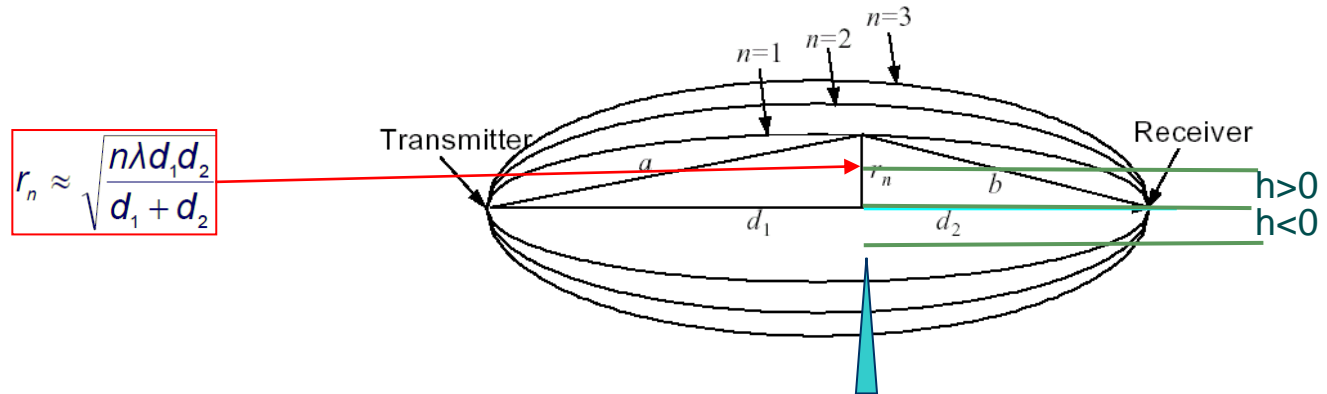
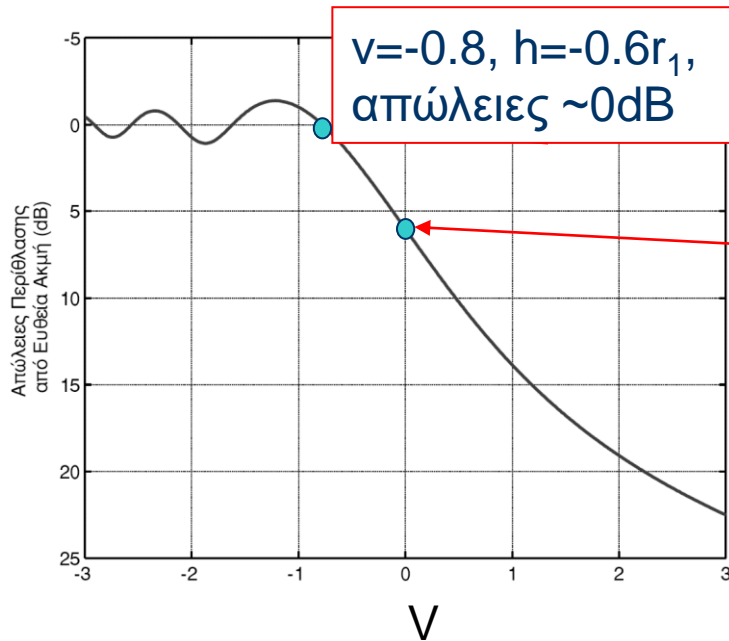


Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης



$$r_n \approx \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

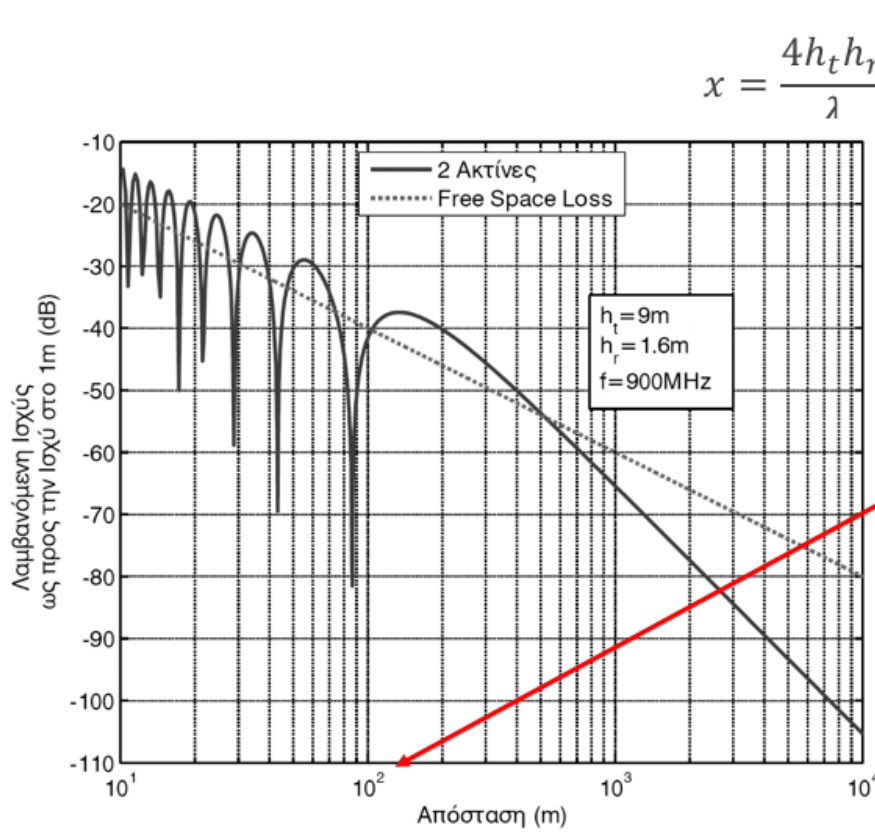


$$v = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}}$$

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

Σχέση με το μοντέλο επίπεδης γης

- **Σημείο αποκοπής – Breakpoint** Απόσταση για την οποία η πρώτη ζώνη παρεμποδίζεται από το έδαφος (για δεδομένα ύψη κεραιών και συχνότητα)



$$x = \frac{4h_t h_r}{\lambda} \sqrt{1 - \frac{\lambda^2 (h_t + h_r)^2}{16(h_t h_r)^2} + \left(\frac{\lambda^2}{16h_t h_r}\right)^2}$$

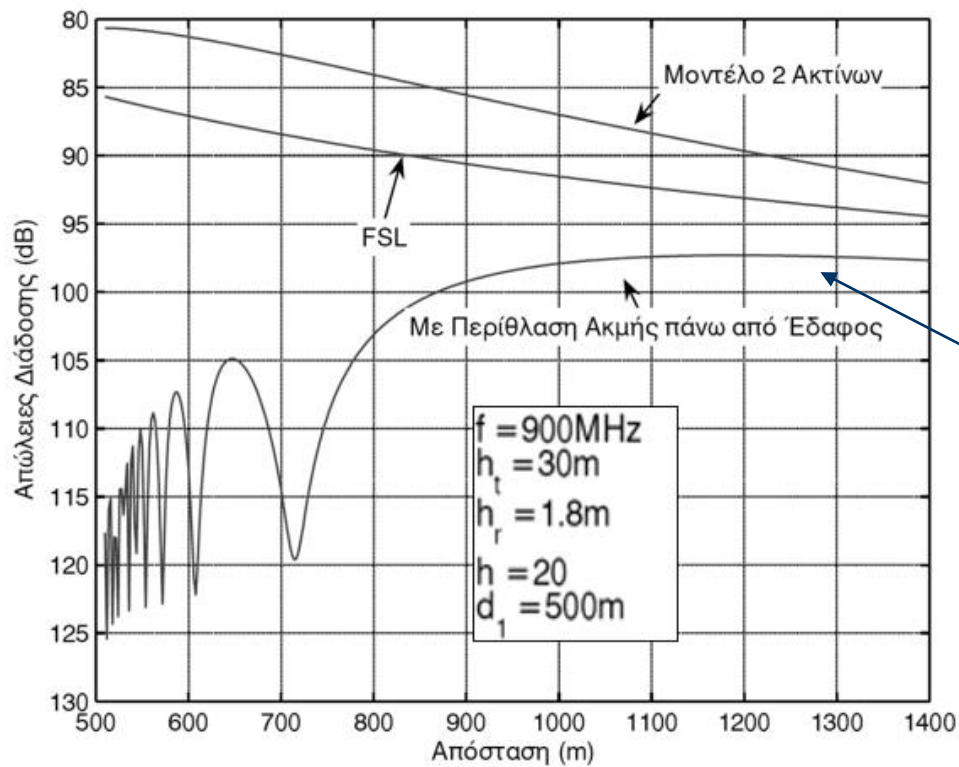
$$h_t, h_r \gg \lambda$$

$$x \cong \frac{4h_t h_r}{\lambda}$$

Σημαντικό για θέση πομπού-δέκτη στις ασύρματες/κινητές επικοινωνίες (σημείο αποκοπής μεγάλο)

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

Επίπεδο έδαφος με εμπόδιο ευθείας ακμής

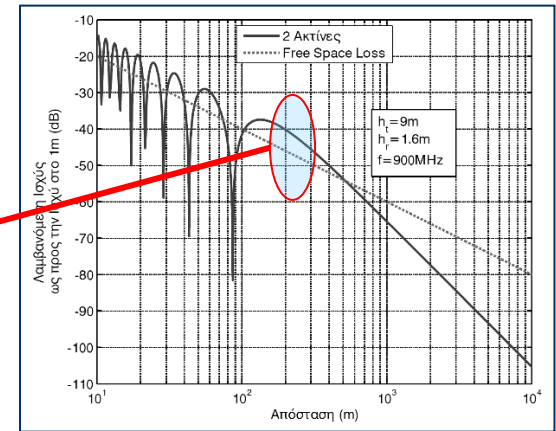
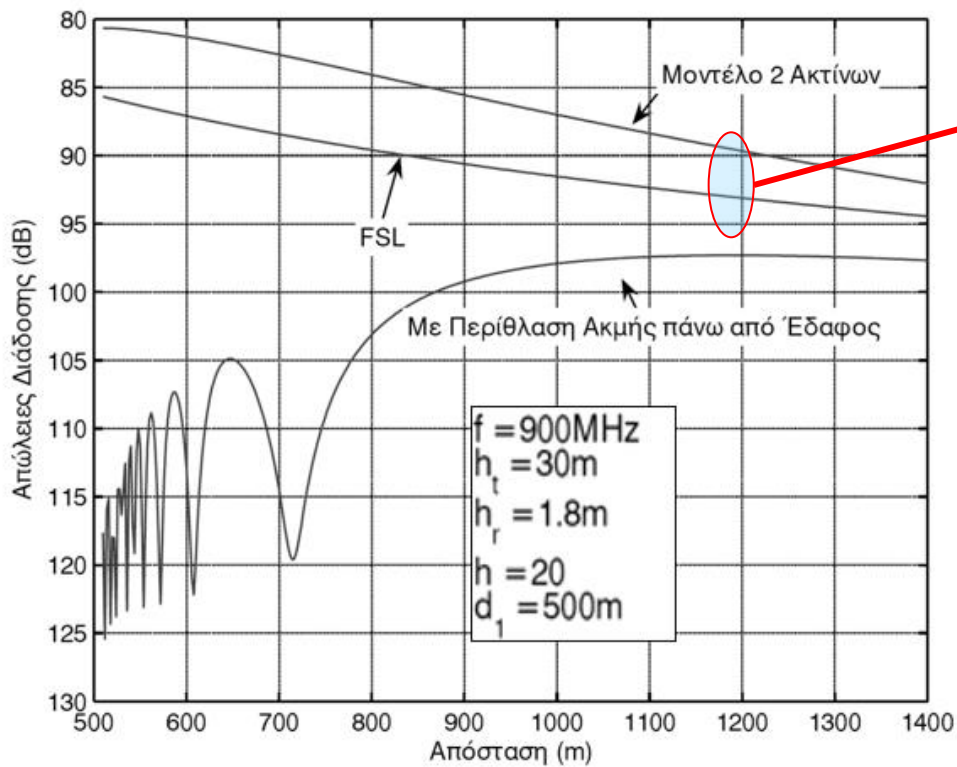


Οι απώλειες περίθλασης μειώνονται με την απόσταση. Παράδοξο;

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

Επίπεδο έδαφος με εμπόδιο ευθείας ακμής

Γιατί έχουμε λιγότερες απώλειες όσο απομακρυνόμαστε?

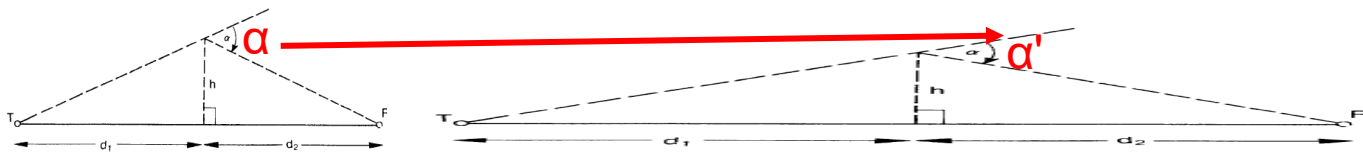
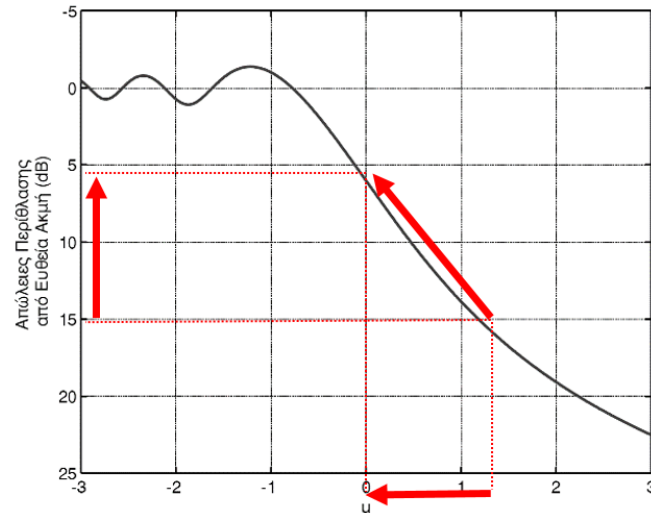
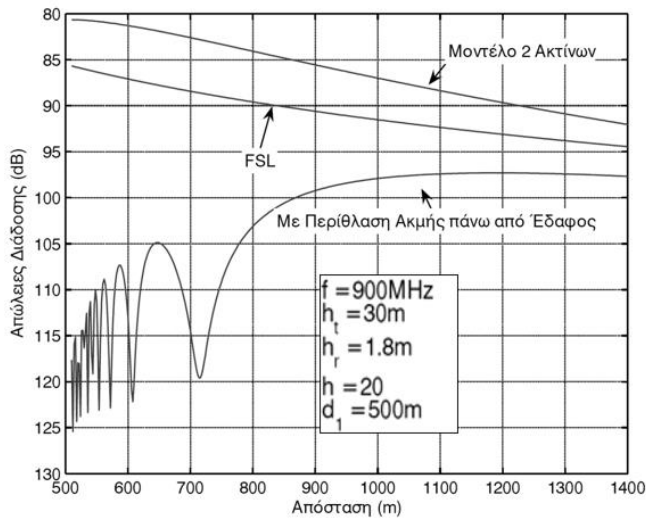


$$v = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}}$$

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης Επίπεδο έδαφος με εμπόδιο ευθείας ακμής

Γιατί έχουμε λιγότερες απώλειες όσο απομακρυνόμαστε?

$$v = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}}$$

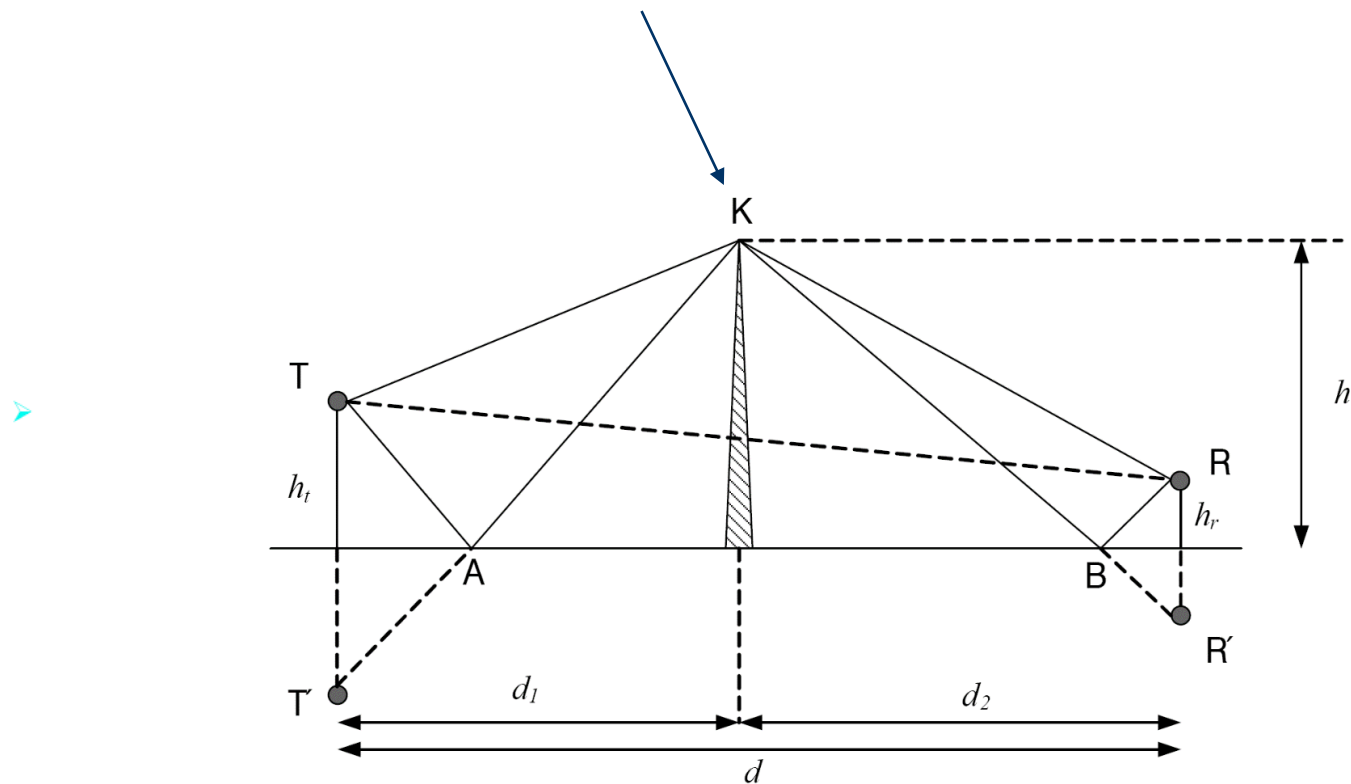


Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

Επίπεδο έδαφος με εμπόδιο ευθείας ακμής

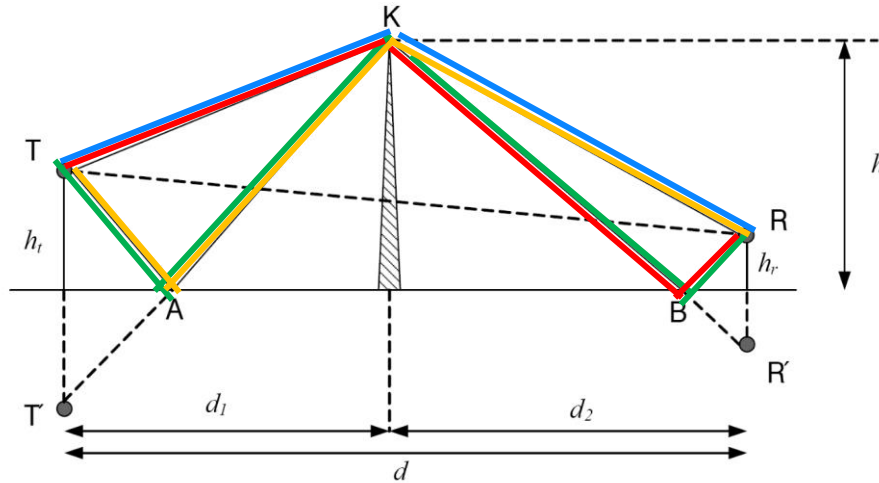
- Πόσες διαδρομές έχουμε για το κύμα μας?
- Είναι το σενάριο αυτό κατάλληλο για την χρήση του μοντέλου ray ground reflection (2 φορές)?

Όχι γιατί δεν είναι πομπός



Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

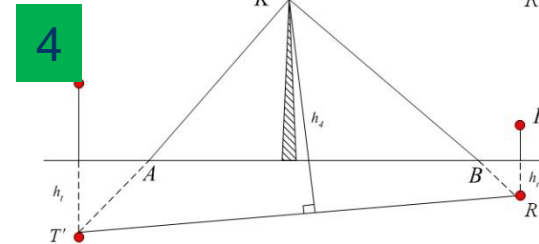
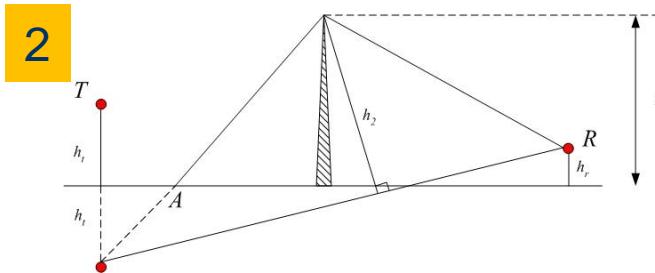
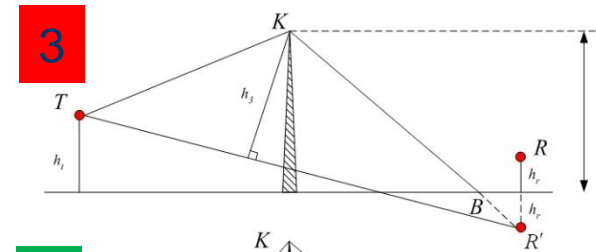
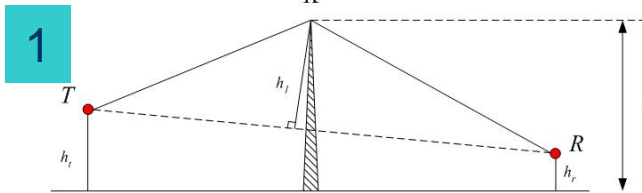
Επίπεδο έδαφος με εμπόδιο ευθείας ακμής



	Θέση Πομπού	Θέση Δέκτη	Απόσταση Ελεύθερου Χώρου r_n	Ύψος h_n	Συντ/στής Ανάκλασης
1	T	R	$TR = \sqrt{d^2 + (h_t - h_r)^2}$	$h_1 = h - \frac{h_t d_2 + h_r d_1}{d}$	1
2	T'	R	$T'R = \sqrt{d^2 + (h_t + h_r)^2}$	$h_2 = h + \frac{h_t d_2 - h_r d_1}{d}$	Γ_A
3	T	R'	$TR' = T'R$	$h_3 = h - \frac{h_t d_2 - h_r d_1}{d}$	Γ_B
4	T'	R'	$T'R' = TR$	$h_4 = h + \frac{h_t d_2 + h_r d_1}{d}$	$\Gamma_A \Gamma_B$

Υπολογισμοί από σχετικά λογισμικά

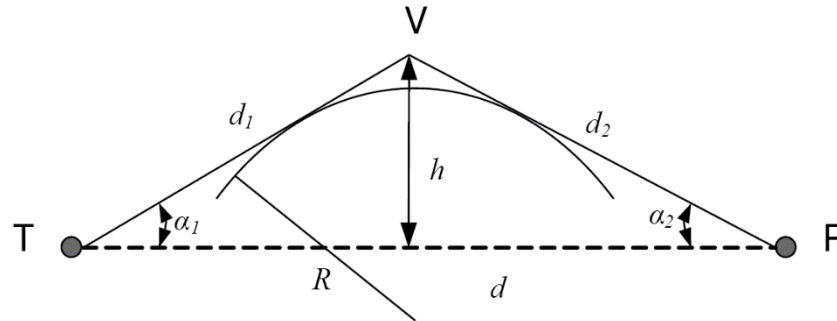
	Θέση Πομπού	Θέση Δέκτη	Απόσταση Ελεύθερου Χώρου r_n	Ύψος h_n	Συντ/στίης Ανάκλασης
1	T	R	$TR = \sqrt{d^2 + (h_t - h_r)^2}$	$h_1 = h - \frac{h_t d_2 + h_r d_1}{d}$	1
2	T'	R	$T'R = \sqrt{d^2 + (h_t + h_r)^2}$	$h_2 = h + \frac{h_t d_2 - h_r d_1}{d}$	Γ_A
3	T	R'	$TR' = T'R$	$h_3 = h - \frac{h_t d_2 - h_r d_1}{d}$	Γ_B
4	T'	R'	$T'R' = TR$	$h_4 = h + \frac{h_t d_2 + h_r d_1}{d}$	$\Gamma_A \Gamma_B$



Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

Περίθλαση από στρογγυλεμένο εμπόδιο

Απώλειες από στρογγυλεμένο εμπόδιο = Απώλειες από ευθεία ακμή + Παράγων $T(m,n)$



$$T(m,n) = 7.2m^{1/2} - (2 - 12.5n)m + 3.6m^{3/2} - 0.8m^2 \quad mn \leq 4$$

$$T(m,n) = -6 - 20 \log(mn) + 7.2m^{1/2} - (2 - 17n)m + 3.6m^{3/2} - 0.8m^2 \quad mn > 4$$

Προστίθεται στις απώλειες ευθείας ακμής

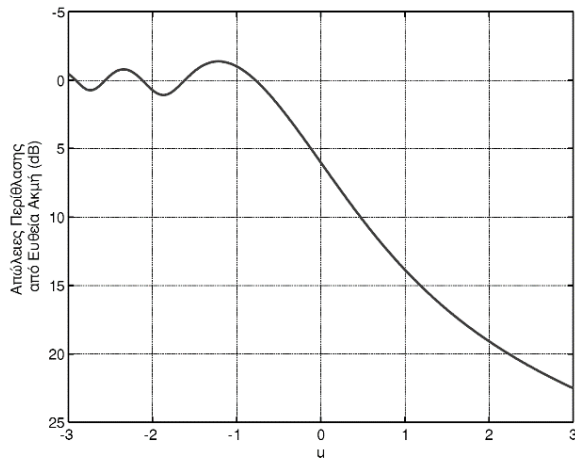
$$m = R \left[\frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right] \left/ \left[\frac{\pi R}{\lambda} \right]^{1/3} \right. \quad n = h \left[\frac{\pi R}{\lambda} \right]^{2/3} \left/ R \right.$$

Recommendation ITU-R P.526-11

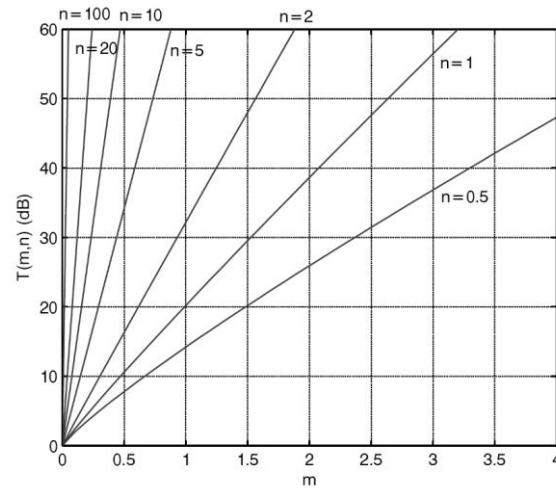
Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

Περίθλαση από στρογγυλεμένο εμπόδιο

- Απώλειες από στρογγυλεμένο εμπόδιο = Απώλειες από ευθεία ακμή + Παράγων $T(m,n)$
-



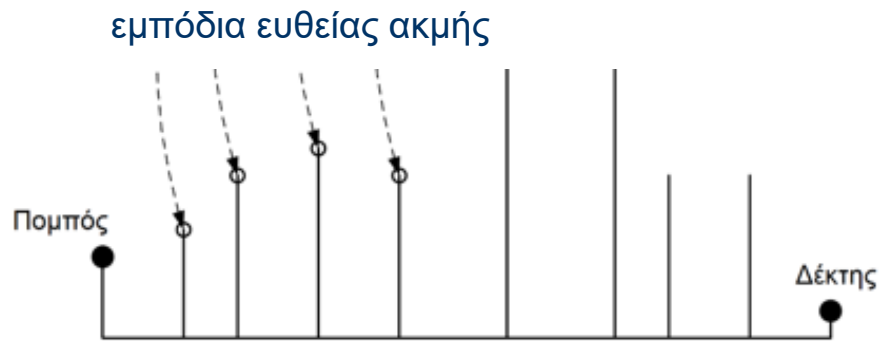
+



$$R \rightarrow 0 \Rightarrow T(m,n) \rightarrow 0$$

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

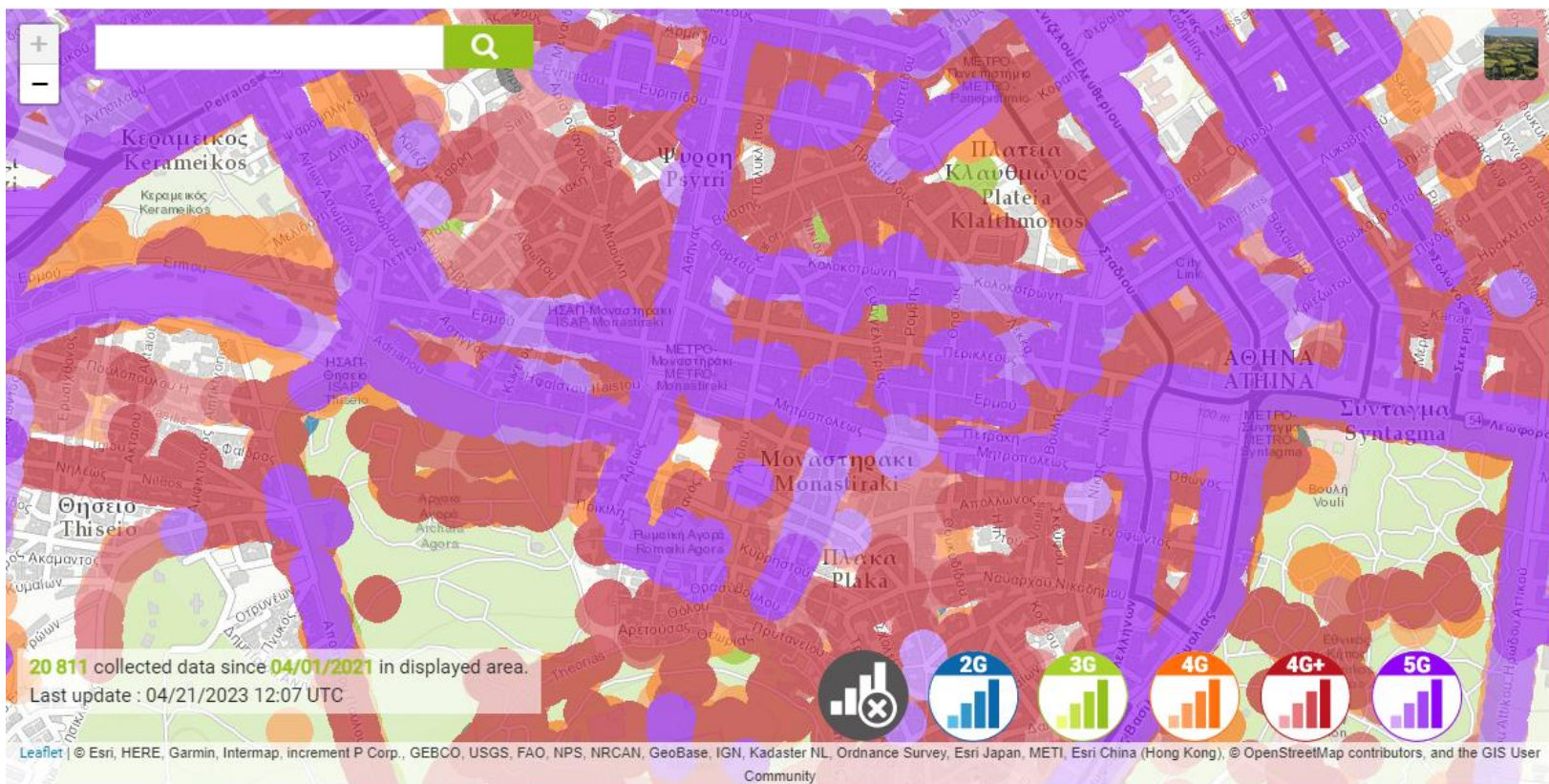
Περίθλαση από πολλαπλά εμπόδια ευθείας ακμής



Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

Περίθλαση από πολλαπλά εμπόδια ευθείας ακμής

Κέντρο Αθήνας

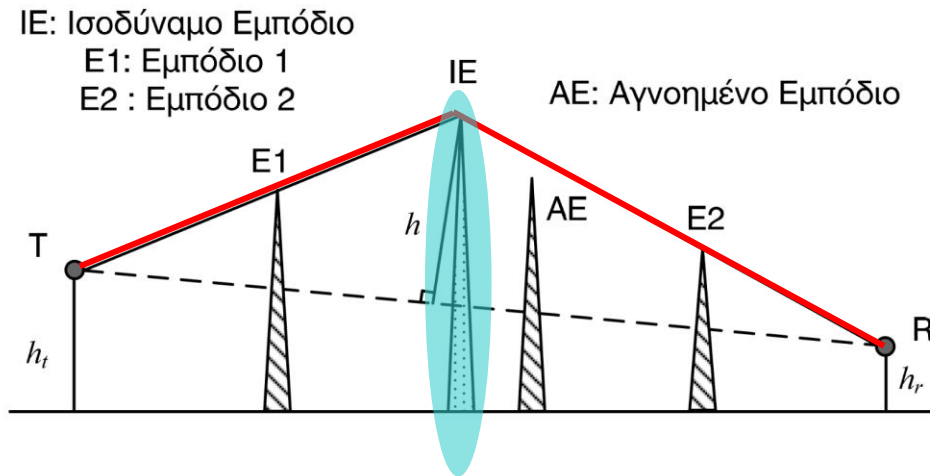


Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

Περίθλαση από πολλαπλά εμπόδια ευθείας ακμής

➤ Προσέγγιση Bullington

- Οι απώλειες περίθλασης ισοδυναμούν με τις απώλειες που θα προκαλούνταν από ένα εικονικό εμπόδιο που η κορυφή του προσδιορίζεται από το σημείο τομής των 2 ευθειών που ενώνουν i) το πρώτο εμπόδιο από το πομπό και ii) το τελευταίο εμπόδιο με τον δέκτη



- Αποτελέσματα πιο αισιόδοξα από την πραγματικότητα

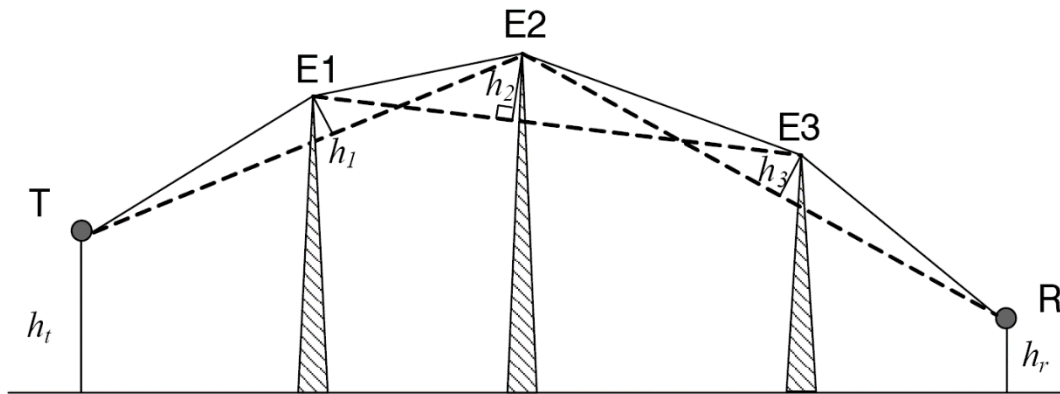
Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

Περίθλαση από πολλαπλά εμπόδια ευθείας ακμής

➤ Προσέγγιση Epstein-Peterson

- Η συγκεκριμένη μέθοδος, υπολογίζει την εξασθένιση που προκαλείται από το κάθε εμπόδιο στη σειρά και στη συνέχεια τα αθροίζει, ώστε να βρεθεί η συνολική απώλεια

Πολλαπλές εφαρμογές του τύπου του Lee



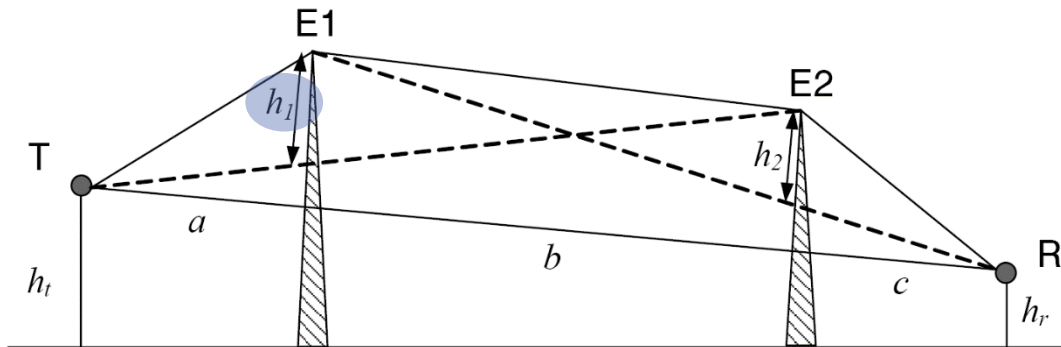
- Η άθροιση των απωλειών σε λογαριθμική κλίμακα υπονοεί εκθετική αύξηση των απωλειών για γραμμική αύξηση των εμποδίων, κάτι μη ρεαλιστικό
- Για κοντινή απόσταση 2 εμποδίων τα αποτελέσματα δεν είναι ικανοποιητικά

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

Περίθλαση από πολλαπλά εμπόδια ευθείας ακμής

- Προσέγγιση Erstein-Peterson για 2 εμπόδια με διόρθωση Millington
 - Πρόσθεση ενός διορθωτικού παράγοντα που ορίζεται ως εξής:

$$L = 10 \log \left[\frac{(a + b)(b + c)}{b(a + b + c)} \right]$$



- Ικανοποιητικά αποτελέσματα όταν $L_{E1}, L_{E2} > 15$ dB
- Καλύτερα αποτελέσματα όταν $L_{E1} \approx L_{E2}$

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

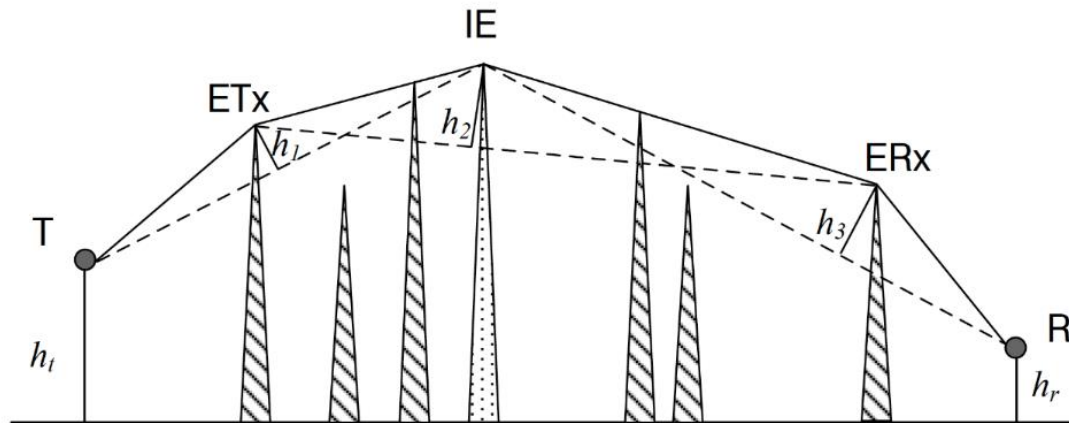
Περίθλαση από πολλαπλά εμπόδια ευθείας ακμής

➤ Προσέγγιση Edwards-Durkin

➤ Epstein-Peterson + Bullington

➤ Για έως τρία εμπόδια χρήση του Epstein-Peterson

➤ Για τέσσερα ή παραπάνω τα δυο εμπόδια δίπλα στις κεραίες υπολογίζονται με την μέθοδο Epstein-Peterson και τα ενδιάμεσα με τη μέθοδο Bullington. Μετά γίνεται άθροιση όπως στη μέθοδο Epstein-Peterson.

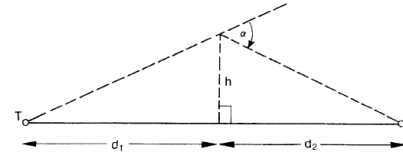


Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

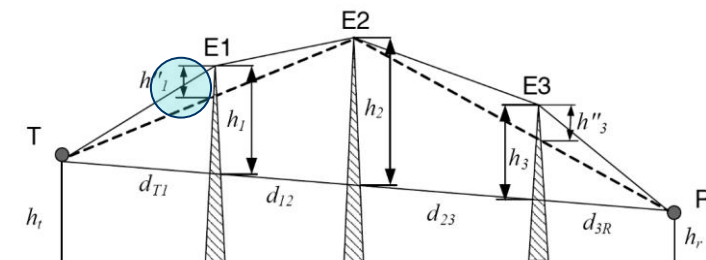
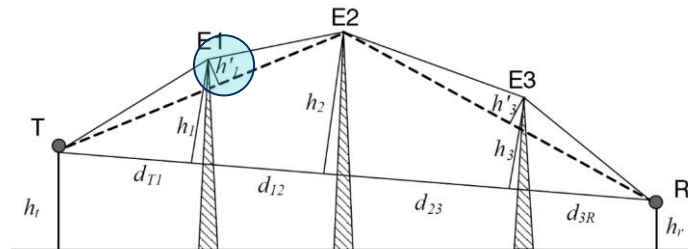
Περίθλαση από πολλαπλά εμπόδια ευθείας ακμής

- Προσέγγιση **Deygout**
- Εύρεση κύριας ακμής (με το μεγαλύτερο v – **συντελεστή Fresnel-Kirchoff**)

$$v = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}}$$



- Για τα δύο μέρη της ζεύξης εκατέρωθεν την κύρια ακμής, η ακμή παίζει ρολό πομπου ή δέκτη και υπολογίζουμε για κάθε εμπόδιο ξεχωριστά
- Εναλλακτικός υπολογισμός υψών



- σε σχέση με τις άλλες μεθόδους δεν υποτιμά το μέγεθος των πραγματικών απωλειών
- υποτιμά τις απώλειες αν τα εμπόδια είναι κοντά

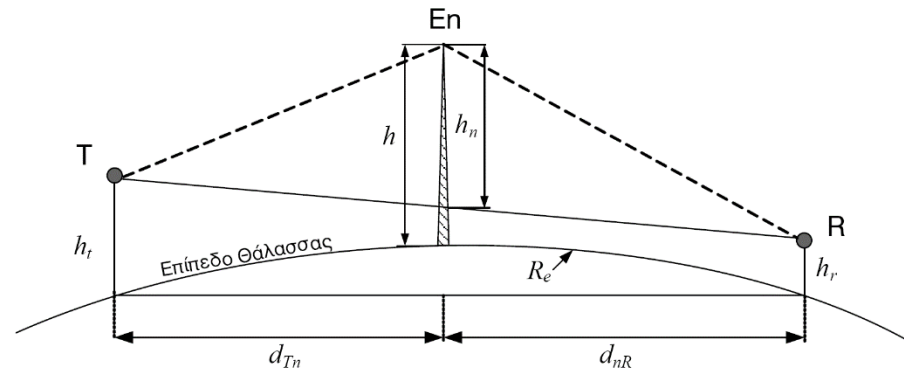
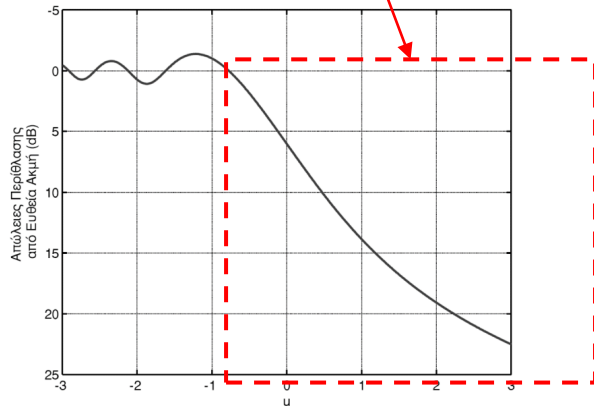
Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

Περίθλαση από πολλαπλά εμπόδια ευθείας ακμής

- Υιοθέτηση Προσέγγισης Deygout από ITU-R P.526
 - Βήμα 1: εύρεση κύρια ακμής όπως η προσέγγιση Deygout
 - Βήμα 2: εύρεση δευτερευόντων κύριων ακμών για τις εκατέρωθεν ακμές της κύριας ακμής

➤ αν $v_{\text{κύρια ακμής}} > -0.78$

- $L = L_{\text{κύριας ακμής}} + T (L_{1\text{ης δευτ}} + L_{2\text{ης δευτ}} + C)$
- $C = 10 + 0.04d$
- $T = 1 - e^{(-L_{\text{κύριας ακμής}}/6)}$

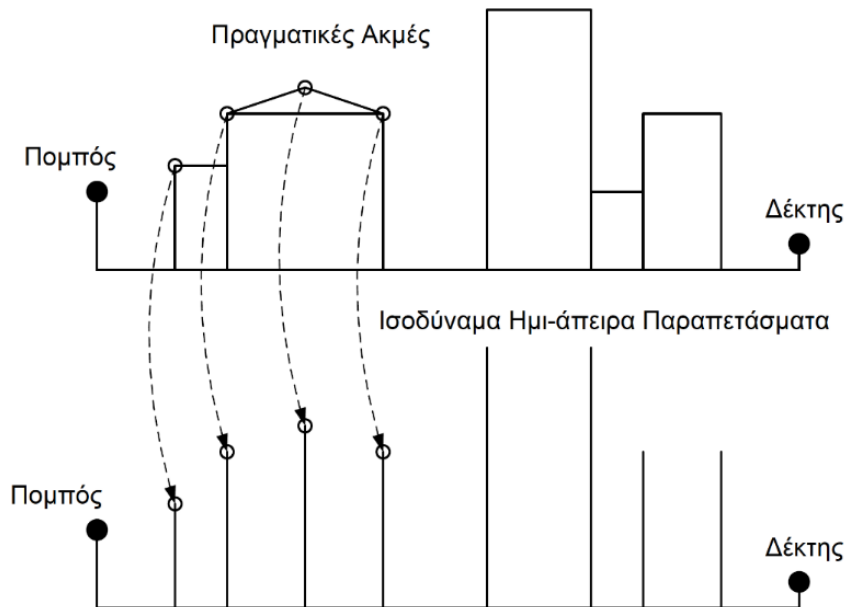


Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

Περίθλαση σε αστικό περιβάλλον

➤ Μοντέλο Walfisch-Bertoni

- Τα κτήρια θεωρούνται μια σειρά παραπετασμάτων
- Ενδιάμεσα κτήρια ίδιου ύψους



$$L = L_{FSL} + L_{ενδιαμεσα κτηρια} + L_{τελευταιο κτηριο}$$

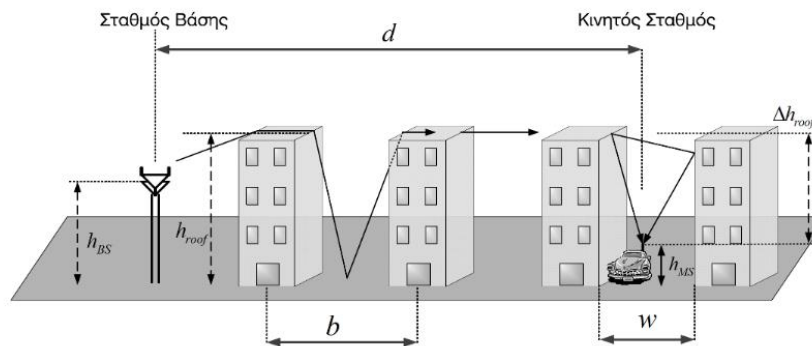
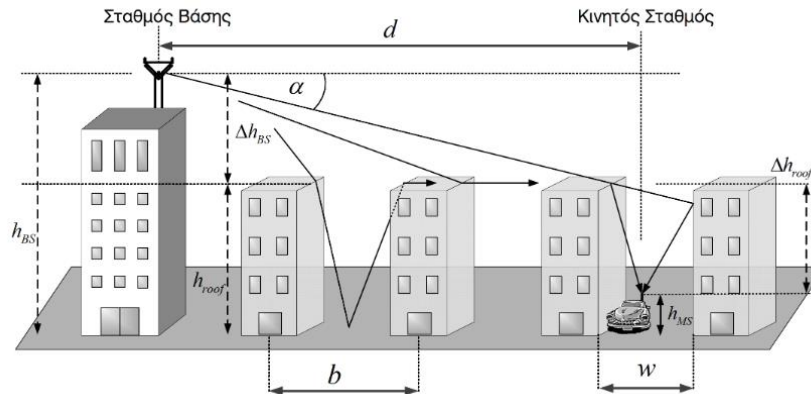
Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

Περίθλαση σε αστικό περιβάλλον

➤ Μοντέλο Walfisch-Bertoni

➤ 2 περιπτώσεις

- Σταθμός βάσης πάνω από το ύψος των κτηρίων
- Σταθμός βάσης σε μικρότερο ύψος από αυτό των κτηρίων



Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

Περίθλαση σε αστικό περιβάλλον

➤ Μοντέλο Walfisch-Bertoni

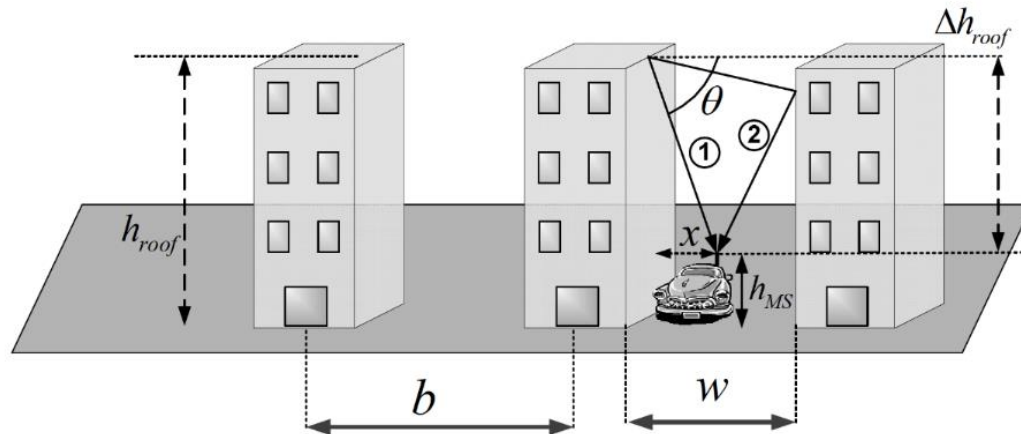
➤ 2 περιπτώσεις

- Σταθμός βάσης πάνω από το ύψος των κτηρίων
- Σταθμός βάσης σε μικρότερο ύψος από αυτό των κτηρίων

$$L = L_{FSL} + L_{ενδιαμεσα κτηρια} + L_{τελευταιο κτηριο}$$



$$L_{τελευταιο κτηριο} = f(\theta, G_{bs}(\theta), h_{roof}, h_{ms}, \lambda)$$



Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

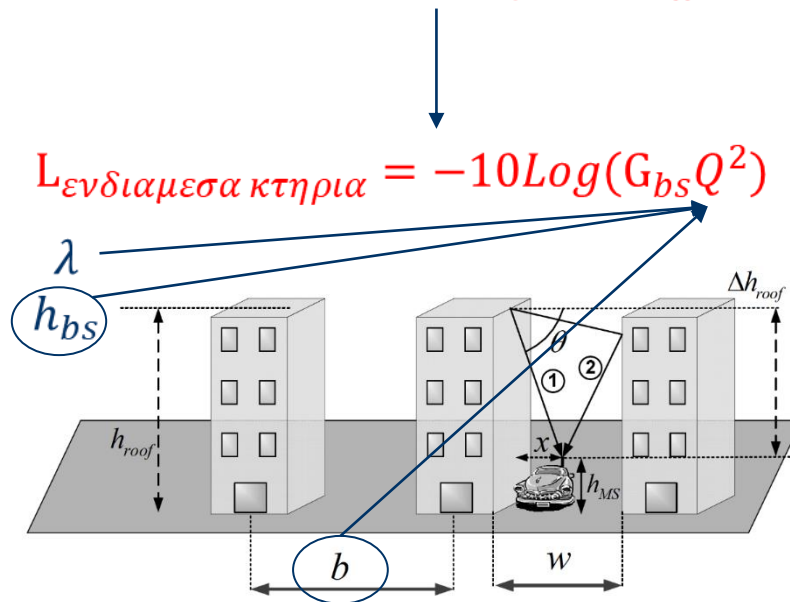
Περίθλαση σε αστικό περιβάλλον

➤ Μοντέλο Walfisch-Bertoni

➤ 2 περιπτώσεις

- Σταθμός βάσης πάνω από το ύψος των κτηρίων
- Σταθμός βάσης σε μικρότερο ύψος από αυτό των κτηρίων

$$L = L_{FSL} + L_{\text{ενδιαμεσα κτηρια}} + L_{\text{τελευταιο κτηριο}}$$



$$h_{bs} > \sqrt{\lambda b}$$



$$Q = Q_E$$

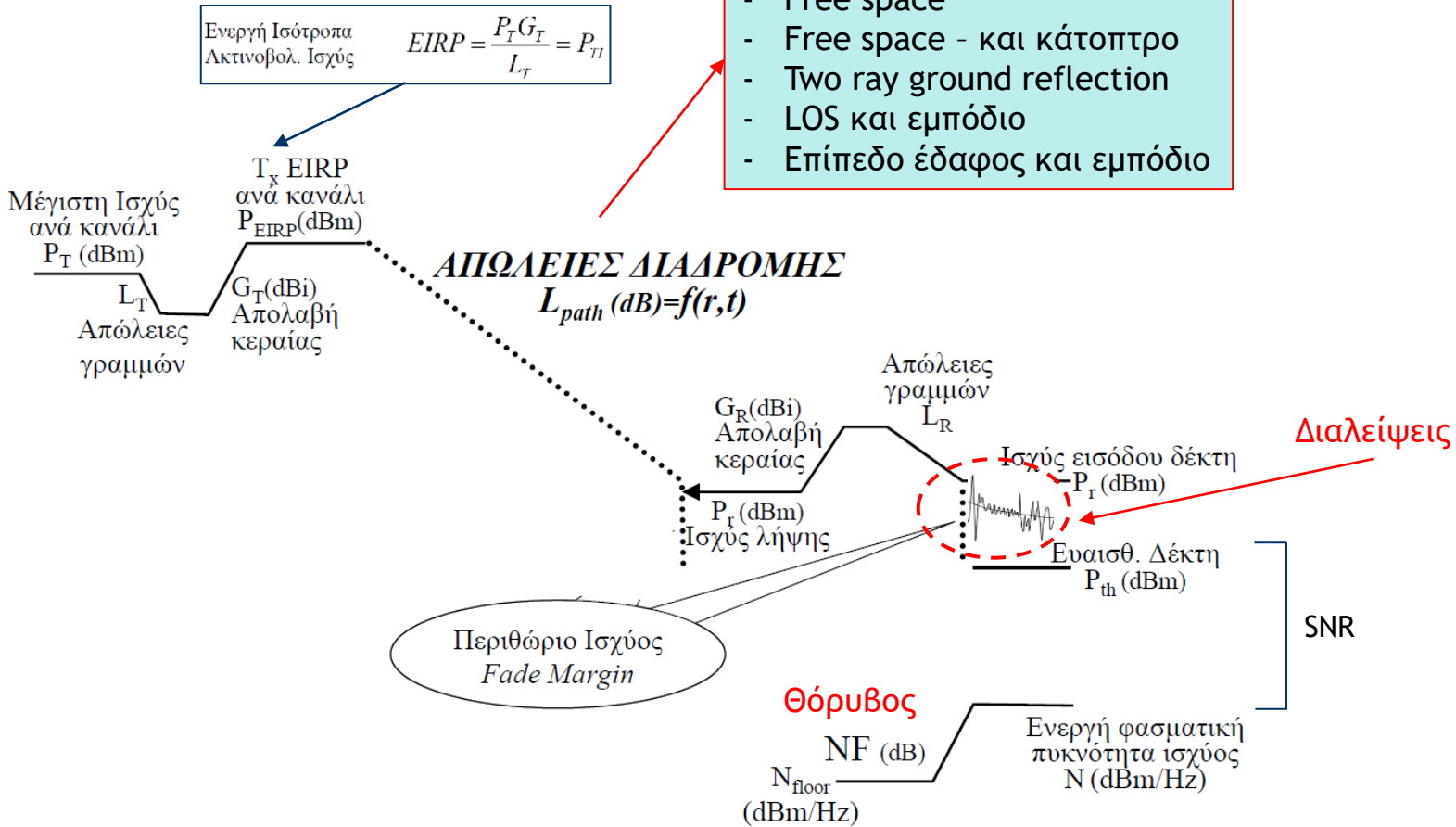
$$h_{bs} < \sqrt{\lambda b}$$



$$Q = Q_L$$

Ισοζύγιο Ζεύξης (Link budget)

- Υπολογισμός μέσω μοντέλου
- Free space
 - Free space - και κάτοπτρο
 - Two ray ground reflection
 - LOS και εμπόδιο
 - Επίπεδο έδαφος και εμπόδιο



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