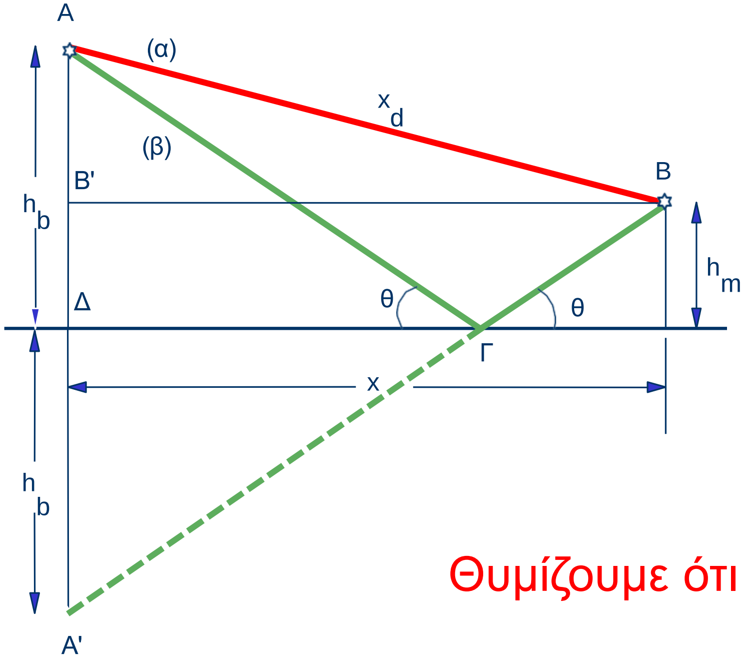
Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού
Απώλειες επίπεδης γης

- Υπολογισμός ισχύος λήψης αναλύοντας γεωμετρικά το σχήμα



$$P_{rx} = 4P_t\left(\frac{\lambda}{4\pi x}\right)^2 G_t G_r \sin^2\left(\frac{2\pi h_b h_m}{\lambda x}\right)$$

Θυμίζουμε ότι για τον ελεύθερο χώρο ισχύει:

Σημειακή ισχύς λήψης σε απόσταση χ

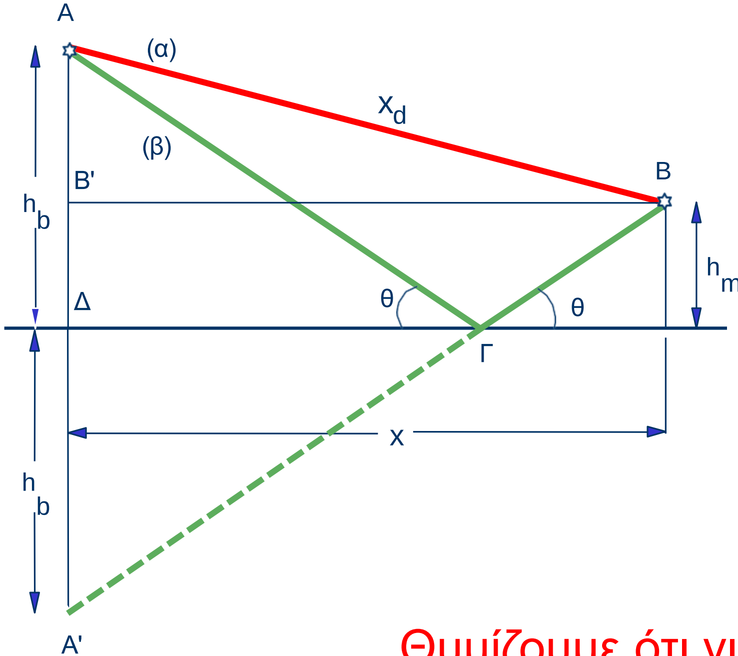
$$P_{Di} = \frac{P_T}{4\pi x^2} W/m^2$$

Ισοτροπική πυκνότητα ισχύος

Εμβαδόν επιφάνειας σφαίρας

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού
Απώλειες επίπεδης γης

- Υπολογισμός ισχύος λήψης αναλύοντας γεωμετρικά το σχήμα



$$P_{rx} = 4\boxed{P_t\left(\frac{\lambda}{4\pi x}\right)^2} G_t G_r \boxed{\sin^2\left(\frac{2\pi h_b h_m}{\lambda x}\right)}$$

Εξίσωση ελευθέρου χώρου

Διαφορά Φάσης στο τετράγωνο

Θυμίζουμε ότι για τον ελεύθερο χώρο ισχύει:

Σημειακή ισχύς λήψης σε απόσταση χ

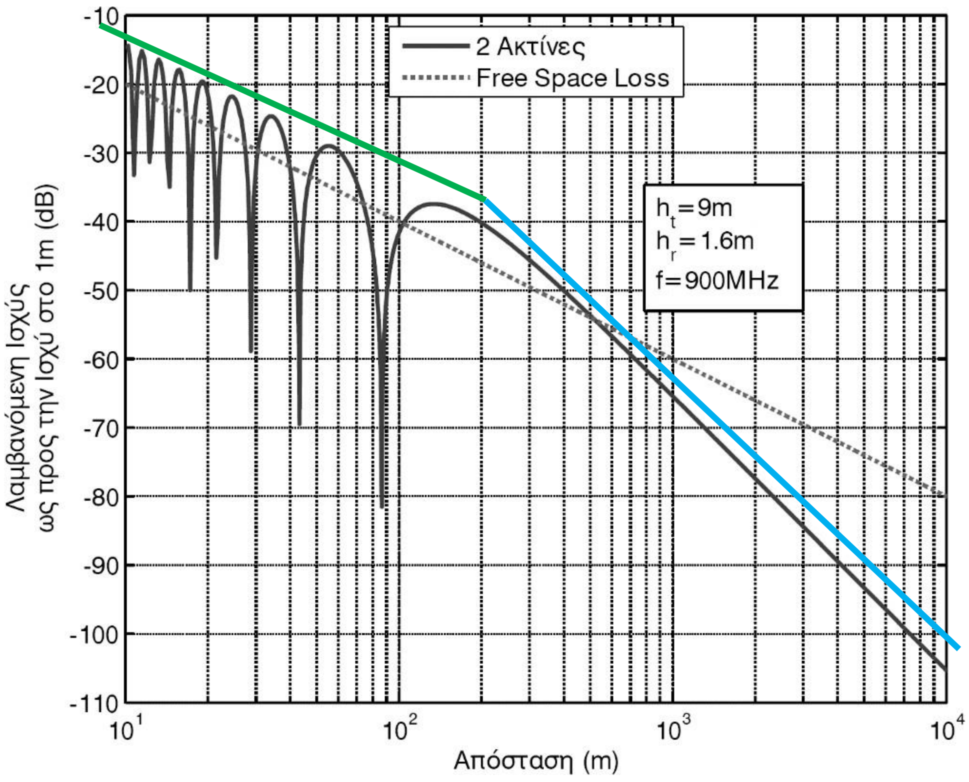
$$P_{Di} = \frac{P_T}{4\pi x^2} W/m^2$$

Ισοτροπική πυκνότητα ισχύος

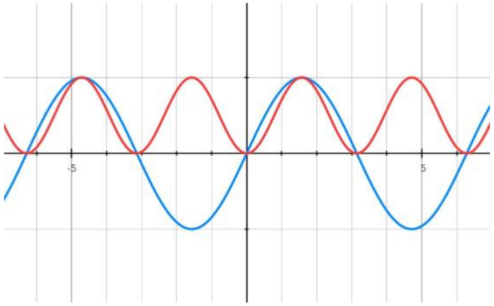
Εμβαδόν επιφάνειας σφαίρας

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού
Απώλειες επίπεδης γης

- Σχηματική απεικόνιση

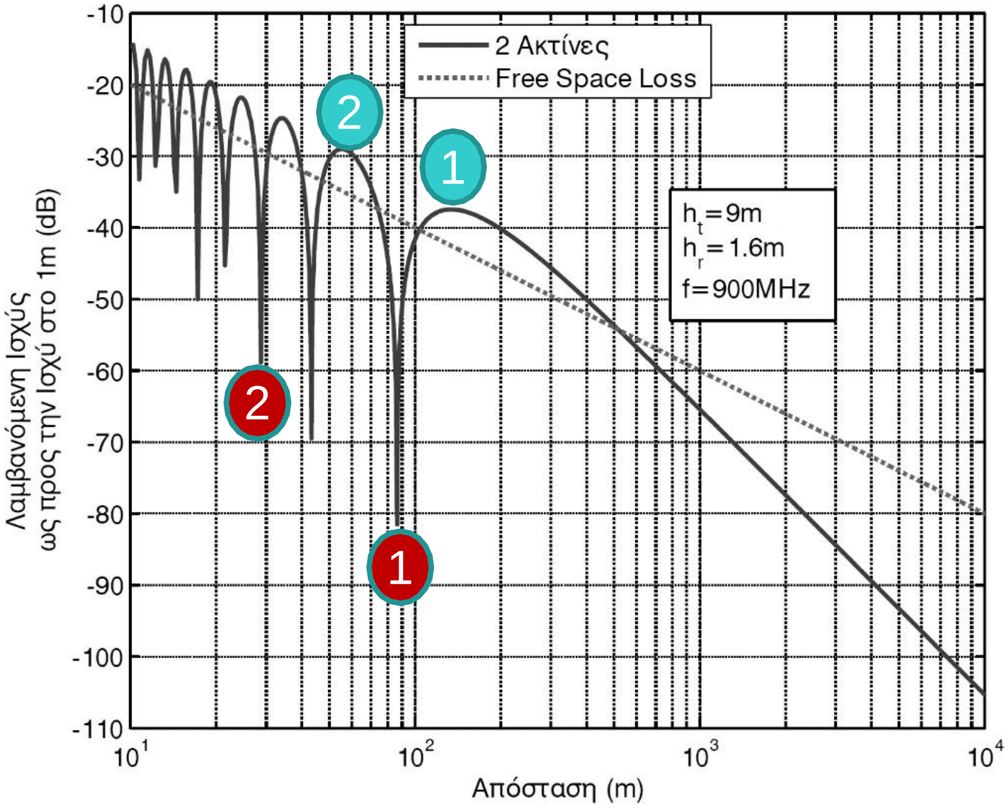


sin²



Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού
Απώλειες επίπεδης γης

- Μεγιστα και ελάχιστα ως το σημείο αποκοπής



Διαφορά Φάσης

$$\frac{2\pi h_b h_m}{\lambda x} = k*\pi/2$$

k=1,3,5... k=2,4,6..

$= k * \boxed{\pi/2}$

Μέγιστα Ελάχιστα

Λύνω ως προς x για να βρω την απόσταση που συναντώ μέγιστα και ελάχιστα

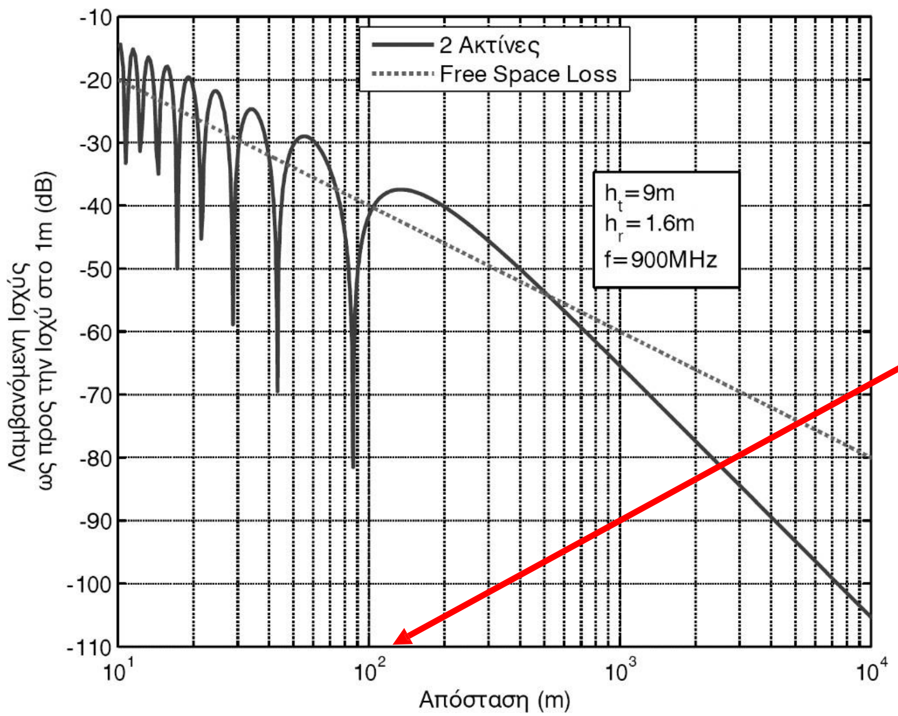
Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού
Απώλειες επίπεδης γης

- Μεγιστα και ελάχιστα ως το σημείο αποκοπής

Η Ο Ε Σ		ΟΛΑ ΘΕΤΙΚΑ				ΗΜΙΤΟΝΟ				ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΗ				ΣΥΝΗΜΙΤΟΝΟ		
X	0& 360	30 $\pi/6$	45 $\pi/4$	60 $\pi/3$	90 $\pi/2$	120 $2\pi/3$	135 $3\pi/4$	150 $5\pi/6$	180 π	210 $7\pi/6$	225 $5\pi/4$	240 $4\pi/3$	270 $3\pi/2$	300 $5\pi/3$	315 $7\pi/4$	330 $11\pi/6$
ημx	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{1}{2}$
συνx	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$
εφx	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	-----	$-\sqrt{3}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	-----	$-\sqrt{3}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$
σφχ	-----	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	-1	$-\sqrt{3}$	-----	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	-1	$-\sqrt{3}$

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού
Απώλειες επίπεδης γης

- **Σημείο αποκοπής - Breakpoint**



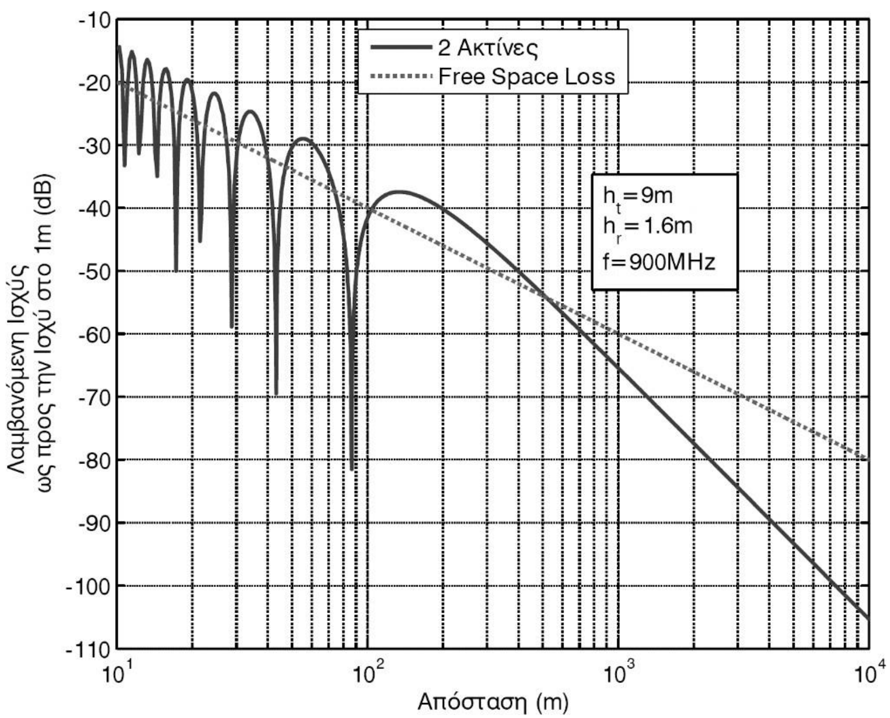
Γιατί είναι αυτή η τιμή θα το εξηγήσουμε αφού δούμε τις Ζώνες Fresnel

$d=4h_B h_m/\lambda$

Σημείο αποκοπής

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού
Απώλειες επίπεδης γης

- Μη εξάρτηση από τη συχνότητα **μετά το σημείο αποκοπής**



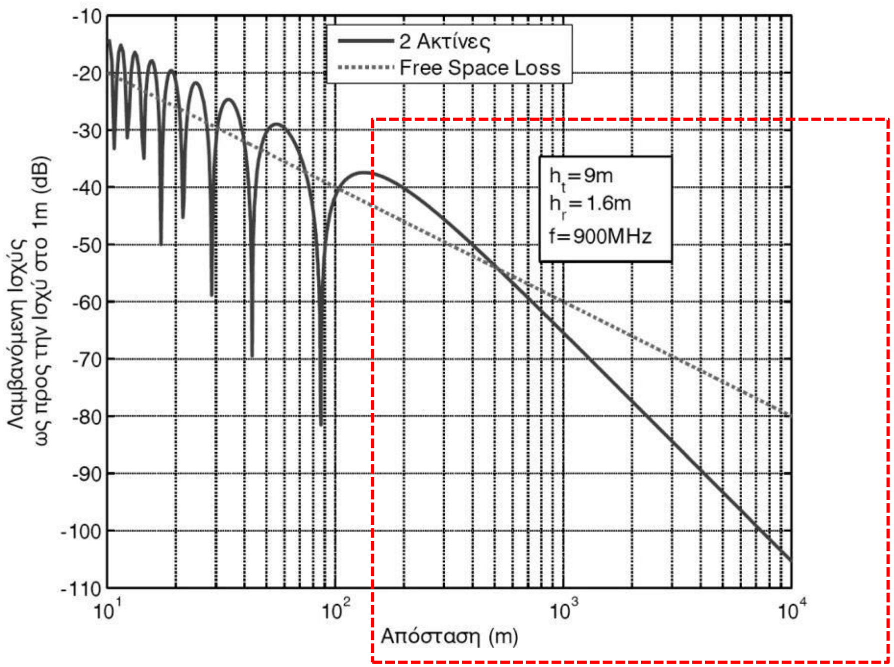
$$P_{rx} = 4P_t\left(\frac{\lambda}{4\pi x}\right)^2 G_t G_r \sin^2\left(\frac{2\pi h_b h_m}{\lambda x}\right)$$

μετά το σημείο αποκοπής

$$P_{rx} = P_t G_t G_r\left(\frac{h_b h_m}{x^2}\right)^2$$

Δεν υπάρχει εξάρτηση από τη συχνότητα μετά το σημείο αποκοπής (αν και το σημείο αποκοπής εξαρτάται από τη συχνότητα)

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού
Απώλειες επίπεδης γης



Η λαμβανόμενη ισχύς είναι αντιστρόφως ανάλογη της 4ης δύναμης της απόστασης. Πιο ευαίσθητη σε σχέση με τον ελεύθερο χώρο.

Διπλασιάζοντας το ύψος της κεραίας του σταθμού βάσης έχουμε μικρότερη εξασθένηση κατά 6dB

- Αποτύπωση εξίσωσης σε dB (μετά το σημείο αποκοπής)

$$P_{rx} = P_t G_t G_r \left(\frac{h_b h_m}{x^2} \right)^2 \Rightarrow \boxed{L = 40 \log x - 20 \log h_b - 20 \log h_m}$$

Πως προκύπτει;

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες μονοπατιού

Απώλειες επίπεδης γης

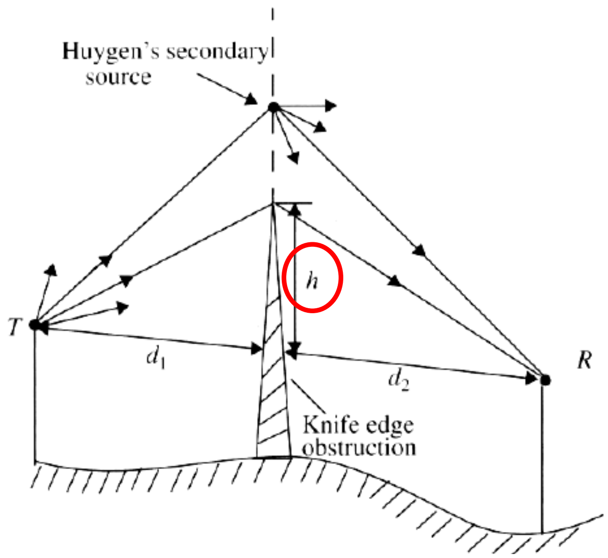
Απώλειες επίπεδης γης

$$\boxed{L = 40 \log x - 20 \log h_b - 20 \log h_m}$$

Απώλειες ελευθέρου χώρου

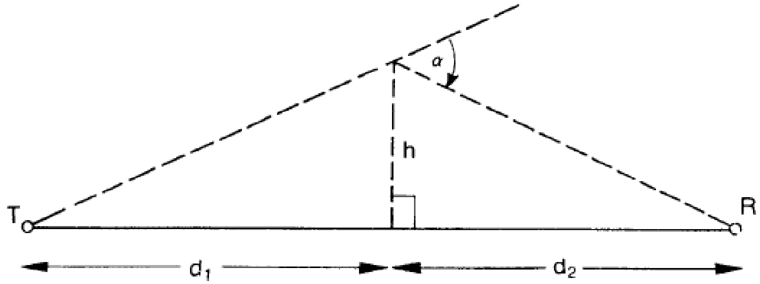
$$\boxed{L = 32{,}5 + 20 \log d_{Km} + 20 \log f_{MHz}}$$

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης



- Κάθε κύμα που μεταδίδεται από τον T στον R διανύει απόσταση μεγαλύτερη από το μήκος της ευθείας TR.
- Αποδεικνύεται ότι η επιπρόσθετη διαδρομή που διανύει το κύμα είναι (για $h \ll d_1, d_2$):

$$\Delta \approx \frac{h^2}{2}\frac{d_1+d_2}{d_1 d_2}$$



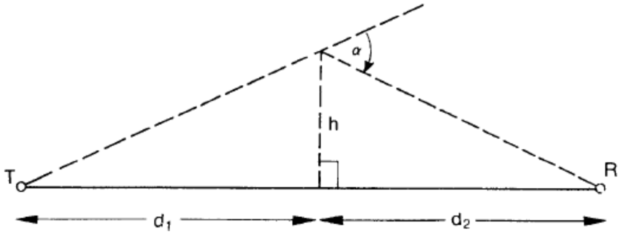
- Το κύμα υπόκειται σε διαφορά φάσης η οποία είναι

$$\phi = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda}\frac{h^2}{2}\frac{d_1+d_2}{d_1 d_2}$$

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

- Ορίζουμε το **συντελεστή Fresnel-Kirchoff**

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



- Άρα

$$\phi = \frac{\pi}{2} v^2 \qquad \phi = \frac{\pi a^2}{\lambda} \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2} \qquad v = a\sqrt{\frac{2 d_1 d_2}{\lambda(d_1 + d_2)}}$$

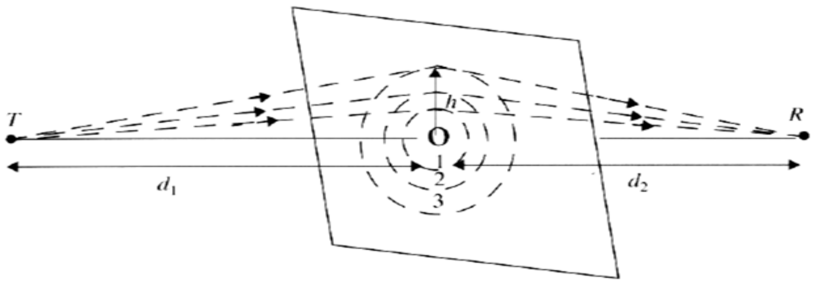
- Με βάση τον συντελεστή ***v*** παίρνω πολλαπλάσια του π/2 άρα ξέρω την αλλαγή φάσης, άρα και τις απώλειες

- Πλασματικό ύψος εμποδίου αν πομπός και δέκτης είναι σε κάποιο ύψος από το έδαφος

$$h = h_{obs} - h_t \frac{d_1}{d_1 + d_2} - h_r \frac{d_2}{d_1 + d_2}$$

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

- Υπολογισμός απωλειών



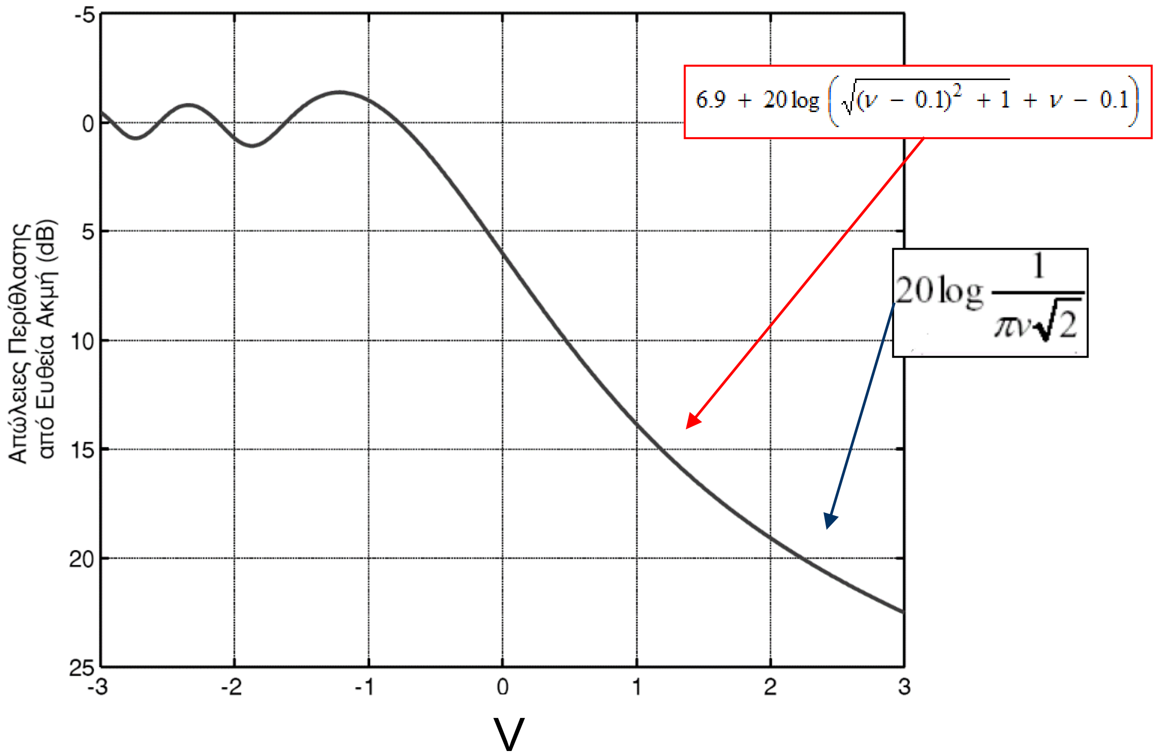
$$v = h\sqrt{\frac{2(d_1+d_2)}{\lambda d_1 d_2}}$$

Τύπος του Lee

$$L_d(dB) \approx \begin{cases} 0, & v \le -1 \\ 20\log(0.5-0.62v), & -1 \le v \le 0 \\ 20\log(0.5\exp(-0.95v)), & 0 \le v \le 1 \\ 20\log\left(0.4-\sqrt{0.1184-(0.38-0.1v)^2}\right), & 1 \le v \le 2.4 \\ 20\log\left(\dfrac{0.225}{v}\right), & v > 2.4 \end{cases}$$

Αρνητικές τιμές v άρα αρνητικά ύψη h (θα το εξηγήσουμε αργότερα)

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης



$1 \leq v \leq 2.4$

$v > 2.4$

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

Για v=0 → L=6dB

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

- Παράδειγμα

Έστω h_t=50 m, h_r=25 m, d_1=10 km, d_2=2 km, f=900 MHz, h_{obs}=100 m. Να υπολογιστούν: 1) οι απώλειες λόγω περίθλασης, 2) το ύψος που απαιτείται να έχει ένα εμπόδιο για να προκαλέσει απώλειες λόγω περίθλασης της τάξης των G_d=6 dB.

Λύση:

$$\text{a)}\quad h = h_{\text{obs}} - h_t \frac{d_2}{d_1+d_2} - h_r \frac{d_2}{d_1+d_2} = 70.8333\ \text{m}$$

$$v = h\sqrt{\frac{2(d_1+d_2)}{\lambda d_1 d_2}} = 4.2521 \xRightarrow{\text{Από τύπο Lee}} G_d = 25.5\ \text{dB}$$

Βρίσκεται και γραφικά από το προηγούμενο σχήμα

$$\text{b)}\quad \mathrm{G_d} = 6\ \text{dB} \Rightarrow v = 0 \xRightarrow{h=0} h_{obs} = h_t \frac{d_2}{d_1+d_2} + h_r \frac{d_2}{d_1+d_2} = 29.1667\ \text{m}$$

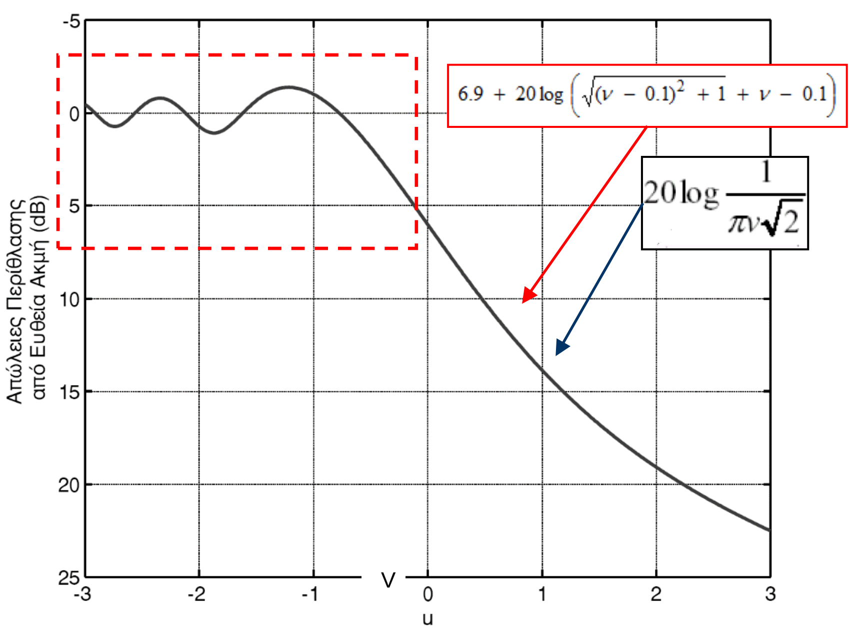
Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

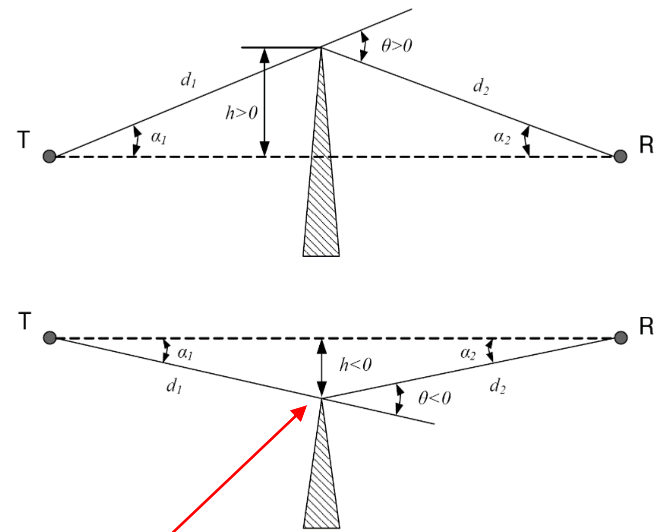
1. Γιατί στο συντελεστή δεν έχουμε τα ύψη κεραιών?
2. Πως το v (άρα το h) μπορεί να παίρνει αρνητικές τιμές?

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

Υπολογισμός Απώλειων

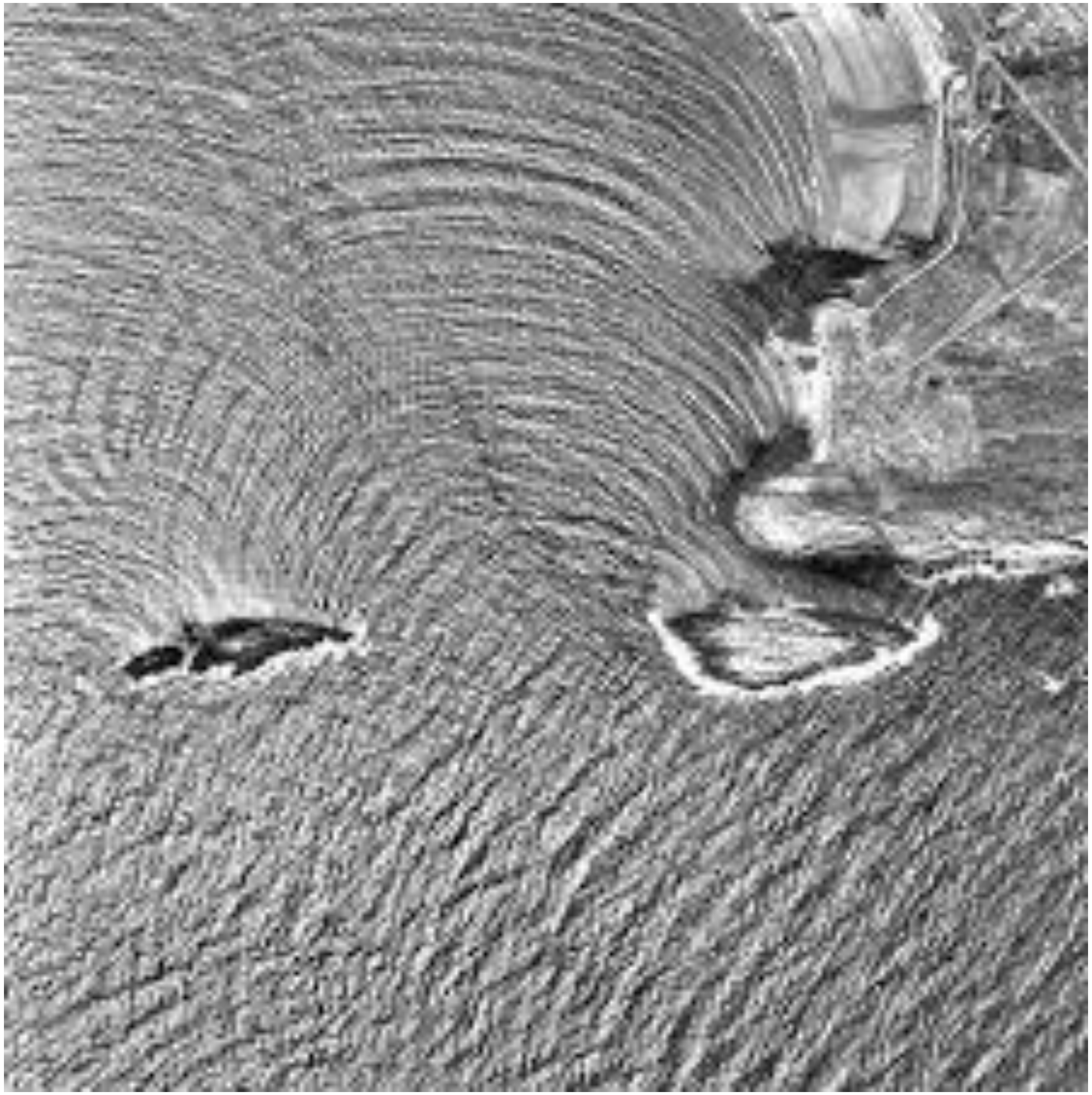
$$h = h_{obs} - h_t \frac{d_1}{d_1+d_2} - h_r \frac{d_2}{d_1+d_2}$$





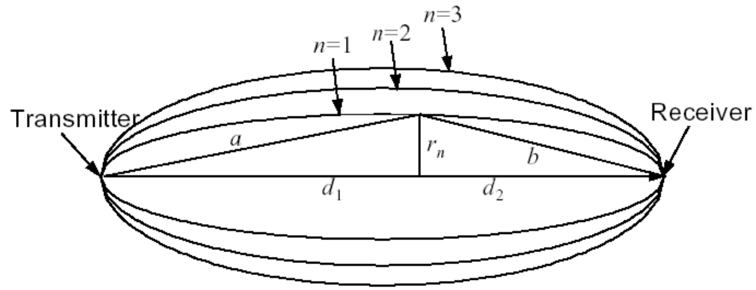
h<0 : Απώλειες λόγω του νόμου του Huygen (δευτερογενείς πηγές)

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης



Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

- Ζώνες Fresnel

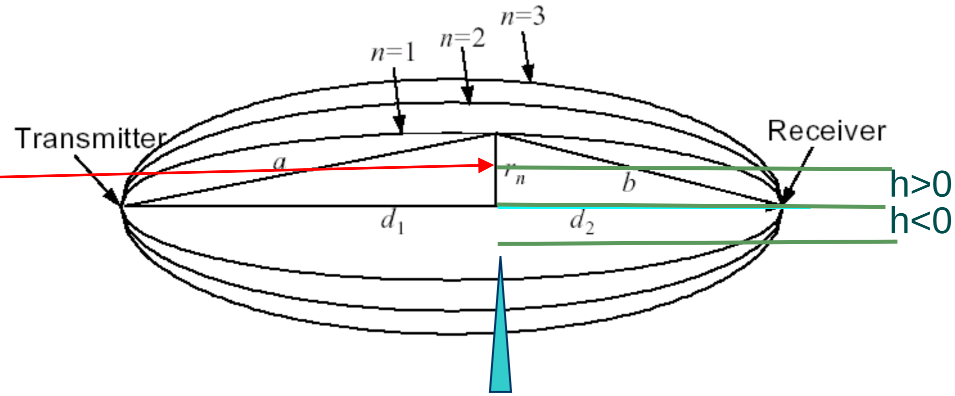


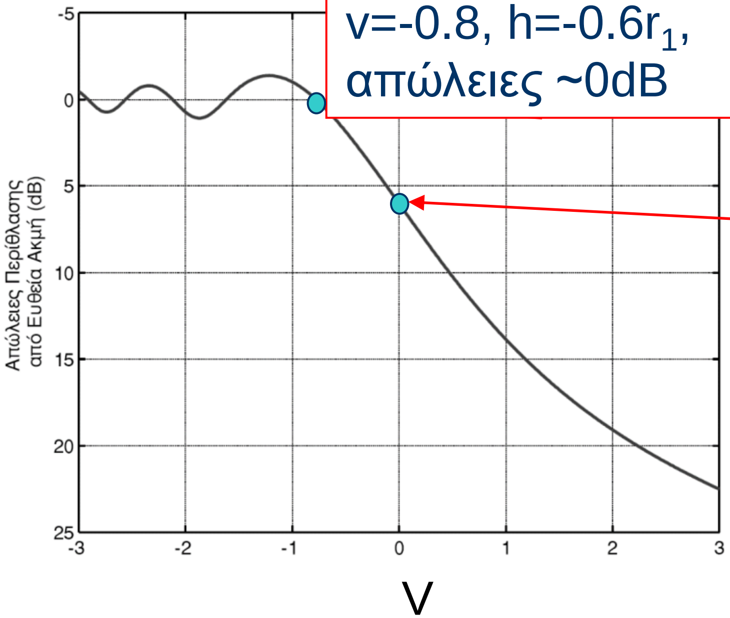
$$r_n \approx \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \qquad v = h\sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 \cdot d_2}} = h\frac{\sqrt{2}}{r_1}$$

- Μέγιστη ακτίνα (στο κέντρο της απόστασης πομπού-δέκτη)
- $r_n \cong \sqrt{(n\lambda/2)d_1}$ Για $d_1=d_2$
- http://kioan.users.uth.gr/wireless/fresnelZone.html
- Για αποστάσεις κοντά στον πομπό $r_n \cong \sqrt{n\lambda d_1}$
- Η πρώτη ζώνη Fresnel πρέπει να είναι ‘καθαρή’ από εμπόδια

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης

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





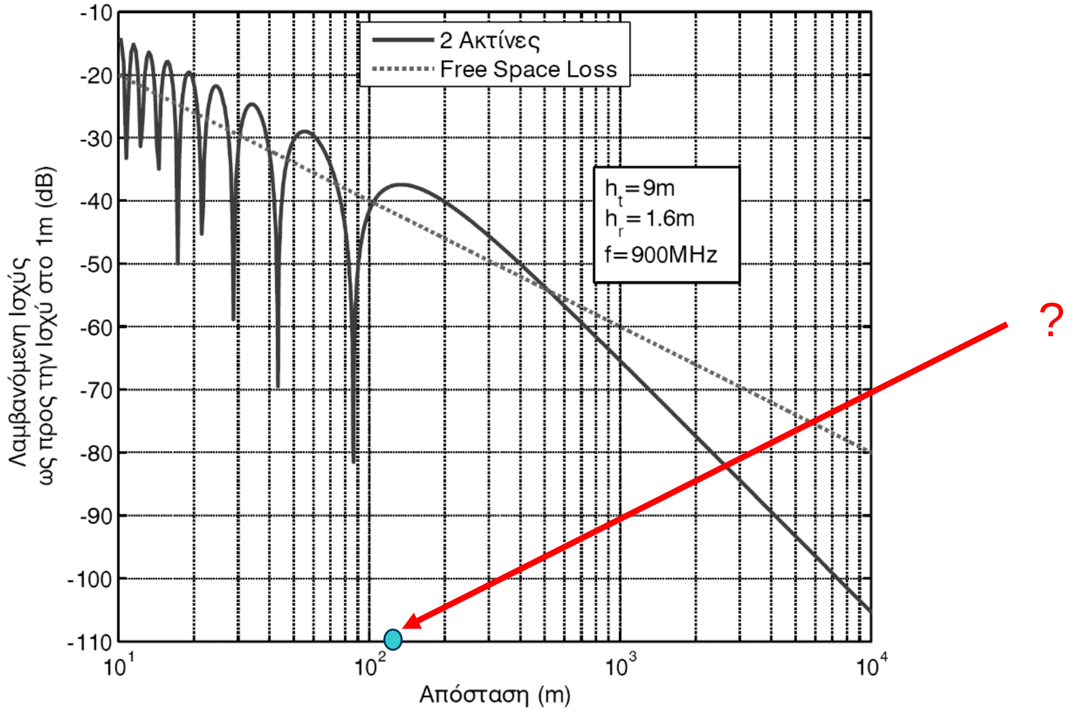
v=-0.8, h=-0.6r_1,
απώλειες ~0dB

v=0, h=0, απώλειες ~6dB

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

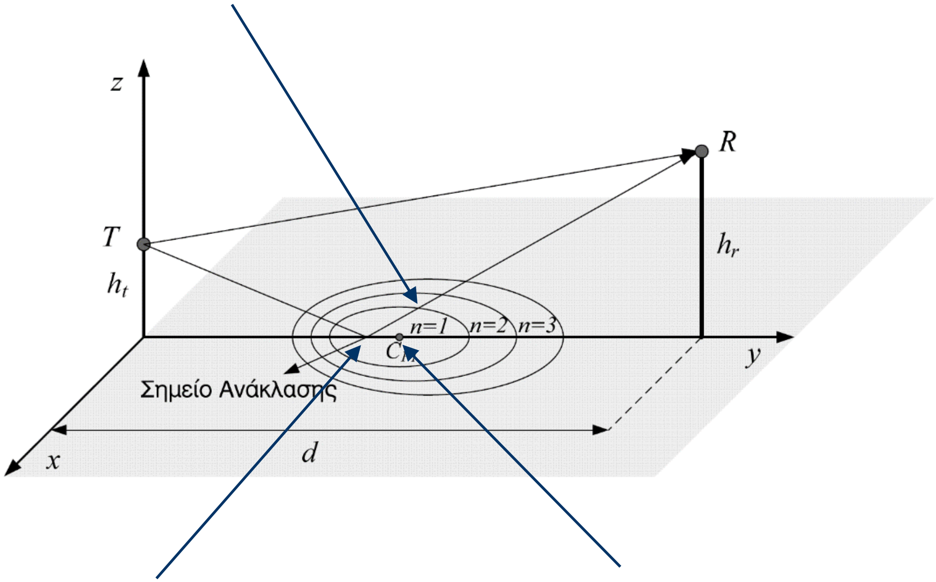
Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης
Σχέση με το μοντέλο επίπεδης γης

➢ **Σημείο αποκοπής - Breakpoint**



Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης
Σχέση με το μοντέλο επίπεδης γης

- Τομές ζωνών Fresnel με το επίπεδο της γης *xy*



- Σημείο ανάκλασης

κέντρο πρώτης έλλειψης

$$d_1 = \frac{d}{1 + \frac{h_t}{h_r}}$$

$$C_{F1} = \frac{d}{2}\sqrt{\frac{1 + \frac{2h_t\,(h_t + h_r)}{\lambda d}}{1 + \frac{(h_t + h_r)^2}{\lambda d}}}$$

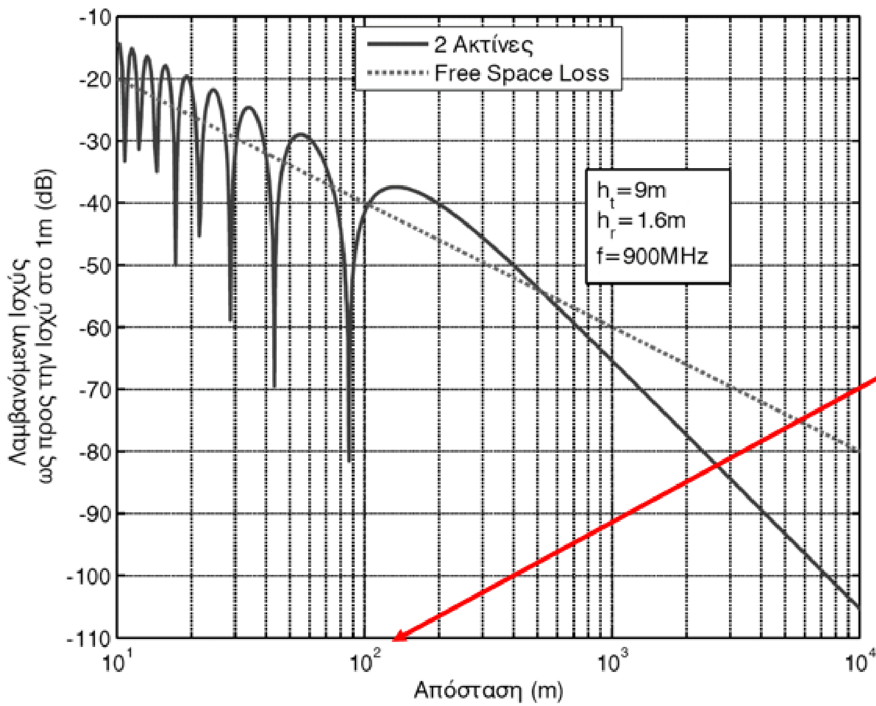
Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης
Σχέση με το μοντέλο επίπεδης γης

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

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

$h_t, h_r \gg \lambda$

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



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

Αναλυτικά μοντέλα – Απώλειες περίθλασης
Σχέση με το μοντέλο επίπεδης γης

$f\,(MHz)$	100	900	1800	5200
$\lambda\,(m)$	3	0,333	0,167	0,058
$h_t\,(m)$	100	30	10	3
$h_r\,(m)$	10	1,8	1,8	1,5
$d\,(m)$	10^4	10^3	10^3	10
$C_{F1}\,(m)$	6175,8	833,5	658,1	6,6

$Breakpoint\,(m)$	1333,3	648	432	312