

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



ΚΕΡΑΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ



ΔΙΑΔΟΣΗ



Μοντέλο διάδοσης CCIR

- Μια εμπειρική φόρμουλα που συνδυάζει τα αποτελέσματα του path loss του μοντέλου ελεύθερου χώρου που επηρεάζεται από το ανάγλυφο του εδάφους.
- Δημοσιεύτηκε από την CCIR (Comite consultative international des Radio-Communication, σήμερα ITU-R).
- Το μοντέλο αυτό εφαρμόζεται σε περιβάλλον μεσαίων και μικρών πόλεων (**medium – small cities**).

Η σχέση για το path loss είναι:

$$L (dB) = 69.55 + 26.16 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} d_{km} - B$$

Το μοντέλο αυτό είναι το μοντέλο του **Hata** για μεσαία πόλη με ένα πρόσθετο διορθωτικό παράγοντα **B**.



Μοντέλο διάδοσης CCIR

όπου:

f_c : η κεντρική συχνότητα σε **MHz** (**150 - 1500MHz**)

d : η απόσταση base station-κινούμενου συνδρομητή σε **Km** (**1-10 Km**)

h_b : το ενεργό ύψος πομπού σε μέτρα (**30m - 200m**)

h_m : το ενεργό ύψος δέκτη (κινούμενου συνδρομητή) σε μέτρα (**1m-10m**)

$$a(h_m) = (1.1 \log_{10} f_c - 0.7) h_m - (1.56 \log_{10} f_c - 0.8) \text{ dB}$$

$$B = 30 - 25 \log_{10} (\% \text{ του εμβαδού που καλύπτεται από κτίρια})$$

Ο όρος **B** είναι τέτοιος ώστε **B=0** για μια αστική περιοχή που καλύπτεται κατά **15%** από κτίρια.

Για **20%** κάλυψη από κτίρια ο όρος B δίνεται από τη σχέση:

$$B = 30 - 25 \log_{10}(20) = -2,5 \text{ dB}$$



Μοντέλο διάδοσης Extended Hata/Cost 231 – Hata (PCS Extension to Hata Model)

Από την European Study Committee (Cost 231) βρέθηκε ότι το υπάρχον Hata μοντέλο υποεκτιμά το path loss σε συχνότητες **1500 – 2000 MHz**.

Το μοντέλο αυτό διάδοσης εφαρμόζεται στις αστικές περιοχές και στις PCS (Personal Communication Systems) εφαρμογές στις συχνότητες **1500 – 2000 MHz**.

Το μοντέλο αυτό, όπως και του Okumura-Hata, βρίσκει εφαρμογή μόνο σε μακροκυψέλες και δε μπορεί να εφαρμοστεί σε μικροκυψέλες.



Μοντέλο διάδοσης Extended Hata/Cost 231 - Hata

Η μαθηματική έκφραση του μοντέλου αυτού είναι:

$$L \text{ (dB)} = 46.3 + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} d + 33.9 \log_{10} f_c - a(h_m) - 13.82 \log_{10} h_b + C$$

όπου:

f_c : η κεντρική συχνότητα σε **MHz (1500MHz-2000MHz)**

h_b : το ενεργό ύψος πομπού (base station) σε μέτρα (**30m - 200 m**)

h_m : το ενεργό ύψος του δέκτη (κινούμενου συνδρομητή) (**1m - 10 m**)

d : η απόσταση base station-κινούμενου συνδρομητή σε **Km (1-20Km)**

$a(h_m)$: συντελεστής διόρθωσης για το ενεργό ύψος της κεραίας του κινούμενου συνδρομητή (δέκτη) ως συνάρτηση του μεγέθους της υπό κάλυψη περιοχής.

$$a(h_m) = (1.1 \log_{10} f_c - 0.7) h_m - (1.56 \log_{10} f_c - 0.8) \text{ dB}$$

$$C = \begin{cases} 0 & \text{Για μεσαία πόλη και ημιαστικές περιοχές} \\ 3 & \text{Μητροπολιτικά κέντρα} \end{cases}$$



Εμπειρικό Μοντέλο διάδοσης COST-Walfisch-Ikegami-Bertoni

- Είναι αποτέλεσμα συνδυασμού δύο διαφορετικών μεθόδων, εκείνης των Walfisch-Bertoni και εκείνης των Ikegami-Yoshida-Umehira.
- Το μοντέλο βρίσκει εφαρμογή τόσο σε μακροκυψέλες όσο και σε μικροκυψέλες, σε πυκνά δομημένες πόλεις με επίπεδο έδαφος.
- Στο συγκεκριμένο μοντέλο λαμβάνονται υπόψη τέσσερις παράγοντες:
 - Τα ύψη των κτιρίων που παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού και δέκτη (h_{roof}),
 - Το πλάτος των δρόμων (w),
 - Η απόσταση μεταξύ των κτηρίων (b),
 - Η κατεύθυνση των δρόμων αναφορικά με την απευθείας συνιστώσα που συνδέει τον πομπό με τον δέκτη (ϕ).



Εμπειρικό Μοντέλο διάδοσης COST-Walfisch-Ikegami-Bertoni

Το εύρος τιμών εφαρμογής του μοντέλου είναι:

- f_c : η κεντρική συχνότητα σε **MHz (800MHz-2000MHz)**
- d_{km} : η απόσταση σταθμού βάσης – κινούμενου συνδρομητή (**0,02-5 Km**)
- h_{TX} : το ενεργό ύψος του σταθμού βάσης σε μέτρα (**4 - 50m**)
- h_{RX} : το ενεργό ύψος του δέκτη (κινούμενου συνδρομητή) (**1 - 3m**)

Το μοντέλο κάνει διάκριση μεταξύ καταστάσεων οπτικής επαφής (LOS) και μη οπτικής επαφής (NLOS).

Σε περιβάλλον οπτικής επαφής πομπού και δέκτη (Line Of Sight-LOS), οι απώλειες διάδοσης υπολογίζονται από τη παρακάτω σχέση:

$$L_{LOS} = 42.6 + 26\log_{10}d_{km} + 20\log_{10}f_c \quad d_{km} \geq 0.02$$



Εμπειρικό Μοντέλο διάδοσης COST-Walfisch-Ikegami-Bertoni

Σε περίπτωση μη οπτικής επαφής (**NLOS**) εξετάζεται το αντίκτυπο των ταρατσών και το ύψος του κτιρίου χρησιμοποιώντας θεωρία περίθλασης για την πρόβλεψη της μέσης ισχύος του σήματος στο επίπεδο του δρόμου

$$\text{Path loss} = L_b = L_f + L_{rts} + L_{msd}$$

(1) (2) (3)

(1) Free space path loss :

$$L_f = 32.45 + 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} f$$

(2) Roof-top-to-street diffraction and scatter loss term :

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \log_{10} w + 10 \log_{10} f + 20 \log_{10} (h_{roof} - h_m) + L(\phi)$$

$$L(\phi) = -10 + 0.354\phi \quad \text{for } 0 \leq \phi < 35^\circ$$

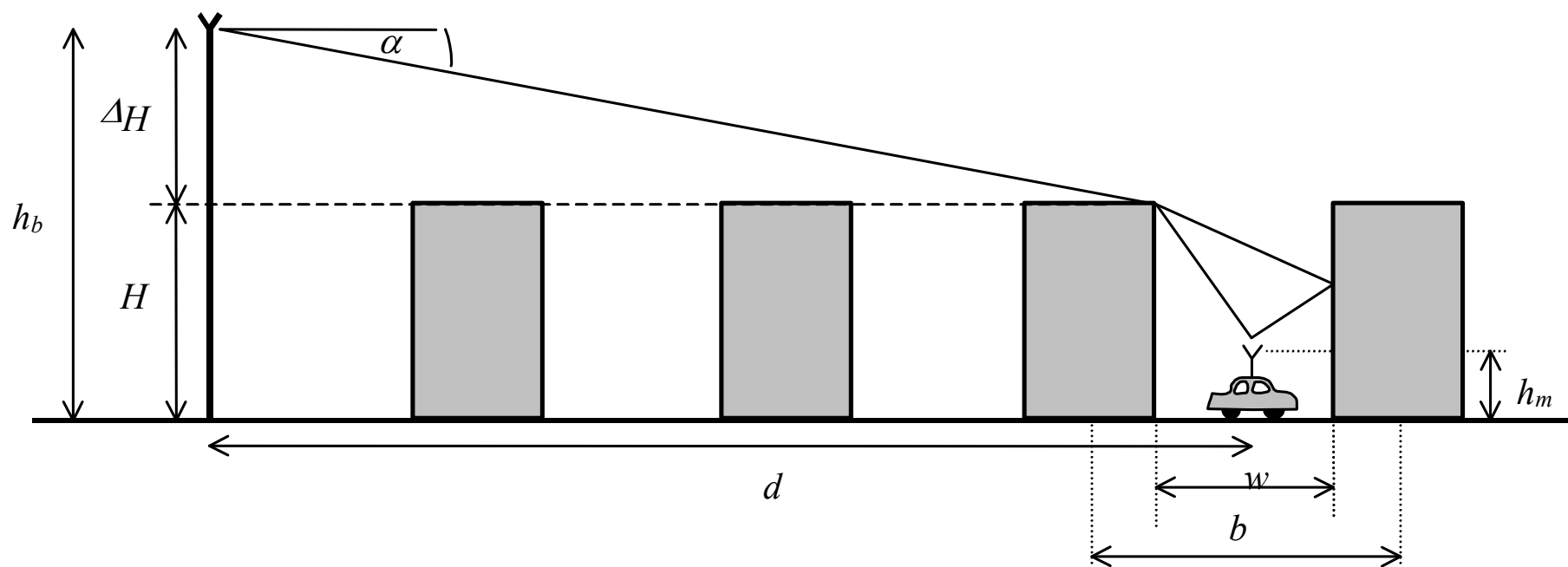
$$L(\phi) = 2.5 + 0.075(\phi - 35) \quad \text{for } 35 \leq \phi < 55^\circ$$

$$L(\phi) = 4.0 - 0.114(\phi - 55) \quad \text{for } 55 \leq \phi < 90^\circ$$



Εμπειρικό Μοντέλο διάδοσης COST-Walfisch-Ikegami-Bertoni

(3) Multiscreen diffraction loss: δίνει τη μείωση του σήματος της ταράτσας λόγω της σειράς των κτιρίων που σκιάζουν αμέσως τον δέκτη στο επίπεδο του δρόμου



Εμπειρικό Μοντέλο διάδοσης COST-Walfisch-Ikegami-Bertoni

Οι Walfisch και Bertoni δημοσίευσαν μια κατά προσέγγιση λύση για την περίπτωση των κεραιών σταθμών βάσης που βρίσκονται πάνω από ταράτσες. Αυτό το μοντέλο επεκτείνεται κατά COST 231 για ύψη κεραίας σταθμού βάσης κάτω από τα επίπεδα της ταράτσας χρησιμοποιώντας μια εμπειρική συνάρτηση που βασίζεται σε μετρήσεις. Τα ύψη των κτιρίων και οι χωρικοί διαχωρισμοί τους κατά μήκος της απευθείας ραδιοδιαδρομής μοντελοποιούνται με απορροφητικές οθόνες για τον προσδιορισμό του L_{msd} :

$$l_{msd} = l_{bsh} + k_a + k_d \log\left(\frac{d}{\text{km}}\right) + k_f \log\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right) - 9 \log\left(\frac{b}{m}\right)$$



Εμπειρικό Μοντέλο διάδοσης COST-Walfisch-Ikegami-Bertoni

όπου:

$$l_{bsh} = \begin{cases} -18 \log \left(1 + \frac{h_{TX} - h_{roof}}{m} \right) & h_{TX} > h_{roof} \\ 0 & h_{TX} < h_{roof} \end{cases}$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & h_{TX} > h_{roof} \\ 54 - 0.8 \frac{h_{TX} - h_{roof}}{m} & d \geq 0.5 \text{ km and } h_{TX} \leq h_{roof} \\ 54 - 0.8 \frac{h_{TX} - h_{roof}}{m} \frac{d}{0.5} & d < 0.5 \text{ km and } h_{TX} \leq h_{roof} \end{cases}$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & h_{TX} > h_{roof} \\ 18 - 15 \frac{h_{TX} - h_{roof}}{h_{roof} - h_{RX}} & h_{TX} \leq h_{roof} \end{cases}$$

$$k_f = -4 + \begin{cases} 0.7 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) & \text{για μεσαίου μεγέθους πόλεις και κέντρα προαστίων} \\ 1.5 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) & \text{για μητροπολιτικά κέντρα} \end{cases}$$



Εμπειρικό Μοντέλο διάδοσης COST-Walfisch-Ikegami-Bertoni

- Το μοντέλο έχει επίσης γίνει αποδεκτό από την ITU-R (έκθεση 567-4).
- Η εκτίμηση της απώλειας διαδρομής συμφωνεί καλά με τις μετρήσεις για τα ύψη της κεραίας του σταθμού βάσης πάνω από τα επίπεδα της ταράτσας.
- Το μέσο σφάλμα είναι στην περιοχή των 3 dB και η τυπική απόκλιση είναι 4-8 dB. Ωστόσο, το σφάλμα πρόβλεψης γίνεται μεγαλύτερο για h_{TX} κοντά στο h_{roof} σε σύγκριση με καταστάσεις όπου $h_{TX} \gg h_{roof}$.
- Επιπλέον, η απόδοση του μοντέλου είναι κακή για $h_{TX} \ll h_{roof}$. Οι παράμετροι b , w και φ δεν λαμβάνονται υπόψη με για τα μικροκυψέλες (micro cells). Επομένως, το σφάλμα πρόβλεψης για μικροκυψέλες μπορεί να είναι αρκετά μεγάλο.
- Το μοντέλο δεν λαμβάνει υπόψη τη διάδοση πολλαπλών διαδρομών. Ως εκ τούτου, τα φαινόμενα καθοδήγησης κυμάτων σε βαθιούς δρόμους δεν λαμβάνονται υπόψη.
- Σε περιπτώσεις όπου η διάδοση πάνω από τις στέγες είναι κυρίαρχη, το μοντέλο παράγει καλά αποτελέσματα.



Longley-Rice Model γνωστό και ως ITS (Irregular Terrain Model)

- Στατιστικό/ημι-εμπειρικό μοντέλο,
- Περιλαμβάνει περιπτώσεις λόγω του εδάφους,
- Εμπειρικά ζυγίζει απώλειες περίθλασης ακμής μαχαιριού (knife edge diffraction) με αυτές από πολλαπλή διάδοση (multipath propagation),
- Εγκρίθηκε ως πρότυπο από το NTIA (U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, National Telecommunications and Information Administration),
- Ευρύ φάσμα εφαρμογής: 20 MHz - 40 GHz, έως 2000Km, σενάρια χαμηλού και μεγάλου υψομέτρου,
- Πολλές εφαρμογές λογισμικού είναι διαθέσιμες στο εμπόριο,
<https://its.ntia.gov/media/47635/ITMc.zip>,
<https://www.mathworks.com/help/antenna/ref/rfprop.longleyrice.html>
- Περιλαμβάνει τους περισσότερους σχετικούς τρόπους διάδοσης: πολλαπλές τύπου μαχαιριού και στρογγυλεμένων άκρων περιθλάσεις (multiple knife & rounded edge diffraction) σε ακανόνιστο έδαφος (irregular terrain), ατμοσφαιρική εξασθένηση, τροποσφαιρική διάδοση



Longley-Rice Model γνωστό και ως ITS (Irregular Terrain Model)

- **Η μέση απώλεια διαδρομής** προβλέπεται με χρήση γεωμετρίας διαδρομής προφίλ εδάφους και αντανάκλασης τροπόσφαιρας
- **Η ισχύς σήματος** εντός του ραδιοηλεκτρικού ορίζοντα προβλέπεται με γεωμετρικές οπτικές τεχνικές (κυρίως το μοντέλο των 2 ακτίνων)
- **Η απώλεια περίθλασης** σε μεμονωμένα εμπόδια προβλέπεται με τη χρήση μοντέλων Fresnel-Kirchoff knife edge
- **Η τροποσφαιρική σκέδαση** (Troposcatter) σε μεγάλες αποστάσεις προβλέπεται με χρήση της θεωρίας εμπρόσθιας σκέδασης (Forward Scatter Theory)
- **Οι απώλειες περίθλασης** μακρινού πεδίου σε διαδρομές διπλού ορίζοντα προβλέπονται με την τροποποιημένη μέθοδο Van der Pol-Bremner



Longley-Rice Model γνωστό και ως ITS (Irregular Terrain Model)

Δύο τρόποι λειτουργίας του μοντέλου:

- **Η λειτουργία από σημείο σε σημείο (point-to-point mode)** χρησιμοποιεί πληροφορίες εδάφους (Χρησιμοποιούνται υψομετρικές τιμές κάθε 100m μεταξύ πομπού - ΤΧ και δέκτη - ΡΧ), και χρησιμοποιείται όταν είναι γνωστά λεπτομερή προφίλ εδάφους ή συγκεκριμένες παράμετροι διαδρομής
- **Η λειτουργία περιοχής (Area mode)** χρησιμοποιεί τεχνικές που εκτιμούν τις παραμέτρους της συγκεκριμένης διαδρομής όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες εδάφους.
- Λαμβάνεται υπόψιν αστικός παράγοντας για πρόσθετη εξασθένηση λόγω αστικής ακαταστασίας κοντά στην κεραία λήψης
- Δεν υπάρχουν διορθώσεις λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων ή επιπτώσεων των κτιρίων



Durkins Model

Αυτό το μοντέλο περιγράφει ένα πρόγραμμα προσομοίωσης σε υπολογιστή που προβλέπει την απώλεια διαδρομής και παρέχει μια ενδιαφέρουσα προοπτική για τη φύση της διάδοσης σε ανώμαλο έδαφος και τις απώλειες που προκαλούνται από εμπόδια σε μια διαδρομή.

- Είναι παρόμοιο με το μοντέλο **Longley-Rice**
- Προβλέπει περιγράμματα έντασης πεδίου σε ανώμαλο έδαφος
- Εγκρίθηκε από τη μικτή επιτροπή ραδιοεπικοινωνιών του Ηνωμένου Βασιλείου (UK joint radio committee)
- Αποτελείται από δύο μέρη:



Durkins Model

Το πρώτο μέρος (Ground Profile) αποκτά πρόσβαση σε μια τοπογραφική βάση δεδομένων μιας προτεινόμενης περιοχής εξυπηρέτησης, και ανακατασκευάζει το προφίλ γης κατά μήκος της ακτινικής σύνδεσης του πομπού με τον δέκτη.

- Μοντελοποιεί LOS και περίθλαση που προέρχονται από εμπόδια και τοπικούς σκεδαστές,
- Υποθέτει ότι όλο το σήμα λαμβάνεται κατά μήκος της ακτινικής σύνδεσης του πομπού με τον δέκτη (δεν λαμβάνει υπόψιν πολλαπλή διαδρομή).

Το δεύτερο μέρος του αλγόριθμου προσομοίωσης (Expected Path Loss) την αναμενόμενη απώλεια διαδρομής κατά μήκος αυτής της ακτινικής σύνδεσης:

- Μετακινεί τη θέση του δέκτη για να βγει συμπέρασμα για το περίγραμμα ισχύος του σήματος,
- Δεν παράγει καλά αποτελέσματα σε στενές κοιλάδες,
- Εντοπίζει καλά τις περιοχές ασθενούς σήματος.



Μοντέλα διάδοσης εσωτερικών χώρων (Indoor Propagation Models)

- Τα μοντέλα εσωτερικών χώρων είναι λιγότερο γενικευμένα με μικρότερες αποστάσεις διαχωρισμού TX-RX από ότι σε εξωτερικούς χώρους
- Το περιβάλλον είναι συγκριτικά πιο δυναμικό με υψηλότερη περιβαλλοντική μεταβλητότητα για πολύ μικρό διαχωρισμό TX-RX, εμφανίζει περισσότερη ακαταστασία, διασπορά, λιγότερο LOS
- Οι συνθήκες ποικίλλουν ανάλογα με την περίπτωση (π.χ. πόρτες ανοικτές/κλειστές, θέση κεραίας, κλπ.
- Υπάρχει μεταβλητή ακτινοβολία μακρινού πεδίου για διαφορετικές θέσεις δεκτών και διαφορετικούς τύπους κεραιών
- Οι μικρότερες αποστάσεις είναι πιο κοντά στο κοντινό πεδίο
- Τα σημαντικά χαρακτηριστικά είναι φυσικά μικρότερα, και είναι έντονα επηρεασμένα από τα χαρακτηριστικά του κτιρίου, τη διάταξη, τα υλικά κλπ.



Μοντέλα διάδοσης εσωτερικών χώρων (Indoor Propagation Models)

Κυριαρχούνται από τους ίδιους μηχανισμούς όπως και στην διάδοση εξωτερικών χώρων (Outdoor Propagation), δηλαδή ανάκλαση, διάθλαση, σκέδαση

Ταξινομούνται είτε ως:

- LOS (Line-of-sight), είτε ως
- OBS (Obstructed) με ποικίλους βαθμούς ακαταστασίας

Τύποι κτιρίων:

Κατοικίες σε προαστιακές περιοχές, Κατοικίες σε αστικές περιοχές, Παραδοσιακά κτίρια γραφείων με σταθερούς τοίχους (σκληρά χωρίσματα), Κτίρια ενιαίας διαρρύθμισης με κινητά πάνελ τοίχου (μαλακά χωρίσματα), Κτίρια εργοστασίων, Παντοπωλεία Καταστήματα λιανικής πώλησης, Αθλητικές αρένες κλπ.



Παράμετροι και στοιχεία για μοντέλα διάδοσης εσωτερικών χώρων

Χρονική εξασθένιση για σταθερούς και κινούμενους δέκτες:

- Η κίνηση των ανθρώπων μέσα στο κτίριο προκαλεί εξασθένιση τύπου Ricean για τους σταθερούς δέκτες.
- Οι φορητοί δέκτες υπόκεινται γενικά σε:
 - Εξασθένιση τύπου Rayleigh για διαδρομές διάδοσης OBS
 - Εξασθένιση τύπου Ricean για LOS διαδρομές διάδοσης



Παράμετροι και στοιχεία για μοντέλα διάδοσης εσωτερικών χώρων

Διασπορά καθυστέρησης πολλαπλών διαδρομών (Multipath Delay Spread):

- Τα κτίρια με λιγότερα μέταλλα και σκληρά χωρίσματα έχουν συνήθως μικρές rms διασπορές καθυστέρησης : 30-60ns.
 - Μπορούν να υποστηριχθούν ρυθμοί δεδομένων αρκετών Mbps χωρίς εξισορρόπηση (equalization).
- Τα μεγαλύτερα κτίρια με μεγάλη ποσότητα μετάλλου και ανοιχτούς διάδρομους μπορεί να έχουν rms καθυστέρηση διασποράς της τάξης των 300ns.
 - Δεν είναι δυνατή η υποστήριξη ρυθμών δεδομένων άνω των μερικών εκατοντάδων Kbps χωρίς εξισορρόπηση.



Παράμετροι και στοιχεία για μοντέλα διάδοσης εσωτερικών χώρων

Απώλεια διαδρομής στα μοντέλα αυτά:

Ο ακόλουθος τύπος που έχουμε δει στο μοντέλο Log Normal Shadowing (Σκίασης) περιγράφει επίσης την απώλεια διαδρομής σε εσωτερικούς χώρους:

$$PL(d)_{dB} = \overline{PL}(d) + X_{\sigma} = \overline{PL}(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{\sigma}$$

όπου η X_{σ} είναι μια τυχαία μεταβλητή με κανονική κατανομή (Gaussian) σε **dB** και σ είναι η **τυπική απόκλιση του X** (standard deviation of X). Τα n και σ εξαρτώνται από τον τύπο του κτιρίου. Μικρότερη τιμή για το σ υποδεικνύει την ακρίβεια του μοντέλου απώλειας διαδρομής.



Παράγοντες απώλειας διαδρομής εντός κτιρίων για μοντέλα διάδοσης εσωτερικών χώρων

1. Απώλειες χωρισμάτων (ίδιος όροφος):

Γενικά τα χωρίσματα στον ίδιο όροφο κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες:

Σκληρά χωρίσματα: οι τοίχοι των δωματίων

Μαλακά χωρίσματα: κινητά χωρίσματα που δεν εκτείνονται στην οροφή

Η απώλεια διαδρομής εξαρτάται από τον τύπο των χωρισμάτων



Παράγοντες απώλειας διαδρομής εντός κτιρίων για μοντέλα διάδοσης εσωτερικών χώρων

Μέσες μετρήσεις απώλειας σήματος που αναφέρθηκαν από διάφορες έρευνες για ραδιοδιαδρομές που αποκρύπτονται από κάποιο κοινό οικοδομικό υλικό παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Material Type	Loss (dB)	Frequency (MHz)
All metal	26	815
Aluminim Siding	20.4	815
Concerete Block Wall	3.9	1300
Loss from one Floor	20-30	1300
Turning an Angle in a Corridor	10-15	1300
Concrete Floor	10	1300
Dry Plywood (3/4in) – 1 sheet	1	9600
Wet Plywood (3/4in) – 1 sheet	19	9600
Aluminum (1/8in) – 1 sheet	47	9600



Παράγοντες απώλειας διαδρομής εντός κτιρίων για μοντέλα διάδοσης εσωτερικών χώρων

2. Απώλειες μεταξύ των ορόφων ενός κτιρίου που καθορίζονται από:

- Εξωτερικές διαστάσεις και υλικά του κτιρίου (η απώλεια διείσδυσης μειώνεται κατά 1,9dB με κάθε όροφο για ύψος μικρότερο 15 ορόφους, ενώ για ύψος πάνω από 15 ορόφους η σκίαση επηρεάζεται από ψηλότερα κτίρια),,
- Τύπος κατασκευής που χρησιμοποιείται για τα δάπεδα,
- Εξωτερικοί χώροι,
- Αριθμός παραθύρων (η απώλεια μπροστά από τα παράθυρα είναι 6dB μεγαλύτερη από ό, τι χωρίς παράθυρα),
- Παρουσία χρωματισμών στα παράθυρα κλπ.



Παράγοντες απώλειας διαδρομής εντός κτιρίων για μοντέλα διάδοσης εσωτερικών χώρων

3. Διείσδυση σήματος σε κτίρια:

Τα σήματα ραδιοσυχνοτήτων μπορούν να διεισδύσουν από εξωτερικό πομπό στο εσωτερικό των κτιρίων, προφανώς εξασθενημένα.

Η απώλεια διαδρομής κατά τη διείσδυση έχει βρεθεί ότι είναι συνάρτηση:

- Της συχνότητας του σήματος (μειώνεται με αυξημένη συχνότητα),
- Του ύψους του κτιρίου (η ισχύς του σήματος αυξάνεται με το ύψος, και τα χαμηλότερα επίπεδα επηρεάζονται από την ακαταστασία του εδάφους - εξασθένηση και διείσδυση),
- Του υψομετρικού διαγράμματος ακτινοβολίας της κεραίας,
- Της γωνίας πρόσπτωσης του σήματος



Παράγοντες απώλειας διαδρομής εντός κτιρίων για μοντέλα διάδοσης εσωτερικών χώρων

Επίδραση της συχνότητας:

Η απώλεια διείσδυσης μειώνεται με αυξανόμενη συχνότητα

Frequency (MHz)	Loss (dB)
441	16.4
896.5	11.6
1400	7.6

Frequency (MHz)	Loss (dB)
900	14.2
1800	13.4
2300	12.8

Επίδραση του ύψους:

Η απώλεια διείσδυσης μειώνεται με το ύψος του κτιρίου μέχρι κάποιο ύψος

- Σε χαμηλότερα ύψη, η αστική ακαταστασία προκαλεί μεγαλύτερη εξασθένηση που στη συνέχεια αυξάνεται
- Υπάρχουν και επιπτώσεις λόγω σκίασης από γειτονικά κτίρια



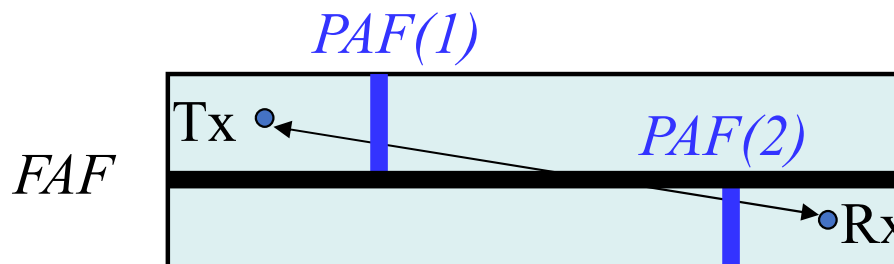
Μοντέλο παράγοντα εξασθένησης (Attenuation Factor Model)

Η εξίσωση που περιγράφει το μοντέλο είναι γενικά η ακόλουθη:

$$\overline{PL}(d) (dB) = \overline{PL}(d_0) (dB) + 10n_{SF} \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + FAF(dB) + \sum PAF(dB)$$

όπου:

- n_{SF} = εκθέτης απωλειών για μέτρηση ίδιου ορόφου – πρέπει να είναι ακριβής
- **FAF** = συντελεστής εξασθένησης δαπέδου για διαφορετικό όροφο
- **PAF** = συντελεστής εξασθένησης χωρισμάτων για εμπόδια που υπολογίζεται από απλή πρωτογενή ανίχνευση ακτίνας (primary ray tracing) μεταξύ TX και RX (μονή ακτίνα που τραβιέται μεταξύ TX και RX)
- $d_0 = 1m$



Μοντέλο παράγοντα εξασθένησης (Attenuation Factor Model)

Για απώλεια πολλαπλών ορόφων (δαπέδων) πρέπει να αντικατασταθεί το **FAF**.

Αν n_{MF} είναι ο εκθέτης απωλειών για απώλεια πολλαπλών ορόφων (δαπέδων), τότε η εξίσωση που περιγράφει το μοντέλο σε αυτή την περίπτωση είναι:

$$\overline{PL}(d) (dB) = \overline{PL}(d_0) (dB) + 10n_{MF} \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \sum PAF (dB)$$



Μοντέλο παράγοντα εξασθένησης (Attenuation Factor Model)

Αν υπάρχει και απώλεια διαδρομής κτιρίου (Building Path Loss), αυτή υπακούει στις εξισώσεις ελευθέρου χώρου προστιθέμενου κάποιου συντελεστή απώλειων α (=σταθερά εξασθένισης για το κανάλι σε dB/m) που αυξάνεται εκθετικά με την απόσταση d .

Η εξίσωση που περιγράφει το μοντέλο σε αυτή την περίπτωση είναι:

$$\overline{PL}(d) (dB) = \overline{PL}(d_0) (dB) + 20 \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + \alpha d + FAF (dB) + \sum PAF (dB)$$

Κτίριο 2 ορόφων

f	α
850MHz	0.48
1.7GHz	0.35

Κτίριο 4 ορόφων

f	α
850MHz	0.62
1.7GHz	0.57



JTC Model (Joint Technical Committee model)

Η εξίσωση που περιγράφει το μοντέλο είναι:

$$L_p = A + L_f(n) + B \log(d) + X$$

- **A** είναι ένας σταθερός παράγοντας απώλειας που εξαρτάται από το περιβάλλον (dB)
- **B** είναι ο συντελεστής απώλειας που εξαρτάται από την απόσταση
- **d** είναι η απόσταση διαχωρισμού μεταξύ του σταθμού βάσης και του κινητού δέκτη, σε μέτρα
- **L_f** είναι ένας παράγοντας απώλειας διείσδυσης δαπέδου (dB)
- **n** είναι ο αριθμός των ορόφων μεταξύ του σημείου πρόσβασης και του κινητού δέκτη
- **X_σ** είναι ένας όρος σκίασης

JTC Model (Joint Technical Committee model)

Environment	Residential	Office	Commercial
A (dB)	38	38	38
B	28	30	22
$L_f(n)$ (dB)	$4n$	$15 + 4(n-1)$	$6 + 3(n-1)$
Log Normal Shadowing Std. Dev. (dB)	8	10	10





ΕΛΜΕΠΑ – ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΚΕΡΑΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**

Διδάσκων: Στρατάκης Δημήτριος



ΕΛΜΕΠΑ – ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΚΕΡΑΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**

Διδάσκων: Στρατάκης Δημήτριος



ΕΛΜΕΠΑ – ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΚΕΡΑΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**

Διδάσκων: Στρατάκης Δημήτριος