

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΡΑΔΙΟΖΕΥΞΕΩΝ
ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗ ΝΟΜΟΥ ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ



ΠΑΡΔΑΛΗ ΧΡΙΣΤΙΝΑ
ΑΕΜ 9039
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2020

Περιεχόμενα

Αντικείμενο μελέτης.....	3
Γεωφυσικά στοιχεία.....	3
Πληθυσμιακά στοιχεία.....	5
Πρότυπο Ψηφιακής Τηλεόρασης.....	6
Νομοθεσία-Νομικό πλαίσιο.....	7
Επιλογή κέντρων εκπομπής.....	10
Υπολογισμός απωλειών.....	12
Μελέτη ραδιοκάλυψης νομού.....	14
Επιλογή εξοπλισμού.....	18
Εξοπλισμός κύριων πομπών.....	19
Εξοπλισμός αναμεταδότη.....	26
Εξοπλισμός για λήψη σημάτων.....	27
Ζεύξεις από το studio.....	27
Επιλογή ακριβής θέσης studio.....	28
Υπολογισμός μηκοτομών.....	29
Εξοπλισμός studio.....	31
Υπολογισμός ισχύος εκπομπής και λήψης.....	33
Ανάλυση ισχύος ευρυεκπομπών.....	34
Ανάλυση ισχύος δισημειακών ραδιοζεύξεων.....	38
Σύστημα αντικεραυνικής προστασίας.....	41
Σχεδίαση ΣΑΠ.....	41
Εγκατάσταση ΣΑΠ.....	46
Βιβλιογραφία.....	53

Αντικείμενο μελέτης

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τον σχεδιασμό της ψηφιακής τηλεοπτικής ραδιοκάλυψης του Νομού Θεσπρωτίας. Στις παρακάτω ενότητες αναλύεται ο σχεδιασμός των ραδιοζεύξεων μεταξύ studio και πομπών/αναμεταδοτών καθώς και ο απαραίτητος εξοπλισμός (κεραίες, πομποί). Στη τελευταία ενότητα, παρουσιάζεται ο σχεδιασμός του αλεξικέραυνου και των γειώσεων με την επιλογή των αντίστοιχων υλικών.

Γεωφυσικά στοιχεία

Ο Νομός Θεσπρωτίας ή Περιφερειακή Ενότητα Θεσπρωτίας κατά το σχέδιο Καλλικράτης είναι ένας από τους 54 νομούς της Ελλάδας, ο βορειοδυτικότερος της ηπειρωτικής χώρας και πιο συγκεκριμένα ένας από τους τέσσερις νομούς της γεωγραφικής και διοικητικής περιφέρειας της Ηπείρου.

Ανήκει στους ακριτικούς νομούς της χώρας και η πρωτεύουσα του είναι η Ηγουμενίτσα. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η θέση του νομού Θεσπρωτίας στο χάρτη της Ελλάδας.



Συνορεύει βόρεια με την Αλβανία (Νομός Αυλώνα), ανατολικά με την Περιφερειακή Ενότητα Ιωαννίνων, νότια με την Περιφερειακή Ενότητα Πρέβεζας και δυτικά βρέχεται από το Ιόνιο Πέλαγος. Η Συνολική έκταση της Περιφερειακής Ενότητας είναι 1.515 τ.χλμ.

Γενικά ο νομός είναι κατά 70% ορεινός, 24,7 % ημιορεινός και μόλις το 5,3 πεδινός.

Για την μελέτη που θα πραγματοποιήσουμε κρίνεται απαραίτητο να μελετήσουμε το ανάγλυφο του νομού.

Το ανάγλυφο του νομού διαμορφώνεται κυρίως από τους ακόλουθους 6 ορεινούς όγκους:

- Όρη Τσαμαντά: βρίσκονται στα σύνορα με την Αλβανία :με μέγιστο υψόμετρο 1.896 μ. που συνεχίζουν νοτιότερα με τη Μεγάλη Ράχη.
- Όρη Φιλιατών, νοτιοδυτικότερα των προηγούμενων με υψηλότερη κορυφή 1.064 μ., ανατολικότερα των οποίων βρίσκεται το Φαρμακοβούνι (1240 μ.)
- Όρη Σουλίου που αποτελούν την ανατολικότερη από τις τρεις παράλληλες οροσειρές που βρίσκονται στο νότιο τμήμα του νομού με υψηλότερη κορυφή την Αλυσό (1815 μ.)
- Όρη Παραμυθιάς, που είναι η νοτιοανατολική οροσειρά, νότια των προηγούμενων
- Όρος Χιονίστρα (1644 μ. που βρίσκεται βορειότερα των προηγούμενων.
- Όρη της Πάργας που εκτείνονται νοτιοδυτικότερα των προηγούμενων με μέγιστο υψόμετρο τα 927 μ. που συνεχίζουν νότια στο νομό Πρεβέζης.

Τρεις είναι οι βασικοί ποταμοί που διαρρέουν το νομό Θεσπρωτίας:

1. Ο Θύαμις, ή Καλαμάς, του οποίου οι πηγές βρίσκονται στο νομό Ιωαννίνων και με κατεύθυνση δυτική εκβάλει στο Ιόνιο,
2. Ο Αχέρων του οποίου οι πηγές βρίσκονται στα όρη του Σουλίου με παραπόταμους τον Ντάλα και Κωκυτό και
3. Ο Ξάνθος που συνεχίζει βόρεια πορεία στο αλβανικό έδαφος.

Εκτός από τα όρη και τους ποταμούς, ο νομός διαθέτει και πεδιάδες, η σημαντικότερη από τις οποίες είναι η παρά τις εκβολές του Θύαμη που ενώνεται με την ευρύτερη πεδιάδα της Ηγουμενίτσας συνολικής έκτασης 60 τ.χλμ. Υφίστανται και δύο μικρότερες δυτικά από τα όρη Παραμυθιάς και στη περιοχή Μαργαριτίου. Στο κέντρο του νομού υπάρχουν επίσης κάποιες μικρές λίμνες.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το ανάγλυφο του νομού που μόλις αναφέραμε.

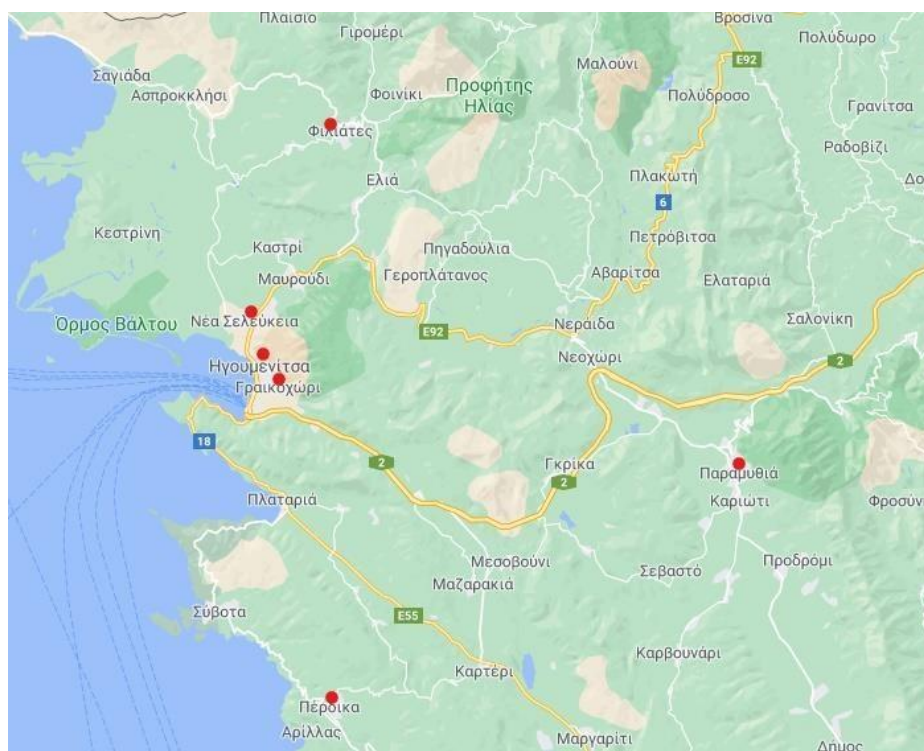


Πληθυσμιακά στοιχεία

Για την εύρεση των απαραίτητων πληθυσμιακών στοιχείων ανατρέχουμε στα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής για την απογραφή του ελληνικού πληθυσμού του 2011 σύμφωνα με το ΦΕΚ698/Β/20-3-2014. Στη σελίδα 112/432 βλέπουμε ότι στην περιφερειακή ενότητα Θεσπρωτίας με έδρα την Ηγουμενίτσα υπάρχουν 43.587 κάτοικοι. Οι οικισμοί που έχουν παραπάνω από 1.000 κατοίκους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΟΝΟΜΑ ΠΟΛΗΣ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ
Ηγουμενίτσα,η	9.145
Νέα Σελεύκεια,η	2.535
Φιλιάτες,οι	2.512
Παραμυθιά,η	2.363
Γραικοχώριον,το	1.917
Πέρδικα,η	1.476

Οι παραπάνω οικισμοί θα ληφθούν υπόψη μας στη μελέτη και έχουν σημειωθεί στην παρακάτω εικόνα με κόκκινο χρώμα:



Πρότυπο Ψηφιακής Τηλεόρασης

Η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση [Digital terrestrial television – DTTV ή DTT] θεωρείται η εξέλιξη της εκπεμπόμενης, αναλογικής τηλεόρασης. Σε αντίθεση με άλλες πλατφόρμες, όπως τη δορυφορική εκπομπή σήματος όπου απαιτείται κάτοπτρο [πιάτο] ή την IPTV που προϋποθέτει σύνδεση στο διαδίκτυο, η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση εκπέμπεται σε ραδιοσυχνότητες μέσω επίγειου χώρου. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι, όπως και με την αναλογική τηλεόραση, το σήμα συνεχίζει να λαμβάνεται με μια απλή κεραία, όμως η μεγάλη διαφορά είναι η διαδικασία της πολυπλεξίας που δίνει τη δυνατότητα για λήψη πολλαπλών καναλιών [προγραμμάτων] στον ίδιο δίαυλο συχνοτήτων [π.χ. ένα UHF κανάλι]. Με απλά λόγια, σε κάθε συχνότητα μπορούν πλέον να εκπέμψουν περισσότερα από ένα τηλεοπτικά κανάλια και μάλιστα μαζί με συνοδευτικές υπηρεσίες, όπως τον ηλεκτρονικό οδηγό προγράμματος [EPG].

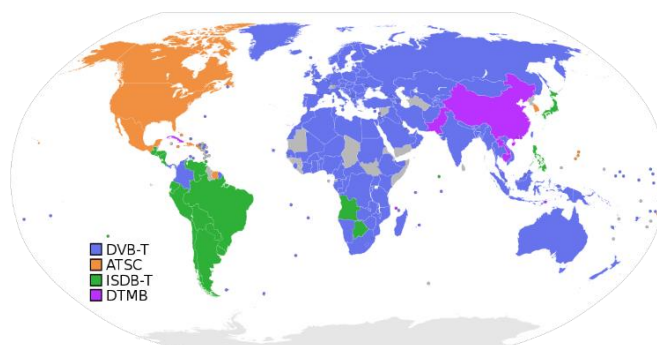
Ως αποτέλεσμα συναπόφασης όλων των εμπλεκόμενων φορέων προκειμένου η χώρα μας να διαθέτει μία σύγχρονη ψηφιακή πλατφόρμα, η τεχνολογία που επιλέχθηκε είναι το DVB-T MPEG-4 ή H.264 και αφορά τόσο στο πρότυπο όσο και στο το πρωτόκολλο κωδικοποίησης.

Το DVB-T είναι ένα πρότυπο για τη λήψη επίγειου ψηφιακού σήματος τηλεόρασης. Χρησιμοποιεί τα γνωστά από τις αναλογικές εκπομπές κανάλια UHF και η λήψη ψηφιακών εκπομπών γίνεται επίγεια μέσω κεραιών.

Σε αντίθεση με την αναλογική μετάδοση, μέσω ψηφιακής αναμετάδοσης τα κανάλια UHF, οι συχνότητες δηλαδή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιο αποτελεσματικά, καθώς ψηφιακά μπορούν να αναμεταδίδονται περισσότερα προγράμματα ανά συχνότητα. Η μέθοδος διαμόρφωσης στο συγκεκριμένο πρότυπο είναι η COFDM [Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex].

Η ψηφιακή τηλεόραση [DVB-T] μπορεί να είναι Standard Definition [SD] ή High Definition [HD], εφόσον υποστηρίζεται. Οι ψηφιακοί πάροχοι [π.χ. Digea] έχουν την υποδομή για να μεταφέρουν σήμα υψηλής ευκρίνειας, όμως πρέπει το περιεχόμενο που λαμβάνουν να είναι σε HD. Δηλαδή, ο εκάστοτε πάροχος περιεχομένου θα πρέπει να στέλνει το πρόγραμμά του στον πάροχο σε High Definition.

Εναλλακτικά συστήματα χρησιμοποιούνται ανά τον κόσμο, όπως το ISDB-T στην Ιαπωνία [παρόμοιο του DVB-T], παραλλαγή αυτού στις περισσότερες χώρες της Νοτίου Αμερικής, το σύστημα DMB-T/H στην Κίνα, ενώ η Βόρεια Αμερική αντικατέστησε το αναλογικό NTSC με το ATSC. Τα διάφορα πρότυπα ανά τον κόσμο φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



Το MPEG-4, από την άλλη, είναι η μέθοδος συμπίεσης ψηφιακών οπτικοακουστικών δεδομένων. Η συγκεκριμένη τεχνολογία αποτελεί τη βάση για την εξέλιξη στην ψηφιακή

τηλεόραση και είναι η επικρατέστερη ανάμεσα στις χώρες της Ευρώπης, ενώ έχει προτιμηθεί στην Αυστραλία, τη Νέα Ζηλανδία, την Κολομβία και ορισμένες χώρες της Αφρικής.

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο κωδικοποίησης έχει επιλεγεί διότι:

- Προσφέρει 40% καλύτερη ποιότητα από το προγενέστερο σύστημα κωδικοποίησης MPEG-2 [ποιότητα DVD].
- Εξασφαλίζει τη δυνατότητα για μελλοντική εκπομπή σε Υψηλή Ανάλυση [High Definition]. Στην Ευρώπη είναι ήδη μια τρέχουσα εξέλιξη.

Νομοθεσία-Νομικό πλαίσιο

Για την εύρεση του νομικού πλαισίου ανατρέχουμε στο ΦΕΚ 2704/Β/5-10-2012 όπου καθορίζεται ο χάρτης συχνοτήτων της επίγειας ψηφιακής τηλεοπτικής εκπομπής. Συνολικά διατίθενται 40 δίαυλοι 8 MHz ο καθένας οι οποίοι καλύπτουν το εύρος φάσματος 470-790 MHz.

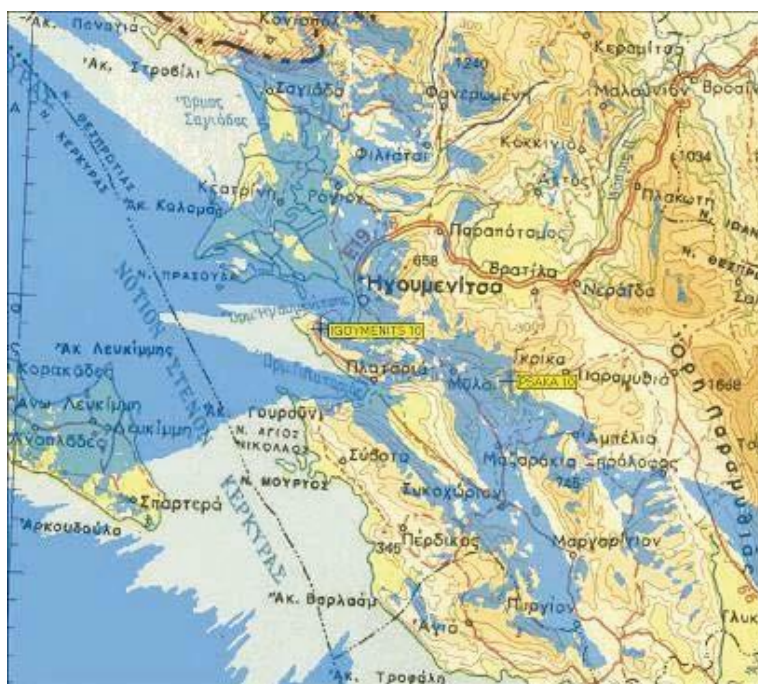
Σύμφωνα με τα στοιχεία που αναφέρονται στο προαναφερθέν ΦΕΚ, η χώρα χωρίζεται σε 35 περιοχές που ονομάζονται allotments.

Συγκεκριμένοι δίαυλοι παρέχονται σε κάθε allotment και συγκεκριμένα για το νομό Θεσπρωτίας που ανήκει στην περιοχή(allotment) 10, οι δίαυλοι που του αποδίδονται είναι αυτοί με αριθμούς 21,22,26,33,41,45,48 και 59.

Επιλέγουμε η μελέτη της ραδιοκάλυψης να γίνει με χρήση του διαύλου 33 όπου σύμφωνα και πάλι με τα στοιχεία του ΦΕΚ ο δίαυλος 33 έχει όριο φάσματος 566-574MHz και άρα κεντρική συχνότητα 570MHz. Για συχνότητα $f=570\text{MHz}$ έχουμε μήκος κύματος $\lambda=0.52\text{m}$.

Η διαμόρφωση που θα χρησιμοποιηθεί είναι 64QAM-FEC $\frac{3}{4}$ -GI 1/8.

Το allotment 10, όπως εμφανίζεται στο ΦΕΚ, φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Κάθε allotment οριοθετείται από συγκεκριμένα σημεία σύμφωνα με τις τελικές πράξεις της Γενεύης 2006 και το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ87. Τα σημεία αυτά αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα:

Αριθμός Allotment	Όνομα	Σημείο Αναφοράς	Γεωγραφικό Μήκος	Γεωγραφικό πλάτος
10	THESPROTIA	0	20E4443,14	39N3047,53
10	THESPROTIA	1	20E535,19	39N0901,52
10	THESPROTIA	2	20E1933,21	39N1834,51
10	THESPROTIA	3	20E1104,20	39N3837,51
10	THESPROTIA	4	20E2317,16	39N4831,52

Στο παράρτημα Ε του προαναφερθέντος ΦΕΚ καθορίζονται επίσης τα επιτρεπτά κέντρα εκπομπής μαζί με την περιγραφή των απαιτούμενων κεραιοσυστημάτων αλλά και τη μέγιστη επιτρεπτή ενεργός ιστροπτικά ακτινοβολούμενη ισχύς (EIRP) ανά κέντρο εκπομπής.

Για το allotment 10 λοιπόν υπάρχουν δυο επιτρεπτά κέντρα εκπομπής όπως φαίνεται στους παρακάτω δύο πίνακες:

Κέντρο εκπομπής Ηγουμενίτσας

Ονομασία		Ηγουμενίτσα	Στοιχεία Κεραίας				
Συντεταγμένες ΕΓΣΑ 87	Μήκος	176084	Πλευρά Α	Πλευρά Β	Πλευρά Γ	Πλευρά Δ	Κλίση προς ορίζοντα
	Πλάτος	4376860					
Υψόμετρο		239	50				
EIRP(dbW)		22					

Κέντρο εκπομπής Ψάκας

Ονομασία		Ψάκα	Στοιχεία Κεραίας				
Συντεταγμένες ΕΓΣΑ 87	Μήκος	189025	Πλευρά Α	Πλευρά Β	Πλευρά Γ	Πλευρά Δ	Κλίση προς ορίζοντα
	Πλάτος	4373661					
Υψόμετρο		916	90	180	270		
EIRP(dbW)		22					

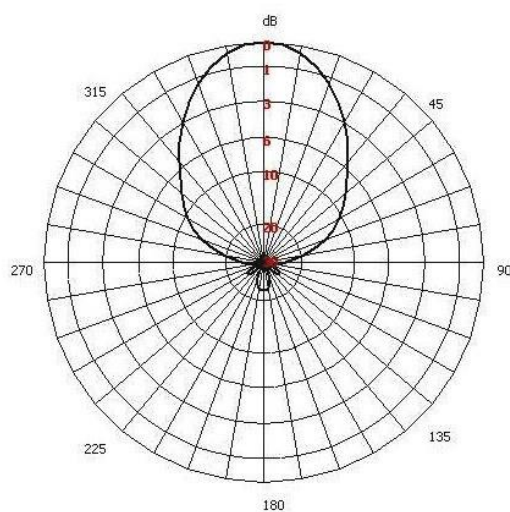
Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει τα επιτρεπτά κέντρα εκπομπής στο allotment 10 μαζί με τα σχηματικά πολικά διαγράμματα των κεραιών τους έτσι ώστε να έχουμε

επίγνωση της ακτινοβολίας που εκπέμπουν και των περιοχών που μπορούν να καλύψουν.

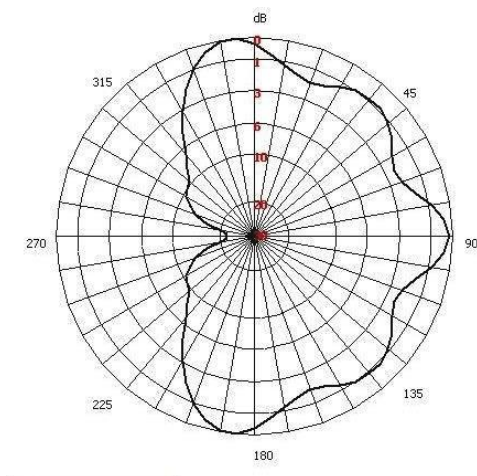


Πιο συγκεκριμένα, οι παρακάτω εικόνες δείχνουν τα οριζόντια πολικά διαγράμματα των δύο χρησιμοποιούμενων κεραιών:

Μονή κατεύθυνση



3 κατευθύνσεις -90°



Επιλογή κέντρων εκπομπής

Έχοντας υπόψη μας το περιεχόμενο του ΦΕΚ σχετικά με τα κέντρα εκπομπής, αποφασίζουμε να επιλέξουμε ως κέντρα εκπομπής για τη μελέτη την Ηγουμενίτσα και την Ψάκα.

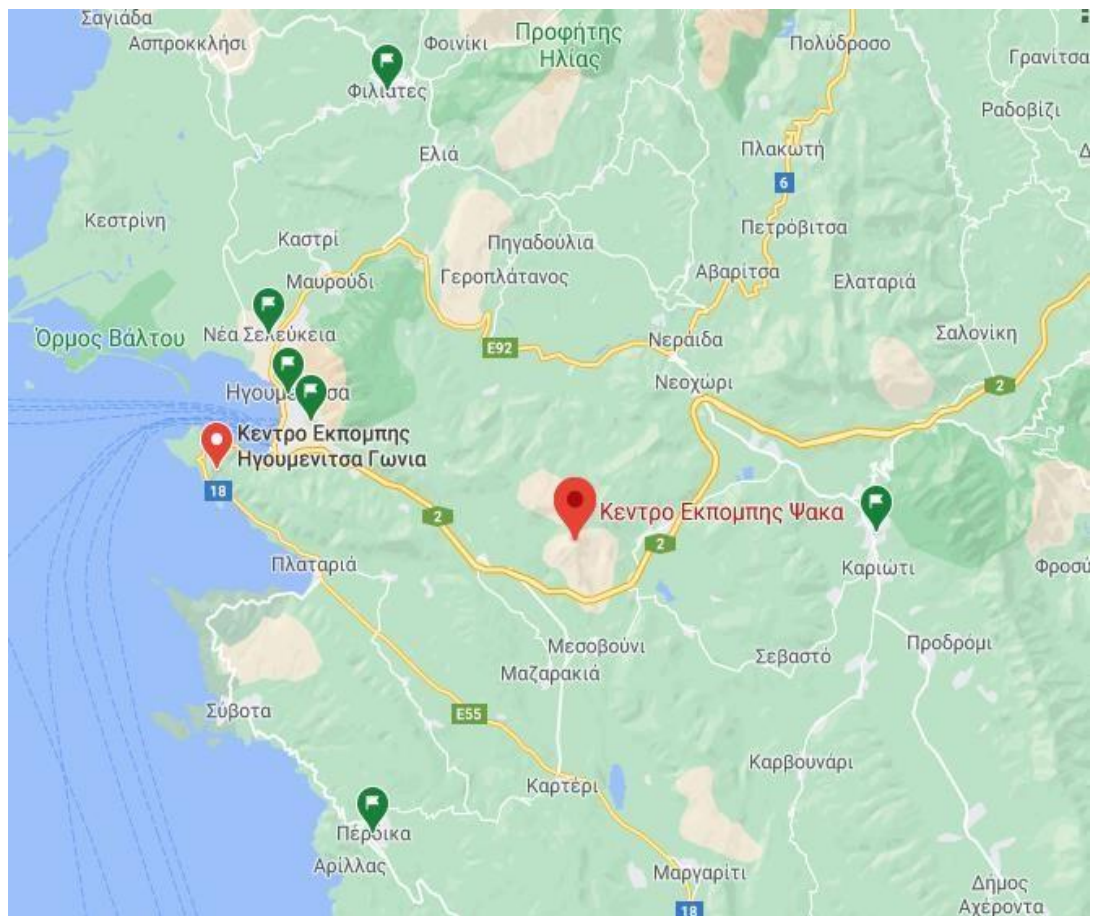
Με την επιλογή αυτή πετυχαίνουμε την κάλυψη του μέγιστου αριθμού περιοχών χωρίς την παρεμβολή εμποδίων ενώ ταυτόχρονα αποφεύγονται οι απώλειες περίθλασης. Ακόμη δύο κριτήρια για την επιλογή των κέντρων αυτών είναι η εγγύτητα τους σε δρόμο έτσι ώστε να πραγματοποιούνται οι απαραίτητες εργασίες συντήρησης αλλά και η εγγύτητα σε κατοικήσιμη περιοχή για να υπάρχει ηλεκτροδότηση από τη ΔΕΗ.

Με βάση το διάγραμμα ακτινοβολίας των κεραιών και την ελάχιστη απόσταση κέντρου εκπομπής-οικισμού, το κέντρο εκπομπής της Ηγουμενίτσας θα καλύψει τους οικισμούς Νέα Σελεύκεια, Γραικοχώρι και την πόλη της Ηγουμενίτσας ενώ το κέντρο εκπομπής της Ψάκας τους οικισμούς Φιλιάτες, Πέρδικα και Παραμυθιά.

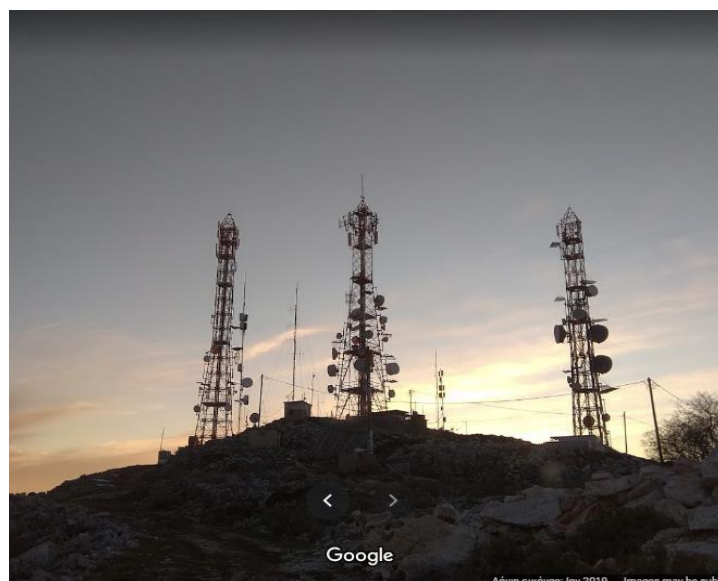
Οι ακριβείς τοποθεσίες των δύο κέντρων αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

Κέντρο εκπομπής	Γεωγραφικό Μήκος	Γεωγραφικό πλάτος	Υψόμετρο(m)
Ηγουμενίτσα	20°14'07.6"E	39°29'00.5"N	327
Ψάκα	20°23'15.0"E	39°27'33.0"N	941

Στον χάρτη παρακάτω φαίνονται ακριβώς τα δύο κέντρα εκπομπής:



Το κέντρο Ψάκας φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία από Google Maps:



Εκτός από τα κέντρα εκπομπής, είναι απαραίτητο να επιλέξουμε την θέση του τηλεοπτικού studio. Θα βρίσκεται στην Ηγουμενίτσα μιας και αποτελεί την πρωτεύουσα του νομού. Η ακριβής τοποθεσία του αναφέρεται σε επόμενη ενότητα της εργασίας.

Υπολογισμός Απωλειών

Πριν προχωρήσουμε στον υπολογισμό των μηκοτομών κρίνεται απαραίτητο να υπολογίσουμε τα διαφορετικά είδη απωλειών που θα υπάρξουν στη συνέχεια της μελέτης μας.

1. Απώλειες ελεύθερου χώρου

Δίνονται από τον τύπο: $L=122+20\log d-20\log \lambda$ (1)

όπου d είναι η απόσταση μεταξύ των κεραιών εκπομπής και λήψης σε km και λ είναι το μήκος κύματος σε cm. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το μήκος κύματος είναι $\lambda=0,52m=52cm$.

2. Απώλειες καλωδιώσεων

Στις συνολικές απώλειες κάθε ζεύξης υπολογίζουμε επιπλέον 5dB ως απώλειες καλωδιώσεων.

3. Απώλειες αστικού περιβάλλοντος

Χρησιμοποιείται το μοντέλο Okumura-Hata που πραγματοποιεί συνυπολογισμό των απωλειών ελεύθερου χώρου. Δίνονται από τον τύπο:

$$PL=PL_{freespace}+A_{exc}+H_{cb}+H_{cm}$$

Συγκεκριμένα, το path loss υπολογίζεται ως εξής:

$$L_u= 69.55 + 26.16\log f - 13.82\log h_B - C_H + [44.9 - 6.55\log h_B] \log d$$
 (2)

Στην παραπάνω έκφραση χρησιμοποιούνται:

- f η συχνότητα εκπομπής
- h_B το ύψος της κεραίας του σταθμού βάσης σε m
- h_M το ύψος της κεραίας του κινητού σταθμού σε m
- d η απόσταση μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού σταθμού σε km

Ως C_H ορίζεται ο διορθωτικός παράγοντας ύψους της κεραίας όπου σε μικρές ή μεσαίες πόλεις είναι :

$$C_H = 0.8 + (1.1 \log f - 0.7)h_M - 1.56 \log f$$

Και σε μεγάλες πόλεις είναι :

$$C_H = \begin{cases} 8.29(\log(1.54h_M))^2 - 1.1, \text{για } f \leq 200 \\ 3.2(\log(11.75h_M))^2 - 4.97, \text{για } 400 \leq f \end{cases}$$

Έχοντας αναφέρει ότι τα ύψη των κεραιών συμμετέχουν στους τύπους υπολογισμών απωλειών κρίνεται απαραίτητο να επιλέξουμε τις τιμές τους.

Ο σταθμός βάσης της Ηγουμενίτσας θα έχει ύψος κεραιάς $h_B = 10m$ επειδή βρίσκεται κοντά στο αστικό περιβάλλον και άρα υπάρχουν ψηλά κτίρια.

Αντίστοιχα, επειδή ο σταθμός βάσης της Ψάκας δεν βρίσκεται σε αστικό περιβάλλον θα θεωρήσουμε ότι έχει ύψος $h_B = 10m$.

Οι κεραίες των οικισμών θα έχουν ύψος $h_M = 6m$ εκτός από την πόλη της Ηγουμενίτσας που η κεραία θα έχει ύψος $h_B = 10m$ για τον λόγο που αναφέρθηκε παραπάνω.

4. Απώλειες περίθλασης

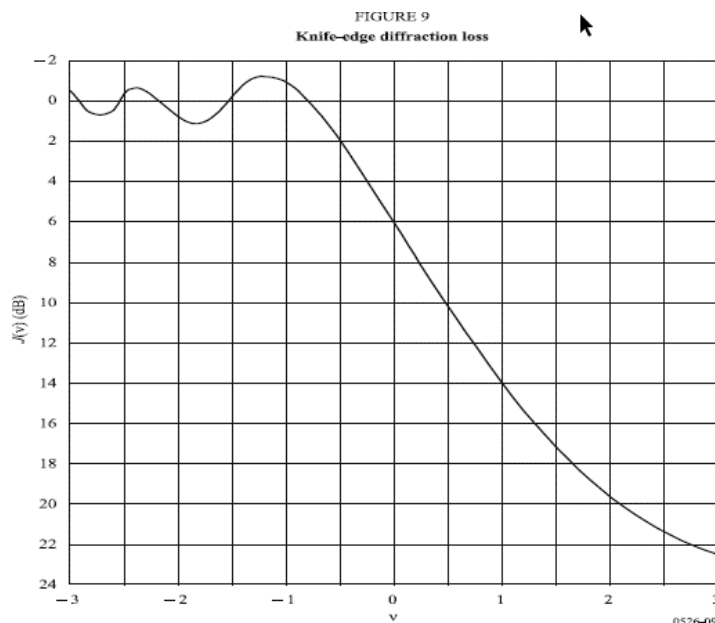
Τα εμπόδια που εμφανίζονται στις ζεύξεις θεωρούνται αιχμηρά και έτσι υπολογίζουμε τις απώλειες περίθλασης σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

- Αδιάσταση παράμετρος $v = h * \sqrt{\left(\frac{2}{\lambda}\right) * \left(\frac{1}{d_1} + \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}\right)\right)}$
- Απώλειες $J(v) = 6.9 + 20 \log(\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1)$ dB

Όπου οι παραπάνω παράμετροι ορίζονται ως εξής:

- Ως h ορίζεται το ύψος της κορυφής του εμποδίου σε σχέση με τον άξονα οπτικής επαφής πομπού δέκτη
- d_1 είναι η απόσταση του εμποδίου από τον πομπό
- d_2 είναι η απόσταση του εμποδίου από τον δέκτη

Παρακάτω υπάρχει ένα διάγραμμα συσχέτισης των v και $J(v)$:



Μελέτη Ραδιοκάλυψης νομού

Για την μελέτη της ραδιοκάλυψης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό HeyWhatsthat που μπορεί να βρεθεί στις ιστοσελίδες <http://wisp.heywhatsthat.com/> και <https://www.heywhatsthat.com/> και δείχνει την επαφή πομπού δέκτη. Μπορούμε να σχεδιάσουμε εύκολα τις μηκοτομές και τα ελλειψοειδή Fresnel πρώτης τάξης και να δούμε κατευθείαν το αποτέλεσμα.

