

Development of a Simple Near-Ground Path Loss Model Verified by Measurements

Januar 24, 2016

Mads Gotthardsen and Thomas Jørgensen

16gr751
1st Semester WCS



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK



Agenda

Agenda

1

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Parameter
bestemmelse

Test og Målinger

Databehandling

Parameterens
betydning

Foreslået PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

- ▶ Problem introduktion
- ▶ Eksisterende modeller
- ▶ Parameter bestemmelse
- ▶ Test & målinger
- ▶ Data behandling
- ▶ Ny model
- ▶ Konklusion



Problem introduktion

Agenda

Problem introduktion

2

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Parameter
bestemmelse

Test og Målinger

Databehandling

Parameternes
betydning

Foreslået PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

- ▶ Lavstående antenner.
- ▶ Jorden og andre objekters påvirkning kan ikke længere negleres.



Problem introduktion

Agenda

Problem introduktion

3

Exiterende modeller

Parameter
bestemmelse

Parameter
bestemmelse

Test og Målinger

Databehandling

Parameterens
betydning

Foreslået PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

- ▶ Direct wave
- ▶ Reflected wave
- ▶ Surface wave



Problem introduktion

Agenda

Problem introduktion

4

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Parameter
bestemmelse

Test og Målinger

Databehandling

Parameterens
betydning

Foreslået PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

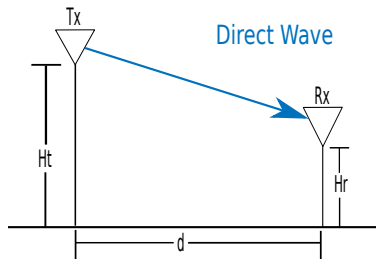
- ▶ Line of sight (LOS)
- ▶ Far field og Near field
- ▶ Scattering

Friss free space PL (FSPL):

- Only direct wave
- High heights

Conditions:

- No Multipath
- $d \gg \lambda$



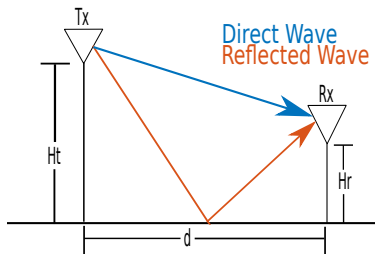
$$L_p = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

Approximated two-ray ground-reflection PL (ATRPL):

- ▶ Direct and reflected wave
- ▶ Medium heights

Conditions:

- ▶ No obstacles
- ▶ Plane surface
- ▶ $d > \frac{4\pi \cdot h_t h_r}{\lambda}$



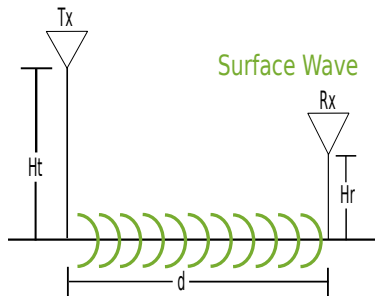
$$L_p = \left(\frac{d^2}{h_t h_r} \right)^2$$

Norton surface wave PL (NSPL):

- Only surface wave
- Low heights
- Dependent on surface constants

Conditions:

- No obstacles
- Plane surface
- $h_t, h_r > \lambda$



$$L_p = \left(d \cdot \left| \frac{\lambda}{2\pi z} \right|^{-1} \right)^4 \quad (1)$$

Exiterende modeller

Agenda

Problem introduktion

Exiterende modeller

Parameter bestemmelse

Parameter bestemmelse

Test og Målinger

Databehandling

Parameterens betydning

Foreslået PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

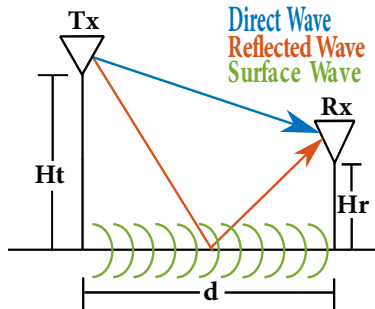
8

Ground wave PL (GWPL):

- ▶ All waves
- ▶ All heights
- ▶ Dependent on surface constants

Conditions:

