

Mechanizmy i modele propagacyjne

dr inż. Krzysztof Makles

Cele wykładu

- środowisko radiowe w systemach mobilnych;
- metody modelowania propagacji;

Kanał transmisyjny

- łącze radiowe: TX+antena, kanał radiowy, RX+antena;
- wielotorowość sygnału — zmienna moc i faza fali, brak widoczności optycznej (LOS);
- modele — przewidywanie zachowania fal radiowych w systemach mobilnych;
- systemy mobilne w widmie fal EM:
 - UHF (Ultra High Frequency) 300 MHz — 3 GHz (Land, sea and air mobile, broadcasting, navigation, fixed, radar, satellite, telemetry)
 - długość fali: mała (1 m – 10 cm) w porównaniu do rozmiarów przeszkód terenowych, co ma wpływ na propagację;

Zjawiska fizyczne dla fal EM

- diffusion — pomiędzy TX a RX w związku z odległością;
- reflection — od „płaskich” powierzchni;
- scattering — od powierzchni nieregularnych;
- refraction — przy zmianach charakteru atmosfery (wysokość);
- diffraction — na dużych przeszkodach;
- absorption — przez obiekty pochłaniające energię radiową;

Diffusion

- Moc sygnału maleje w funkcji odległości oraz częstotliwości (Free Space Loss equation):

$$L = 32,44 + 20 \log f + 20 \log d$$

L — loss [dB]

f — frequency [MHz]

d — distance [km]

- Nie można używać FSLe samodzielnie z uwagi na pozostałe zjawiska
- Wyjątki:
 - wysoko zlokalizowane anteny kierunkowe z zachowanym LOS
 - metoda oszacowania maksymalnego zasięgu radiowego
- ITU-R P.525

Reflection

- zachodzi przy napotkaniu przez fale dużej gładkiej powierzchni;
- stopień „gładkości” musi być porównywalny do długości fali;
- powoduje zmianę fazy sygnału odbitego;
- może powodować absorpcje i/lub refrakcje części energii;
- prowadzi do interferencji — suma odebranych sygnałów ma zmienną amplitudę i zależności fazowe;

Scattering

- podobne do odbicia — powierzchnia rozpraszająca nie jest gładka, a odbicia nie są w żaden sposób spójne;
- odbicie zachodzącego słońca w jeziorze a widok otaczających jezioro elementów krajobrazu w jeziorze (i samej powierzchni wody!);
- trudniejsze w modelowaniu matematycznym: małe zmiany lokalizacji powodują znaczne zmiany amplitudy i fazy sygnału;
- rozpraszanie troposferyczne (8–18 km) – dukty - komunikacja na setki i tysiące km

Refraction

- spowodowana zmianą współczynnika refrakcji radiowej w zależności od wysokości;
- dla komunikacji naziemnej istotne warunki poniżej 1000 m;
- zasadniczo współczynnik refrakcji radiowej maleje ze wzrostem wysokości (zależny od ciśnienia), ale zależy też od warunków pogodowych;
- typowe zastosowanie — horyzont radiowy większy od optycznego;
- „efektywny promień Ziemi” = $\frac{4}{3}$ wartości nominalnej (6370 km) = 8500 km ($k = \frac{4}{3}$);
- Ziemia może być „płaska” dla ekstremalnych wartości k — dukty (atmosferyczne);
- zjawisko odwrotne — super-refraction (zasięg mniejszy od horyzontu optycznego);
- wartości współczynnika refrakcji radiowej dla różnych pór roku — ITU-R P.453;

Diffraction

- przeszkody terenowe, zabudowa naziemna - brak bezpośredniej widzialności anten;
- sygnał ugina się na kolejnych przeszkodach - dość duża utrata mocy sygnału

Absorption

- energia w.cz. jest pochłaniana przez materiały budowlane, rośliny, pojazdy, ciała ludzkie (w systemach personalnych);
- różna grubość i właściwości materiałów - typowe wartości w większości przypadków;
- przykład — wartości pochłaniania w.cz. przez ciało człowieka: ITU-R P.1406 (znacząco większe na poziomie talii niż głowy).

Proces projektowania sieci WLAN

- planowanie
- modelowanie
- wdrażanie
- pomiary
- (rozbudowa)

Badania naukowe i wdrożeniowe

- wykorzystanie metod wieloatrybutowego wspomaganie podejmowania decyzji;
- budowa systemów eksperckich wspomagających projektowanie sieci;
- poszukiwanie efektywnych metod optymalizacji;
- badania nad modelami propagacyjnymi;

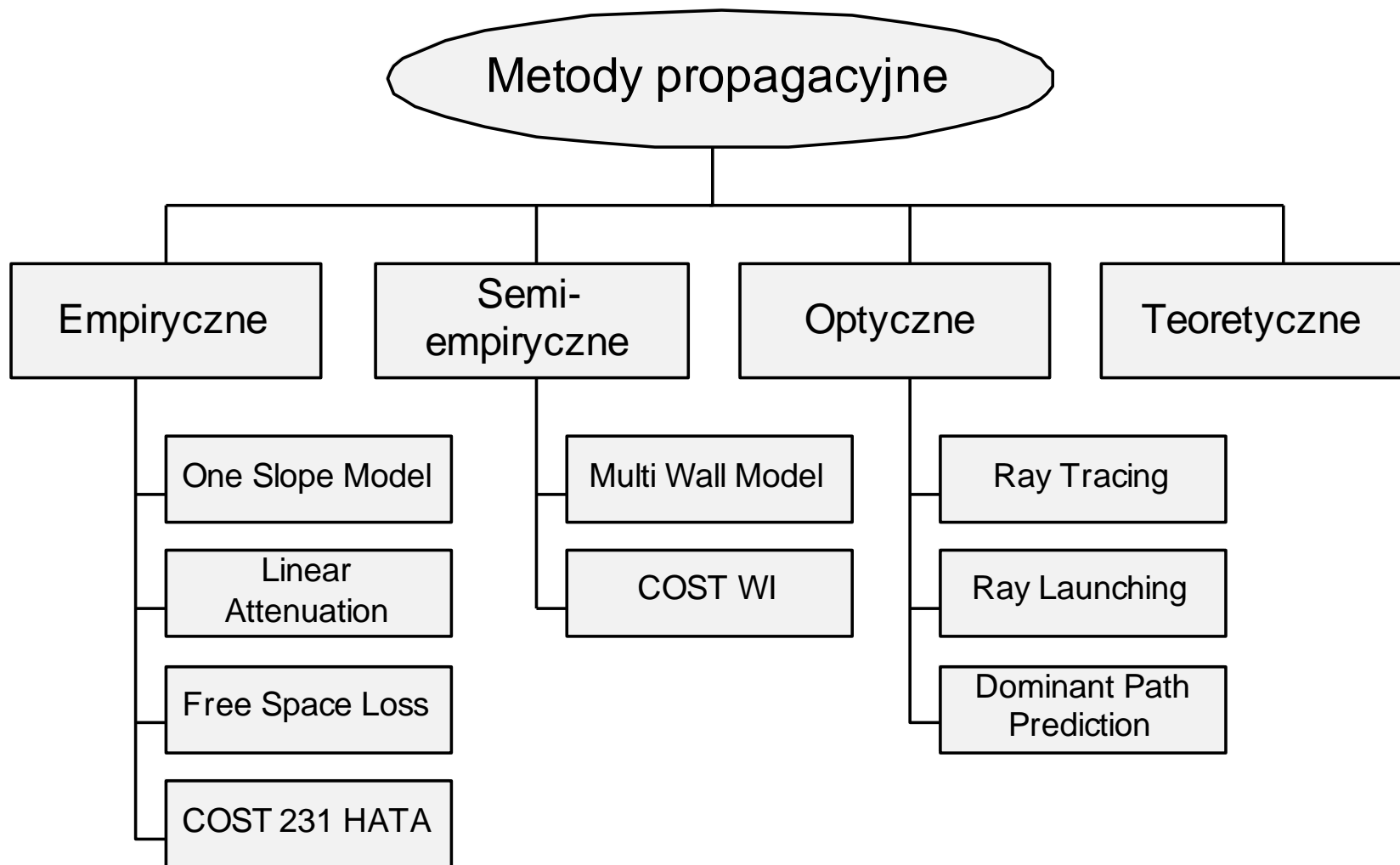
Metoda d-FDL

- FDL = Floor Description Language;
- algorytm rozmieszczania AP z uwzględnieniem planu budynku (jedna kondygnacja);

Dane wejściowe i wyjściowe

- poziom sygnału do osiągnięcia przez stacje robocze (dBm);
- procent pokrycia zadany sygnałem stacji roboczych;
- plan budynku (kondygnacji);
- najkorzystniejsze ustawienie punktów
dostępowych.

Metody propagacyjne



One Slope Model (1SM)

- poziom sygnału obliczany na podstawie:
 - rodzaju pomieszczenia: stałe L_0 oraz n ;
 - odległości nadajnik – odbiornik: zmienna d

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

- L – spadek poziomu sygnału [dB]
- L_0 – zmienna empiryczna oznaczająca spadek sygnału na dystansie 1 metra [dB]
- n – zmienna empiryczna oznaczająca stopień spadku sygnału
- d – odległość pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem [m]

Stałe L_0 oraz n w metodzie 1SM

f [GHz]	L_0 [dB]	n (-)	Typ pomieszczenia
1,80	33,3	4,0	Biuro
1,80	37,5	2,0	Otwarta przestrzeń
1,80	39,2	1,4	Korytarz
1,90	38,0	3,5	Biuro
1,90	38,0	1,3	Korytarz
2,45	40,2	4,2	Biuro
2,45	40,2	1,2	Korytarz
2,45	40,0	3,5	Biuro
2,50	40,0	3,7	Biuro
5,00	46,4	3,5	Biuro
5,25	46,8	4,6	Biuro

Free Space Loss (FSL)

- bez uwzględniania przeszkód terenowych;
- wzór z przekształcenia równania Friisa:

$$FSL = -(32,44 + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d))$$

- FSL – spadek poziomu sygnału [dB];
- f – częstotliwość [MHz];
- d – odległość pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem [m];

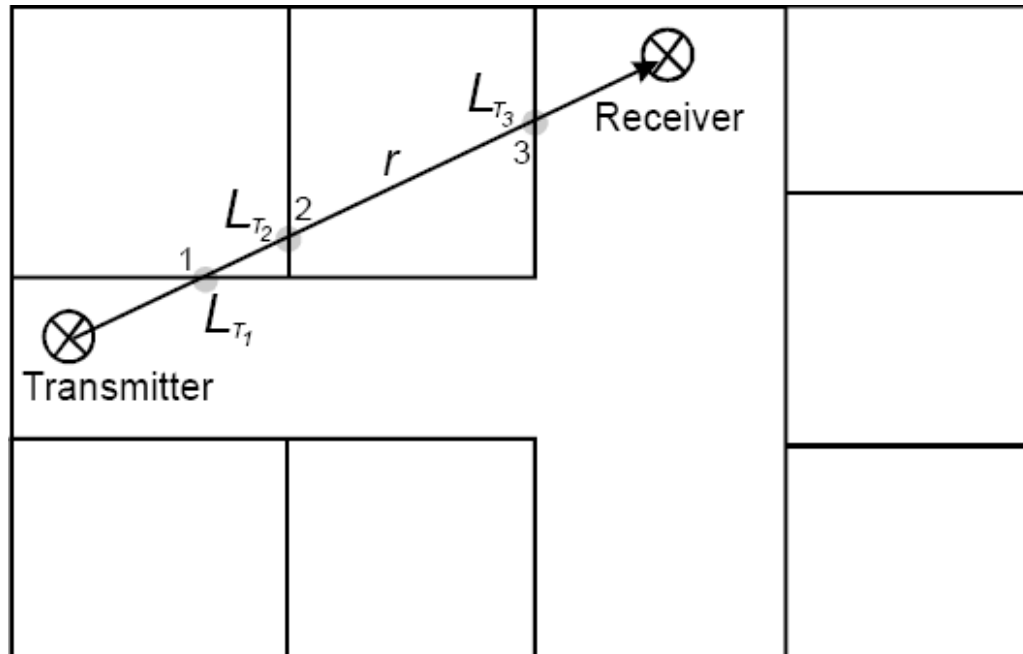
Multi Wall Model (MWM)

- uwzględnia tłumienie przeszkód;
- bazuje na modelu FSL ($f = 2450$ MHz);

$$MWM = -(100 + 20 \log_{10}(d)) + \sum_{i=1}^N k_{wi} L_{wi} + k_f L_f$$

- MWM – spadek poziomu sygnału pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem [dB];
- d – odległość między nadajnikiem i odbiornikiem [m];
- N – ilość typów ścian;
- k_{wi} – numer ściany typu „i”;
- L_{wi} – spadek sygnału po przejściu przez ścianę typu „i” [dB];
- k_f – numer kondygnacji;
- L_f – spadek sygnału po przejściu przez kondygnację [dB];