Υπάρχουν δύο παράγοντες που πρέπει να λάβουμε υπόψη μας πριν τον υπολογισμό των μηκοτομών. Αυτοί είναι:

1. Υπολογισμός της απόστασης d για την οποία αν η απόσταση της ζεύξης μας είναι μεγαλύτερη από αυτή τη τιμή θα πρέπει να λάβουμε υπόψη την σφαιρικότητα της γης. Είναι:

$$d = \frac{80}{\sqrt{f}} = 9.65 \text{ km}$$

όπου f η συχνότητα σε Mhz.

Το λογισμικό που χρησιμοποιείται δίνει την επιλογή της σφαιρικής γης και άρα δεν χρειάζεται να υπολογίσουμε τον παράγοντα διόρθωσης ύψους.

2. Υπολογισμός της μέγιστης απόστασης ζεύξης οπτικής επαφής μέσω του τύπου:

$$d_{max} = 3.57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) [\text{km}]$$

όπου οι h_1 και h_2 ορίζονται ως το άθροισμα του υψομέτρου που βρίσκονται οι κεραίες και του ύψους των κεραιών.

Για τις κεραιές λήψης έχουμε αναφέρει πιο πριν ότι θεωρούμε ύψος $h_2=6m$, για την κεραιά εκπομπής της Ηγουμενίτσας $h_1 = 10m$ και για την κεραιά εκπομπής της Ψάκας $h_1=6m$.

Για το ύψος των κεραιών λήψης αυτή είναι η χειρότερη περίπτωση που μπορούμε να λάβουμε καθώς όλοι οι οικισμοί βρίσκονται υψηλότερα από τη θάλασσα και άρα $h_2 > h_{2min}$.

Είναι λοιπόν:

$$h_1 = 10 + 327 = 337m \text{ και } h_2 = 6m \text{ άρα } d_{max1} = 74.28km$$

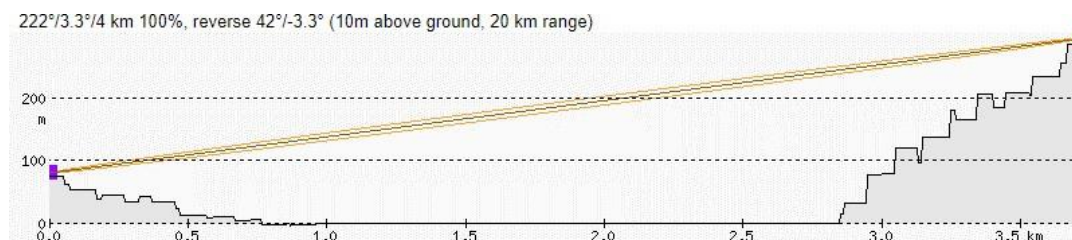
$$10 + 327 = 337m \text{ και } h_2 = 6m \text{ άρα } d_{max1} = 74.28km$$

Έχοντας λάβει υπόψη μας τους παραπάνω δύο παράγοντες μπορούμε να ξεκινήσουμε τον υπολογισμό των μηκοτομών από το κέντρο εκπομπής Ηγουμενίτσας.

Οι οικισμοί που καλύπτει το κέντρο εκπομπής της Ηγουμενίτσας βρίσκονται σε αστικό περιβάλλον και για αυτό το λόγο θα υπολογίσουμε δύο τύπους απωλειών:

1. Απώλειες ελευθέρου χώρου
2. Απώλειες αστικού περιβάλλοντος με το μοντέλο Okumura-Hata

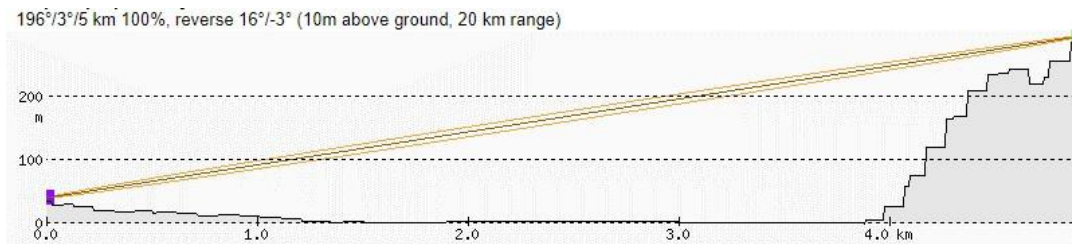
Ηγουμενίτσα- Κέντρο εκπομπής Ηγουμενίτσας



Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο. Είναι $d=4km$, $h_B=10m$ και $h_M=10m$. Επομένως, οι απώλειες με βάση τους τύπους (1) και (2) είναι:

- Απώλειες ελευθέρου χώρου: $L=100dB$
- Απώλειες αστικού μοντέλου: $L_u=131dB$
- Συνολικές απώλειες με αφαίρεση του όρου που υπολογίζεται στις παραπάνω σχέσεις δύο φορές: $L_s=143dB$

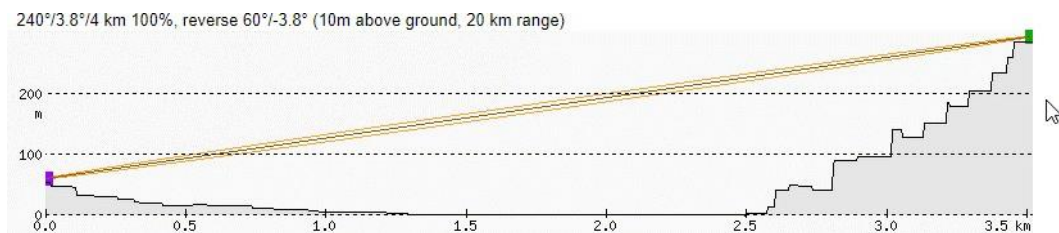
Νέα Σελεύκεια- Κέντρο εκπομπής Ηγουμενίτσας



Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο. Είναι $d=5\text{km}$, $h_B=10\text{m}$ και $h_M=6\text{m}$. Επομένως, οι απώλειες με βάση τους τύπους (1) και (2) είναι:

- Απώλειες ελευθέρου χώρου: $L=102\text{dB}$
- Απώλειες αστικού μοντέλου: $L_u=144\text{dB}$
- Συνολικές απώλειες με αφαίρεση του όρου που υπολογίζεται στις παραπάνω σχέσεις δύο φορές: $L_s=158\text{dB}$

Γραιοχώρι-Κέντρο εκπομπής Ηγουμενίτσας

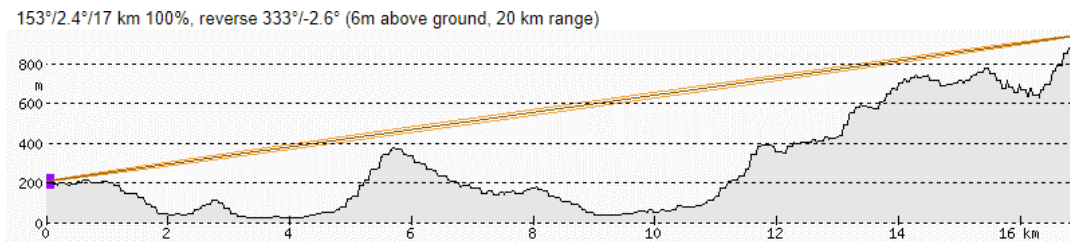


Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο. Είναι $d=4\text{km}$, $h_B=10\text{m}$ και $h_M=6\text{m}$. Επομένως, οι απώλειες με βάση τους τύπους (1) και (2) είναι:

- Απώλειες ελευθέρου χώρου: $L=100\text{dB}$
- Απώλειες αστικού μοντέλου: $L_u=140\text{dB}$
- Συνολικές απώλειες με αφαίρεση του όρου που υπολογίζεται στις παραπάνω σχέσεις δύο φορές: $L_s=152\text{dB}$

Προχωράμε με το κέντρο εκπομπής Ψάκας που καλύπτει θεωρητικά τους υπόλοιπους 3 οικισμούς. Εφόσον οι οικισμοί αυτοί δεν βρίσκονται σε αστικό περιβάλλον χρειάζεται να υπολογίσουμε μόνο τις απώλειες ελευθέρου χώρου.

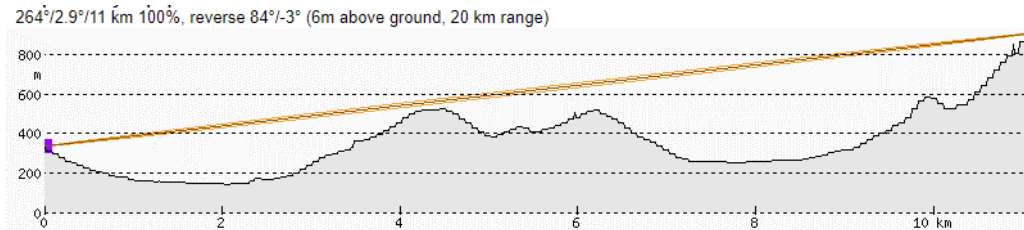
Φιλιάτες-Κέντρο εκπομπής Ψάκας



Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο. Είναι $d=17\text{km}$, $h_B=6\text{m}$ και $h_M=6\text{m}$. Επομένως, οι απώλειες με βάση τον τύπο (1) είναι:

- Απώλειες ελευθέρου χώρου: $L=113\text{dB}$

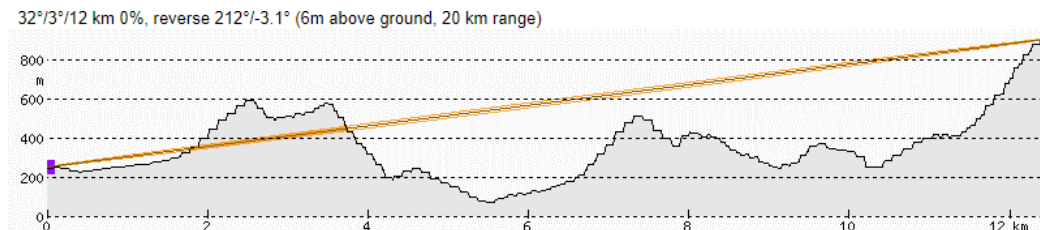
Παραμυθιά-Κέντρο εκπομπής Ψάκας



Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο. Είναι $d=11\text{km}$, $h_B=6\text{m}$ και $h_M=6\text{m}$. Επομένως, οι απώλειες με βάση τον τύπο (1) είναι:

- Απώλειες ελευθέρου χώρου: $L=109\text{dB}$

Πέρδικα-Κέντρο εκπομπής Ψάκας



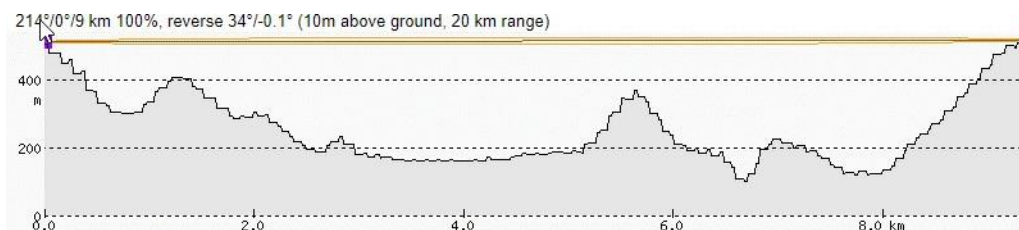
Παρατηρούμε ότι υπάρχει εμπόδιο που δεν καθιστά εφικτή την επικοινωνία μεταξύ των δύο σημείων.

Για αυτό το λόγο θα τοποθετήσουμε έναν αναμεταδότη στις συντεταγμένες $39^\circ 22' 58.32'' \text{ N}$, $20^\circ 20' 9.53'' \text{ E}$ με κεραία ύψους 10m.

Όπως θα φανεί στα επόμενα σχήματα ο αναμεταδότης έχει οπτική επαφή τόσο με το κέντρο εκπομπής της Ψάκας όσο και με τον οικισμό της Πέρδικας.

Ακολουθεί ο υπολογισμός των δύο μηκοτομών.

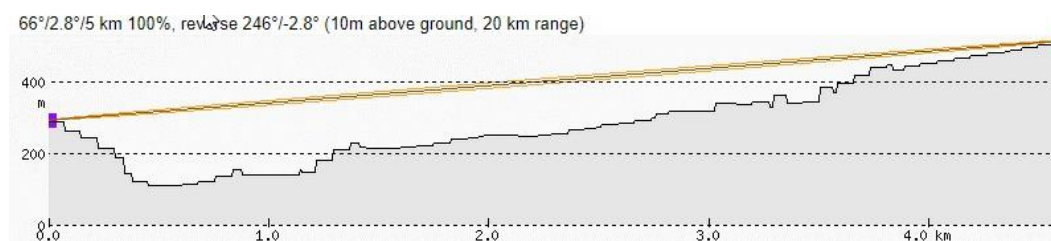
Αναμεταδότης-Κέντρο εκπομπής Ψάκας



Παρατηρούμε ότι τώρα δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο. Είναι $d=9\text{km}$, $h_B=6\text{m}$ και $h_M=10\text{m}$. Επομένως, οι απώλειες με βάση τον τύπο (1) είναι:

- Απώλειες ελευθέρου χώρου: $L=107\text{dB}$

Πέρδικα-Αναμεταδότης



Παρατηρούμε ότι τώρα δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο. Είναι $d=5\text{km}$, $h_B=10\text{m}$ και $h_M=6\text{m}$. Επομένως, οι απώλειες με βάση τον τύπο (1) είναι:

- Απώλειες ελευθέρου χώρου: $L=102\text{ dB}$

Επιλογή εξοπλισμού

Έχοντας ολοκληρώσει τον υπολογισμό των μηκοτομών για τους σταθμούς εκπομπής είναι απαραίτητο να περιγράψουμε τον εξοπλισμό που θα έχουν. Ο εξοπλισμός χωρίζεται στις εξής κατηγορίες:

1. Εξοπλισμός κύριων πομπών
2. Εξοπλισμός αναμεταδότη
3. Εξοπλισμός για λήψη σημάτων

Εξοπλισμός κύριων πομπών

Οι κεραίες που αναζητούμε θέλουμε να είναι panel για να υπάρχει προστασία από οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες ,να έχουν οριζόντια πόλωση αλλά και να λειτουργούν στο εύρος συχνοτήτων 566-574MHz που είναι το εύρος φάσματος του καναλιού στο οποίο εκπέμπουμε.

Μέσω του site της εταιρείας Kathrein Broadcast GmbH <https://www.kathrein-bca.com/en/products> επιλέγουμε τα προϊόντα της SIRA και συγκεκριμένα την κεραία UTV-01 UHF PANEL ANTENNA η οποία φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Τα ηλεκτρολογικά της χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

ELECTRICAL DATA		
ANTENNA TYPE	UTV-01	UTV-01/E *
FREQUENCY RANGE	470 ÷ 860 MHz	
IMPEDANCE	50 ohm	
CONNECTOR	7/8" EIA 90°	7/16 F 90° or 7/8" EIA 90°
MAX POWER	2.5 kW	1.5 kW (7/16 F 90°) 2.5 kW (7/8" EIA 90°)
VSWR	≤ 1.1	
POLARIZATION	Horizontal	
GAIN (referred to half wave dipole)	12 dB	
HALF POWER BEAMWIDTH	E-Plane ± 32° H-Plane ± 12°	
LIGHTNING PROTECTION	All metal parts DC grounded	

* UTV-01/E white radome only

Και τα μηχανολογικά χαρακτηριστικά:

MECHANICAL DATA	
DIMENSIONS mm (in) (7/8" EIA 90°)	1000 x 450 x 280 (39.37 x 17.72 x 11.02)
WEIGHT kg (lb)	14.5 (32)
WIND SURFACE m ² (ft ²)	0.45 (4.8)
WIND LOAD kN (lbf) at 160 km/h (100 mph)	0.70 (157)
MAX WIND VELOCITY km/h (mph)	220 (136.7)
MATERIALS	Brass, aluminium, stainless steel, teflon, fiberglass (radome)
ICING PROTECTION	Full radome
RADOME COLOUR	Orange (RAL 2009) - White (standard)
MOUNTING	Directly on supporting mast or with special pipe clamps

Ακόμη ένας χρήσιμος πίνακας με τεχνικά χαρακτηριστικά με βάση των αριθμό των bays και των panels per bay είναι ο παρακάτω:

TECHNICAL DATA							
NUMBER OF BAYS	PANELS PER BAY	GAIN dB (1)	GAIN TIMES (1)	WEIGHT (2) kg (lb)	ANTENNA HEIGHT L m (ft)	WIND LOAD (3) kN (lbf)	WIND LOAD (4) kN (lbf)
2	1	15.1	32.4	38 (84)		1.98 (445)	5.66 (1272)
	2	12.2	16.6	84 (185)	2.15	4.34 (976)	8.03 (1805)
	3	10.3	10.7	122 (269)	(7.05)	5.38 (1209)	9.06 (2037)
	4	9.1	8.2	168 (370)		5.23 (1176)	8.92 (2005)
4	1	18.3	67.6	84 (185)		4.08 (917)	7.77 (1747)
	2	15.3	34	168 (370)	4.45	8.98 (2019)	12.67 (2848)
	3	13.5	22.4	281 (620)	(14.6)	10.68 (2401)	14.37 (3231)
	4	12.3	17	340 (750)		10.37 (2331)	14.06 (3161)
6	1	20	100	122 (269)		6.29 (1414)	9.97 (2241)
	2	17	50.1	281 (620)	6.75	13.65 (3069)	17.33 (3896)
	3	15.3	34	378 (833)	(22.15)	16.16 (3633)	19.85 (4462)
	4	14	25.2	460 (1014)		15.71 (3532)	19.40 (4361)
8	1	21.3	134.8	168 (370)		8.31 (1868)	12.00 (2698)
	2	18.3	67.6	340 (750)	9.05	18.27 (4107)	21.95 (4935)
	3	16.6	45.7	460 (1014)	(29.69)	21.67 (4872)	25.36 (5701)
	4	15.3	34	583 (1286)		21.04 (4730)	24.73 (5560)
10	1	22.3	169.8	224 (494)		10.42 (2343)	14.10 (3170)
	2	19.3	85.1	418 (922)	11.35	21.09 (4741)	24.78 (5571)
	3	17.6	57.5	672 (1482)	(37.24)	27.14 (6101)	30.83 (6931)
	4	16.3	42.6	896 (1976)		26.36 (5926)	30.04 (6753)
12	1	23	199.5	281 (620)		12.54 (2819)	16.23 (3649)
	2	20.1	102.3	460 (1014)	13.65	27.54 (6191)	31.23 (7021)
	3	18.3	67.6	843 (1859)	(44.78)	31.97 (7187)	35.65 (8014)
	4	17.1	51.2	992 (2187)		32.08 (7212)	35.77 (8041)
16	1	24.3	269.2	340 (750)		16.75 (3766)	20.44 (4595)
	2	21.3	134.8	583 (1286)	18.25	36.78 (8268)	40.47 (9098)
	3	19.6	91.2	992 (2187)	(59.88)	43.14 (9698)	46.83 (10527)
	4	18.4	69.2	1263 (2785)		44.16 (9928)	47.85 (10756)

(1) referred to half wave dipole. Losses of power distribution network not included.
(2) without mounting hardware
(3) Without top mast, v= 160 km/h (100 mph) (4) With top mast, v= 160 km/h (100 mph)

Εκτός από την προαναφερθείσα κεραία , σε κάθε πομπό πρέπει να εγκαταστήσουμε ένα μεταδότη(transmitter) που να λειτουργεί με βάση τις προδιαγραφές του DVB-T πρωτοκόλλου.

Από την εταιρεία ABE θα χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο MTX που όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες ικανοποιεί τις ανάγκες μας. Το σήμα μας αφού περάσει και από το φίλτρο εξόδου μπορεί να φτάσει ισχύ μέχρι και 20KW όπως αναγράφεται στον παρακάτω πίνακα. Άρα ,όντως καλύπτει τις ανάγκες μας στην ισχύ εκπομπής όπως θα φανεί σε παρακάτω ανάλυση.

MTX

High-power series

MULTISTANDARD DIGITAL & ANALOG TV TRANSMITTER LINE

DVB-T/H

DVB-T2

ISDB-T/Tb

ATSC 1.0/3.0

DTMB

ANALOG

MULTISTANDARD



The high quality, professional and cost-effective solution



High reliability
and compact size



Low power
consumption



Doherty Broadband
Power Amplifiers



Low cost
of ownership



MTX

High-power series

The MTX Series of High Power TV Transmitters is the ultimate in technology, quality and performance in the Broadcast Industry; It is designed to take advantage of the excellence of the digital modulation systems to generate both Analog and Digital emissions (DVB-T2, DVB-T/H, ISDB-T/Tb, ATSC and other standards).

The MTX Series brings together the highly efficient and reliable ABE LD-MOS broadband Power Amplifiers with state-of-the-art technological solutions.

Featuring modular construction – with easily removable modules/boards having RF Internal Isolation – the MTX series exploits the advantages of state of the art technological solutions to achieve high reliability and comprehensive system flexibility – all at reduced size.

Maintenance as well as channel changing operations are simple and easy to perform. Careful product design brings high versatility, enhanced by the provision of specific options and giving compliance with

major world digital and analog terrestrial TV broadcasting standards.

The high-power amplifiers normally comprise more Independent power amplifiers chassis, each with its own hot swappable power supply modules. Power amplifiers are available both in AB class or Doherty broadband configurations featuring very high efficiency.

Should a failure affect the output from one power amplifier chassis, the other ones will continue working at full power, transmission therefore continues at reduced power but the emission remains "on-air".

With the optional Dual-Drive configuration, an Automatic Changeover Unit immediately brings the stand-by Exciter into operation in case of low RF power from the working Exciter, ensuring transmission at full power.

Alternatively It is possible to provide a complete automatic passive stand-by system that can operate in redundant configurations (1+1 or n+1).

SEVERAL INTERFACE TYPES ARE AVAILABLE FOR DIFFERENT CONFIGURATIONS

ADC

Analog to Digital Converter
Video/Audio analog inputs for analog modulation standards

ASI

Asynchronous Serial Interface

SAT/DTT

Satellite and Terrestrial receiver
Available standards:
DVB-S/S2, DVB-T/T2, ISDB-T/Tb

CAM

Conditional Access Module
able to decrypt encoded Transport Streams

DVB-S/S2

Multistandard Satellite receiver
Up to 32APSK modulation scheme

Ethernet

T.S. over IP
able to receive MPEG Transport Streams (encapsulation ProMpeg CoRIS rel.2)

GNSS

GPS-GLOPASS receiver for SFN applications

APD

Adaptive Linear and Non-Linear Pre-corrector



PRODUCT SKILLS

- Comprehensive monitoring, alarm and protection circuits, including a Power Amplifier fold-back function to reduce output power before tripping off, due to high VSWR, heat-sink over-temperature or overdrive
- Warm-up & Soft-start to avoid output power surges
- ALC (Automatic Level Control) to stabilize the Power Amplifier's RF output level over a limited range
- Power Amplifier Modules with gain and phase adjustment to obtain perfect matching when coupling more units
- Efficient air cooling system with long life blowers and ducted air outlet; option for ducted air inlet
- Output filters to comply with the emission mask specification requested
- MTX Multistandard Multimode modulator allow dualcast operation (analog and digital multistandard) and can be supplied with various options and in several configurations to satisfy Customer's need (wide choice of Input Interfaces, Linear and non-linear preconnection with option for adaptive)
- Dual-Drive option include a stand-by Drive unit and the Automatic Changerover unit which, in the event of fail, of the working Drive, immediately brings the stand-by Drive into operation
- Hot-pluggable Power Supply Units and easy plug fans
- User Friendly local and remote control includes "on-board" display, WEB server, SNMP
- Remote or USB software upgrade available



SUSTAINABILITY

We design and build high performance and environmentally friendly equipment



MADE IN ITALY

Design and manpower are 100% Italian to guarantee quality and assistance



SOLIDITY

Being in the broadcast industry for nearly forty years is the most obvious proof of our seriousness



TECHNOLOGY

We believe it is essential to increase our technological know-how every day to provide excellent products

MTX

High-power series

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Output frequency range	VHF, BL, BII or UHF, according to the model
Output impedance	50 Ω
Spurious, harmonics and out of channel IMD products	-60dB (with RF output filter)
Frequency stability (-5 to +45°C)	± 250Hz; option: GNSS locked reference for better than 1Hz stability
DIGITAL OPERATION SPECIFICATIONS	
Output power (before output filter)	up to 10kWavg (tol.+0/-0.5dB) according to the model
Transmission standard	DVB-T/H; DVB-T2; ISDB-T/Tx; ATSC; other on request
Intermodulation products (shoulders before output filter)	According to the model and output power typ. -39dB with reference to emission channel centre power density
MER – Modulation Error Ratio	According to the model and output power (typ. 36dB)
Input interface options	ASI - MPEG/DVB and BTS Transport Stream - 75Ω BNC Female Ethernet - MPEG TS over IP (as per Pro-MPEG CoP#3 release 2) DVB-S/S2 receiver - 950-2150MHz, all modulation schemes, code rates and roll-off factors, Multistream, PL scrambling decoding with gold code (CAM option) DVB-T/T2, ISDB-T/Tx receiver - VHF and UHF (CAM option)
Input switching	Automatic near-seamless switching between first and second priority. Option for seamless switching
ANALOG OPERATION SPECIFICATIONS	
Output power (after output filter)	up to 20kWp.s. (tol.+0/-0.5dB) according to the model
Transmission standard	B, G, D, H, I, K, K1, M or N - PAL, Secam and NTSC
In band intermodulation products	-56dB (typ. -60dB – Test: V.C. -8dB; S.C. -10dB; C.S. -16dB)
Video Input	TVpp (75Ω BNC-f) – video processing include ALC and signal reconstruction
Transmitted Video quality parameters	Differential gain: within ±5% (typ. ±2.5%); Differential phase: ±3° (typ. ±1.5°) 2T K rating: ±2% (typ. ±1%); Random noise (weighted typical): -60dB Group delay response (V.C. to C.S.): Within ±40ns (typ. ±20ns) Amplitude / frequency response (V.C. to C.S.): Within ±1dB (typ. ±0.2dB)
Audio Input	0dBm (adjustable) 600 Ω bal. / unbal.
Audio options	Stereo / dual sound BT; BTSC and other on request
Transmitted Audio quality parameters	Amplitude / frequency response: ±1dB (typ. ±0.5dB); Harmonic distortion: ≤0.4%
GENERAL SPECIFICATIONS	
Power supply	According to the model: 175-254 Vac single phase or 207-415 Vac three phase
Remote control interface options	RS485; Ethernet 10/100 Base-T (SNMP - web server) Remote firmware upgrade: supported
Housing	Rack cabinet 19"
Operating temperature range	-5 to +45°C
Maximum operative humidity	90% non condensing



Σε αυτό το σημείο κρίνεται απαραίτητο να μελετήσουμε τις ανάγκες κάθε κέντρου εκπομπής ξεχωριστά:

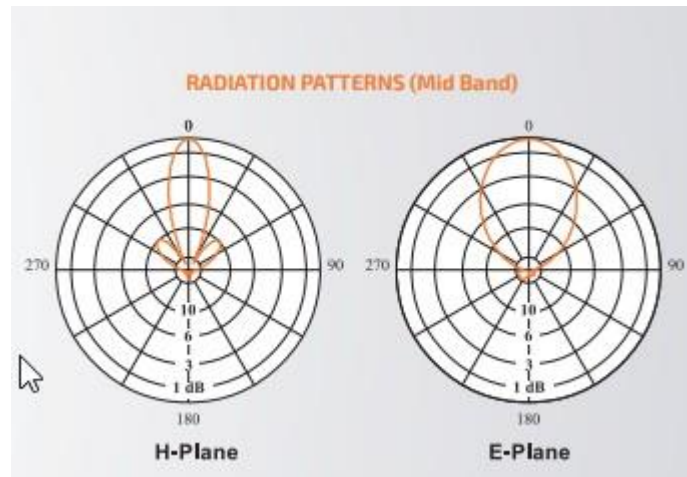
Κέντρο εκπομπής Ηγουμενίτσας

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή της εργασίας με βάση την νομοθεσία και το συγκεκριμένο ΦΕΚ ο λοβός της κεραίας πρέπει να έχει κλίση 50° από τον βορρά έτσι ώστε να καλύπτει πλήρως την πόλη της Ηγουμενίτσας και τους δύο άλλους κοντινούς οικισμούς.

Χρησιμοποιούμε λοιπόν ένα panel που εκπέμπει προς τη μία πλευρά. Με βάση τον πρώτο πίνακα που αναφέρονται τα ηλεκτρολογικά χαρακτηριστικά της κεραίας, το κέρδος της είναι 12dB αναφορικά με το κέρδος κεραίας ημίσεως κύματος που είναι με βάση τη θεωρία κεραιών που γνωρίζουμε 2.15dB. Για να έχουμε μια κοινή αναφορά σε ιστροπική κεραία ορίζουμε το κέρδος της ως:

$$G=12+2.15=14.15\text{dBi}$$

Το διάγραμμα ακτινοβολίας στο Ε και Η επίπεδο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

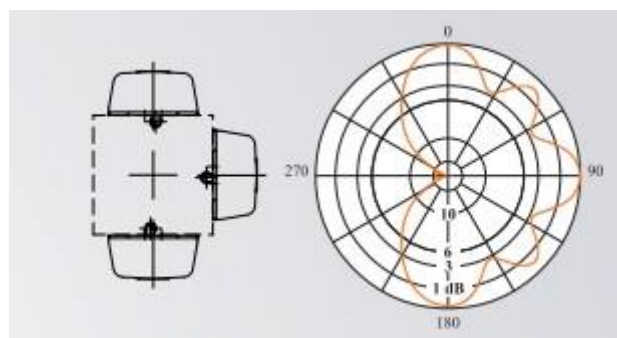


Κέντρο εκπομπής Ψάκας

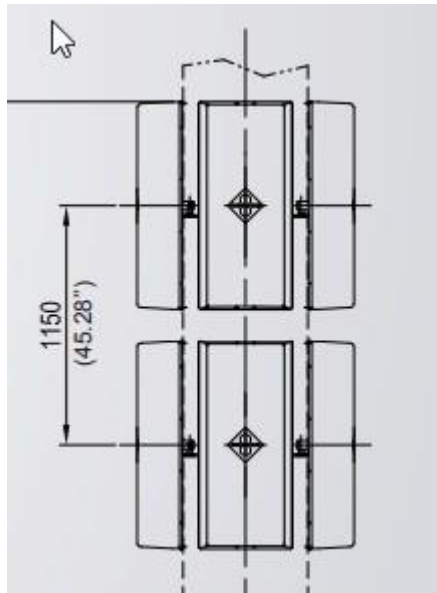
Λαμβάνοντας υπόψη μας και πάλι την νομοθεσία που αναφέρθηκε στην αρχή της εργασίας, στο κέντρο εκπομπής της Ψάκας επειδή θέλουμε εκπομπή προς 3 πλευρές θα χρησιμοποιήσουμε 2 bays με 3 panels το καθένα. Με βάση τον πίνακα που αναφέρει τα technical data, για 2 bays και 3 panels το κέρδος είναι 10,3dB αναφορικά με το κέρδος κεραίας ημίσεως κύματος. Άρα με την ίδια λογική που αναφέρθηκε προηγουμένως το κέρδος είναι:

$$G=10,3+2,15=12,45\text{dBi}$$

Το διάγραμμα ακτινοβολίας για 3 panels φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Σχηματικό διάγραμμα της κεραίας 2bays*3panels:



Εξοπλισμός Αναμεταδότη

Σκοπός του αναμεταδότη είναι να καλύψει τον οικισμό της Πέρδικας και άρα αρκεί να εκπέμπει προς εκείνη την πλευρά. Θα χρησιμοποιηθεί λοιπόν μόνο ένα panel όπως και στον σταθμό της Ηγουμενίτσας. Το κέρδος της κεραίας θα είναι και πάλι:

$$G=12+2.15=14.15\text{dBi}$$

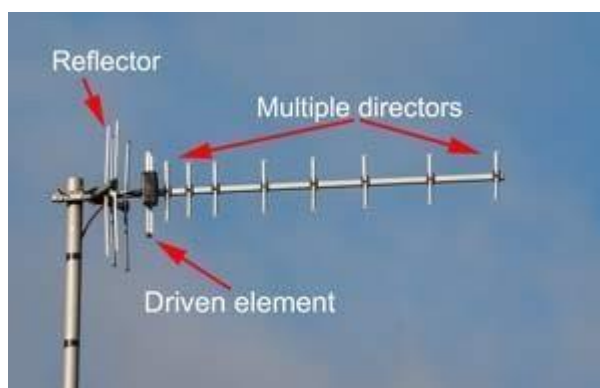
Εκτός από την επιλογή της κεραίας στον αναμεταδότη, θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσουμε έναν Echo Cancellor διότι όλη η μελέτη βασίζεται σε SFN ,δηλαδή μονοσυχνотικά δίκτυα όπου η εκπομπή και η λήψη γίνονται στην ίδια συχνότητα.

Με τη χρήση του Echo Cancellor εξασφαλίζεται η αναμετάδοση όλων των σημάτων στην ίδια συχνότητα με την συχνότητα εισόδου. Το μοντέλο που θα χρησιμοποιήσουμε είναι ο Echo Cancellor QRA-110 της εταιρείας IKUSI ELECTRONICA S.L.U που φαίνεται παρακάτω:



Εξοπλισμός για λήψη σημάτων

Σε αυτό το σημείο θα αναφέρουμε την κεραία που θα χρησιμοποιηθεί για την λήψη σημάτων τόσο στους 6 οικισμούς όσο και στον αναμεταδότη. Θα επιλέξουμε κεραία Yagi-Uda μιας και είναι ευρέως γνωστή για τη χρήση της ως κεραία λήψης τηλεοπτικού σήματος με κέρδος 15dBi. Παρακάτω φαίνεται μια κεραία Yagi-Uda.



Ζεύξεις από το studio

Σύμφωνα με το παράρτημα του ΦΕΚ 3006/Β/28-12-2011 [1.5] όπου εμφανίζεται και το στοιχείο του πίνακα που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα η επιτρεπόμενη ζώνη συχνοτήτων για ψηφιακές δισημειακές ραδιοζεύξεις για μεταφορά τηλεοπτικού προγράμματος είναι 10-10.68GHz.

Για την μελέτη μας θα επιλέξουμε την συχνότητα $f=10.5\text{GHz}$ και άρα το μήκος κύματος είναι $\lambda'=2.85\text{cm}$.

Ζώνη Συχνοτήτων (MHz) (N) ¹	Χρήσεις (N)	Εύρος Διαύλου (MHz) (N)	Ελάχιστη Χωρητικό-τητα Διαύλου (Mbps) (N)	Πλάνο Συχνότητων (N) ²	Δικαίωμα Χρήσης (N)	Εναρμονισμένα πρότυπα Εξοπλισμού (ETSI) (I)	Πρόσθετες Απαιτήσεις (N)
	Δισημειακές Ραδιοζεύξεις			Παράρτημα Β9 του Κανονισμού όσον αφορά χρήση [20]			
7425–7725	Ψηφιακές Δισημειακές Ραδιοζεύξεις	7	8	Σχέδιο Διαυλοποίησης Παράρτημα Β11 του Κανονισμού όσον αφορά χρήση [20]	Απαιτείται	EN 302 217	
		14	2x8				
		28	34				
7725–8275	Ψηφιακές Δισημειακές Ραδιοζεύξεις	29,65	34	Σχέδιο Διαυλοποίησης Παράρτημα Β12 του Κανονισμού όσον αφορά χρήση [20]	Απαιτείται	EN 302 217	
8275–8500	Ψηφιακές Δισημειακές Ραδιοζεύξεις	7	8	Σχέδιο Διαυλοποίησης Παράρτημα Β13 Κανονισμού όσον αφορά χρήση [20]	Απαιτείται	EN 302 217	
		14	2x8				
10000–10680	Ψηφιακές Δισημειακές Ραδιοζεύξεις για μεταφορά τηλεοπτικού προγράμματος	5	-	Σχέδιο Διαυλοποίησης Παράρτημα Β14 Κανονισμού όσον αφορά χρήση [20]	Απαιτείται	EN 302 064-2	Στη ζώνη συχνοτήτων 10600–10680 MHz, max eirp: 40 dBW και max ισχύς τροφοδοσίας κεραίας: -3dBW
		10	-				
		20	-				
10700–11700	Ψηφιακές Δισημειακές Ραδιοζεύξεις	40	155	Σχέδιο Διαυλοποίησης Παράρτημα Β15 Κανονισμού όσον αφορά χρήση [20]	Απαιτείται	EN 302 217	
12750–13250	Ψηφιακές Δισημειακές Ραδιοζεύξεις	1,75	2	Σχέδιο Διαυλοποίησης Παράρτημα Β16 Κανονισμού όσον αφορά χρήση [20]	Απαιτείται	EN 302 217	
		3,5	2x2				
		7	8				
		14	2x8				
		28	34				
14500–15350	Ψηφιακές Δισημειακές Ραδιοζεύξεις	3,5	2x2	Σχέδιο Διαυλοποίησης Παράρτημα Β17 Κανονισμού όσον αφορά χρήση [20]	Απαιτείται	EN 302 217	
		7	8				
		14	2x8				
		28	34				

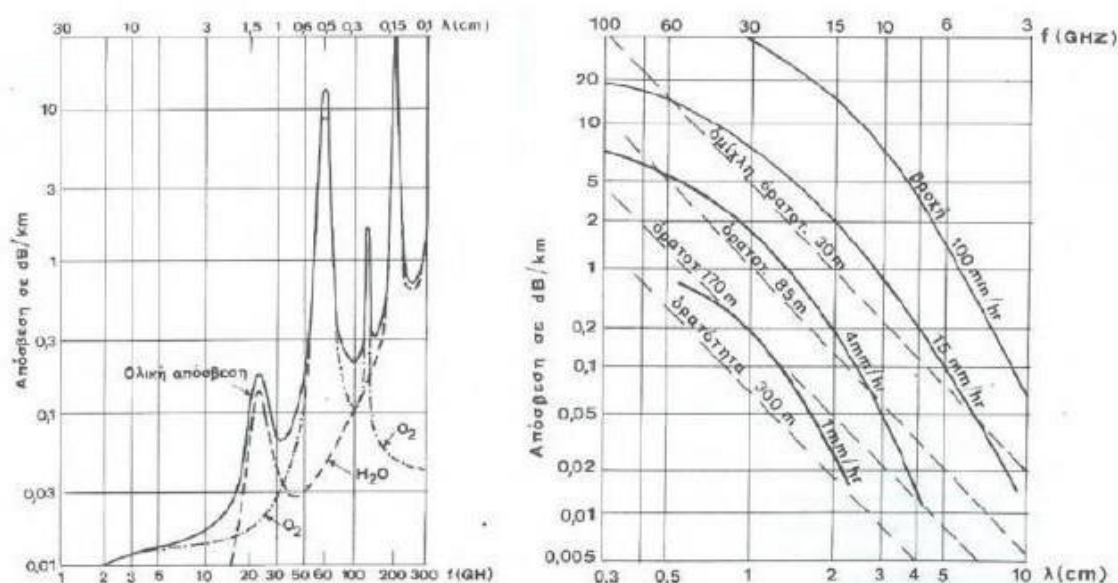
43446

ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ (ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ)

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες αναλύσεις, επειδή τώρα είμαστε σε συχνότητες της τάξεως των GHz θα πρέπει να υπολογίσουμε κάποιες επιπλέον απώλειες. Οι συνολικές απώλειες που εμφανίζονται λοιπόν είναι:

- Οι γνωστές απώλειες λόγω καλωδιώσεων 5dB [γνωστός υπολογισμός]
- Οι απώλειες ελευθέρου χώρου [γνωστός υπολογισμός]
- Οι απώλειες απορρόφησης ενέργειας από το οξυγόνο και τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας [νέος υπολογισμός]
- Οι απώλειες βροχής και ομίχλης [νέος υπολογισμός]

Οι τελευταίες δύο κατηγορίες απωλειών υπολογίζονται μέσω των παρακάτω διαγραμμάτων :



- Στο πρώτο διάγραμμα για $f=10.5\text{GHz}$ βρίσκουμε ότι $L_{atm}=0.025\text{dB/km}$
- Στο δεύτερο διάγραμμα για $\lambda=2.85\text{cm}$ και 4mm/hr βρίσκουμε ότι $L_r=0.05\text{dB/km}$

Άρα, συνολικά θα έχουμε απώλειες τέτοιου είδους $L_a = 0.075 \text{ dB/km}$.

Στον υπολογισμό των μηκοτομών που ακολουθεί θα υπολογίζουμε τις απώλειες ελευθέρου χώρου και τις απώλειες απορρόφησης που μόλις υπολογίσαμε ανά km.

Επιλογή ακριβούς θέσης studio

Το studio τοποθετείται στα όρια της πόλης της Ηγουμενίτσας με ακριβείς συντεταγμένες $39^{\circ}30'11.66''\text{N}$ $20^{\circ}15'56.21''\text{E}$. Υπάρχει άμεση πρόσβαση για εργασίες συντήρησης και έχει καθαρή οπτική επαφή με το κέντρο εκπομπής της Ηγουμενίτσας.

Ωστόσο, δεν υπάρχει καθαρή οπτική επαφή με το κέντρο εκπομπής της Ψάκας (ακολουθεί φωτογραφία παρακάτω) και για αυτό θα πρέπει να τοποθετήσουμε έναν ενδιάμεσο σταθμό που θα λαμβάνει το σήμα από το studio της Ηγουμενίτσας και θα το στέλνει στο κέντρο εκπομπής της Ψάκας.

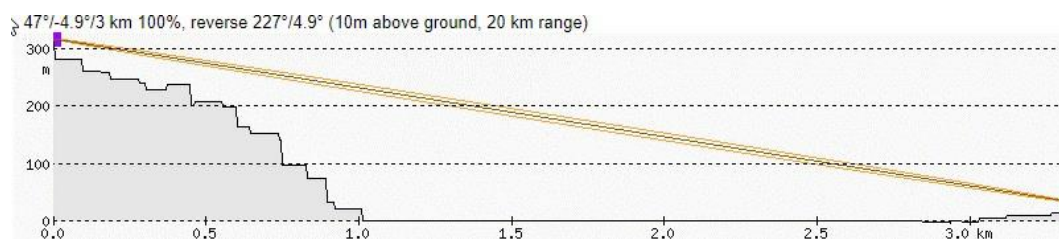
Έπειτα από δοκιμές για οπτική επαφή μεταξύ studio-κέντρων εκπομπής επιλέγουμε να τοποθετήσουμε τον ενδιάμεσο σταθμό στις συντεταγμένες $39^{\circ}29'12.47''\text{N}$ $20^{\circ}18'34.84''\text{E}$.

Υπολογισμός μηκοτομών

Ακολουθεί ο υπολογισμός των μηκοτομών όπως ακριβώς υλοποιήθηκε και για τα κέντρα εκπομπής με τους οικισμούς μέσω του λογισμικού <http://wisp.heywhatsthat.com/>.

Να τονιστεί ότι στους παρακάτω τύπους χρησιμοποιείται το μήκος κύματος $\lambda' = 2.85\text{cm}$ μιας και τώρα βρισκόμαστε σε διαφορετική συχνότητα.

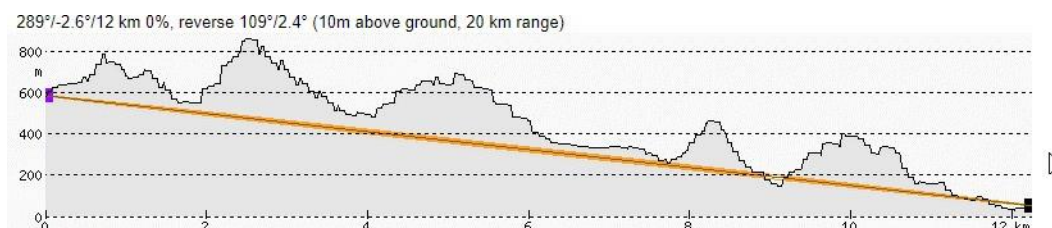
Πομπός Ηγουμενίτσας-Studio



Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο όπως άλλωστε είναι το ζητούμενο. Είναι $d=3\text{km}$, $h_B=10\text{m}$ και $h_M=10\text{m}$. Επομένως, οι απώλειες είναι:

- Απώλειες ελευθέρου χώρου: $L=122\text{dB}$
- Απώλειες απορρόφησης ενέργειας από το οξυγόνο και τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας: $L_a = 0.075 \cdot 3 = 0.225\text{dB}$
- Άρα, οι συνολικές απώλειες είναι $L_{total} = 122 + 0.225 = 122.225\text{dB}$

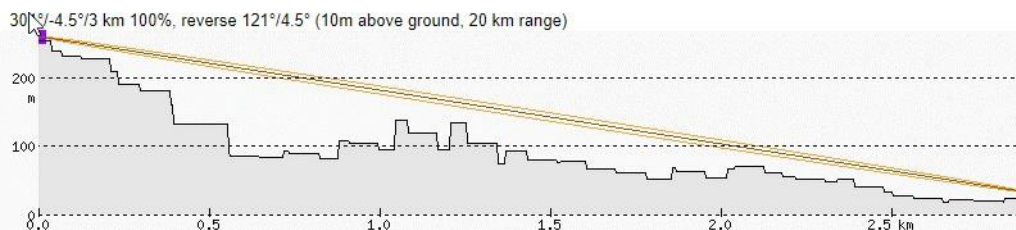
Studio-Πομπός Ψάκας



Παρατηρούμε ότι υπάρχει εμπόδιο ανάμεσα στο studio και στον πομπό Ψάκας και για αυτό αποφασίσαμε να τοποθετήσουμε έναν ενδιάμεσο σταθμό στις συντεταγμένες που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Ακολουθούν οι μηκοτομές για τον ενδιάμεσο σταθμό.

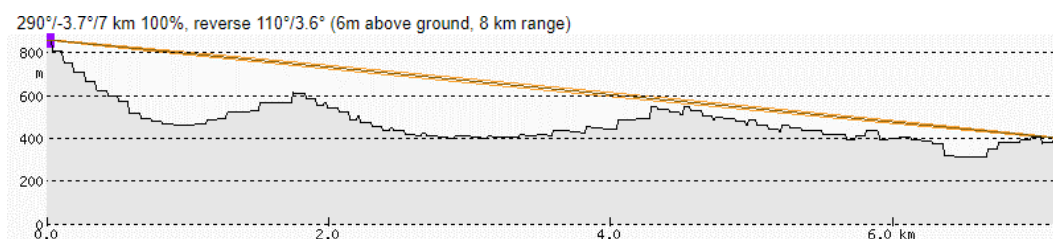
Ενδιάμεσος σταθμός-Studio



Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο όπως άλλωστε είναι το ζητούμενο. Είναι $d=3\text{km}$, $h_B=10\text{m}$ και $h_M=10\text{m}$. Επομένως, οι απώλειες είναι:

- Απώλειες ελευθέρου χώρου: $L=122\text{dB}$
- Απώλειες απορρόφησης ενέργειας από το οξυγόνο και τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας : $L_a=0.075*3=0.225\text{dB}$
- Άρα, οι συνολικές απώλειες είναι $L_{total}=122+0.225=122.225\text{dB}$

Ενδιάμεσος σταθμός-Πομπός Ψάκας



Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο όπως άλλωστε είναι το ζητούμενο. Είναι $d=7\text{km}$, $h_B=10\text{m}$ και $h_M=6\text{m}$. Επομένως, οι απώλειες είναι:

- Απώλειες ελευθέρου χώρου: $L=130\text{dB}$
- Απώλειες απορρόφησης ενέργειας από το οξυγόνο και τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας : $L_a=0.075*7=0.525\text{dB}$

- Άρα, οι συνολικές απώλειες είναι $L_{total}=130+0.525=130.525\text{dB}$

Εξοπλισμός studio

Ο εξοπλισμός του studio θα διαφέρει από αυτόν των κέντρων εκπομπής καθώς χρειαζόμαστε μια παραβολική κεραία με υψηλή κατευθυντικότητα που να συμπεριλαμβάνει στο εύρος ζώνης της την συχνότητα των 10.5GHz.

Μέσω της ιστοσελίδας https://www.anixter.com/en_us.html βρίσκουμε το μοντέλο HSX4-100-D3A/A από την εταιρεία COMMSCOPE που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Τα χαρακτηριστικά της σύμφωνα με το datasheet είναι τα παρακάτω:

General Specifications

Packing	Standard pack
Radome Color	White
Radome Material	Enhanced
Reflector Construction	One-piece reflector
Antenna Input	PDR100
Antenna Color	Gray
Antenna Type	HSX - High Performance, Super High XPD Parabolic Shielded Antenna, dual-polarized
Diameter, nominal	1.2 m 4 ft
Flash Included	Yes
Polarization	Dual

Electrical Specifications

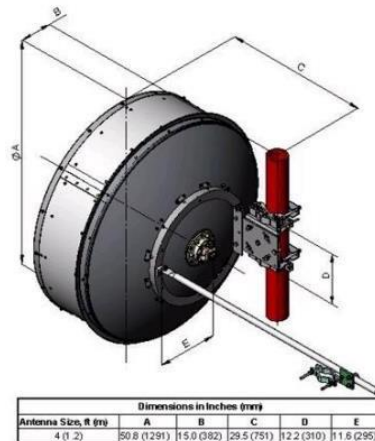
Beamwidth, Horizontal	1.7 °
Beamwidth, Vertical	1.7 °
Cross Polarization Discrimination (XPD)	40 dB
Electrical Compliance	ETSI Class 2 US FCC Part 101A
Front-to-Back Ratio	62 dB
Gain, Low Band	39.5 dBi
Gain, Mid Band	39.7 dBi
Gain, Top Band	39.9 dBi
Operating Frequency Band	10.000 – 10.700 GHz
Radiation Pattern Envelope Reference (RPE)	6000 6001
Return Loss	26.4 dB
VSWR	1.10

Mechanical Specifications

Fine Azimuth Adjustment	±15°
Fine Elevation Adjustment	±20°
Mounting Pipe Diameter	115 mm 4.5 in
Net Weight	69 kg 152 lb
Side Struts, Included	1 inboard
Side Struts, Optional	1 inboard
Wind Velocity Operational	110 km/h 68 mph

Wind Forces At Wind Velocity Survival Rating

Angle α for MT Max	-130 °
Axial Force (FA)	3158 N 710 lbf
Side Force (FS)	1546 N 348 lbf
Twisting Moment (MT)	1072 N•m
Weight with 1/2 in (12 mm) Radial Ice	356 kg 784 lb
Zcg with 1/2 in (12 mm) Radial Ice	524 mm 21 in
Zcg without Ice	335 mm 13 in



Από τους παραπάνω πίνακες σημειώνουμε το κέρδος της κεραίας $G=39.9$ dBi καθώς βρισκόμαστε στο Top Band κομμάτι των συχνοτήτων της με βάση τον πίνακα.

Επειδή στο studio της Ηγουμενίτσας θέλουμε να καλύψουμε δύο περιοχές με διαφορετικές γωνίες θα χρησιμοποιήσουμε μία τέτοια κεραία που θα στοχεύει στο κέντρο εκπομπής της Ηγουμενίτσας και άλλη μία που θα στοχεύει στον ενδιάμεσο σταθμό.

Στον ενδιάμεσο σταθμό θα χρησιμοποιήσουμε μια τέτοια κεραία που θα στοχεύει στο κέντρο εκπομπής Ψάκας.

Υπολογισμός ισχύος εκπομπής και λήψης

Έχοντας αναλύσει όλα τα παραπάνω κρίνεται απαραίτητο σε αυτό το σημείο να υπολογίσουμε την ισχύ εκπομπής και λήψης καθώς και να επαληθεύσουμε την τήρηση των προβλεπόμενων ορίων από τη νομοθεσία. Τονίζουμε ότι έχουμε διαμόρφωση 64-QAM με κωδικοποίηση $\frac{3}{4}$ και διάστημα φύλαξης $\frac{1}{16}$ μιας και θα τη χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια.

Με βάση τη θεωρία, η ισχύς θερμικού θορύβου N για θερμοκρασία $T=300$ K και εύρος ζώνης καναλιού $B=8$ MHz όπως έχει οριστεί στην αρχή της εργασίας είναι:

$$N=kTB=3.31 \cdot 10^{-14}W = -105\text{dBm}$$

όπου $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ η σταθερά του Boltzmann.

Χωρίζουμε την ανάλυση σε δύο κατηγορίες, μία για τις ευρυεκπομπές και μία για τις δισημειακές ραδιοζεύξεις.

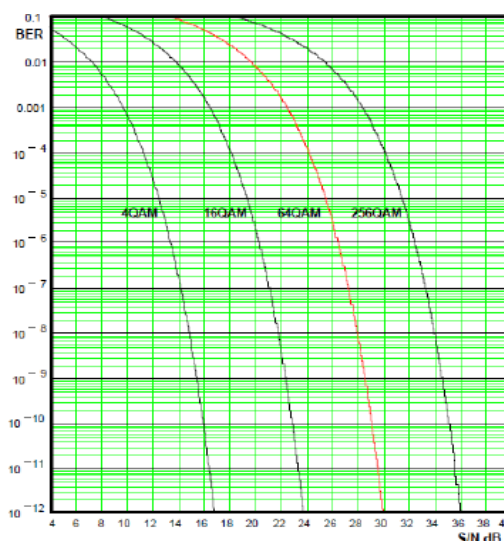
Ανάλυση ισχύος ευρυεκπομπών

Χρησιμοποιώντας τον παρακάτω πίνακα για διαμόρφωση 64-QAM με κωδικοποίηση $\frac{3}{4}$ και διάστημα φύλαξης 1/16 εντοπίζουμε ότι έχουμε bitrate 26.35Mbit/s . Επίσης, για $BER=2 \cdot 10^{-4}$ και κανάλι Rayleigh βρίσκουμε ότι ο λόγος C/N (carrier to noise) είναι ίσος με 23.

Constellation	Code rate	Required C/N (dB) for $BER = 2 \times 10^{-4}$ after Viterbi QEF after Reed-Solomon (see note 2)			Bitrate (Mbit/s) (see note 3)			
		Gaussian Channel (AWGN)	Ricean channel (F_1)	Rayleigh channel (P_1)	$\Delta/T_U = 1/4$	$\Delta/T_U = 1/8$	$\Delta/T_U = 1/16$	$\Delta/T_U = 1/32$
QPSK	1/2	3,5	4,1	5,9	4,98	5,53	5,85	6,03
QPSK	2/3	5,3	6,1	9,6	6,64	7,37	7,81	8,04
QPSK	3/4	6,3	7,2	12,4	7,46	8,29	8,78	9,05
QPSK	5/6	7,3	8,5	15,6	8,29	9,22	9,76	10,05
QPSK	7/8	7,9	9,2	17,5	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	9,3	9,8	11,8	9,95	11,06	11,71	12,06
16-QAM	2/3	11,4	12,1	15,3	13,27	14,75	15,61	16,09
16-QAM	3/4	12,6	13,4	18,1	14,93	16,59	17,56	18,10
16-QAM	5/6	13,8	14,8	21,3	16,59	18,43	19,52	20,11
16-QAM	7/8	14,4	15,7	23,6	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	13,8	14,3	16,4	14,93	16,59	17,56	18,10
64-QAM	2/3	16,7	17,3	20,3	19,91	22,12	23,42	24,13
64-QAM	3/4	18,2	18,9	23,0	22,39	24,88	26,35	27,14
64-QAM	5/6	19,4	20,4	26,2	24,88	27,65	29,27	30,16
64-QAM	7/8	20,2	21,3	28,6	26,13	29,03	30,74	31,67

NOTE 1: Figures in italics are approximate values.
 NOTE 2: Quasi Error Free (QEF) means less than one uncorrected error event per hour, corresponding to $BER = 10^{-11}$ at the input of the MPEG-2 demultiplexer.
 NOTE 3: Net bit rates are given after the Reed-Solomon decoder.

Για $BER=2 \cdot 10^{-4}$ και διαμόρφωση 64-QAM βρίσκουμε στο παρακάτω διάγραμμα ότι το SNR είναι ίσο με 24dB.



Έχοντας βρει το SNR μπορούμε να υπολογίσουμε την ευαισθησία του δέκτη η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$P_r = N + \text{SNR}$$

όπου N είναι η ισχύς θερμικού θορύβου που ορίστηκε προηγουμένως και επομένως $P_r = -105 + 24 = -81 \text{ dBm}$.

Η ισχύς εκπομπής P_t δίνεται από τον τύπο:

$$P_t = P_r + L_{\text{safety}} + L_e + L_s - G_r - G_t$$

Όπου:

- $L_{\text{safety}} = 3 \text{ dB}$ ως συντελεστής ασφαλείας
- $L_e = 5 \text{ dB}$ οι απώλειες των γραμμών μεταφοράς
- L_s οι απώλειες ζεύξης ανάμεσα στο κέντρο εκπομπής και τους οικισμούς (παίρνουμε τον μεγαλύτερο αριθμό απωλειών)
- G_r το κέρδος της κεραίας λήψης, δηλαδή 15 dB όπως ορίστηκε σε προηγούμενη ενότητα για κεραίες Yagi-Uda
- G_t το κέρδος της κεραίας εκπομπής

Κάνοντας αντικατάσταση στον τύπο τα γνωστά νούμερα προκύπτει ότι :

$$P_t = -81 + 8 + L_s - G_r - G_t = -73 + L_s - G_r - G_t \text{ dBm}$$

Πριν προχωρήσουμε στον υπολογισμό της ισχύος εκπομπής κάθε κέντρου κρίνεται απαραίτητο να μελετήσουμε τα όρια έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όπως ορίζονται στο ΦΕΚ και υπάρχουν διαθέσιμα στο διαδίκτυο. Τα όρια έκθεσης δε θα πρέπει να υπερβαίνουν το 70% των τιμών που αναγράφονται στο ΦΕΚ και φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:

Περιοχή συχνοτήτων	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου (A/m)	Μαγνητική Επαγωγή (μT)	Ισοδύναμη Πυκνότητα ισχύος επίπεδου κύματος S_{eq} (W/m ²)
0-1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-
1-8 Hz	10000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
8-25 Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$	-
0.025-0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
0.8-3 kHz	$250 / f$	5	6.25	-
3-150 kHz	87	5	6.25	-
0,15 – 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
1 – 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f / 200$
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Σημείωση: f είναι η συχνότητα στις μονάδες που εμφανίζονται στη στήλη της περιοχής συχνοτήτων

Η συχνότητα που μας ενδιαφέρει είναι $f=570\text{MHz}$ και άρα μπορούμε να υπολογίσουμε τα παρακάτω μεγέθη φροντίζοντας να πολλαπλασιάσουμε την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου με το 70%:

1. **Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου(V/m):** $E_{max} = (70\%) * 1.375 \sqrt{570} = 23 \text{ V/m}$
2. **Μέγιστη ισχύς:** $= \frac{E_{max}^2}{2 * \eta} = 0.7 \text{ W/m}^2$ όπου η είναι η χαρακτηριστική αντίσταση του κενού και ισούται με 377Ω
3. **EIRP(Effective Isotropic Radiated Power)max:** $EIRP_{max} = P_{max} * (4\pi r^2)$ όπου ως r ορίζεται η ελάχιστη απόσταση από κατοικήσιμη περιοχή

Σε αυτό το σημείο ξεκινάει η ανάλυση για κάθε κέντρο εκπομπής ξεχωριστά:

➤ **Κέντρο εκπομπής Ηγουμενίτσας**

Τα μεγέθη που έχουμε υπολογίσει σε προηγούμενο σημείο της μελέτης και μας ενδιαφέρουν σε αυτό το στάδιο είναι:

- Κέρδος κεραίας λήψης $G_r=15\text{dB}$ [Yagi-Uda]
- Κέρδος κεραίας εκπομπής $G_t=14.15\text{dB}$
- Ελάχιστη απόσταση $r=4\text{km}$
- Απώλειες $L_s = 158\text{dB}$ που προκύπτουν από την κάλυψη του οικισμού Νέα Σελεύκεια μιας και ήταν ο μεγαλύτερος αριθμός απωλειών στον υπολογισμό των μηκοτομών

Επομένως, η ισχύς εκπομπής του κέντρου της Ηγουμενίτσας είναι:

$$P_t = -73 + L_s - G_r - G_t = 55.85\text{dBm} = 10^{55.85/10} = 384.5 \text{ W}$$

Σχετικά με το EIRP είναι:

- $EIRP = P_t + G_t - 30 = 40\text{dBW}$
- $EIRP_{max} = P_{max} * (4\pi r^2) = 0.7 * (4 * \pi * (4 * 10^3)^2) = 140743350.9\text{W} = 10\log(140743350.9) = 81\text{dBW}$

Παρατηρούμε ότι $EIRP < EIRP_{max}$ άρα καλύπτονται οι προδιαγραφές.

➤ **Κέντρο εκπομπής Ψάκας**

Τα μεγέθη που έχουμε υπολογίσει σε προηγούμενο σημείο της μελέτης και μας ενδιαφέρουν σε αυτό το στάδιο είναι:

- Κέρδος κεραίας λήψης $G_r=15\text{dB}$ [Yagi-Uda]
- Κέρδος κεραίας εκπομπής $G_t=12.45\text{dB}$
- Ελάχιστη απόσταση $r=2.5\text{km}$

- Απώλειες $L_s = 113\text{dB}$ που προκύπτουν από την κάλυψη του οικισμού Φιλιάτες μιας και ήταν ο μεγαλύτερος αριθμός απωλειών στον υπολογισμό των μηκοτομών

Επομένως, η ισχύς εκπομπής του κέντρου εκπομπής Ψάκας είναι:

$$P_t = -73 + L_s - G_r - G_t = 12.55\text{dBm} = 10^{12.55/10} = 17.98\text{mW}$$

Σχετικά με το EIRP είναι:

- $\text{EIRP} = P_t + G_t - 30 = -5\text{dBW}$
- $\text{EIRP}_{\max} = P_{\max} * (4\pi r^2) = 0.7 * (4 * \pi * (2.5 * 10^3)^2) = 54977871.44\text{W} = 10 \log(54977871.44) = 77.4\text{dBW}$

Παρατηρούμε ότι $\text{EIRP} < \text{EIRP}_{\max}$ άρα καλύπτονται οι προδιαγραφές.

➤ Αναμεταδότης

Τα μεγέθη που έχουμε υπολογίσει σε προηγούμενο σημείο της μελέτης και μας ενδιαφέρουν σε αυτό το στάδιο είναι:

- Κέρδος κεραίας λήψης $G_r = 15\text{dB}$ [Yagi-Uda]
- Κέρδος κεραίας εκπομπής $G_t = 14.15\text{dBi}$
- Ελάχιστη απόσταση $r = 5\text{km}$
- Απώλειες $L_s = 102\text{dB}$ που προκύπτουν από την κάλυψη του οικισμού της Πέρδικας μιας και είναι ο μοναδικός οικισμός που καλύπτει ο αναμεταδότης. Επομένως, η ισχύς εκπομπής του αναμεταδότη είναι:

$$P_t = -73 + L_s - G_r - G_t = -0.15\text{dBm} = 10^{-0.15/10} = 0.96\text{mW}$$

Σχετικά με το EIRP είναι:

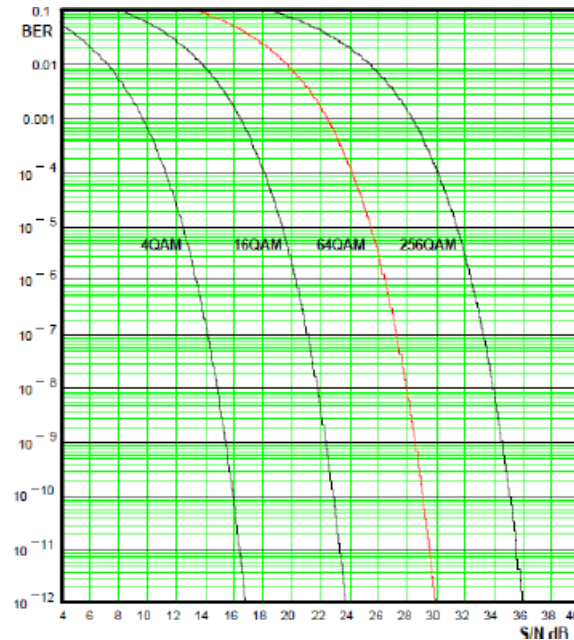
- $\text{EIRP} = P_t + G_t - 30 = -16\text{dBW}$
- $\text{EIRP}_{\max} = P_{\max} * (4\pi r^2) = 0.7 * (4 * \pi * (5 * 10^3)^2) = 219911485\text{W} = 10 \log(219911485) = 83.42\text{W}$

Παρατηρούμε ότι $\text{EIRP} < \text{EIRP}_{\max}$ άρα καλύπτονται οι προδιαγραφές.

Ολοκληρώνοντας την μελέτη για τις ευρυεκπομπές προχωράμε στην ανάλυση ισχύος δισημειακών ραδιοζεύξεων.

Ανάλυση ισχύος δισημειακών ραδιοζεύξεων

Όπως και πριν, πρέπει να επιλέξουμε την κατάλληλη τιμή SNR ανάλογα με το BER που θέλουμε να έχουμε σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα:



Θεωρούμε μικρότερο BER από τις ευρεσκομπές, έστω 10^{-8} . Σύμφωνα λοιπόν με το παραπάνω διάγραμμα έχουμε $SNR=28dB$.

Έχοντας βρει το SNR μπορούμε να υπολογίσουμε την ευαισθησία του δέκτη η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$P_r = N + SNR$$

όπου N είναι η ισχύς θερμικού θορύβου που ορίστηκε προηγουμένως και επομένως $P_r = -105 + 28 = -77dBm$.

Η ισχύς εκπομπής P_t όπως και προηγουμένως δίνεται από τον τύπο:

$$P_t = P_r + L_{safety} + L_e + L_s - G_r - G_t$$

Όπου:

- $L_{safety} = 3dB$ ως συντελεστής ασφαλείας
- $L_e = 5dB$ οι απώλειες των γραμμών μεταφοράς

- L_s οι απώλειες ζεύξης ανάμεσα στο κέντρο εκπομπής και τους οικισμούς (παίρνουμε τον μεγαλύτερο αριθμό απωλειών)
- G_r το κέρδος της κεραίας λήψης, δηλαδή 15dB όπως ορίστηκε σε προηγούμενη ενότητα για κεραίες Yagi-Uda
- G_t το κέρδος της κεραίας εκπομπής

Κάνοντας αντικατάσταση στον τύπο τα γνωστά νούμερα προκύπτει ότι :

$$P_t = -77 + 8 + L_s - G_r - G_t = -69 + L_s - G_r - G_t \text{ dBm}$$

Πριν προχωρήσουμε στον υπολογισμό της ισχύος εκπομπής κάθε κέντρου κρίνεται απαραίτητο να μελετήσουμε τα όρια έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όπως ορίζονται στο ΦΕΚ και υπάρχουν διαθέσιμα στο διαδίκτυο.

Τα όρια έκθεσης δε θα πρέπει να υπερβαίνουν το 70% των τιμών που αναγράφονται στο ΦΕΚ και φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:

Περιοχή συχνοτήτων	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου (A/m)	Μαγνητική Επαγωγή (μT)	Ισοδύναμη Πυκνότητα ισχύος επίπεδου κύματος S_{eq} (W/m ²)
0-1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-
1-8 Hz	10000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
8-25 Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$	-
0.025-0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
0.8-3 kHz	$250 / f$	5	6.25	-
3-150 kHz	87	5	6.25	-
0,15 – 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
1 – 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f / 200$
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Σημείωση: f είναι η συχνότητα στις μονάδες που εμφανίζονται στη στήλη της περιοχής συχνοτήτων

Η συχνότητα που μας ενδιαφέρει στις δισημειακές ραδιοζεύξεις είναι $f=10.5\text{GHz}$ και άρα βρισκόμαστε σε διαφορετική κατηγορία από πριν στον παραπάνω πίνακα. Μπορούμε και πάλι να υπολογίσουμε τα παρακάτω μεγέθη φροντίζοντας να πολλαπλασιάσουμε την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου με το 70%:

1. Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου(V/m): $E_{max} = (70\%) * 61 = 42.7 \text{ V/m}$

2. Μέγιστη ισχύς: $P_{max} = \frac{E_{max}^2}{2 * \eta} = 2.41 \text{ W/m}^2$ όπου η είναι η χαρακτηριστική αντίσταση του κενού και ισούται με 377Ω

3. **EIRP(Effective Isotropic Radiated Power)_{max}:** $EIRP_{max} = P_{max} * (4\pi r^2)$ όπου ως r ορίζεται η ελάχιστη απόσταση από κατοικήσιμη περιοχή
4. Σε αυτό το σημείο ξεκινάει η ανάλυση για κάθε κέντρο εκπομπής ξεχωριστά:

➤ Studio

Τα μεγέθη που έχουμε υπολογίσει σε προηγούμενο σημείο της μελέτης και μας ενδιαφέρουν σε αυτό το στάδιο είναι:

- Κέρδος κεραίας λήψης=39.9dB
- Κέρδος κεραίας εκπομπής $G_t=39.9\text{dBi}$
- Ελάχιστη απόσταση $r=8\text{m}$ μιας και το studio βρίσκεται μέσα στην πόλη της Ηγουμενίτσας
- Απώλειες $L_s = 122.225\text{dB}$ που προκύπτουν από την κάλυψη του οικισμού Νέα Σελεύκεια μιας και ήταν ο μεγαλύτερος αριθμός απωλειών στον υπολογισμό των μηκοτομών

Επομένως, η ισχύς εκπομπής του κέντρου της Ηγουμενίτσας είναι:

$$P_t = -69 + L_s - G_r - G_t = -26.575\text{dBm} = 0.0022\text{W} = 2.2\text{mW}$$

Σχετικά με το EIRP είναι:

- $EIRP = P_t + G_t - 30 = -16.675\text{dBW}$
- $EIRP_{max} = 2.41 * 4 * \pi * 8^2 = 1938.237\text{W} = 32.874\text{dBW} > EIRP$

Παρατηρούμε ότι $EIRP < EIRP_{max}$ άρα καλύπτονται οι προδιαγραφές.

➤ Ενδιάμεσος σταθμός

Τα μεγέθη που έχουμε υπολογίσει σε προηγούμενο σημείο της μελέτης και μας ενδιαφέρουν σε αυτό το στάδιο είναι:

- Κέρδος κεραίας λήψης $G_r=39.9\text{dB}$
- Κέρδος κεραίας εκπομπής $G_t=39.9\text{dBi}$
- Ελάχιστη απόσταση $r=800\text{m}$ από οικισμό Φιλοθέης
- Απώλειες $L_s = 130.525\text{dB}$ που προκύπτουν από την κάλυψη του οικισμού Νέα Σελεύκεια μιας και ήταν ο μεγαλύτερος αριθμός απωλειών στον υπολογισμό των μηκοτομών

Επομένως, η ισχύς εκπομπής του κέντρου της Ηγουμενίτσας είναι:

$$P_t = -69 + L_s - G_r - G_t = -18.275\text{dBm} = 14.87\text{mW}$$

Σχετικά με το EIRP είναι:

- $EIRP = P_t + G_t - 30 = -8.375 \text{ dBW}$
- $EIRP_{max} = 2.41 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 800^2 = 19382370.04 \text{ W} = 72.87 \text{ dBW} > EIRP$

Παρατηρούμε ότι $EIRP < EIRP_{max}$ άρα καλύπτονται οι προδιαγραφές.

Έχοντας ολοκληρώσει την μελέτη για όλα τα κέντρα εκπομπής μπορούμε να πούμε με σιγουριά ότι ικανοποιούνται τα απαιτούμενα όρια προστασίας.

Σύστημα αντικεραυνικής προστασίας

Φτάνοντας στο τέλος της μελέτης κρίνεται απαραίτητο να σχεδιάσουμε το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Η ανάλυση που ακολουθεί βασίζεται στις σημειώσεις αντικεραυνικής προστασίας του μαθήματος και στις σημειώσεις του κ.Μικρόπουλου.

Σχεδίαση ΣΑΠ

Το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας είναι ζωτικής σημασίας για όλα τα κέντρα εκπομπής που έχουμε αναφέρει καθώς λόγω του υψομέτρου που βρίσκονται είναι εκτεθειμένα σε μεγάλη πιθανότητα πλήγματος από κεραυνό. Θεωρούμε ότι το studio έχει τη δική του θεμελιακή γείωση καθώς και ότι τα κέντρα πρέπει να λειτουργούν 24 ώρες το 24ωρο.

Σκοπός είναι να ορίσουμε την επιθυμητή στάθμη προστασίας της κατασκευής μας που συνδέεται άμεσα με την αποτελεσματικότητα του ΣΑΠ όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4.3: Επιλογή στάθμης προστασίας ενός ΣΑΠ σύμφωνα με την αποτελεσματικότητά του.

Αποτελεσματικότητα ΣΑΠ	Στάθμη Προστασίας ΣΑΠ
$E > 0.98$	I + επιπλέον μέσα προστασίας
$0.95 < E \leq 0.98$	I
$0.90 < E \leq 0.95$	II
$0.80 < E \leq 0.90$	III
$0 < E \leq 0.80$	IV

Ως αποτελεσματικότητα του ΣΑΠ ορίζουμε την μεταβλητή E που δίνεται από τον εξής τύπο:

$$E = 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

Όπου:

- N_c η αποδεκτή συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων της κατασκευής μας-στη δική μας περίπτωση έχει την σταθερή τιμή των $5 \cdot 10^{-5}$

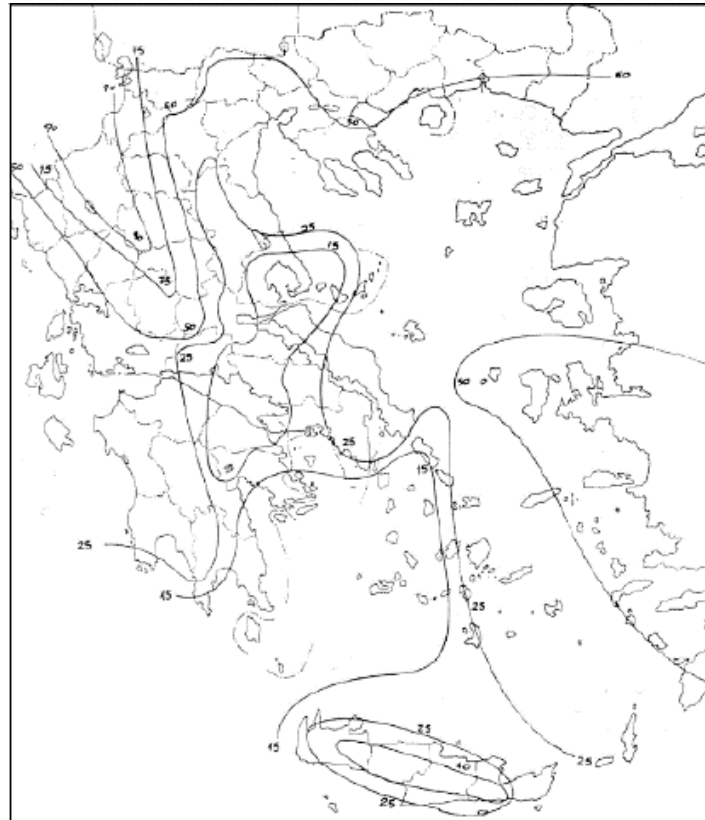
- N_d η συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων ανά έτος

Η συχνότητα N_d υπολογίζεται από τον τύπο: $N_d = N_g * A_e * 10^{-6}$ όπου:

- N_g μέση ετήσια πυκνότητα πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος που εκφράζει τον αναμενόμενο μέσο αριθμό πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο και έτος στην περιοχή εγκατάστασης της κατασκευής
- A_e η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια της κατασκευής μας σε m^2 που ορίζεται ως μια επίπεδη επιφάνεια εδάφους που έχει την ίδια μέση ετήσια συχνότητα πληγμάτων κεραυνού όπως η κατασκευή

Συγκεκριμένα, η μεταβλητή N_g δίνεται από τον τύπο $N_g = 0.04 * T_d^{1.25}$

Όπου T_d είναι οι ημέρες καταιγίδας ανά έτος και δίνονται από τον παρακάτω χάρτη ισοκεραυνικών καμπυλών της Ελλάδας.



Όπως φαίνεται στον χάρτη για το νομό Θεσπρωτίας που μας ενδιαφέρει είναι $T_d = 50$ μέρες καταιγίδας άρα:

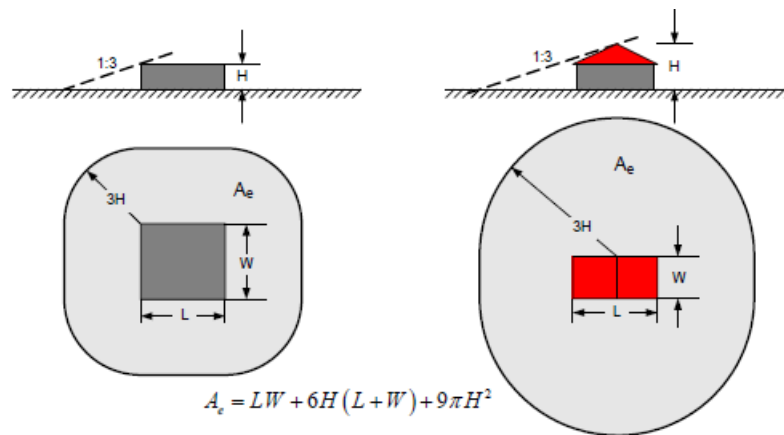
$$N_g = 5.32 \text{ κεραυνοί ανά } km^2 \text{ και έτος}$$

Η μεταβλητή A_e που εκφράζει την ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια σε m^2 δίνεται από τον τύπο:

$$A_e = LW + 6H(L + W) + 9\pi H^2$$

Όπου

- L το μήκος της κατασκευής
- W το πλάτος της κατασκευής
- H το ύψος της κατασκευής



Σχήμα 4.3: Ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια για απομονωμένη κατασκευή σε επίπεδο έδαφος.

Για τον καθορισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της κατασκευής μας θεωρούμε τα εξής:

- Οι πύργοι στους οποίους θα τοποθετηθούν οι κεραιές έχουν ύψος 15m και η βάση τους έχει διαστάσεις $2.5 \times 2.5 \text{ m}^2$
- Οι κατασκευές που χρησιμοποιούνται είναι απομονωμένες από άλλα κτίρια
- Οι πύργοι είναι τοποθετημένοι σε ορεινή περιοχή ύψους 200-1000m

Άρα η συλλεκτήρια επιφάνεια A_e ισούται με $A_e = 6817.9 \text{ m}^2$

Παρόλο που έχουμε υπολογίσει τον συντελεστή N_d απαιτείται σε αυτό το σημείο να τον πολλαπλασιάσουμε με κάποιους συντελεστές. Ισχύει ο παρακάτω τύπος:

$$N'_d = N_d * A * B * C * D * E$$

Όπου οι συντελεστές A,B,C,D,E δίνονται από τους παρακάτω πίνακες:

Συντελεστής Α: χρήση του κτιρίου	
κατοικίες και άλλες κατασκευές συγκρίσιμου μεγέθους	0.3
κατοικίες και άλλες κατασκευές συγκρίσιμου μεγέθους με κεραίες	0.7
εργοστάσια, συνεργεία, εργαστήρια	1.0
κτίρια γραφείων, ξενοδοχεία, πολυκατοικίες	1.2
κτίρια με κόσμο όπως εκκλησίες, θέατρα, μουσεία, εκθεσιακοί χώροι, πολυκαταστήματα, σταθμοί, αεροδρόμια και στάδια	1.3
σχολεία, νοσοκομεία, φυλακές, οικότροφεία	1.7

Συντελεστής Β: υλικά κατασκευής του κτιρίου	
κτίρια χαλύβδινου σκελετού ή οπλισμένου σκυροδέματος ενδοσυνδεδεμένου χαλύβδινου οπλισμού και με μεταλλική σκεπή	0.1
κτίρια χαλύβδινου σκελετού χωρίς μεταλλική σκεπή	0.2
κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος ενδοσυνδεδεμένου χαλύβδινου οπλισμού χωρίς μεταλλική σκεπή	0.4
κτίρια από τούβλα, απλό τσιμέντο, πέτρα χωρίς μεταλλική ή ξύλινη σκεπή	1.0
κτίρια ξύλινου σκελετού χωρίς μεταλλική σκεπή	1.4
κτίρια από τούβλα, τσιμέντο, πέτρα, ξύλινου σκελετού με μεταλλική σκεπή	1.7
κτίρια με ξύλινη σκεπή	2.0

Συντελεστής C: περιεχόμενο του κτιρίου	
κοινές κατοικίες ή κτίρια γραφείων, εργοστάσια και συνεργεία με περιεχόμενο μικρής αξίας ή μη επιρρεπές και ευαίσθητο	0.3
Βιομηχανικά και αγροτικά κτίρια με επιρρεπές, ευαίσθητο περιεχόμενο	0.8
σταθμοί παραγωγής ενέργειας, εγκαταστάσεις φυσικού αερίου, τηλεπικοινωνιακά κέντρα, ραδιοφωνικοί σταθμοί	1.0
βιομηχανικές εγκαταστάσεις ιδιαίτερης σημασίας, αρχαία μνημεία και ιστορικά κτίρια, μουσεία, εκθεσιακοί χώροι τέχνης ή άλλα κτίρια με επιρρεπές, ευαίσθητο περιεχόμενο	1.3
σχολεία, νοσοκομεία, φυλακές, οικότροφεία, κτίρια με κόσμο	1.7

Συντελεστής D: βαθμός απομόνωσης του κτιρίου	
κατασκευή σε περιοχή πυκνής δόμησης ή με πολλά δέντρα παρόμοιου ή μεγαλύτερου ύψους όπως σε μεγάλη πόλη ή σε δάσος.	0.4
κατασκευή σε περιοχή αραιής δόμησης ή με λίγα δέντρα παρόμοιου ύψους	1.0
κατασκευή πλήρως απομονωμένη ή ύψους τουλάχιστον διπλάσιου των γειτονικών κατασκευών ή δέντρων	2.0

Συντελεστής E: μορφολογία του εδάφους	
πεδινή περιοχή ανεξάρτητα του υψομέτρου	0.3
λοφώδης περιοχή	1.0
ορεινή περιοχή μεταξύ 300 m και 900 m	1.3
ορεινή περιοχή μεταξύ 900 m και 1500 m	1.7
ορεινή περιοχή 1500 m και άνω	2.0

Στη μελέτη μας οι σταθερές με βάση τους παραπάνω πίνακες είναι:

A	B	C	D	E
0.7	0.2	1	2	1.3

Και άρα: $N'_d = N_d * A * B * C * D * E = 0.0131$

Έχοντας υπολογίσει λοιπόν τις απαραίτητες σταθερές N'_d και N_c μπορούμε να υπολογίσουμε την αποτελεσματικότητα του ΣΑΠ:

$$E = 1 - \frac{N_c}{N_d} = 0.9962$$

Με βάση λοιπόν την τιμή του E που μόλις βρήκαμε και τον παρακάτω πίνακα που παραθέσαμε στην αρχή της μελέτης μας :

Πίνακας 4.3: Επιλογή στάθμης προστασίας ενός ΣΑΠ σύμφωνα με την αποτελεσματικότητά του.

Αποτελεσματικότητα ΣΑΠ	Στάθμη Προστασίας ΣΑΠ
$E > 0.98$	I + επιπλέον μέσα προστασίας
$0.95 < E \leq 0.98$	I
$0.90 < E \leq 0.95$	II
$0.80 < E \leq 0.90$	III
$0 < E \leq 0.80$	IV

Η στάθμη προστασίας που απαιτείται για τη δική μας κατασκευή είναι η πρώτη, δηλαδή η I.

Επειδή $E > 0.98$ απαιτείται να ληφθούν επιπλέον μέσα προστασίας όπως:

- Μέτρα περιορισμού των βηματικών τάσεων και των τάσεων επαφής
- Μέτρα περιορισμού της διάδοσης της φωτιάς
- Μέτρα γείωσης των επαγόμενων τάσεων λόγω κεραυνών σε ευαίσθητες συσκευές

Εγκατάσταση ΣΑΠ

Το ΣΑΠ ανάλογα με την προστασία που απαιτείται μπορεί να αποτελείται από εξωτερική ή εσωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας ή από συνδυασμό και των δύο. Η εξωτερική εγκατάσταση έχει ως σκοπό να συλλαμβάνει τον κεραυνό πριν πλήξει την υπό προστασία κατασκευή και να διοχετεύει ασφαλώς το ρεύμα του κεραυνού στη γη, περιορίζοντας στο ελάχιστο τις θερμικές και μηχανικές επιδράσεις του. Η εσωτερική εγκατάσταση περιλαμβάνει όλα τα μέτρα προστασίας που πρέπει να ληφθούν ώστε να μειωθούν στο ελάχιστο βαθμό οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του ρεύματος του κεραυνού στο εσωτερικό της κατασκευής που χρήζει προστασίας.

Μελετάμε αρχικά την εξωτερική εγκατάσταση της αντικεραυνικής προστασίας που αποτελείται από τρία διακριτά μέρη:

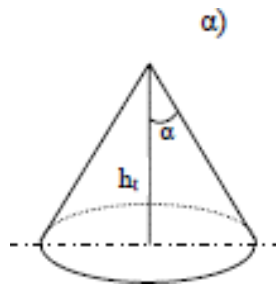
1. Το συλλεκτήριο σύστημα που προορίζεται να δέχεται τους κεραυνούς
2. Το σύστημα αγωγών καθόδου το οποίο εξασφαλίζει την όδευση του ρεύματος του κεραυνού από το συλλεκτήριο σύστημα στη γη
3. Το σύστημα γείωσης που άγει και διαχέει το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος

Ακολουθεί η ανάλυση για κάθε μέρος της εγκατάστασης:

Συλλεκτήριο σύστημα

Για τον προσδιορισμό της ζώνης προστασίας που παρέχει το συλλεκτήριο σύστημα του ΣΑΠ χρησιμοποιούνται γενικά δύο μέθοδοι, η μέθοδος της γωνίας προστασίας και η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας.

Στη δική μας περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος γωνίας προστασίας καθώς είναι πιο εύχρηστη. Σύμφωνα με τη μέθοδο, η ζώνη προστασίας μιας κατακόρυφης ράβδου ύψους h_1 έχει τη μορφή ενός ορθού κυκλικού κώνου με κορυφή την απόληξη της ράβδου. Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει ακριβώς αυτή τη μορφή:



Επιλέγουμε λοιπόν ως συλλεκτήριο σύστημα μία ράβδο μήκους $h_t=3\text{m}$ που θα τοποθετηθεί στην κορυφή των πυλώνων εκεί που βρίσκονται οι κεραίες. Το συνολικό ύψος θα είναι λοιπόν $h=15+3=18\text{m}$ και σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:


Πίνακας 5.1: Γωνία προστασίας $\alpha^{(o)}$, ακτίνα κυλιόμενης σφαίρας $R(m)$ και διαστάσεις πλέγματος αγωγών ανάλογα με τη στάθμη προστασίας. Πηγή: IEC 61024-1:1990, (p.37, Table 1)

Στάθμη Προστασίας	h (m)	R (m)				Διάσταση πλέγματος (m)
		20	30	45	60	
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	10
IV	60	55	45	35	25	20

* Σ' αυτές τις περιπτώσεις εφαρμόζονται οι μέθοδοι της κυλιόμενης σφαίρας και πλέγματος αγωγών.


Για στάθμη προστασίας I και $h=18m$ βρίσκουμε ότι η ζώνη προστασίας είναι ένας κώνος με ημιγωνία κορυφής $\alpha=25^\circ$. Ο κώνος θα έχει ακτίνα βάσης $r=h \cdot \tan(25^\circ)=8.5m$ και εφόσον θα εκτείνεται μέχρι το έδαφος πρέπει οι κεραίες να βρίσκονται στο εσωτερικό του.

Πιο συγκεκριμένα, η ακίδα που επιλέγεται είναι από την εταιρεία ΕΛΕΜΚΟ και συγκεκριμένα το μοντέλο 64 41 203 . Το datasheet της φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

PRODUCT DATA SHEET	
LIGHTNING PROTECTION AND EARTHING SYSTEM COMPONENTS	
Code: 64 41 203	
Description: Aluminium air termination rod Ø15x300 mm	ed.02/2020
Application	
Aluminium rod used as air termination rod.	
Technical characteristics	
Diameter	15mm
Length	300 mm
Material	Aluminium (Al)
Electrical resistivity	<0,036 $\mu\Omega m$
Tensile strength	120 – 280 N/mm ²
Classification as per IEC EN 62561	
<ul style="list-style-type: none"> Heavy duty (H – 100 kA) General use Intended to withstand a static mechanical load Non-permanent connection 	
Installation instructions	
Installation	Above ground
Can be connected with	Al, SSt (Stainless Steel), GVI2n
Connection arrangements	Cross (B1) "T" (B4)
Dimensions of round conductor to be connected	Ø8–10mm (50–70 mm ²)
Dimensions of tape conductor to be connected	Up to 5 mm thickness
Tightening torque	20 Nm
Testing as per IEC EN 62561	
The component has successfully passed the testing requirements of standard IEC EN 62561-2 "Lightning protection system components (LPS/C) – Part 2 : Requirements for conductors and earth electrodes". Test report No 31488 by accredited laboratory as per ISO 17025	
Manufacturing Quality Control	
Manufacturing quality control according standard ISO 9001	
Country of Origin	
Greece	
Needed accessories	
Air termination rod base 100x100 mm, ELEMKO code 6143100 or 6103100	
Units: piece / Packages: 1 piece	
 <p>Typical examples of component's use (base & conductor are not included)</p> <p>We reserve the right to introduce changes in the component due to technical evolution.</p>	

Σύστημα αγωγών καθόδου

Επιλέγουμε ως αγωγό καθόδου το μοντέλο 64 20 170 της εταιρείας ΕΛΕΜΚΟ του οποίου τα χαρακτηριστικά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΙΩΣΗΣ	
Χάλκινος πολύκλωνος αγωγός ονομαστικής διατομής 70mm² Ενδεικτικός κωδικός ΕΛΕΜΚΟ: 64 20 170	
Περιγραφή	
Πολύκλωνος αγωγός ονομαστικής διατομής 70mm ² , από χαλκό (Cu). Χρησιμοποιείται ως αγωγός συλλεκτηρίου συστήματος, ως αγωγός καθόδου και ως αγωγός γείωσης.	
Τεχνικά χαρακτηριστικά – Οδηγίες εγκατάστασης	
Θέση εγκατάστασης	➤ Σε εξωτερικό χώρο, εντός εδάφους, εντός σκυροδέματος
Ειδική ηλεκτρική αντίσταση	➤ <0,019 μΩm
Τάση θραύσεως (εφελκυσμός)	➤ 200 – 450 N/mm ²
Το ανωτέρω εξάρτημα θα πρέπει να έχει περάσει με επιτυχία τις δοκιμές όπως προβλέπονται από το πρότυπο ΕΛΟΤ ΙΕC/EN 62561-2. Η επιτυχής πραγματοποίηση των δοκιμών αποδεικνύεται με δελτίο αποτελεσμάτων δοκιμών εκδοθέν από εργαστήριο που διαθέτει τον κατάλληλο εξοπλισμό για την πραγματοποίηση των δοκιμών, ο οποίος πρέπει να αναγράφεται στο δελτίο αποτελεσμάτων δοκιμών.	
Φωτογραφία	
	

Θέλουμε να στερεώνεται καλά στον πυλώνα έτσι ώστε οι μηχανικές επιδράσεις του ρεύματος του κεραυνού να μην προκαλούν θραύση ή χαλάρωση των αγωγών.

Σύστημα γείωσης

Σκοποί του συστήματος γείωσης είναι οι εξής:

- Διάχυση του ρεύματος του κεραυνού στο έδαφος μέσω ηλεκτροδίων γείωσης χωρίς να αναπτύσσονται επικίνδυνες υπερτάσεις
- Περιορισμός ανύψωσης του δυναμικού του εδάφους στην περιοχή του
- Αναχαίτιση του κεραυνού στην περίπτωση επιφανειακής διάσπασης του εδάφους

Αν και πάντα συνίσταται η όσο το δυνατόν χαμηλότερη τιμή αντίστασης γείωσης έχει περισσότερο σημασία στην αποτελεσματικότητα του συστήματος γείωσης η μορφή και οι διαστάσεις του παρά η τιμή της αντίστασης γείωσης που παρουσιάζει.

Σχετικά με τα ηλεκτρόδια γείωσης που θα χρησιμοποιήσουμε το ελάχιστο μήκος τους δίνεται από τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.4: Ελάχιστο μήκος ηλεκτροδίου γείωσης συναρτήσει της στάθμης προστασίας ενός ΣΑΠ.

Στάθμη Προστασίας	Ελάχιστο μήκος ηλεκτροδίου γείωσης, l_1
I	5 m για $\rho < 500 \Omega.m$ $l_1 (m) = 0.03\rho - 10$ για $500 < \rho (\Omega.m) < 3000$
II ÷ IV	5 m

Θεωρούμε ότι η ειδική αντίσταση είναι $\rho=2000$ και εφόσον η στάθμη προστασίας είναι I έχουμε ότι $l_1(m)=50m$. Ωστόσο το μήκος αυτό δεν είναι εφικτό λόγω της σύστασης του ελληνικού εδάφους και για αυτό θα χρησιμοποιήσουμε μήκος ηλεκτροδίων μέχρι 3 μέτρα.

Τα ηλεκτρόδια γείωσης που θα χρησιμοποιήσουμε είναι το μοντέλο 63 21 415 της εταιρείας ΕΛΕΜΚΟ. Τα ηλεκτρόδια και τα χαρακτηριστικά τους φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:




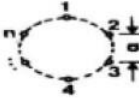
Elemko Ράβδος γείωσης Φ14 1500mm από χάλυβα (63-21-415)

Ράβδος γείωσης από την Elemko, διαμέτρου 14mm και μήκους 1500mm, εργαστηριακά δοκιμασμένη κατά EN 50164-2. Κατασκευάζεται από χάλυβα, ο οποίος επιχάλκωνεται ηλεκτρολυτικά, με πάχος επιχάλκωσης 254mm. Η ράβδος φέρει σπείρωμα στις δύο άκρες της ώστε να είναι δυνατή η επιμήκυνσή της με τη χρήση συνδέσμου επιμήκυνσης από κράμα χαλκού. Η σύνδεση της ράβδου με τον αγωγό, πραγματοποιείται με κοχλιωτό σφικτήρα από κράμα χαλκού, ενδεικτικού κωδικού ΕΛΕΜΚΟ 6330114.

Χαρακτηριστικά

- Περιβαλλοντική γήρανση σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-2(1):
Ατμόσφαιρα αλατομίχλης (3 ημέρες)
Ώξινη ατμόσφαιρα διοξειδίου του θείου (7 ημέρες)
- Τάση θραύσεως (εμφελκυσμός): 600 - 770N/mm²
- Σχέση ελαστικής / πλαστικής παραμόρφωσης: 0,80 - 0,95
- Ειδική ηλεκτρική αντίσταση: <0,25μΩm
- Πάχος επιμετάλλωσης: > 250μm

Η διάταξη που θα χρησιμοποιήσουμε είναι ένα πολύγωνο πασσάλων όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

	Γειωτής	Τύπος
	Πάσσαλος (πλάγια όψη)	$R_{A1} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l_{eff}} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot l_{eff}}{d}\right)$ $l_{eff} \approx l - 0,5 \text{ m}$
	Πολύγωνο Πασσάλων $\alpha \geq 1$ (κάτοψη)	$R_A \approx k \cdot \frac{1}{n} \cdot R_{A1}$ $\frac{a}{l} = 3 : n = 5 : k \approx 1,2$ $R_{A1} = \text{αντίσταση ενός πασσάλου}$

Υπολογίζουμε πρώτα την αντίσταση $R_{A1} = \frac{\rho}{2\pi l_{eff}} \cdot \ln\left(\frac{4l_{eff}}{d}\right)$ όπου:

- $\rho=2000$
- $l_{eff}= l-0.5=3.5-0.5=3\text{m}$
- $d=14\text{mm}=0.014\text{m}$

$$\text{Άρα, } R_{A1} = 716\Omega$$

Για τον υπολογισμό της αντίστασης του πολύγωνου πασσάλων χρησιμοποιούμε επίσης τύπο από τον παραπάνω πίνακα:


$$R_A = k \cdot (1/n) \cdot R_{A1} = (1.2 \cdot 716)/n$$

Η αντίσταση γείωσης R_A πρέπει να είναι μικρότερη από 10Ω άρα έχουμε :

$$R_A < 10 \Rightarrow n = 86 \text{ πάσσалоι}$$

Ωστόσο , αυτός ο αριθμός πασσάλων είναι απαγορευτικός και για αυτό πρέπει να βρούμε ένα τρόπο μείωσης της ειδικής αγωγιμότητας του εδάφους.

Θα χρησιμοποιήσουμε το βελτιωτικό γείωσης TERRAFIL του οποίου τα χαρακτηριστικά φαίνονται παρακάτω:

ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΙΩΣΗΣ	
Βελτιωτικό γείωσης "TERRAFILL" Ενδεικτικός Κωδικός ΕΛΕΜΚΟ : 64 00 000	
Περιγραφή	
Βελτιωτικό γείωσης "TERRAFILL", ενδεικτικός κωδικός ΕΛΕΜΚΟ 64 00 000, αποτελούμενο από συστατικά που βελτιώνουν την αγωγιμότητα του εδάφους. Επιπλέον η χημική του σύσταση προστατεύει το ηλεκτρόδιο γείωσης από διάβρωση. Χρησιμοποιείται σε έδαφος οποιασδήποτε σύστασης. Ανάλογα με τη σύσταση του εδάφους μπορεί να μειώσει έως και 14 φορές την αντίσταση γείωσης.	
Τεχνικά χαρακτηριστικά – Οδηγίες εγκατάστασης	
Μορφή	Ρευστός πολτός
Αγωγιμότητα	3,29mS
Ειδική αντίσταση	2,5mΩ (σε υγρασία 300% του όγκου του).
pH	9
Χρήση με κατακόρυφες ράβδους γείωσης	Χρησιμοποιείται όπως διατίθεται. Αρχικά γεμίζουμε την οπή (διαμέτρου τουλάχιστον 50mm) με το βελτιωτικό "TERRAFILL" και μετά τοποθετούμε τη ράβδο γείωσης.
Χρήση με ηλεκτρόδιο γείωσης μορφής πλάκας ή ταινίας	Αναμιγνύεται με σκυρόδεμα, σε αναλογία 80% σκυρόδεμα – 20% "TERRAFILL", υπερκαλύπτοντας το ηλεκτρόδιο τουλάχιστον 10cm σε όλες τις πλευρές της επιφανείας του.
Το ανωτέρω βελτιωτικό γείωσης θα πρέπει να έχει περάσει με επιτυχία τις κάτωθι δοκιμές όπως προβλέπονται από το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-7. Η επιτυχής πραγματοποίηση των δοκιμών αποδεικνύεται με δελτίο αποτελεσμάτων δοκιμών εκδοθέν από εργαστήριο που διαθέτει τον κατάλληλο εξοπλισμό για την πραγματοποίηση των δοκιμών, ο οποίος πρέπει να αναγράφεται στο δελτίο αποτελεσμάτων δοκιμών.	
Φωτογραφία	
	

Όπως αναφέρεται μπορεί να μειώσει την αγωγιμότητα του εδάφους έως και 14 φορές ωστόσο για ασφάλεια εμείς θα θεωρήσουμε ότι μειώνεται 9 φορές. Άρα, $\rho' = 222 \Omega$.

Υπολογίζουμε εκ νέου την αντίσταση $R_{A1}' = 79\Omega$ και η συνολική $R_A < 10$ άρα προκύπτει ότι θα χρειαστούμε 10 πασσάλους σε πολύγωνο όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Η απόσταση a μεταξύ των πασσάλων θα ισούται με $a=3 \cdot l=10.5\text{m}$

Βιβλιογραφία

- [1] Σημειώσεις “Συστήματα Αντικεραυνικής Προστασίας”, Παντελής Μικρόπουλος, Θεσσαλονίκη 2006
- [2] <https://www.wikipedia.org/>
- [3] <https://www.digea.gr/234/article/1835/Texnologia/el>
- [4] <https://wisp.heywhatsthat.com/>
- [5] <https://www.google.com/maps>
- [6] <https://www.kathrein-bca.com/en/home>
- [7] https://www.anixter.com/en_us.html
- [8] <http://www.elemko.com/productspdf/6441203.pdf>
- [9] <http://www.elemko.com/productspdf/6420170.pdf>
- [10] <http://www.elemko.gr/productspdf/6400000.pdf>
- [11] Συγκεκριμένα Φυλλάδια Εφημερίδας της Κυβέρνησης(ΦΕΚ)
- [12] https://www.abe.it/documenti/allegati/32/MTX_High_power_TV_Transmitters.pdf