

# Εκθετικό μοντέλο διάδοσης (μοντέλο απλής κλίσης)

- Απλό μοντέλο με εκθετικό συντελεστή απωλειών διάδοσης / εξασθένησης  $n$

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

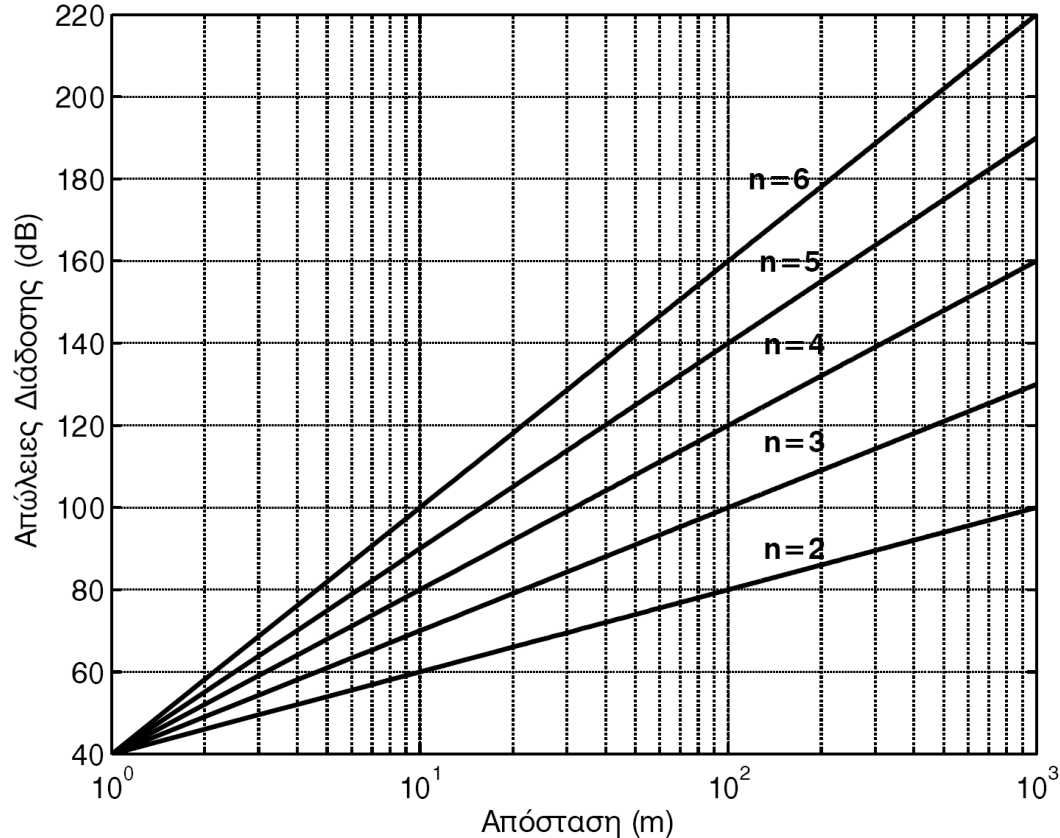
Γιατί και μικρότερο  
από 2;  
Κυματοδήγηση

- 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<sup>η</sup> 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

# Μοντέλο Okumura – Hata

- Εμπειρικό μοντέλο
  - **Okumura** ανέπτυξε εμπειρική προγνωστική μέθοδο με χρήσιμες καμπύλες για κάθε παράμετρο (τόμοι μετρήσεων!)
    - Ένταση πεδίου και περιοχή εξυπηρέτησης στο Τόκιο σε συχνότητες 150, 450 και 900 MHz
  - **Hata** απλοποίησε το δύσχρηστο μοντέλο αυτό δίνοντας απλοποιημένες **παραμετρικές εξισώσεις** που ισχύουν για προκαθορισμένο εύρος τιμών και διαφέρουν ανάλογα με το περιβάλλον διάδοσης
- $f_c$ : συχνότητα φέροντος

$$150 \leq f_c \leq 1500 \text{MHz}$$

$$30 \leq h_{BS} \leq 200 \text{m}$$

$$1 \leq h_{MS} \leq 10 \text{m}$$

$$1 \leq d \leq 20 \text{km}$$

# Μοντέλο Okumura – Hata

- Αξιόπιστα αποτελέσματα για μακροκυψελωτά σε κατοικημένες περιοχές
- Απώλειες διάδοσης εξαρτώνται από τον τύπο της περιοχής
- Αστικό περιβάλλον (μέση τιμή - 50%)

Μέσος όρος απωλειών (50%)

$$L_{50}(dB) = 69.55 + 26.16 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_{BS} - a(h_{MS}) + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_{BS}) \log_{10} d$$

- $a(h_{MS})$  διορθωτικός παράγοντας ανάλογα με το ύψος κεραίας σταθμού – εφαρμογή μόνο όταν η κεραία πάνω από τις στέγες των σπιτιών

$$\alpha(h_{MS}) = (1.1 \log_{10} f_c - 0.7)h_{MS} - (1.56 \log_{10} f_c - 0.8)$$
$$\alpha(h_{MS}) = \begin{cases} 8.29(\log_{10} 1.54h_{MS})^2 - 1.1 & f_c \leq 200MHz \\ 3.2(\log_{10} 11.75h_{MS})^2 - 4.97 & f_c \geq 400MHz \end{cases}$$

# Μοντέλο Okumura – Hata

## ➤ Προαστιακό περιβάλλον

$$L_{50}(dB) = L_{50}(Urban) - 2 \left[ \log_{10} \left( \frac{f_c}{28} \right) \right]^2 - 5.4$$

