



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

Zakład Telekomunikacji



Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

Wielkoczęstotliwościowe metody
modelowania propagacji fal radiowych

Prezentacja multimedialna
współfinansowana przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
w projekcie

*„Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń
– zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej –
zarządzanie Uczelnią,
nowoczesna oferta edukacyjna
i wzmacniania zdolności do zatrudniania
osób niepełnosprawnych”*

mgr inż. Łukasz Gotszald



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

90-924 Łódź, ul. Żeromskiego 116,
tel. 042 631 28 83
www.kapitalludzki.p.lodz.pl



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



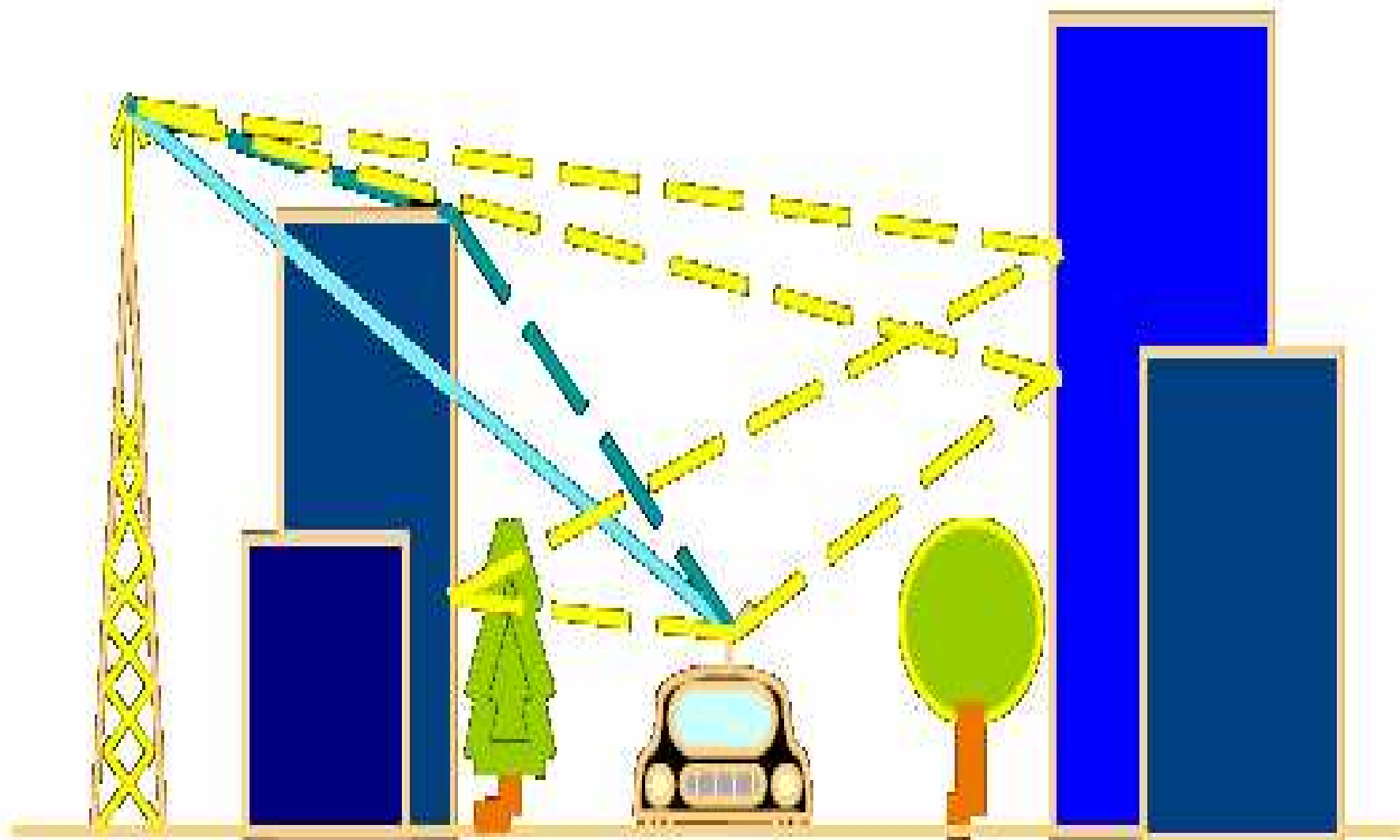
Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Spis treści

- Wprowadzenie do tematu
- Przegląd metod modelowania
- Ćwiczenia na programach komputerowych



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki



dr inż. Sławomir Hausman (materiały wykładowe)



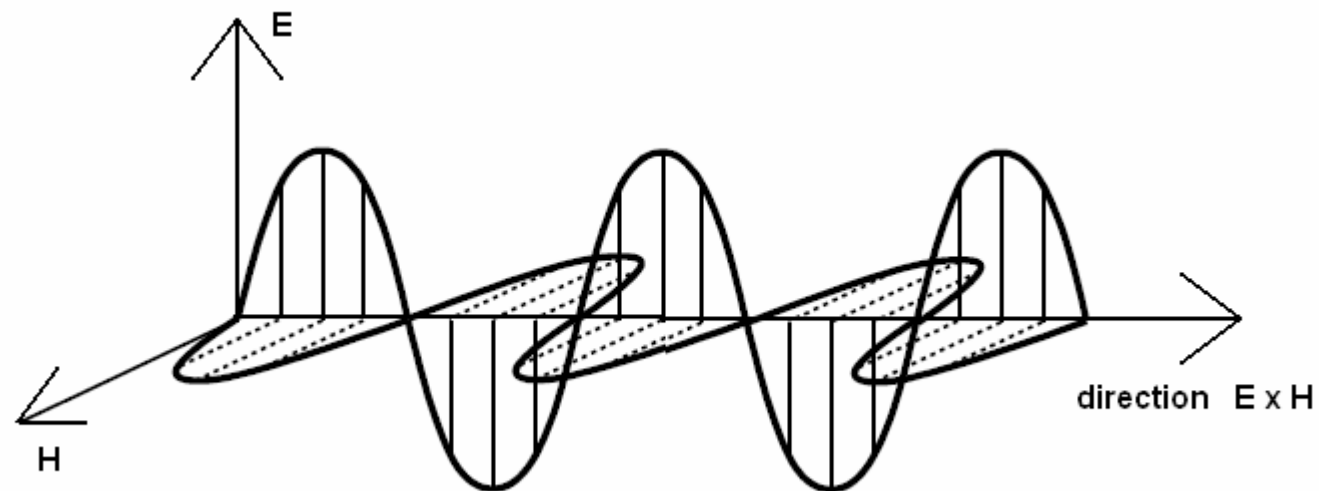
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Fala elektromagnetyczna



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Modelowane zjawiska

- Tłumienie fali EM w ośrodkach
- Odbicie od granic ośrodków
- Transmisja
- Polaryzacja
- Faza
- Dyfrakcja
- Refrakcja



Politechnika wrocławska
Instytut Elektroniki



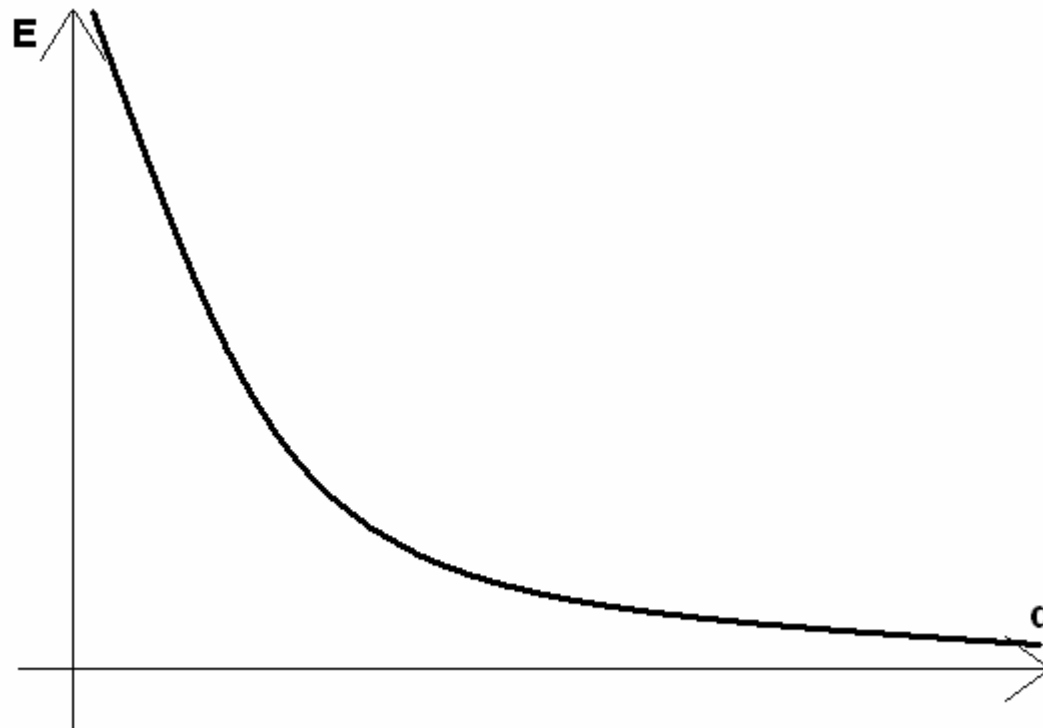
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Tłumienie

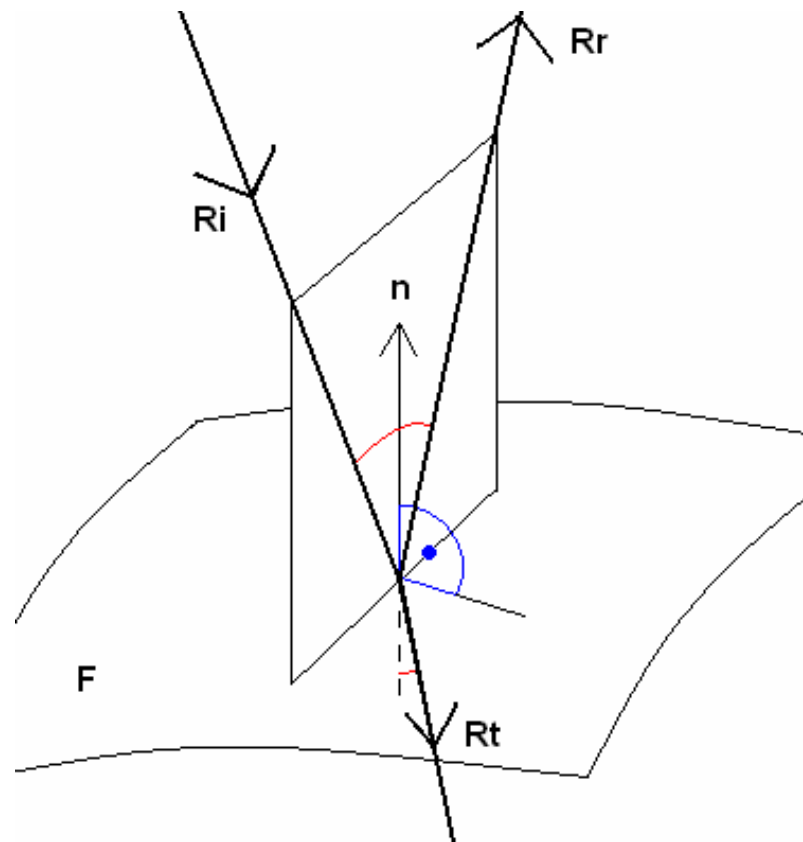


Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

nateżenie wektora pola elektrycznego w funkcji odległości od nadajnika



Dobicie, transmisja





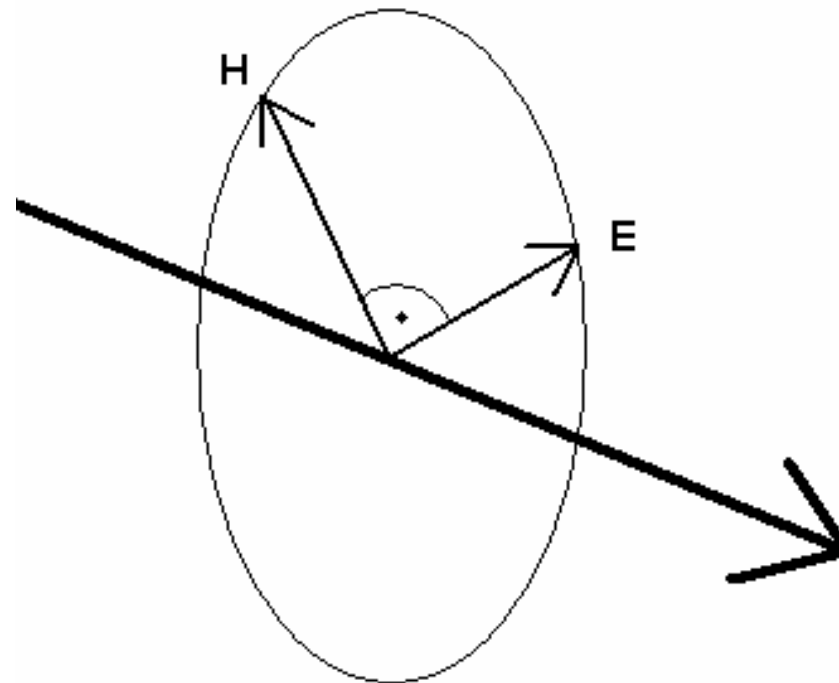
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Polaryzacja



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

kierunki drgań wektorów E i H fali EM



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Dyfrakcja

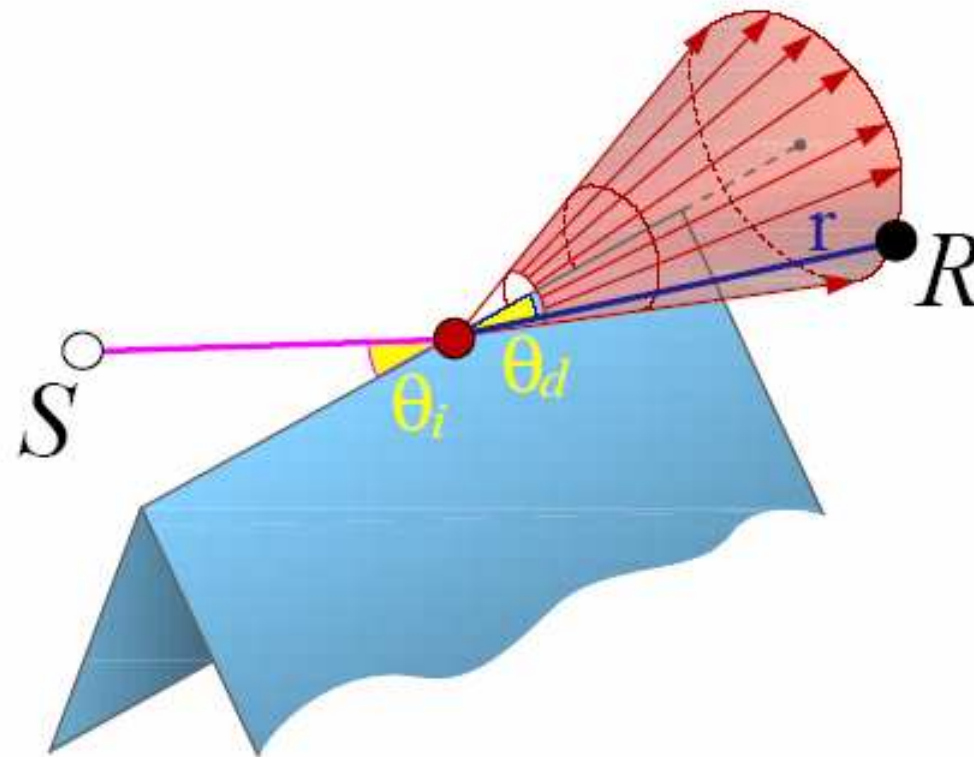
- Ugięcie, odchylenie promieni fali od kierunku prostoliniowego



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

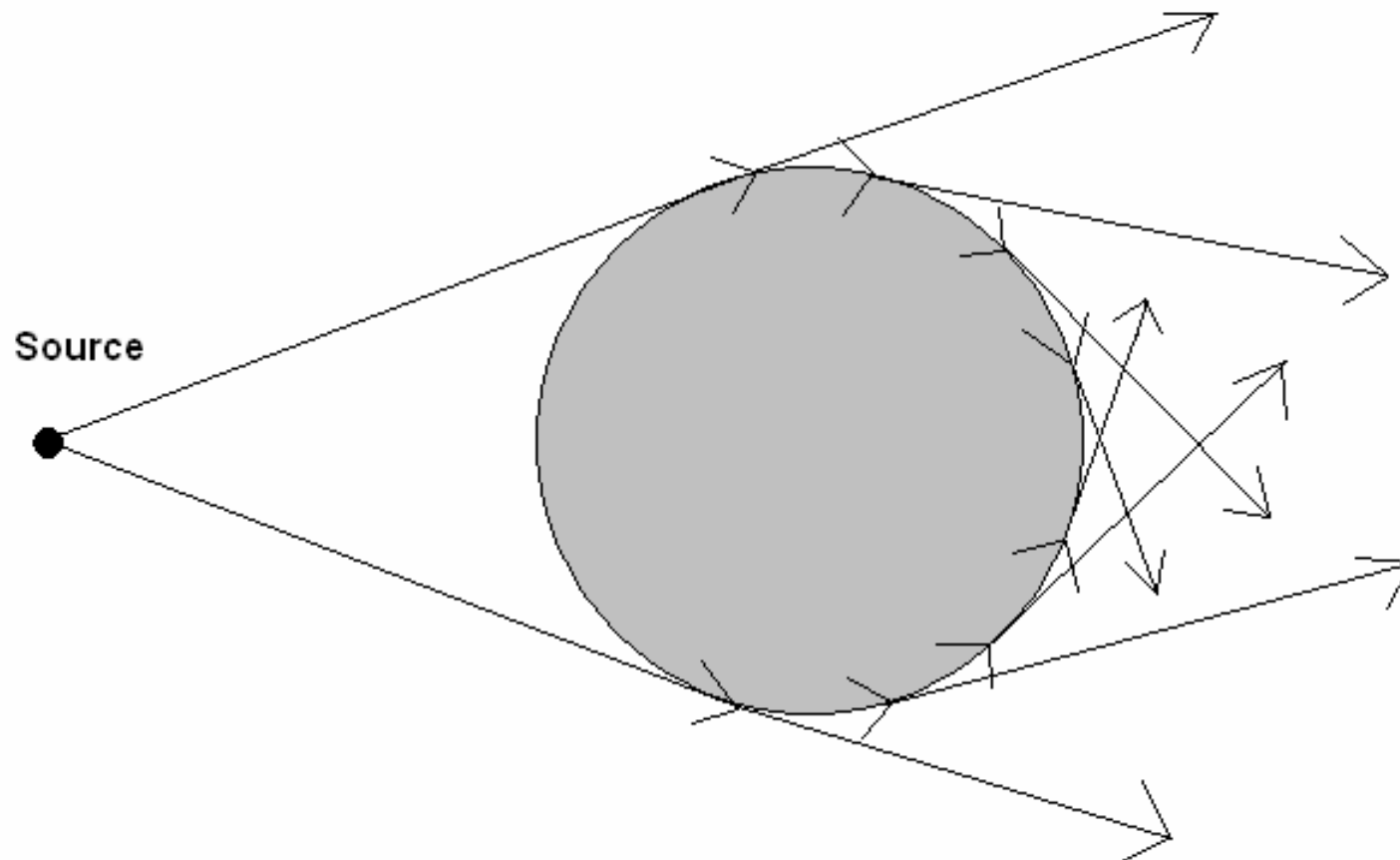


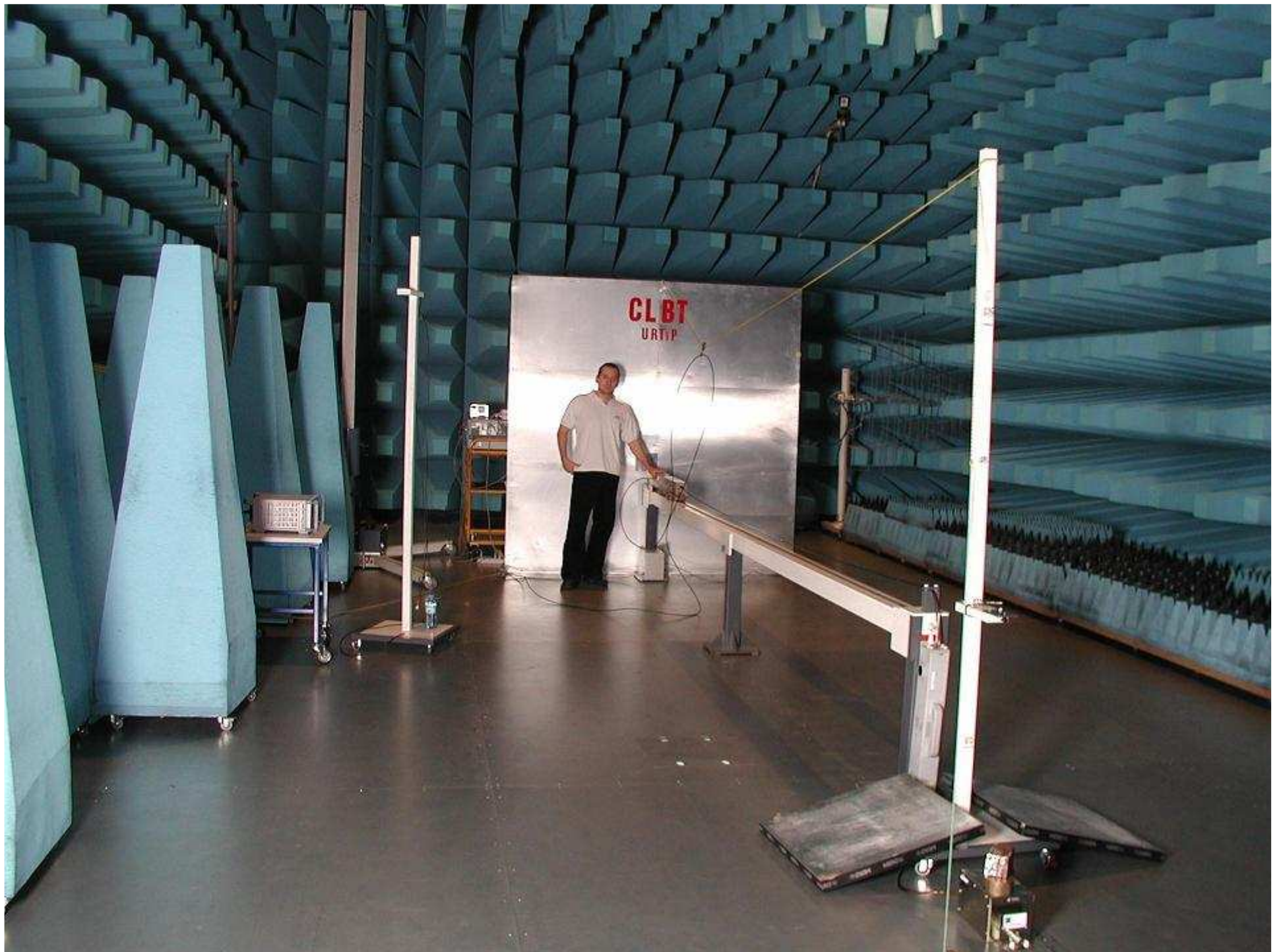
Dyfrakcja, stożek Kellera





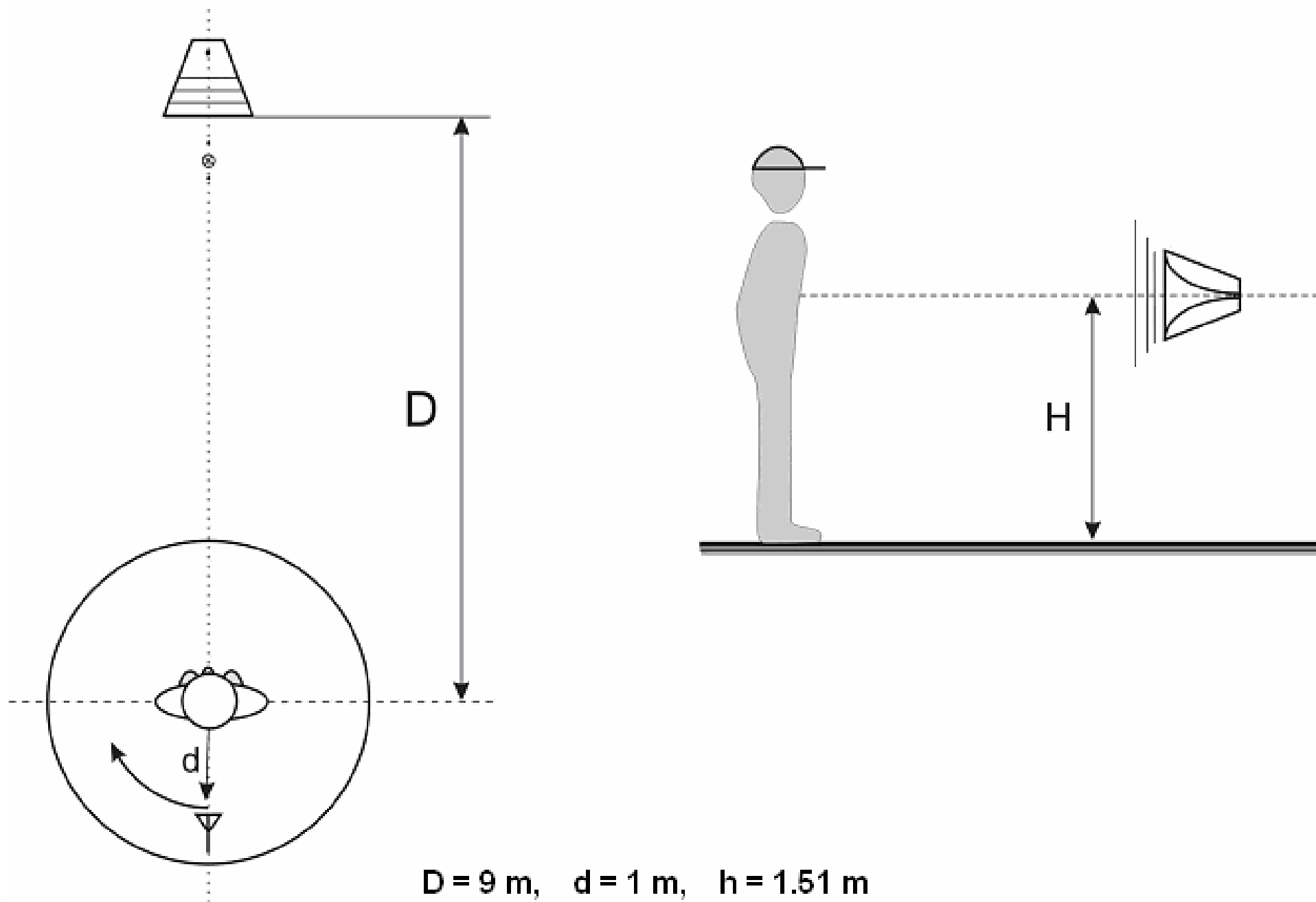
Dyfrakcja, pow. wypukła



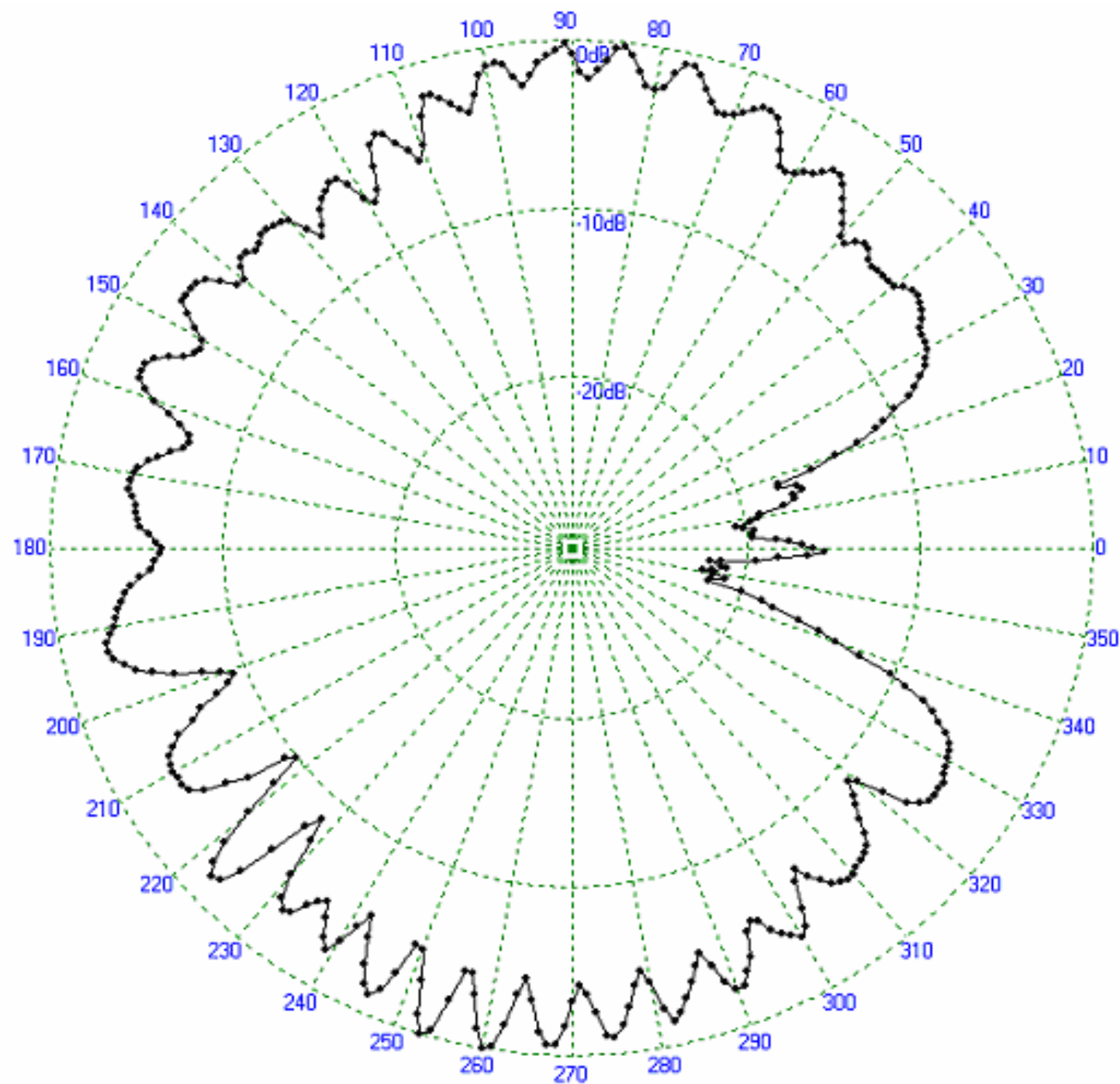




Manekin: antena za plecami, polaryzacja V, $f = 2500$ MHz

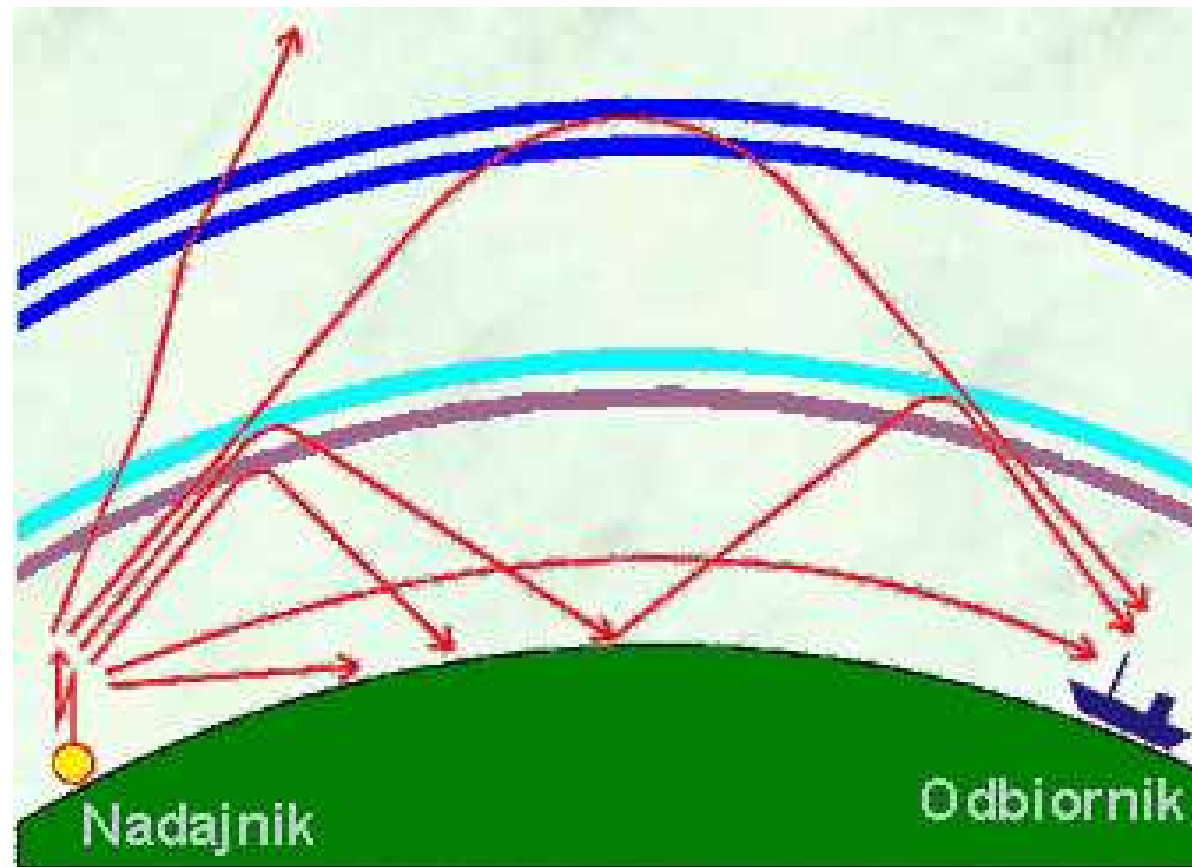


Max = 65.59
Min = 43.31





Refrakcja





KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Metody modelowania

- Empiryczne
(One-Slope, Multi-Wall, Dominant Path)
- Teoretyczne (wielkoczęstotliwościowe)
(Ray Tracing, Ray Launching, Intelligent Ray Tracing, Beam Tracing)



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

One-Slope

- Prostota
- Niewielka dokładność
- Nie uwzględnia szczegółów budowy środowiska



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

One-Slope

L – tłumienie trasy

L_0 – tłumienie w odległości 1 m

n – współczynnik rozkładu mocy

d – odległość nadajnik-odbiornik

$$L = L_0 + 10 \cdot n \cdot \log(d)$$





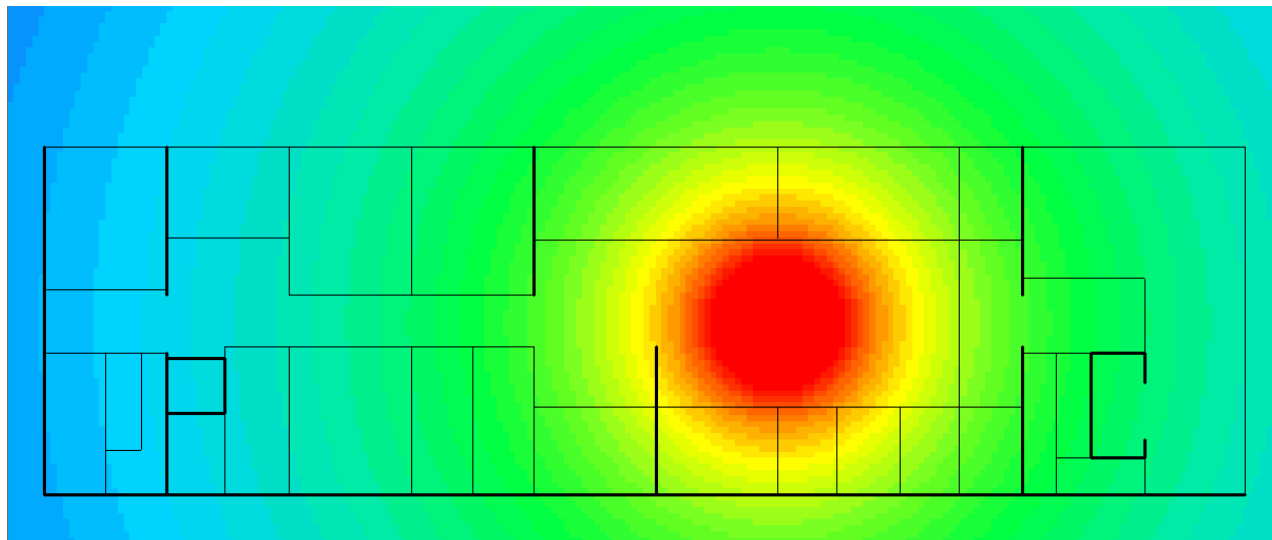
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

One-Slope



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

symulacja metodą One-Slope (I-Prop)



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Multi-Wall

- Prostota
- Niewielka dokładność
- Uwzględnia budowę środowiska (np. ściany budynków)
- Najpopularniejszy model do zastosowań komercyjnych



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki



Multi-Wall

L – tłumienie trasy

L_0 – tłumienie w odległości 1 m

n – indeks zależny od przyjętego modelu

d – odległość nadajnik-odbiornik

N_{wi} , L_{wi} – liczba oraz tłumienie ścian

$$L = L_0 + 10 \cdot n \cdot \log(d) + \sum_i N_{wi} \cdot L_{wi}$$



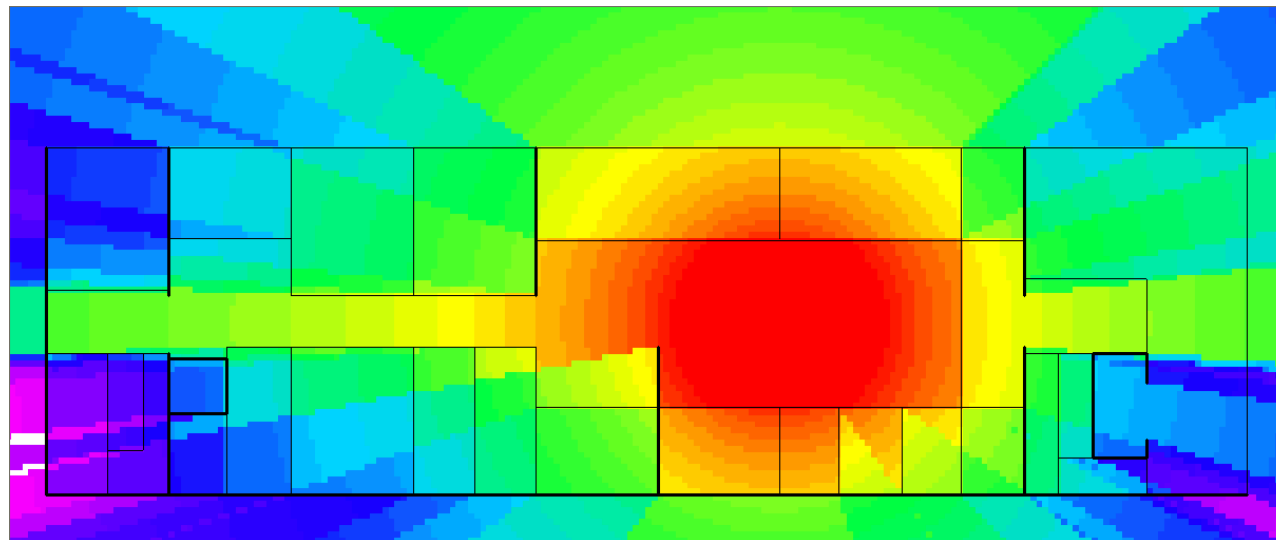
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Multi-Wall



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

symulacja metodą Multi-Wall (I-Prop)



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Dominant Path

- Poszukiwanie kilku dominujących tras o najmniejszych tłumieniach
- Uwzględnia budowę środowiska (np. ściany budynków)
- Mała popularność (przed symulacją należy wykonać pomiary dla każdego nowego środowiska)



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki



Dominant Path

L – tłumienie trasy

n – współczynnik zależny warunków propagacji promienia bezpośredniego

d – długość trasy propagacji

α – współczynnik prowadzenia fali

$f(\varphi, j)$ – funkcja strat (j – określa zjawiska, φ – kąty pomiędzy kierunkami propagacji)

L_i – tłumienie poszczególnych ścian

$$L = 20 \cdot n \cdot \log(d) + \sum_j f(\varphi, j) + \sum_i L_i - \alpha$$



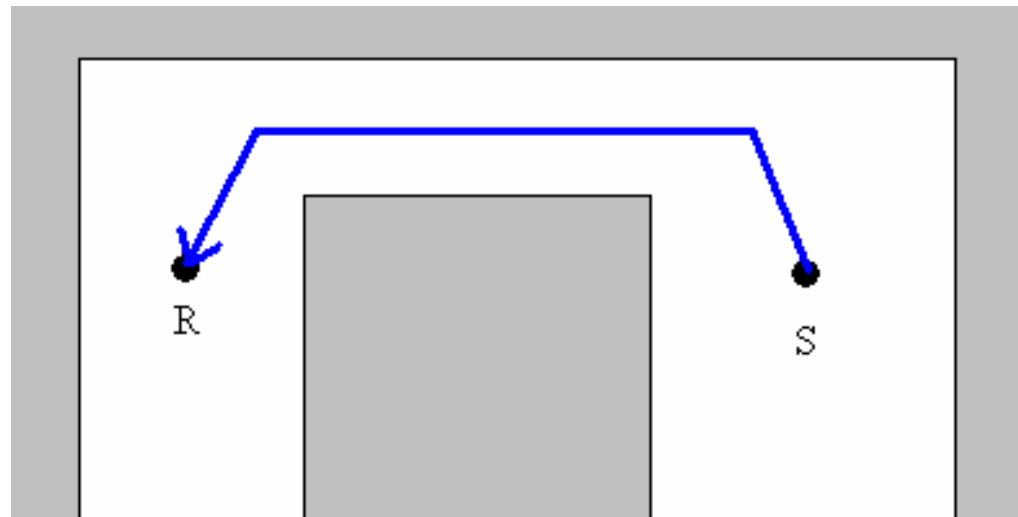
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



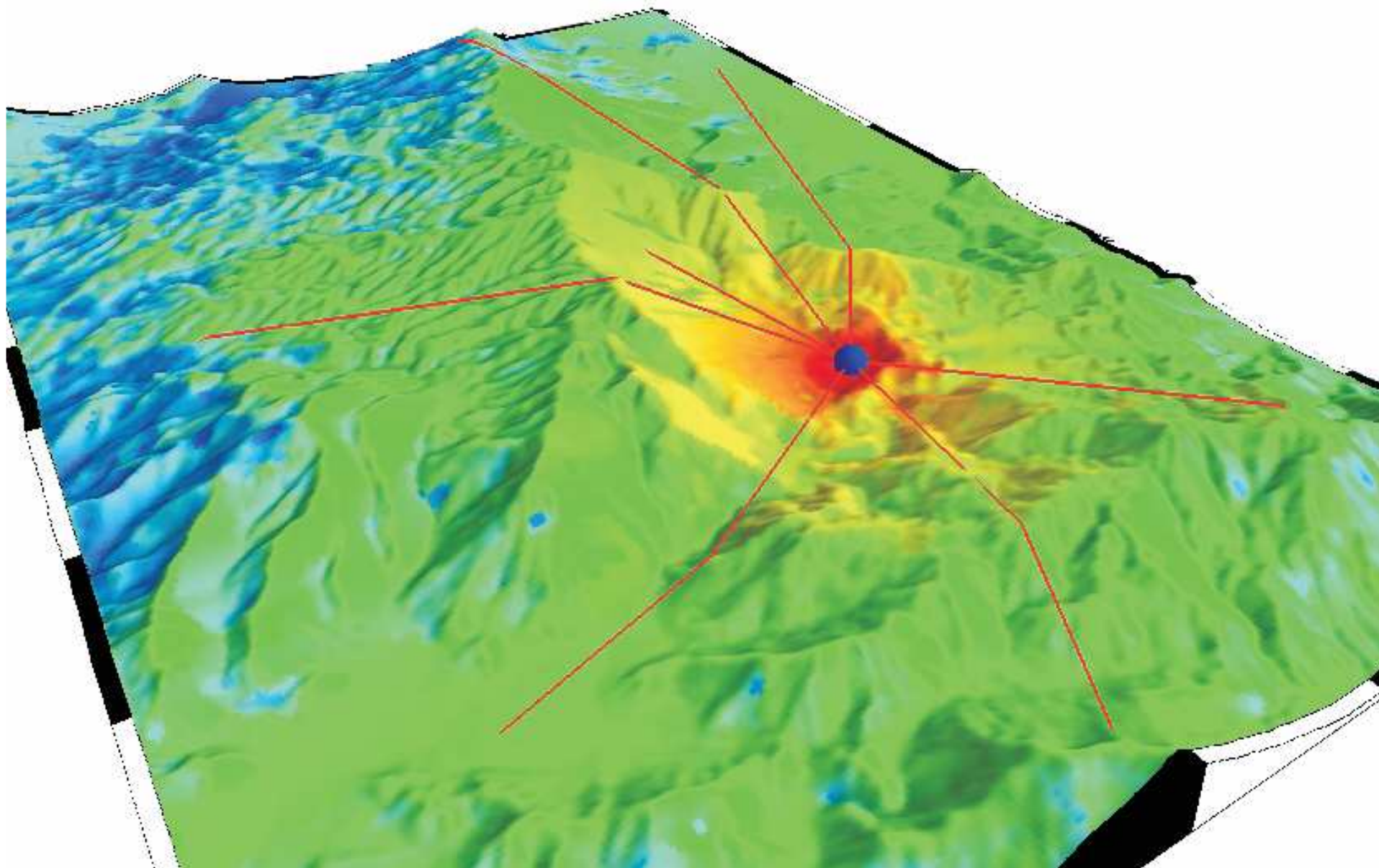
Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Dominant Path



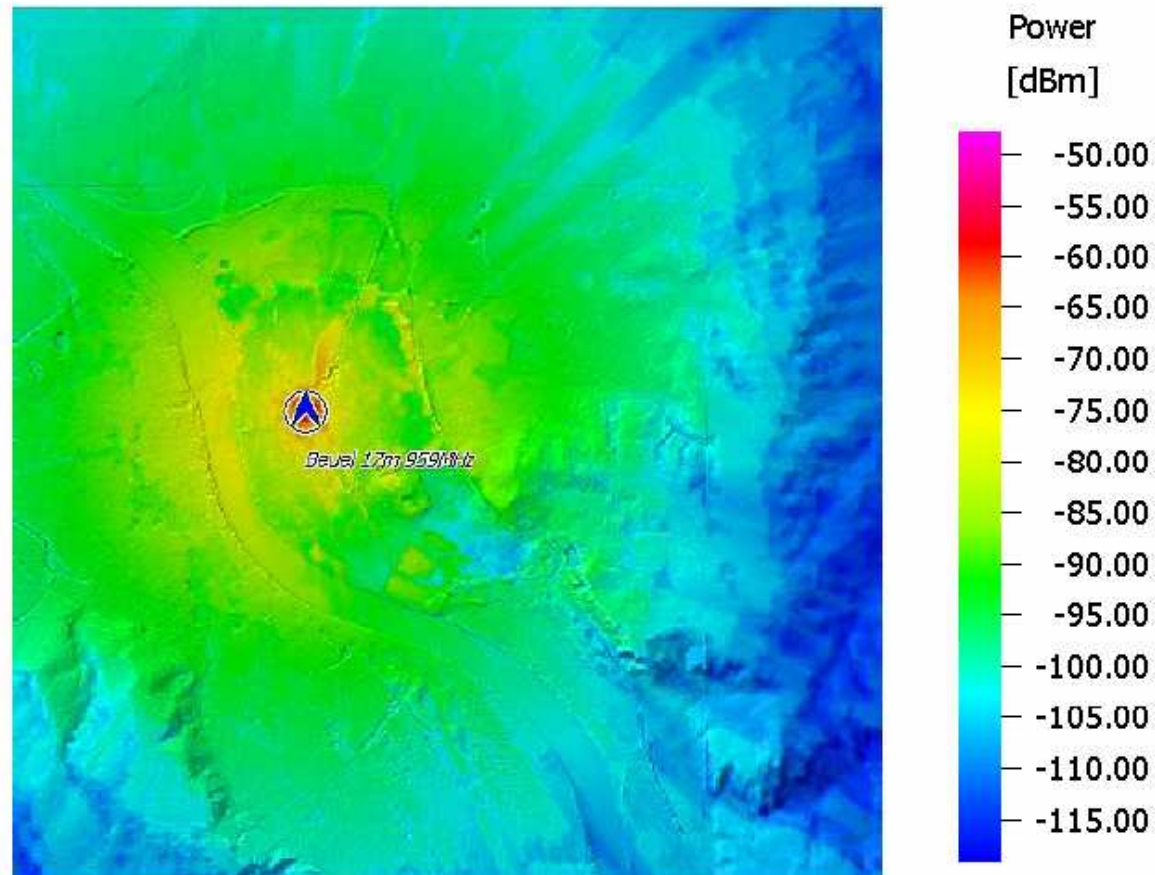
Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

idea metody Dominant Path



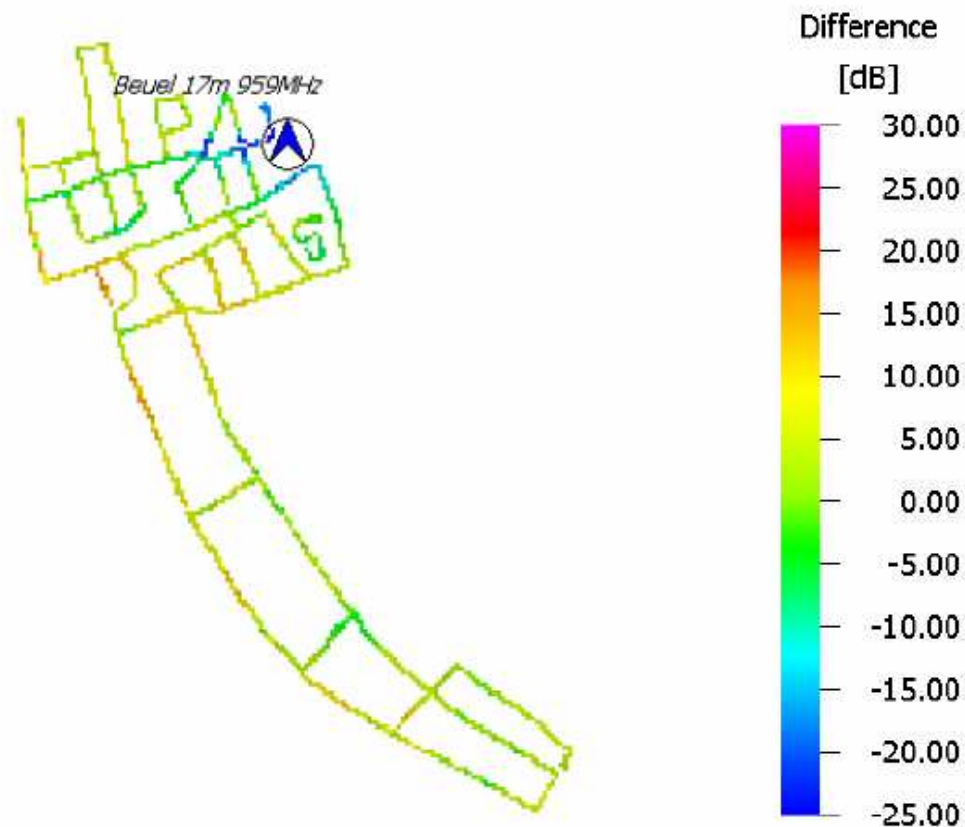
Scenario 1: Bonn, Germany

- Prediction for transmitter "1_959"



Scenario 1: Bonn, Germany

- Difference for transmitter "1_959"





KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Ray-Tracing

- Rozchodzenie się fali jako zbioru promieni
- Bazuje na odbiciach (metoda źródeł pozornych)
- Promienie wyznaczone analitycznie
- Dowolne środowisko bez konieczności wcześniejszych pomiarów
- Analiza 2D lub 3D





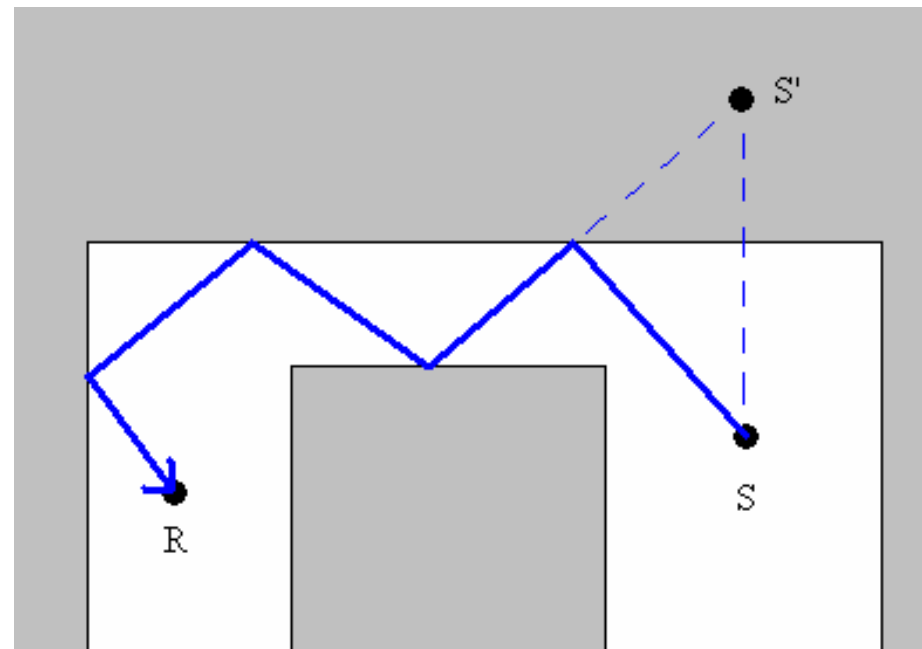
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Ray-Tracing



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

idea metody Ray-Tracing



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Ray-Launching

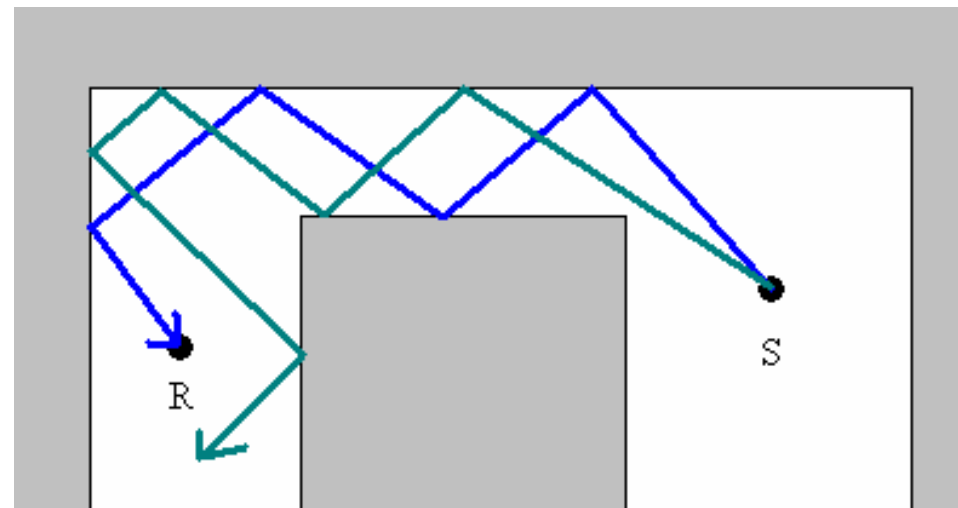
- Podstawą modelu są promienie
- Odbicia nie koniecznie ze źródeł pozornych
- Duża liczba 'wysyłanych' promieni
- Promienie śledzone są niezależne od siebie
- Zwykle uwzględniane są dyfrakcje fali na krawędziach



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki



Ray-Launching





KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



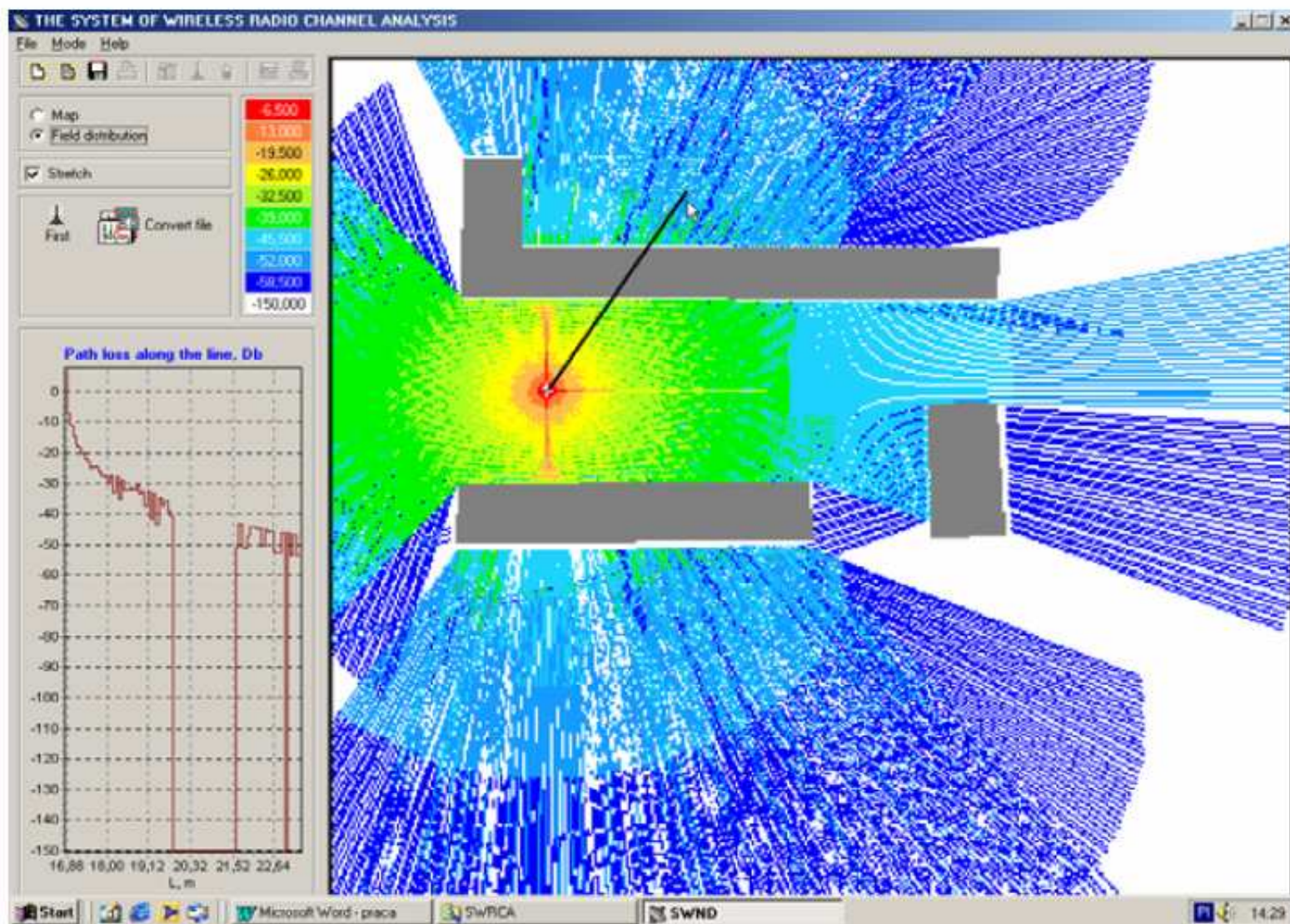
Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Inteligent Ray-Tracing

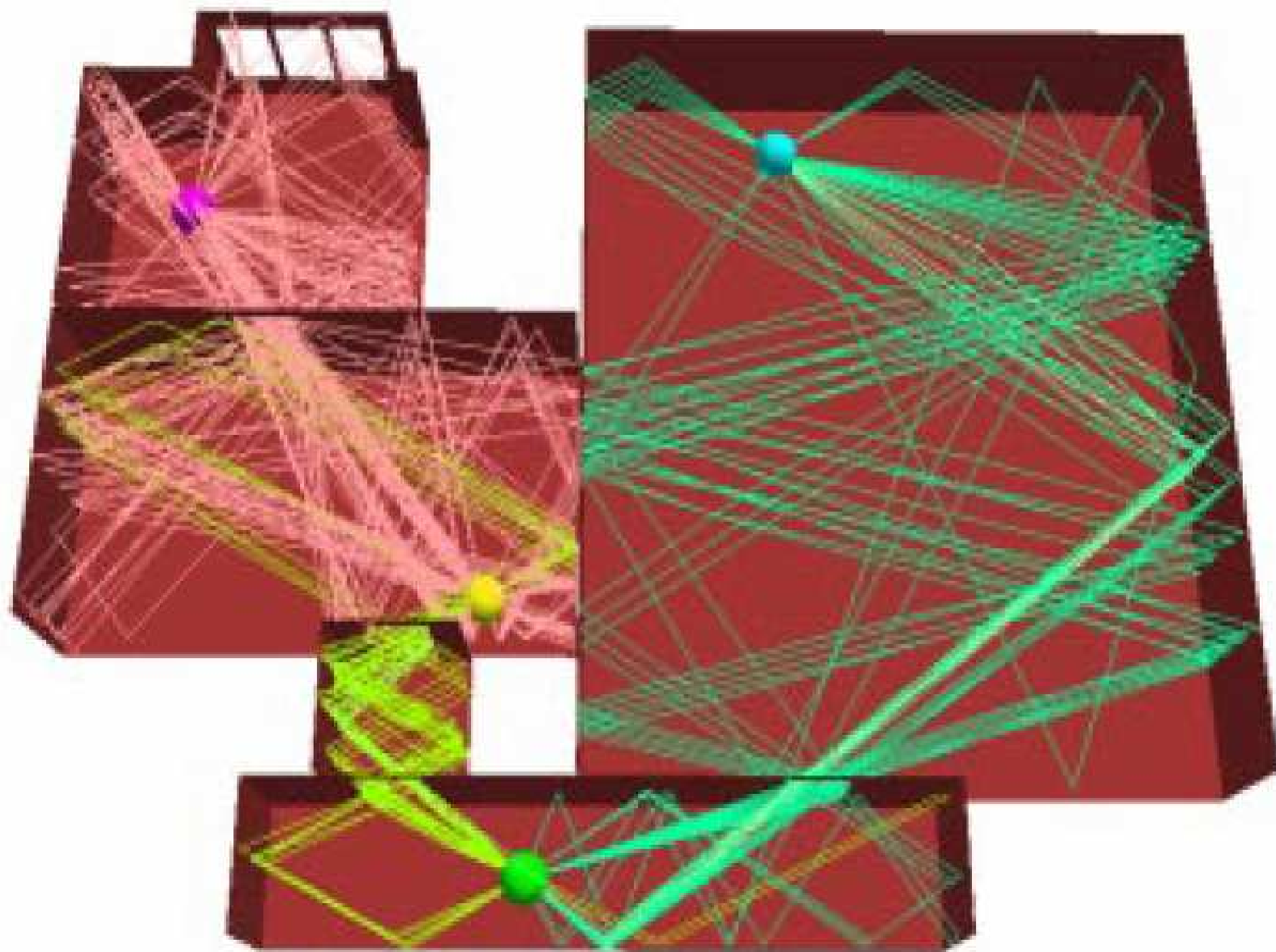
- Połączenie koncepcji RT i RL

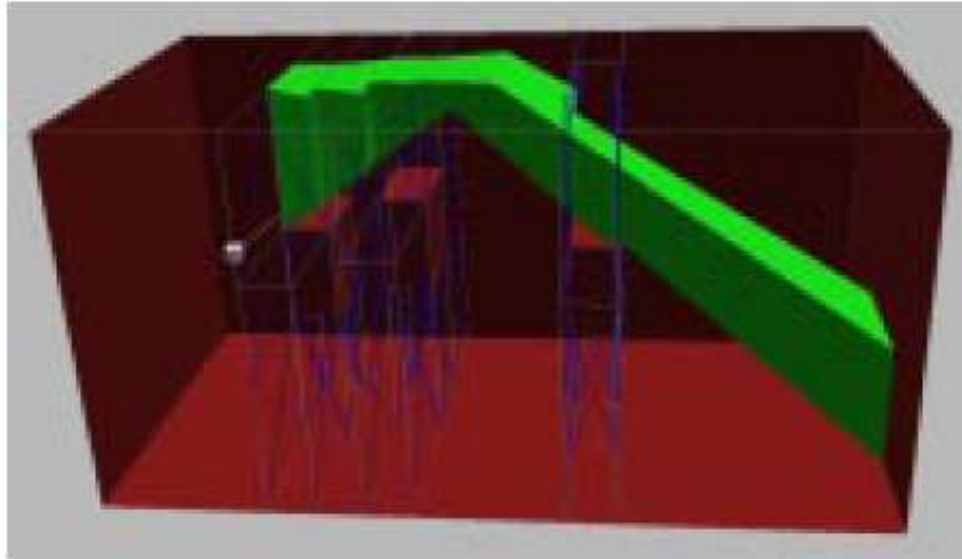


Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki



SWRCA (System of Wireless Radio Channel Analysis)
POLITECHNIKA WARSZAWSKA
dr inż. Eugeniusz Jaszczyzyn
mgr inż. Henryk Chaciński





Thomas Funkhouser
Princeton University

Nicolas Tsingos, Ingrid Carlbom, Gary Elko,
Mohan Sondhi, James E. West, Gopal Pingali,
Bell Laboratories

Patrick Min and Addy Ngan
Princeton University



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Problemy metod RT

- Wysoka złożoność obliczeniowa
- Problem wykrywania obiektów (przeszkód, odbiorników)



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki



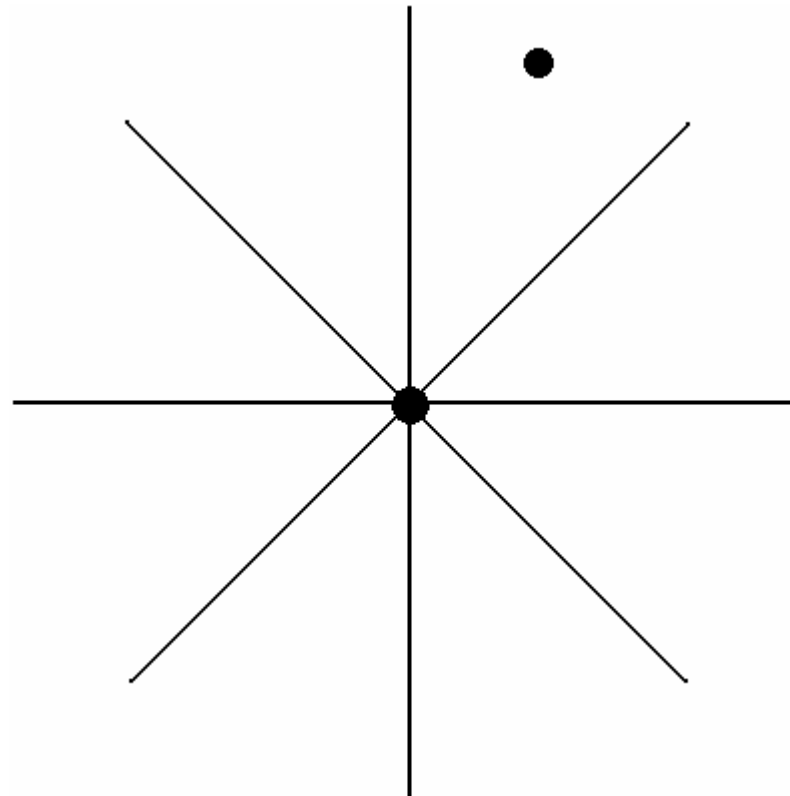
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Problemy metod RT



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

źródło promieni



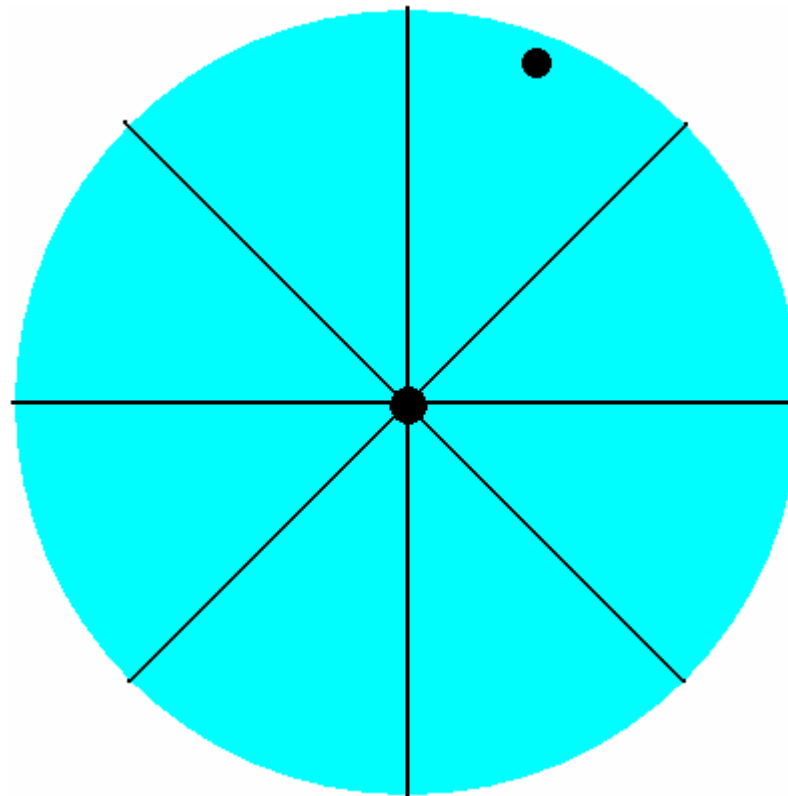
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Problemy metod RT



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

źródło promieni, zaznaczono obszary pomiędzy promieniami



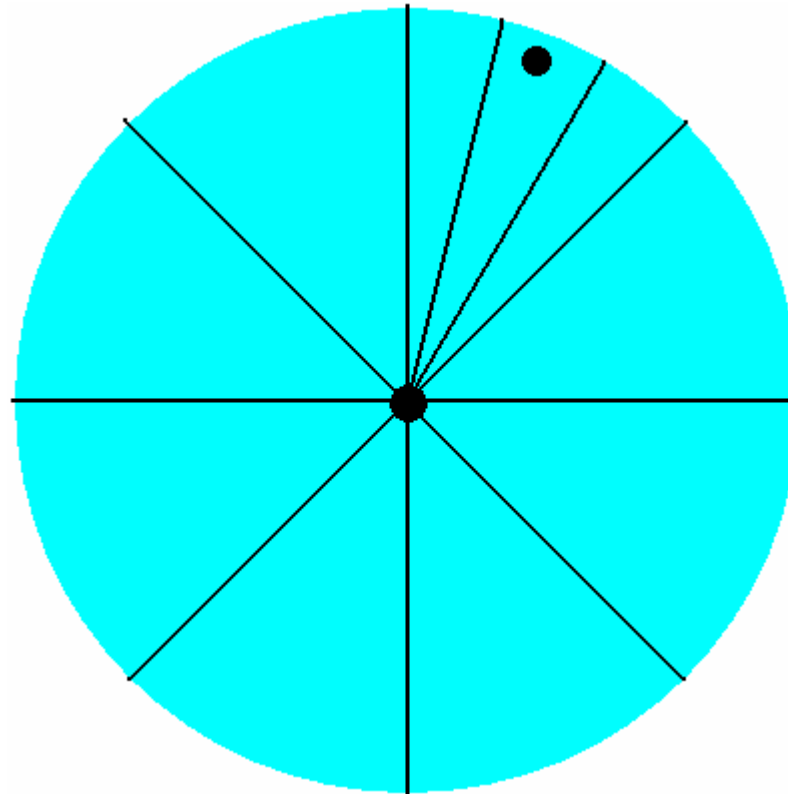
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Problemy metod RT



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

źródło promieni, promienie dodatkowe



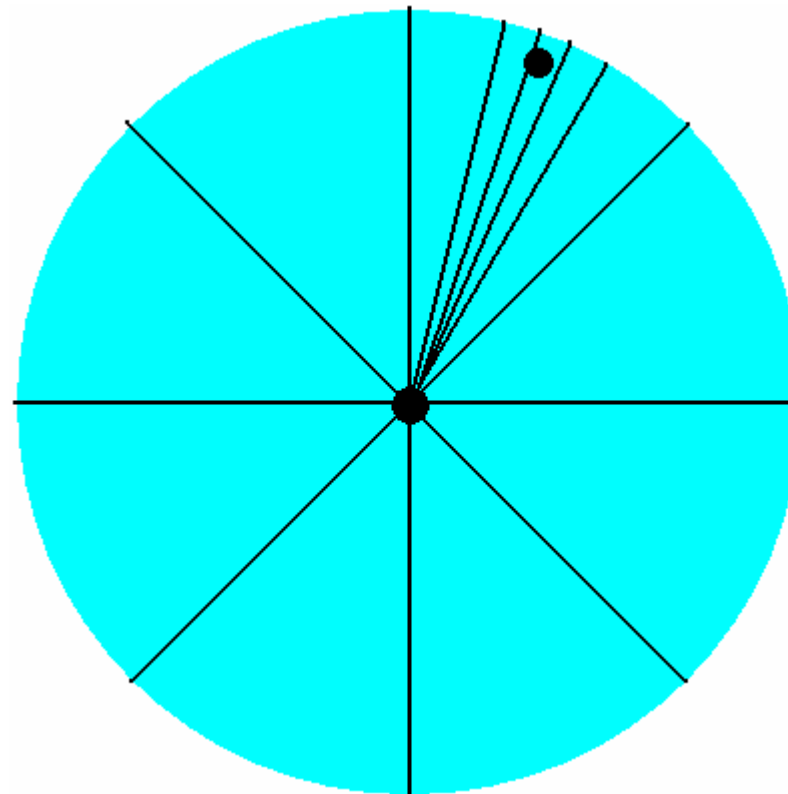
KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Problemy metod RT



Politechnika wrocławska
Instytut Elektroniki

źródło promieni, promienie dodatkowe



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Beam-Tracing

- Śledzenie wiązek promieni
- Wysoka dokładność
- Wysoka złożoność



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Ograniczenia

- Model pola elektromagnetycznego
- Precyzja zapisu liczb zmiennoprzecinkowych
- Kwestia podziału wiązki



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Dziękuję za uwagę



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki