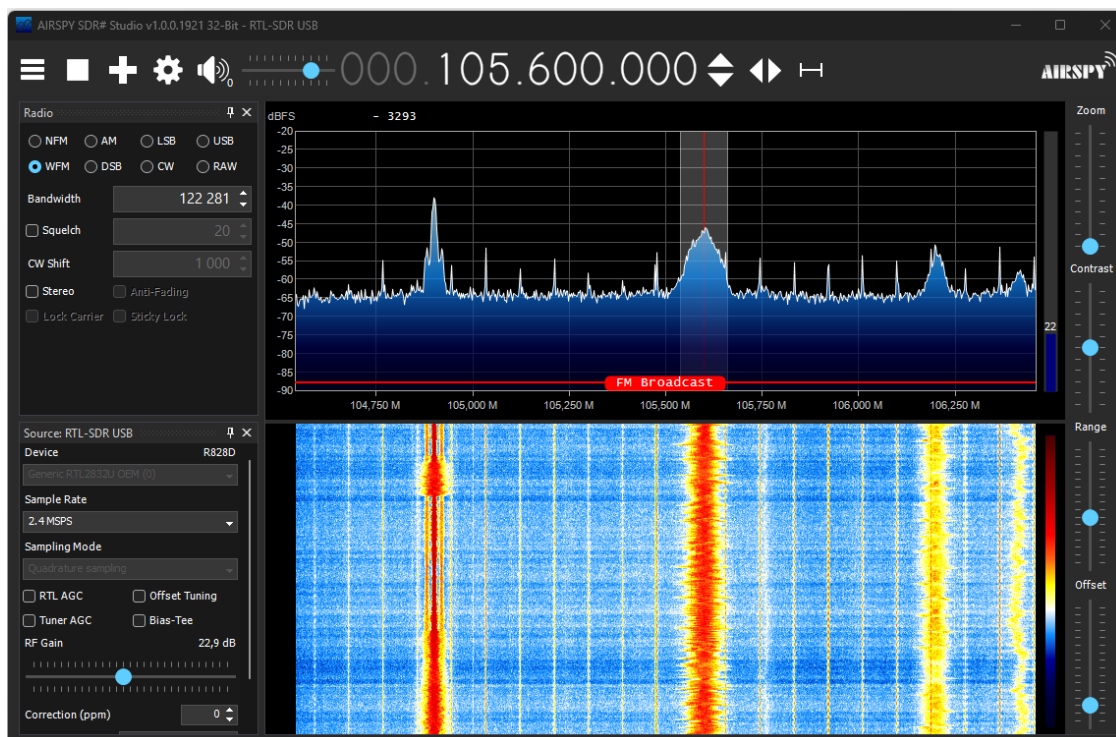


IV KONGRES NAUCZYCIELI FIZYKI

WARSZAWA 2026

MINI-PROJEKTY MAKERSKIE Z DUŻYM POTENCJAŁEM – CZĘŚĆ 1:

Antena radiowa



Politechnika Warszawska
Wydział Fizyki

Dariusz.Aksamit@pw.edu.pl

Wersja instrukcji: 2026.09.07

Pozostańmy w kontakcie



Newsletter nauczycielski

Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej



Spis treści

1.	O co w tym chodzi.....	3
2.	Fizyka projektu.....	3
	Długość fali.....	4
	Długość promiennika dla naszej anteny	4
	Gotowe wymiary dla popularnych pasm	4
3.	Schemat konstrukcji.....	5
4.	Lista wyposażenia i jej alternatywy	6
	Promiennik — dobór drutu do styku gniazda	7
	Przeciwwagi — gięcie i mocowanie	7
5.	Dalsza eksploracja z uczniami	7
6.	Typowe problemy.....	8
7.	Bezpieczeństwo i kwestie formalne	8
	Załącznik: Powiązanie z podstawą programową	9
	Załącznik: Wątek klimatyczny	9



1. O co w tym chodzi

Budujemy klasyczną antenę ćwierćfalową typu *ground plane*: pionowy promiennik osadzony w środkowym styku gniazda współosiowego i cztery przeciwwagi tworzące sztuczną masę. Uczniowie podłączą anteny własnej produkcji do odbiornika SDR (*Software-Defined Radio*), prowadząc nasłuch na różnych częstotliwościach.

