

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

Databehandling

Foreslået PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

- ▶ Problem introduktion
- ▶ Eksisterende modeller
- ▶ Parameter bestemmelse
- ▶ Test og målinger
- ▶ Databehandling
- ▶ Parameternes betydning
- ▶ Foreslået PL model
- ▶ Model sammenligning
- ▶ z parameteren
- ▶ Konklusion

Problem introduktion

Agenda

Problem introduktion

2

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

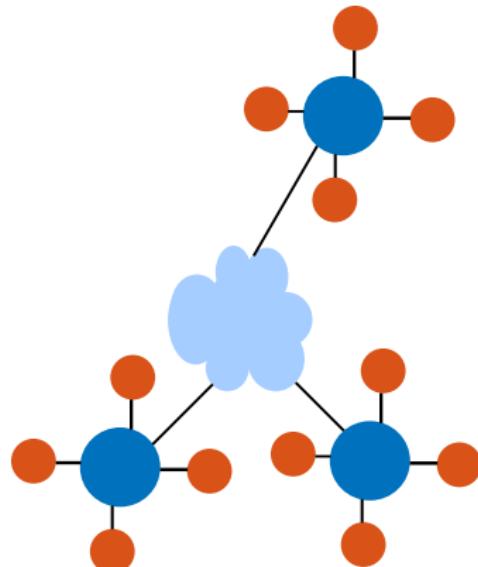
Foreslægt PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

- ▶ Lavstående antenner.
- ▶ Kommunikation mellem nodes og basestationer.
- ▶ Ikke idealle forhold
- ▶ Jorden og andre objekters påvirkning kan ikke længere negligeres.



Problem introduktion

Agenda

Problem introduktion

3

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

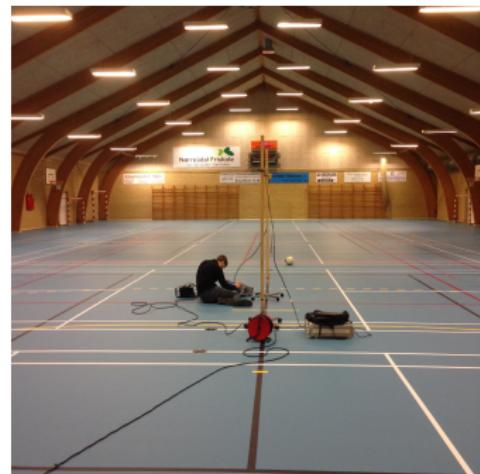
Foreslægt PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

- ▶ Projekt begrænsninger
 - ▶ Line of sight (LOS)
 - ▶ Kun refleksion fra fladt underlag
 - ▶ Ingen forstyrrende elementer
 - ▶ Konstant signal styrke



Exiterende modeller

Agenda

Problem introduktion

4

Exiterende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

Foreslægt PL model

Model sammenligning

z parameteren

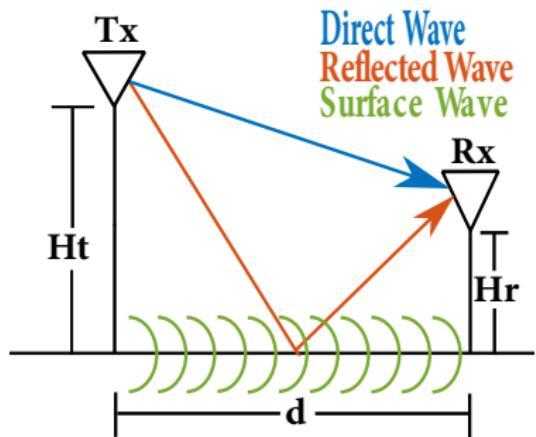
Konklusion

Ground wave PL (GWPL):

- ▶ Alle bølger
- ▶ Alle højder
- ▶ Flade konstanter nødvendige

Krav:

- ▶ LOS og ingen forstyrrende elementer
- ▶ Flad overflade



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

Exiterende modeller

Agenda

Problem introduktion

Exiterende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

Foreslægt PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

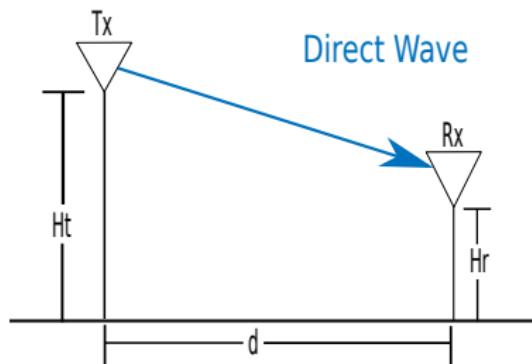
5

Friss free space PL (FSPL):

- ▶ LOS og ingen forstyrrende elementer
- ▶ Kun den direkte bølge
- ▶ Høje højder

Krav:

- ▶ Ingen reklsioner eller ekstra signaler
- ▶ LOS
- ▶ $d \gg \lambda$



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

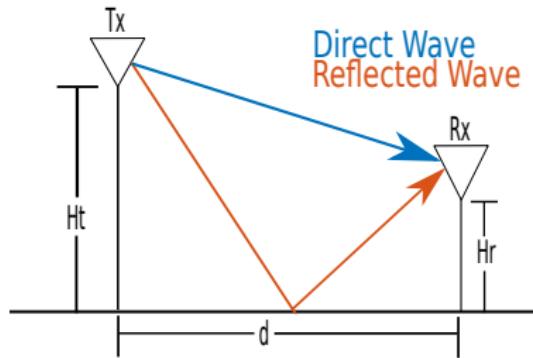
Exiterende modeller

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

- ▶ Direkte og reflekteret bølger
- ▶ Mellem højder til lave højder

Krav:

- ▶ LOS og ingen forstyrrende elementer
- ▶ Flad overflade
- ▶ $d > \frac{4\pi \cdot h_t h_r}{\lambda}$



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

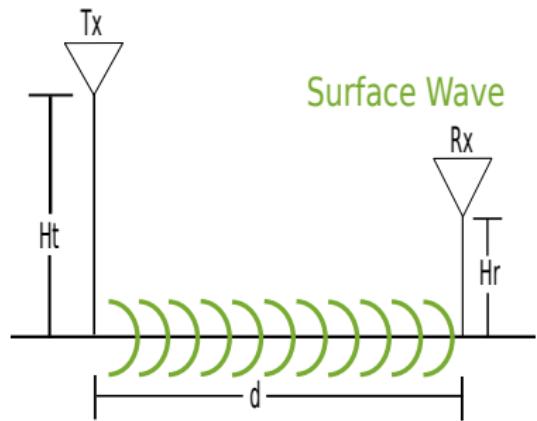
Exiterende modeller

Norton surface wave PL (NSPL):

- ▶ Overflade bølgen
- ▶ Lave højder
- ▶ Flade konstanter nødvendige

Krav:

- ▶ LOS og ingen forstyrrende elementer
- ▶ Flad overflade
- ▶ $h_t, h_r > \lambda$



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

Parameter bestemmelse

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

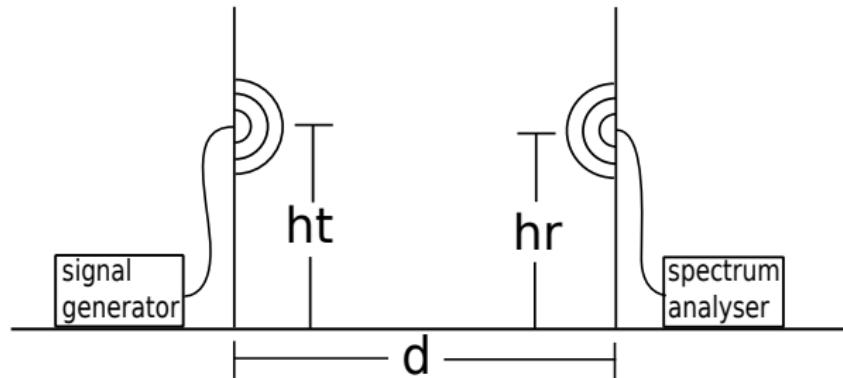
Foreslægt PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

8



- ▶ Frekvenser
- ▶ Antenne par
- ▶ Polarisering
- ▶ Lokationer
- ▶ Rx/Tx højder
- ▶ Afstande

Parameter bestemmelse

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

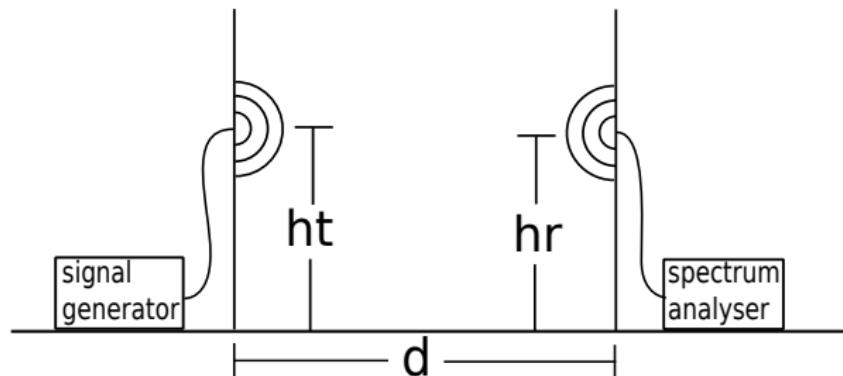
Foreslæt PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

9



- ▶ Flere målinger per punkt (10 stk.)

Parameter bestemmelse

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

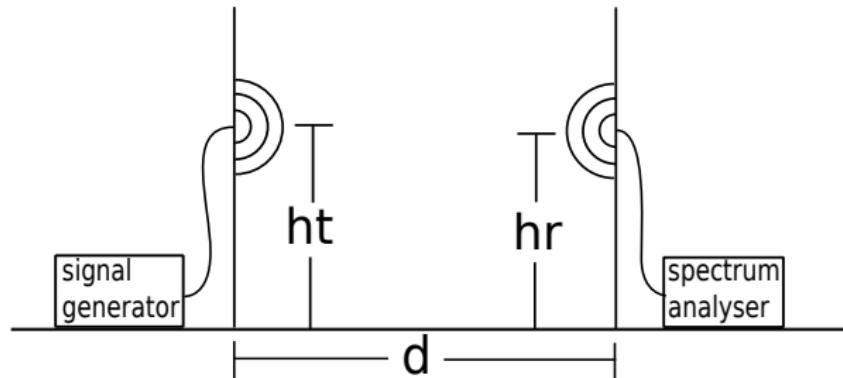
Foreslægt PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

9



- ▶ Flere målinger per punkt (10 stk.)
- ▶ Antal af de forskellige parameter
 - ▶ Hvis der er 2 af hver parameter, vil det kræve 1280 målinger
 - ▶ Hvis der er 5 af hver parameter, vil det kræve 781250

Parameter bestemmelse

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

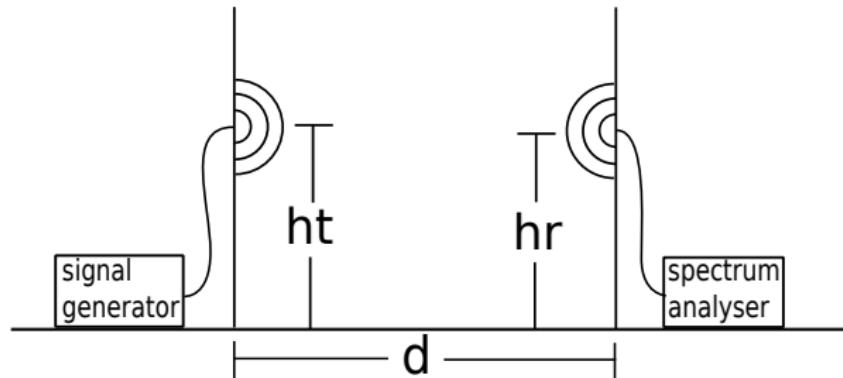
Foreslægt PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

9



- ▶ Flere målinger per punkt (10 stk.)
- ▶ Antal af de forskellige parameter
 - ▶ Hvis der er 2 af hver parameter, vil det kræve 1280 målinger
 - ▶ Hvis der er 5 af hver parameter, vil det kræve 781250
- ▶ Noget skal der gøres ved dette!

Parameter bestemmelse

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

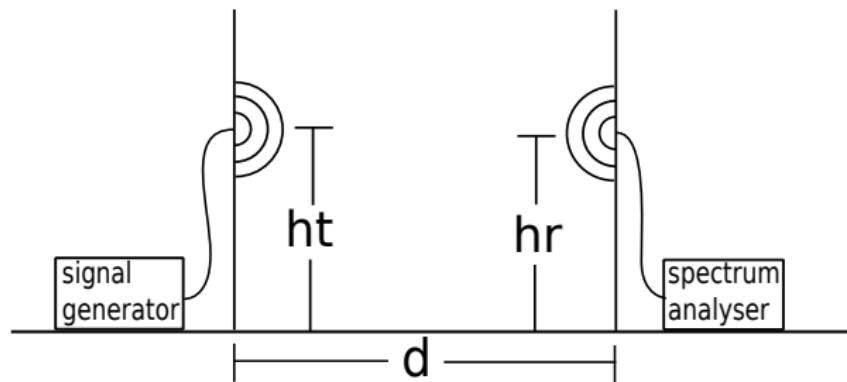
Foreslægt PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

10



- ▶ Vigtige parameter:
 - ▶ Højder og afstande
- ▶ Mindre vigtige parameter:
 - ▶ Antenner, polarisering, grekvens og lokation

Parameter bestemmelse

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

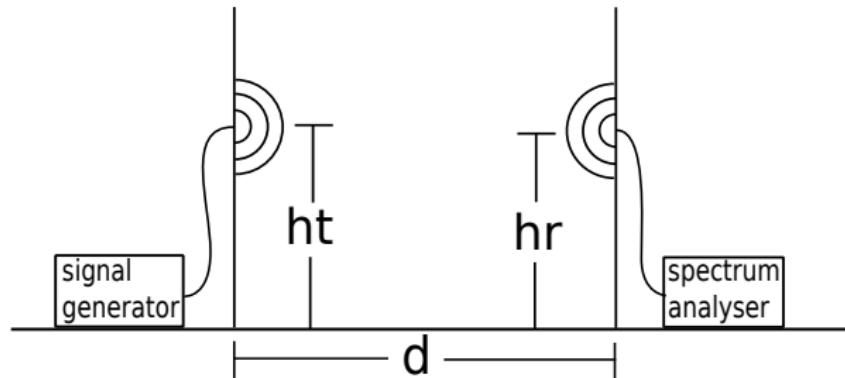
Foreslæt PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

11



- ▶ Frekvens
 - ▶ Kræver helt nye antenner per frekvens
- ▶ Antenne par
 - ▶ Kræver to antenner, en til at sende og en til at modtage
 - ▶ Simple konstruktion, samt isometrisk udstråling
 - ▶ Monopol og patch antenner

Parameter bestemmelse

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

12

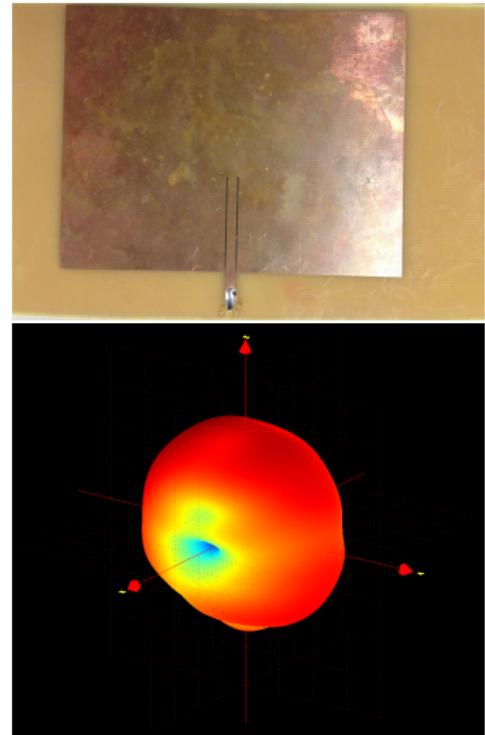
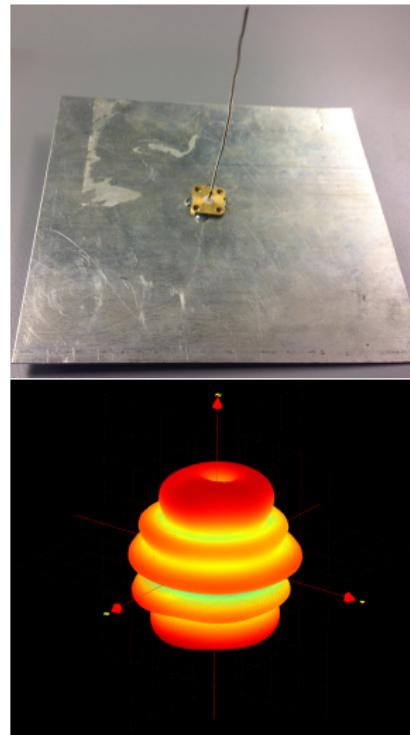
Databehandling