- ▶ No obstacles
- ▶ Plane surface

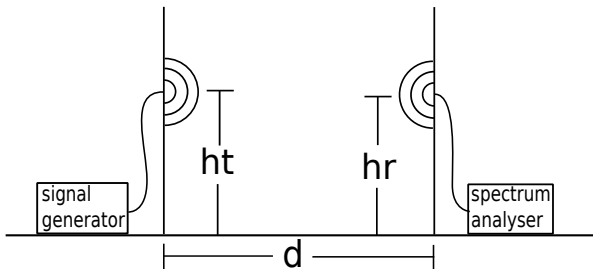


$$L_p = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \cdot \left| \underbrace{1}_{\text{Direct wave}} + \underbrace{Re^{j\Delta}}_{\text{Reflected wave}} + \underbrace{(1-R)Ae^{j\Delta}}_{\text{Surface wave}} \right|^{-2} \quad (2)$$

Measurements

- Agenda
- Problem introduktion
- Exiterende modeller
- Parameter bestemmelse**
- Parameter bestemmelse
- Test og Målinger
- Databehandling
- Parameterens betydning
- Foreslået PL model
- Model sammenligning
- z parameteren
- Konklusion

9

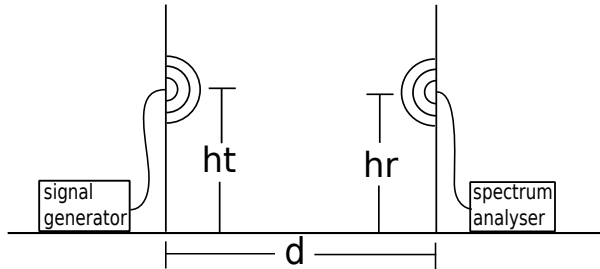


- Frequency
- Antenna sets
- Polarization
- Location
- Rx/Tx heights
- Distances

Measurements

- Agenda
- Problem introduktion
- Exiterende modeller
- Parameter bestemmelse
- Parameter bestemmelse
- Test og Målinger
- Databehandling
- Parameternes betydning
- Foreslået PL model
- Model sammenligning
- z parameteren
- Konklusion

10



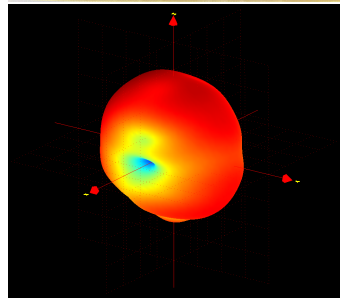
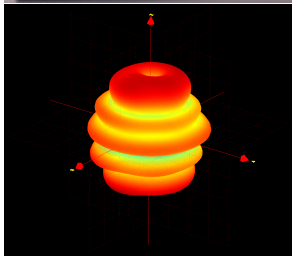
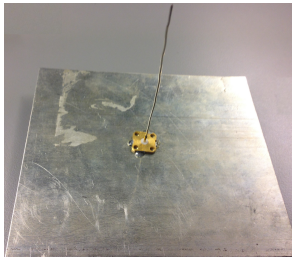
- 1 Frequency (858 MHz)
- 2 Antenna sets (monopole and patch)
- 2 Polarization (horizontal and vertical)
- 2 Location (outdoor and indoor)
- 4 Rx/Tx heights (from 0.04 to 2.02 m)
- 6 Distances (from 1 to 30 m)
- Total count : 4800 measurements



Test af antenner

- Agenda
- Problem introduktion
- Exiterende modeller
- Parameter bestemmelse
- Parameter bestemmelse
- Test og Målinger**
- Databehandling
- Parameteres betydning
- Foreslået PL model
- Model sammenligning
- z parameteren
- Konklusion

11



25

Måling af path loss

- Agenda
- Problem introduktion
- Exiterende modeller
- Parameter bestemmelse
- Parameter bestemmelse

Test og Målinger

Databehandling

Parameterens betydning

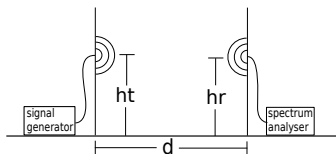
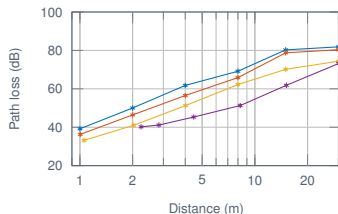
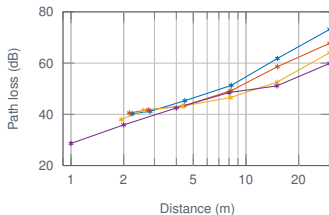
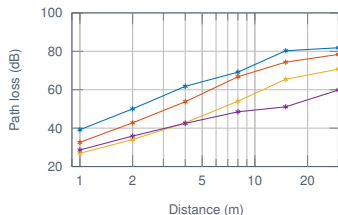
Foreslået PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

12


 $ht = 0.04 \text{ m}$

 $ht = 2.02 \text{ m}$

 $ht = hr$

 $hr = 0.08 \text{ m}$ $hr = 0.14 \text{ m}$ $hr = 0.36 \text{ m}$ $hr = 2.02 \text{ m}$

25



Databehandling

Agenda

Problem introduktion

Exiterende modeller

Parameter bestemmelse

Parameter bestemmelse

Test og Målinger

Databehandling

Parameterens betydning

Foreslået PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

- Find PL fra måling
- Find mean af PL for de forskellige parameter
- Find 95% confidence intervallet for hver parameter

$$PL = \frac{\text{Måling} \cdot \text{system tab}}{\text{Antenne gains}}$$

$$PL(par) = \text{mean}(PL_{par})$$

13

	Vertical Patch	Vertical Monopole	Horizontal Patch	Horizontal Monopole	Vertical Hal	Vertical P-plads	Horizontal Hal	Horizontal P-plads	Patch Hal	Patch P-plads	Monopole Hal	Monopole P-plads
	Hal vs P-plads					Patch vs Monopole				Vertical vs Horizontal		
+/- 5	80%	52%	53%	50%	55%	72%	25%	47%	83%	53%	53%	43%
+/- 10	10%	23%	27%	28%	37%	25%	50%	43%	13%	32%	15%	33%
+/- 15	5%	15%	10%	17%	7%	3%	13%	5%	2%	12%	15%	22%
Andre	5%	10%	10%	5%	2%	0%	12%	5%	2%	3%	17%	2%

25



Parameterens betydning

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelseParameter
bestemmelse

Test og Målinger

Databehandling

Parameterens
betydning

Foreslået PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

14

Distance	1 m	2 m	4 m
PL	(34.7 ± 1.6) dB	(41.4 ± 1.4) dB	(49.0 ± 1.7) dB

Distance	8 m	15 m	30 m
PL	(57.3 ± 2.1) dB	(66.1 ± 2.5) dB	(72.3 ± 2.3) dB

$h_t \setminus h_r$	0.04 m	0.14 m	0.36 m	2.02 m
0.04 m	(63.7 ± 5.2) dB	(60.7 ± 5.1) dB	(55.4 ± 4.7) dB	(52.4 ± 3.8) dB
0.14 m	(60.7 ± 5.1) dB	(58.1 ± 5.2) dB	(53.4 ± 4.5) dB	(50.2 ± 3.2) dB
0.36 m	(55.4 ± 4.7) dB	(53.4 ± 4.5) dB	(49.0 ± 2.9) dB	(47.6 ± 4.8) dB
2.02 m	(52.4 ± 3.8) dB	(50.2 ± 3.2) dB	(47.6 ± 4.8) dB	(44.4 ± 3.1) dB

Hal	Parkerings plads	Monopol	Patch
(52.4 ± 1.8) dB	(54.6 ± 2.2) dB	(55.6 ± 2.0) dB	(51.4 ± 2.0) dB

Vertikal	Horisontal
(51.8 ± 1.9) dB	(55.1 ± 2.1) dB

Foreslået PL model

Agenda

Problem introduktion

Exiterende modeller

Parameter
bestemmelse

Parameter
bestemmelse

Test og Målinger

Databehandling

Parameterens
betydning

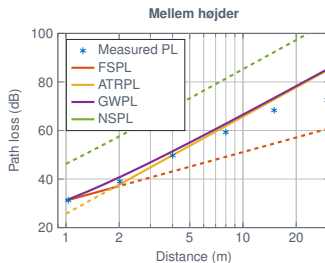
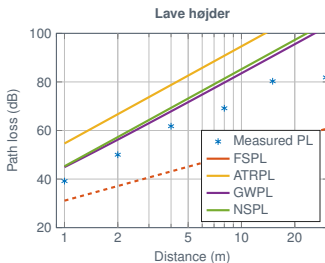
Foreslået PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