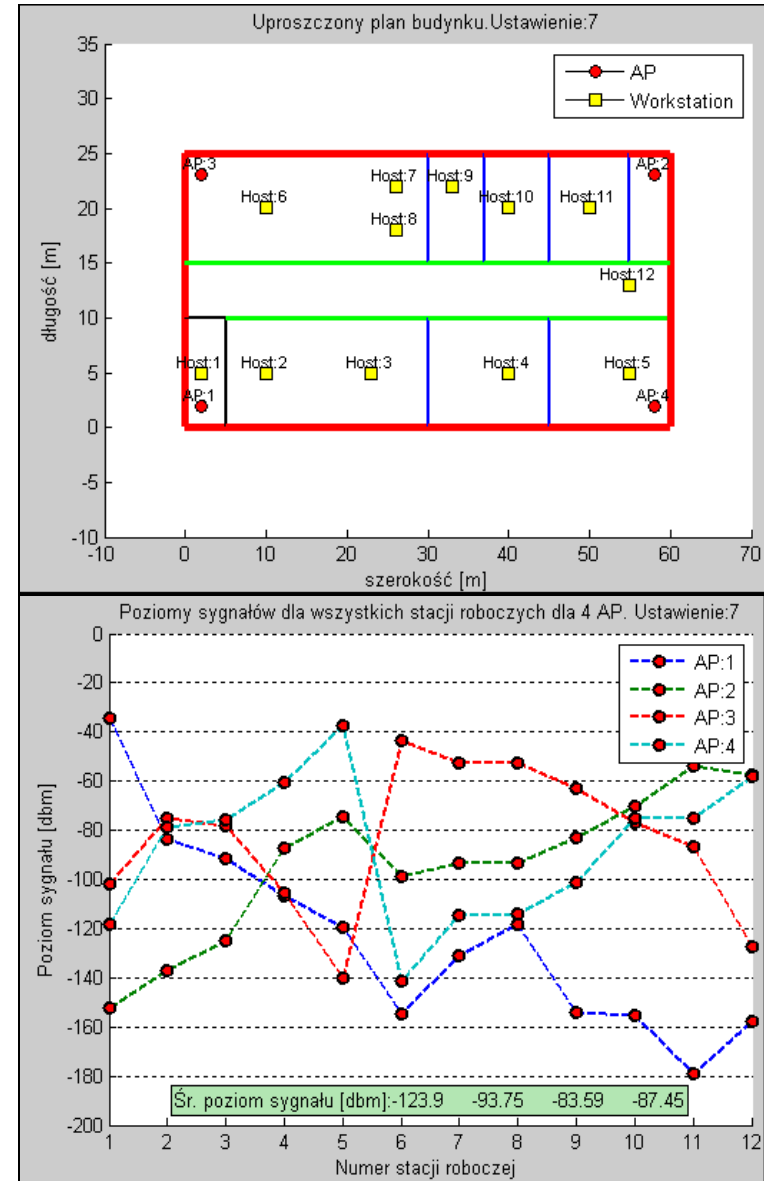
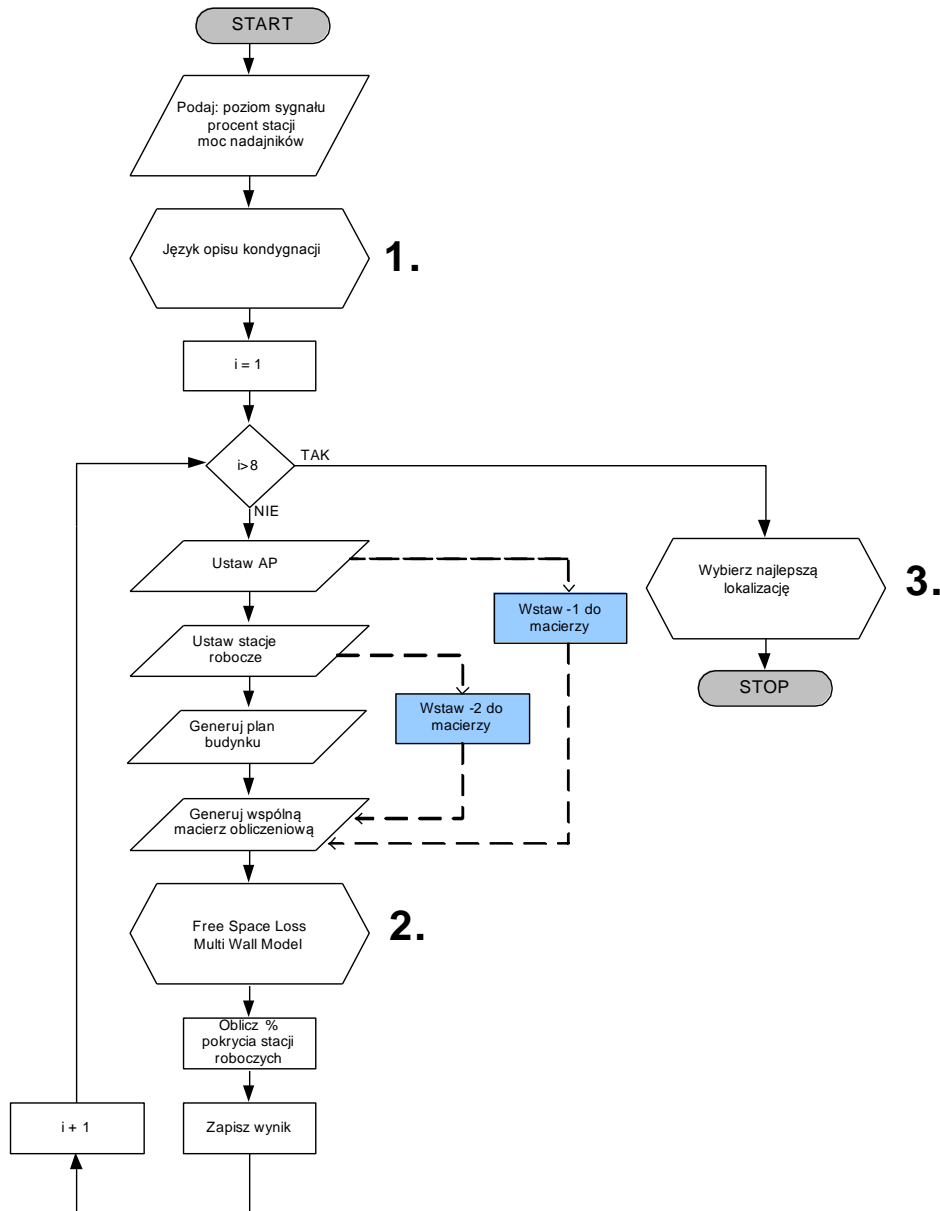
MWM – przejście przez trzy przeszkody



Algorytm – cel oraz dane wejściowe

- znaleźć najkorzystniejszą lokalizację punktów dostępowych (AP);
- Dane wejściowe:
 - poziom sygnału do osiągnięcia przez stacje robocze [dBm];
 - procent pokrycia stacji roboczych wyżej wspomnianym poziomem sygnału [%];
 - moc nadajników [dBm];
 - plan budynku (definiowany przez tzw. „język opisu kondygnacji”);

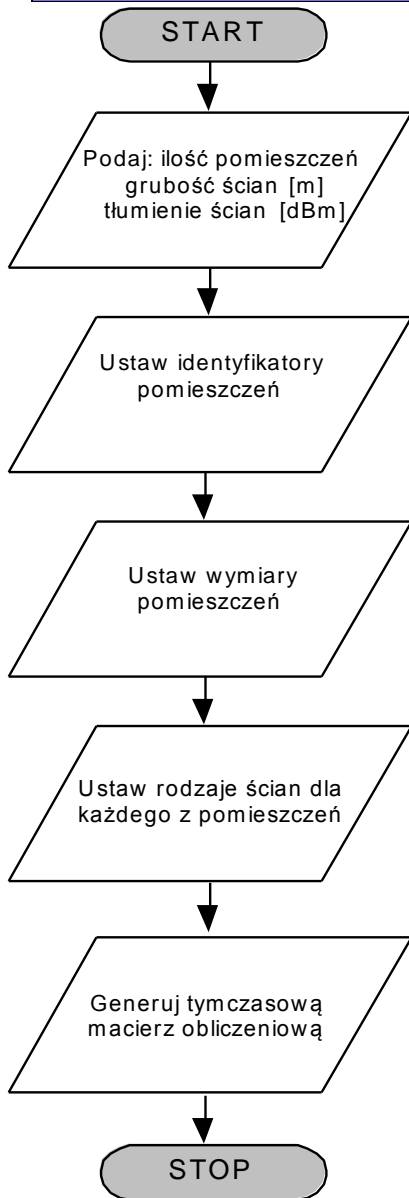
Algorytm: schemat, plan, wyniki



Algorytm – założenia przy badaniach

- budynek posiada 3 ciągi pomieszczeń (rzut z góry) (w części deklarycyjnej (język opisu kondygnacji) każdy z ciągów traktowany jest jako osobny moduł (macierz), w części obliczeniowej wszystkie ciągi tworzą jednolity moduł)
- długość każdego ciągu pomieszczeń jest stała
- szerokość każdego ciągu pomieszczeń jest stała
- dopuszczalny kształt budowli to prostokąt
- budynek posiada jedną kondygnację
- niezmienna lokalizacja stacji roboczych
- zmienna lokalizacja punktów dostępowych
- moc wszystkich nadajników jest stała i wynosi 15 dBm

1. FDL (Floor Description Language)

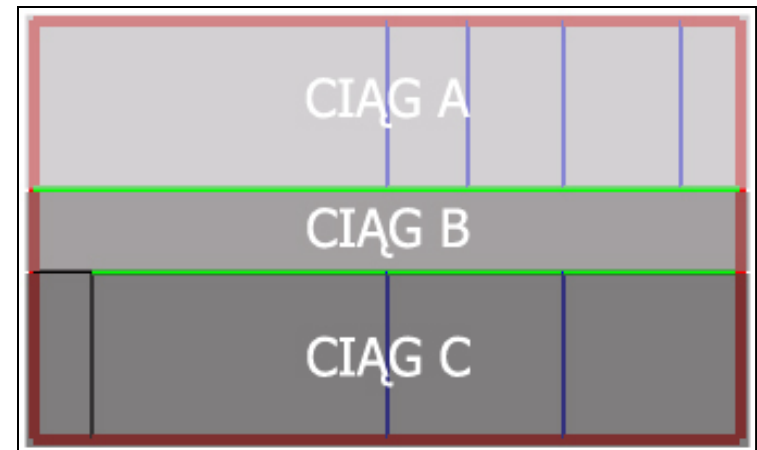


- FDL – pozwala na zdefiniowanie specyfiki każdego pomieszczenia w każdym ciągu;
- podział struktury budynku na trzy „ciągi pomieszczeń”;
- długość każdego ciągu jest sobie równa;
- (w badaniach – budynek 60 m x 25 m)

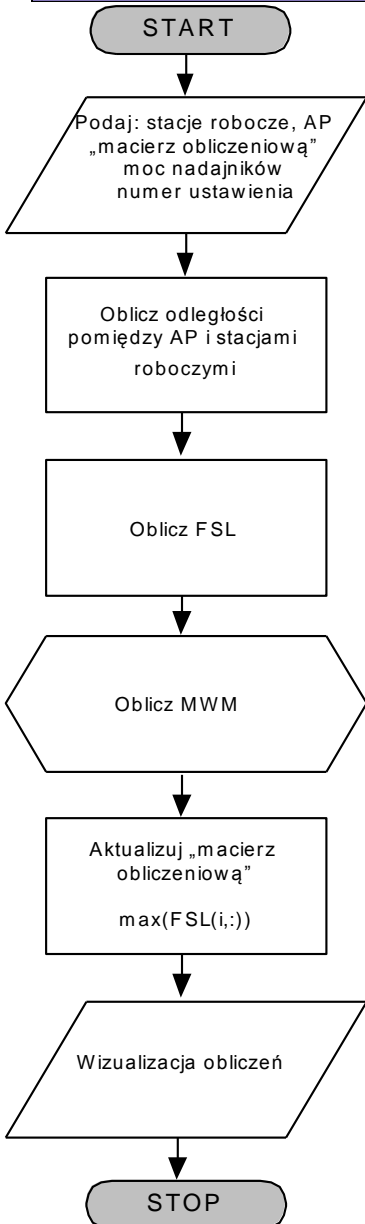
1. FDL (Floor Description Language)

Specyfikacja pomieszczenia:

- identyfikator [1-6]
- wymiar [m]
- typ ściany [1-4]
 - 1. ściana monolityczno-żelbetowa (czerwony): 15 dBm
 - 2. ściana z bloczków silkatowych (zielony): 12 dBm
 - 3. ściana z płyt gipsowo-kartonowych (niebieski): 10 dBm
 - 4. ekran (czarny): 40 dBm
- tłumienność ściany [dBm]
- grubość ściany [m]



2. FSL oraz MWM



Dane wejściowe

- współrzędne stacji roboczych;
- współrzędne punktów dostępowych;
- moc nadajników;
- numer ustawienia;
- macierz obliczeniowa;

Dane wyjściowe

- macierz obliczeniowa – poziomy sygnałów dla każdej stacji roboczej;
- wizualizacja wyników (plan budynku + wykres);

2. FSL oraz MWM

Detekcja przeszkód

- pomocnicza macierz tymczasowa
- wyznacz równanie prostej ($y=ax+b$) pomiędzy urządzeniami
- sprawdź punkty x (od 1 do l. wierszy) oraz y (od 1 do l. kolumn) dla znalezionej funkcji
- dwie wartości funkcji:
 - 0 = brak przeszkody
 - różna od zera = jest przeszkoda
- aktualizuj macierz obliczeniową

0	0	0	-1
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
12	12	12	12
0	0	0	0
0	0	0	0
-2	0	0	0

3. Wybór najlepszej lokalizacji

- dwa moduły:
 - obliczanie procenta stacji roboczych, które osiągnęły zadany poziom sygnału
 - wybór ustawienia o najmniejszej liczbie punktów dostępowych
- kolejność ustawień punktów dostępowych:
 - ustawienie o najniższym numerze posiada najmniejszą ilość punktów dostępowych

Systemy komercyjne

Produkt	Ekahau Site Survey	Airespace Control System	AirMagnet Survey
Standard	WLAN	WLAN	WLAN
Format danych wejściowych	Format graficzny	Format graficzny	Format graficzny
Format danych wyjściowych	Format graficzny, XML, HTML	Format graficzny	Format graficzny, Doc, PDF, XML, HTML, Excel
Typ produktu	komercyjny	komercyjny	komercyjny
Koszt [PLN]	ok. 5400	b.d.	ok. 17000
Wymagania sprzętowe	Windows 7 CPU: 1,5 GHz, mcore RAM: 8GB	b.d.	Windows 7 Pro CPU: Core 2 Duo RAM: 4GB
Adres www	www.ekahau.com	b.d.	www.airmagnet.com
Inne	GPS	-	wspiera Google Earth

Systemy komercyjne

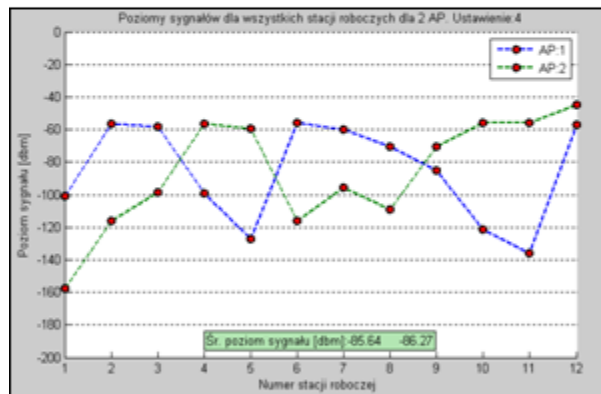
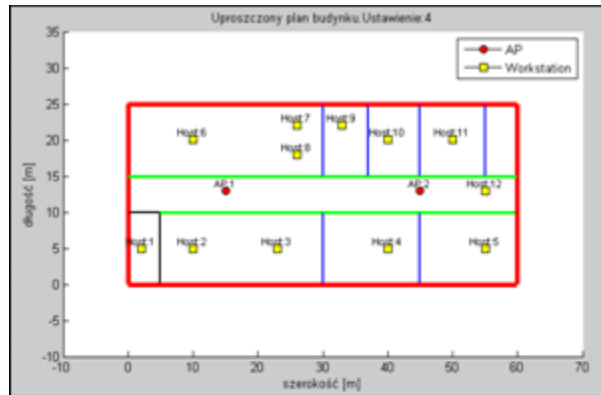
Produkt	Radiowave Propagation Simulation	InCharge RF Planner	RF3D WiFiPlanner
Standard	WLAN, GSM, UMTS	WLAN	WLAN
Format danych wejściowych	CAD, Format graficzny	CAD, Format graficzny	Format graficzny
Format danych wyjściowych	Format graficzny, PDF, ASCII, Matlab	Format graficzny, txt	b.d.
Typ produktu	freeware dla studentów, komercyjny	komercyjny	komercyjny
Koszt [PLN]	Nie wspierany, free	b.d.	ok. 4000
Wymagania sprzętowe	Windows 9x, Me, NT, 2000, XP RAM: 256	Windows 2000,XP CPU: 1.4GHz RAM: 512MB	Windows XP CPU: 1.5GHz RAM: 750MB
Adres www	www.radioplan.com	www.winncom.com	www.rf3d.com
Inne	możliwa integracja z Matlab-em Program typu klient-serwer	-	Dostępna wersja DEMO

Porównanie d-FDL i sys. komercyjnymi

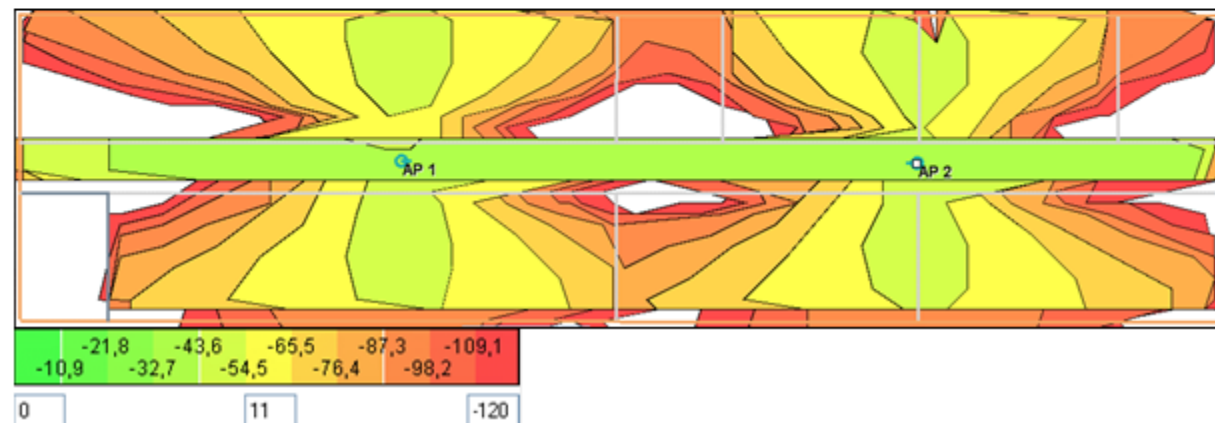
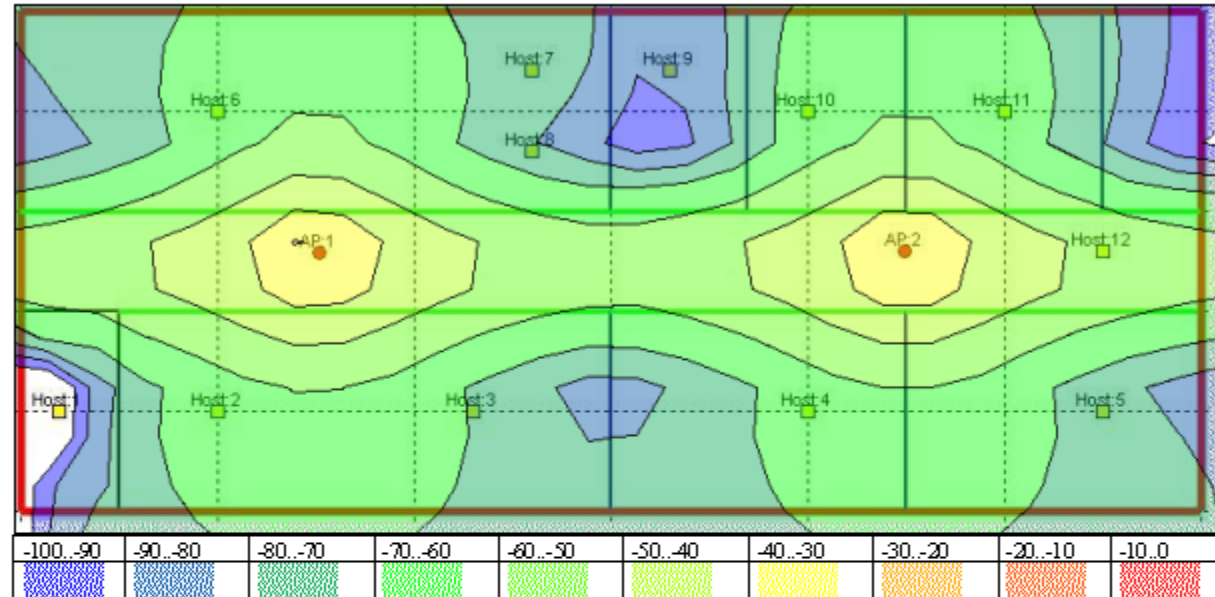
Cel

- Wybranie najkorzystniejszego ustawienia punktów dostępowych spośród ośmiu zdefiniowanych;
- Dla każdego ustawienia zmieniają się:
 - lokalizacja oraz liczba AP;
 - sygnały osiągnane przez wszystkie stacje robocze dla każdej konfiguracji AP;
- Charakterystyka budynku:
 - wymiary: 60 [m] x 25 [m];
 - ilość pomieszczeń: 9 + korytarz;
 - ilość typów ścian: 4;
- Dane wejściowe:
 - procent pokrycia stacji roboczych: 70 [%];
 - poziom sygnału: -63 [dBm];

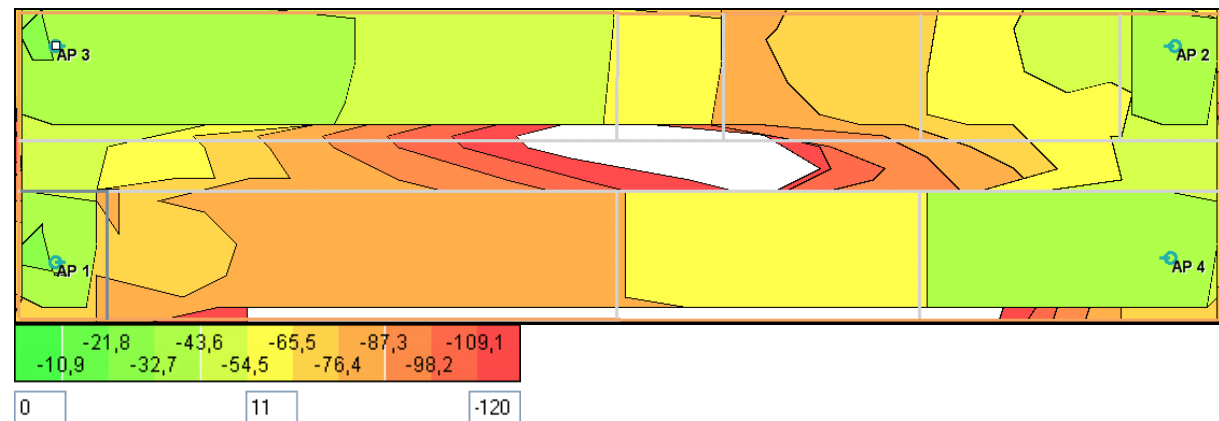
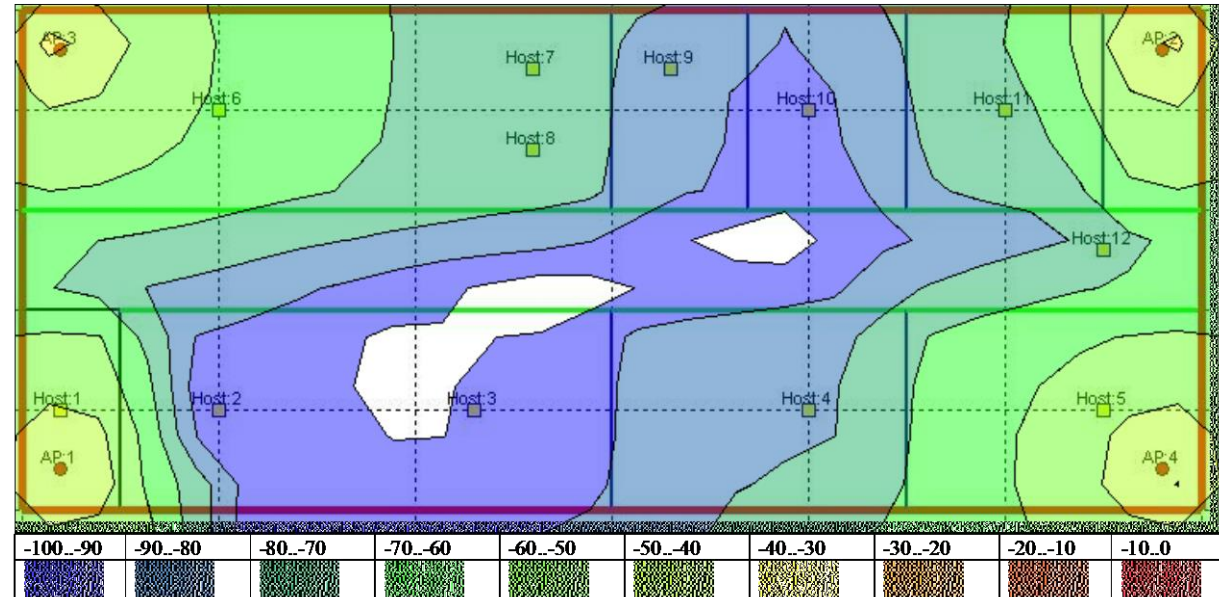
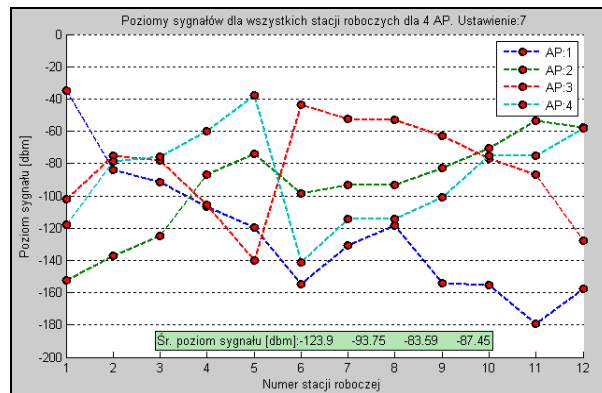
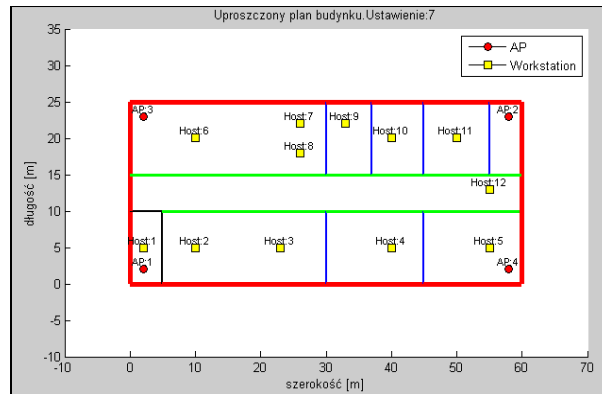
Badania porównawcze metody d-FDL z systemami komercyjnymi – ustawienie 4



Program	d-FDL	Ekahau	RF3D
Procent pokrycia [%]	75	50	67
Średni poziom sygnału [dBm]	-86	-74	-104

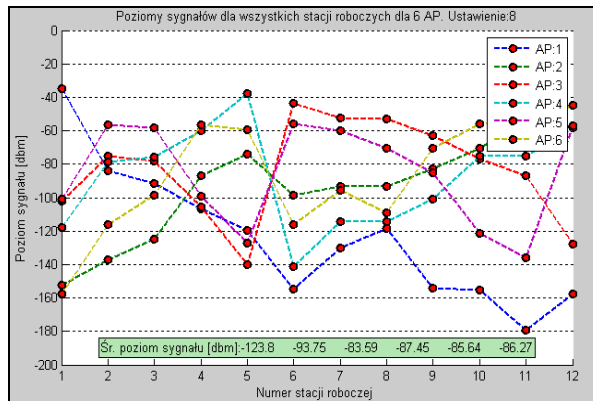
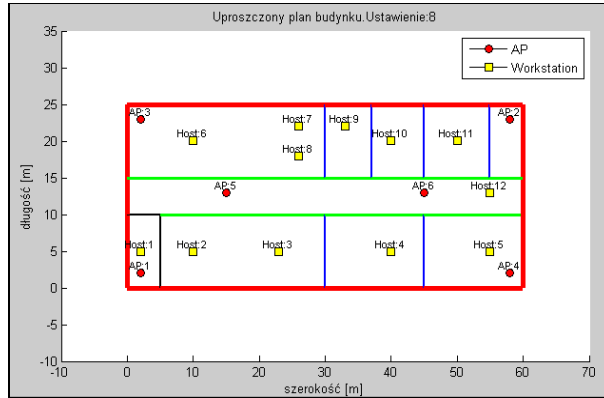


Badania porównawcze metody d-FDL z systemami komercyjnymi – ustawienie 7

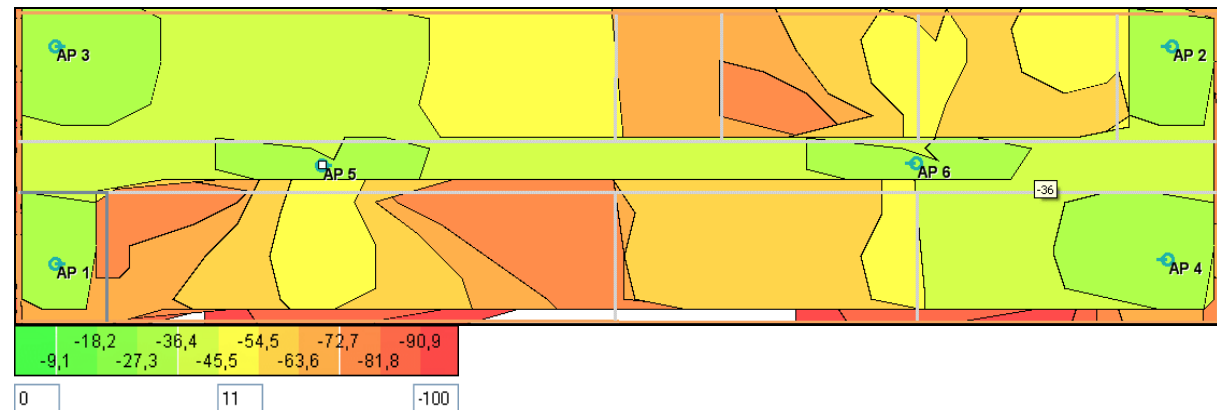
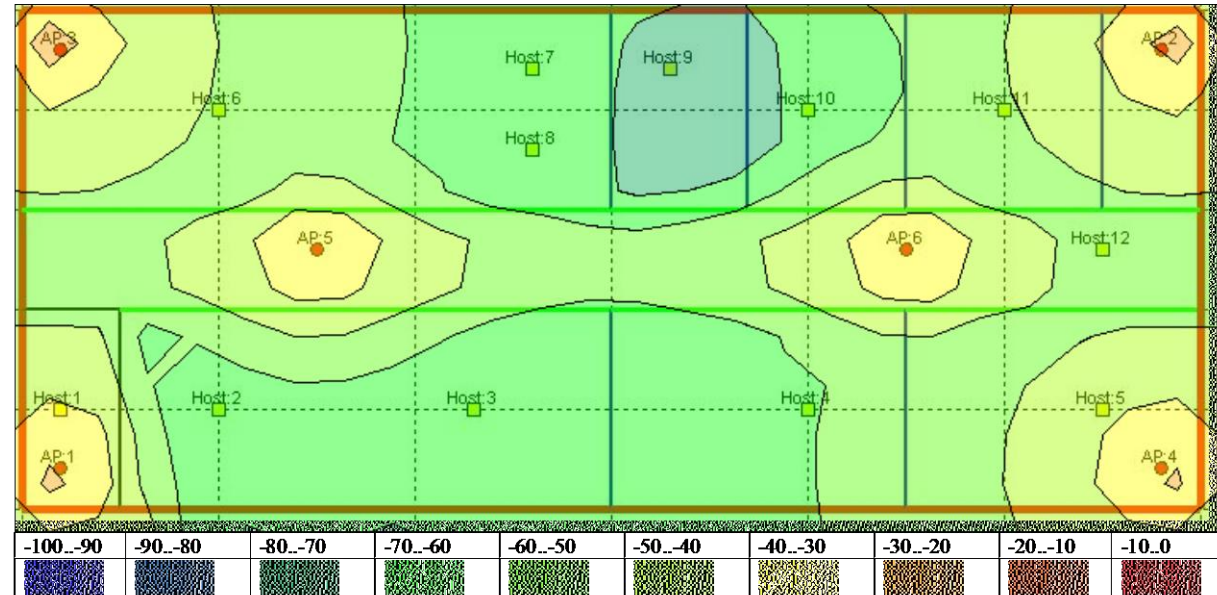


Program	d-FDL	Ekahau	RF3D
Procent pokrycia [%]	75	67	75
Średni poziom sygnału [dBm]	-98	-73	-121

Badania porównawcze metody d-FDL z systemami komercyjnymi – ustawienie 8



Program	d-FDL	Ekahau	RF3D
Procent pokrycia [%]	100	92	83
Średni poziom sygnału [dBm]	-94	-115	-73



Badania porównawcze metody d-FDL z systemami komercyjnymi – podsumowanie

		Procent pokrycia stacji roboczych [%]		
Numer ustawienia	Liczba AP	d-FDL	Ekahau	RF3D WiFiPlanner
1	1	50,00	42,00	42,00
2	1	25,00	17,00	0,00
3	1	25,00	17,00	17,00
4	2	75,00	67,00	50,00
5	2	25,00	17,00	17,00
6	2	58,33	58,33	50,00
7	4	75,00	75,00	67,00
8	6	100,00	92,00	83,00

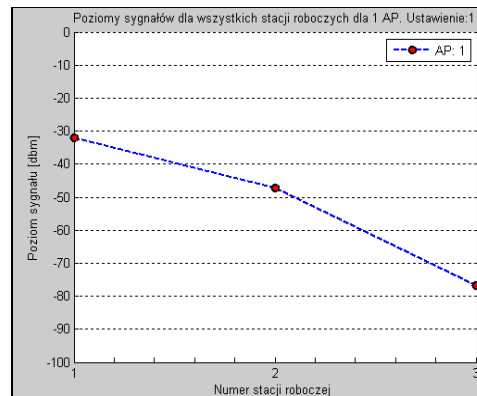
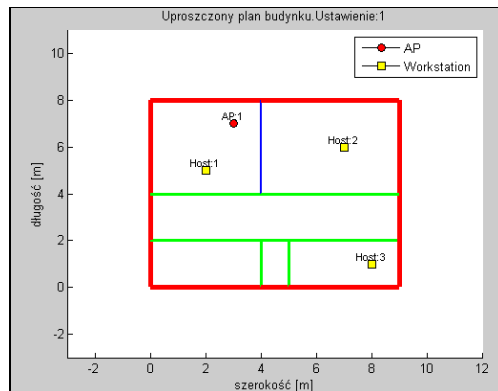
Badania porównawcze metody d-FDL z pomiarami w terenie

Cel

- sprawdzenie zbieżności wyników uzyskiwanych przez program d-FDL oraz Ekahau z badaniami poziomu sygnałów;
- rzeczywiste pomiary sygnałów w określonych punktach (Host 1, Host 2, Host 3);
- 3 stacje robocze, 1 punkt dostępowy (moc 15 [dBm]);
- 2 różne lokalizacje punktu dostępowego;
- niezmienna lokalizacja stacji roboczych;
- Charakterystyka budynku:
 - wymiary: 9 [m] x 8 [m]
 - ilość pomieszczeń: 5 + korytarz
 - ilość typów ścian: 3

Typ ściany	Tłumienie sygnału [dBm] + (kolor ściany)
Monolityczno – żelbetowa	15 (czerwony)
Cegła	12 (zielony)
Gipsowo – kartonowa	10 (niebieski)

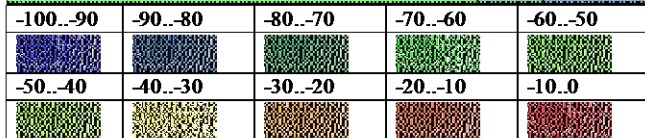
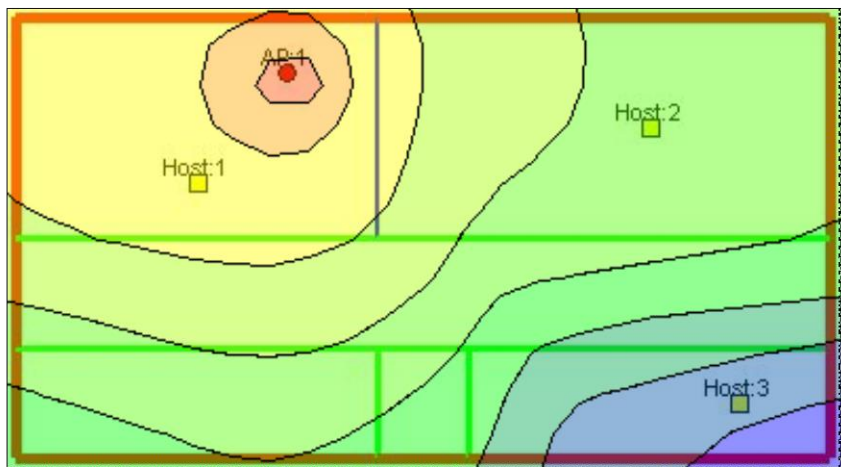
Badania porównawcze metody d-FDL z pomiarami w terenie – eksperyment 1



```
[berus@tytan berus]$ sudo iwconfig
eth1 IEEE 802.11g ESSID:"linksys vip" Nickname:"localhost"
Mode:Managed Frequency:2.472 GHz Access Point: 00:14:BF:65:67:38
Bit Rate:54 Mb/s Tx-Power=20 dBm Sensitivity=8/0
Retry limit:7 RTS thr:off Fragment thr:off
Encryption key:D086-352C-2201-DDF5-D562-7969-7316-F1AB
Power Management:off
Link Quality=26/100 Signal level=-32 dBm Noise level=-87 dBm
Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:1 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:68
```

```
[berus@tytan berus]$ sudo iwconfig
eth1 IEEE 802.11g ESSID:"linksys vip" Nickname:"localhost"
Mode:Managed Frequency:2.472 GHz Access Point: 00:14:BF:65:67:38
Bit Rate:54 Mb/s Tx-Power=20 dBm Sensitivity=8/0
Retry limit:7 RTS thr:off Fragment thr:off
Encryption key:17B7-F803-A1C6-B1EE-F251-4573-483A-7EAD
Power Management:off
Link Quality=31/100 Signal level=-45 dBm Noise level=-87 dBm
Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:1 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:35
```

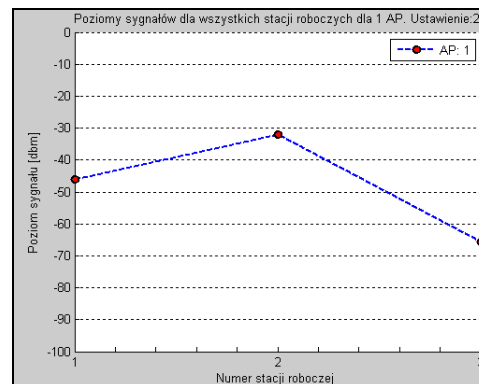
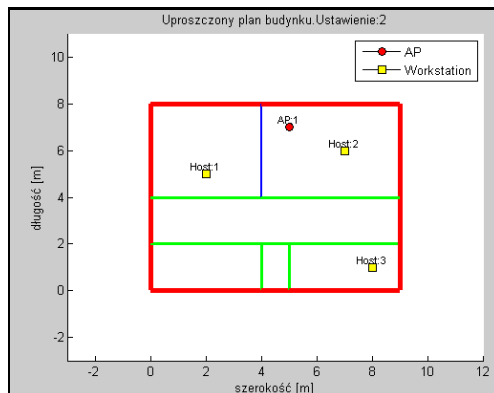
```
[berus@tytan berus]$ sudo iwconfig
eth1 IEEE 802.11g ESSID:"linksys vip" Nickname:"localhost"
Mode:Managed Frequency:2.472 GHz Access Point: 00:14:BF:65:67:38
Bit Rate:54 Mb/s Tx-Power=20 dBm Sensitivity=8/0
Retry limit:7 RTS thr:off Fragment thr:off
Encryption key:B837-246E-E076-A48E-3EB0-AF41-24C9-DD5A
Power Management:off
Link Quality=47/100 Signal level=-73 dBm Noise level=-88 dBm
Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:9 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:46
```



Poziomy sygnałów [dBm]

Host	Ekahau	d-FDL	Pomiary w terenie
1	-33	-32	-32
2	-52	-47	-45
3	-82	-77	-73

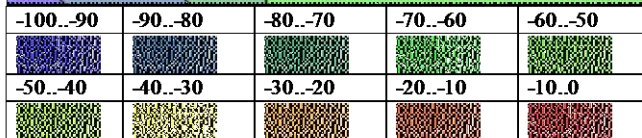
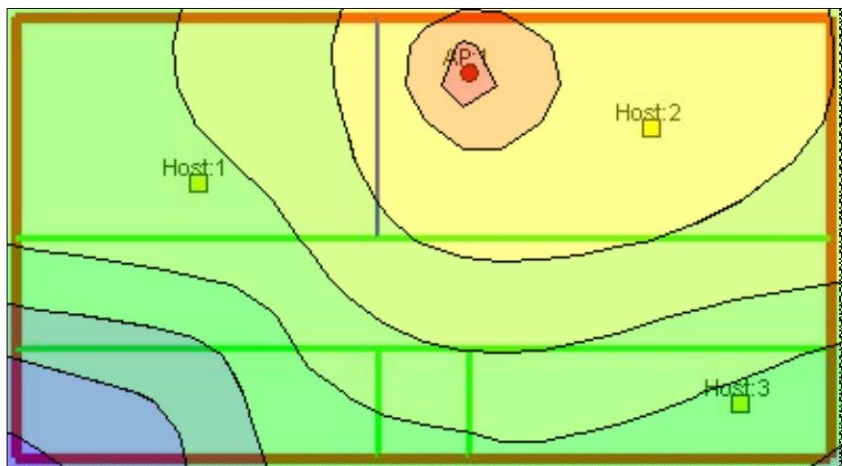
Badania porównawcze metody d-FDL z pomiarami w terenie – eksperyment 2



```
[berus@tytan berus]$ sudo iwconfig
eth1 IEEE 802.11g ESSID:"linksys vip" Nickname:"localhost"
Mode:Managed Frequency:2.472 GHz Access Point: 00:14:BF:65:67:38
Bit Rate:54 Mb/s Tx-Power=20 dBm Sensitivity=8/0
Retry limit:7 RTS thr:off Fragment thr:off
Encryption key:17B7-F803-A1C6-B1EE-F251-4573-483A-7EAD
Power Management:off
Link Quality=31/100 Signal level=-48 dBm Noise level=-87 dBm
Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:1 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:35
```

```
[berus@tytan berus]$ sudo iwconfig
eth1 IEEE 802.11g ESSID:"linksys vip" Nickname:"localhost"
Mode:Managed Frequency:2.472 GHz Access Point: 00:14:BF:65:67:38
Bit Rate:54 Mb/s Tx-Power=20 dBm Sensitivity=8/0
Retry limit:7 RTS thr:off Fragment thr:off
Encryption key:D086-352C-2201-DDF5-D562-7969-7316-F1AB
Power Management:off
Link Quality=26/100 Signal level=-32 dBm Noise level=-87 dBm
Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:1 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:68
```

```
[berus@tytan berus]$ sudo iwconfig
eth1 IEEE 802.11g ESSID:"linksys vip" Nickname:"localhost"
Mode:Managed Frequency:2.472 GHz Access Point: 00:14:BF:65:67:38
Bit Rate:54 Mb/s Tx-Power=20 dBm Sensitivity=8/0
Retry limit:7 RTS thr:off Fragment thr:off
Encryption key:B837-246E-E076-A48E-3EB0-AF41-24C9-DD5A
Power Management:off
Link Quality=47/100 Signal level=-63 dBm Noise level=-88 dBm
Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:9 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:46
```



Poziomy sygnałów [dBm]

Host	Ekahau	d-FDL	Pomiary w terenie
1	-51	-46	-48
2	-34	-32	-32
3	-64	-66	-63

Badania porównawcze metody d-FDL z pomiarami w terenie – wnioski

- zarówno program d-FDL, jak też Ekahau dały wyniki zbliżone do pomiarów w terenie;
- niewielkie odchylenia mieściły się w granicach od 2 do 6 [dBm];
- w obu eksperymentach lepsze wyniki dał program d-FDL;