Foreslægt PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion



Parameter bestemmelse

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

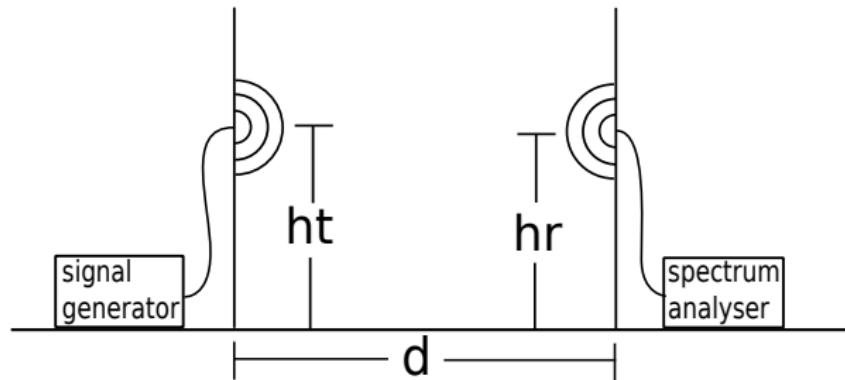
Foreslægt PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

13



- ▶ Polarisering
 - ▶ Lodret og vandret polarisering
- ▶ Lokationer
 - ▶ Vind og vejr for udendørs
 - ▶ Vægge og pladskapacitet for indedørs
 - ▶ Tilgængelighed

Parameter bestemmelse

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

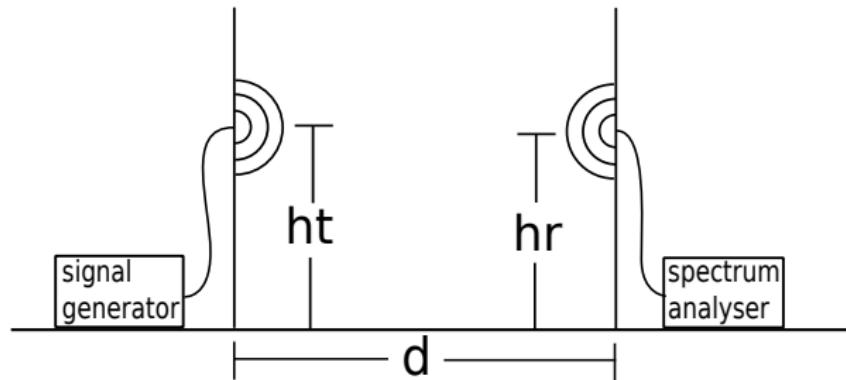
Foreslægt PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

14



- ▶ Højder
 - ▶ Spejlvending i sender og modtager højderne
 - ▶ Flere højder i de lave højder
- ▶ Afstande
 - ▶ Plads i længde og bredde
 - ▶ Logaritmisk fordelt

Parameter bestemmelse

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

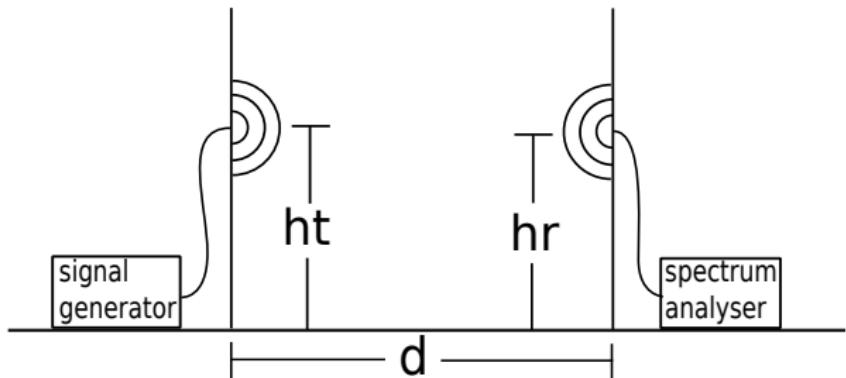
Foreslægt PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

15



- ▶ 1 Frekvenser (858 MHz)
- ▶ 2 Antenne par (monopol and patch)
- ▶ 2 Polarisering (vandret and lodret)
- ▶ 2 Lokationer (inde- og udendørs)
- ▶ 10 Rx/Tx højder kombinationer (fra 0.04 til 2.02 m)
- ▶ 6 Afstande (fra 1 til 30 m)
- ▶ Total : 4800 målinger

Databehandling

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

16

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

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

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

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



Parameternes betydning

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

17

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

Foreslægt PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

$h_t \setminus h_r$	0.04 m	0.14 m	0.36 m	2.02 m
0.04 m	(63.7±5.2) dB	-	-	-
0.14 m	(60.7±5.1) dB	(58.1±5.2) dB	-	-
0.36 m	(55.4±4.7) dB	(53.4±4.5) dB	(49.0±2.9) 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

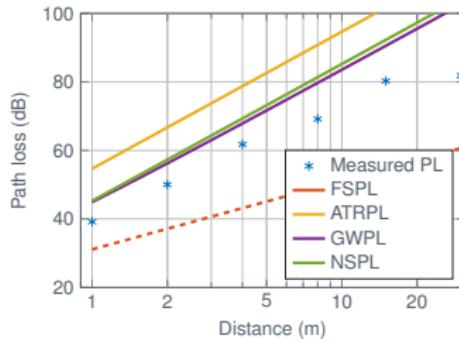
Vertikal	Horisontal
(51.8±1.9) dB	(55.1±2.1) dB

Foreslæt PL model

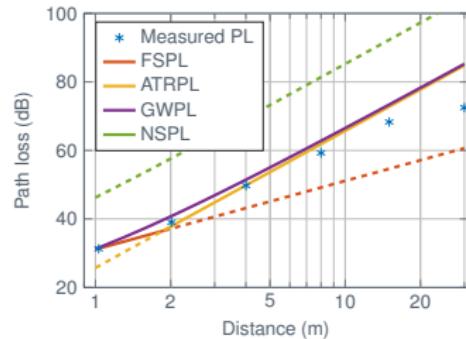
- Agenda
- Problem introduktion
- Existerende modeller
- Parameter bestemmelse
- Databehandling
- Foreslæt PL model
- Model sammenligning
- z parameteren
- Konklusion

18

Lave højder



Mellem højder

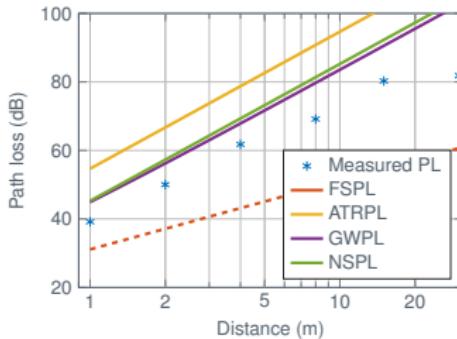


Foreslået PL model

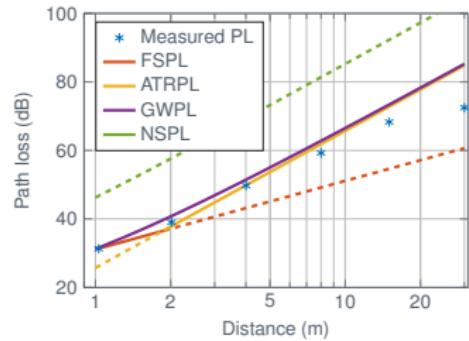
- Agenda
- Problem introduktion
- Existerende modeller
- Parameter bestemmelse
- Databehandling
- Foreslået PL model
- Model sammenligning
- z parameteren
- Konklusion

