

Sprawozdanie: "Kalibracja empirycznego modelu propagacyjnego"

1) Parametry pomiaru:

- a. Częstotliwość sygnału: **541.9MHz (Kanał 4)**
- b. Poziom szumu (dBm/RBW): **-107dBm** (dla pomiarów 1-25 -100dBm)
- c. Progowa moc odbierana: **-97dBm** (dla pomiarów 1-25 -90dBm)
- d. Położenie odbiornika na siatce (x0,y0) w m: **(13,27)[m,m]**
- e. Położenie odbiornika (piętro): **0 [m]**
- f. Wysokość jednej kondygnacji (m): **4 [m]**

2) Wyniki pomiarów:
Pomiary prawidłowe:

Pomiar	x [m]	y [m]	Piętro (n _i) [m]	d _i [m]	P_measured [dBm]	P_predicted [dBm]	Error [dB]
1	52	15	0	40,80441153	-59	-74,23589432	15,23589432
2	48	13	0	37,69615365	-61	-74,22831522	13,22831522
3	41	14	0	30,87069808	-48	-74,2092077	26,2092077
4	26	12	0	19,84943324	-49	-74,16696255	25,16696255
5	24	10	0	20,24845673	-52	-74,16886643	22,16886643
6	18	9	0	18,68154169	-62	-74,16116197	12,16116197
7	14	9	0	18,02775638	-57,5	-74,15775435	16,65775435
8	12	12	0	15,03329638	-68	-74,14037874	6,140378744
9	7	13	0	15,23154621	-76	-74,14163196	-1,858368038
10	10	16	0	11,40175425	-66	-74,11392959	8,113929587
11	8	21	0	7,810249676	-74	-74,07773969	0,077739687
12	3	24	0	10,44030651	-77	-74,10550286	-2,894497143
13	12	24	0	3,16227766	-78	-73,99125205	-4,008747954
14	14	24	0	3,16227766	-67	-73,99125205	6,991252046
15	9	27	0	4	-70	-74,01373159	4,013731589
16	8	28	0	5,099019514	-82	-74,03695267	-7,963047327
17	8	33	0	7,810249676	-88	-74,07773969	-13,92226031
18	8	35	0	9,433981132	-83	-74,09580748	-8,904192519
19	8	36	0	10,29563014	-81	-74,10416802	-6,895831977
20	8	37	0	11,18033989	-87	-74,11205372	-12,88794628
21	8	39	0	13	-87	-74,12647806	-12,87352194
22	8	52	0	25,49509757	-82	-74,1909065	-7,809093499
23	12	52	0	25,01999201	-79	-74,1891071	-4,810892901
24	8	52	0	25,49509757	-70	-74,1909065	4,190906501
25	8	53	0	26,47640459	-89	-74,19451925	-14,80548075
26	10	57	0	30,14962686	-88	-74,20694686	-13,79305314
27	10	58	0	31,144823	-95	-74,21005336	-20,78994664
28	4	63	0	37,10795063	-95	-74,22681084	-20,77318916
29	11	61	0	34,05877273	-88	-74,21860888	-13,78139112
30	11	61	1	34,2928564	-96	-79,9491135	-16,0508865
31	4	63	1	37,32291521	-95	-79,95721281	-15,04278719
32	10	63	1	36,34556369	-96	-79,95467452	-16,04532548
33	10	58	1	31,40063694	-90	-79,94068528	-10,05931472
34	8	57	1	30,6757233	-86	-79,93845106	-6,061548941
35	8	53	1	26,77685568	-89	-79,92544807	-9,074551931
36	8	52	1	25,8069758	-88	-79,92191899	-8,078081009
37	8	52	1	25,8069758	-91	-79,92191899	-11,07808101
38	12	52	1	25,33771892	-74	-79,92016362	5,920163621

39	8	39	1	13,60147051	-80	-79,86065392	-0,139346084
40	8	37	1	11,87434209	-79	-79,8476639	0,847663904
41	8	36	1	11,04536102	-79	-79,84074127	0,84074127
42	8	35	1	10,24695077	-83	-79,8335641	-3,166435899
43	8	33	1	8,774964387	-79	-79,81872987	0,818729872
44	8	28	1	6,480740698	-86	-79,78973934	-6,210260661
45	9	27	1	5,656854249	-82	-79,77673317	-2,223266828
46	10	17	1	11,18033989	-72	-79,84190315	7,841903152
47	10	14	1	13,92838828	-85	-79,86292588	-5,137074121
48	12	9	1	18,46618531	-80	-79,88990229	-0,110097715
49	12	11	1	16,52271164	-81	-79,87926473	-1,120735272
50	13	9	1	18,43908891	-80	-79,88976182	-0,11023818
51	17	9	1	18,86796226	-72	-79,89196122	7,891961216
52	21	10	1	19,20937271	-71	-79,89367663	8,893676627
53	23	10	1	20,1246118	-62	-79,898129	17,898129
54	29	11	1	22,97825059	-51	-79,91081354	28,91081354
55	25	12	1	19,62141687	-65	-79,89570679	14,89570679
56	29	12	1	22,29349681	-70	-79,90791962	9,907919622
57	41	13	1	31,55946768	-73	-79,94116791	6,941167912
58	50	13	1	39,7617907	-70	-79,96326779	9,96326779
59	52	14	1	41,30375286	-75	-79,96690724	4,966907243
60	52	13	2	42,20189569	-81	-85,69881442	4,698814423
61	50	13	2	40,36087214	-88	-85,69454771	-2,305452289
62	41	13	2	32,31098884	-83	-85,67326851	2,673268508
63	29	12	2	23,34523506	-73	-85,64217863	12,64217863
64	25	12	2	20,80865205	-73	-85,63117579	12,63117579
65	29	11	2	24	-66	-85,64482459	19,64482459
66	23	10	2	21,28379665	-75	-85,63333546	10,63333546
67	21	10	2	20,42057786	-77	-85,62937498	8,629374978
68	17	9	2	20,09975124	-88	-85,62786019	-2,372139813
69	13	9	2	19,6977156	-81	-85,62592746	4,625927462
70	12	11	2	17,91647287	-86	-85,6168609	-0,3831391
71	12	9	2	19,72308292	-89	-85,62605057	-3,373949428
72	10	14	2	15,55634919	-87	-85,6033492	-1,396650798
73	10	17	2	13,15294644	-85	-85,58729577	0,587295769
74	9	27	2	8,94427191	-87	-85,55040736	-1,449592636
75	8	28	2	9,486832981	-84	-85,55604074	1,556040744
76	8	33	2	11,18033989	-92	-85,57175258	-6,428247417
77	8	35	2	12,36931688	-85	-85,58141987	0,581419869
78	8	36	2	13,03840481	-91	-85,5864591	-5,413540902
79	8	37	2	13,74772708	-88	-85,59152645	-2,408473546
80	8	39	2	15,26433752	-90	-85,60153654	-4,398463462
81	8	52	2	26,72077843	-86	-85,65509696	-0,344903039
82	12	52	2	26,26785107	-84	-85,65346164	1,653461641

83	8	52	2	26,72077843	-84	-85,65509696	1,655096961
84	8	53	2	27,65863337	-91	-85,65839678	-5,341603218
85	8	57	2	31,44837039	-96	-85,67068001	-10,32931999
86	10	58	2	32,15587038	-95	-85,67280817	-9,327191827
87	11	61	2	34,98571137	-93	-85,68087633	-7,319123675
88	14	52	2	26,26785107	-97	-85,65346164	-11,34653836
89	15	50	2	24,43358345	-94	-85,6465373	-8,353462698
90	17	55	2	29,39387691	-94	-85,66421736	-8,335782642

Pomiary wykluczone (Pomiary które nie przekroczyły progu mocy odbieranej -90dBm lub -97dBm):

Pomiar	x [m]	y [m]	Pietro
28	10	63	0
88	10	63	2
89	4	63	2
92	15	52	2
95	15	50	2

Statystyka pomiarów:

- 5 z 95 pomiarów zostało pominiętych ze względu na zbyt słabą moc odbieraną
- Zagregowane wartości d_i
 - Minimum: 3,16m
 - Maksimum: 42,20m
 - Średnia: 21.17m
 - Mediana: 20.11m
- Obserwacja wszystkie pomiary które zostały wykluczone były w północno wschodniej części budynku, Y jest zawsze większy od 50 w takich przypadkach możliwe, że jest to martwa strefa.

3) Zestymowane parametry modelu propagacyjnego

$$A = -73.88\text{dBm}$$

$$\gamma = 0.22$$

$$\Delta L = 5.73\text{dB}$$

Parametr gamma:

Oszacowany został na 0.22 **znacząco odbiega od od normy ITU-R P.1238**. Dla przestrzenie biurowej powinien wahać się między 30 a 33.

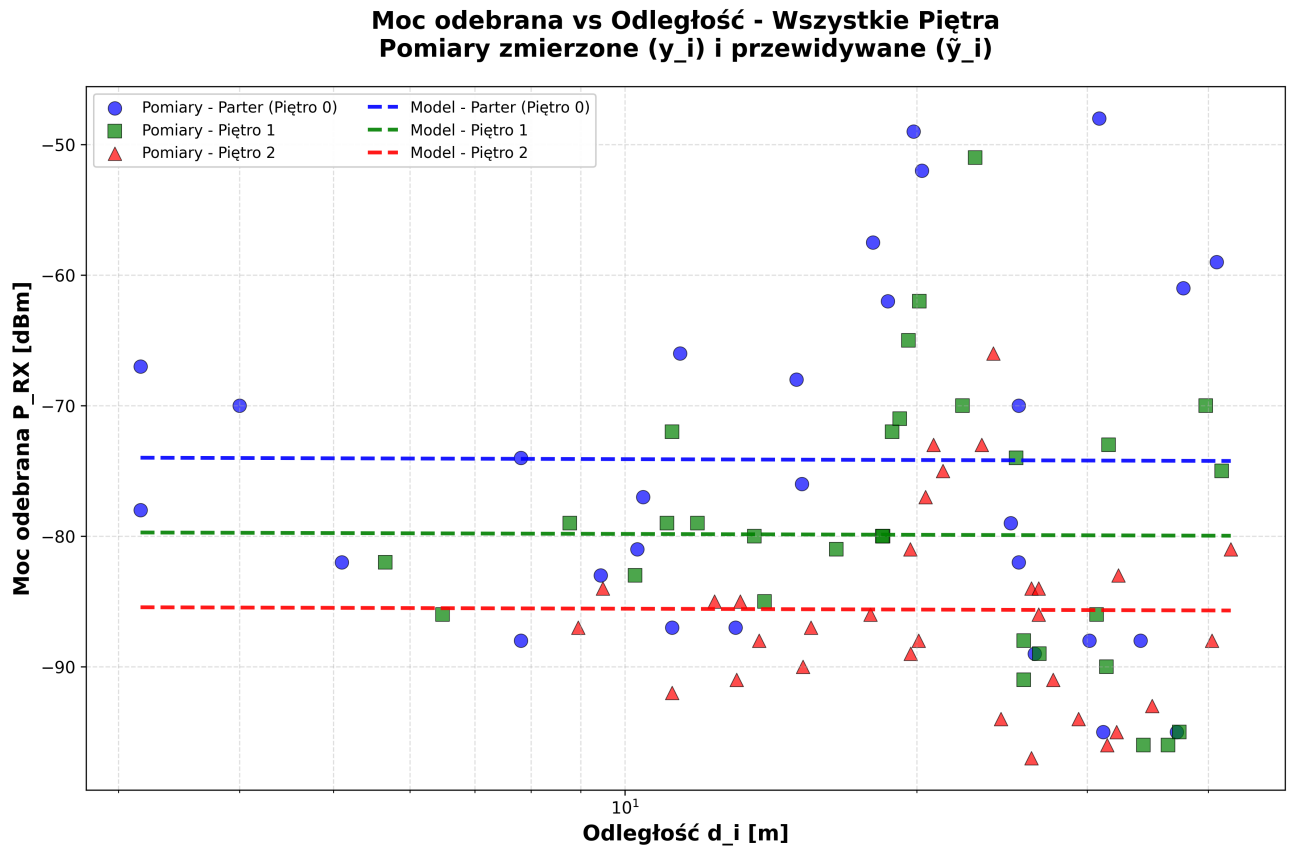
Parametr delta L:

Oszacowany został na 5.73dB **który jest zbliżony do wartości środowiska mieszkalnego** (residential) i mieści się w jego zakresie 4 do 8 dB. Spowodowane jest to tym że jak na przestrzeń biurową budynek jest relatywnie nowy, nie ma ciężki stropów co może powodować wartość lekko poniżej zakresu biurowego.

Odchylenie standardowe:

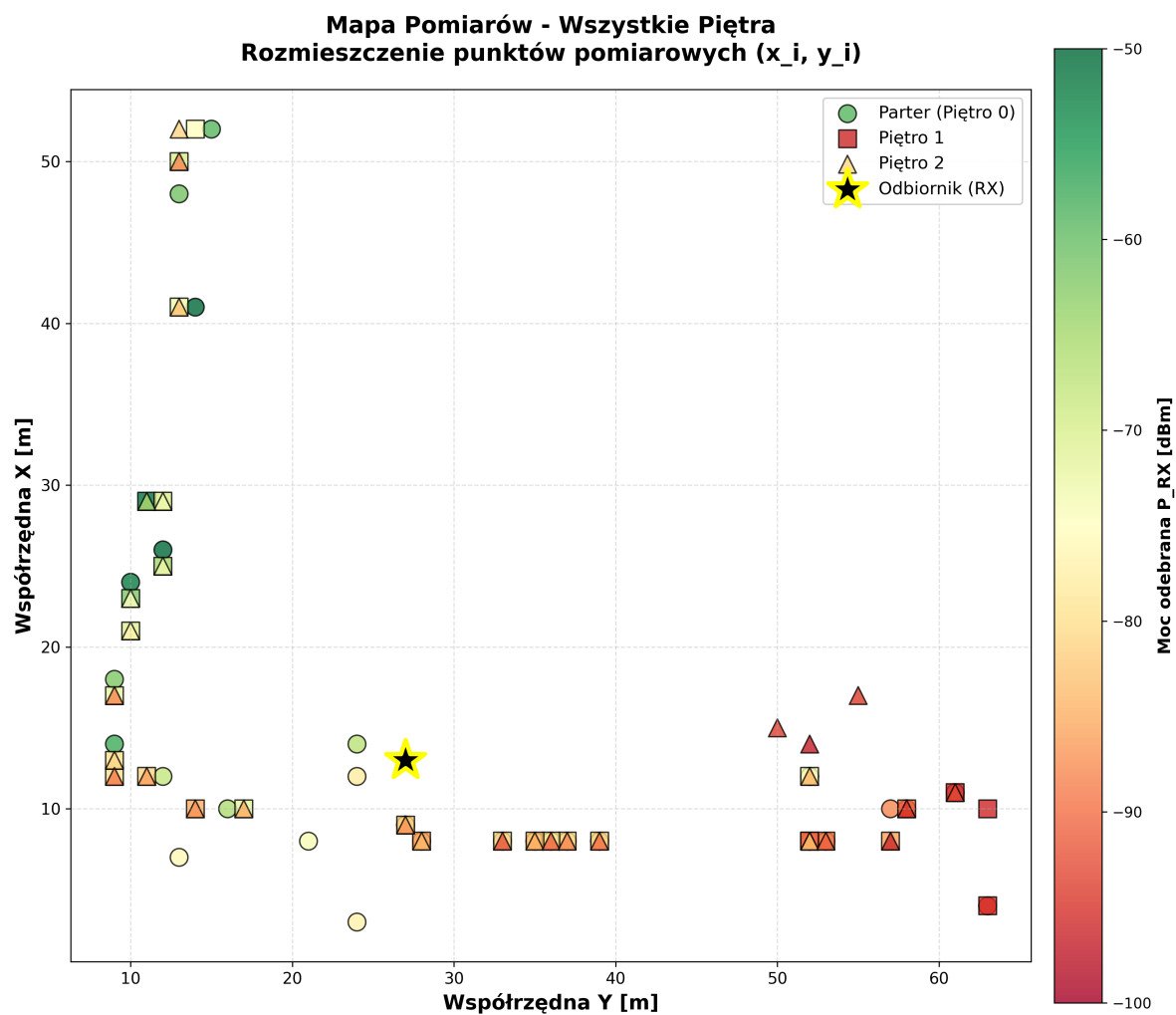
Oszacowane zostało na 10.52dB które mieści się w normie ITU-R P.1238 od 8 do 12 dB i sugeruje przestrzeń biurową.

Przedstawiony logarytmicznie stosunek mocy odbieranej do odległości z naniesionym modelem predykcyjnym.



**Do sprawozdania został załączony kod Python oraz lepsze wykresy, z podziałem na piętra.*

Agregowana mapa punktów (x_i,y_i) z oznaczeniem mocy odbieranej skalą logarytmiczną.



Porównanie błędów między modelem a przewidywanymi wartościami zgodnych z modelem.

Wartość średnia: 0.00dB

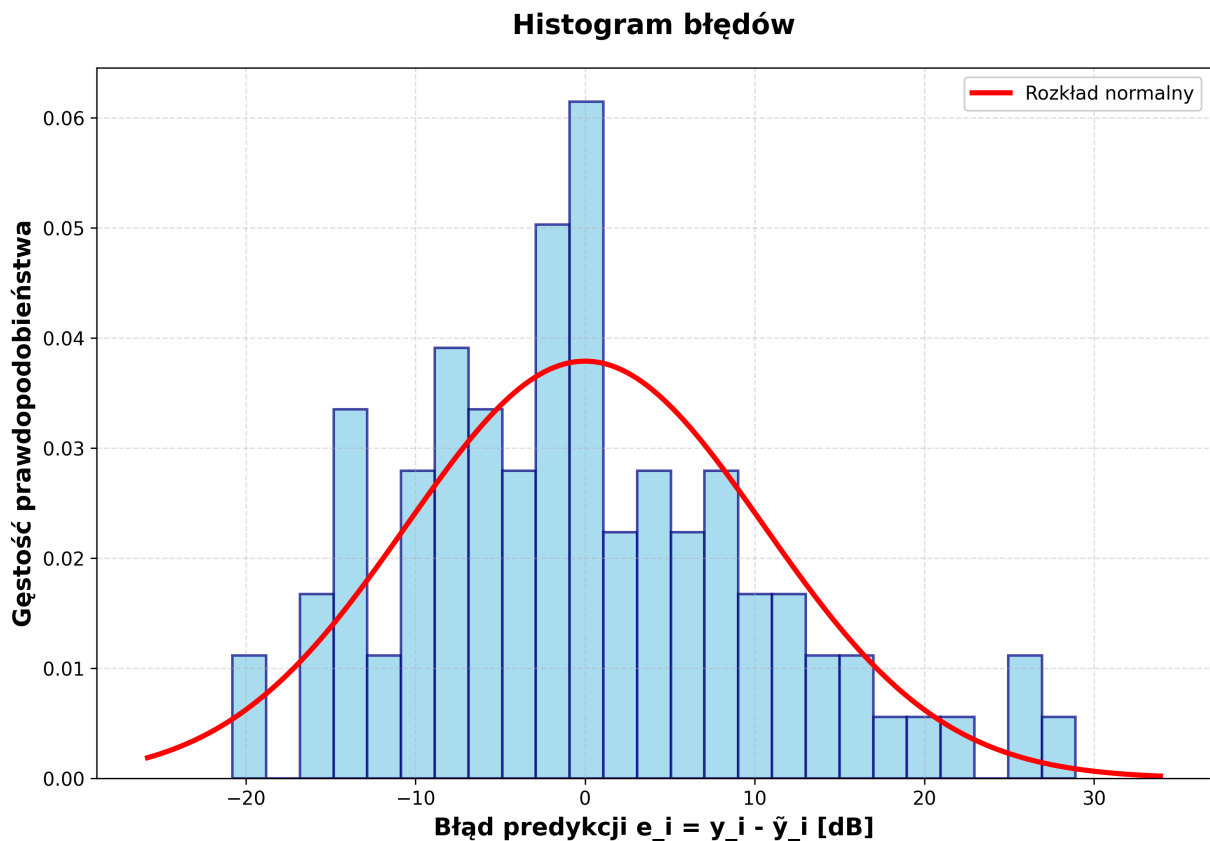
Odchylenie standardowe dla e_i : 10.52dB

Komentarz: Średnia wartość 0.00dB może oznaczać, że model przeciętnie nie przewidyuje skrajnych błędów.

Czy wartości zbliżone do raportu ITU?

Tak, wartości są po części zbliżone wartości pokrywają się z modelem dla przestrzeni mieszkalnej lub biurowej, ale gamma nie pasuje kompletnie do modelu. Możliwe powody jakie przewidujemy to za mocno ograniczony zakres odległości pomiarów lub możliwy błąd w metodzie pomiaru bądź w zbiorze danych

Histogram błędu (wartości e_i)



Zgodnie z naszą oceną można zaobserwować cieniowanie radiowe. Wyżej wymieniony rozkład błędów przypomina rozkład normalny, obserwacja ta nakierowała nas aby przeprowadzić test Shapiro-Wilka.

Otrzymaliśmy wartość $p = 0.1382$ która jest większa od 0.05 co dowodzi rozkładowi logarytmicznie normalnego cieniowania radiowego.

Co oznacza że rozkład cieniowania jest logarytmicznie normalny?

Oznacza to że moc rzeczywista jest równa modelowi z dodanym błędem o rozkładnie normalnym, ten wpływ to losowe interakcje sygnału z przeszkodami. Jeśli rozkład nie był by normalny to model nie nadawałby się do predykcji zasięgu.

Wnioski

Zauważamy że wartość modelu jest wysoka. Średni błąd wynosi 0 co oznacza że model jest nieobciążony czyli nie przeważa skrajnych wartości mocy nad innymi bardziej normalnymi wartościami. Model pasuje do pomiarów ale parametr gamma jest nieprawidłowy. Rozwijając ten wątek zauważaliśmy że mogło dość tutaj do efektu działania zbliżonego do falowodu. Przez to że pomiary były prowadzone wyłącznie na korytarzu powoduje to nienaturalnie niski współczynnik gamma. Jeśli pomiary wykonywane były by w pomieszczeniach dodatkowe ściany i materiały to model bardziej by pasował. Dodatkowo podczas opracowywania sprawozdania zauważyliśmy że są pomiary które były wykonywane blisko siebie. Powoduje to za słabo rozproszone punkty pomiarowe w połączeniu z organoleptyczną oceną położenia na mapie mogło negatywnie wpłynąć na jakość danych.

Metodologia

Wszystkie obliczenia zostały wykonane w Pythonie z bibliotekami, pomiary zostały przechowywane w .xls.

Linia 364: `shapiro_stat, shapiro_p = stats.shapiro(e_i)`

Porównanie Shapiro-Wilka zostało wykonane za pomocą biblioteki SciPy.

Pozostałe obliczenia wykorzystują pandas jako wejście z Excel oraz NumPy do obliczeń wektorowych.

Podstawowe obliczenia wzorowane na instrukcji do sprawozdania zostały wykonane ręcznie, funkcje rysujące oraz refaktoryzacja została wykonana z programem Claude Code.

Źródła:

- Instrukcja do sprawozdania
- Zawarta w sprawozdania tabela 2 i 3 z oficjalnej dokumentacji ITU-R P.1238
- <https://zanotowane.pl/1/1715/>
- <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.stats.shapiro.html>

Z powodu ograniczeń na platformie ekursy załączam link do repozytorium:

<https://github.com/szymonstanek/put-lab-bsd>