15



$$PPL = (ATRPL^{-1} + NSPL^{-1})^{-1}$$

$$PPL = \frac{d^4}{h_t^2 h_r^2 + h_0^4}$$

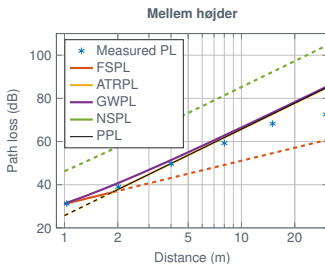
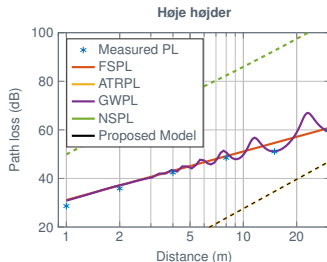
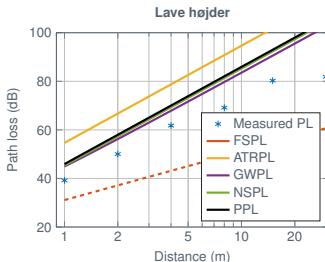


Model sammenligning

- Agenda
- Problem introduktion
- Exiterende modeller
- Parameter bestemmelse
- Parameter bestemmelse
- Test og Målinger
- Databehandling
- Parameterens betydning
- Foreslået PL model
- Model sammenligning**
- z parameteren
- Konklusion

16

25



Models	MSE	Anvendelighed
FSPL	15.95	35 %
ATRPL	141.58	65 %
GWPL	35.49	100 %
NSPL	230.05	30 %
PPL	60.18	65 %

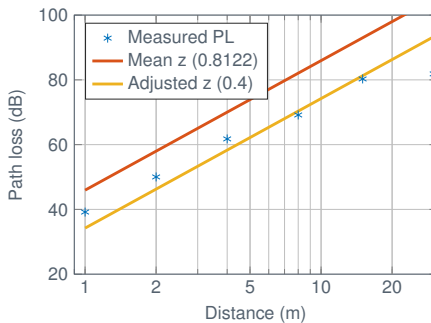
z parameteren

- Agenda
- Problem introduktion
- Exiterende modeller
- Parameter bestemmelse
- Parameter bestemmelse
- Test og Målinger
- Databehandling
- Parameterens betydning
- Foreslået PL model
- Model sammenligning
- z parameteren**
- Konklusion

17

$$Z_V = \frac{\sqrt{\epsilon_0 - \cos^2 \theta}}{\epsilon_0}$$

$$Z_H = \sqrt{\epsilon_0 - \cos^2 \theta}$$

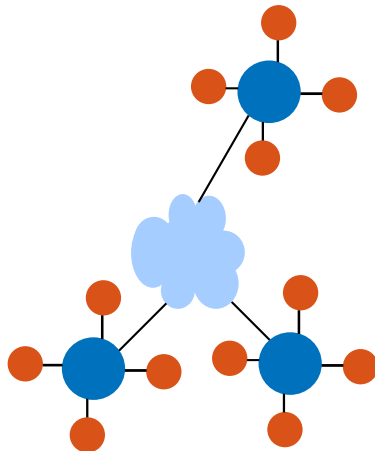




- Agenda
- Problem introduktion
- Exiterende modeller
- Parameter bestemmelse
- Parameter bestemmelse
- Test og Målinger
- Databehandling
- Parameternes betydning
- Foreslået PL model
- Model sammenligning
- z parameteren
- Konklusion

18

► Problem introduktion



25

Agenda

Problem introduktion

Exiterende modeller

Parameter bestemmelse

Parameter bestemmelse

Test og Målinger

Databehandling

Parameterens betydning

Foreslået PL model

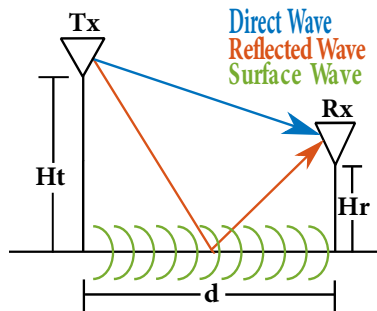
Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

19

- Problem introduktion
- Eksisterende modeller

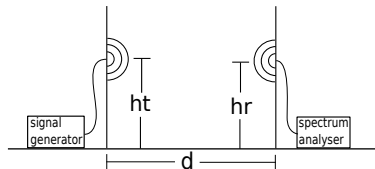


Konklusion

- Agenda
- Problem introduktion
- Existerende modeller
- Parameter bestemmelse
- Parameter bestemmelse
- Test og Målinger
- Databehandling
- Parameterens betydning
- Foreslået PL model
- Model sammenligning
- z parameteren
- Konklusion

20

- Problem introduktion
- Eksisterende modeller
- Parameter bestemmelse



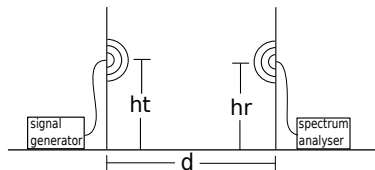
25

Konklusion

- Agenda
- Problem introduktion
- Existerende modeller
- Parameter bestemmelse
- Parameter bestemmelse
- Test og Målinger
- Databehandling
- Parameterens betydning
- Foreslået PL model
- Model sammenligning
- z parameteren
- Konklusion

21

- Problem introduktion
- Eksisterende modeller
- Parameter bestemmelse
- Test & målinger



25



Konklusion

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter bestemmelse

Parameter bestemmelse

Test og Målinger

Databehandling

Parameterernes betydning

Foreslået PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

22

- ▶ Problem introduktion
- ▶ Eksisterende modeller
- ▶ Parameter bestemmelse
- ▶ Test & målinger
- ▶ Databehandling

	Vertical Patch	Vertical Monopole Patch	Horizontal Patch	Horizontal Monopole Patch	Vertical P-plads	Horizontal P-plads	Horizontal Patch	Patch	Monopole Patch	Monopole P-plads
	Hal vs P-plads				Patch vs Monopole				Vertical vs Horizontal	
+/ - 5	80%	52%	53%	50%	55%	72%	25%	47%	63%	53%
+/ - 10	10%	23%	27%	28%	37%	25%	50%	43%	13%	32%
+/ - 15	5%	15%	10%	17%	7%	3%	13%	5%	2%	17%
Average	5%	10%	10%	15%	2%	10%	12%	3%	2%	17%

25



Konklusion

- Agenda
- Problem introduktion
- Existerende modeller
- Parameter bestemmelse
- Parameter bestemmelse
- Test og Målinger
- Databehandling
- Parameterens betydning
- Foreslået PL model
- Model sammenligning
- z parameteren
- Konklusion

23

- ▶ Problem introduktion
- ▶ Eksisterende modeller
- ▶ Parameter bestemmelse
- ▶ Test & målinger
- ▶ Databehandling
- ▶ Foreslået PL model

$$PPL = (ATRPL^{-1} + NSPL^{-1})^{-1}$$

25



Konklusion

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Parameter
bestemmelse

Test og Målinger

Databehandling

Parameterens
betydning

Foreslået PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

- ▶ Problem introduktion
- ▶ Eksisterende modeller
- ▶ Parameter bestemmelse
- ▶ Test & målinger
- ▶ Databehandling
- ▶ Foreslået PL model
- ▶ Model sammenligning

Models	MSE	Anvendelighed
FSPL	15.95	35 %
ATRPL	141.58	65 %
GWPL	35.49	100 %
NSPL	230.05	30 %
PPL	60.18	65 %



Konklusion

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Parameter
bestemmelse

Test og Målinger

Databehandling

Parameterens
betydning

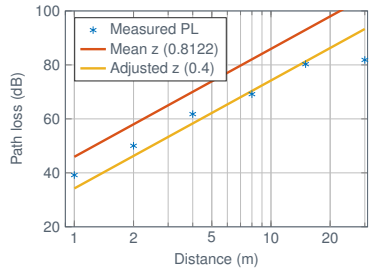
Foreslået PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

- ▶ Problem introduktion
- ▶ Eksisterende modeller
- ▶ Parameter bestemmelse
- ▶ Test & målinger
- ▶ Databehandling
- ▶ Foreslået PL model
- ▶ Model sammenligning
- ▶ z parameteren



Slut



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK