

Η ΓΟΗΤΕΙΑ ΤΩΝ ΜΕΣΑΙΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Μία γόνιμη συζήτηση με το ChatGPT και το Gemini.



Για τους μεγαλύτερους από εμάς, οι μνήμες από τα αναλογικά ραδιόφωνα – έπιπλα με τις λυχνίες είναι έντονες. Δημιουργούσε δέος η ακρόαση σταθμών από διάφορες πόλεις της Ευρώπης και γεννούσε απορίες για την εμβέλεια των ραδιοφωνικών κυμάτων. Οι πρώτες απορίες μου λύθηκαν στο Λύκειο, ακολούθησαν οι σπουδές στο Φυσικό Τμήμα της Αθήνας, αλλά οι λεπτομέρειες ζητούν απάντηση ακόμη. Μέσα στη χαλάρωση του Αυγούστου άνοιξα διάλογο με το ChatGPT και το Gemini. Ξεφυλλίζοντας τα πανεπιστημιακά συγγράμματα και με τη βοήθεια κυρίως του κλασικού *Electronic Communication Systems* (G.Kennedy) αμφισβήτησα απλοϊκούς ή λανθασμένους υπολογισμούς βομβαρδίζοντας με ενστάσεις και ερωτήσεις τις δύο πλατφόρμες. Τελικά, το ChatGPT μου υποσχέθηκε τη συγγραφή ενός πρωτότυπου έργου στα Ελληνικά με θέμα τους πομπούς μεσαίων κυμάτων και με έμφαση σε όλους τους πομπούς της ΕΡΤ στην Ελληνική Επικράτεια. Αλλά θα απαιτήσει χρόνο...

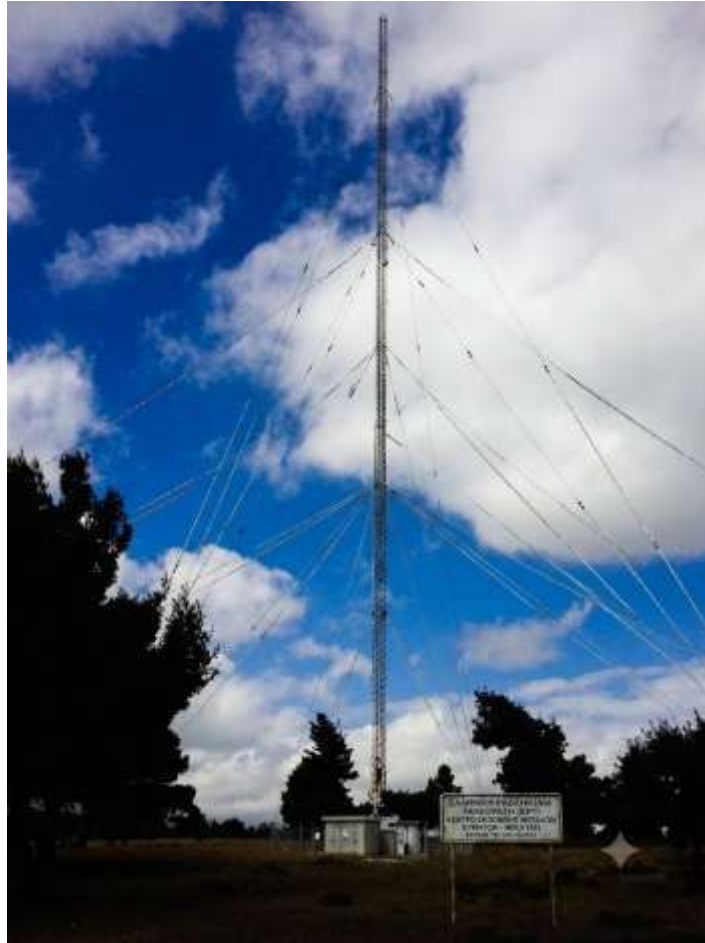
Οι σκέψεις μου ξεκίνησαν από τον περίφημο πομπό μεσαίων κυμάτων της ΕΡΤ, το γνωστό τοπόσημο του Αγίου Στεφάνου στη Βόρεια Αττική. Περνώντας καθημερινά από την οδό Τραπεζούντος, πάντοτε μου κέντριζε την περιέργεια με αποτέλεσμα να αρχίσει η έρευνα.

Η ΕΡΤ εκπέμπει στα μεσαία κύματα (AM) από το κέντρο εκπομπής στον Άγιο Στέφανο/Μπογιάτι στους 729 kHz.

Παρά τις αποφάσεις για περιορισμό ή παύση της τακτικής λειτουργίας των μεσαίων κυμάτων τα προηγούμενα χρόνια, το ΔΣ της ΕΡΤ αποφάσισε το 2025 την επανενεργοποίηση και αναβάθμιση του δικτύου AM (συμπεριλαμβανομένου του κέντρου εκπομπής στο Μπογιάτι/Άγιο Στέφανο) στο πλαίσιο του «Στρατηγικού Σχεδίου Εθνικής Κάλυψης» για περιπτώσεις εκτάκτων αναγκών και εθνικής ασφάλειας. Με την ίδια λογική και άλλες χώρες του κόσμου συντηρούν την εκπομπή στα μεσαία κύματα ως δικλείδα ασφαλείας στην περίπτωση φυσικών καταστροφών, οπότε είναι πιθανή μία κατάρρευση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας, του internet και των εκπομπών FM. Στις Ηνωμένες Πολιτείες και στον Καναδά λειτουργούν χιλιάδες πομποί μεσαίων κυμάτων (AM) στο πλαίσιο αντιστοίχου Συστήματος Συναγερμού Εκτάκτου Ανάγκης (Emergency Alert System), ακουστοί στην έκταση πολλών πολιτειών.

Η κεραία του Κέντρου Εκπομπής Αγίου Στεφάνου/Μπογιάτιού είναι η ψηλότερη ενεργή κατασκευή/κεραία στην Ελλάδα. Έχει ύψος 230 μέτρα. Η παλαιότερη κεραία του σταθμού είχε ύψος σχεδόν 270 μέτρα, αλλά αντικαταστάθηκε τη δεκαετία του '80 από τη σημερινή. Το ύψος της αντιστοιχεί στα 5/9 του μήκους κύματος (200 ηλεκτρικές μοίρες) για τη συχνότητα των 729 kHz. Εκπέμπει πλέον με σύγχρονο συμπαγή πομπό στερεάς κατάστασης (τεχνολογίας MOSFET, εταιρείας NAUTEL) ισχύος 100 kW (ενώ παλαιότερα λειτουργούσε με λαμπάτο πομπό 150 kW). Πρόκειται για κατακόρυφο ακτινοβολητή (monopole mast) με συρματόσχοινα στήριξης, σχεδιασμένο για να μεγιστοποιεί την

κάλυψη μέσω κύματος εδάφους σε όλη την ηπειρωτική Ελλάδα και τα νησιά. Είναι λεπτός δικτυωτός μεταλλικός πύργος (guyed mast), ο οποίος συγκρατείται από διαγώνια συρματόσχοινα (εντατήρες) σε διάφορα επίπεδα και φέρει την κόκκινη/λευκή βαφή και τα φώτα ναυσιπλοΐας.



Η αρχική κεραία (ύψους ~270 μέτρων) κατασκευάστηκε τη δεκαετία του '50, αλλά αντικαταστάθηκε τη δεκαετία του '80 για δύο κυρίως λόγους:

- Λόγω πολυετούς έκθεσης στις καιρικές συνθήκες, η αρχική μεταλλική κατασκευή παρουσίασε προχωρημένη διάβρωση, καθιστώντας την κεραία επικίνδυνη για κατάρρευση.
- Το ύψος των 270 μέτρων για τη συχνότητα των 729 kHz ήταν υπερβολικά μεγάλο (πάνω από 0,65λ). Αυτό δημιουργούσε ανεπιθύμητους «διαλοβούς» ακτινοβολίας προς τον ουρανό, προκαλώντας παρεμβολές στο ίδιο το σήμα κατά τις νυχτερινές ώρες.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το ChatGPT επικαλείται άλλες πηγές και θεωρεί ότι το ύψος της κεραίας είναι 210 m, αλλά τελικά δέχεται ως πιθανότερη την εκδοχή των 230 m. Όπως φαίνεται, οι πλατφόρμες AI δεν έχουν πρόσβαση στα τεχνικά αρχεία της EPT, αλλά αντλούν πληροφόρηση από δευτερογενείς πηγές. Η Wikipedia αναφέρει ύψος 210 m χωρίς όμως κάποια αναφορά σε πρωτογενή πηγή.

Από την εξίσωση $c = \lambda f$ για τη συχνότητα των 729 kHz προκύπτει ότι $\lambda = 411,5$ m και το ύψος του ιστού προκύπτει να είναι περίπου ίσο με $\frac{5\lambda}{9}$.

Το μήκος $\frac{5\lambda}{9}$ θεωρείται το χρυσό πρότυπο για ισχυρούς πομπούς μεσαίων κυμάτων (AM) γιατί εξασφαλίζει:

α) Μέγιστη οριζόντια εμβέλεια (Κύμα Εδάφους): Στο μήκος αυτό, η κεραία «συμπιέζει» την ενέργεια του σήματος παράλληλα με το έδαφος. Αυτό μεγιστοποιεί την κάλυψη σε όλη την ηπειρωτική και νησιωτική χώρα κατά τη διάρκεια της ημέρας. (Στο επόμενο σχήμα, από το σύγγραμμα Electronic Communication Systems (G.Kennedy), φαίνεται ότι η ένταση του επιφανειακού πεδίου αυξάνεται μέχρι το όριο ύψους $\frac{5\lambda}{8}$).

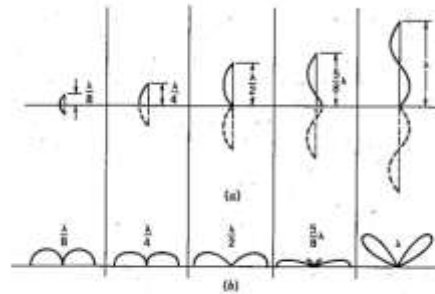


FIGURE 9-14 Characteristics of vertical grounded antennas. (a) Heights and current distributions; (b) radiation patterns.

β) Προστασία από τις νυχτερινές παρεμβολές (Anti-fading): Τη νύχτα, τα μεσαία κύματα ανακλώνται στην ιονόσφαιρα (κύμα χώρου) και επιστρέφουν στο έδαφος. Αν η κεραία εκπέμπει σήμα προς τα πάνω σε μεγάλο ποσοστό, το ανακλώμενο σήμα συμβάλλει με το απευθείας σήμα του εδάφους, προκαλώντας παραμορφώσεις και αυξομειώσεις στην ένταση (fading). Το ύψος $\frac{5\lambda}{9}$ ελαχιστοποιεί την ακτινοβολία σε γωνίες που προκαλούν αυτό το φαινόμενο.

γ) Μέγιστη δυνατή απολαβή (antenna gain): Δίνει τη μεγαλύτερη δυνατή ένταση πεδίου ανά Watt ισχύος, πριν αρχίσει η ακτινοβολία να «σπάει» σε άχρηστους κατακόρυφους λοβούς.

(Ως «κατευθύνουσα απολαβή» (directive antenna gain) σε μία συγκεκριμένη κατεύθυνση ορίζεται ο λόγος της πυκνότητας ισχύος που ακτινοβολείται στην κατεύθυνση αυτή προς την πυκνότητα ισχύος μιας ισοτροπικής κεραίας).

Η επιλογή του ύψους $\frac{5\lambda}{9}$ σχετίζεται προφανώς με την εμβέλεια της κεραίας, η οποία την ημέρα με αγώγιμο έδαφος φθάνει τα 300 – 400 km περίπου, ενώ τη νύχτα, λόγω ανακλάσεων στην ιονόσφαιρα, φθάνει τα 1.500 – 2.500 km, και σε ευνοϊκές συνθήκες ακόμη περισσότερο. Αυτό εξηγεί γιατί ο σταθμός λαμβάνεται σε πολλές χώρες της Ανατολικής Μεσογείου.

(Όταν η περιοχή κάλυψης είναι τοπική, δηλαδή ο πομπός χρειάζεται να καλύψει απλώς μια πόλη ή μια περιοχή μικρής ακτίνας, η επιπλέον εμβέλεια μιας κεραίας $\frac{5\lambda}{9}$ δεν δικαιολογεί το τεράστιο πρόσθετο κόστος και προτιμάται μία κεραία ύψους $\frac{\lambda}{4}$ (quarter-wave monopole) αφού η πρακτικότητα, το χαμηλό κόστος και το μικρό μέγεθος είναι σημαντικότερα από τη μέγιστη δυνατή εμβέλεια).

Η αντίσταση ακτινοβολίας R_r σύμφωνα με κλασικές καμπύλες (Brown, Lewis & Epstein, King, Jordan & Balmain, Terman) που δίνουν την αντίσταση ακτινοβολίας ως συνάρτηση του λόγου h/λ υπολογίζεται προσεγγιστικά από το ChatGPT σε 275 Ω, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη η διάμετρος της δικτυωτής κατασκευής του πομπού, το σύστημα γείωσης και άλλες παράμετροι. Αν ληφθούν υπόψη και απώλειες γείωσης η συνολική αντίσταση μπορεί να θεωρηθεί ίση με 285 Ω. Με ισχύ 100 kW από τη σχέση $P = I^2 R$ η ενεργός τιμή του ρεύματος βάσης προκύπτει 18,7 A και η αντίστοιχη ενεργός τιμή τάσης 5,3 kV, με μέγιστη τιμή στην κορυφή 7,5 kV (χωρίς διαμόρφωση).

Ο κύριος λοβός ακτινοβολίας εμφανίζεται στις 18^ο και ο δεύτερος (με σχετική ένταση 0,53) στις 50^ο. Η μέγιστη απολαβή της κεραίας φθάνει περίπου τα 5 dBi και είναι ιδιαίτερα υψηλή για έναν πομπό μεσαίων κυμάτων.

Μελετώντας την επιβίωση των μεσαίων κυμάτων στον πλανήτη σήμερα, παρατηρούμε ότι η Ευρώπη και ορισμένες περιοχές του κόσμου έχουν ήδη εγκαταλείψει τη χρήση των μεσαίων κυμάτων, ως περιττό κόστος. Αξίζει να σημειωθεί ότι χώρες με επίπεδη τοπογραφία όπως η Πολωνία και η Ρωσία, αλλά και η Γαλλία και η Γερμανία αξιοποίησαν σε μεγάλο βαθμό τη χρήση των μακρών κυμάτων (από 150 έως 280 kHz), των οποίων η εμβέλεια είναι μεγαλύτερη. Χρησιμοποίησαν μεγάλους ιστούς εκπομπής με ισχύ της τάξεως των 2 MW. Οι περισσότεροι από τους σταθμούς αυτούς μετά το 2010 καταργήθηκαν λόγω υψηλού ενεργειακού κόστους.

Τα μεσαία κύματα επιβιώνουν σήμερα στις Ηνωμένες Πολιτείες (με πομπούς της τάξεως των 50 kW), στη Λατινική Αμερική, στην Ινδία, στην Κίνα, στην Ινδονησία. Επίσης στην Ιαπωνία, όπου αξιοποιούνται στην περίπτωση σεισμών και προειδοποιήσεων για tsunamis.

Στην Ευρώπη σήμερα πρωτοπόρος στη χρήση μεσαίων κυμάτων αναδεικνύεται η Ισπανία και ακολουθούν η Ρουμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ελλάδα, η Ουγγαρία, η Πορτογαλία, η Βουλγαρία και η Ιταλία.

Τα πλεονεκτήματα είναι:

- α) η μεγάλη εμβέλεια, αφού η επιφανειακή συνιστώσα των μεσαίων κυμάτων δεν εμποδίζεται από τις οροσειρές και μπορεί να καλύψει εκατοντάδες χιλιόμετρα σε επίπεδο έδαφος, σε αντίθεση με τα υπερβραχέα κύματα της FM ραδιοφωνίας, τα οποία απαιτούν οπτική επαφή πομπού και δέκτη.
- β) η καταλληλότητα για την ετοιμότητα εκτάκτου ανάγκης: Ένας πομπός των 50 kW με γεννήτρια μπορεί να καλύπτει την ενημέρωση δεκάδων εκατομμυρίων πολιτών, εφοδιασμένων με έναν φορητό δέκτη μπαταρίας, σε περίπτωση κατάρρευσης των δικτύων επικοινωνίας εξαιτίας φυσικών καταστροφών.
- γ) η δυνατότητα ψηφιακής μετάδοσης: Σε χώρες όπως η Ινδία και η Κίνα, «ψηφιοποιημένα» μεσαία κύματα εξασφαλίζουν ακουστική ποιότητα εφάμιλλη της FM ραδιοφωνίας στην τεράστια εμβέλεια των μεσαίων κυμάτων.

Κλείνοντας, εμείς οι παλιότεροι, μπορούμε να αισθανθούμε την ποίηση των μεσαίων κυμάτων. Έχουν μήκη αντίστοιχα της κλίμακας του φυσικού αναγλύφου. Αγκαλιάζουν τη Γη, και η αγκαλιά τους μεγαλώνει τη νύχτα. Έχουν παράσιτα, δεν είναι τέλεια, έχουν την ατέλεια των πρώτων βημάτων του ραδιοφώνου. Μπορείς να τα συλλάβεις στο δάσος, σε ερημικές ακρογιαλίες ή στη μέση του πελάγους. Συγχωρείς τον θόρυβο, αφού δρασκελίσαν τόσα εμπόδια για να σε βρουν. Διασώζουν το μεγαλείο της ανακάλυψης των ερτζιανών και είναι μνημεία ιστορίας. Διέσωσαν χιλιάδες από τις μάστιγες του πολέμου, όταν μετέφεραν στα μήκη και τα πλάτη της Ευρώπης πληροφορίες για τον εχθρό. Κι όσοι χαρήκατε ακροάσεις του Τρίτου Προγράμματος, βραδιές όπερας, συμφωνικής ή έντεχνης μουσικής από έναν λαμπάτο δέκτη σε κάποιο απομονωμένο εξοχικό στα εφηβικά σας χρόνια, σίγουρα θα νιώσετε την ανάγκη μου να εντρυφήσω στη ζωή μιας αντέννας της Αττικής που κρύβει τόση ιστορία... Καλόν Αύγουστο σε όλους!

Ιωάννης Βακαλόπουλος
Αύγουστος 2026