Λιγότερα εμπόδια  
Λιγότερες απώλειες

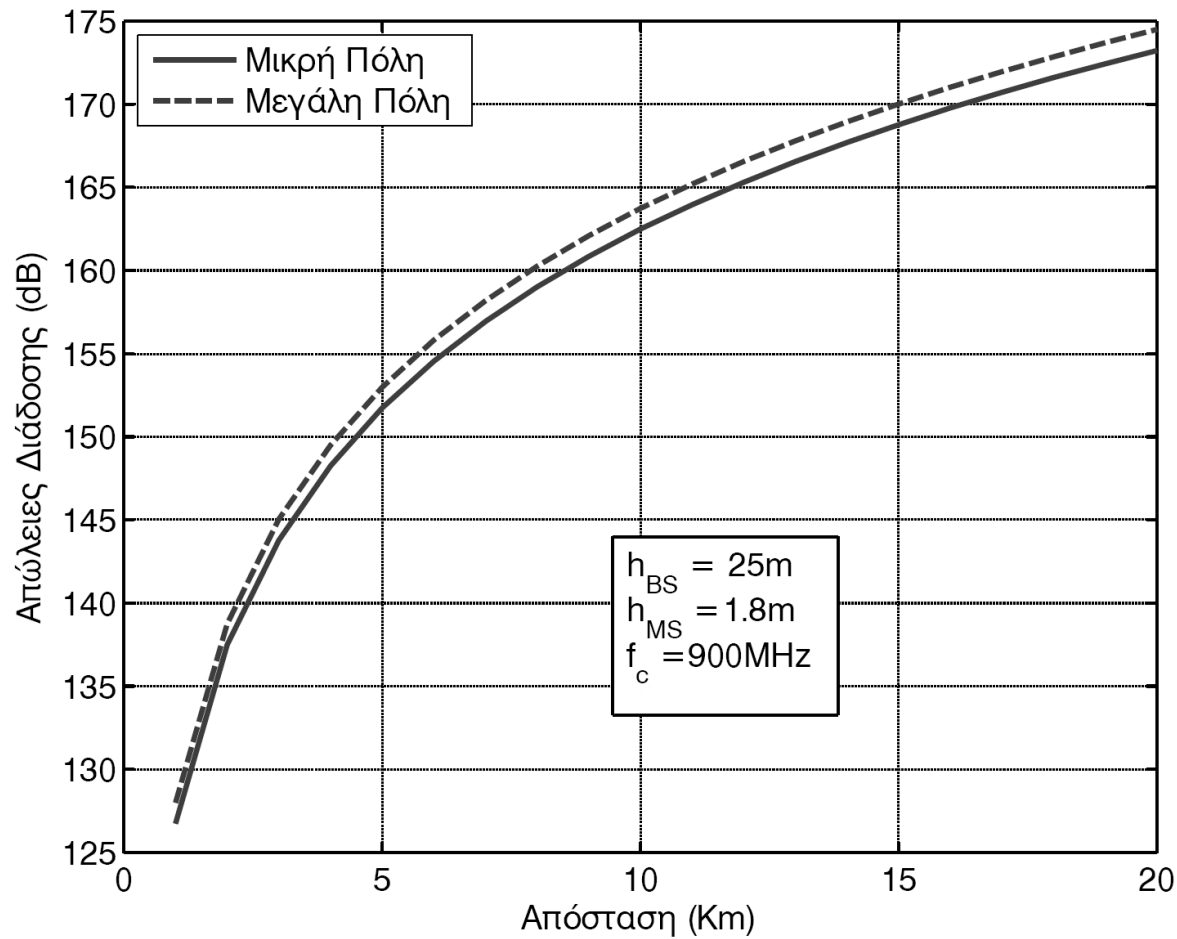
## ➤ Αγροτικό περιβάλλον

$$L_{50}(dB) = L_{50}(Urban) - 4.78(\log_{10} f_c)^2 + 18.33 \log_{10} f_c - 40.94$$

Ακόμα λιγότερα εμπόδια

## ➤ Υπάρχουν εναλλακτικές εκφράσεις για το σύνολο των περιπτώσεων με συντελεστές (σελ. 120 βιβλίου)

# Μοντέλο Okumura – Hata



# Μοντέλο Cost 231 - Hata

- Εξέλιξη του μοντέλου Okumura-Hata για συχνότητες 1500MHz – 2000 MHz με εφαρμογή σε ευρωπαϊκά περιβάλλοντα
- Αναπτύχθηκε στα πλαίσια Ευρωπαϊκού Προγράμματος COST

$$L(dB) = A + B \log_{10} d + C$$

$$A = 46.3 + 33.9 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_{BS} - a(h_{MS})$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10} h_{BS}$$

- $a$  δίνεται από την εξίσωση Okumura-Hata
- $C = 0dB$  για μεσαίου μεγέθους πόλεις και  $3dB$  για μητροπολιτικά κέντρα
- Εφαρμογή μόνο σε μακροκυψέλες



# Σύγκριση Ocumura-Hata / Cost 231-Hata

$$L_{50}(dB) = 69.55 + 26.16 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_{BS} - a(h_{MS}) + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_{BS}) \log_{10} d$$

$$L_{50}(dB) = L_{50}(Urban) - 2 \left[ \log_{10} \left( \frac{f_c}{28} \right) \right]^2 - 5.4$$

$$L(dB) = A + B \log_{10} d + C$$

$$A = 46.3 + 33.9 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_{BS} - a(h_{MS})$$

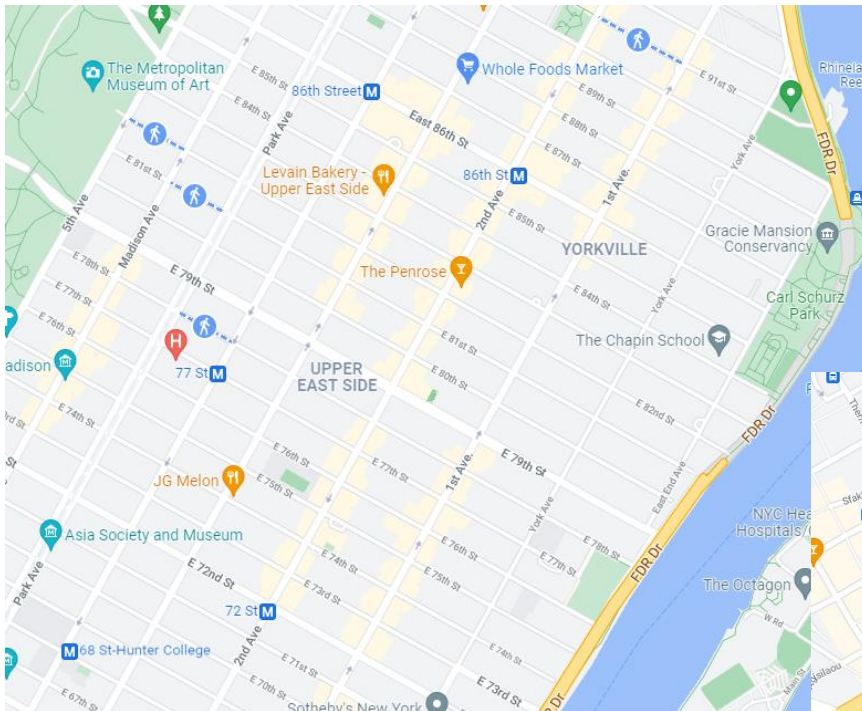
$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10} h_{BS}$$

# Μοντελο Walfisch – Ikegami

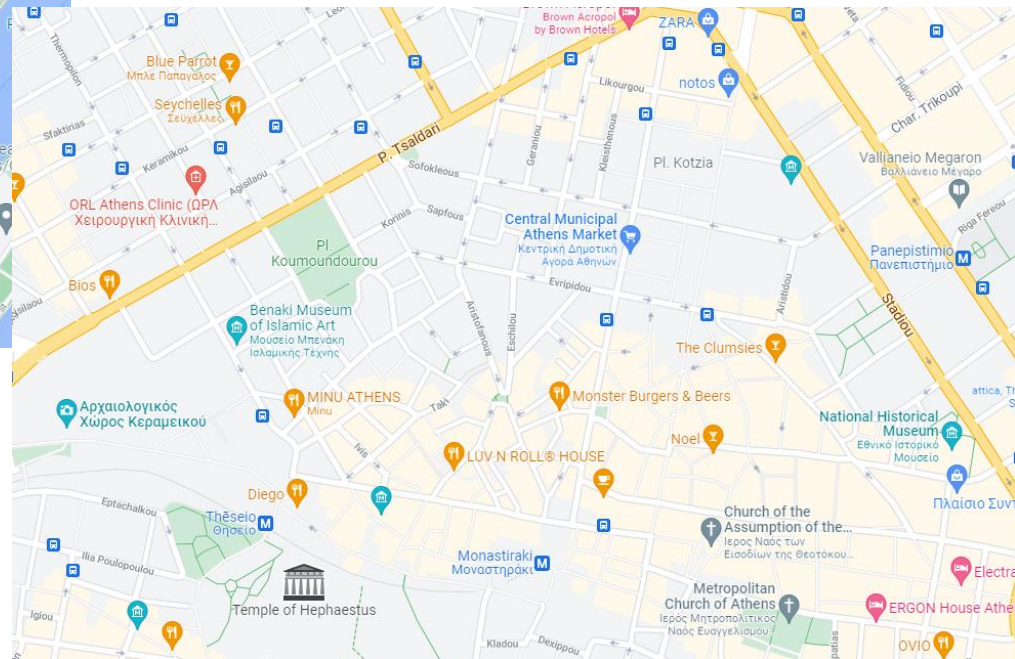
- Συνδυασμός μεθόδων Walfisch-Bertoni και Ikegami-Yoshima-Umehira
- Διορθώσεις στα πλαίσια του COST231 για προσαρμογή στα χαρακτηριστικά της Ευρώπης
- Αποδεκτό από την ITU-R
- Παράγοντες
  - Ύψη κτηρίων μεταξύ πομπού – δέκτη
  - Πλάτος δρόμων
  - Απόσταση κτηρίων
  - Κατεύθυνση δρόμων αναφορικά με την απευθείας συνιστώσα μεταξύ πομπού και δέκτη

# Μοντέλο Walfisch – Ikegami

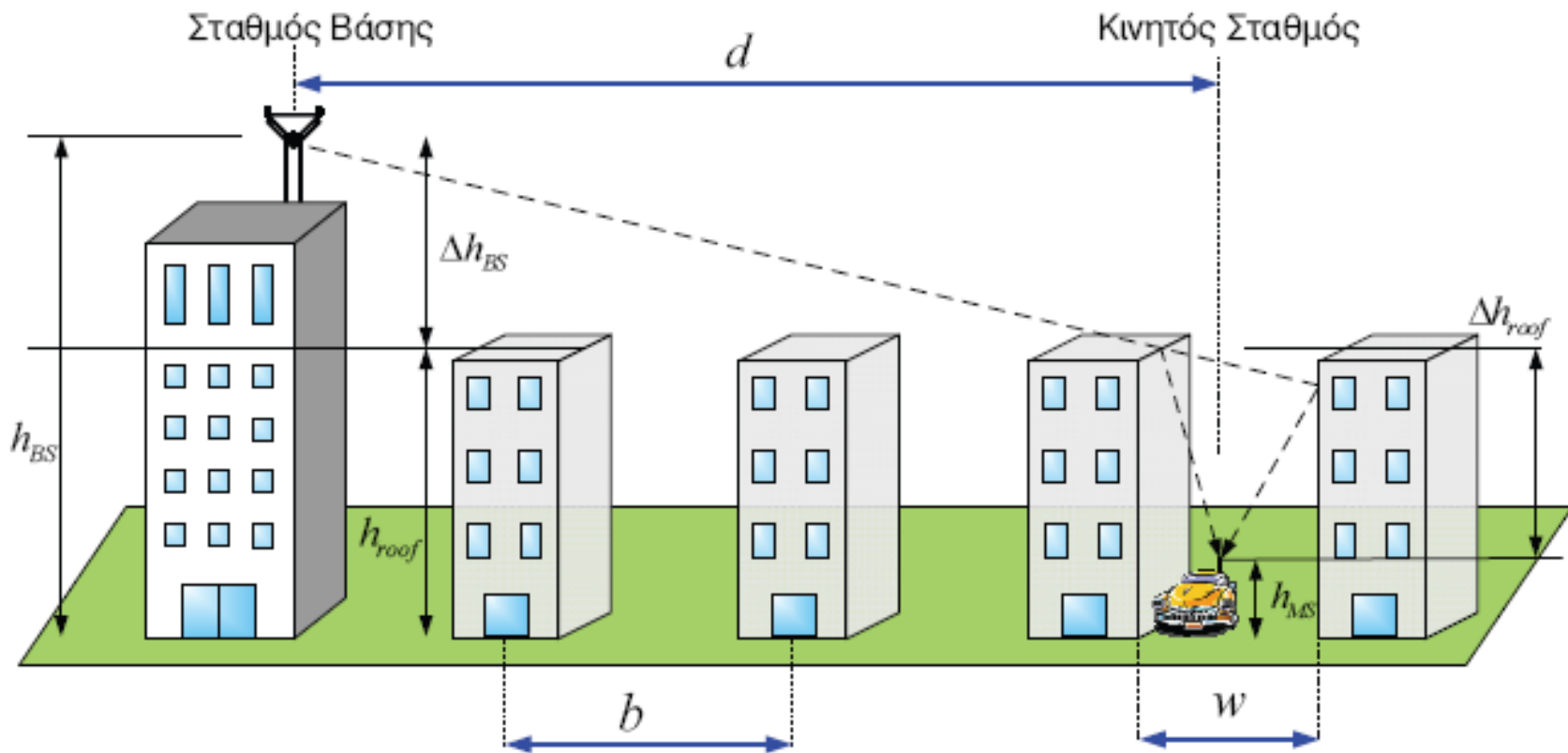
## Νέα Υόρκη



## Αθήνα



# Μοντέλο Walfisch – Ikegami



# Μοντελο Walfisch – Ikegami

- Εφαρμογή για τις ακόλουθες παραμέτρους

$$800 \leq f_c \leq 2000 \text{MHz}$$

$$4 \leq h_{BS} \leq 50 \text{m}$$

$$1 \leq h_{MS} \leq 3 \text{m}$$

$$0.02 \leq d \leq 5 \text{km}$$

Προσοχή στις μονάδες!

- Εφαρμογή και σε μικροκυψελωτά ή πυκνά δομημένες πόλεις με επίπεδο έδαφος
- Πιο αξιόπιστο όταν η κεραία του σταθμού βάσης πάνω από τις στέγες των κτηρίων
- Σε συνθήκες με οπτική επαφή πομπού – δέκτη ισχύει:

$$L_{LOS} (dB) = 42.6 + 26 \log_{10} d_{km} + 20 \log_{10} f_{MHz}$$

# Μοντελο Walfisch – Ikegami

- Σταθερά των 42.6dB έχει υπολογιστεί έτσι ώστε για  $d=20m$  η εξίσωση να ταυτίζεται με την αντίστοιχη των απωλειών ελεύθερου χώρου για την ίδια απόσταση
- Για συνθήκες μη οπτικής επαφής (NLOS)

$$L_{NLOS} (dB) = \begin{cases} L_{FS} + L_{rts} + L_{msd} & L_{rts} + L_{msd} \geq 0 \\ L_{FS} & L_{rts} + L_{msd} \leq 0 \end{cases}$$

- $L_{FS}$ : απώλειες ελεύθερου χώρου
- $L_{msd}$ : απώλειες περίθλασης από πολλαπλά συνεχόμενα εμπόδια (Walfisch-Bertoni)
- $L_{rts}$ : απώλειες περίθλασης και σκέδασης από κορυφή του κτηρίου στο δρόμο (Ikegami-Yoshida-Umehira)

# Μοντελο Walfisch – Ikegami

- Απώλειες ελεύθερου χώρου

$$L_{FS} (dB) = 32.45 + 20 \log(f_{MHz}) + 20 \log(d_{km})$$

- Υπολογισμός απωλειών από πολλαπλά συνεχόμενα εμπόδια
  - Διορθωμένο Walfisch-Bertoni για ύψη σταθμού βάσης μικρότερα από την στέγη κτηρίων (COST231)

$$L_{msd} (dB) = L_{bsh} + k_a + k_d \log_{10} d + k_f \log_{10} f_c - 9 \log_{10} b$$

- Όπου οι διάφοροι παράγοντες υπολογίζονται ως εξής

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \log_{10} [1 + (h_{BS} - h_{roof})] & h_{BS} > h_{roof} \\ 0 & h_{BS} \leq h_{roof} \end{cases}$$

# Μοντέλο Walfisch – Ikegami

$$L_{msd}(dB) = L_{bsh} + k_a + k_d \log_{10} d + k_f \log_{10} f_c - 9 \log_{10} b$$