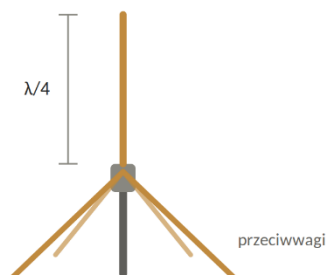
Zasada przewodnia: *low floor – high ceiling – wide walls*. Niski próg wejścia: samo podłączenie dowolnej anteny do SDR pozwala na interesujące przedstawienie w praktyce zagadnienia fal elektromagnetycznych i ich częstotliwości. Wysoki sufit: Dysponując odpowiednią anteną możemy odebrać sygnał z satelitów meteorologicznych i w darmowym oprogramowaniu przetworzyć go na zdjęcia Ziemi z aktualnego przelotu nad nami. Szerokie ściany – nie ma „prawidłowego” rozwiązania, tylko różnego rodzaju typy anten nadające się do różnych celów.

2. Fizyka projektu

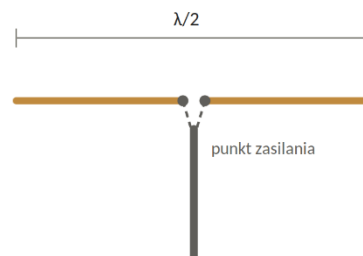
Fala elektromagnetyczna oddziałuje z przewodnikiem, indukując w nim napięcie – jeśli długość anteny jest odpowiednio dobrana do długości fali, będziemy mogli zmierzyć to napięcie. Te zajęcia mają jedynie jakościowo zademonstrować przykładową konstrukcję anteny – nie zawierają systematycznego wprowadzenia do zagadnienia radiokomunikacji. Jako niezbędne minimum prezentujemy poniższą grafikę, aby mieć świadomość, że:

- Różne konstrukcje anten będą odbierały różne częstotliwości, przy czym nie tylko sama długość anteny ma znaczenie, ale z konstrukcji wynika, czy będzie odbierać pół czy ćwierć długości fali
- Konstrukcja anteny będzie decydować o tym, czy będzie dookólna (odbiera sygnał z każdego kierunku) czy kierunkowa

Ground plane (ćwierćfalowa)



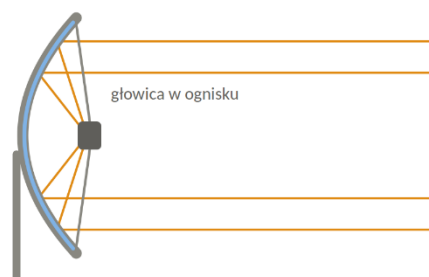
Dipol półfalowy



Yagi-Uda



Antena paraboliczna



Długość fali

$$\lambda = c / f$$

w praktyce: λ [m] = 300 / f [MHz]

Długość promiennika dla naszej anteny

$$L = (\lambda / 4) \cdot 0,95$$

Współczynnik 0,95 uwzględnia efekt końcowy rzeczywistego przewodnika — fala „widzi” drut jako nieco dłuższy, niż mierzy linijka.

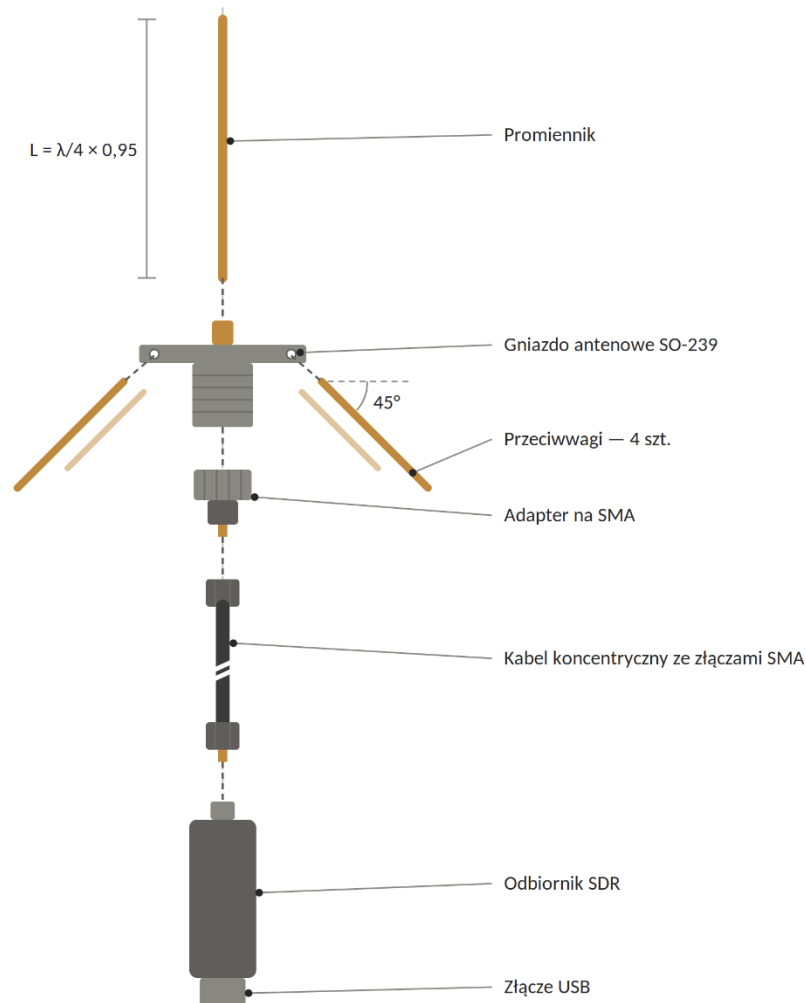
Gotowe wymiary dla popularnych pasm

Zastosowanie	f [MHz]	λ	Promiennik L	Przeciwwagi (+5 %)
Radio FM	100	3,00 m	71 cm	75 cm
Satelity meteorologiczne	137,5	2,18 m	52 cm	55 cm
Pasmo 2 m (amatorskie)	145	2,07 m	49 cm	51,5 cm
Radiosondy meteorologiczne	403	74,4 cm	17,7 cm	18,6 cm
Pasmo ISM / czujniki	433	69,3 cm	16,5 cm	17,3 cm
ADS-B (transpondery samolotów)	1090	27,5 cm	6,5 cm	6,9 cm

3. Schemat konstrukcji

Antena ćwierćfalowa składa się z pionowego promiennika, gniazda i przeciwwag – nie wchodząc głęboko w kwestię impedancji i mówiąc obrazowo, antena ćwierćfalowa to połowa dipola, która potrzebuje „lustra”, w którym odbije się padająca fala, a przeciwwagi tworzą sztuczną płaszczyznę masy do tego odbicia. Kąt ich ustawienia zmienia impedancję układu; odgięte w dół pod kątem 45° dają około 50 Ω, czyli dopasowanie do typowego kabla. Poniżej prezentujemy schemat naszego układu.

Antena ground plane — widok rozstrzelony



Odbiornik SDR należy podłączyć do komputera złączem USB i podążyć za instrukcją producenta w celu instalacji sterowników: <https://www.rtl-sdr.com/rtl-sdr-quick-start-guide/>

SDR współpracuje z wieloma darmowymi programami, np. z AirSpy <https://airspy.com>

4. Lista wyposażenia i jej alternatywy

Poniżej prezentujemy zestaw prezentowany na warsztatach:

Element	Koszt	PRZYKŁADY
Gniazdo współosiowe SO-239 do montażu podstawowego	Ok. 5zł	https://www.tme.eu/pl/details/r-807/zlaczka-uhf-i-mini-uhf/xinya-electronics/
Przejściówka na SMA-F	Ok. 20zł	https://www.ercomer.pl/pl/p/Przejsciowka-wtyk-PL259-UC1%2C-UHF-gniazdo-SMA-F-ID1469/2493
Kabel koncentryczny 50 Ω z wtykiem 2x SMA-M	Ok. 60zł	https://www.ercomer.pl/pl/p/Kabel-RG316-2x-SMA-M-15cm/3873
Odbiornik SDR USB z komputerem	Ok. 300zł	https://www.radio-sklep.pl/pl/p/RTL-SDR-V3c-R820T2R860-RTL2832U-USB-C/3466
Drut miedziany, mosiężny lub pręt spawalniczy $\varnothing 2,5-3,2$ mm	Kilkanaście zł	W zależności od częstotliwości – 1-3 metry na zespół
W zależności od sposobu mocowania: lutownica i cyna; śruby M3 z nakrętkami; nity aluminiowe 3,2 mm z nitownicą	Kilkanaście zł	j.w.

Narzędzia do przygotowania drutów: kombinerki, szczypce okrągłe, obcinaczki do drutu, miarka zwijana lub linijka, suwmiarka, okulary ochronne.

Narzędzia do przymocowania przeciwwag: ręczna nitownica (jeśli nitujemy), lutownica z cyną (jeśli lutujemy), wkrętak (jeśli skręcamy przeciwwagi śrubami), kątomierz.

Większość podzespołów można **kupić, znaleźć**, lub **wykonać samodzielnie**. Poniżej prezentujemy dyskusję niektórych alternatyw:

Element	Kup gotowe	Z odzysku / za darmo	Zrób / Good enough
Gniazdo	SO-239 do montażu podstawowego	gniazdo wykręcone ze złomowanego CB-radia albo starego tunera	brak gniazda: kabel wciśnięty i zacisnięty wprost na drutach
Promiennik	pręt mosiężny 3 mm ze sklepu modelarskiego	pręt spawalniczy, szprycha rowerowa, żyła z kabla instalacyjnego, drut od wieszaka	wyprostowany wieszak przycięty „na oko po linijce”
Połączenie promiennika	gotowy wtyk z zaciskiem	—	lutowanie w kielichu gniazda lub wcisk drutu dobrego średnicy
Przeciwwagi	komplet drutów z zestawu antenowego	druty od zepsutego parasola, szprychy, taśma miedziana	-
Mocowanie przeciwwag	nit aluminiowy 3,2 mm, połączenie nierozbieralne	śruby z demontażu	oczko zagięte kombinerkami i śruba M3
Kabel	RG-58 50 Ω z fabrycznymi wtykami	kabel antenowy TV 75 Ω , kabel satelitalny RG-6	dowolny koncentryk, wtyk skręcany, taśma izolacyjna
Odbiornik	SDR w metalowej obudowie z filtrem	stary tuner DVB-T USB z układem RTL2832U — te same możliwości za darmo	zwykłe radio FM z gniazdem antenowym (ocena słyszalności stacji zamiast pomiaru na komputerze)

Promiennik — dobór drutu do styku gniazda

Środkowy styk gniazda ma postać metalowego kielicha o średnicy wewnętrznej rzędu 3 mm. Zamiast wlutowywać w niego drut, możemy dobrać średnicę tak, aby wchodził ciasno i pozostawał na miejscu bez dodatkowego mocowania.

- Zmierz średnicę wewnętrzną kielicha suwmiarką albo dobierz drut metodą prób i błędów.
- Pręt spawalniczy 3,2 mm bywa minimalnie za gruby — wystarczy przeszlifować końcówkę papierem ściernym na długości 8–10 mm.
- Jeśli drut jest odrobinę za cienki, delikatnie zaciśnij kielich kombinerkami albo owiń koniec drutu cienkim drucikiem miedzianym, aż uzyskasz wcisk.
- **Powierzchnie muszą być czyste.** Utleniony drut daje niepewny styk — przetrzyj końcówkę papierem ściernym tuż przed montażem.

Przeciwwagi — gięcie i mocowanie

Kołnierz gniazda ma cztery otwory montażowe. To gotowa geometria anteny, ale połączenie przeciwwag można zrealizować na wiele sposobów:

- Zagnij koniec drutu w oczko szczypcami okrągłymi (albo po prostu w literę U kombinerkami).
- Przykręć śrubą M3 z nakrętką albo przynituj aluminium nitem 3,2 mm przy użyciu ręcznej nitownicy.
- Odegnij przeciwwagi w dół pod kątem około 45°, sprawdzając kąt kątomierzem lub kartką złożoną na pół (45° to przekątna kwadratu).

Nit czy śruba? Nit jest szybszy i pewniejszy mechanicznie, ale połączenie jest nierozbieralne. Śruba pozwala zmienić kąt albo wymienić przeciwwagę, ale potrafi się poluzować przy przewożeniu. Na warsztacie z jedną anteną na grupę wygrywa śruba; przy antenie, która ma zostać na maszcie, wygrywa nit. To kolejny mikro-wybór inżynierski wart minuty dyskusji.

5. Dalsza eksploracja z uczniami

- Druga antena na inne pasmo i porównanie szerokości pasma rezonansowego.
- Pomiar SWR analizatorem antenowym – za około 300-400zł można kupić przyrząd nanoVNA (przykład: <https://kamami.pl/analizatory-sieci/1197008-nanovna-h-wektorowy-analizator-sieci-50khz-15ghz-5902186301955.html>)
- Porównanie ground plane z dipolem i anteną Yagi (kierunkowość).
- Odbiór i dekodowanie sygnałów satelitów meteorologicznych (instrukcja: <https://www.rtl-sdr.com/building-a-diy-portable-137-mhz-yagi-antenna-for-lrpt/>)
- Odbiór radiosond i wykreślenie własnego profilu temperatury atmosfery.
- Antena 1090 MHz do analizy ruchu lotniczego nad szkołą wraz z oszacowaniem emisji.
- Budowa anten do radioastronomii.

6. Typowe problemy

Objaw	Prawdopodobna przyczyna	Ratunek
Sygnał słabszy niż z anteny fabrycznej	przeciwwaga dotyka promiennika albo zwarcie w gnieździe	sprawdź omomierzem: między stykiem środkowym a kołnierzem ma być przerwa
Sygnał skacze przy dotknięciu anteny	luźny wcisk promiennika	przeszlifuj końcówkę, zaciśnij kielich kombinerkami
Sygnał słabnie z tygodnia na tydzień	utlenione styki połączeń mechanicznych	rozbierz, przetrzyj papierem ściernym, złóż ponownie
Promiennik wypada z gniazda	druk za cienki	owinąć koniec cienkim drucikiem albo dobrać grubszy pręt
Nic nie słychać na wybranym paśmie	zła częstotliwość lub tryb odbioru	zaczynaj od pasma FM — tam zawsze coś jest, więc dobrze służy jako test

7. Bezpieczeństwo i kwestie formalne

- **Nigdy nie montuj anteny w pobliżu linii energetycznych ani podczas burzy.**
- W trybie wyłącznie odbiorczym antena jest urządzeniem pasywnym i nie wymaga żadnych zezwoleń. **Nadawanie wymaga licencji** — świadectwa operatora i znaku wywoławczego.
- Zakładaj okulary ochronne przy cięciu drutu.
- Końce drutów są ostre; po przycięciu stęp je pilnikiem albo zabezpiecz kapturkami.
- Nitownica wymaga siły — trzymaj dłoń poza torem ruchu rączek, pracuj w unieruchomionym materiale.
- Odbiór ogólnodostępnych transmisji meteorologicznych i lotniczych jest legalny; nie dotyczy to łączności szyfrowanej i służbowej.

Załącznik: Powiązanie z podstawą programową

Etap	Dział podstawy	Co realnie realizujemy
SP kl. VII–VIII	Ruch drgający i fale	długość fali, częstotliwość, okres, związek $v = \lambda \cdot f$, rezonans
SP kl. VII–VIII	Optyka	fale elektromagnetyczne, widmo, prędkość światła, fale radiowe jako część widma
SP kl. VII–VIII	Elektryczność	przewodniki, obwód, przepływ ładunku
SP kl. VII–VIII	Wymagania przekrojowe	pomiar wielkości, wykres zależności, wyznaczanie maksimum
Liceum, zakres podstawowy	Ruch drgający i fale	fale elektromagnetyczne, rezonans, polaryzacja, widmo fal EM i ich zastosowania
Liceum, zakres podstawowy	Elektryczność i magnetyzm	pole elektryczne i magnetyczne fali, prąd zmienny
Zakres rozszerzony	Fale	fala stojąca, węzły i strzałki, impedancja, dopasowanie, dobroć układu rezonansowego
Poza fizyką	matematyka, informatyka, geografia	logarytmy i skala dB, przetwarzanie sygnału, dekodowanie danych, orbity satelitów i sieci pomiarowe

Załącznik: Wątek klimatyczny

To najmniej oczywisty wątek całego warsztatu – odpowiedź na pytanie **skąd właściwie wiemy, co dzieje się z klimatem?** Wiedza o klimacie nie bierze się z modeli, tylko z **pomiarów**, a wiele z nich wykonywanych jest przez automatyczne urządzenia, które przesyłają dane w otwartej komunikacji, możemy więc je leganie „podслуhać”:

- **Radiosondy (403 MHz).** Dwa razy dziennie, o 00 i 12 UTC, ze stacji na całym świecie — w Polsce między innymi z Legionowa — startują balony z sondami mierzącymi temperaturę, wilgotność i ciśnienie na kolejnych wysokościach. Ta sama sieć pomiarowa działa od dekad i stanowi kręgosłup reanaliz klimatycznych. **Uczniowie mogą odebrać te dane sami**, anteną z 18-centymetrowych drucików.
- **Satelity meteorologiczne (około 137 MHz).** Satelity polarne nadają obrazy w otwartym formacie, możliwym do odebrania amatorsko. Własnoręcznie odebrane zdjęcie chmur nad Polską ma inną wagę dydaktyczną niż obrazek z internetu.
- **ADS-B (1090 MHz).** Transpondery samolotów nadają swoją pozycję otwartym tekstem. Antena o promienniku 6,5 cm plus odbiornik SDR pozwalają policzyć, ile samolotów przelatuje nad szkołą w ciągu godziny, i oszacować emisję CO₂ tego ruchu.
- **Infrastruktura jako warunek wiedzy.** Kto utrzymuje sieci pomiarowe? Co się dzieje, gdy stacja przestaje działać? Dlaczego ciągłość serii pomiarowych jest w klimatologii ważniejsza niż precyzja pojedynczego pomiaru?