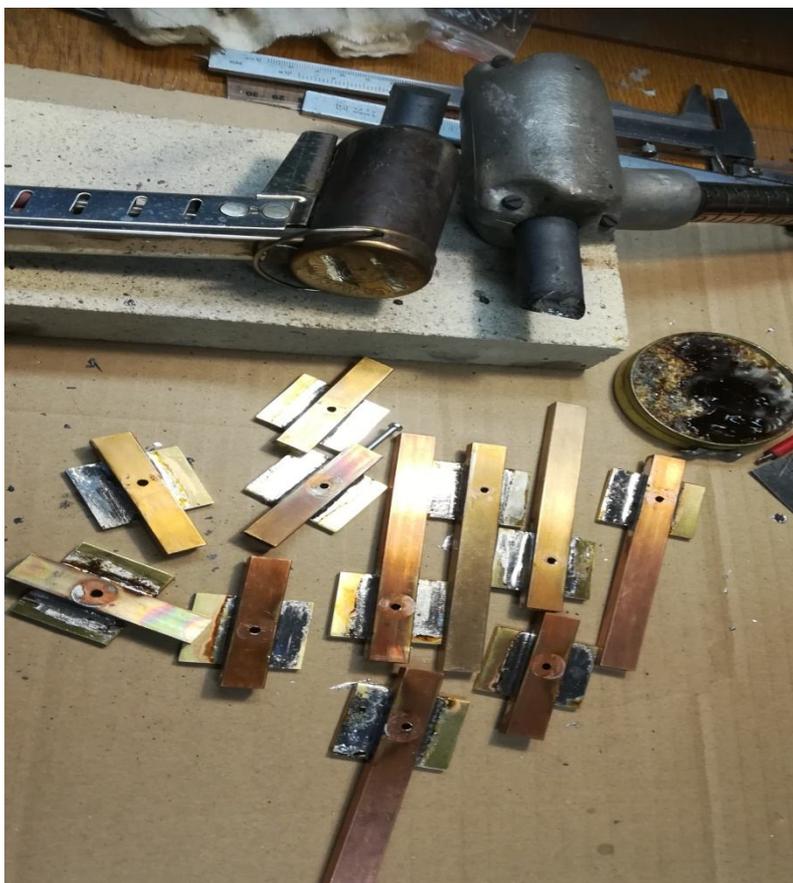
Fot21

Demontaż gniazd SMA z korpusów lamp wykonaliśmy postępując zgodnie z dostępnymi opisaniami. Wbrew pozorom nie jest to skomplikowane, po lekkim podgrzaniu gorącym powietrzem gniazda bez problemu zostały zdemontowane. Blokady filtrów ceramicznych (zawalcowania na pinach) zostały usunięte ostrym pilnikiem iglakiem. Ta operacja wymaga uwagi, spokoju i pełnej kontroli pracy pilnika (Fot. 22).



Fot. 22

Następny etap to wykonanie wejściowych i wyjściowych elementów falowodowych. Odcinki falowodów wycięte zostały z dłuższych elementów, dolutowane do płytek podstawy (fot. 23).

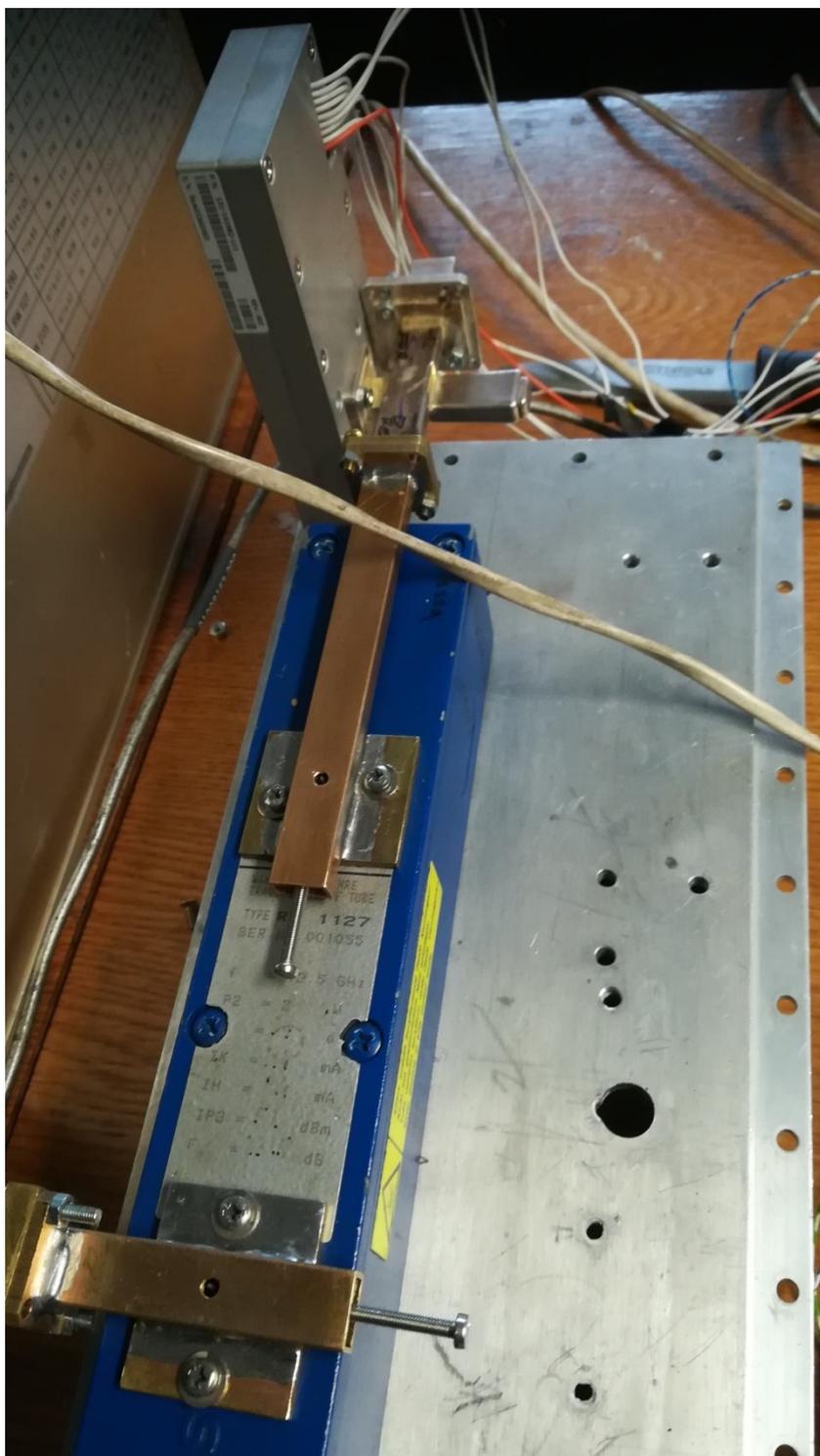


Fot. 23

Dolny otwór (w podstawie i dolnej ścianie falowodu) musi być bardzo precyzyjnie wywiercony, aby zapewnić dobry styk między falowodem a króćcem wyjściowym lampy.

My wywierciliśmy mniejszy otwór, który został skalibrowany rozwiertakiem. Lutowanie elementów miedzianych wymaga pewnej wprawy i dostarczenia dużej ilości ciepła do lutowanych elementów. Początkowo używaliśmy dwóch dużych lutownic, później, jeden operator lutownica 500W a drugi transformatorowa, podanie i rozprowadzenie cyny. Do lutowania stosowane też były, wykonane „na poczekaniu”, przyrządy utrzymujące na swoich pozycjach lutowane elementy. Najbardziej pracochłonne było wykonanie dwunastu sztuk stroików (tłoczków) zamykających tylną część falowodów. Taki stroik to ręcznie wypilowany prostopadłościan idealnie dopasowany, aby w miarę ciasno przesuwiał się w falowodzie. Wszystkie stroiki to dzieło Jacka, złote ręce.

Pierwsze testy, dopasowanie wejścia i wyjścia odbywały się przy sterowaniu sygnałem o mocy 65mW ze źródła opisanego wyżej.



Fot. 24

Do wyjścia lampy podłączony jest układ pomiarowy złożony ze sprzęgacza falowodowego o sprzężeniu -12dB i detektora opisanego wcześniej (Fot. 24). Do falowodu wejściowego przykręcony jest moduł nadajnika radiolinii (Fot. 25). Zabytkowy oscyloskop wykorzystany jest, jako bezzwłocznie działający miliwoltomierz pokazujący poziom napięcia na wyjściu detektora. Obserwacja tego napięcia na ekranie pozwala na bardzo precyzyjne ustawienie stroików na wejściu i wyjściu lampy. Po ustawieniu stroików i dopasowaniu napięcia helixa, na każdej lampie uzyskaliśmy ok. 2W out .



fot. 25

Tak przygotowana lampa została, razem z zasilaczem, przymocowana do radiatora, który wstawiony jest do bloku antenowego. Testy wykonywane w warunkach letniego upału potwierdziły konieczność zastosowania dodatkowego wentylatora chłodzącego żebra radiatora.

## Osiągi

Tak jak wcześniej wspominałem aparatura zamontowana jest na 4'ro metrowej antenie i wszystkie dane będą odnosiły się do tego systemu. Trzeba powiedzieć, że na tym paśmie amatorskie pomiary obarczone są dużym błędem. Ten fakt wymusza dokładną analizę błędów i poprawną interpretację wyników.

### **Odbiornik:**

Szum Słońca 13dB

Szum Księżycy, najlepszy wynik ok. 2dB

Pod tym linkiem <https://www.youtube.com/watch?v=4-Sgld7jJFQ> umieszczony jest film prezentujący odbiór beaconu DLOSHF. DLOSHF pracował w modzie QRP.

### **Nadajnik:**

Wzmacniacz z lampą TWT charakteryzuje się tym, że w pierwszej fazie pracy generuje największą moc, z upływem czasu moc spada i po kilkunastu sekundach stabilizuje się. W naszym przypadku wykorzystując charakterystykę detektora odczytujemy, start 16dBm (460mV), po ustabilizowaniu 15dBm (420mV). Uwzględniając sprzężenie sprzęgacza pomiarowego i tłumienie giętkiego falowodu uzyskujemy odpowiednio 45dBm (31.6W) i 44dBm (25W). W rzeczywistości wyniki są jeszcze lepsze, bo w kalkulacji nie uwzględniliśmy tłumienia kolana falowodowego, które znajduje się w torze między sprzęgaczem a detektorem.

Na zakończenie chciałbym podziękować kolegom, którzy pomogli nam w realizacji projektu, a byli to: SQ1GQC, SP3XBO, SP5XMU, SP6GWB, SQ6QV, SP8XXN, WA6PY. Bardzo dziękujemy.

Dziękujemy za uwagę

Andrzej Matuszny SP6JLW

Jacek Masłowski SP6OPN