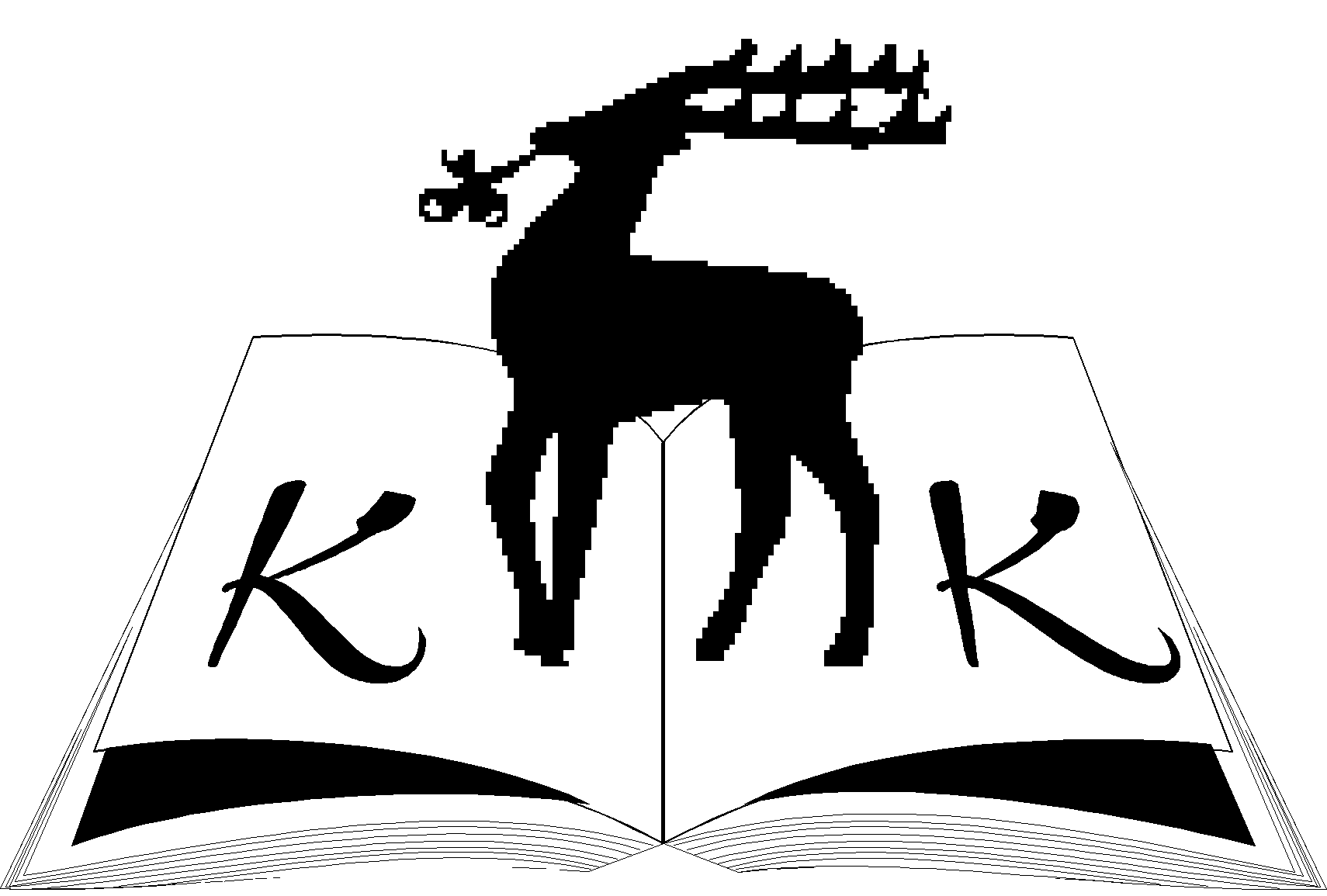
KOLEGIUM KARKONOSKIE W JELENIEJ GÓRZE

*Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa*

WYDZIAŁ TECHNICZNY



**Anteny i fale**

- seminarium

*Fala padająca ukośnie na granicę dwóch ośrodków. Prawo Snelliusa.  
Zjawisko i kąt całkowitego odbicia. Wyprowadzenie równań na współczynnik odbicia i transmisji dla przypadku polaryzacji równoległej i polaryzacji prostopadłej. Kąt Brewstera. Pojęcie i rodzaje polaryzacji (fala z polaryzacją liniową, kołową i eliptyczną).*

Opracował:

Jelenia Góra 2009 r.

Spis treści

[1. Fala padająca ukośnie na granicę dwóch ośrodków 3](#_Toc225868680)

[1.1. Polaryzacja równoległa 4](#_Toc225868681)

[1.1.1. Prawo Snelliusa 6](#_Toc225868682)

[1.1.2. Współczynnik odbicia i transmisji 7](#_Toc225868683)

[1.1.3. Impedancja falowa 7](#_Toc225868684)

[1.1.4. Prędkość fazowa 7](#_Toc225868685)

[1.1.5. Kąt Brewstera 9](#_Toc225868686)

[1.2. Polaryzacja prostopadła 10](#_Toc225868687)

[1.2.1. Współczynnik odbicia i transmisji 11](#_Toc225868688)

[1.2.2. Impedancja falowa 11](#_Toc225868689)

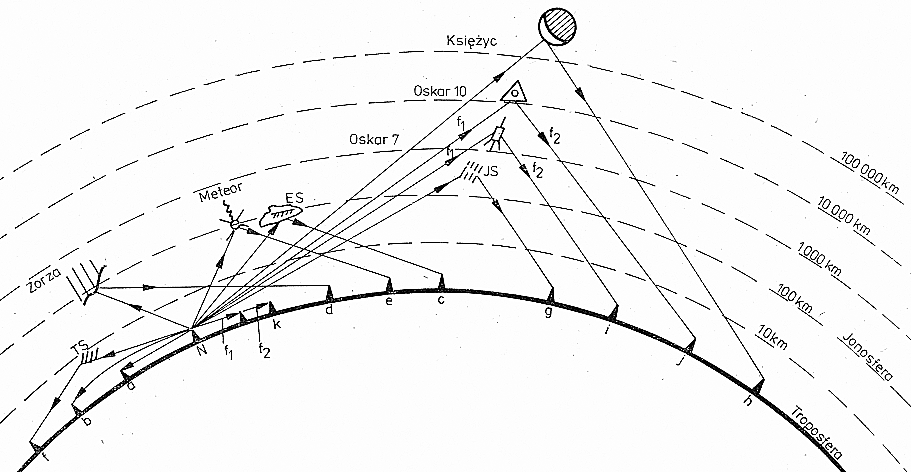
# 

# Fala padająca ukośnie na granicę dwóch ośrodków

Rozważymy obecnie bardzo istotny z praktycznego punktu widzenia przypadek, kiedy fala pada ukośnie na granicę dwóch ośrodków. Mamy z nim do czynienia przy odbiciu fal radiowych od ziemi w radiodyfuzji i radiokomunikacji ruchomej lądowej na zakresie fal metrowych i mikrofal, a także podczas odbicia fal krótkich od jonosfery. Założymy, że mamy dwa bezstratne ośrodki, jak to pokazano na rys. 1.2. Kąty θi , θr i θt zwiemy odpowiednio kątem padania, odbicia i załamania. Problem fali padającej ukośnie rozbijemy na dwa podproblemy. Pierwszy będzie dotyczył fali, której wektor pola elektrycznego będzie leżał w płaszczyźnie padania xz {polaryzacja równoległa). Drugi podproblem będzie dotyczył fali, której wektor E będzie prostopadły do płaszczyzny xz {polaryzacja prostopadła). Każda płaska fala elektromagnetyczna może być zawsze wyrażona jako liniowa kombinacja dwóch podanych przypadków. Napiszemy wyrażenia na falę padającą, odbitą i transmitowaną dla każdego z dwóch ośrodków, a następnie dopasujemy warunki brzegowe w celu znalezienia nieznanych amplitud fal oraz kątów odbicia i załamania.

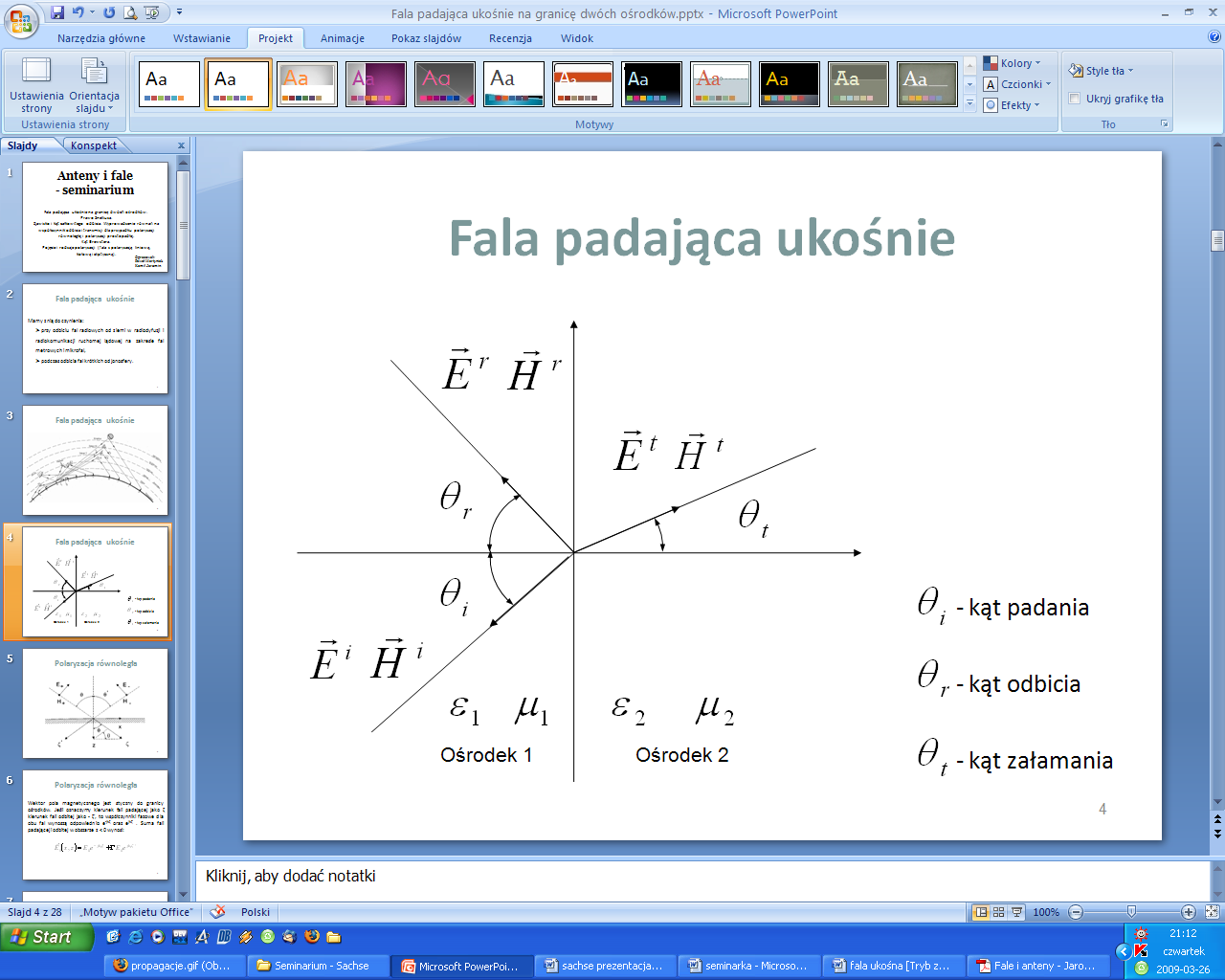
Mamy z nią do czynienia:

* + przy odbiciu fal radiowych od ziemi w radiodyfuzji i radiokomunikacji ruchomej lądowej na zakresie fal metrowych i mikrofal,
  + podczas odbicia fal krótkich od jonosfery.



Rys. 1.1. Podstawowe rodzaje propagacji

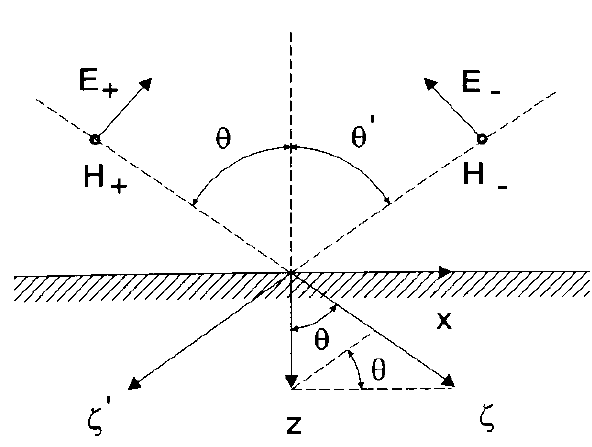
Źródło: http://hamradio.pl/sq9jdo/\_Kurs/Kurs%20operatora/Foto/propagacje.gif



Rys. 1.2. Fala płaska padająca ukośnie na granicę dwóch ośrodków

Źródło: Anteny i fale, Jarosław Szóstka

## Polaryzacja równoległa



Rys. 1.3. Fala płaska padająca ukośnie na granicę dwóch ośrodków, polaryzacja równoległa

Źródło: Anteny i fale, Jarosław Szóstka

Wektor pola magnetycznego jest styczny do granicy ośrodków. Jeśli oznaczymy kierunek fali padającej jako ζ kierunek fali odbitej jako - ζ’, to współczynniki fazowe dla obu fal wynoszą odpowiednio e-jkζ oraz ejkζ’ . Suma fali padającej i odbitej w obszarze z < 0 wynosi:



Wyrażając wersory ***ζ,*** oraz - ***ζ'*** w układzie współrzędnych prostokątnych otrzymujemy zależności:



Pole elektryczne i magnetyczne fali padającej możemy teraz wyrazić jako:



Fala odbita i przechodząca do drugiego ośrodka wyraża się zależnościami:



### Prawo Snelliusa

Willebrord Snell (ur. 1580, zm. 30 października 1626) znany także jako Snellius lub Snel van Royen — holenderski astronom i matematyk. Najbardziej znany ze swojego prawa refrakcji, zwanego też prawem Snella.

[](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7f/Willebrord_Snell.jpg)

Rys. 1.4. Willebrord Snell

Źródło: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7f/Willebrord\_Snell.jpg



***Kąt padania jest równy kątowi odbicia***.

Kąty: padania, odbicia i załamania leżą w jednej tzw. ***płaszczyźnie padania.***

Ze względu na to, że prawo Snelliusa wymusza równość składowych odpowiedzialnych za fazę (równość prędkości fazowych trzech fal wzdłuż powierzchni granicznej), bywa czasem zwane ***warunkiem dopasowania fazy.*** W przypadku ośrodków stratnych liczby falowe k1 i k2 zamieniają się na współczynniki propagacji γ1 i γ2.

### Współczynnik odbicia i transmisji



### Impedancja falowa

Definiuje się ją zwykle w płaszczyznach równoległych do płaszczyzny granicznej. Powodem jest ciągłość składowych stycznych pól, z co za tym idzie, taka sama wartość impedancji w obu ośrodkach tuż przy płaszczyźnie z=0. Definiując impedancję falową jako stosunek składowych pola prostopadłych do osi z otrzymamy zależności odpowiednio dla ośrodka 1 i 2:



### Prędkość fazowa

Fala podająca przedstawia się następująca:



Jeśli fala porusza się w kierunku x i z, możemy zdefiniować odpowiednio dwa współczynniki fazy:



Możemy używając ich napisać następującą równość:



Prędkość fazowa w kierunku x:



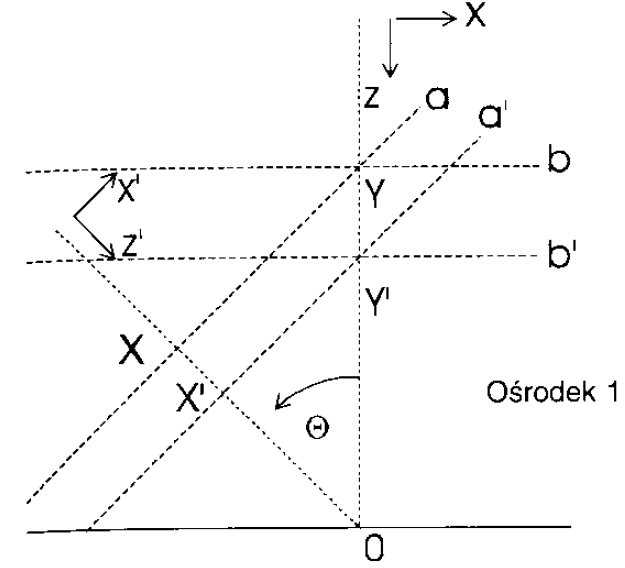


Prędkość fazowa w kierunku z:



v – prędkość prostopadła do czoła fali

Widać, że w obu przypadkach prędkość fazowa jest większa niż prędkość mierzona prostopadle do kierunku czoła fali. Oznacza to, że w przypadku granicy próżni i innego ośrodka materialnego prędkość fazowa będzie większa od prędkości światła. Nie jest to bynajmniej równoznaczne z naruszeniem wniosków wynikających z teorii względności. Mówi ona, że prędkość światła jest najszybszą możliwą prędkością, z jaką może poruszać się materia lub rozchodzić się informacja. W naszym przypadku nie porusza się żaden materialny przedmiot. Prędkość fazowa jest prędkością, z jaką porusza się fikcyjny punkt przecięcia czoła fali i linii narysowanej w wybranym kierunku.



Rys. 1.5. Ilustracja wyjaśniająca pojęcie prędkości fazowej

Źródło: Anteny i fale, Jarosław Szóstka

### Kąt Brewstera

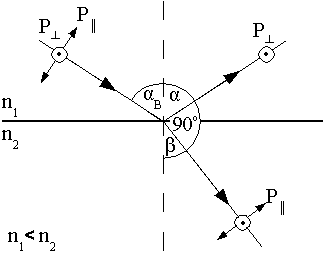
Sir David Brewster (1781 - 1868) - angielski fizyk, rektor uniwersytetów - św Andrzeja od 1838 i Edynburskiego od 1859. Zajmował się między innymi polaryzacją światła. Wynalazł kalejdoskop, który mógł się według niego przydać do projektowania dywanów. Wynalazł również stereoskop soczewkowy, stanowiący znaczny postęp w stosunku do stereoskopu zwierciadlanego Wheatstone'a.



Rys. 1.6. Sir David Brewster

Źródło: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e0/DavidBrewster.png

Jest to kąt padania światła na materiał przezroczysty, dla którego promień odbity jest całkowicie spolaryzowany liniowo.

**

Rys. 1.7. Promień odbijający się pod kątem Brewstera

Źródło: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/pl/2/2d/Prawo\_Brewstera.png

W przypadku polaryzacji równoległej występuje jeszcze jedno ciekawe zjawisko. Kąt padania θb , przy którym Γ = 0, nazywamy ***kątem Brewstera.*** Pojawia się on, kiedy θi = θb:



Jeśli na granicę dwóch dielektryków pada fala o dowolnej polaryzacji pod kątem równym kątowi Brewstera, to fala odbita jest spolaryzowana liniowo i ma tylko składową pola elektrycznego prostopadłą do płaszczyzny padania wektora (polaryzacja prostopadła).

## Polaryzacja prostopadła

**

Rys. 1.8. Fala płaska padająca ukośnie na granicę dwóch ośrodków, polaryzacja równoległa

Źródło: Anteny i fale, Jarosław Szóstka

Fala padająca może być zapisana jako



Fala odbita i przechodząca do drugiego ośrodka:





### Współczynnik odbicia i transmisji

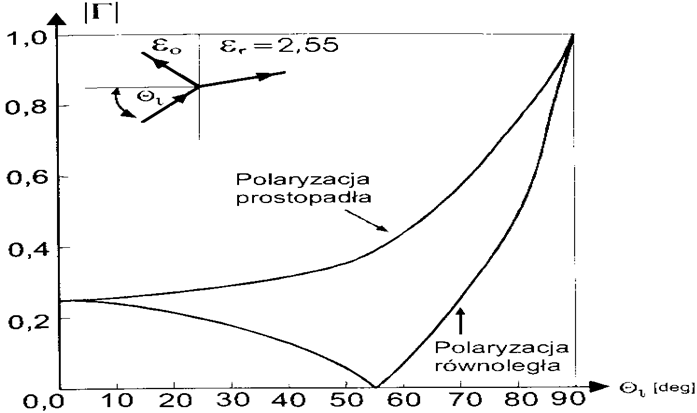




### Impedancja falowa

Dla przypadku polaryzacji prostopadłej impedancja falowa przyjmuje następującą postać:



**

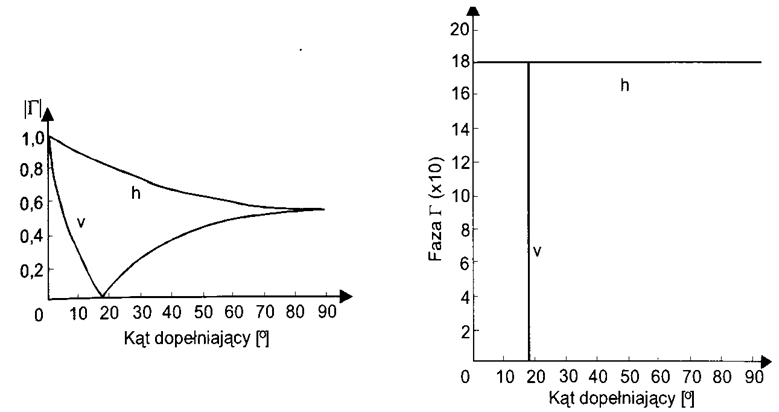
Rys. 1.9. Zależność modułu współczynnika odbicia dla polaryzacji prostopadłej i równoległej w funkcji kąta padania.

Źródło: Anteny i fale, Jarosław Szóstka

Fala przechodząca do drugiego ośrodka:



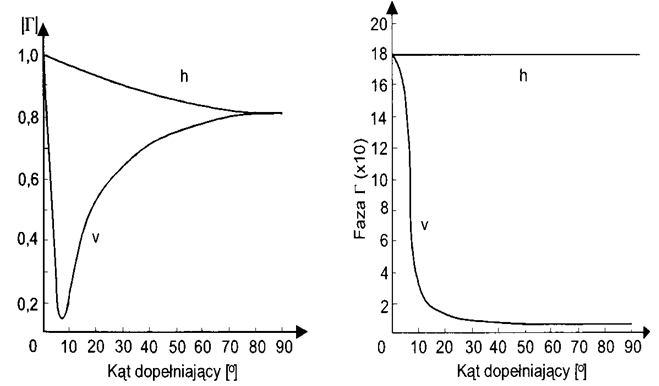


**

Rys. 1.10. Zależność współczynnika odbicia dla lądu

Źródło: Anteny i fale, Jarosław Szóstka

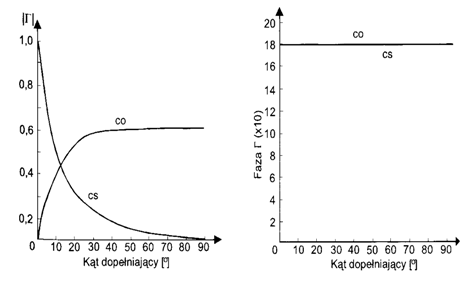
Moduł i faza współczynnika odbicia dla płaskiej ziemi (εr=10, σ= 2\*10-3S/m, f=3 GHz, h- polaryzacja pozioma, v- polaryzacja pionowa)

**

Rys. 1.11. Zależność współczynnika odbicia dla wody

Źródło: Anteny i fale, Jarosław Szóstka

Moduł i faza współczynnika odbicia dla wody morskiej (εr=69, σ= 6,5 S/m, f=3 GHz)

**

Rys. 1.12. Zależność współczynnika odbicia dla wody

Źródło: Anteny i fale, Jarosław Szóstka

Moduł i faza współczynnika odbicia dla ziemi (εr=10, σ= 2\*10-3S/m, f=3 GHz) dla polaryzacji kołowej , co- fala o przeciwnej skrętności.

Korzystając z warunków brzegowych dla Ex i Hy dla z=0 mamy:



