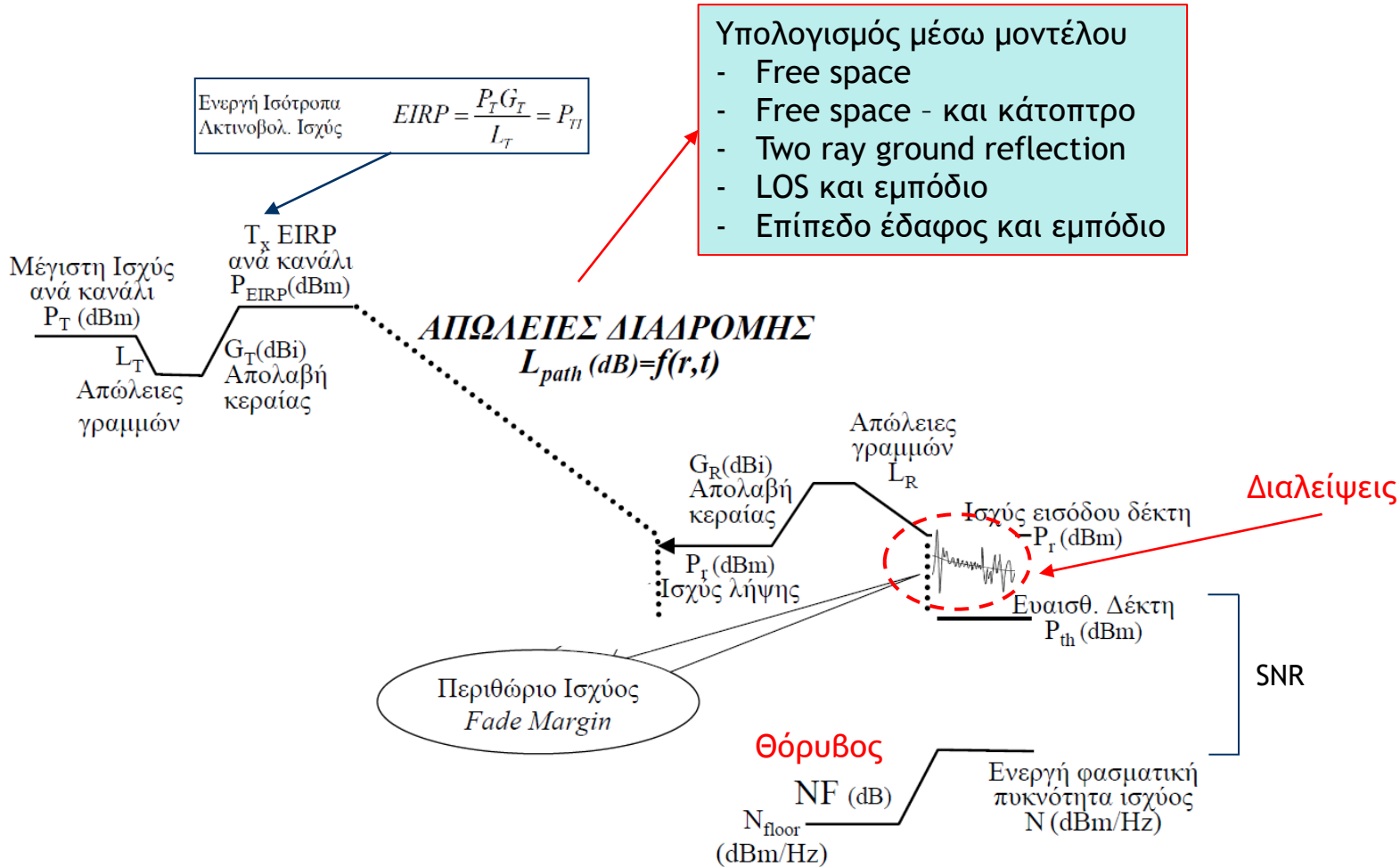


Ισοζύγιο Ζεύξης (Link budget)



Θόρυβος δέκτη: Noise floor (αναπόφευκτο) + Noise figure (κατασκευαστικό)

Ισοζύγιο Ζεύξης - Θόρυβος

- **Θόρυβος:** οποιοδήποτε σήμα που δεν ανήκει στο σήμα που μεταφέρει την πληροφορία
 - Ο θόρυβος είναι συνήθως:
 - Στοχαστικός (Gaussian)
 - λευκός: έχει την ίδια ισχύ σε όλες τις συχνότητες
 - προσθετικός: δρα προσθετικά στο μεταδιδόμενο σήμα
- ➔ AWGN κανάλι
- Το επίπεδο θορύβου (ισχύς) εκφράζεται σε σχέση με το μεταδιδόμενο σήμα από το λόγο ισχύος σήματος προς θόρυβο (S/N ή SNR) ή σηματοθορυβική σχέση

Ισοζύγιο Ζεύξης - Θόρυβος

- Υπάρχουν πολλά είδη θορύβου ανάλογα με τα αίτια δημιουργίας του
 - θόρυβος από παρεμβολές
 - θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης
 - θόρυβος από εξωτερικές πηγές
 - **θερμικός θόρυβος (Noise floor)**
- **Θόρυβος από παρεμβολές**
 - δημιουργείται από την επίδραση του σήματος ενός χρήστη στο σήμα κάποιου άλλου
 - εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται από κοινού το κανάλι (μηχανισμός πρόσβασης)
- **Θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης**
 - δημιουργείται λόγω ατέλειας των τηλεπικοινωνιακών διατάξεων
- **Θόρυβος από εξωτερικές πηγές**
 - πολλές συσκευές λόγω κατασκευαστικών ατελειών παράγουν εκπομπές σε διάφορες συχνότητες
 - συχνή είναι η δημιουργία παλμών θορύβου (κρουστικός θόρυβος)
 - μεγάλη ισχύς σε μικρή διάρκεια

Ισοζύγιο Ζεύξης - Θόρυβος

➤ Θερμικός θόρυβος: $N_o = k \cdot T$

- k – σταθερά του Boltzmann,
- T – θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin
- Εύρος φάσματος - Bandwidth

- προκαλείται στον πομπό και στο δέκτη
- αιτία: θερμική κίνηση των ηλεκτρονίων
- εξαρτάται από τη θερμοκρασία
- δεν μπορεί να εξαλειφθεί

- **Noise Figure (NF σε dB)** αποτελεί τον θόρυβο που δημιουργεί ηλεκτρονική διάταξη του δέκτη, και προστίθεται στο Noise Floor

Σε θερμοκρασία δωματίου, 100kHz

$$N_o = -174 \text{ dBm} / \text{Hz}$$

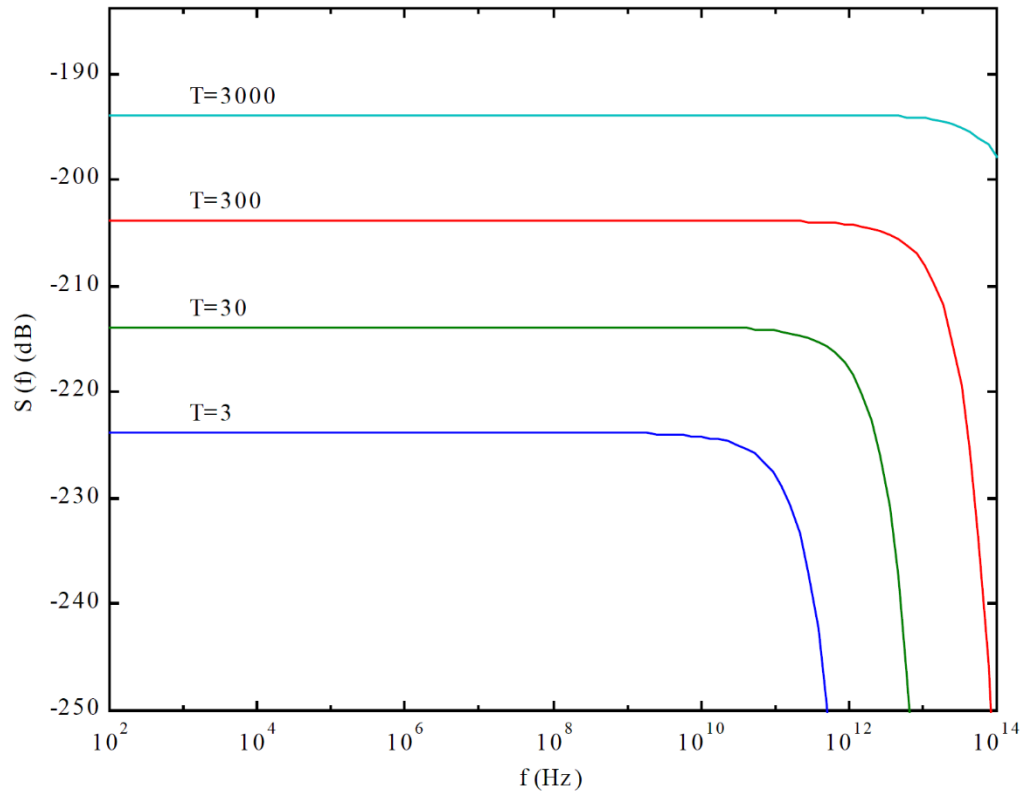


$$N = -174 + 10 \log(B_{\text{Hz}})$$



Noise Floor (dBm)

Ισοζύγιο Ζεύξης – Θερμικός θόρυβος



Power Spectral Density of Thermal Noise

$$S(f) = \frac{hf}{\exp\left\{\frac{hf}{kT}\right\} - 1}$$

$$h = 6.6254 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J} / \text{K}$$

for $hf \ll kT$

$$S(f) \approx kT$$

$$N_0 = kT_{eq}$$

Link budget

Ενεργή Ισότροπα
Λακτινοβολ. Ισχύς

$$EIRP = \frac{P_T G_T}{L_T} = P_{TI}$$

Μέγιστη Ισχύς
ανά κανάλι
 P_T (dBm)

L_T
Απώλειες
γραμμών

T_x EIRP
ανά κανάλι
 P_{EIRP} (dBm)

G_T (dBi)
Απολαβή
κεραίας

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ
 $L_{path} (dB) = f(r, t)$

- Υπολογισμός μέσω μοντέλου
- Free space
 - Free space - και κάτοπτρο
 - Two ray ground reflection
 - LOS και εμπόδιο
 - Επίπεδο έδαφος και εμπόδιο
 - Απώλειες περιθλασης από Πολλαπλά εμπόδια

G_R (dBi)
Απολαβή
κεραίας

L_R
Απώλειες
γραμμών

P_r (dBm)
Ισχύς λήψης

Διαλείψεις
Ισχύς εισόδου δέκτη
 P_r (dBm)

Ευαισθ. Δέκτη
 P_{th} (dBm)

? dB εξαρτάται από την
θερμοκρασία και τον
εκάστοτε δέκτη

Περιθώριο Ισχύος
Fade Margin

Θόρυβος

NF (dB)

N_{floor} (dBm/Hz)

Ενεργή φασματική
πυκνότητα ισχύος
N (dBm/Hz)

SNR

-174dBm

$$N = -174 + 10 \log(B_{Hz})$$

$$SNR = (E_b / N_o) * (R / B_T)$$

Παράδειγμα

- Σε ζεύξη με πανκατευθυντικές κεραιές, σε απόσταση $d=1\text{km}$ και $f=1\text{GHz}$
- Δέκτης σε θερμοκρασία δωματίου ($N_0=-174\text{dBm/Hz}$), Noise Figure=15dB,
- Απώλειες Path loss ελευθέρου χώρου, $32.4+20\log d+20\log f$
- Επιθυμούμε $E_b/N_0=13\text{ dB}$, $R = 40\text{kbps}$, $B=80\text{kHz}$
- Ποια η ελάχιστη ισχύ εκπομπής?

Παράδειγμα

- Σε ζεύξη με πανκατευθυντικές κεραίες, σε απόσταση $d=1\text{km}$ και $f=1\text{GHz}$
- Δέκτης σε θερμοκρασία δωματίου ($N_0=-174\text{dBm/Hz}$), Noise Figure= 15dB ,
- Απώλειες Path loss ελευθέρου χώρου, $32.4+20\log d+20\log f$
- Επιθυμούμε $E_b/N_0=13\text{ dB}$, $R = 40\text{kbps}$, $B=80\text{kHz}$
- Ποια η ελάχιστη ισχύ εκπομπής?

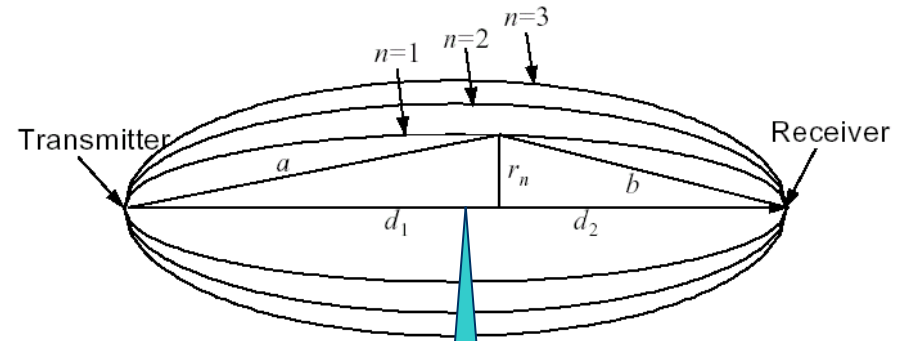
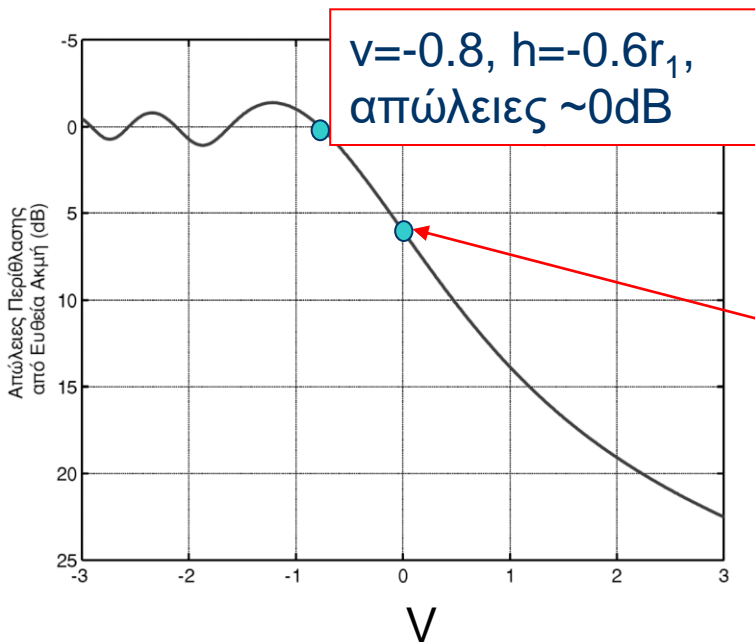
- Λύση
- $L = 32.4+20\log 1+20\log 10^3=92.4\text{dB}$
- $E_b/N_0=13\text{ dB} \rightarrow E_b/N_0=20$
- $E_b/N_0 \cdot (R/B) = 20(40/80) = 10 \rightarrow \text{SNR}=10\text{ dB}$

- $\text{NoiseFloor} + \text{NF} + \text{SNR} + \text{FM} = P_{\text{tr}} + G_{\text{tr}} + G_r - L \dots$ (λύνω ως προς P_{tr})

- $\text{NoiseFloor} = -174 + 10\log(B_{\text{Hz}})$

Παράδειγμα

- Στην ίδια ζεύξη
- Εμπόδιο ευθείας ακμής καλύπτει τη μισή ζώνη Fresnel
- Ποια η ελάχιστη ισχύ εκπομπής?



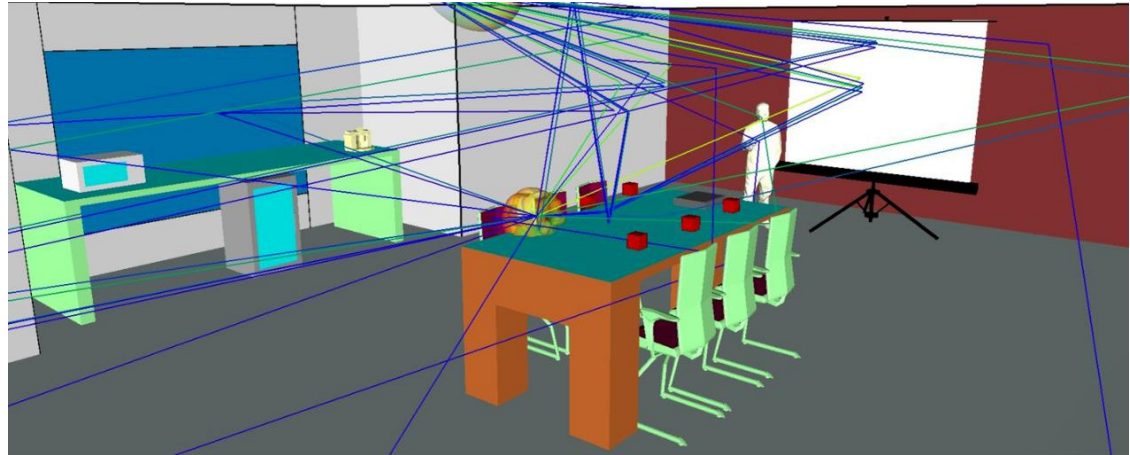
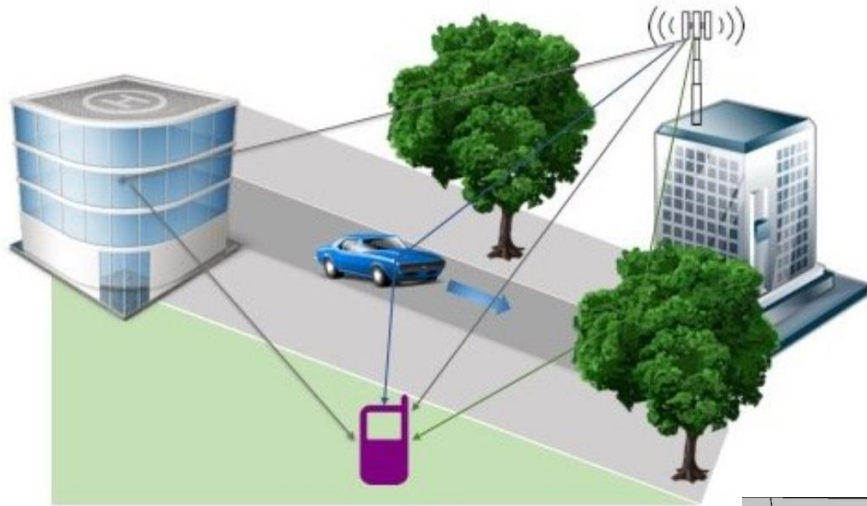
$v=0, h=0$, απώλειες $\sim 6\text{dB}$

Απάντηση: Χρειαζόμαστε ισχύ 6dB επιπλέον (όσες και οι επιπλέον απώλειες)

Ασύρματες Ζεύξεις

Εμπειρικά Μοντέλα

Περιορισμοί αναλυτικών μοντέλων σε περίπλοκα περιβάλλοντα



Απώλειες διαδρομής και εμπειρικά μοντέλα διάδοσης

- Ασύρματα Συστήματα Επικοινωνιών
 - Δεν πληρούνται οι συνθήκες διάδοσης ελεύθερου χώρου
 - Η/Μ σήματα διαδίδονται σε πιο πολύπλοκα περιβάλλοντα
 - Ανάκλαση, περίθλαση, διάχυση στο έδαφος, κτήρια και αντικείμενα
 - Απώλειες διάδοσης εξαρτώνται και από
 - Ύψη κεραιών, γεωμετρικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά σκεδαστών και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά
 - Αναλυτική μοντελοποίηση απαιτεί επίλυση εξισώσεων με κατάλληλες συνθήκες
 - Δυσκολία υπολογισμού όλων των παραμέτρων
 - Ανάπτυξη προσεγγιστικών μοντέλων για τον χαρακτηρισμό ραδιοδιαύλου και απωλειών διάδοσης

Απώλειες διαδρομής και εμπειρικά μοντέλα διάδοσης

- Προσεγγιστικά μοντέλα – Παράμετροι
 - Συχνότητα λειτουργίας, τύπος περιοχής (αστική, αγροτική, με λόφους κλπ), απόσταση πομπού – δέκτη, ύψος κεραιών
 - Γεωγραφικά χαρακτηριστικά: Προσανατολισμός δρόμων, μέσο ύψος κτηρίων, απόσταση οικοδομικών τετραγώνων, μορφολογία περιοχής στην ευθεία πομπού-δέκτη, παρουσία δένδρων, ηλεκτρικά χαρακτηριστικά επιφανειών κτηρίων και εδάφους
 - Έκφραση μέσης λαμβανόμενης ισχύος P_r ή μέσων απωλειών διάδοσης (PL) σε απόσταση d , συναρτήσει της ισχύος/απωλειών σε σημείο αναφορά d_0
 - Η μέση τιμή στο σημείο d_0 = μέση τιμή μετρήσεων στο περιβάλλον εφαρμογής σε απόσταση d_0

Απώλειες διαδρομής και εμπειρικά μοντέλα διάδοσης

- Απλή μέθοδος των τριών για σχέση ισχύος με απόσταση
- Αντιστρόφως ανάλογη με συντελεστή εξασθένισης

$$\begin{array}{cc} \text{Pr}(d_0) & \begin{array}{l} \nearrow \\ \searrow \end{array} & \left(\frac{1}{d_0}\right)^n \\ & & \\ \text{Pr}(d) & \begin{array}{l} \nwarrow \\ \nearrow \end{array} & \left(\frac{1}{d}\right)^n \end{array}$$

- Το πιο απλό εμπειρικό μοντέλο, λαμβάνοντας υπόψη μόνο την απόσταση, όχι άλλες παραμέτρους (συχνότητα, ύψη κεραιών, κτλ).

Απώλειες διαδρομής και εμπειρικά μοντέλα διάδοσης

- Απόσταση d_0 στο μακρινό πεδίο της κεραίας του πομπού και μικρότερη από κάθε πιθανή χρησιμοποιούμενη απόσταση

$$P_r(d) = P_r(d_0) \left(\frac{d_0}{d} \right)^2, d > d_0 > \frac{2D^2}{\lambda}$$

Εκτός περιοχής Fresnel, D ύψος κεραίας

$$P_r(d)[dB] = P_r(d_0)[dB] + 10 \log \left(\frac{d_0}{d} \right)^2$$

Μπορούσαμε να αναλύσουμε παραπάνω

- d_0 1km για μακροκυψελωτά, 100m για μικροκυψελωτά και 1m για τικοκυψελωτά εσωτερικού χώρου

$$P_r = P_t - PL$$



$$PL(d)(dB) = PL(d_0)(dB) + 10 \log \left(\frac{d}{d_0} \right)^2$$

Απώλειες διαδρομής και εμπειρικά μοντέλα διάδοσης

Πολ/στής	Κέρδος
x 1	0 dB
x 1.26	1 dB
x 1.58	2 dB
x 2	3 dB
x 2.51	4 dB
x 3	4.77 dB
x 3.16	5 dB
x 4	6 dB
x 5	7 dB
x 6	7.8 dB
x 6.31	8 dB
x 7	8.45 dB
x 8	9 dB
x 9	9.54 dB
x 10	10 dB
x 20	13 dB
x 100	20 dB
x 400	26 dB

dBm	Watts	dBm	Watts	dBm	Watts
0	1.0 mW	16	40 mW	32	1.6 W
1	1.3 mW	17	50 mW	33	2.0 W
2	1.6 mW	18	63 mW	34	2.5 W
3	2.0 mW	19	79 mW	35	3.2 W
4	2.5 mW	20	100 mW	36	4.0 W
5	3.2 mW	21	126 mW	37	5.0 W
6	4 mW	22	158 mW	38	6.3 W
7	5 mW	23	200 mW	39	8.0 W
8	6 mW	24	250 mW	40	10 W
9	8 mW	25	316 mW	41	13 W
10	10 mW	26	398 mW	42	16 W
11	13 mW	27	500 mW	43	20 W
12	16 mW	28	630 mW	44	25 W
13	20 mW	29	800 mW	45	32 W
14	25 mW	30	1.0 W	46	40 W
15	32 mW	31	1.3 W	47	50 W

Εκθετικό μοντέλο διάδοσης (μοντέλο απλής κλίσης)

- Απλό μοντέλο με εκθετικό συντελεστή απωλειών διάδοσης / εξασθένησης n

$$P_r(d, n) = P_r(d_0)(dBm) - 10 \log \left(\frac{d}{d_0} \right)^n$$

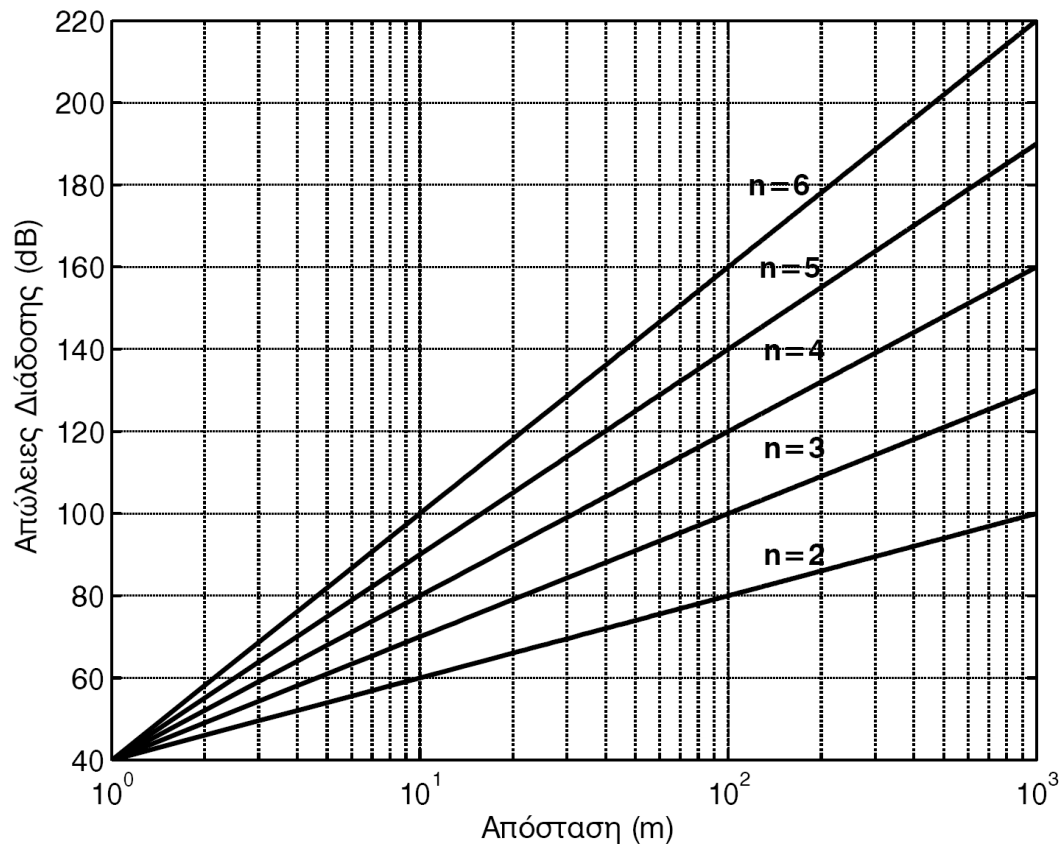
Γιατί και μικρότερο
από 2;
Κυματοδήγηση

- Τυπικές τιμές n : macrocells 2-4, picocells **1.6**-8

$$PL(d) = PL(d_0) + 10 \log \left(\frac{d}{d_0} \right)^n$$

Εκθετικό μοντέλο διάδοσης (μοντέλο απλής κλίσης)

- Διαφορετικό n για διαφορετικό περιβάλλον διάδοσης (εμπόδια, υλικό, κτλ)



Μοντέλο EGLI

- Κατάλληλο για ανώμαλο έδαφος αλλά όχι ψηλά φυσικά εμπόδια (πχ λόφοι <15μ)
- Συχνότητες 900-1000MHz

Τιμή σε dB

$$P_r(d) = 20 \log_{10}(h_{BS} h_{MS}) - 40 \log_{10}(d) + 20 \log_{10} \left(\frac{40}{f_{MHz}} \right)$$

- Εξίσωση διάδοσης επίπεδης επιφάνειας με 4^η δύναμη εξάρτησης ισχύος από την απόσταση
- Επιπλέον απώλεια εξαρτάται από συχνότητα και φύση του εδάφους
- Ποια είναι η λαμβανόμενη τιμή σε Watt αντί για dB?
- Θα μπορούσαμε να το προσεγγίσουμε με τη λογική (αριθμητή/παρονομαστή)?
- Ποιο ακριβές σε σχέση με το απλό μοντέλο