

TRZYPASMOWA ANTENA QRP

Autor: Łukasz Kaczmarek SQ6RGK

Nazwa projektu: Trzypasmowa antena QRP.

Opis: Projekt prostej, trzypasmowej, krótkofalowej anteny "kieszonkowej" (pocket antenna) przeznaczonej dla urządzeń QRP, głównie w czasie wypraw terenowych, a w szczególności aktywności SOTA.

Uwagi: Poniżej przedstawiona została praktyczna konstrukcja, zoptymalizowana ze względu na wagę, wymiary i koszty. Antena została sprawdzona i przetestowana. Jest dobrym rozwiązaniem na wyprawy terenowe.

Motto: Wszystko trzeba robić tak prosto, jak to tylko jest możliwe, ale nie prościej.

Albert Einstein (1879-1955)

Spis treści

1. Wstęp.....	3
2. Opis konstrukcji.....	3
2.1. Trochę teorii.....	4
2.2. Maszt.....	6
2.3. Symetryzator.....	8
2.4. Ramiona anteny.....	12
2.5. Strojenie anteny.....	15
3. Uwagi końcowe.....	16
4. Literatura.....	22
5. Dodatek A.....	23

Spis rysunków i fotografii

Rys. 1: Antena po rozpięciu na maszcie (pasmo 40m, wszystkie odcinki połączone).....	3
Rys. 2: Charakterystyka promieniowania anteny „odwrócone V” (podane za [1]).....	5
Rys. 3: Rezystancja wejściowa anteny „odwrócone V” (podane za [1]).....	6
Rys. 4: Opaska do mocowania odciągów masztu.....	7
Rys. 5: Opaska do mocowania odciągów – założona na maszt.....	7
Rys. 6: Mocowanie odciągów do ziemi.....	8
Rys. 7: Skręcanie drutu nawojowego.....	9
Rys. 8: Nawinięty symetryzator (widok I).....	10
Rys. 9: Nawinięty symetryzator (widok II).....	10
Rys. 10: Symetryzator z zamocowanym rdzeniem i gniazdem BNC.....	11
Rys. 11: Testowanie nawiniętego symetryzatora.....	12
Rys. 12: Sposób mocowania ramion anteny do symetryzatora (widok z góry).....	13
Rys. 13: Sposób mocowania ramion anteny do symetryzatora (widok od dołu).....	13
Rys. 14: Sposób połączenia ze sobą dwóch odcinków linki, tworzących ramię anteny.....	14
Rys. 15: Sposób podłączania linki do odpiętego ramienia anteny.....	15
Rys. 16: Mocowanie symetryzatora do masztu.....	17
Rys. 17: Kompletna antena wraz z masztem i akcesoriami.....	18
Rys. 18: Po zapakowaniu w pokrowiec.....	18
Rys. 19: No i w drogę.....	19
Rys. 20: Mój asystent prezentuje sposób mocowania końcówki anteny do ziemi.....	20
Rys. 21: Pochwała dla drugiego asystenta za wykonaną pracę. W tle rozłożona antena.....	21

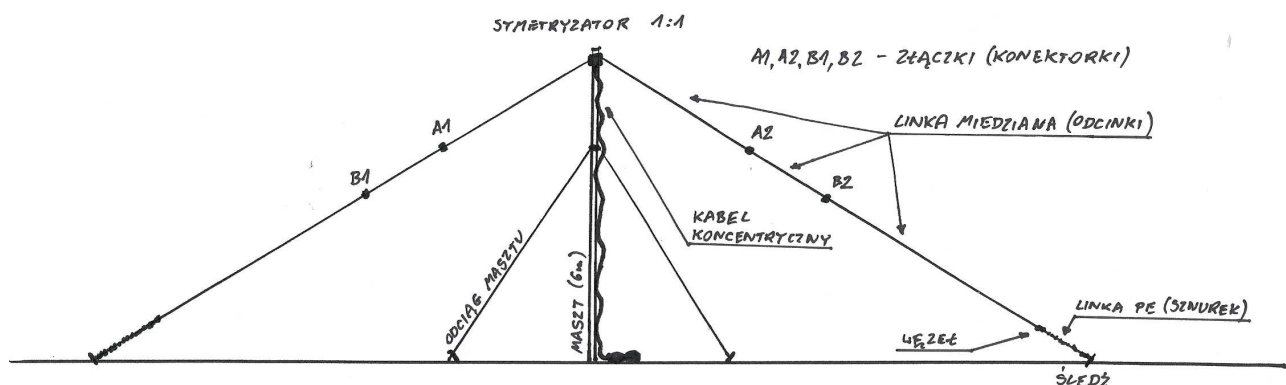
1 Wstęp

Celem tego projektu było wykonanie lekkiej i prostej anteny QRP przeznaczonej na pasma amatorskie KF. Miała być ona wykorzystywana w czasie wypadów w teren, najczęściej w góry. Podstawowe wymagania jakie zostały postawione to:

- Praca na trzech pasmach 7MHz (40m), 14MHz (20m) i 21MHz (15m) z mocą max. 5W.
- Jak najmniejsza waga (im mniej w plecaku tym lepiej).
- Prostota konstrukcji (mniej rzeczy które mogą się zepsuć).
- Łatwość instalacji (w górach czasami jest zimno, albo pada deszcz :-)
- Odporność mechaniczna (częste składanie, rozkładanie, wiatr).
- Jak najlepsze parametry elektryczne (małe straty, niski SWR, jak najszersze pasmo, itp.).
- Niska cena.

2 Opis konstrukcji

Przedstawiony projekt to trzypasmowa antena typu dipol pracująca w konfiguracji „odwrócone V”. Antena posiada, złożone z odcinków, odpinane ramiona, dzięki czemu możliwe jest jej szybkie zestrojenie na trzech pasmach krótkofalarskich. Całość konstrukcji jest rozpięta na 6m maszcie wykonanym z włókna szklanego (Rys. 1.)



Rys. 1: Antena po rozpięciu na maszcie (pasma 40m, wszystkie odcinki połączone).

Oba ramiona anteny łączy symetryzator (balun) 1:1 wyposażony w gniazdo BNC, do którego podpięty jest kabel koncentryczny typu RG58 (ok. 9m).

Przestrojenie anteny na inne pasmo polega na odpięciu bądź przypięciu dodatkowego odcinka linki miedzianej, dzięki czemu wydłuża się bądź skraca promiennik. Odłączone fragmenty ramion zastępujemy takim samym odcinkiem linki żeglarskiej bądź sznurka wykonanego z materiału nieprzewodzącego elektrycznie. Dzięki temu zachowujemy identyczny kąt rozwarcia, co gwarantuje powtarzalność parametrów przy każdorazowym rozłożeniu.

Dla pasma 7MHz (40m) antena pracuje na maksymalnej swojej długości, wszystkie elementy są ze sobą połączone. Ramiona anteny (linki miedzianej – promieniującej energię w.cz.) mają całkowitą długość 2x 9,6m.

Dla pasma 14MHz (20m) rozpinamy złączki B1 i B2 i do końcówek doczepiamy sznurek (linkę

żeglarską) naciągając antenę na wbite uprzednio w ziemię śledzie. Ramiona anteny (linki miedzianej – promieniującej energię w.cz.) mają wtedy długość 2x 5m.

Dla pasma 21MHz (15m) rozpinamy złączki A1 i A2 i do końcówek doczepiamy sznurek (linkę żeglarską) naciągając antenę na wbite uprzednio w ziemię śledzie. Ramiona anteny (linki miedzianej – promieniującej energię w.cz.) mają wtedy długość 2x 3,4m.

Dzięki zastosowanym w projekcie złączkom samochodowym i wędkarskim akcesoriom, proces przestrajania jest wygodny i szybki.

Na wszystkich trzech pasmach antena pracuje w rezonansie, dzięki czemu nie ma potrzeby stosowania ciężkiej i niewygodnej w pracy terenowej – skrzynki antenowej.

2.1 Trochę teorii

Antena „odwrócone V” (ang. *inverted V*) jest dosyć powszechnie opisywana w literaturze krótkofalarskiej, patrz [1], [2], [4]. Jest to nic innego jak dipol półfalowy rozpięty na maszcie w kształcie odwróconej litery „V” (stąd nazwa, ang. *inverted V*).

Dipol półfalowy jest odmianą liniowej anteny harmoniczej. Długość anteny dobiera się tak, aby stanowiła ona krotność połówki fali. Dla fal krótkich długość rezonansową anteny harmoniczej określa wzór:

$$l = \frac{150(n + K - 1)}{f}$$

gdzie:

l - długość anteny w metrach,

n - liczba półfal (1, 2, 3, ...)

K - współczynnik skrócenia zależny od długości fali do przewodu anteny

f - częstotliwość rezonansowa anteny [MHz]

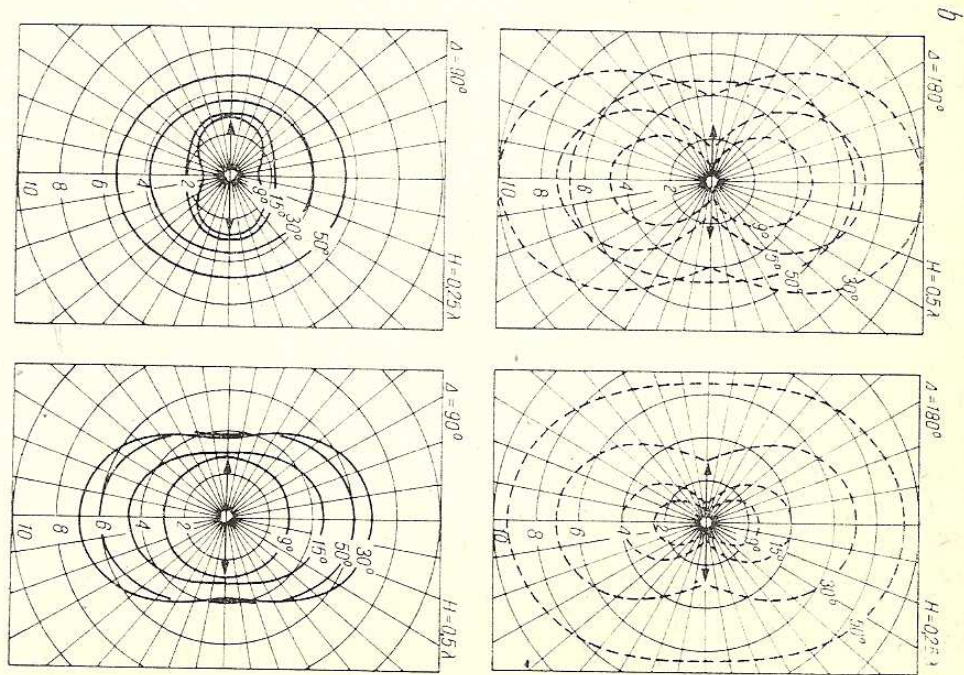
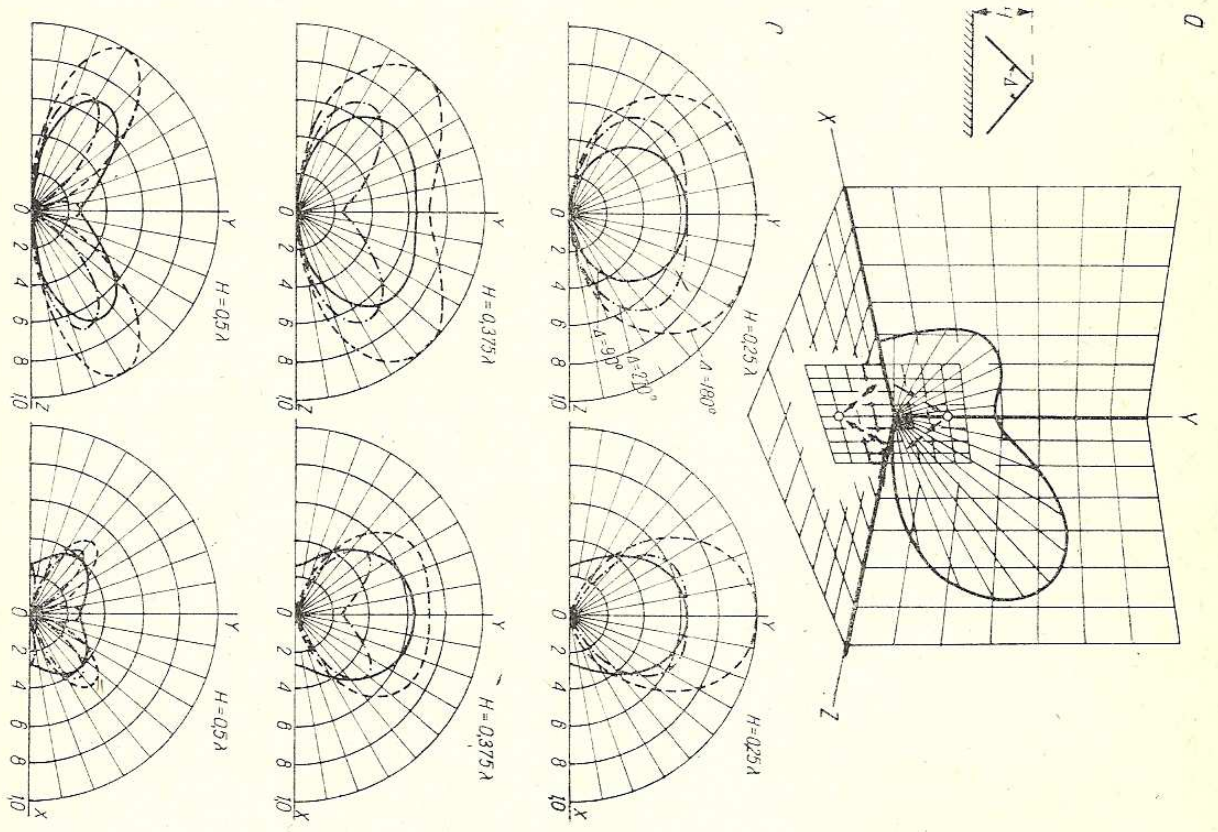
Współczynnik skrócenia dla dipola półfalowego wynosi od 0,88 do 0,98 - dokładną wartość przyjmuje się z tabel lub nomogramów (np. [1], str. 118)

Antena harmoniczna może być zasilana w strzałce prądu (symetrycznie w połowie długości, jak w przedstawianym projekcie) lub w strzałce napięcia (na końcu dipola, jak w antenach typu *Longwire*), oraz również w miejscach pośrednich (np. antena Windom czy FD4).

Zawieszenie dipola półfalowego w konfiguracji odwróconego V powoduje zmianę charakterystyki promieniowania. Najkorzystniejszą charakterystykę w odległym punkcie uzyskuje się przy kątach zbliżonych do 90°. Różnica charakterystyki anteny inv.V i dipola prostego polega głównie na tym, że występuje tutaj promieniowanie w płaszczyźnie X-Y.

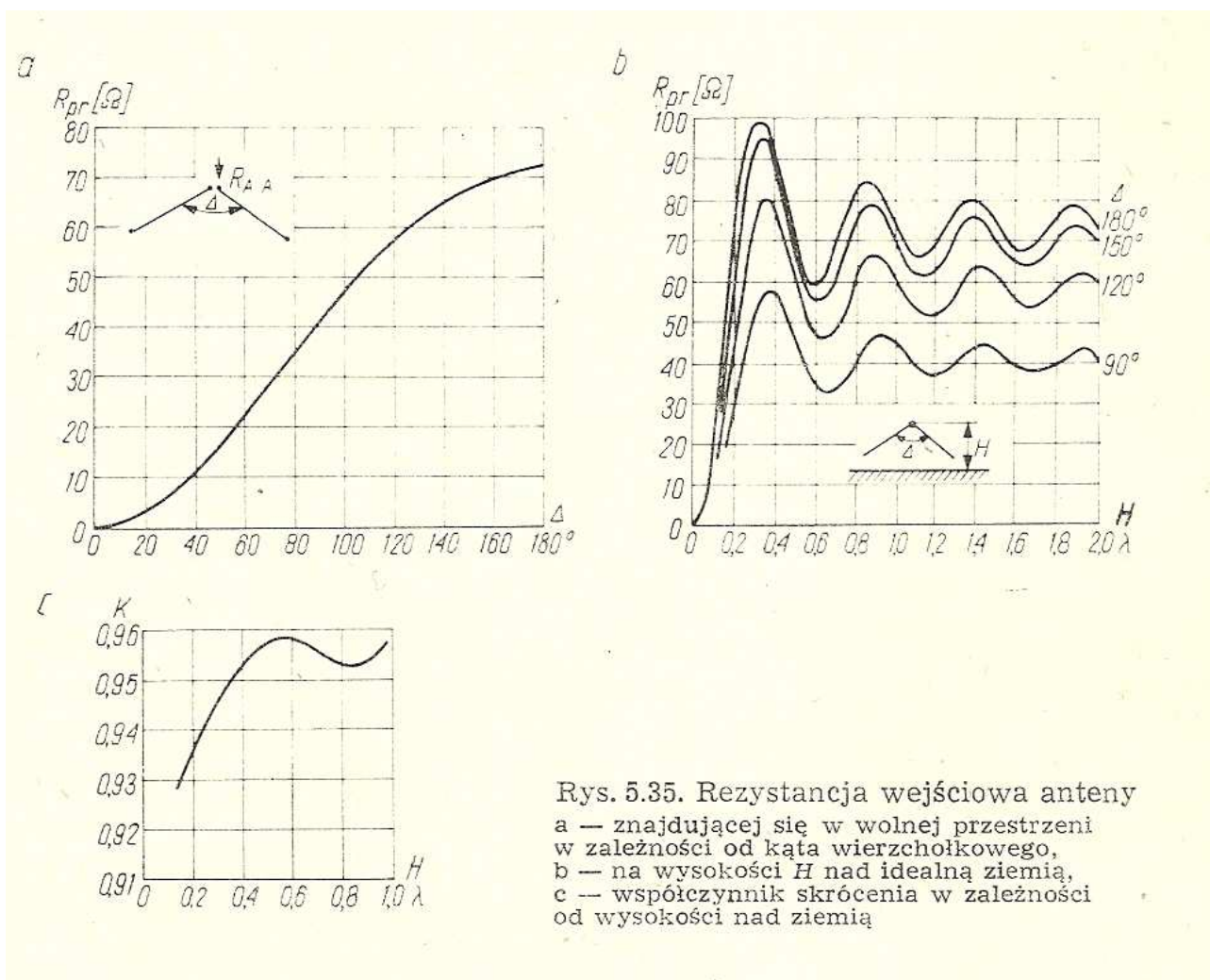
Na Rys. 2. można prześledzić jak zmienia się charakterystyka promieniowania takiej anteny, natomiast na Rys. 3. przedstawiona została jej rezystancja w zależności od wysokości zawieszenia oraz kąta rozwarcia ramion.

W świetle przedstawionych wykresów, opisana poniżej konstrukcja jest kompromisem pomiędzy najlepszymi (możliwymi do osiągnięcia) parametrami a wagą i gabarytami anteny przenośnej.



Rys. 5.34. Charakterystyki promieniowania anteny odwrócone V
 a — układ współrzędnych, b — rzut w płaszczyźnie poziomej, c — rzut w płaszczyznach pionowych

Rys. 2: Charakterystyka promieniowania anteny „odwrócone V” (podane za [1]).



Rys. 5.35. Rezystancja wejściowa anteny
 a — znajdującej się w wolnej przestrzeni w zależności od kąta wierzchołkowego,
 b — na wysokości H nad idealną ziemią,
 c — współczynnik skrócenia w zależności od wysokości nad ziemią

Rys. 3: Rezystancja wejściowa anteny „odwrócone V” (podane za [1]).

2.2 Maszt

Jako maszt antenowy wykorzystane zostało sześć najgrubszych segmentów z 9m wędziska. Takie wędki (zwane potocznie „batami”) można kupić bez kłopotu zarówno w sklepach wędkarskich jak i w internecie. Ostatnie trzy segmenty, tzw. „szczytówka”, została usunięta – była zbyt elastyczna. W efekcie udało się uzyskać lekki maszt antenowy o wysokości 6m.

Trzy odciążenia do masztu zrobione zostały z linki żeglarskiej. W zasadzie mógłby to być dowolny sznurek, linka, taśma, byle tylko wykonana z materiału nieprzewodzącego elektrycznie. Polietylenowa (PE) linka żeglarska jest lekka, odporna na warunki atmosferyczne i łatwo się rozplątuje ;-)

Odciągi są mocowane do masztu przy użyciu zapinek, które zostały odcięte z tzw. „smyczy”, czyli tasiemek używanych do noszenia kluczy bądź telefonu komórkowego. Z takiej „smyczy” jest również wykonana opaska zakładana na maszt. Po nawinięciu odpowiedniej średnicy, została zeszyta igłą i nićmi. Szczegóły wykonania widoczne są na Rys. 4. i Rys. 5.



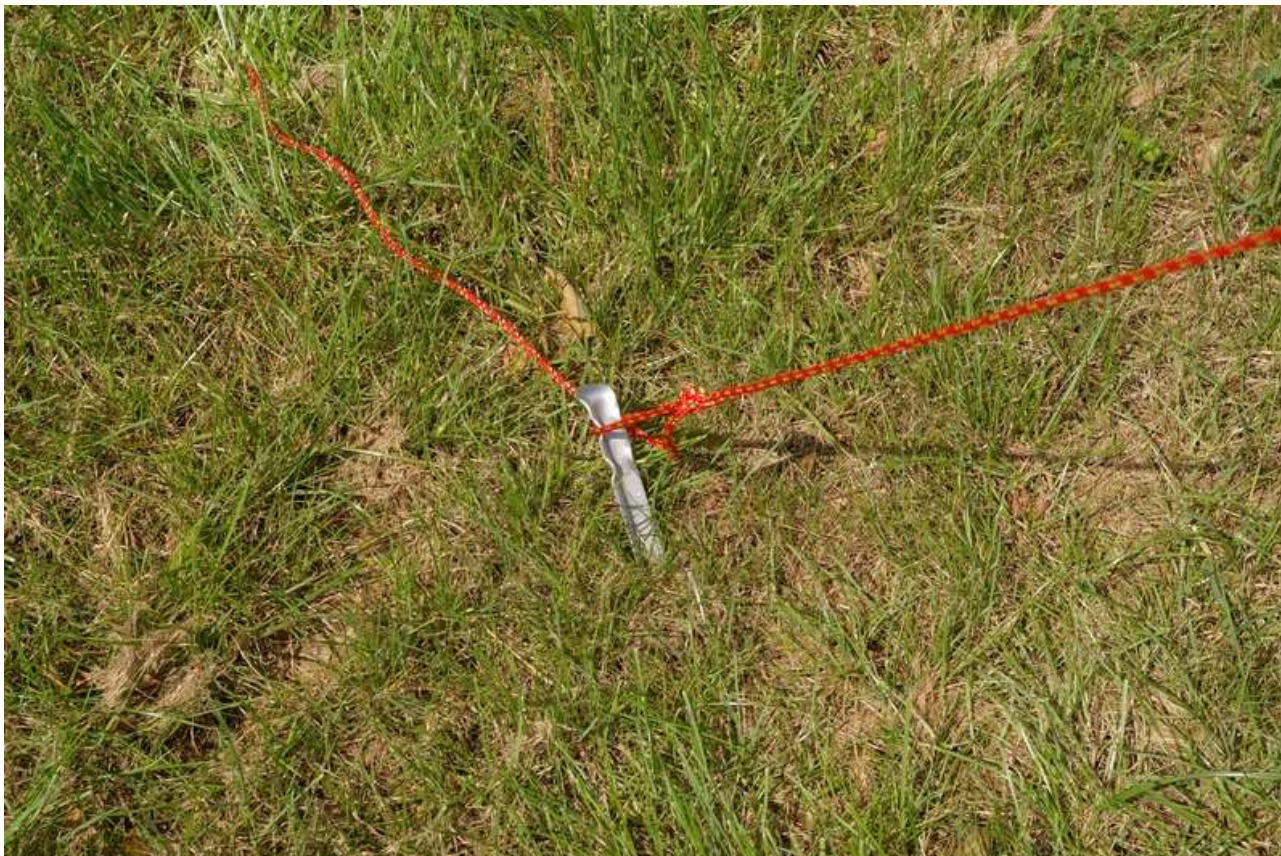
Rys. 4: Opaska do mocowania odciągów masztu.



Rys. 5: Opaska do mocowania odciągów – założona na maszt.

Takie rozwiązanie ma kilka zalet. Szybko się montuje, jest lekkie i na dodatek pozwala obracać całym masztem. Jest to cecha nieistotna przy opisywanej tutaj antenie, ale przydaje się po zamontowaniu anteny kierunkowej, którą można swobodnie obracać. Pomysł został sprawdzony w praktyce podczas łączności przeprowadzanych przy pomocy przenośnej, 4el. Yagi na pasmo 2m.

Odciągi mocowane są do ziemi przy pomocy aluminiowych śledzi namiotowych. Rys. 6.



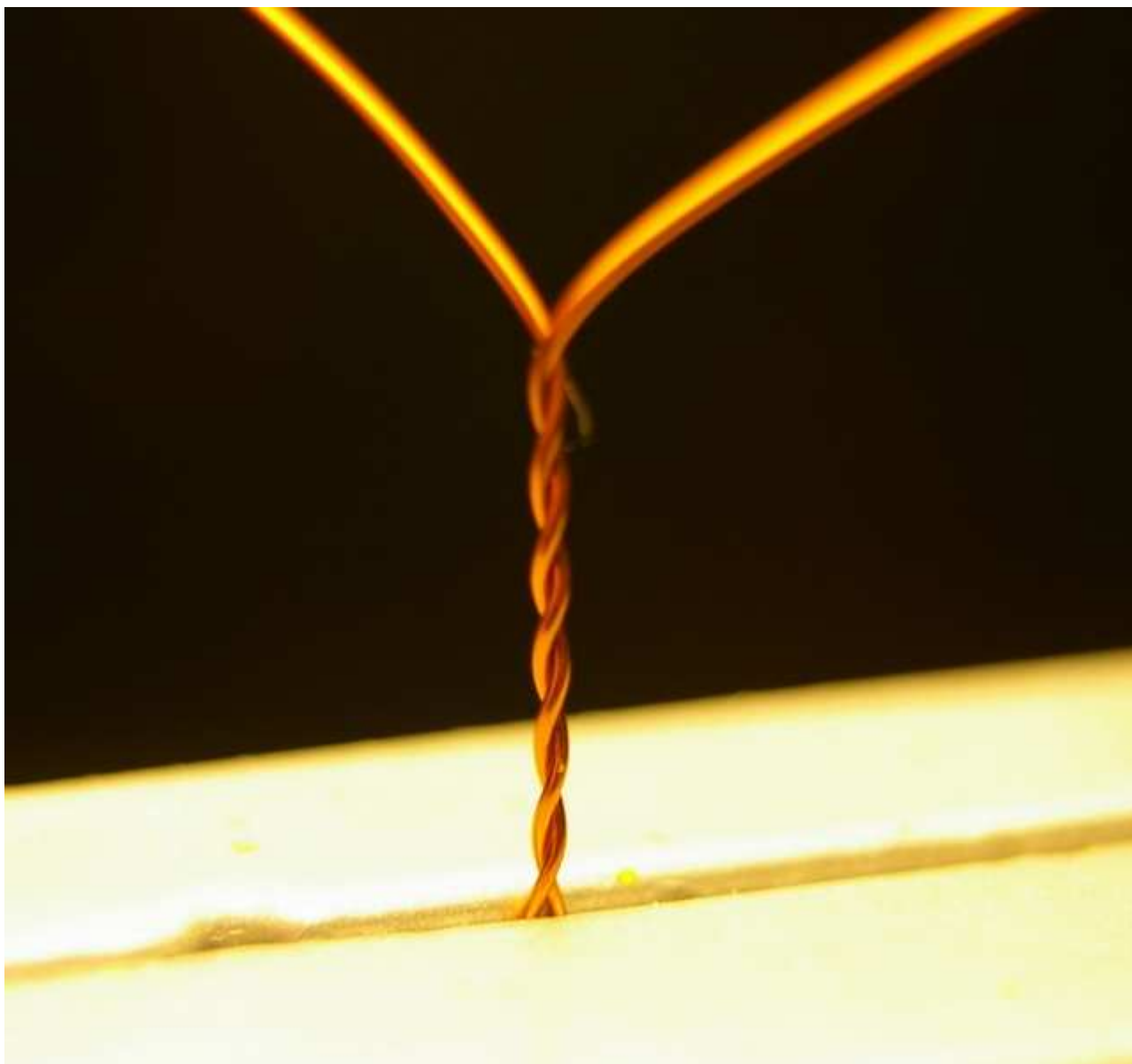
Rys. 6: Mocowanie odciągów do ziemi.

2.3 Symetryzator

Budowę anteny rozpoczynamy od przygotowania symetryzatora 1:1. Element ten pozwala połączyć antenę z nadajnikiem przy pomocy kabla koncentrycznego o dowolnej długości. Jest to rozwiązanie niezbędne, gdyż poprawne dopasowanie anteny (w tym przypadku symetrycznej) do niesymetrycznego kabla gwarantuje znacznie mniejsze straty oraz dużo niższy poziom generowanych zakłóceń. Przy pracy QRP, każdy stracony mW może mieć znaczenie!

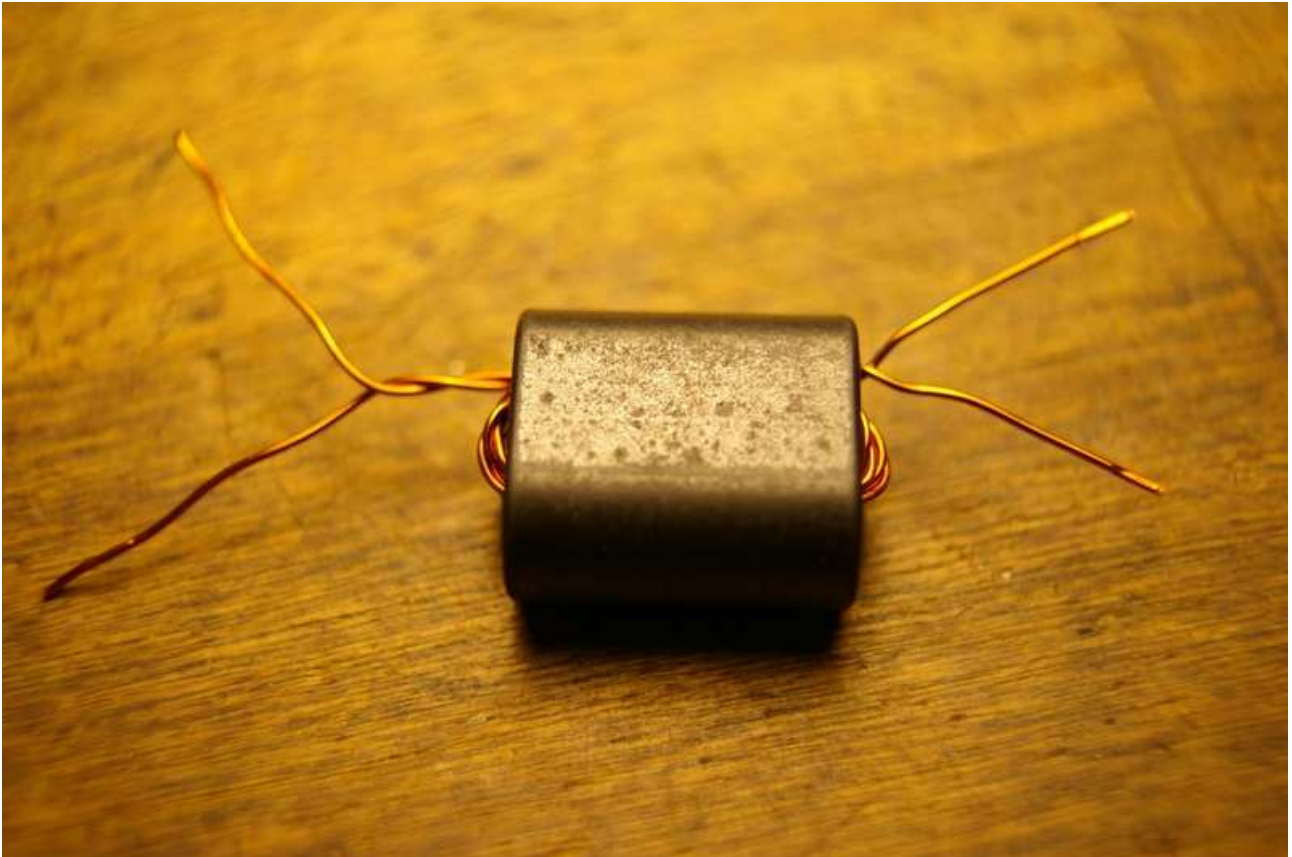
Przy nawijaniu symetryzatora skorzystano z informacji podanych w [3]. Polecam przeczytanie tego artykułu, dostępnego w internecie.

Na dwuotworowym rdzeniu ferrytowym firmy Amidon o oznaczeniu BN-43-202 nawinięte zostało 5 zwojów podwójnie skręconego drutu nawojowego DNE (Drut Nawojowy Emaliowany) o średnicy 0,4mm. Drut nawojowy należy skręcić ze sobą w taki sposób jak jest to pokazane na Rys. 7. Końcówki dwóch odcinków drutu należy ścisnąć w imadle, a następnie skręcić go ze sobą (ok. 3 skręceń na każdy centymetr długości). W ten sposób należy przygotować „skrętkę” o długości ok. 23cm.

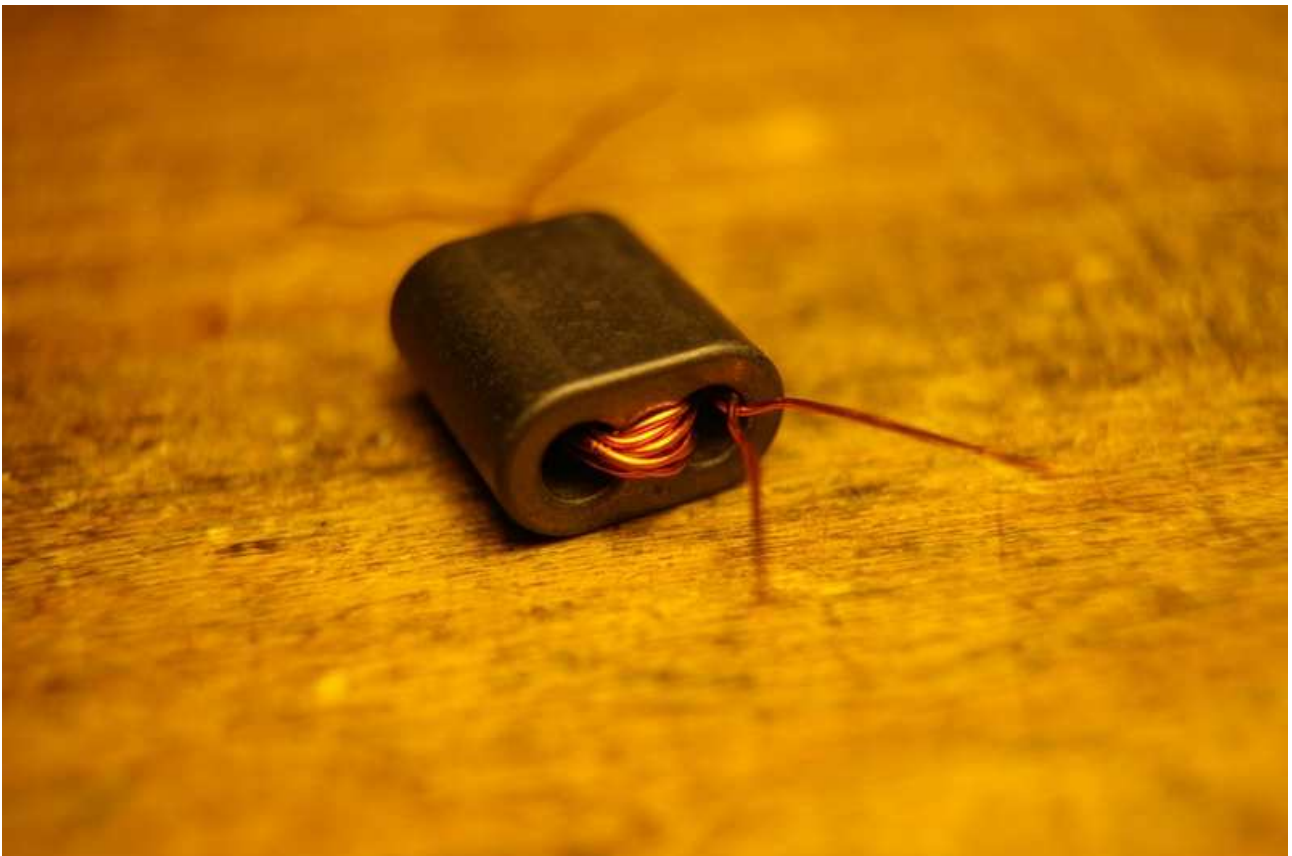


Rys. 7: Skręcanie drutu nawojowego.

Skretkę nawija się ściśle na środkową kolumnę rdzenia, przeplatając ją przez oba otwory. Należy wykonać 5 pełnych zwojów. Po nawinięciu symetryzator powinien wyglądać tak jak na Rys. 8. i Rys. 9.

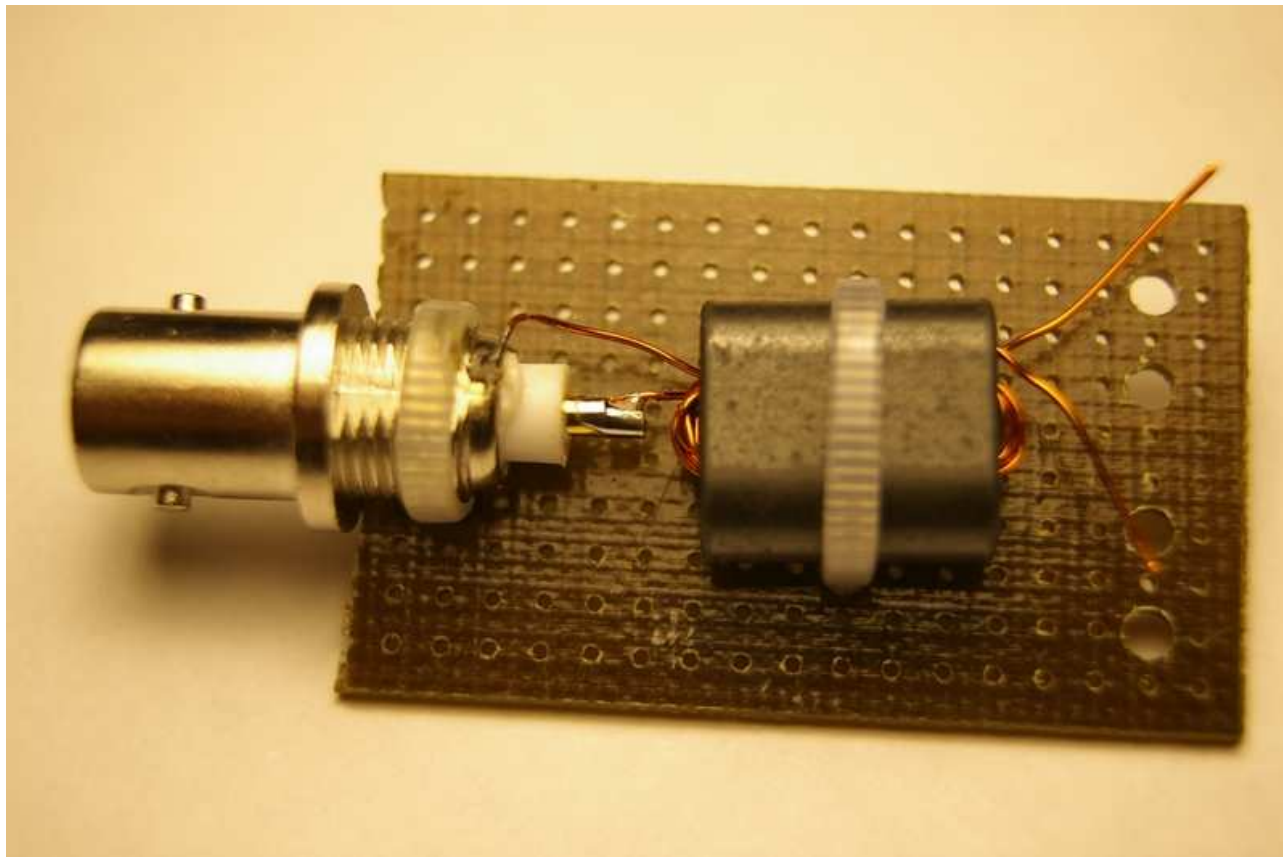


Rys. 8: Nawinięty symetryzator (widok I).



Rys. 9: Nawinięty symetryzator (widok II).

Nawinięty symetryzator zamocowano do uniwersalnej płytki drukowanej o wymiarach 45 x 30mm przy pomocy cienkiej opaski zaciskowej. W płytce nawiercono wcześniej odpowiednie otwory, pozwalające przepleść opaskę. W identyczny sposób zamocowano opaską gniazdo BNC. Dwie końcówki nawiniętego symetryzatora (wychodzące z jednej strony rdzenia) przylutowane zostały do gniazda BNC – odpowiednio, jedną do środkowego bolca, drugą do obudowy. Tak przygotowany symetryzator przedstawiony jest na Rys. 10.



Rys. 10: Symetryzator z zamocowanym rdzeniem i gniazdem BNC.

Przed przylutowaniem linki miedzianej (ramion anteny), można przeprowadzić prosty test. Do wolnych końcówek symetryzatora przylutowujemy rezystor o wartości ok 50Ω (należy postarać się, żeby połączenia były możliwie krótkie). Do gniazda BNC podłączamy analizator antenowy. W pełnym zakresie KF (1-30MHz) powinniśmy otrzymać odczyt rezystancji $R \approx 50\Omega$ (odchyłki o kilka omów w górę lub w dół nie mają istotnego znaczenia), natomiast składowa X (reaktancja) powinna wynosić zero. Rys. 11.

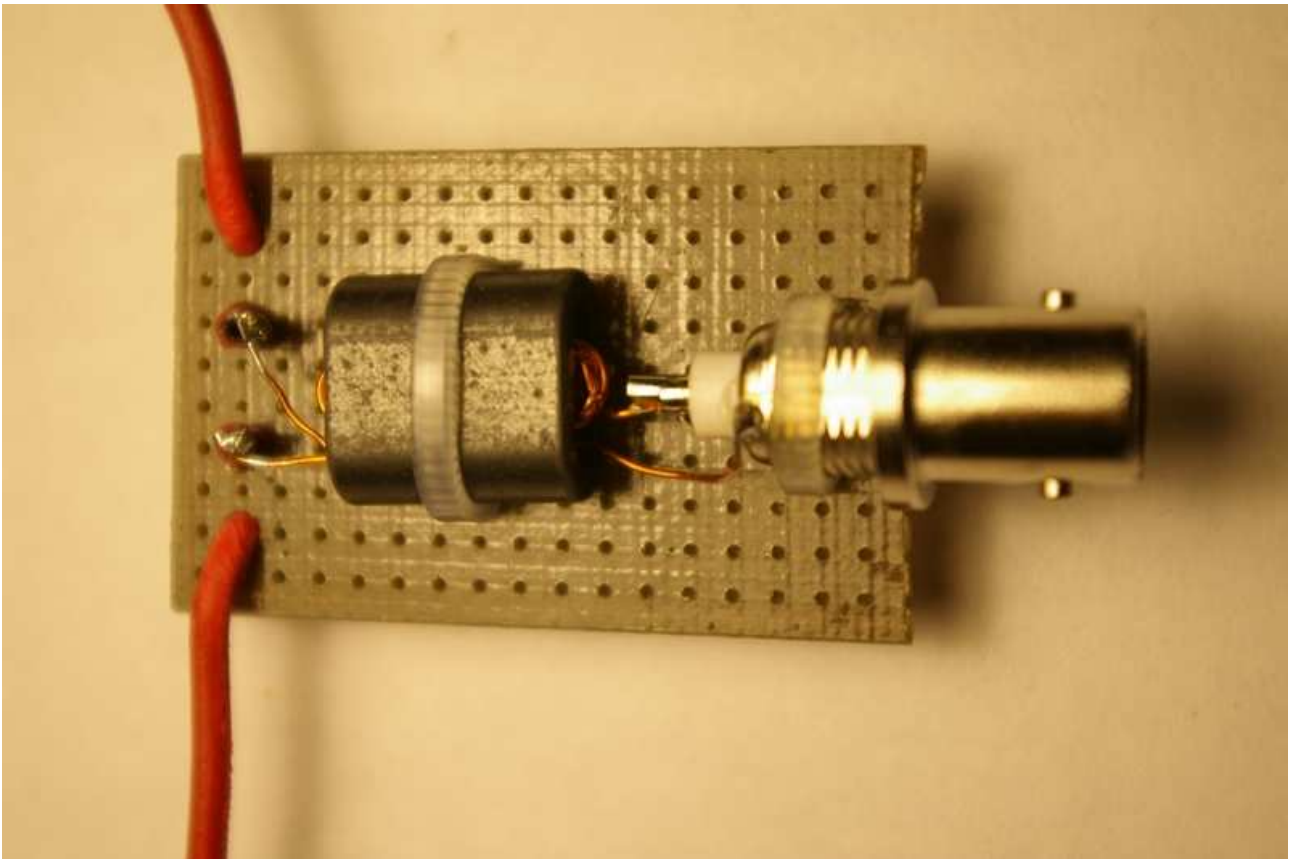


Rys. 11: Testowanie nawiniętego symetryzatora.

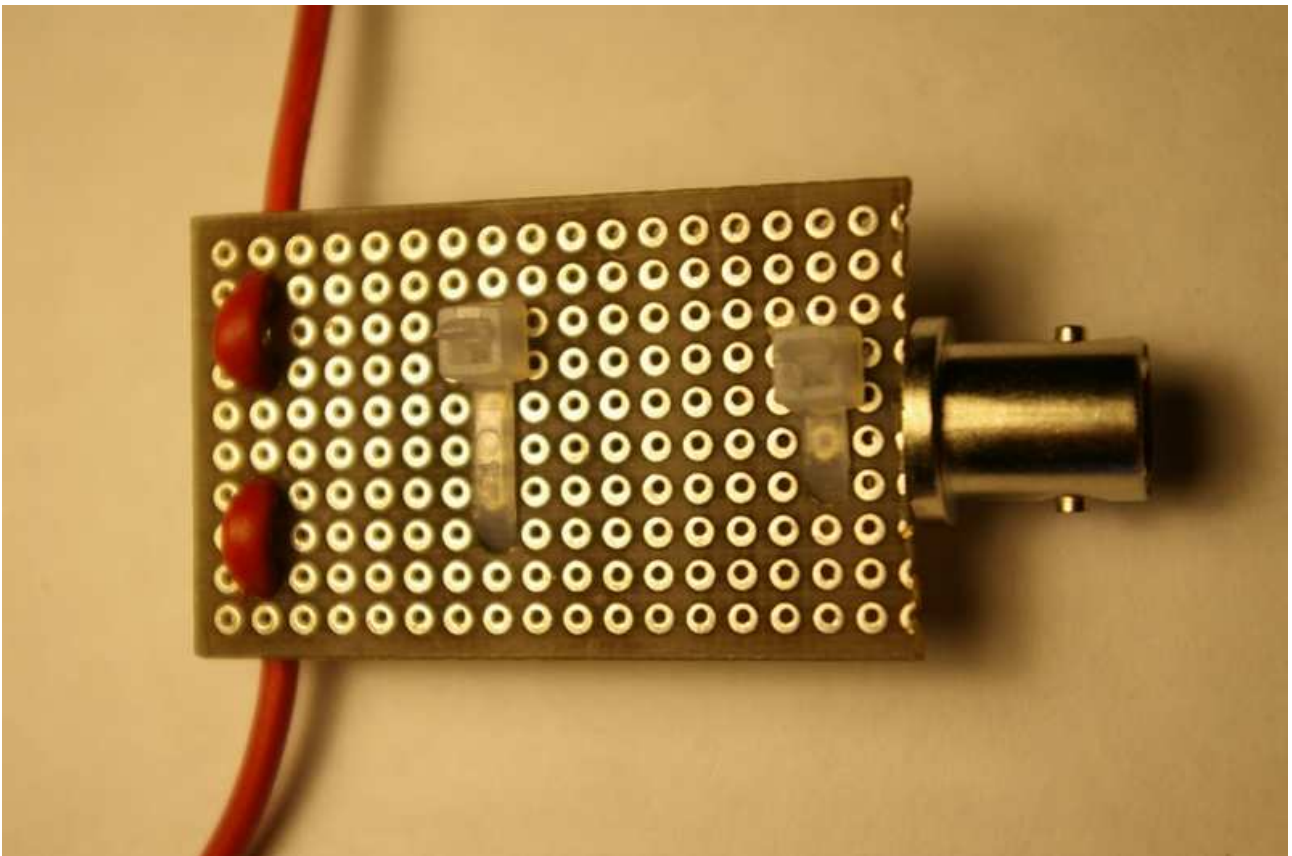
2.4 Ramiona anteny

Do wykonania ramion anteny użyto typowej linki miedzianej w izolacji polwinitowej (PVC) o przekroju $0,5\text{mm}^2$ (oznaczenie handlowe LGY $1\times 0,5\text{mm}^2$). Ramiona są symetryczne i niczym się nie różnią. Na jedno ramię składają się trzy odcinki linki miedzianej połączonej ze sobą konektorkami samochodowymi (złączki mufowe) oraz 40cm odcinek linki dowiązanej do końca ramienia. Pozwala on naciągnąć antenę i przymocować śledziem do podłoża. Patrz Rys. 1.

Ramiona anteny są trwale połączone z symetryzatorem, bez możliwości rozłączenia. Sposób przylutowania i zabezpieczenia przed wyrwaniem pokazany jest na Rys. 12. i Rys. 13.



Rys. 12: Sposób mocowania ramion anteny do symetryzatora (widok z góry).



Rys. 13: Sposób mocowania ramion anteny do symetryzatora (widok od dołu).

Na jedno ramię anteny składają się trzy odcinki przewodu o następującej długości:

Od symetryzatora do złączki A1 → 3,4m

Od symetryzatora do złączki A2 → 3,4m

Od złączki A1 do B1 → 1,6m

Od złączki A2 do B2 → 1,6m

Od złączki B1 do końca (węzła łączącego z linką żeglarską) → 4,6m

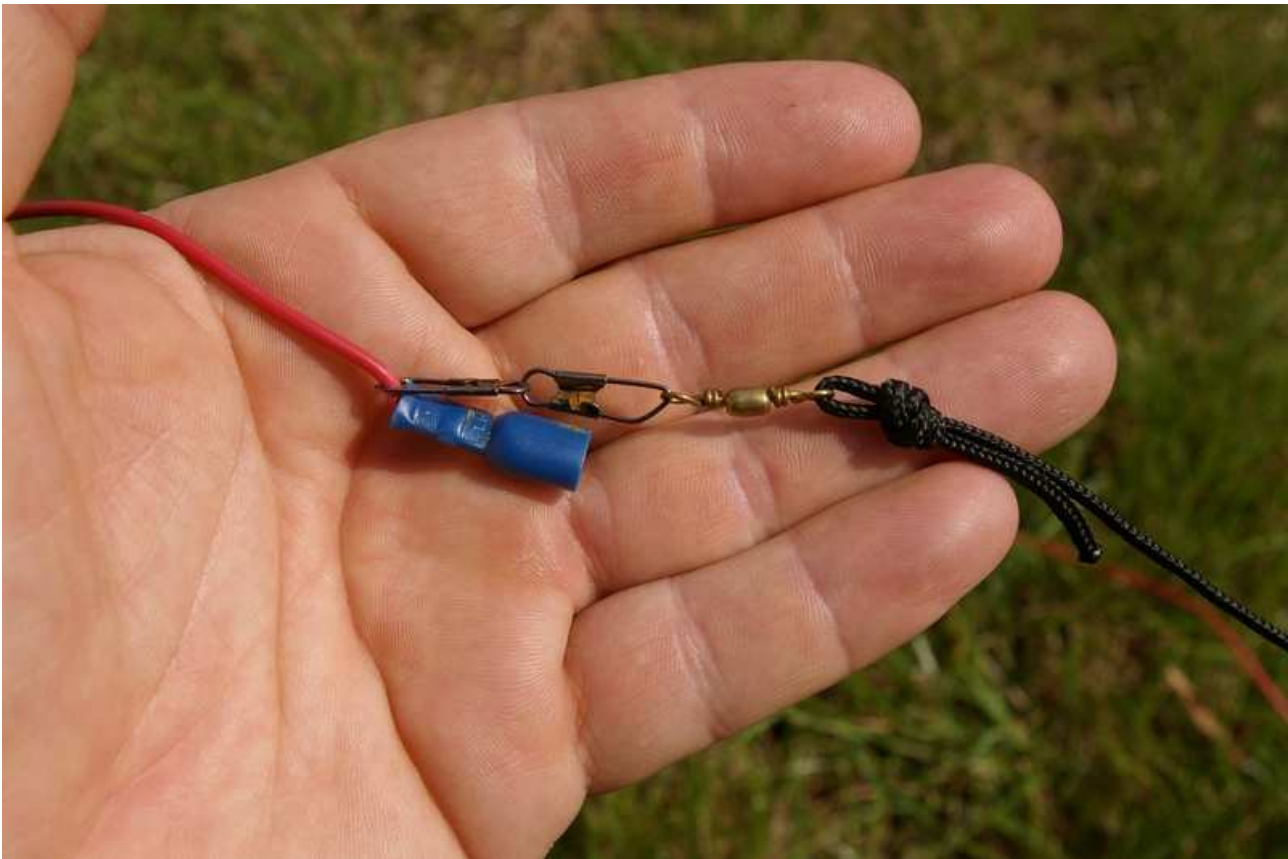
Od złączki B2 do końca (węzła łączącego z linką żeglarską) → 4,6m

Aby uniknąć rozpięcia się złączek w trakcie rozkładania anteny, każda połączenie jest zabezpieczony dwiema agrafkami wędkarskimi. Rys. 14.



Rys. 14: Sposób połączenia ze sobą dwóch odcinków linki, tworzących ramię anteny.

Takie połączenie ma jeszcze jedną zaletę. Kiedy zmieniamy pasmo i odpinamy którykolwiek z konektorów, dołączając do niego linkę żeglarską, możemy wykorzystać agrafkę do szybkiego połączenia ich ze sobą. Rys. 15.



Rys. 15: Sposób podłączania linki do odpiętego ramienia anteny.

Na koniec - po przylutowaniu ramion anteny do symetryzatora, całość zalano klejem, aby mechanicznie zabezpieczyć połączenia lutowane jak i również ochronić układ przed wilgocią. Do tego celu można również użyć silikonu lub żywicy. Istnieje również możliwość umieszczenia symetryzatora w obudowie z tworzywa, zwiększy to jednak znacząco masę i gabaryty całej anteny.

2.5 Strojenie anteny

Osoby które nie dysponują analizatorem antenowym, mogą pokusić się o złożenie anteny bazując wyłącznie na wymiarach poszczególnych odcinków linki miedzianej. Antena powinna działać co najmniej przyzwoicie. Opisywany egzemplarz był strojony rok temu. Staralem się wtedy uzyskać rezonans w środku poszczególnych pasm (z lekkim przesunięciem w stronę odcinka telegraficznego). Od tego czasu antena była wielokrotnie rozkładana i zwijana a mimo to parametry praktycznie nie uległy zmianie. Szczegółowe pomiary zamieszczone zostały w Dodatku A.

Oczywiście możliwe jest dostrojenie anteny w innych podzakresach, według wymagań i upodobań użytkownika. Do strojenia i sprawdzania anteny najlepiej użyć analizatora antenowego, np. MFJ-259B lub któregoś z amatorskich analizatorów, jak MAX6, miniVNA czy popularnego miernika VK5JST.

Aby poprawnie zestroić antenę, należy zacząć od „góry” czyli od pasma 21MHz i schodzić w dół do pasma 7MHz.

Strojenie pasma 15m

Do symetryzatora należy dolutować dwa ramiona anteny o długości ok. 3,5m. Do końca ramion dowiązujemy sznurek i mocujemy go do śledzia wbitego w ziemię w odległości ok. 8m od podstawy masztu. Stawiamy maszt, razem z odciążami i anteną – pamiętając o podłączeniu kabla antenowego! :-)

Mierzymy częstotliwość rezonansową w okolicach 21MHz wyszukując miejsce w którym jest jak najniższy SWR, powinien być w granicach 1,0-1,2. Jeżeli częstotliwość rezonansu jest za nisko, odcinamy krótki odcinek na końcu anteny. Jeżeli częstotliwość jest za wysoko, musimy dolutować krótki fragment linki. W momencie gdy uda nam się ostatecznie dobrać właściwą długość, zaciskamy złączki A1 i A2 na końcach linki.

Strojenie pasma 20m

Do zamontowanych przed chwilą złączek A1 i A2 dołączamy dwa odcinki linki miedzianej o długości ok. 1,8m każdy. Podobnie jak przed chwilą, dowiązujemy do końcówek sznurek i mocujemy go do wbitych już wcześniej śledzi.

Mierzymy częstotliwość rezonansową w okolicach 14MHz wyszukując miejsce w którym jest jak najniższy SWR, powinien być w granicach 1,0-1,2. Jeżeli częstotliwość rezonansu jest za nisko, odcinamy krótki odcinek na końcu anteny. Jeżeli częstotliwość jest za wysoko, musimy dolutować krótki fragment linki. W momencie gdy uda nam się ostatecznie dobrać właściwą długość, zaciskamy złączki B1 i B2 na końcach linki.

Strojenie pasma 40m

Do zamontowanych złączek B1 i B2 dopinamy dwa odcinki linki miedzianej o długości ok. 5m każdy. Podobnie jak przed chwilą, dowiązujemy do końcówek sznurek i mocujemy go do wbitych już wcześniej śledzi.

Mierzymy częstotliwość rezonansową w okolicach 7MHz wyszukując miejsce w którym jest jak najniższy SWR, powinien być w granicach 1,1-1,3. Jeżeli częstotliwość rezonansu jest za nisko, odcinamy krótki odcinek na końcu anteny. Jeżeli częstotliwość jest za wysoko, musimy dolutować krótki fragment linki. W momencie gdy uda nam się ostatecznie dobrać właściwą długość, dowiązujemy do końcówek anteny ok. 40cm odcinek linki żeglarskiej.

3 Uwagi końcowe

Poniżej umieszczonych zostało kilka luźnych uwag i sugestii, które mogą pomóc w budowie i modyfikacjach opisanej powyżej anteny.

- Zastosowany w konstrukcji symetryzator jest jednym z wielu znanych rozwiązań. Nic nie stoi na przeszkodzie, aby eksperymentować z innymi rdzeniami, kształtami, itp. Należy pamiętać jedynie o zachowaniu przełożenia 1:1
- Konstrukcja symetryzatora została oparta o uniwersalną płytkę drukowaną. W tym celu można również wykorzystać dowolną płytkę izolacyjną z laminatu, tekstolitu, poliamidu, drewna, itp.
- Grubość linki miedzianej (0,5mm²) nie jest zbyt krytyczna. Została dobrana głównie pod kątem wagi i wytrzymałości mechanicznej. Grubsza linka byłaby lepsza, ale niestety jest cięższa!
- Eksperymenty z doczepieniem dodatkowych odcinków linki w celu uzyskania możliwości nadawania w paśmie 3,5MHz (80m) w zasadzie nie powiodły się. Tak przygotowana antena ma stosunkowo wysoki SWR i bardzo wąskie pasmo. Kąt promieniowania jest

przypuszczalnie bardzo duży i większość energii wypromieniowywana jest pionowo w górę, zamiast do naszych korespondentów. Sytuacja mogłaby się poprawić przy zastosowaniu wyższego masztu.

- Nie udało się do tej pory opracować „eleganckiej” metody mocowania symetryzatora do szczytu masztu. W tym rozwiązaniu jest on przyklejany taśmą. Rozwiązanie proste i niezawodne. Może jednak ktoś zaproponuje lepszą metodę? Rys. 16.



Rys. 16: Mocowanie symetryzatora do masztu.

- Poniżej umieszczono kilka zdjęć pokazujących jak można zapakować cały zestaw do pokrowca na wędki. Jest to dosyć wygodna metoda noszenia anteny w czasie dłuższych wycieczek góry. W zestawie widoczna jest również antena na 2m, która nie została tutaj opisana. Całość waży nieco poniżej 3kg. Rys. 17. 18. i 19.



