

1^η ΕΡΓΑΣΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΖΕΥΞΕΩΝ

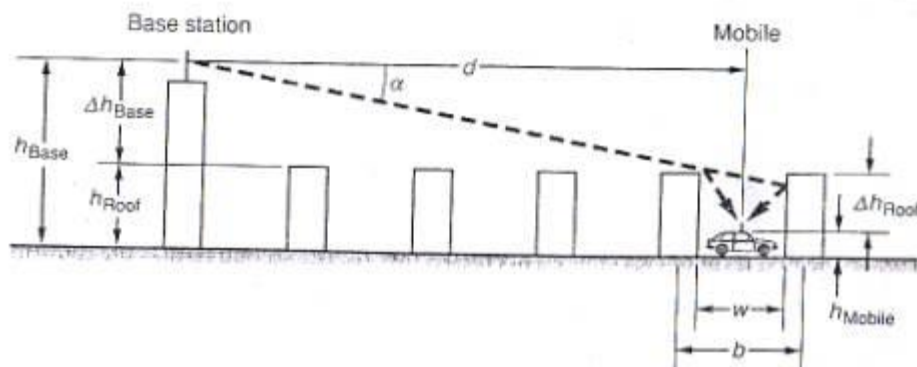
2017-2018

Υλοποιήθηκε από : Μαστοράκη Αικατερίνα/ 1115201400100
Μανωλάκης Ιωάννης / 1115201500088
Τζιρώνης Ευαγγελος / 1115201400199

Walfisch- Ikegami Model

Το μοντέλο *Walfisch- Ikegami* είναι εμπειρικό-στατιστικό μοντέλο εξωτερικού χώρου για τον υπολογισμό των απωλειών διάδοσης και αποτελεί τον συνδυασμό δύο προγενέστερων μοντέλων, του *Walfisch-Bertoni* και του *Ikegami-Yoshima-Umehira*. Για την εκτίμηση των απωλειών η παραπάνω μέθοδος λαμβάνει υπόψη ποικίλους παραγοντες, ανάμεσα στους οποίους οι εξής :

- Ύψη κτηρίων μεταξύ πομπού – δέκτη
- Πλάτος δρόμων
- Απόσταση κτηρίων
- Κατεύθυνση δρόμων αναφορικά με την απευθείας συνιστώσα μεταξύ πομπού και δέκτη



Βρίσκει σημαντική εφαρμογή σε μικροκυψελωτά ή πυκνοκατοικιμένες πόλεις με επίπεδο έδαφος. Επιπροσθέτως είναι πιο αξιόπιστο όταν η κεραία του σταθμού βάσης βρίσκεται σε ύψος από τις στέγες των κτηρίων.

Βασικό κριτήριο για τον εν λόγω υπολογισμό αποτελεί η ύπαρξη ή μη άμεσης οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη (LOS).

Στην περίπτωση που υπάρχει LOS οι απώλειες διάδοσης δίνονται από την παρακάτω εξίσωση:

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

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει LOS οι απώλειες διάδοσης δίνονται από την παρακάτω δίκλαδη συνάρτηση:

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

$L_{FS} = 32.45 + 20\log(f_{MHz}) + 20\log(d_{km})$: (απώλειες ελεύθερου χώρου)

$L_{msd} =$

$L_{bsh} = k_a k_d (\log(d)) k_f (\log(f_c)) 9\log(b)$: (απώλειες περίθλασης από πολλαπλά συνεχόμενα εμπόδια (Walfisch-Bertoni))

$L_{rts} = 8.210 \log(w) \log(f_{MHz}) + 20\log(h_{roof} - h_{MS}) + L_{ori}$: (απώλειες σκέδασης και περίθλασης από κορυφή του κτηρίου στο δρόμο (Ikegami-Yoshida-Umehira)).

Οι διάφοροι παράγοντες υπολογίζονται ως εξής:

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

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

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

$$Lori = \begin{cases} -10 + 0.354\varphi, & 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\varphi - 35^\circ), & 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4 - 0.114(\varphi - 55^\circ), & 55^\circ < \varphi < 90^\circ \end{cases}$$

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

Η βιβλιογραφία αναφέρει ικανοποιητική πρόβλεψη των απωλειών με το μοντέλο COST 231 Walfisch-Ikegami με τα εξής χαρακτηριστικά.

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

Η υλοποίηση του εν λόγω μοντέλου στο προγραμματιστικό περιβάλλον MATLAB χωρίζεται σε δύο αρχεία :

- walfkeg.m
- walfkeg_plot.m

Στο αρχείο **walfkeg.m** υπάρχει ο κώδικας για την υλοποίηση του μαθηματικού τύπου, δηλαδή για τον υπολογισμό των απωλειών διάδοσης, όπου λαμβάνονται υπόψη οι απαραίτητοι παράγοντες, όπως : έκταση πόλης, γώνια πρόσπτωσης, ύψος στάθμου βάσης και κινητού κ.ο.κ, ενώ στο αρχείο **walfkeg_plot.m** γίνονται οι ζητούμενες μεταβολές στις 5 παρακάτω μεταβλητές:

- απόσταση

- συχνότητα
- ύψος σταθμού βάσης
- ύψος κινητού σταθμού
- γωνία πρόσπτωσης

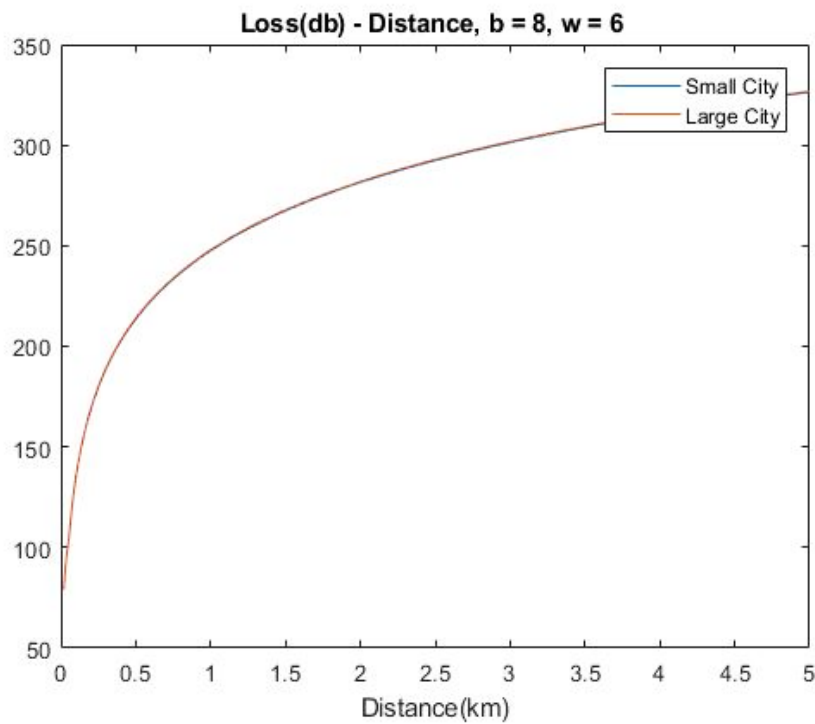
Σκοπός αυτού του project είναι να μελετηθούν οι επιπτώσεις της μεταβολής των παραπάνω πέντε παραγόντων στις απώλειες διάδοσης ενός σήματος μεταξύ δύο σημείων επικοινωνίας.

Ας μελετήσουμε όμως αναλυτικά την κάθε μία απο τις παραπάνω περιπτώσεις:

1.Μεταβάλλοντας την απόσταση

- Η απόσταση μεταβάλλεται απο 0.02χιλ μέχρι 5χιλ
- Για τον υπολογισμό των απωλειών με βάση τον τύπο της πόλης έχουμε:
 1. $F=1.000\text{MHz}$
 2. $H_{bs}=20\text{m}$
 3. $H_{ms}=2\text{m}$
 4. $H_{roof}=30\text{m}$
 5. $B=8\text{m}$
 6. $W=6\text{m}$
 7. $\text{Angle}=45\text{μοίρες}$

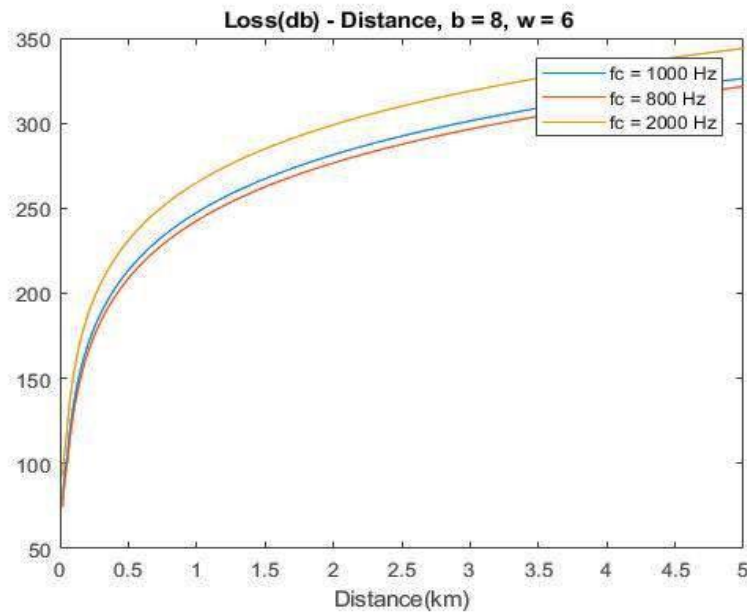
Για τις συγκεκριμένες τιμές, όπως βλέπουμε απο το **figure1** ,οι δύο καμπύλες σχεδόν ταυτίζονται καθώς δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσά τους



- Για τον υπολογισμό των απωλειών με βάση την συχνότητα(800,1000,2000) έχουμε:

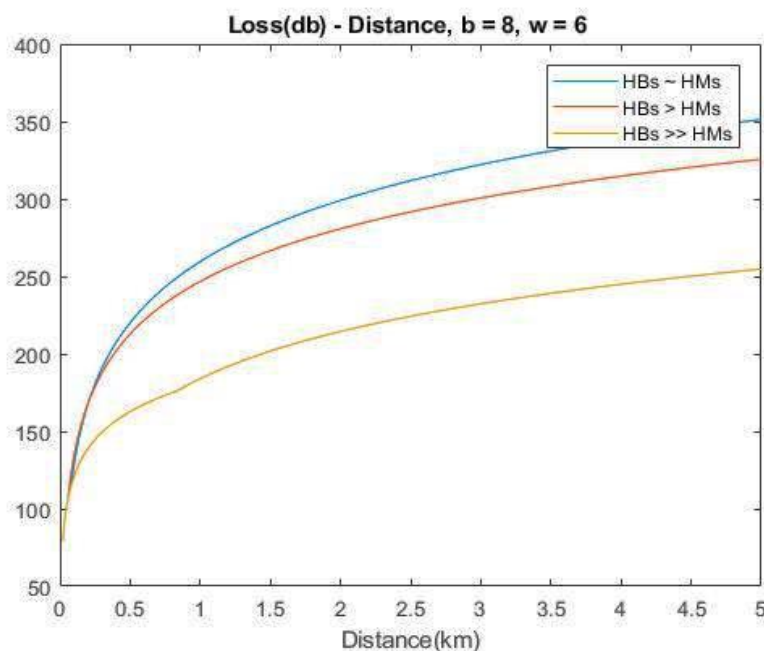
1. $H_{bs}=1m$
2. $H_{ms}=2m$
3. $H_{roof}=30m$
4. $B=8m$
5. $W=6m$
6. Angle=45μοίρες

Για τις συγκεκριμένες τιμές, όπως βλέπουμε στο **figure2** ενώ υπερδιπλασιάζουμε την συχνότητα, οι απώλειες αυξάνονται, αλλά όχι σε σημαντικό βαθμό όπως θα περιμέναμε.



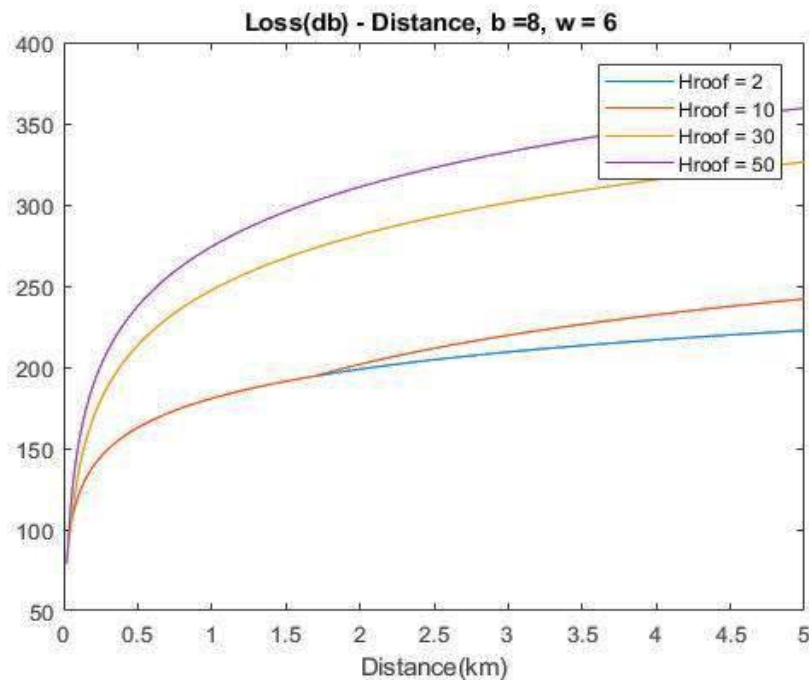
- Για τον υπολογισμό των απωλειών βάσει της διαφοράς των υψών μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού σταθμού, παίρνουμε τρεις περιπτώσεις:
 1. $H_{bs}=H_{ms}$
 2. $H_{bs}>H_{ms}$
 3. $H_{bs}\gg H_{ms}$

Για τις συγκεκριμένες τιμές, όπως βλέπουμε απο το **figure3**, ενώ για τις περιπτώσεις 1 και 2 έχουμε σχεδόν ίδιες απώλειες όταν παρατηρούμε την καμπύλη της 3ης περίπτωσης διαπιστώνουμε οτι οι απώλειες είναι αισθητά μικρότερες, σχεδόν οι μισές.

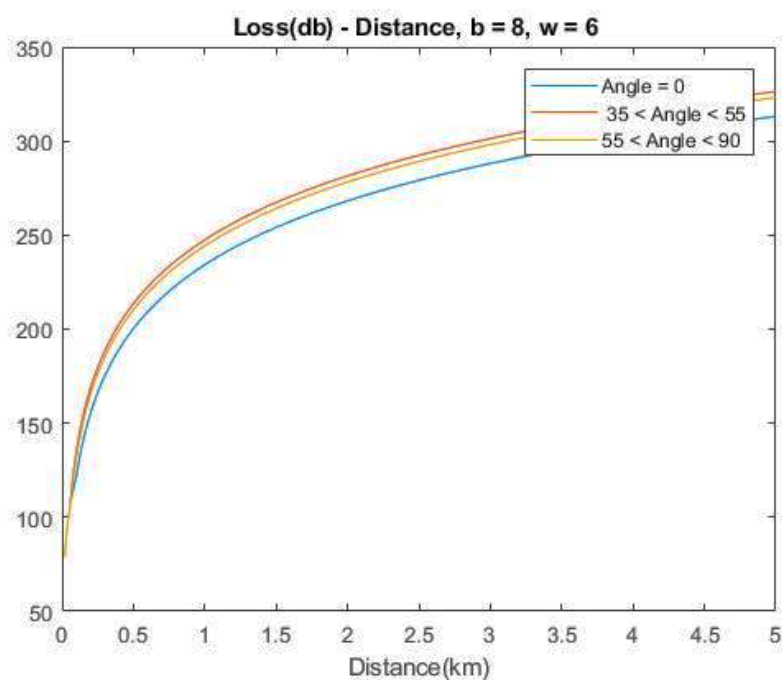


- Για τον υπολογισμό των απωλειών βάσει του ύψους των κτηρίων διακρίνουμε 4 περιπτώσεις:

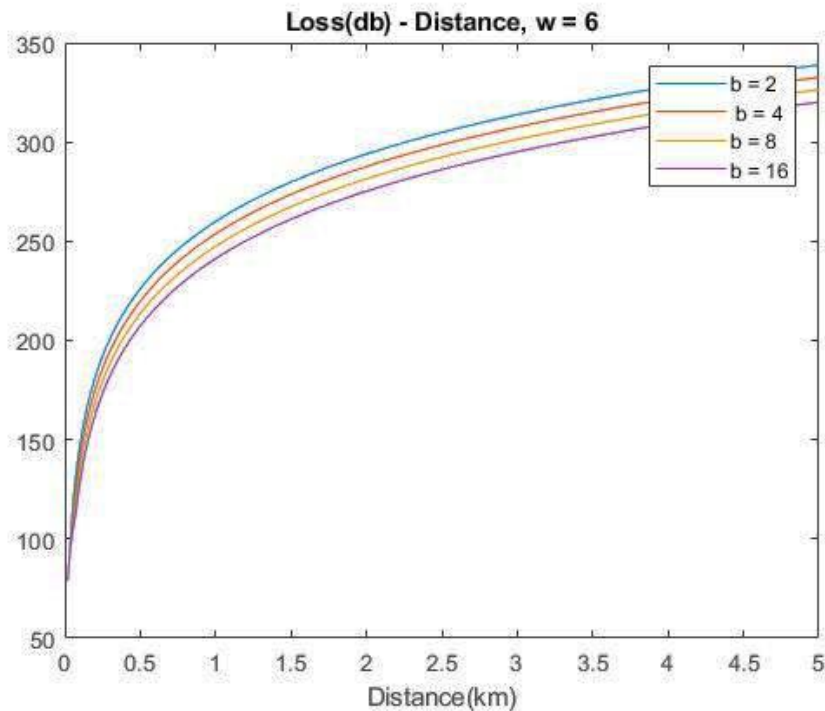
Γιά τις συγκεκριμένες τιμές, όπως βλέπουμε απο το **figure4** ενώ αυξάνουμε κατά 25 φορές το ύψος(2->50μ), οι απώλειες μεταβίαις μπορούμε να πούμε οτι διπλασιάζονται.



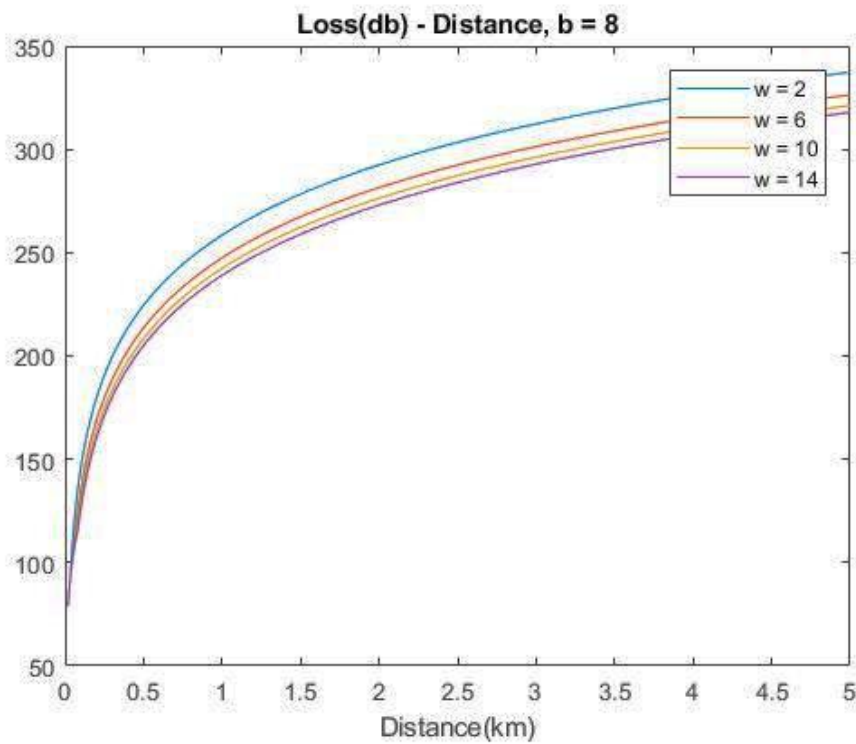
- Για τον υπολογισμο των απωλειών βάσει της γωνίας πρόσπτωσης του σήματος σε κάποιο επικείμενο εμπόδιο παρατηρούμε (**figure5**) ότι οι ελάχιστες απώλειες, όπως είναι λογικό, εμφανίζονται όταν δέν υπάρχει σύγκρουση του σήματος, άρα όχι απώλειες από διάθλαση. Ωστόσο ακόμα και όταν αυξάνουμε κατά πολύ (μέχρι 90 μοίρες) την γωνία, η αντίστοιχη αύξηση στις απώλειες δεν ξεπερνά τα 50dB.



- Για τον υπολογισμό των απωλειών βάσει της απόστασης μεταξύ των κτηρίων βλέπουμε (στο **figure6**) ότι όσο αυξάνεται η απόσταση αυτή, τόσο μικρότερες γίνονται οι απώλειες πράγμα λογικό καθώς το σήμα υπόκειται σε μικρότερη εξασθένηση.



- Στην περίπτωση του πλάτους των δρόμων (figure 7), παρατηρούμε και πάλι την ίδια συμπεριφορά με την μεταβολή του ύψους των κτηρίων. Πιο συγκεκριμένα όσο μειώνεται το πλάτος τόσο μεγαλώνουν οι απώλειες διάδοσης όπως είναι λογικό αφού στον τύπο υπολογισμού αφαιρούμε τον λογάριθμο του πλάτους.

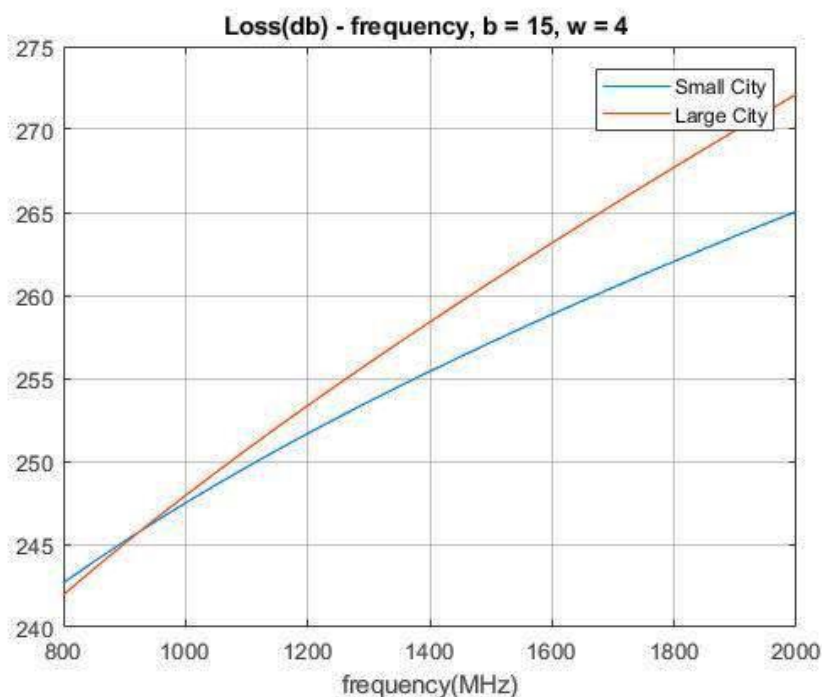


Ένα γενικό συμπέρασμα που θα μπορούσε κάποιος εύκολα να εξάγει είναι ότι αν δώσουμε ενδιάμεσες τιμές στις υπόλοιπες μεταβλητές και για μικρή απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη οι απώλειες ξεκινούν να λαμβάνουν τιμές από πολύ χαμηλά επίπεδα ($< 80\text{dB}$), αυξάνονται με μεγάλο ρυθμό μέχρι περίπου $b=1\text{m}$ και μετά ακολουθούν σχεδόν γραμμική συμπεριφορά.

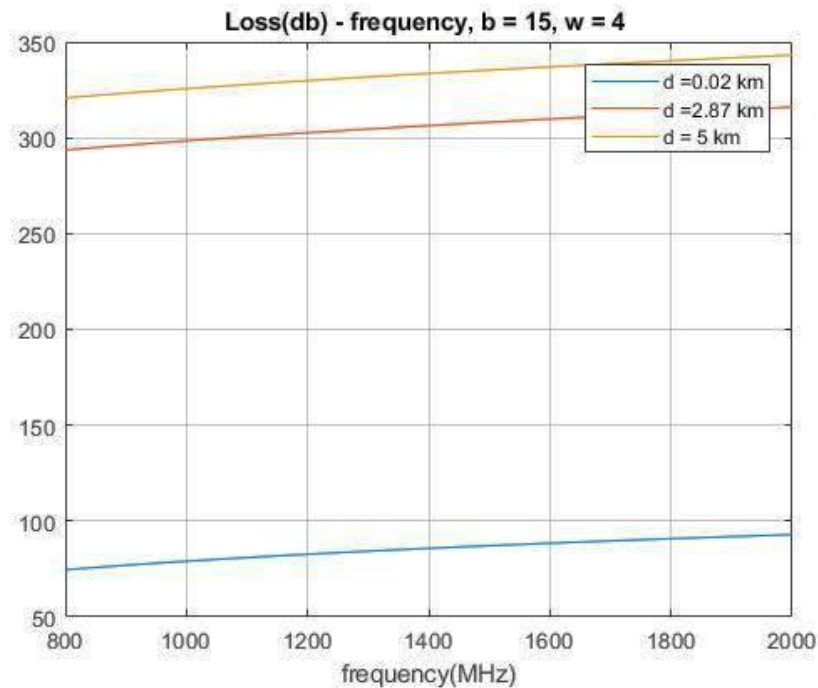
2.Μεταβάλλοντας την συχνότητα

- Η συχνότητα μεταβάλεται απο 800MHz μέχρι 2000MHz
- Για τον υπολογισμό των απωλειών με βάση τον τύπο της πόλης έχουμε:
 1. Απόσταση πομπού δέκτη, $d=1\text{km}$
 2. $H_b=20\text{m}$
 3. $H_m=2\text{m}$
 4. $H_{\text{roof}}=30\text{m}$
 5. $B=8\text{m}$
 6. $W=6\text{m}$
 7. $\text{Angle}=45\text{μοίρες}$

Για τις συγκεκριμένες τιμές, όπως βλέπουμε απο το **figure 8** αρχικά(συχνότητα<950MHz) οι δύο καμπύλες φαίνεται να έχουν μία πολύ μικρή διαφορά ανάμεσά τους και μάλιστα η μεγάλη πόλη έχει ελάχιστα μικρότερες απώλειες απο την μικρή, κάτι που μπορεί να ωφείλεται κυρίως στο ότι τα σήματα που μεταδίδονται σε μικρότερες συχνότητες είναι πιο εύκολο να διασχίσουν τα εμπόδια χωρίς να απετραπούν της αρχικής τους πορείας. Μετά απο το κατώφλι των περίπου 950MHz, παρατηρούμε ότι όπως αναμενόταν οι καμπύλες αντιστρέφονται και καταλήγουν για μεγάλες συχνότητες να παρεκλείνουν μέχρι περίπου 13 dB.

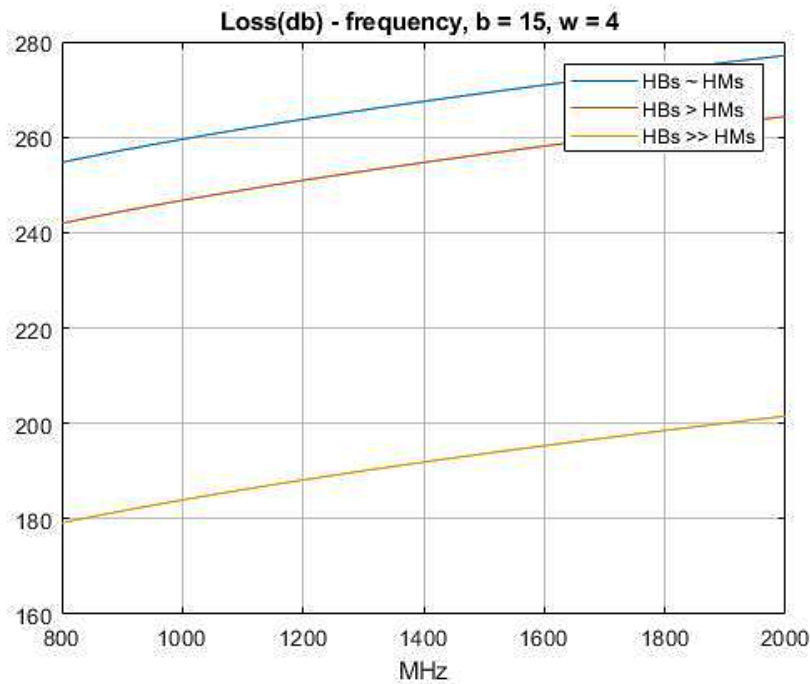


- Σχετικά με την απόσταση πομπού και δέκτη σε ευθεία γραμμή , όπως βλέπουμε στο **figure 9** ,οι καμπύλες ακολουθούν σχεδόν γραμμική συμπεριφορά με μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των ακραίων περιπτώσεων(0.02km-5km).



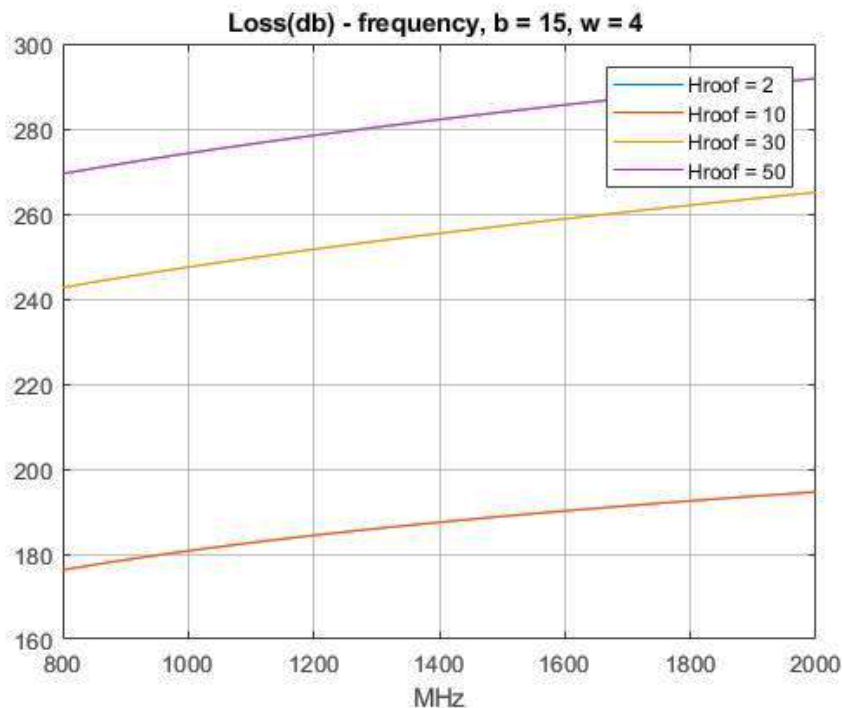
- Για τον υπολογισμό των απωλειών βάσει της διαφοράς των υψών μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού σταθμου, παίρνουμε τρεις περιπτώσεις:
 1. $H_{bs}=H_{ms}$
 2. $H_{bs}>H_{ms}$
 3. $H_{bs}\gg H_{ms}$

Για τις συγκεκριμένες τιμές, όπως βλέπουμε απο το **figure 10**, ενώ για τις περιπτώσεις 1 και 2 έχουμε σχεδόν ίδιες απώλειες όταν παρατηρούμε την καμπύλη της 3ης περίπτωσης διαπιστώνουμε οτι οι απώλειες είναι αισθητά μικρότερες.



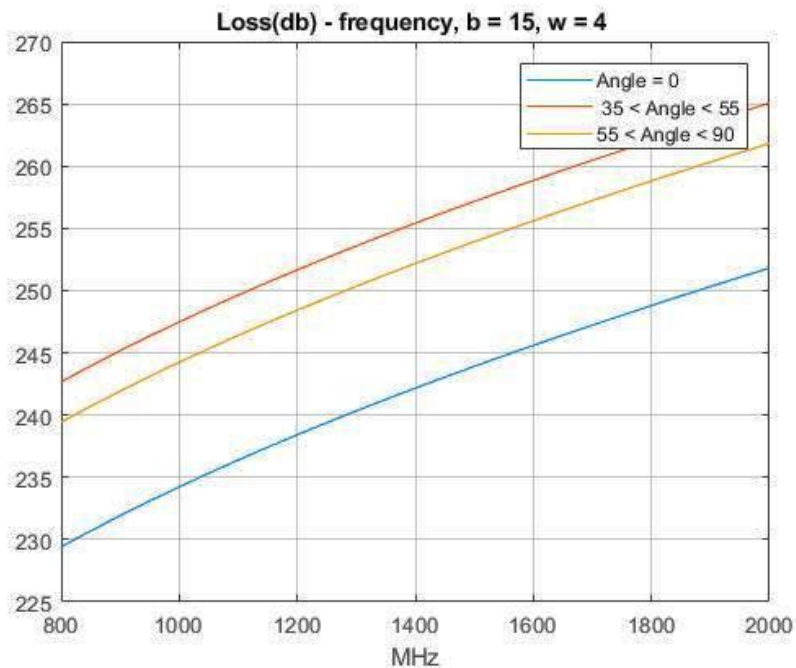
- Για τον υπολογισμό των απωλειών βάσει του ύψους των κτηρίων διακρίνουμε 4 περιπτώσεις:

Για τις συγκεκριμένες τιμές, όπως βλέπουμε απο το **figure 11** ,ενώ αυξάνουμε κατά 5 φορές το ύψος(10->50μ), οι απώλειες είναι υπόδιπλάσιες,ενώ για υψος 2 μέτρα , η καμπύλη δεν εμφανίζεται καν στο διάγραμμα πράγμα που υποδηλώνει οτι οι απώλειες είναι μηδενικές.

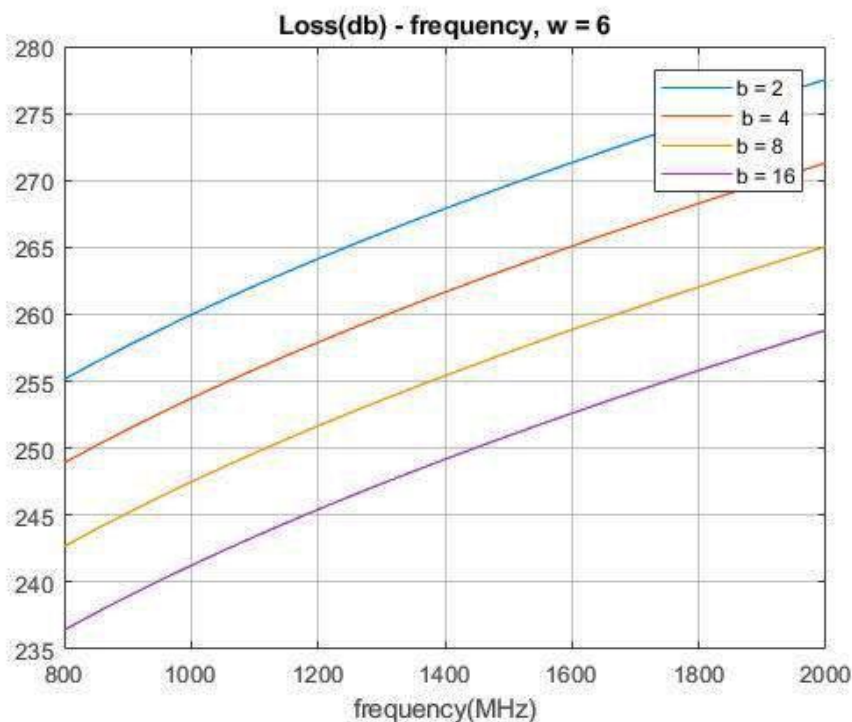


- Για τον υπολογισμό των απωλειών βάσει της γωνίας πρόσπτωσης του σήματος σε κάποιο επικείμενο εμπόδιο παρατηρούμε στο **figure 12** ότι οι ελάχιστες

απώλειες, όπως είναι λογικό, εμφανίζονται όταν δέν υπάρχει σύγκρουση του σήματος, άρα όχι απώλειες απο διάθλαση. Ωστόσο ακόμα και όταν αυξάνουμε κατά πολύ (μέχρι 90 μοίρες) την γωνία, η αντίστοιχη αύξηση στις απώλειες δεν ξεπερνά τα 20dB.



- Για τον υπολογισμο των απωλειών βάσει της απόστασης μεταξύ των κτηρίων βλέπουμε στο **figure 13** ότι όσο αυξάνεται η απόσταση αυτή, τόσο μικρότερες γίνονται οι απώλειες πράγμα λογικό καθώς το σήμα υπόκειται σε μικρότερη εξασθένηση.



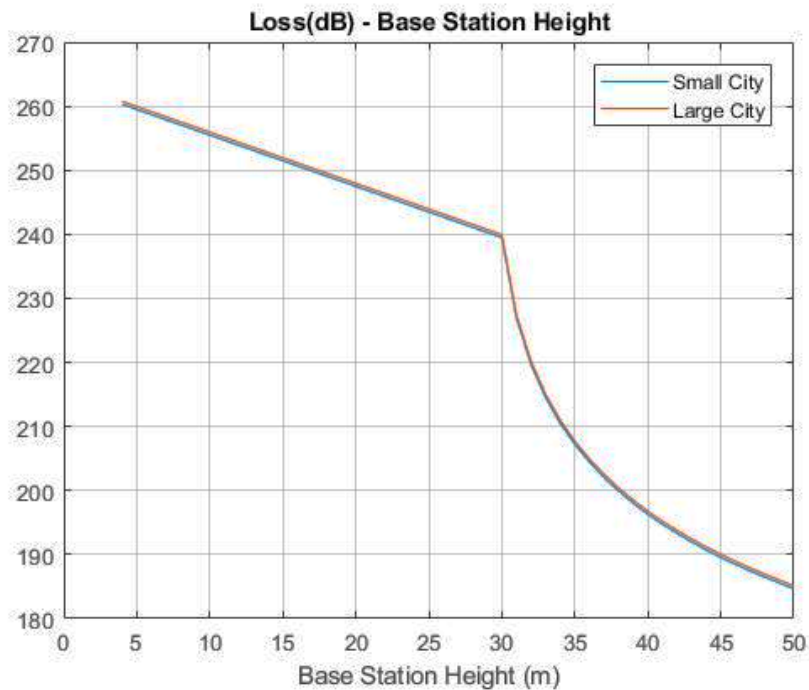
- Στην περίπτωση του πλάτους των δρόμων παρατηρούμε και πάλι την ίδια συμπεριφορά με την μεταβολή του ύψους των κτηρίων. Πιο συγκεκριμένα όσο μειώνεται το πλάτος τόσο μεγαλώνουν οι απώλειες διάδοσης όπως είναι λογικό αφού στον τύπο υπολογισμού αφαιρούμε τον λογάριθμο του πλάτους.

Αντίθετα με την προηγούμενη περίπτωση κατά την οποία μεταβάλλαμε την απόσταση των δύο άκρων, μεταβάλλοντας την συχνότητα βλέπουμε ότι οι απώλειες διάδοσης ξεκινάνε από μεγάλες τιμές (200-250dB) και ακολουθώντας σχεδόν γραμμικές συναρτήσεις καταλήγουν σε ακόμα μεγαλύτερες, όμως με αρκετά αργό ρυθμό.

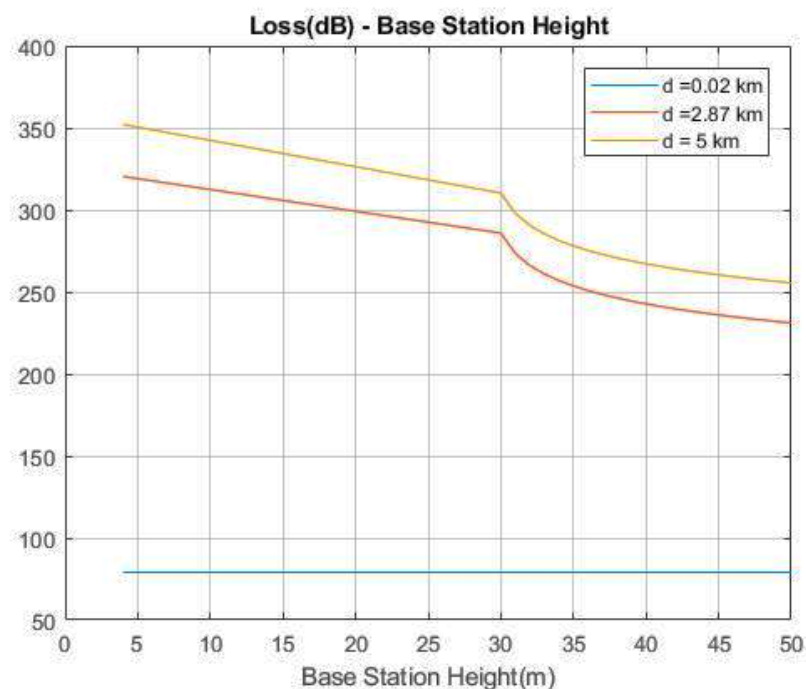
3. Μεταβάλλοντας το ύψος του σταθμού βάσης

- Το ύψος του σταθμού βάσης μεταβάλεται από 4m έως 50m
- Για τον υπολογισμό των απωλειών με βάση τον τύπο της πόλης έχουμε:
 1. $F_c=1000\text{MHz}$
 2. Απόσταση πομπού δέκτη, $d=1\text{km}$
 3. $H_{ms}=2\text{m}$
 4. $H_{roof}=30\text{m}$
 5. $B=8\text{m}$
 6. $W=6\text{m}$
 7. $\text{Angle}=45\text{μοίρες}$

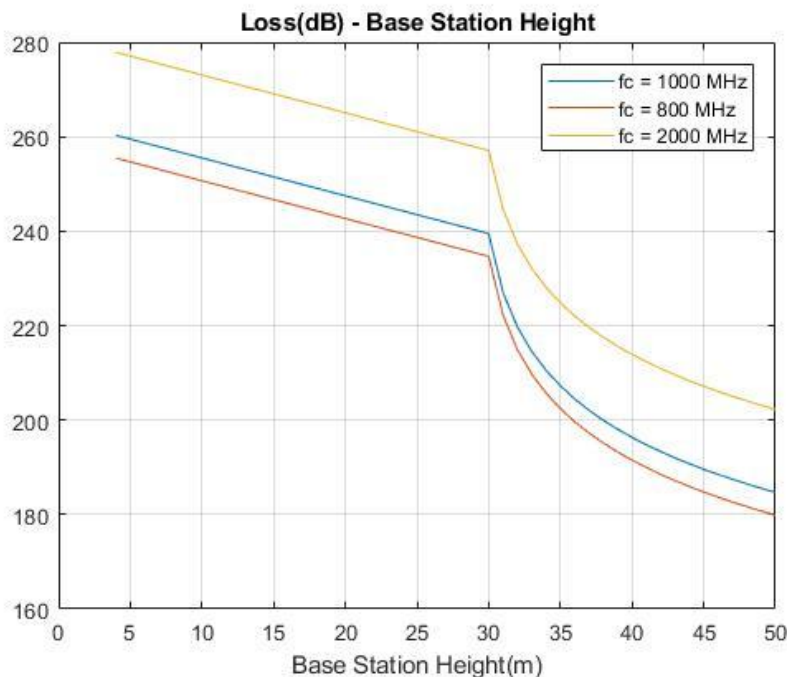
Για τις συγκεκριμένες τιμές, όπως βλέπουμε από το **figure 15** όσο το $H_{ds} < H_{roof}$, η τιμή των απωλειών ξεκινάει από την μέγιστη τιμή (περίπου 260 dB) που λαμβάνει στο διάγραμμα αυτό, ακολουθεί γραμμική πορεία μέχρι το ύψος να φτάσει στα 30m, και μόλις ξεπεραστεί το εκάστοτε ύψος των κτηρίων μειώνεται με αρκετά γρήγορους ρυθμούς.



- Σχετικά με την απόσταση πομπού και δέκτη σε ευθεία γραμμή όπως βλέπουμε στο **figure 16** έχουμε μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των ακραίων περιπτώσεων (0.02km-5km). Όμως βλέπουμε ότι για την ελάχιστη απόσταση, 0.02km, έχουμε γραμμική συμπεριφορά η οποία δεν επηρεάζεται καθόλου από την μεταβολή του ύψους της κεραίας, πράγμα λογικό καθώς η εν λόγω απόσταση είναι αρκετά μικρή. Για τις υπόλοιπες δύο υποπεριπτώσεις βλέπουμε παρόμοια συμπεριφορά με την προηγούμενη υποπερίπτωση, με μικρότερη όμως μεταβολή μεταξύ μέγιστων και ελάχιστων απωλειών.

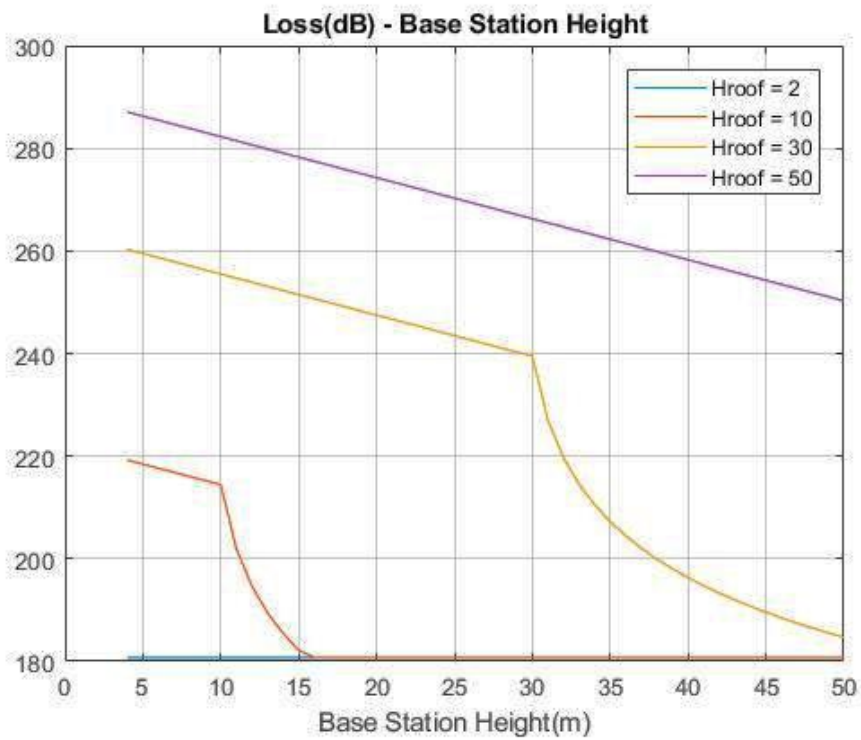


- Μεταβάλλοντας την συχνότητα(800,1000,2000) παρατηρούμε αυξημένες τιμές απωλειών όσο το ύψος της κεραίας είναι μικρότερο απο το ύψος των κτηρίων,ενώ παρατηρούμε μείωση με σχεδόν ίδιο ρυθμό και στις τρεις καμπύλες όταν ξεπεράσουμε το συγκεκριμένο ύψος.

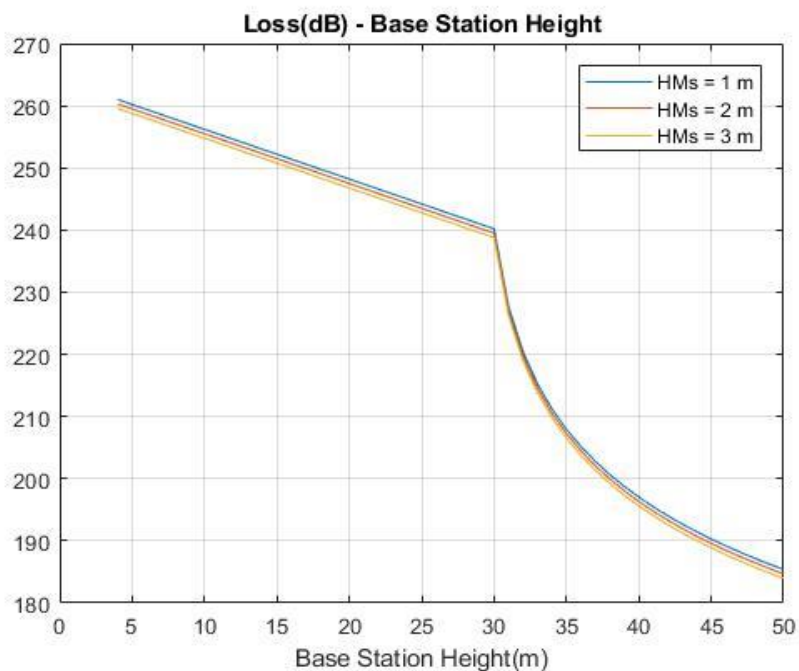


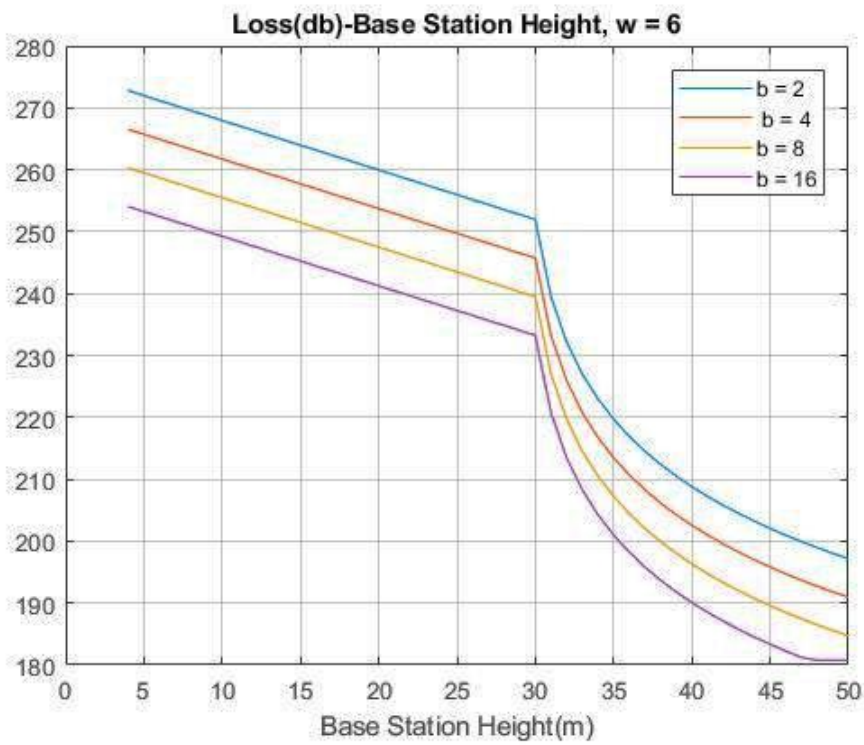
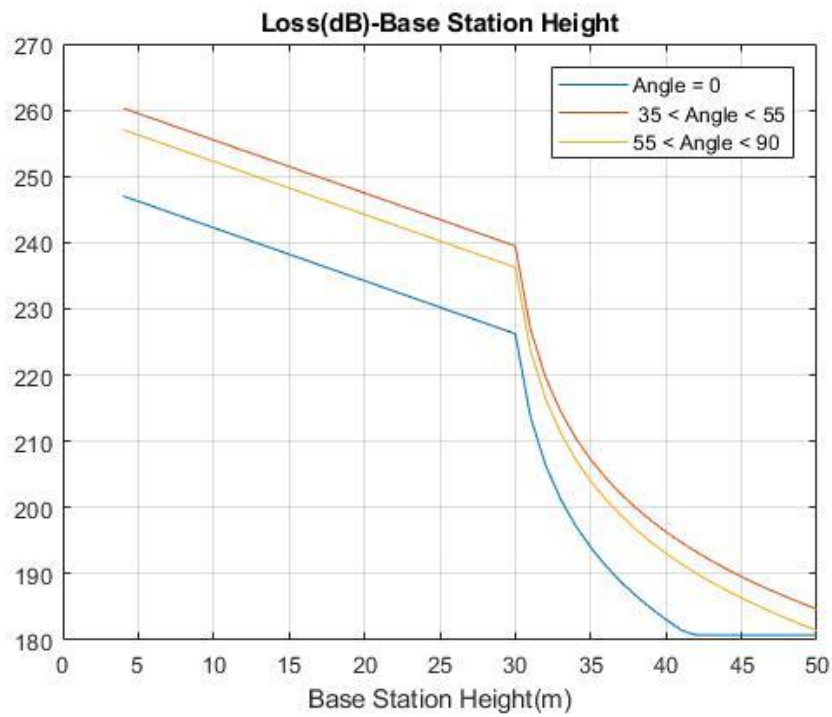
- Για τον υπολογισμό των απωλειών βάσει του ύψους των κτηρίων διακρίνουμε 4 περιπτώσεις.

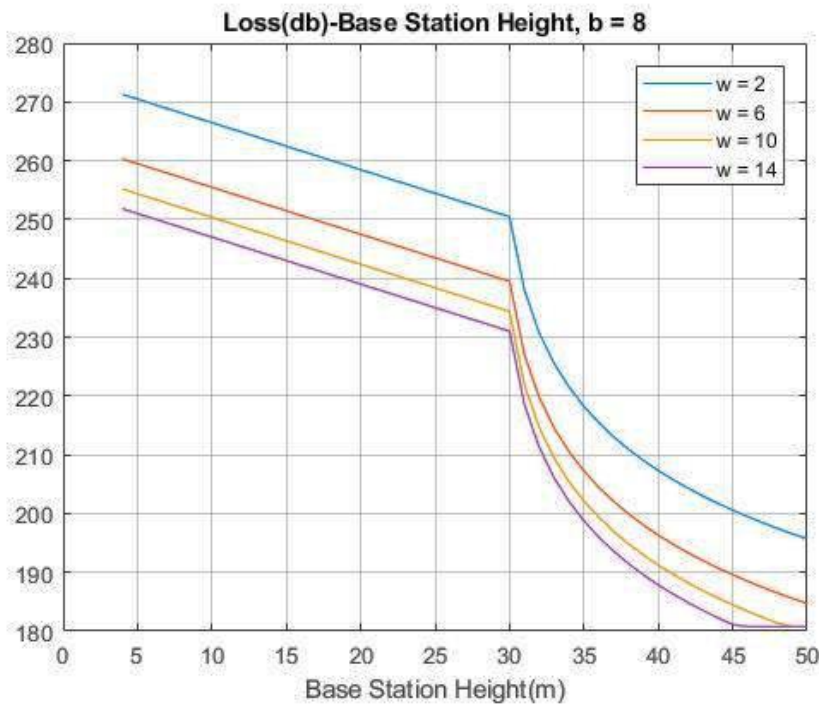
Για τις συγκεκριμένες τιμές, βλέπουμε στο **figure 19** ,όπως ήταν αναμενόμενο, ότι όσο το ύψος των κτηρίων είναι μεγαλύτερο απο το ύψος του σταθμού βάσης έχουμε γραμμική συμπεριφορά η οποία ξεκινάει απο την μέγιστη τιμή.Όταν οι δύο μεταβλητές γίνουν ίσες παρατηρούμε ότι οι απώλειες μείωνονται με αρκετά γρήγορο ρυθμό, φτάνοντας στις ελάχιστες τιμές. Η μόνη περίπτωση που δεν επηρεάζεται απο την συμπεριφορά αυτη είναι όταν το ύψος των κτηρίων είναι 2m,άρα η κεραία είναι πάντα πιο πάνω απο τα κτήρια,άρα οι απώλειες παραμένουν σταθερές στο ελάχιστο επίπεδο.



- Στα διαγράμματα 18,20,21,22, όπου αλλάζουμε το ύψος του κινητού σταθμού, την γωνία πρόσπτωσης, την απόσταση των κτηρίων και το πλάτος των δρόμων αντίστοιχα, υπάρχει η ίδια συμπεριφορά με την περίπτωση της συχνότητας.





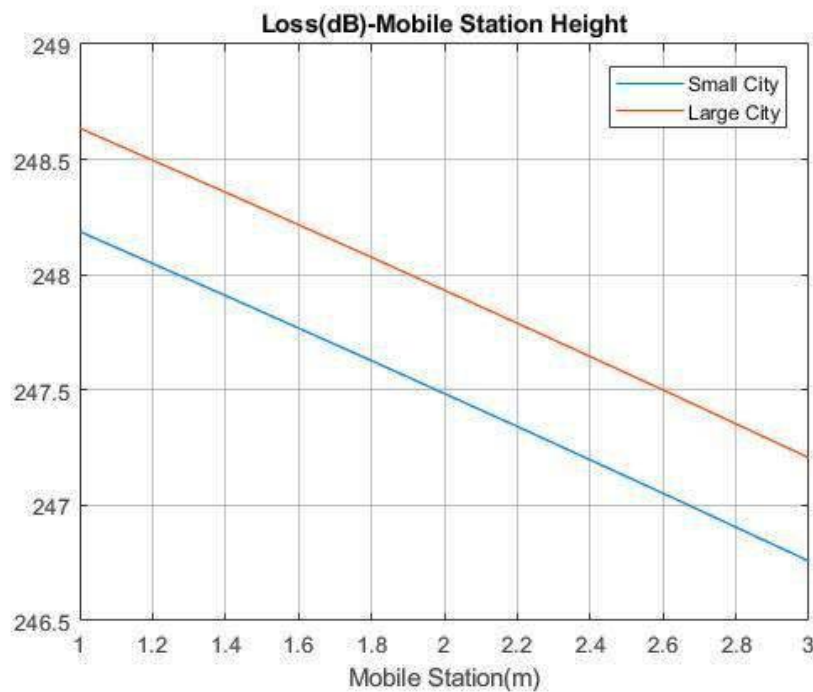


Σε αυτή την περίπτωση καταλαβαίνουμε ότι παίζει καθοριστικό ρόλο το ύψος των κτηρίων. Αν το ύψος αυτό είναι μεγαλύτερο από το ύψος του σταθμού, τότε ξεκινάμε από υψηλές τιμές απωλειών που μειώνονται γραμμικά όσο αυξάνεται το ύψος του σταθμού. Όταν πλέον το ύψος του σταθμού ξεπεράσει το ύψος των κτηρίων που βρίσκονται ανάμεσα σε πομπό και δέκτη, τότε οι απώλειες μειώνονται με αρκετά γρήγορο ρυθμό.

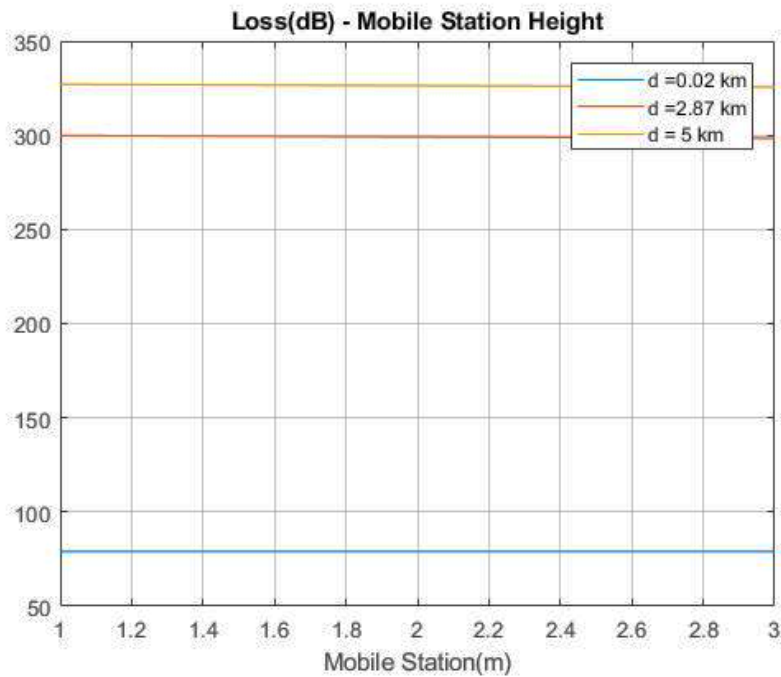
4. Μεταβάλλοντας το ύψος του κινητού σταθμού βάσης:

- Το ύψος του κινητού σταθμού βάσης μεταβάλεται από 1m έως 3m.
- Για τον υπολογισμό των απωλειών με βάση τον τύπο της πόλης έχουμε:
 1. απόσταση πομπού δέκτη, $d=1\text{km}$
 2. $H_{bs}=20\text{m}$
 3. $F_c=1000\text{MHz}$
 4. $H_{roof}=30\text{m}$
 5. $B=8\text{m}$
 6. $W=6\text{m}$
 7. $\text{Angle}=45\text{μοίρες}$

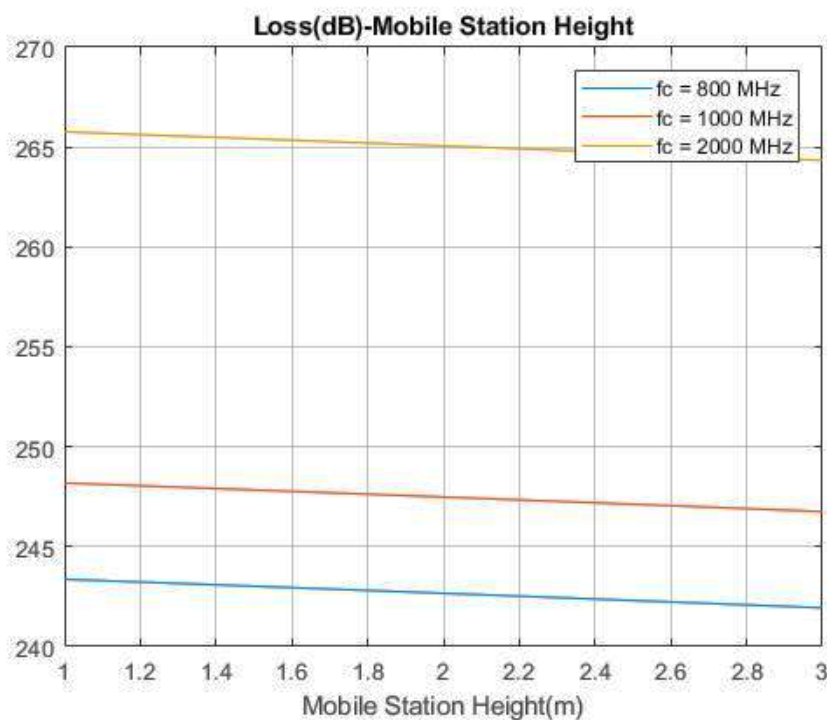
Για τις συγκεκριμένες τιμές, όπως βλέπουμε απο το **figure 23** οι απώλειες και για τις δύο περιπτώσεις ακολουθούν μειούμενη γραμμική συμπεριφορά. Βέβαια παρατηρούμε οτι ακόμα και όταν το ύψος πάρει την μέγιστη τιμή του (3m) οι απώλειες παραμένουν σε αρκετά υψηλές τιμές, ενώ η πτώση τους είναι αρκετά μικρή, μεταβίας ξεπερνά το 1dB. Αυτό οφείλεται στο ότι το ύψος του κινητού σταθμού βάσης στις συναρτήσεις του συγκεκριμένου μοντέλου συγκρίνεται με το ύψος των κτηρίων, που σε αυτή την περίπτωση είναι 30m.



- Σχετικά με την απόσταση πομπής και δέκτη σε ευθεία γραμμή όπως βλέπουμε στο **figure 24** οι καμπύλες είναι ευθείες γραμμές με μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των ακραίων περιπτώσεων (0.02km-5km). Το γεγονός οτι και οι τρεις καμπύλες αυτού του διαγράμματος είναι ευθείες γραμμές, επιβεβαιώνει την μη εξάρτηση μεταξύ του ύψους του κινητού σταθμού και της απόστασης μεταξύ των δύο σημείων επικοινωνίας.

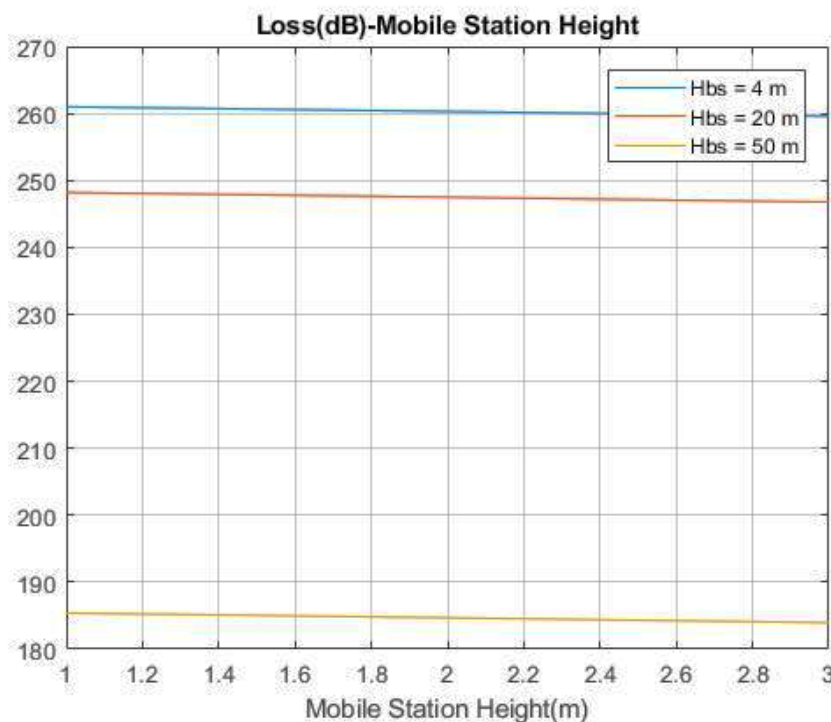


- Στην περίπτωση κατά την οποία μεταβάλλουμε την συχνότητα εκπομπής του σήματος μεταξύ των τριών τιμών (800, 1000, 2000 MHz) διαπιστώνουμε στο **figure 25** ότι οι αντίστοιχες καμπύλες είναι σχεδόν ευθείες γραμμές, όπου η μέγιστη με την ελάχιστη τιμή διαφέρουν ελάχιστα (περίπου 2 dB). Βέβαια, όπως και στις προηγούμενες τρεις περιπτώσεις που εξετάζαμε τις ίδιες τιμές συχνοτήτων, παρατηρούμε ότι υπάρχει αρκετά μεγάλη διαφορά στην τιμή των απωλειών διάδοσης μεταξύ των ακραίων περιπτώσεων (800 MHz-2000 MHz).



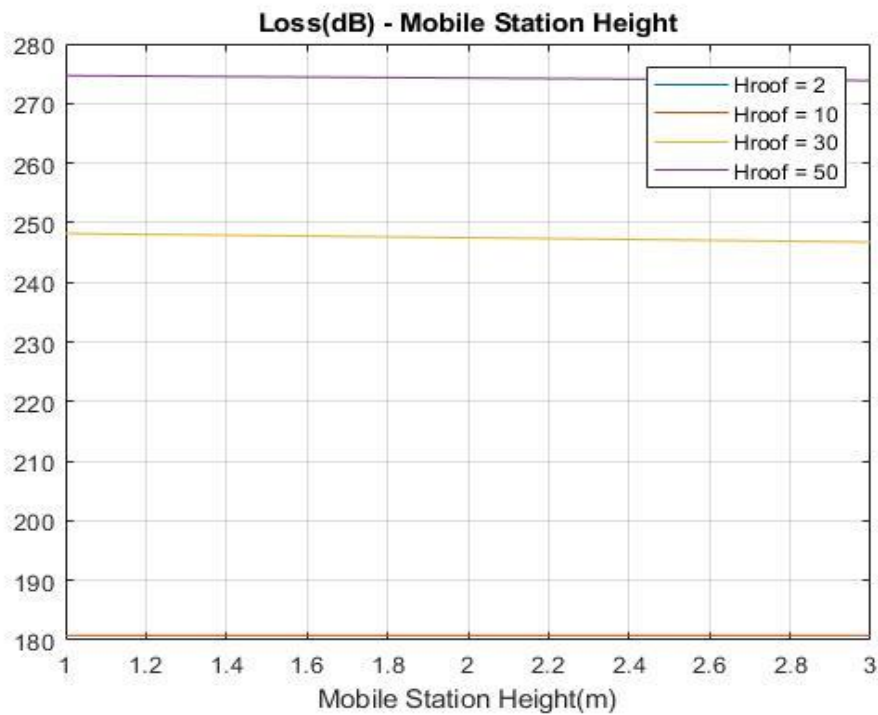
- Για τον υπολογισμό των απωλειών βάσει της διαφοράς των υψών μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού σταθμού, παίρνουμε τρεις περιπτώσεις:
 1. $H_{bs}=H_{ms}$
 2. $H_{bs}>H_{ms}$
 3. $h_{bs}>>h_{ms}$

Παρατηρώντας το **figure 26** διαπιστώνουμε ότι δεν υπάρχει καμία αλληλεπίδραση μεταξύ του ύψους του κινητού σταθμού και του σταθμού βάσης(ευθείες γραμμές), γεγονός που επαληθεύεται και απο τον τύπο του μοντέλου *Walfisch- Ikegami*.

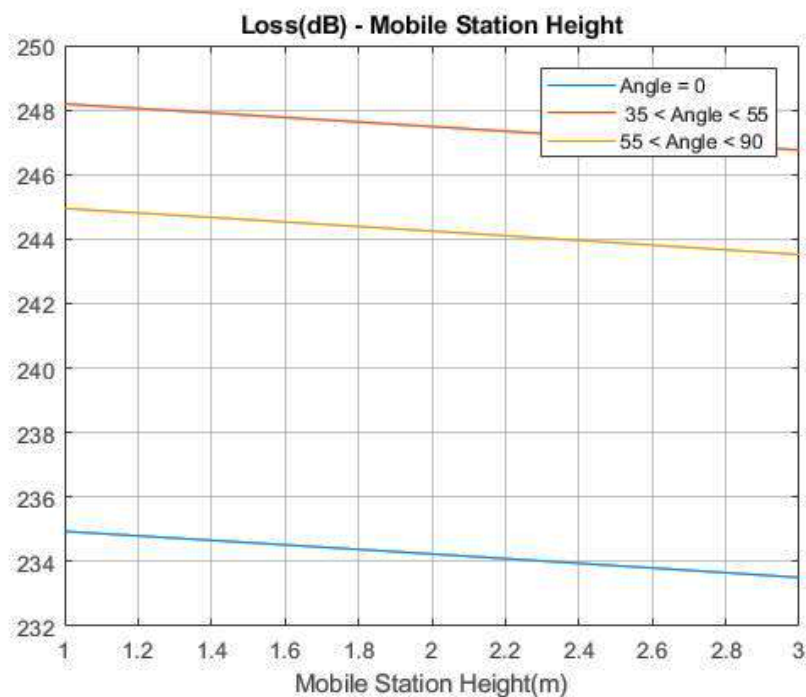


- Για τον υπολογισμό των απωλειών βάσει του ύψους των κτηρίων διακρίνουμε 4 περιπτώσεις:

Για την μικρότερη τιμή(2m), όπως βλέπουμε απο το **figure 27** δεν εμφανίζεται καμπύλη γεγονός που υποδηλώνει ότι οι απώλειες διάδοσης στην περίπτωση αυτή είναι μηδενικές. Για την τιμή 10m βλέπουμε μία ευθεία γραμμή, άρα δεν επηρεάζεται απο την μεταβολή του ύψους του κινητού σταθμού. Για τις υπόλοιπες δύο περιπτώσεις βλέπουμε σχεδόν ευθείες γραμμές με πολύ μικρή απόκλιση μεταξύ αρχικής και τελικής τιμής, κάτι το οποίο δηλώνει μία μικρή εξάρτηση των δύο αυτών μεταβλητών, όπως υποδηλώνεται και απο τον τύπο υπολογισμού απωλειών του μοντέλου.

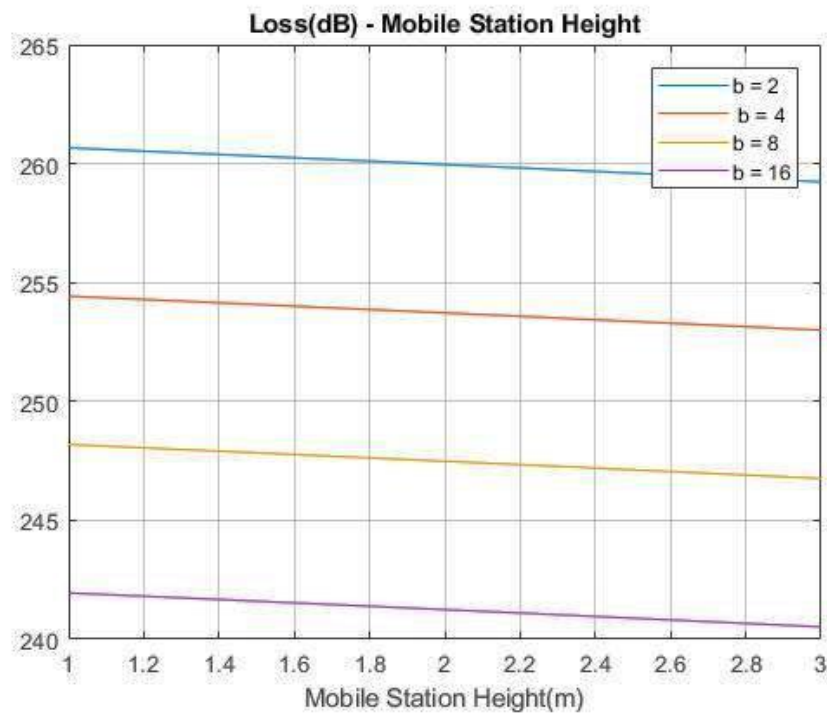


- Για τον υπολογισμό των απωλειών βάσει της γωνίας πρόσπτωσης του σήματος σε κάποιο επικείμενο εμπόδιο παρατηρούμε (**figure 28**) ότι οι ελάχιστες απώλειες, όπως είναι λογικό, εμφανίζονται όταν δεν υπάρχει σύγκρουση του σήματος, άρα όχι απώλειες από διάθλαση. Ωστόσο ακόμα και όταν αυξάνουμε κατά πολύ (μέχρι 90 μοίρες) την γωνία η αντίστοιχη αύξηση στις απώλειες δεν ξεπερνά τα 20dB.

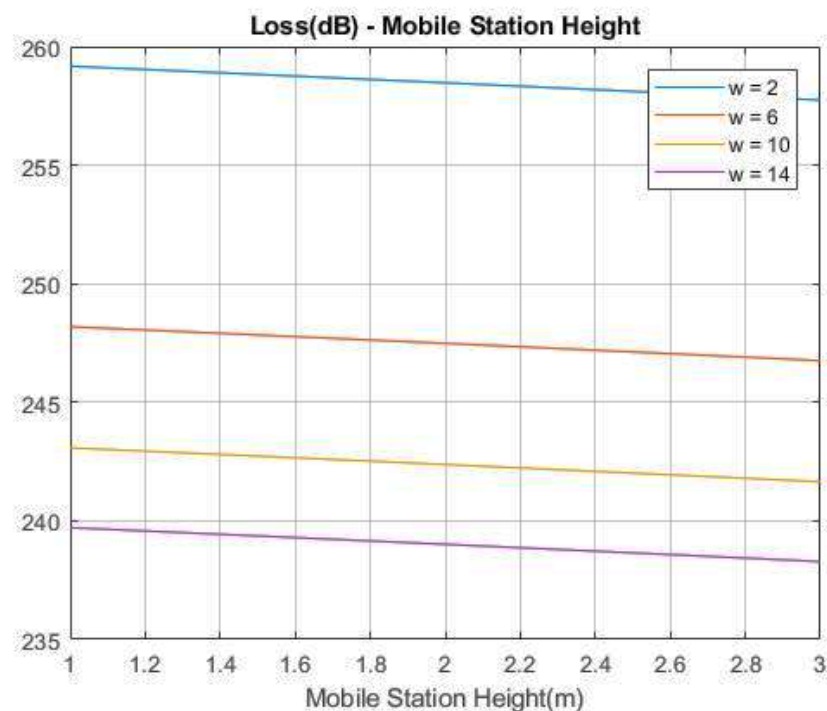


- Για τον υπολογισμό των απωλειών βάσει της απόστασης μεταξύ των κτηρίων βλέπουμε στο **figure 29** ότι όσο αυξάνεται η απόσταση αυτή, τόσο μικρότερες

γίνονται οι απώλειες πράγμα λογικό καθώς το σήμα υπόκειται σε μικρότερη εξασθένηση, καθώς έχει να διαπεράσει λιγότερα κτήρια.



- Στην περίπτωση του πλάτους των δρόμων (**figure 30**) παρατηρούμε και πάλι την ίδια συμπεριφορά με την μεταβολή της απόστασης των κτηρίων. Πιο συγκεκριμένα όσο μειώνεται το πλάτος τόσο μεγαλώνουν οι απώλειες διάδοσης όπως είναι λογικό αφού στον τύπο υπολογισμού αφαιρούμε τον λογάριθμο του πλάτους.

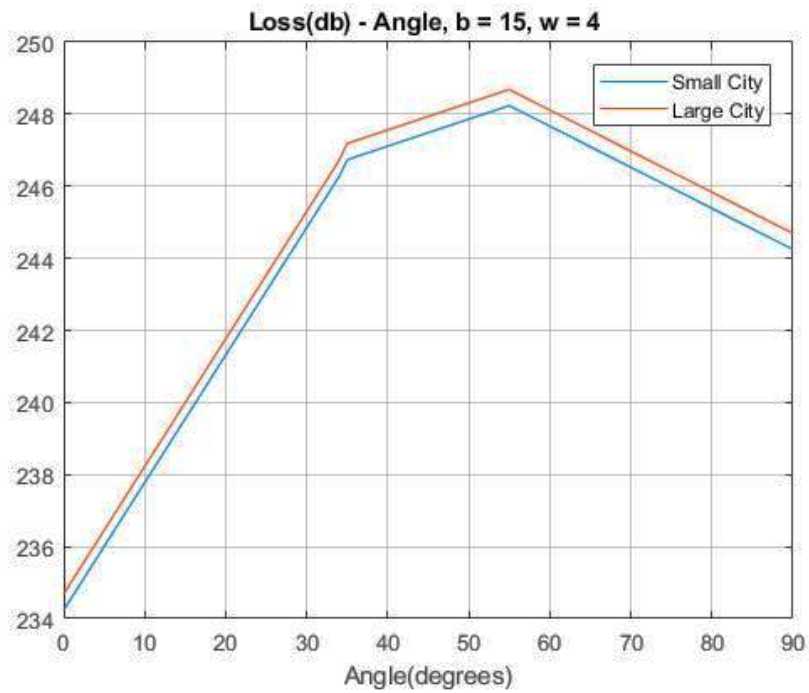


Ός γενικό συμπέρασμα απο την μελέτη των απωλειών διάδοσης μεταβάλλοντας το ύψος του κινητού σταθμού μπορούμε με σιγουρία να πούμε οτι η εναλλαγή του δεν επηρεάζει σημαντικά την τελική τιμή των απωλειών καθώς όπως γνωρίζουμε απο τον τύπο αλληλεπιδρά μόνο με την αντίστοιχη τιμή του ύψους των κτηρίων.

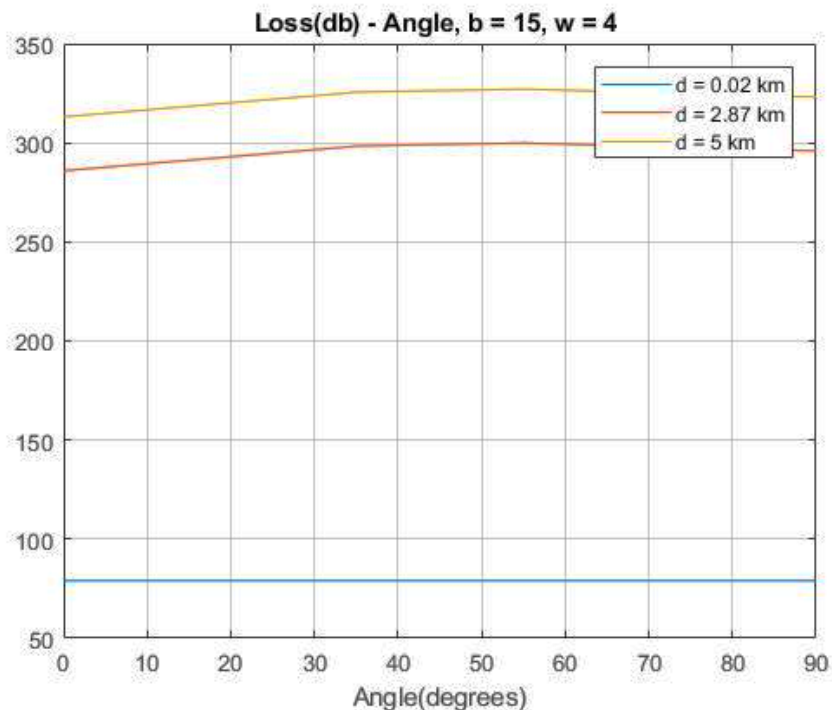
5.Μεταβάλλοντας την γωνία πρόσπτωσης:

- Η τιμή της γωνίας μεταβάλλεται απο 0 έως 90 μοίρες.
- Για τον υπολογισμό των απωλειών με βάση τον τύπο της πόλης έχουμε:
 1. Απόσταση πομπού δέκτη, $d=1\text{km}$
 2. $H_{bs}=20\text{m}$
 3. $F_c=1000\text{MHz}$
 4. $H_{roof}=30\text{m}$
 5. $B=8\text{m}$
 6. $W=6\text{m}$
 7. $F_c=1000\text{MHz}$

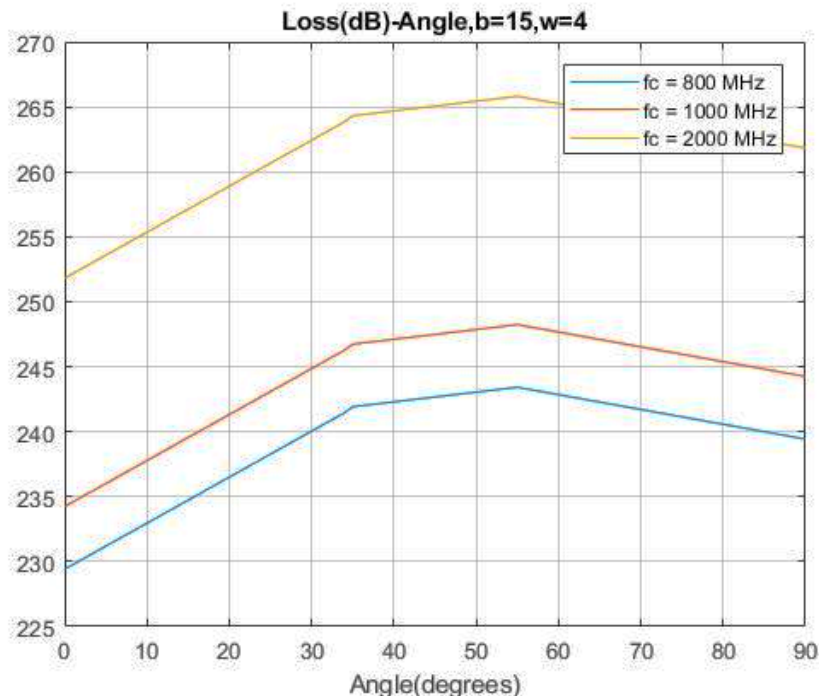
Για τις συγκεκριμένες τιμές, όπως βλέπουμε απο το **figure 31** οι απώλειες και για τις δύο περιπτώσεις ακολουθούν την ίδια συμπεριφορά. Ξεκινούν απο την ελάχιστη τιμή τους, αυξάνονται με ταχύ ρυθμό μέχρι η γωνία να γίνει ίση με 35 μοίρες. Απο 35-55 μοίρες αυξάνεται με μικρότερο ρυθμό και ύστερα ξεκινάει να μειώνεται γραμμικά.



- Σχετικά με την απόσταση πομπής και δέκτη σε ευθεία γραμμή, το **figure 32** είναι παρόμοιο με το αντίστοιχο figure (24) της προηγούμενης περίπτωσης, με τις μόνες διαφορές να εντοπίζονται στις δύο καμπύλες (2.87km, 5km), όπου περίπου στις 35 μοίρες φαίνεται ότι οι ευθείες γραμμές ξεκινούν να καμπυλώνουν. Για την μικρότερη περίπτωση (0.02km) η συμπεριφορά είναι ακριβώς η ίδια, πράγμα που δείχνει ότι δεν επηρεάζεται από την γωνία πρόσπτωσης.

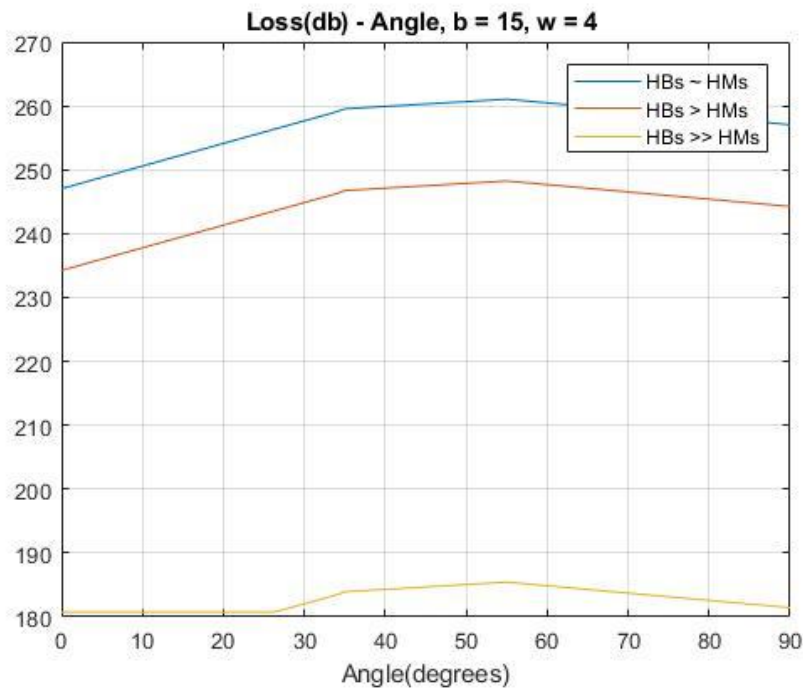


- Στην περίπτωση κατά την οποία μεταβάλλουμε την συχνότητα εκπομπής του σήματος μεταξύ των τριών τιμών(800,1000,2000MHz) διαπιστώνουμε ότι οι αντίστοιχες καμπύλες(**figure 33**) ακολουθούν παρόμοια συμπεριφορά όπως και το **figure 31**,όπου η μέγιστη με την ελάχιστη τιμή διαφέρουν περίπου 10dB.



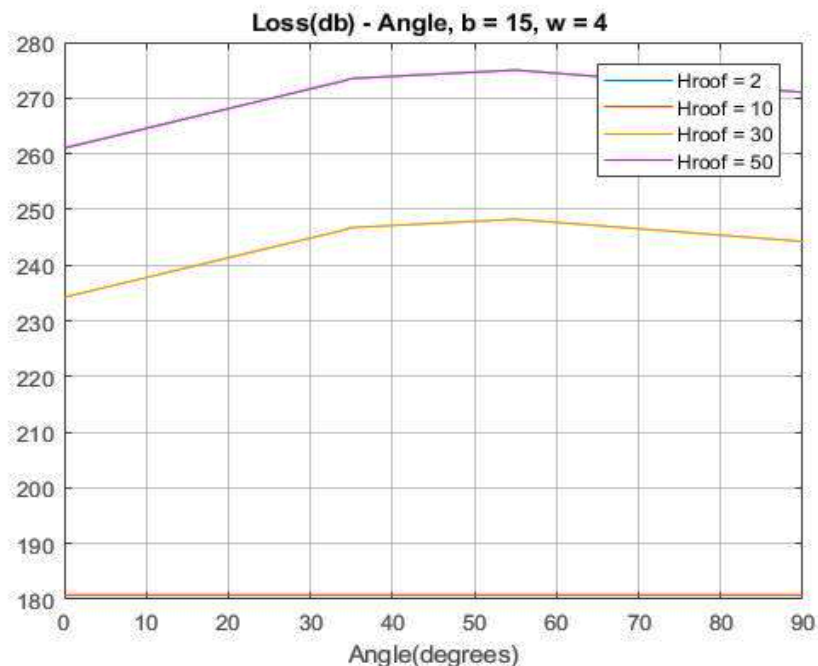
- Για τον υπολογισμό των απωλειών βάσει της διαφοράς των υψών μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού σταθμού, παίρνουμε τρεις περιπτώσεις:
 1. $H_{bs}=H_{ms}$
 2. $H_{bs}>H_{ms}$
 3. $H_{bs}\gg H_{ms}$

Παρατηρώντας το **figure 33** βλέπουμε ότι για την 3η υποπερίπτωση($H_{bs}\gg H_{ms}$) για γωνία μικρότερη περίπου των 25 μοιρών έχουν σταθερά μικρές απώλειες, οι οποίες ανεβαίνουν ελάχιστα για να ξαναελατωθούν.Για τις άλλες δύο περιπτώσεις παρατηρούμε συμπεριφορά παρόμοια με το **figure 37**, με την απόκλιση μεταξύ των ακραίων περιπτώσεων να είναι σχετικά ανεκτή.



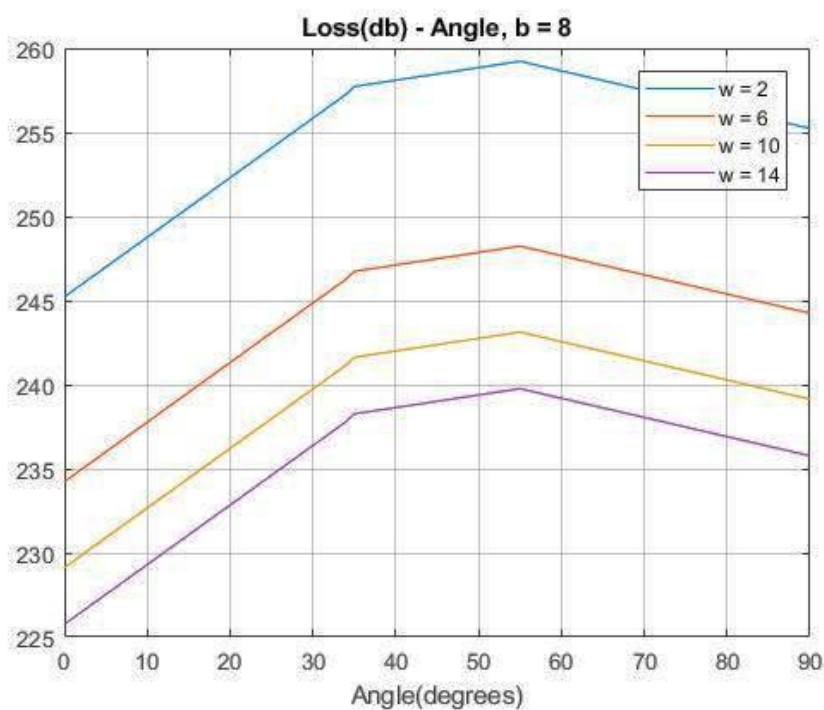
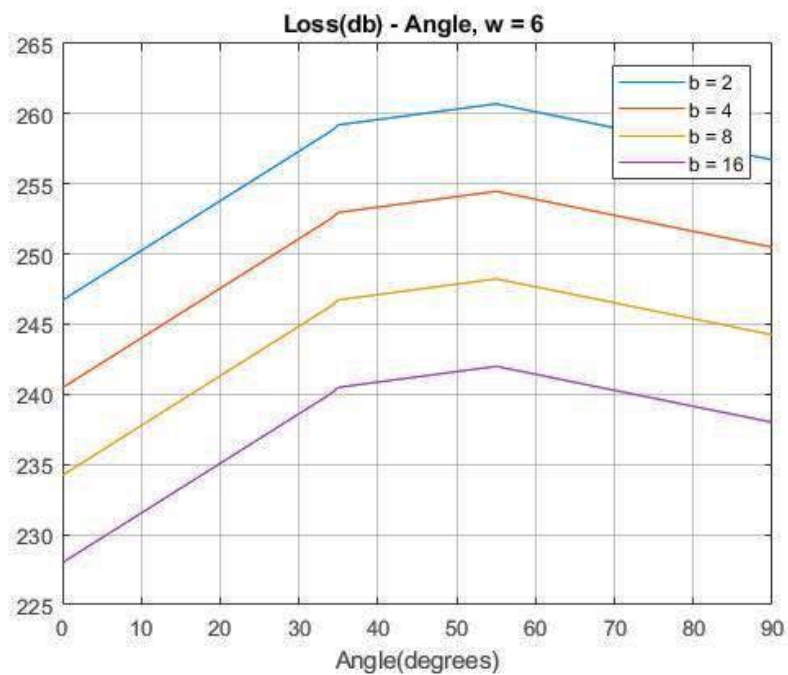
- Για τον υπολογισμό των απωλειών βάσει του ύψους των κτηρίων διακρίνουμε 4 περιπτώσεις:

Για την μικρότερη τιμή (2m), όπως βλέπουμε απο το **figure 34** δεν εμφανίζεται καμπύλη γεγονός που υποδηλώνει ότι οι απώλειες διάδοσης στην περίπτωση αυτή είναι μηδενικές. Για την τιμή 10m βλέπουμε μία ευθεία γραμμή, άρα δεν επηρεάζεται απο την μεταβολή της γωνίας. Για τις υπόλοιπες δύο περιπτώσεις παρατηρούμε παρόμοια συμπεριφορά με το **figure 33**.



- Για τον υπολογισμό των απωλειών βάσει της απόστασης μεταξύ των κτηρίων (**figure 35**) καθώς και του πλάτους των δρόμων (**figure 36**) παρατηρούμε κοινή τροπή των καμπυλών, καθώς όσο αυξάνονται οι

μεταβλητές(απόσταση κτηρίων και πλάτος δρόμων) οι απώλειες διάδοσης μειώνονται, παίρνοντας μέγιστη τιμή για γωνία ίση με 55 μοίρες.



Ως γενικό συμπέρασμα παρατηρείται ότι σε κάθε μεταβολή κάποιας

παραμέτρου, ενώ μεταβάλλεται η δεδομένη γωνία πρόσπτωσης, οι απώλειες διάδοσης ακολουθούν παρόμοια συμπεριφορά γραφικά, εξαιτίας της τρίκλαδης εξίσωσης για το *Lori*. Οι διακυμανσεις στις απώλειες καθώς αυξάνεται μια παράμετρος δε διαφέρει σημαντικά από τις προηγούμενες αντιστοιχες περιπτώσεις. Έτσι έχουμε προβλεπόμενη συμπεριφορά ανεξαρτήτου εξεταζόμενης περίπτωσης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ο επισυναπτόμενος κώδικας είναι ο εξής:

Για την ανάπτυξη του μοντέλου:

```
function [PL, PLdB] = walfkeg(fc,d,Hbs,Hms,Hr,b,w,angle,town)
%
%
if((fc >= 800 && fc <= 2000) && (Hbs>= 4 && Hbs <= 50) && (Hms >= 1 && Hms <= 3)
&& (d >= 0.02 && d <= 5) && (angle >= 0 && angle <= 90))
    if(town == 0) % Small city
        kf = -4 +0.7*(fc/925 - 1);
    else
        kf = -4 + 1.5*(fc/925 - 1);
    end

    DHbs = Hbs - Hr;
    DHr = Hr - Hms;
    Lfs = 42.6 + 26* log(d) + 20*log(fc);

    if(angle >= 0 && angle < 35)
        Lori = -10 +0.354*angle;

    elseif(angle >= 35 && angle < 55)
        Lori = 2.5 +0.075*(angle-35);

    else
        Lori = 4 - 0.114*(angle-55);

    end
    if(DHbs > 0)
        kd = 18;
        ka=54;
        Lbsh = (-18) *log(1+DHbs);
    else
        Lbsh = 0;
        kd = 18 - 15*(DHbs/Hr);
        if(d >= 0)
            ka = 54 - 0.8*DHbs;
        else
            ka = 54 - 0.8*DHbs*2*d;
        end
    end
end
```



```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%
b1 = 2;
b2 = 4;
b = 8;
b3 = 16;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%
w1 = 2;
w = 6;
w2 = 10;
w3 = 14;

% Variable: Distance
X=0.02:0.001:5; %distance in kilometers
%-----%
YU=zeros(1,length(X));
YSU=zeros(1,length(X));
%-----%
YRU=zeros(1,length(X));
YU1=zeros(1,length(X));
YU2=zeros(1,length(X));
%-----%
YUh1=zeros(1,length(X));
YUh2=zeros(1,length(X));
YUh3=zeros(1,length(X));
%-----%
YUr0=zeros(1,length(X));
YUr1=zeros(1,length(X));
YUr2=zeros(1,length(X));
YUr3=zeros(1,length(X));
%-----%
YUa1=zeros(1,length(X));
YUa2=zeros(1,length(X));
YUa3=zeros(1,length(X));
%-----%
YUb0=zeros(1,length(X));
YUb1=zeros(1,length(X));
YUb2=zeros(1,length(X));
YUb3=zeros(1,length(X));
%-----%
YUw0=zeros(1,length(X));
YUw1=zeros(1,length(X));
YUw2=zeros(1,length(X));
YUw3=zeros(1,length(X));
%-----%
for i=1:length(X)
    % The type of city
    [x , YU(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang2,0); % small city
    [x , YSU(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang2,1); % large city

    % The frequency
    [x , YRU(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
%medium frequency
    [x , YU1(1,i)]=walfkeg(fc1,X(i),hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
%low end frequency
    [x , YU2(1,i)]=walfkeg(fc2,X(i),hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
%high end frequency

    % The height of the base and mobile stations
    [x , YUh1(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS1,hMS1,hroof2,b,w,ang2,0);

```



```

% mobile station similar height with the base station
[x ,YUh2(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS1,hroof2,b,w,ang2,0);
% mobile station lower in height than the base station(middle case)
[x ,YUh3(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS,hMS1,hroof2,b,w,ang2,0);
% mobile station way lower in height than the base station

% The height of the roof of buildings
[x ,YUr0(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS,hroof,b,w,ang2,0);
% very low roof height (2 m)
[x ,YUr1(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS,hroof1,b,w,ang2,0);
% low roof height (10 m)
[x ,YUr2(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
% middle roof height (30 m)
[x ,YUr3(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS,hroof3,b,w,ang2,0);
% higher roof height (50 m)

% The angle the signal incident
[x ,YUa1(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang1,0);
% The first case of Lori (0 < ? < 35)
[x ,YUa2(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
% The second case for Lori (35 < ? < 55)
[x ,YUa3(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang3,0);
% The third case of Lori (55 < ? < 90)

% The distance of the buildings
[x ,YUb0(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS,hroof2,b1,w,ang2,0); % b = 2
[x ,YUb1(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS,hroof2,b2,w,ang2,0); % b = 4
[x ,YUb2(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang2,0); % b = 8
[x ,YUb3(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS,hroof2,b3,w,ang2,0); % b = 16

%The width of the streets
[x ,YUw0(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS,hroof2,b,w1,ang2,0); %w = 2
[x ,YUw1(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang2,0); % w = 6
[x ,YUw2(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS,hroof2,b,w2,ang2,0); % w = 10
[x ,YUw3(1,i)]=walfkeg(fc,X(i),hBS2,hMS,hroof2,b,w3,ang2,0); % w = 14

end
figure(1);
grid on;
plot(X,YU, X,YSU);
legend('Small City','Large City');
xlabel('Distance(km)');
title('Loss(db) - Distance, b = 8, w = 6 ');
grid on;

figure(2);
grid on;
plot(X,YRU, X,YU1, X,YU2);
legend('fc = 1000 Hz', 'fc = 800 Hz', 'fc = 2000 Hz');
xlabel('Distance(km)');
title('Loss(db) - Distance, b = 8, w = 6 ');
grid on;

figure(3);
grid on;
plot(X,YUh1,X,YUh2, X,YUh3);
legend('HBs ~ HMs','HBs > HMs','HBs >> HMs');
title('Loss(db) - Distance, b = 8, w = 6 ');
xlabel('Distance(km)');
grid on;

```

```

figure(4);
grid on;
plot(X,YUr0, X,YUr1, X,YUr2, X,YUr3);
legend('Hroof = 2','Hroof = 10','Hroof = 30','Hroof = 50');
xlabel('Distance(km)');
title('Loss(db) - Distance, b =8, w = 6 ');
grid on;

```

```

figure(5);
grid on;
plot(X,YUa1, X,YUa2, X,YUa3);
legend('Angle = 0',' 35 < Angle < 55','55 < Angle < 90');
xlabel('Distance(km)');
title('Loss(db) - Distance, b = 8, w = 6 ');
grid on;

```

```

figure(6);
grid on;
plot(X,YUb0, X,YUb1, X,YUb2, X,YUb3);
legend('b = 2',' b = 4','b = 8','b = 16');
xlabel('Distance(km)');
title('Loss(db) - Distance, w = 6');
grid on;

```

```

figure(7);
grid on;
plot(X,YUw0,X,YUw1, X,YUw2, X,YUw3);
legend('w = 2','w = 6','w = 10','w = 14');
xlabel('Distance(km)');
title('Loss(db) - Distance, b = 8');
grid on;

```

```

%Variable: Frequency
fX=800:50:2000; %frequency MHz
fYU=zeros(1,length(fX));
fYSU=zeros(1,length(fX));
%-----%
fYUd1=zeros(1,length(fX));
fYUd2=zeros(1,length(fX));
fYUd3=zeros(1,length(fX));
%-----%
fYUh1=zeros(1,length(fX));
fYUh2=zeros(1,length(fX));
fYUh3=zeros(1,length(fX));
%-----%
fYUr0=zeros(1,length(fX));
fYUr1=zeros(1,length(fX));
fYUr2=zeros(1,length(fX));
fYUr3=zeros(1,length(fX));
%-----%
fYUa1=zeros(1,length(fX));
fYUa2=zeros(1,length(fX));
fYUa3=zeros(1,length(fX));
%-----%
fYUb0=zeros(1,length(fX));
fYUb1=zeros(1,length(fX));
fYUb2=zeros(1,length(fX));
fYUb3=zeros(1,length(fX));
%-----%

```

```

fYUw0=zeros(1,length(fX));
fYUw1=zeros(1,length(fX));
fYUw2=zeros(1,length(fX));
fYUw3=zeros(1,length(fX));
%-----%

for i=1:length(fX)
    % The type of the city
    [x ,fYU(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
% Small City
    [x ,fYSU(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang2,1);
% Large City
    %[x fYRU(1,i)]=walfkeg(d4,fX(i),hBS,hMS,1);

    % The distance
    [x ,fYUd1(1,i)]=walfkeg(fX(i),d1,hBS2,hMS1,hroof2,b,w,ang2,0);
%lower end distance (0.02 km)
    [x ,fYUd2(1,i)]=walfkeg(fX(i),d2,hBS2,hMS1,hroof2,b,w,ang2,0);
% middle distance (2.87 km)
    [x ,fYUd3(1,i)]=walfkeg(fX(i),d3,hBS2,hMS1,hroof2,b,w,ang2,0);
% higher end distance(5 km)

    % The height of the base and mobile stations
    [x ,fYUh1(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS1,hMS1,hroof2,b,w,ang2,0);
% mobile station similar height with the base station
    [x ,fYUh2(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS2,hMS1,hroof2,b,w,ang2,0);
% mobile station lower in height than the base station(middle case)
    [x ,fYUh3(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS,hMS1,hroof2,b,w,ang2,0);
% mobile station waayy lower in height than the base station

    % The height of the roof of buildings
    [x ,fYUr0(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS2,hMS,hroof,b,w,ang2,0);
% very low roof height (2)
    [x ,fYUr1(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS2,hMS,hroof1,b,w,ang2,0);
% low roof height (10)
    [x ,fYUr2(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
% middle roof height (30)
    [x ,fYUr3(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS2,hMS,hroof3,b,w,ang2,0);
% high roof height (50)

    % The angle the signal incident
    [x ,fYUa1(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang1,0);
% The first case of Lori (0 <  $\phi$  < 35)
    [x ,fYUa2(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
% The second case for Lori (35 <  $\phi$  < 55)
    [x ,fYUa3(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang3,0);
% The third case of Lori (55 <  $\phi$  < 90)

    % b
    [x ,fYUb0(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS2,hMS,hroof2,b1,w,ang2,0); % b = 2
    [x ,fYUb1(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS2,hMS,hroof2,b2,w,ang2,0); % b = 4
    [x ,fYUb2(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang2,0); % b = 8
    [x ,fYUb3(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS2,hMS,hroof2,b3,w,ang2,0); % b = 16

    % The distance of the buildings
    [x ,fYUw0(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS2,hMS,hroof2,b,w1,ang2,0); % w = 2
    [x ,fYUw1(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS2,hMS,hroof2,b,w,ang2,0); % w = 6
    [x ,fYUw2(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS2,hMS,hroof2,b,w2,ang2,0); % w =10
    [x ,fYUw3(1,i)]=walfkeg(fX(i),d,hBS2,hMS,hroof2,b,w3,ang2,0); % w =14

end

```

```

figure(8);
plot(fX,fYU, fX,fYSU);
legend('Small City','Large City');
xlabel('frequency(MHz)');
title('Loss(db) - frequency, b = 15, w = 4 ');
grid on;

figure(9);
plot(fX,fYUd1, fX,fYUd2, fX,fYUd3);
legend('d =0.02 km','d =2.87 km','d = 5 km');
xlabel('frequency(MHz)');
title('Loss(db) - frequency, b = 15, w = 4 ');
grid on;

figure(10);
plot(fX,fYUh1,fX,fYUh2 ,fX,fYUh3);
legend('HBs ~ HMs','HBs > HMs','HBs >> HMs');
xlabel('MHz');title('Loss(db) - frequency, b = 15, w = 4 ');
grid on;

figure(11);
plot(fX,fYUr0,fX,fYUr1,fX,fYUr2,fX,fYUr3);
legend('Hroof = 2','Hroof = 10','Hroof = 30','Hroof = 50');
xlabel('MHz');
title('Loss(db) - frequency, b = 15, w = 4 ');
grid on;

figure(12);
plot(fX,fYUa1, fX,fYUa2, fX,fYUa3);
legend('Angle = 0','35 < Angle < 55','55 < Angle < 90');
xlabel('MHz');
title('Loss(db) - frequency, b = 15, w = 4 ');
grid on;

figure(13);
plot(fX,fYUb0, fX,fYUb1, fX,fYUb2, fX,fYUb3);
legend('b = 2','b = 4','b = 8','b = 16');
xlabel('frequency(MHz)');
title('Loss(db) - frequency, w = 6');
grid on;

figure(14);
plot(fX,fYUw0,fX,fYUw1, fX,fYUw2, fX,fYUw3);
legend('w = 2','w = 6','w = 10','w = 14');
xlabel('frequency(MHz)');
title('Loss(db) - frequency, b = 8');
grid on;

```

%Variable: Height of the Base station

```

HbX=4:1:50; % meters
HbYU=zeros(1,length(HbX));
HbYSU=zeros(1,length(HbX));
%-----%
HbYUd1=zeros(1,length(HbX));
HbYUd2=zeros(1,length(HbX));
HbYUd3=zeros(1,length(HbX));
%-----%
HbYUf1=zeros(1,length(HbX));
HbYUf2=zeros(1,length(HbX));

```

```

HbYUf3=zeros(1,length(HbX));
%-----%
HbYUhm1=zeros(1,length(HbX));
HbYUhm2=zeros(1,length(HbX));
HbYUhm3=zeros(1,length(HbX));
%-----%
HbYUr0=zeros(1,length(HbX));
HbYUr1=zeros(1,length(HbX));
HbYUr2=zeros(1,length(HbX));
HbYUr3=zeros(1,length(HbX));
%-----%
HbYUa1=zeros(1,length(HbX));
HbYUa2=zeros(1,length(HbX));
HbYUa3=zeros(1,length(HbX));
%-----%
HbYUb0=zeros(1,length(HbX));
HbYUb1=zeros(1,length(HbX));
HbYUb2=zeros(1,length(HbX));
HbYUb3=zeros(1,length(HbX));
%-----%
HbYUw0=zeros(1,length(HbX));
HbYUw1=zeros(1,length(HbX));
HbYUw2=zeros(1,length(HbX));
HbYUw3=zeros(1,length(HbX));
%-----%

for i=1:length(HbX)
    % The type of the city
    [x ,HbYU(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
% Small City
    [x ,HbYSU(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof2,b,w,ang2,1);
% Large City

    % The distance
    [x ,HbYUd1(1,i)]=walfkeg(fc,d1,HbX(i),hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
% lower end distance (0.02 km)
    [x ,HbYUd2(1,i)]=walfkeg(fc,d2,HbX(i),hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
% middle distance (2.87 km)
    [x ,HbYUd3(1,i)]=walfkeg(fc,d3,HbX(i),hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
% higher end distance(5 km)

    % The frequency
    [x ,HbYUf1(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
%medium frequency
    [x ,HbYUf2(1,i)]=walfkeg(fc1,d,HbX(i),hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
%low end frequenecy
    [x ,HbYUf3(1,i)]=walfkeg(fc2,d,HbX(i),hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
%high end frequency

    % The height of the mobile stations
    [x ,HbYUhm1(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
    [x ,HbYUhm2(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS1,hroof2,b,w,ang2,0);
    [x ,HbYUhm3(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS2,hroof2,b,w,ang2,0);

    % The height of the roof of buildings
    [x ,HbYUr0(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof,b,w,ang2,0);
% very low roof height(2)
    [x ,HbYUr1(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof1,b,w,ang2,0);
% low roof height (10)
    [x ,HbYUr2(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
% middle roof height (30)
    [x ,HbYUr3(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof3,b,w,ang2,0);

```

```

% higher roof height (50)

% The angle the signal incident
[x ,HbYUa1(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof2,b,w,ang1,0);
% The first case of Lori (0 < ? < 35)
[x ,HbYUa2(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
% The second case for Lori (35 < ? < 55)
[x ,HbYUa3(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof2,b,w,ang3,0);
% The third case of Lori (55 < ? < 90)


% b
[x ,HbYUb0(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof2,b1,w,ang2,0);
[x ,HbYUb1(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof2,b2,w,ang2,0);
[x ,HbYUb2(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
[x ,HbYUb3(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof2,b3,w,ang2,0);


% The distance of the buildings
[x ,HbYUw0(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof2,b,w1,ang2,0);
[x ,HbYUw1(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof2,b,w,ang2,0);
[x ,HbYUw2(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof2,b,w2,ang2,0);
[x ,HbYUw3(1,i)]=walfkeg(fc,d,HbX(i),hMS,hroof2,b,w3,ang2,0);


end

figure(15);
plot(HbX,HbYU,HbX,HbYSU);
legend('Small City','Large City');
xlabel('Base Station Height (m)');
title('Loss(dB) - Base Station Height');
grid on;

figure(16);
plot(HbX,HbYUd1, HbX,HbYUd2, HbX,HbYUd3);
legend('d =0.02 km', 'd =2.87 km', 'd = 5 km');
title('Loss(dB) - Base Station Height');
xlabel('Base Station Height(m)');
grid on;

figure(17);
plot(HbX,HbYUf1, HbX,HbYUf2, HbX,HbYUf3);
legend('fc = 1000 MHz','fc = 800 MHz','fc = 2000 MHz');
title('Loss(dB) - Base Station Height');
xlabel('Base Station Height(m)');
grid on;

figure(18);
plot(HbX,HbYUhm3,HbX,HbYUhm1,HbX,HbYUhm2);
legend('HMs = 1 m','HMs = 2 m','HMs = 3 m');
xlabel('Base Station Height(m)');
title('Loss(dB) - Base Station Height');
grid on;

figure(19);
plot(HbX,HbYUr0, HbX,HbYUr1, HbX,HbYUr2, HbX,HbYUr3);
legend('Hroof = 2','Hroof = 10','Hroof = 30','Hroof = 50');
title('Loss(dB) - Base Station Height');
xlabel('Base Station Height(m)');
grid on;

```

```

figure(20);
plot(HbX,HbYUa1, HbX,HbYUa2, HbX,HbYUa3);
legend('Angle = 0',' 35 < Angle < 55','55 < Angle < 90');
title('Loss(dB)-Base Station Height');
xlabel('Base Station Height(m)');grid on;

```

```

figure(21);
plot(HbX,HbYUb0, HbX,HbYUb1, HbX,HbYUb2, HbX,HbYUb3);
legend('b = 2',' b = 4','b = 8','b = 16');
title('Loss(db)-Base Station Height, w = 6');
xlabel('Base Station Height(m)'); grid on;

```

```

figure(22);
plot(HbX,HbYUw0,HbX,HbYUw1,HbX,HbYUw2,HbX,HbYUw3);
legend('w = 2','w = 6','w = 10','w = 14');
title('Loss(db)-Base Station Height, b = 8');
xlabel('Base Station Height(m)');grid on;

```

%Variable: Height of the Mobile Station

```

HmX=1:0.4:3; % metres
%-----%
HmYU=zeros(1,length(HmX));
HmYSU=zeros(1,length(HmX));
%-----%
HmYUd1=zeros(1,length(HmX));
HmYUd2=zeros(1,length(HmX));
HmYUd3=zeros(1,length(HmX));
%-----%
HmYUHbs1=zeros(1,length(HmX));
HmYUHbs2=zeros(1,length(HmX));
HmYUHbs3=zeros(1,length(HmX));
%-----%
HmYUf1=zeros(1,length(HmX));
HmYUf2=zeros(1,length(HmX));
HmYUf3=zeros(1,length(HmX));
%-----%
HmYUr0=zeros(1,length(HmX));
HmYUr1=zeros(1,length(HmX));
HmYUr2=zeros(1,length(HmX));
HmYUr3=zeros(1,length(HmX));
%-----%
HmYUa1=zeros(1,length(HmX));
HmYUa2=zeros(1,length(HmX));
HmYUa3=zeros(1,length(HmX));
%-----%
HmYUb0=zeros(1,length(HmX));
HmYUb1=zeros(1,length(HmX));
HmYUb2=zeros(1,length(HmX));
HmYUb3=zeros(1,length(HmX));
%-----%
HmYUw0=zeros(1,length(HmX));
HmYUw1=zeros(1,length(HmX));
HmYUw2=zeros(1,length(HmX));
HmYUw3=zeros(1,length(HmX));

```

```

%-----%
for i=1:length(HmX)
    % The type of the city

```

```

    [x ,HmYU(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof2,b,w,ang2,0);

```

% Small City

```

    [x ,HmYSU(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof2,b,w,ang2,1);

```

```

% Large City

% The distance
[x ,HmYUd1(1,i)]=walfkeg(fc,d1,hBS2,HmX(i),hroof2,b,w,ang2,0);
%lower end distance (0.02 km)
[x ,HmYUd2(1,i)]=walfkeg(fc,d2,hBS2,HmX(i),hroof2,b,w,ang2,0);
% middle distance (2.87 km)
[x ,HmYUd3(1,i)]=walfkeg(fc,d3,hBS2,HmX(i),hroof2,b,w,ang2,0);
% higher end distance(5 km)

% The frequency
[x ,HmYUf1(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof2,b,w,ang2,0);
%medium frequency
[x ,HmYUf2(1,i)]=walfkeg(fc1,d,hBS2,HmX(i),hroof2,b,w,ang2,0);
%low end frequency
[x ,HmYUf3(1,i)]=walfkeg(fc2,d,hBS2,HmX(i),hroof2,b,w,ang2,0);
%high end frequency

% The height of the base station
[x ,HmYUHbs1(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS1,HmX(i),hroof2,b,w,ang2,0);
% mobile station similar height with the base station
[x ,HmYUHbs2(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof2,b,w,ang2,0);
% mobile station lower in height than the base station(middle case)
[x ,HmYUHbs3(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS,HmX(i),hroof2,b,w,ang2,0);
% mobile station waayy lower in height than the base station

% The height of the roof of buildings
[x ,HmYUr0(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof,b,w,ang2,0);
% very low height (2 m)
[x ,HmYUr1(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof1,b,w,ang2,0);
% low roof height (10 m)
[x ,HmYUr2(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof2,b,w,ang2,0);
% middle roof height (30 m)
[x ,HmYUr3(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof3,b,w,ang2,0);
% higher roof height (50 m)

% The angle the signal incident
[x ,HmYUa1(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof2,b,w,ang1,0);
% The first case of Lori (0 < ? < 35)
[x ,HmYUa2(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof2,b,w,ang2,0);
% The second case for Lori (35 < ? < 55)
[x ,HmYUa3(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof2,b,w,ang3,0);
% The third case of Lori (55 < ? < 90)

% b
[x ,HmYUb0(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof2,b1,w,ang2,0);
[x ,HmYUb1(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof2,b2,w,ang2,0);
[x ,HmYUb2(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof2,b,w,ang2,0);
[x ,HmYUb3(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof2,b3,w,ang2,0);

% The distance of the buildings
[x ,HmYUw0(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof2,b,w1,ang2,0);
[x ,HmYUw1(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof2,b,w,ang2,0);
[x ,HmYUw2(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof2,b,w2,ang2,0);
[x ,HmYUw3(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,HmX(i),hroof2,b,w3,ang2,0);

```

end

figure(23);


```

plot(HmX,HmYU,HmX,HmYSU);
legend('Small City','Large City');
title('Loss(dB)-Mobile Station Height');
xlabel('Mobile Station(m)');
grid on;

```

```

figure(24);
plot(HmX,HmYUd1, HmX,HmYUd2, HmX,HmYUd3);
legend('d =0.02 km','d =2.87 km','d = 5 km');
title('Loss(dB) - Mobile Station Height');
xlabel('Mobile Station(m)');
grid on;

```

```

figure(25);
plot(HmX,HmYUf2, HmX,HmYUf1, HmX,HmYUf3);
legend('fc = 800 MHz','fc = 1000 MHz','fc = 2000 MHz');
title('Loss(dB)-Mobile Station Height');
xlabel('Mobile Station Height(m)');
grid on;

```

```

figure(26);
plot(HmX,HmYUHbs1, HmX,HmYUHbs2, HmX,HmYUHbs3);
legend('Hbs = 4 m','Hbs = 20 m','Hbs = 50 m');
title('Loss(dB)-Mobile Station Height');
xlabel('Mobile Station Height(m)');
grid on;

```

```

figure(27);
plot(HmX,HmYUr0, HmX,HmYUr1, HmX,HmYUr2, HmX,HmYUr3);
legend('Hroof = 2','Hroof = 10','Hroof = 30','Hroof = 50');
title('Loss(dB) - Mobile Station Height');
xlabel('Mobile Station Height(m)');
grid on;

```

```

figure(28);
plot(HmX,HmYUa1, HmX,HmYUa2, HmX,HmYUa3);
legend('Angle = 0','35 < Angle < 55','55 < Angle < 90');
title('Loss(dB) - Mobile Station Height');
xlabel('Mobile Station Height(m)');
grid on;

```

```

figure(29);
plot(HmX,HmYUb0, HmX,HmYUb1, HmX,HmYUb2, HmX,HmYUb3);
legend('b = 2','b = 4','b = 8','b = 16');
title('Loss(dB) - Mobile Station Height');
xlabel('Mobile Station Height(m)');
grid on;

```

```

figure(30);
plot(HmX,HmYUw0, HmX,HmYUw1, HmX,HmYUw2, HmX,HmYUw3);
legend('w = 2','w = 6','w = 10','w = 14');
title('Loss(dB) - Mobile Station Height');
xlabel('Mobile Station Height(m)');

```

```
grid on;
```

```
%Variable: Angle of the signal incident
```

```
AX=0:90; % meters
```

```
%-----%
```

```
AYU=zeros(1,length(AX));
```

```
AYSU=zeros(1,length(AX));
```

```
%-----%
```

```
AYUd1=zeros(1,length(AX));
```

```
AYUd2=zeros(1,length(AX));
```

```
AYUd3=zeros(1,length(AX));
```

```
%-----%
```

```
AYUh1=zeros(1,length(AX));
```

```
AYUh2=zeros(1,length(AX));
```

```
AYUh3=zeros(1,length(AX));
```

```
%-----%
```

```
AYUf1=zeros(1,length(AX));
```

```
AYUf2=zeros(1,length(AX));
```

```
AYUf3=zeros(1,length(AX));
```

```
%-----%
```

```
AYUr0=zeros(1,length(AX));
```

```
AYUr1=zeros(1,length(AX));
```

```
AYUr2=zeros(1,length(AX));
```

```
AYUr3=zeros(1,length(AX));
```

```
%-----%
```

```
AYUb0=zeros(1,length(AX));
```

```
AYUb1=zeros(1,length(AX));
```

```
AYUb2=zeros(1,length(AX));
```

```
AYUb3=zeros(1,length(AX));
```

```
%-----%
```

```
AYUw0=zeros(1,length(AX));
```

```
AYUw1=zeros(1,length(AX));
```

```
AYUw2=zeros(1,length(AX));
```

```
AYUw3=zeros(1,length(AX));
```

```
%-----%
```

```
for i=1:length(AX)
```

```
    % The type of the city
```

```
    [x ,AYU(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,hMS,hroof2,b,w,AX(i),0); % Small City
```

```
    [x ,AYSU(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,hMS,hroof2,b,w,AX(i),1); % Large City
```

```
    % The distance
```

```
    [x ,AYUd1(1,i)]=walfkeg(fc,d1,hBS2,hMS,hroof2,b,w,AX(i),0);
```

```
%lower end distance (0.02 km)
```

```
    [x ,AYUd2(1,i)]=walfkeg(fc,d2,hBS2,hMS,hroof2,b,w,AX(i),0);
```

```
% middle distance (2.87 km)
```

```
    [x ,AYUd3(1,i)]=walfkeg(fc,d3,hBS2,hMS,hroof2,b,w,AX(i),0);
```

```
% higher end distance(5 km)
```

```
    % The frequency
```

```
    [x ,AYUf1(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,hMS,hroof2,b,w,AX(i),0);
```

```
%medium frequency
```

```
    [x ,AYUf2(1,i)]=walfkeg(fc1,d,hBS2,hMS,hroof2,b,w,AX(i),0);
```

```
%low end frequency
```

```
    [x ,AYUf3(1,i)]=walfkeg(fc2,d,hBS2,hMS,hroof2,b,w,AX(i),0);
```

```
%high end frequency
```

```
    % The height of the base and mobile stations
```

```
    [x ,AYUh1(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS1,hMS,hroof2,b,w,AX(i),0);
```

```
% mobile station similar height with the base station
```

```

[x ,AYUh2(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,hMS,hroof2,b,w,AX(i),0);
% mobile station lower in height than the base station(middle case)
[x ,AYUh3(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS,hMS,hroof2,b,w,AX(i),0);
% mobile station waayy lower in height than the base station

% The height of the roof of buildings
[x ,AYUr0(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,hMS,hroof,b,w,AX(i),0);
% very low height (2 m)
[x ,AYUr1(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,hMS,hroof1,b,w,AX(i),0);
% low roof height (10 m)
[x ,AYUr2(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,hMS,hroof2,b,w,AX(i),0);
% middle roof height (30 m)
[x ,AYUr3(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,hMS,hroof3,b,w,AX(i),0);
% higher roof height (50 m)

%
[x ,AYUb0(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,hMS,hroof2,b1,w,AX(i),0);
[x ,AYUb1(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,hMS,hroof2,b2,w,AX(i),0);
[x ,AYUb2(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,hMS,hroof2,b,w,AX(i),0);
[x ,AYUb3(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,hMS,hroof2,b3,w,AX(i),0);

%
[x ,AYUw0(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,hMS,hroof2,b,w1,AX(i),0);
[x ,AYUw1(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,hMS,hroof2,b,w,AX(i),0);
[x ,AYUw2(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,hMS,hroof2,b,w2,AX(i),0);
[x ,AYUw3(1,i)]=walfkeg(fc,d,hBS2,hMS,hroof2,b,w3,AX(i),0);

end

figure(31);
plot(AX,AYU, AX,AYSU);
legend('Small City','Large City');
xlabel('Angle(degrees)');
title('Loss(db) - Angle, b = 15, w = 4 ');
grid on;

figure(32);
plot(AX,AYUd1, AX,AYUd2, AX,AYUd3);
legend('d = 0.02 km', 'd = 2.87 km', 'd = 5 km');
xlabel('Angle(degrees)');
title('Loss(db) - Angle, b = 15, w = 4 ');
grid on;

figure(33);
plot(AX,AYUh1, AX,AYUh2, AX,AYUh3);
legend('HBs ~ HMs','HBs > HMs','HBs >> HMs');
xlabel('Angle(degrees)');
title('Loss(db) - Angle, b = 15, w = 4 ');
grid on;

figure(34);
plot(AX,AYUr0, AX,AYUr1, AX,AYUr2, AX,AYUr3);
legend('Hroof = 2','Hroof = 10','Hroof = 30','Hroof = 50');
xlabel('Angle(degrees)');
title('Loss(db) - Angle, b = 15, w = 4 ');
grid on;

```

```

figure(35);
plot(AX,AYUb0, AX,AYUb1, AX,AYUb2, AX,AYUb3);
legend('b = 2','b = 4','b = 8','b = 16');
xlabel('Angle(degrees)');
title('Loss(db) - Angle, w = 6 ');
grid on;

```

```

figure(36);
plot(AX,AYUw0, AX,AYUw1, AX,AYUw2, AX,AYUw3);
legend('w = 2','w = 6','w = 10','w = 14');
xlabel('Angle(degrees)');
title('Loss(db) - Angle, b = 8');
grid on;

```

```

figure(37);
plot(AX,AYUf2, AX,AYUf1, AX,AYUf3);
legend('fc = 800 MHz','fc = 1000 MHz','fc = 2000 MHz');
title('Loss(dB)-Angle,b=15,w=4');
xlabel('Angle(degrees)');
grid on;

```

```

%else
%   plot(1000,1000);

```