- Ο όρος  $k_a$  προβλέπει την αύξηση απωλειών διάδοσης όταν η κεραία του σταθμού βάσης είναι χαμηλότερα από τα γειτονικά κτήρια

$$k_a = \begin{cases} 54 & h_{BS} > h_{roof} \\ 54 - 0.8(h_{BS} - h_{roof}) & h_{BS} \leq h_{roof}, d \geq 0.5km \\ 54 - 0.8(h_{BS} - h_{roof}) \frac{d}{0.5} & h_{BS} \leq h_{roof}, d < 0.5km \end{cases}$$



# Μοντελο Walfisch – Ikegami

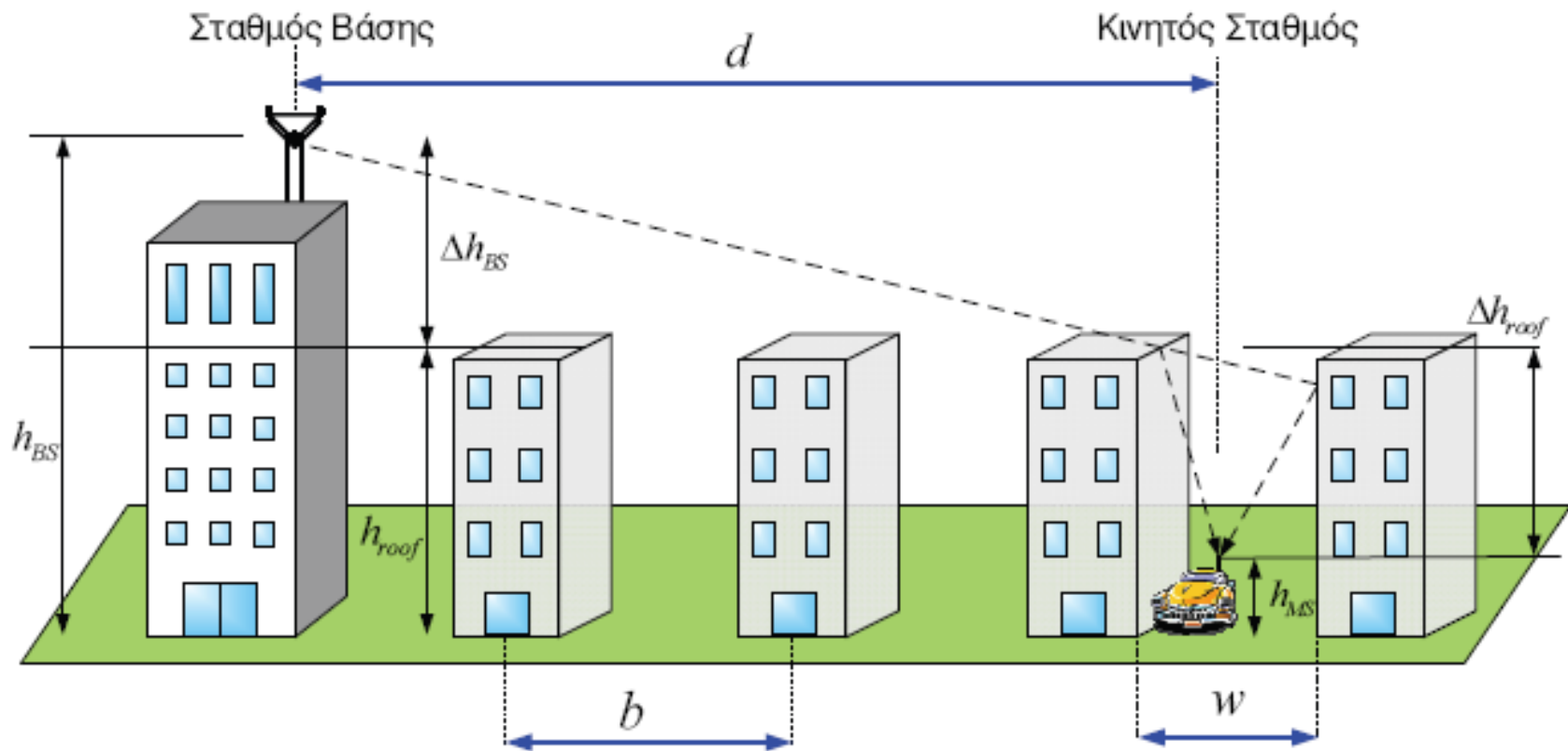
$$L_{msd}(dB) = L_{bsh} + k_a + k_d \log_{10} d + k_f \log_{10} f_c - 9 \log_{10} b$$

- Οι όροι  $k_d$ ,  $k_f$  δίνουν εξάρτηση απωλειών από πολλαπλά εμπόδια από την απόσταση και την συχνότητα

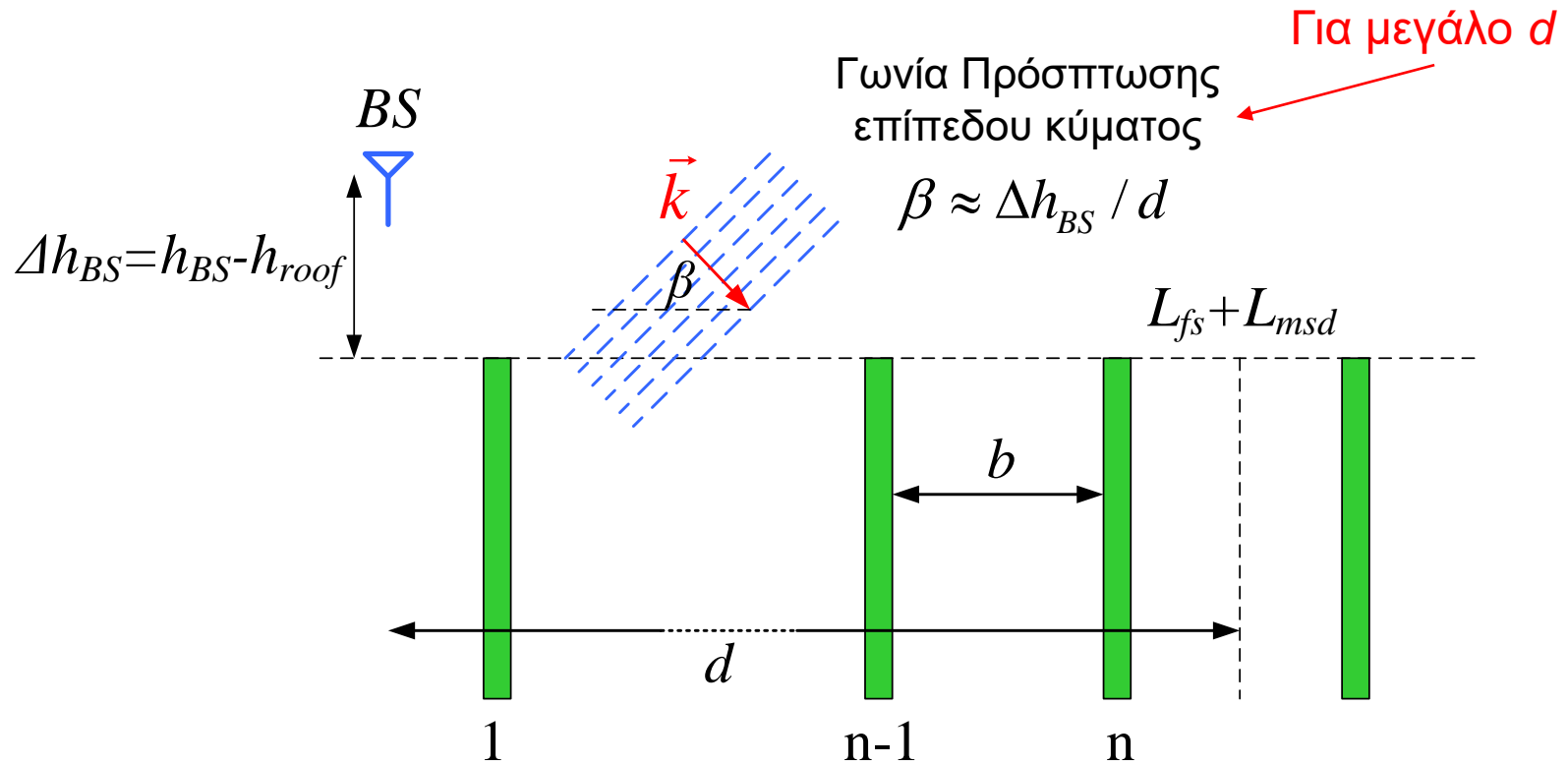
$$k_d = \begin{cases} 18 & , h_{BS} > h_{roof} \\ 18 - 15 \frac{(h_{BS} - h_{roof})}{h_{roof}} & , h_{BS} \leq h_{roof} \end{cases}$$

$$k_f = \begin{cases} -4 + 0.7 \left( \frac{f_{MHz}}{925} - 1 \right) & , \text{Μικρές - πόλεις} \\ -4 + 1.5 \left( \frac{f_{MHz}}{925} - 1 \right) & , \text{Μητροπόλεις} \end{cases}$$

# Μοντέλο Walfisch – Ikegami



# Μοντέλο Walfisch – Ikegami



Τα κτίρια αντικαθίστανται από ημι-άπειρα  
διαφράγματα αμελητέου πάχους

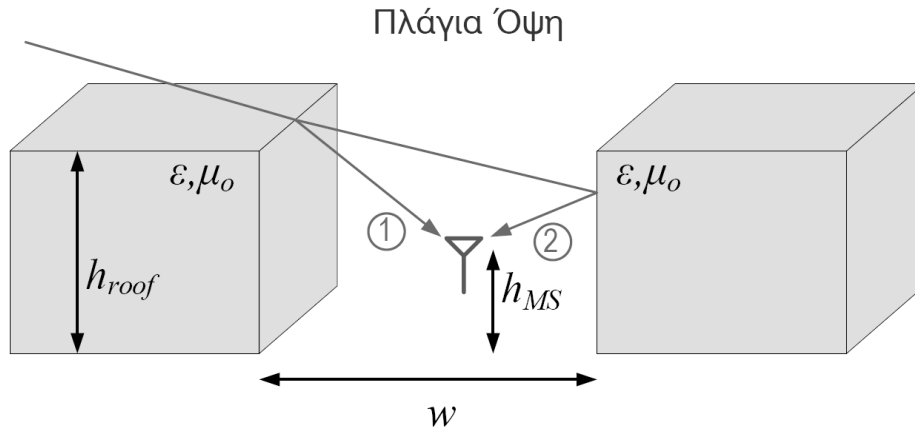
# Μοντελο Walfisch – Ikegami

- Υπολογισμός απωλειών περίθλασης και σκέδασης από την κορυφή στο δρόμο
- Θεώρηση Ikegami-Yoshida-Umehira
  - Το πεδίο στον κινητό σταθμό δίνεται από το άθροισμα α) του περιθλώμενου από τη στέγη πεδίου ΚΑΙ β) του περιθλώμενου και στη συνέχεια ανακλώμενου πεδίου από το κτήριο
  - Γωνία  $\varphi$  από τον άξονα του δρόμου και την γωνία λήψης

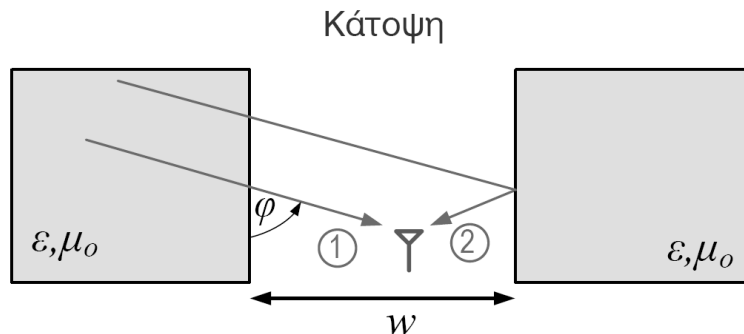
$$L_{rts} = -8.2 - 10 \log_{10} w + \log_{10} f_{MHz} + 20 \log_{10} (h_{roof} - h_{MS}) + L_{ori}$$

Λιγότερες απώλειες για μεγάλο  $w$  (πλάτος δρόμου)  
Γιατί;

# Μοντέλο Walfisch – Ikegami



- ① Rooftop Diffraction
- ② Rooftop Diffraction - Wall Reflection



- ① Rooftop Diffraction
- ② Rooftop Diffraction - Wall Reflection

Υπολογισμός  
απωλειών  
περίθλασης και  
σκέδασης από την  
κορυφή στο δρόμο

# Μοντελο Walfisch – Ikegami

$$L_{rts} = -8.2 - 10 \log_{10} w + \log_{10} f_{MHz} + 20 \log_{10} (h_{roof} - h_{MS}) + L_{ori}$$

- Υπολογισμός παράγοντα προσανατολισμού

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354\phi & 0^\circ \leq \phi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\phi - 35^\circ) & 35^\circ \leq \phi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\phi - 55^\circ) & 55^\circ \leq \phi \leq 90^\circ \end{cases}$$

- Αν οι παράμετροι δεν είναι γνωστές μπορούμε να χρησιμοποιούμε τις ακόλουθες τυπικές τιμές

$$h_{BS} = 3m \times (\text{αριθμός\_ορόφων}) + \text{Ύψος\_στέγης\_κτηρίων}$$

$$\text{Ύψος\_στέγης\_κτηρίων} = \begin{cases} 3m & \text{μη\_επίπεδη\_στέγη} \\ 0m & \text{επίπεδη\_στέγη} \end{cases}$$

$$b = 20 - 50m, w = b / 2, \phi = 90^\circ$$

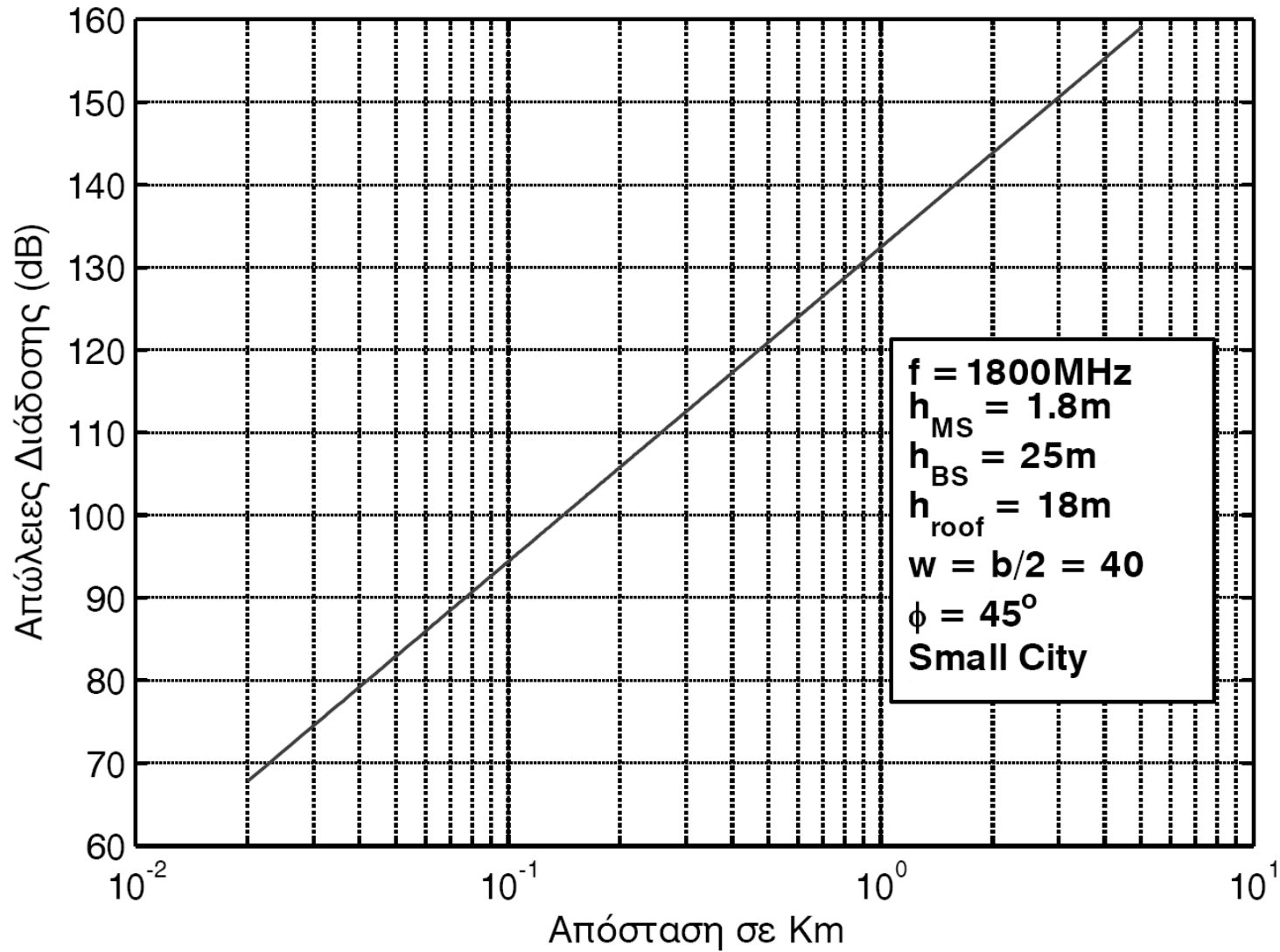
# Μοντέλο Walfisch – Ikegami

- Η βιβλιογραφία αναφέρει ικανοποιητική πρόβλεψη των απωλειών με το μοντέλο COST 231 Walfisch-Ikegami.
  - Μέσο σφάλμα  $\pm 3\text{dB}$  με τυπική απόκλιση 4-8dB
  - Για μικροκυψέλες το σφάλμα αυξάνει ενώ η αξιοπιστία του μοντέλου μειώνεται αν το έδαφος δεν είναι επίπεδο ή αν το περιβάλλον είναι ανομοιογενές
  - Έλεγχος καλής συμπεριφοράς μοντέλου (ακριβές όταν)

$$d_s = \frac{\lambda d^2}{(h_{BS} - h_{roof})^2} < 1$$

- Στην περίπτωση  $d_s > 1$  (εφαπτομενική πρόσπτωση του επίπεδου κύματος) το μοντέλο δεν ισχύει

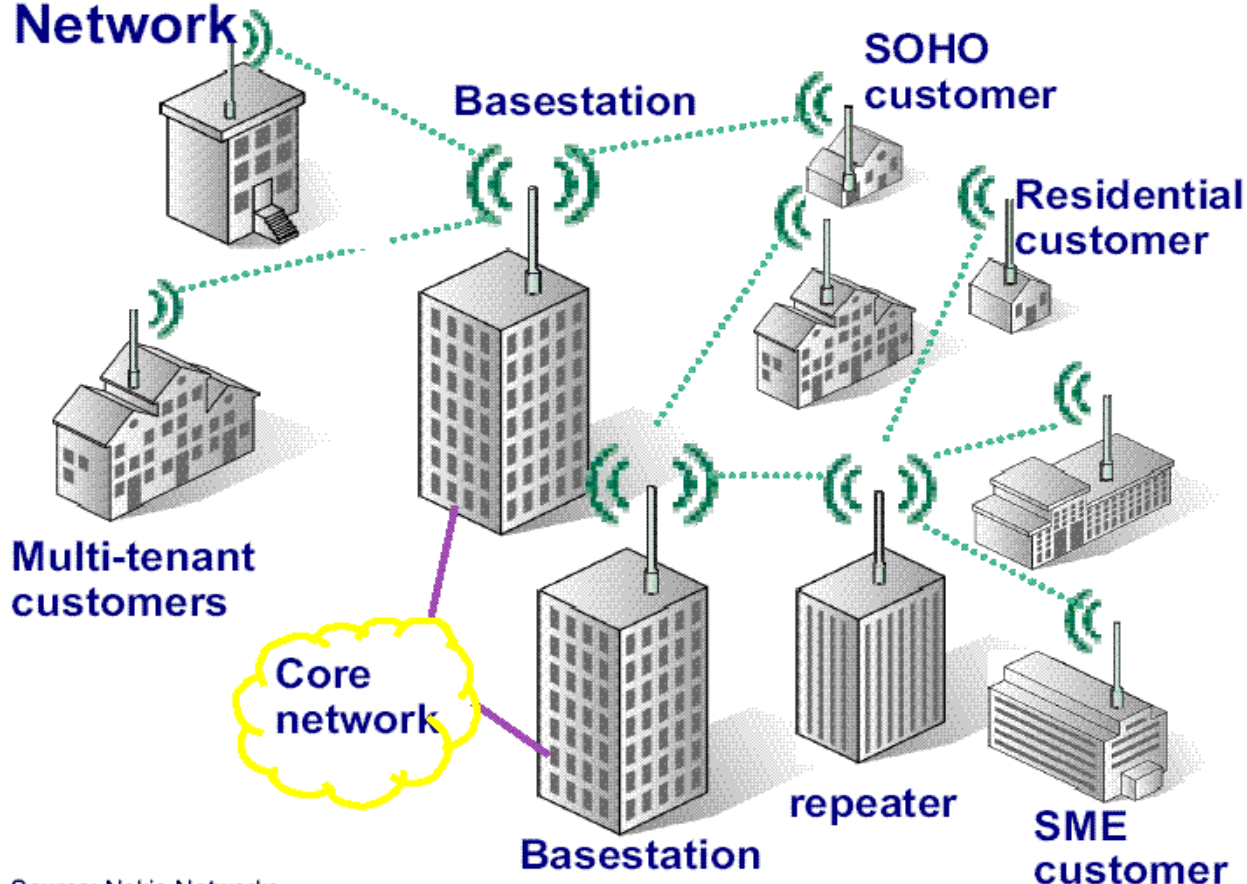
# Μοντελο Walfisch – Ikegami





# Μοντέλο ΙΕΕΕ 802.16 (WiMAX)

## WirelessMAN: Wireless Metropolitan Area Network



Source: Nokia Networks

# Μοντέλο ΙΕΕΕ 802.16 (WiMAX)

- Στηρίζεται στο απλό μοντέλο κλίσης
- Αναπτύχθηκε γιατί το COST231 – Hata δεν είχε καλή εφαρμογή στις 3 τύπους περιοχών που συναντώνται στις ΗΠΑ
  - Πχ χαμηλό ύψος ΣΒ, λόφοι, μεσαία κ υψηλή πυκνότητα δένδρων
  - Μετρήσεις από AT&T σε 95 ΣΒ στα 1.9GHz

$$P_L(d) = PL(d_0) + 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + k_f + k_h$$

- Όπου οι απώλειες για την απόσταση αναφορά  $d_0 = 100\text{m}$  δίνονται από τις απώλειες ελευθέρου χώρου

$$PL(d_0) = 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right)$$

# Μοντέλο IEEE 802.16 (WiMAX)

- Ο συντελεστής απωλειών διάδοσης δίνεται

$$n = a - bh_{BS} + ch_{BS} \quad 10m \leq h_{BS} \leq 80m$$

- Σταθερές ρυθμίζονται βάση του τύπου εδάφους

Σταθερά	Έδαφος Τύπου A	Έδαφος Τύπου B	Έδαφος Τύπου C
$a$	4.6	4	3.6
$b$	0.0075	0.0065	0.005
$c$	12.6	17.1	20

- Τύπος A: Ανώμαλο έδαφος, λόφοι και μέτρια προς υψηλή πυκνότητα δένδρων
- Τύπου B: Ανώμαλο έδαφος, λόφοι, χαμηλή πυκν. δένδρων
- Τύπου Γ: Επίπεδο έδαφος χαμηλή πυκν. δένδρων

# Μοντέλο ΙΕΕΕ 802.16 (WiMAX)

- Διορθωτική παράγοντες για συχνότητες διαφορετικές από 2GHz και 2μ<ύψος ΚΣ<10μ

$$k_f = 6 \log_{10} \left( \frac{f_{MHz}}{2000} \right)$$

$$k_h = \begin{cases} -10.8 \log_{10} \frac{h_{MS}}{2} & \text{Τύπου\_Α/Β} \\ -20 - \log_{10} \frac{h_{MS}}{2} & \text{Τύπου\_Γ} \end{cases}$$

# Μοντέλο ITU-R P.1546

- Επίγεια συστήματα κινητών επικοινωνιών για UHF/VHF
  - Προέκυψε από τις συστάσεις P.370 κ P.529
  - Δεν εμπεριέχει πολύπλοκους υπολογισμούς
  - Μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν δεν υπάρχει καλή γνώση διαφόρων παραμέτρων διάδοσης
  - Εφαρμογή σε συχνότητες από 30MHz έως 3GHz και αποστάσεις 1m – 1km
  - Εφαρμόζεται είτε για ξηρά είτε για θάλασσα είτε και τα δύο (μικτά)
  - Δίνεται υπό μορφή καμπυλών σε σχέση με την ένταση πεδίου  $E$  σε dBμV/m για ισχύ 1kW βάσει διαφόρων παραμέτρων

$$PL = 139.3 - E + 20 \log_{10} f_{MHz}$$

# Μοντέλο WINNER (ITU-R M.2135)

- Στοχαστικό μοντέλο βασισμένο σε Γεωμετρία αλλά με παραμέτρους βασισμένες σε στατιστικές κατανομές από καμπάνιες μετρήσεων

$$PL = A \log_{10}(d) + B + C \log_{10} \frac{f_c}{5} + X$$

- Συχνότητα σε GHz, A περιλαμβάνει συντελεστή  $n$ , B απώλειες των εμποδίων και X εξαρτάται από περιβάλλον και ύψη κεραιών
- Αναλυτική περιγραφή στο παραδοτέο του προγράμματος
- Εφαρμόσιμα σε συχνότητες 2-6GHz

# Μοντέλα πρόβλεψης εσωτερικού χώρου

- Χρήσιμα για εφαρμογές καθαρά εσωτερικού χώρου
  - Wi-Fi, μικρές κυψέλες, κ.α.
- Διαφέρουν σημαντικά από τα εξωτερικού χώρου
  - Μικρή απόσταση πομπού-δέκτη
  - Μεγάλες απώλειες λόγω πολλών εμποδίων
  - Μικρή ισχύ εκπομπής
  - Απαιτεί καλή γνώση εσωτερικού χώρου
  - Χρήσιμο για διαστασιολόγηση εντός κτηρίων

# Μοντέλο απλής κλήσης

- Βάση εκθέτη  $n$  από εμπειρικές μετρήσεις
- $PL(d_0)$  απώλειες διάδοσης σε απόσταση αναφοράς

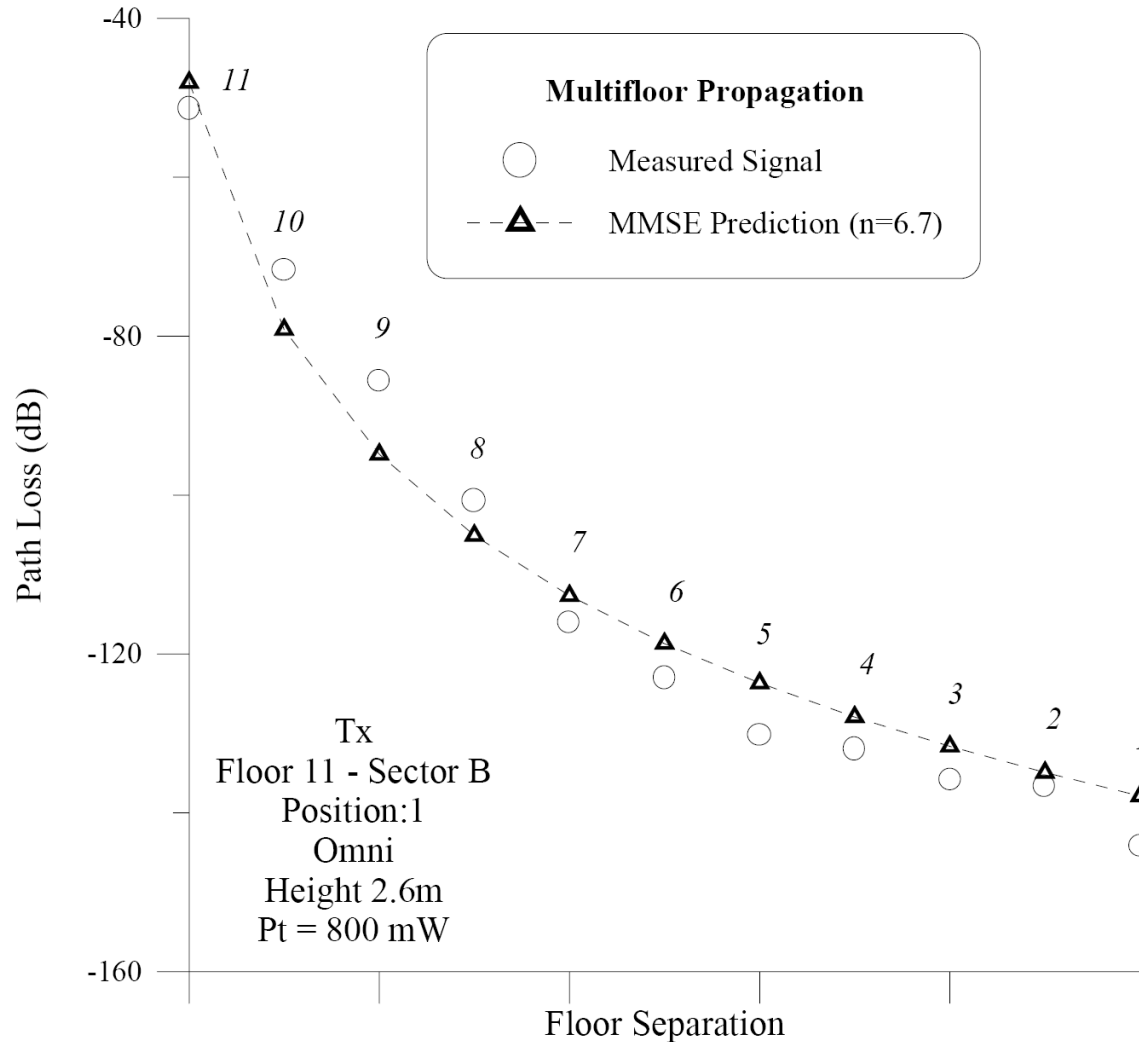
$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log d$$

- Τυπικές τιμές για 0.8 - 1.9GHz

Περιβάλλον	$n [PL(d_0)]$	Κύριος Μηχανισμός
Διάδρομοι	1.4-1.9 [39.2-42.7]	Κυματοδήγηση
Μεγάλα, ανοικτά δωμάτια	$\approx 2$ [37.5]	LOS
Πυκνά επιπλωμένα δωμάτια	$\approx 4$ [33.3]	NLOS
Πολλαπλοί όροφοι	5.2-5.4 [21.9-44.9]	Εξασθένηση από δάπεδα και τοίχους



# Μοντέλο απλής κλήσης - Παράδειγμα



# Μοντέλο Keenan - Motley

- Βασίζεται στην παρατήρηση ότι οι απώλειες διάδοσης εξαρτώνται σημαντικά από το πλήθος των παρεμβαλλόμενων τοίχων και ορόφων

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log_{10} d + \sum_{i=1}^I k_{fl,i} L_{fl,i} + \sum_{j=1}^J k_{wj} L_{wj}$$

- $PL(d_0)$  συνήθως 37dB για 1m,  $I$  πλήθος κατηγοριών για πατώματα,  $L_{fl}$  απώλειες που προκαλούνται από τα πατώματα τύπου  $i$ ,  $J$  πλήθος των κατηγοριών τοίχων,  $k_{fl}$  πλήθος πατωμάτων τύπου  $i$  που παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού δέκτη,  $k_{wj}$  πλήθος τοίχων τύπου  $j$

# Μοντέλο Keenan - Motley

- Τιμές απωλειών για διάφορα υλικά και συχνότητες 1.7-1.9GHz

Υλικό	Απώλειες (dB)
Τούβλο	2.5
Γυψοσανίδα	1.3
Τσιμέντο	10.8
Πλάκα Ορόφου	23.62

# Μοντέλο COST 231 – MWM (multiwall model)

- Επέκταση Keenan – Motley από COST231
- Οι απώλειες διάδοσης λόγω παρεμβολής πολλών ορόφων δεν είναι γραμμικές ως προς το πλήθος των ορόφων στην πράξη – Πρακτική προσέγγιση

$$PL(d) = L_{FS}(d) + L_c + \sum_{i=1}^I k_{wj} L_{wj} + k_f^{\left[ \frac{k_f+2}{k_f+1} - b \right]} L_f$$

- $L_{FS}$  απώλειες ελεύθερου χώρου για απόσταση  $d$ ,  $L_c$  σταθερά απωλειών,  $k_{wj}$  πλήθος τοίχων τύπου  $j$ ,  $k_{fi}$  πλήθος ορόφων που παρεμβάλλονται,  $b$  εμπειρική παράμετρος και  $L_f$  απώλειες μεταξύ γειτονικών πατωμάτων

# Μοντέλο COST 231 - MWM

- Συνήθως 2 τύποι τοίχων ( $I=2$ )
  - Γυψοσανίδα  $< 10\text{εκ}$  -  $L_{w1}=3.4\text{dB}$
  - Τοίχος με τούβλα  $> 10\text{εκ}$  -  $L_{w1}=36.9\text{dB}$
- $L_f=18.3\text{dB}$  και  $b=0.46$
- $L_c$  τιμές κοντά στο μηδέν και περιλαμβάνει διάδοση με εμπόδια (πχ έπιπλα) και κυματοδήγηση

# Απλό γραμμικό μοντέλο

- Υποθέτει ότι οι επιπλέον απώλειες από αυτές του ελεύθερου χώρου είναι γραμμικές με την απόσταση

$$PL(d) = L_{FS}(d) + \alpha d$$

- $\alpha$  δίνεται σε dB/m (πχ για εμπορικά 0.2-0.6)
- Για συχνότητες 0.9-4GHz και αποστάσεις πομπού-δέκτη μικρότερες από 100μ (εμπορικά κέντρα)
- Όσο μεγαλύτερη η απόσταση τόσο μεγαλύτερη η απόκλιση από τις απώλειες ελεύθερου χώρου

# Μοντέλο ITU-R P.1238

- Δεν απαιτεί λεπτομερή γνώση της εσωτερικής δομής του κτηρίου και έχει ευρεία εφαρμογή
  - Λαμβάνει υπόψη διάδοση μέσα από πατώματα
  - $n$  από μετρήσεις που περιλαμβάνουν επίδραση πολλαπλών τοίχων ή εμποδίων

$$PL(d) = 20 \log_{10} f_{MHz} + 10n \log_{10} d + L_f(k_f) - 28$$

- $n$  και  $L_f$  συναρτήσει συχνότητας και τύπου κτηρίων
- Υποθέτει τοίχους από τσιμέντο σε διαμερίσματα και από ξύλο σε μονοκατοικίες
- Στα 60-70GHz θεωρεί ότι δεν υπάρχουν τοίχοι

# Μοντέλο ITU-R P.1238

Τιμές για συντελεστή  $n$

Συχνότητα	Κατοικίες	Γραφεία	Εμπορικά Κέντρα
900 MHz		3.3	2
1.2-1.3 GHz		3.2	2.2
1.8-2 GHz	2.8	3	2.2
2.4 GHz	2.8	3	
3.5 GHz		2.7	
4 GHz		2.8	2.2
5.2 GHz	3 (διαμέρισμα) 2.8 (μονοκατοικία)	3.1	
5.8 GHz		2.4	
60 GHz		2.2	1.7
70 GHz		2.2	



# Μοντέλο ITU-R P.1238

Τιμές για συντελεστή  $L_f$

Συχνότητα	Κατοικίες	Γραφεία	Εμπορικά Κέντρα
900 MHz		9 (1 όροφος) 19 (2 όροφοι) 24 (3 όροφοι)	
1.8-2 GHz	$4k_f$	$15 + 4(k_f - 1)$	$6 + 3(k_f - 1)$
2.4 GHz	10 (διαμέρισμα) 5 (μονοκατοικία)	14	
3.5 GHz		18 (1 όροφος) 26 (2 όροφοι)	
5.2 GHz		16 (1 όροφος)	
5.8 GHz	13 (διαμέρισμα) 7 (μονοκατοικία)	22 (1 όροφος) 28 (2 όροφοι)	

# Απώλειες για διείσδυση σε τοίχο

- Απλό μοντέλο για απώλειες διείσδυσης σε τοίχο

$$L_{be} = 37 - 7.9 \log_{10} f_{MHz}$$

# Απώλειες από το ανθρώπινο σώμα

- Το σώμα επιδρά αρνητικά στην διάδοση όταν είναι κοντά στην κεραία
- Σύσταση ITU-R P.1406 δίνοντας τιμές απωλειών
- Χρήσιμες για αύξηση ισχύος ή ευαισθησίας δέκτη

Συχνότητα (MHz)	Απώλειες στο ύψος της μέσης του ανθρώπου (dB)	Απώλειες στο ύψος του ανθρώπινου κεφαλιού (dB)
160	19.0	10.0
450	13.0	4.5
800	14.5	8.5
900	15.5	10.0