Rys. 17: Kompletna antena wraz z masztem i akcesoriami.

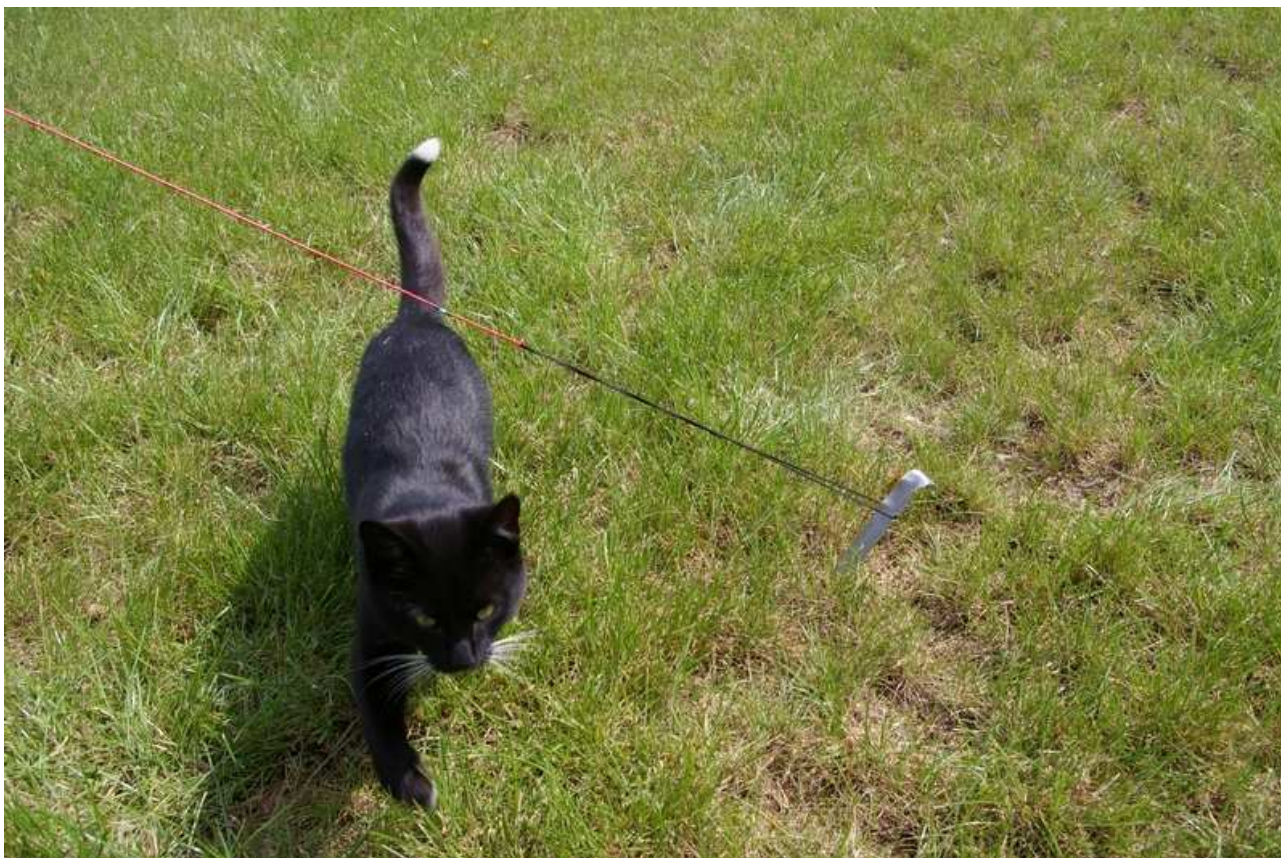


Rys. 18: Po zapakowaniu w pokrowiec.



Rys. 19: No i w drogę...

- Autor chciałby szczególnie podziękować dwóm asystantom (widocznym na Rys. 20. i Rys. 21.) bez ich głębokiego zaangażowania projektu nie udałoby się doprowadzić do końca!



Rys. 20: Mój asystent prezentuje sposób mocowania końcówki anteny do ziemi.



Rys. 21: Autor wraz z drugim asystentem. W tle rozłożona antena.

4 Literatura

- [1] Amatorskie anteny KF i UKF – Z. Bieńkowski, E. Lipiński – WKŁ 1978
- [2] Basic Antennas Understanding. Practical Antennas and Design – J.R. Hallas – ARRL 2009
- [3] Symetryzatory – testy – M. Świetliński - <http://www.sp5jnw.sem.pl/>
- [4] Antenna Book 21st Eddition – wielu autorów – ARRL 2008

5 Dodatek A

Wyniki pomiarów anteny przy pomocy analizatora MFJ-259B.

Pasma 40m

MHz	SWR	R	X
6,90	2,6	70	58
6,95	2,1	60	44
7,00	1,7	52	27
7,05	1,4	47	17
7,10	1,1	44	4
7,15	1,2	43	7
7,20	1,4	42	16
7,25	1,7	42	25
7,30	2,1	43	36

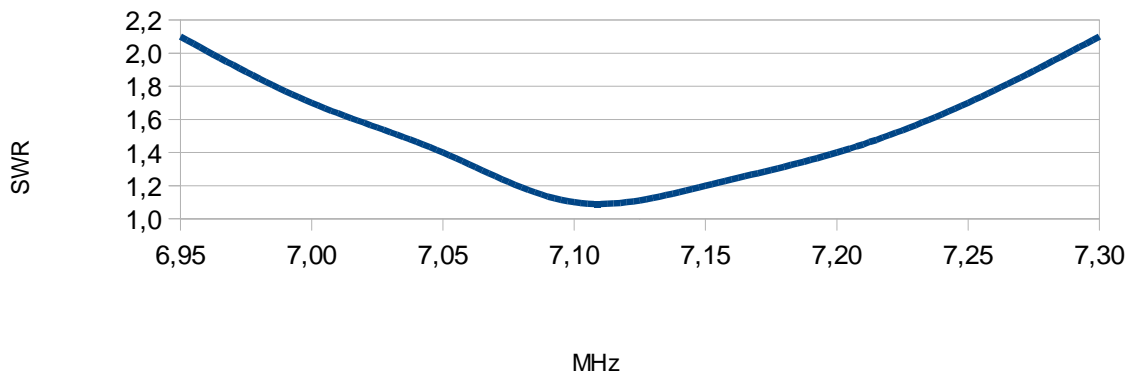
Pasma 20m

13,90	1,4	73	0
13,95	1,3	68	3
14,00	1,2	62	0
14,05	1,1	59	0
14,10	1,0	55	0
14,15	1,0	52	2
14,20	1,1	50	7
14,25	1,2	48	11
14,30	1,3	46	15
14,35	1,4	45	17
14,40	1,5	44	21
14,45	1,7	44	25

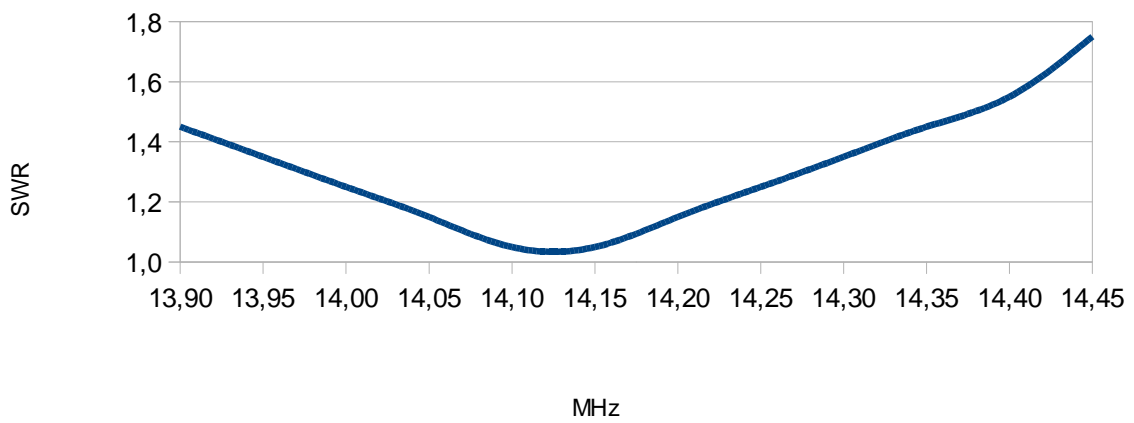
Pasma 15m

20,90	1,4	72	0
20,95	1,3	68	0
21,00	1,3	65	4
21,05	1,2	63	6
21,10	1,2	59	7
21,15	1,1	57	6
21,20	1,1	54	6
21,25	1,1	52	5
21,30	1,0	49	3
21,35	1,0	47	2
21,40	1,0	46	1
21,45	1,1	44	0
21,50	1,1	43	2
21,55	1,2	41	5

SWR dla pasma 7MHz



SWR dla pasma 14MHz



SWR dla pasma 21MHz