18

Lave højder



Mellem højder

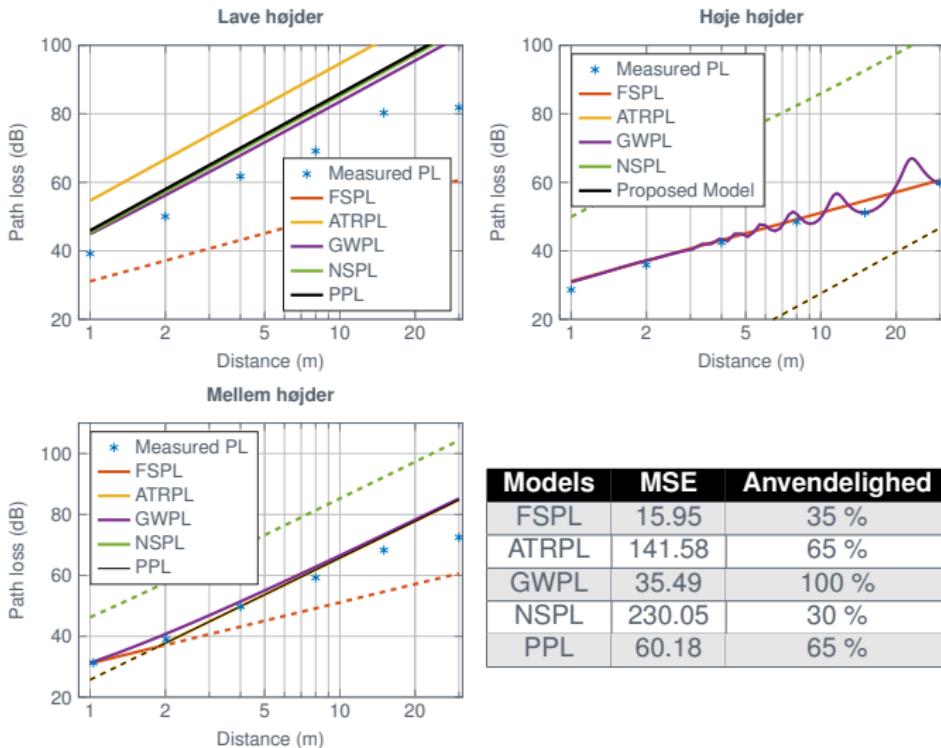


$$PPL = (ATRPL^{-1} + NSPL^{-1})^{-1}$$

$$PPL = \frac{d^4}{h_t^2 h_r^2 + \left| \frac{\lambda}{2\pi z} \right|^4}$$

Model sammenligning

- Agenda
- Problem introduktion
- Existerende modeller
- Parameter bestemmelse
- Databehandling
- Foreslægt PL model
- Model sammenligning** 19
- z parameteren
- Konklusion



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

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

Foreslægt PL model

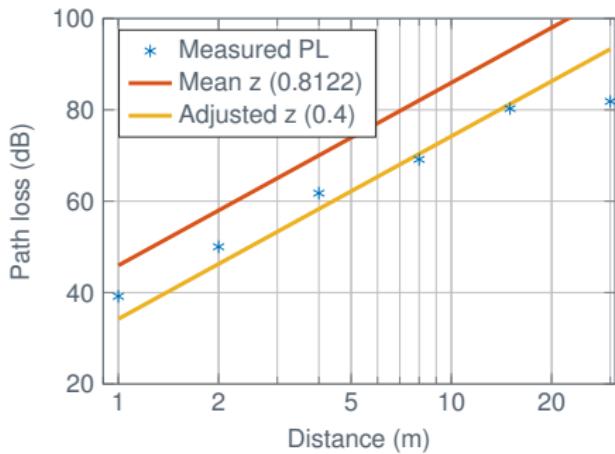
Model sammenligning

z parameteren

20

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

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



Konklusion

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

Foreslægt PL model

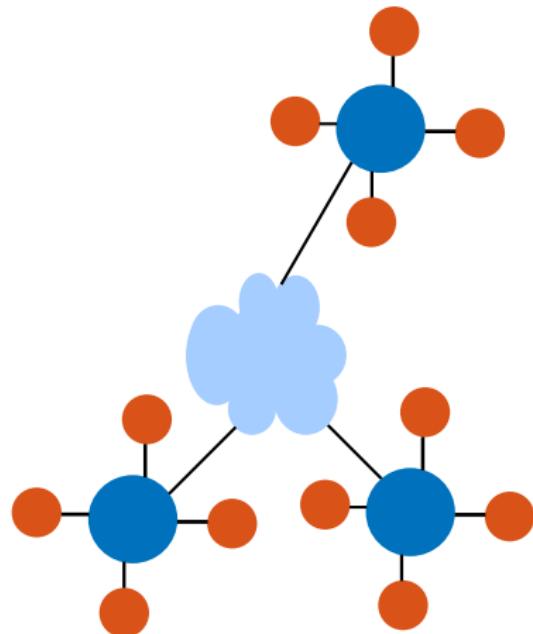
Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

21

► Problem introduktion



Konklusion

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

Foreslægt PL model

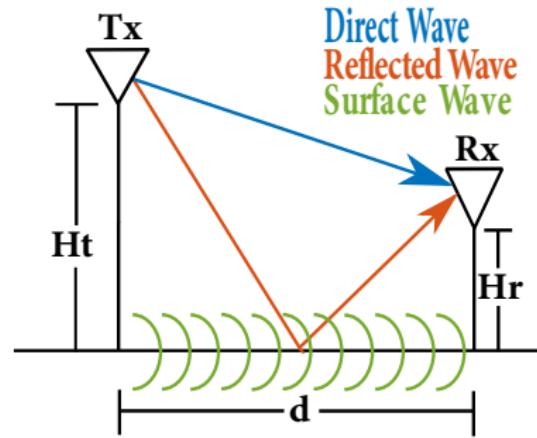
Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

22

- ▶ Problem introduktion
- ▶ Eksisterende modeller



Konklusion

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

Foreslægt PL model

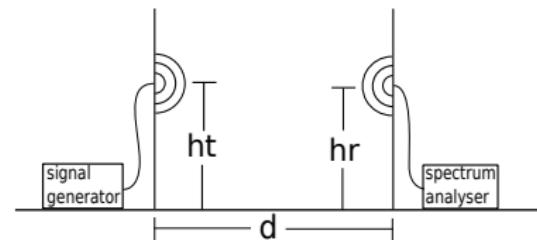
Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

23

- ▶ Problem introduktion
- ▶ Eksisterende modeller
- ▶ Parameter bestemmelse



Konklusion

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

Foreslæt PL model

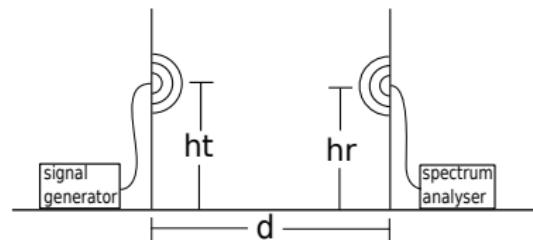
Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

24

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



Konklusion

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

Foreslægt PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

25

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

	Vertical Patch	Vertical Monopole Patch	Horizontal Monopole	Vertical Patch vs Monopole	Horizontal Patch	P-plads Hal	P-plads Hal vs P-plads	Patch Hal	Monopole Hal	Monopole Monopole
n=5	80%	52%	53%	50%	55%	72%	25%	47%	83%	53%
-/- 10	10%	23%	27%	28%	37%	25%	50%	41%	13%	37%
0/- 15	5%	15%	10%	17%	7%	3%	13%	5%	2%	12%
total	3%	10%	9%	5%	3%	6%	12%	3%	2%	1%



Konklusion

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

Foreslået PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

26

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

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

Konklusion

Agenda

Problem introduktion

Existerende modeller

Parameter
bestemmelse

Databehandling

Foreslået PL model

Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

27

- ▶ 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

Databehandling

Foreslået PL model

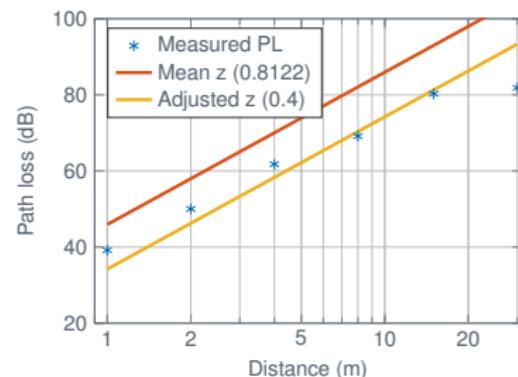
Model sammenligning

z parameteren

Konklusion

28

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



Slut



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK