



Μετρήσεις 5G στην Περιφέρεια Πελοποννήσου: το έργο «ΠΑΝΔΩΡΑ»

Γ. Τσούλος, Γ. Αθανασιάδου, Δ. Ζαρμπούτη, Γν. Νικητόπουλος, Β. Τσούλος, Ν. Χριστόπουλος, Θ. Χριστόπουλος, Ν. Χαλουλάκος, Θ. Παπακονδύλης
Εργαστήριο Ασυρμάτων και Κινητών Επικοινωνιών, <http://wmclab.uop.gr/>

Περίληψη

Η δημοτικότητα των κινητών επικοινωνιών και η έλευση των ασύρματων συστημάτων 5G έχει πυροδοτήσει ένα νέο κύμα συζητήσεων και ανησυχιών σχετικά με τις επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική ενέργεια (ΗΜΕ). Το έργο PANDORA ξεκίνησε τον Μάιο του 2021 και χρηματοδοτείται από την Περιφέρεια Πελοποννήσου, με στόχο την δημιουργία ενός σύγχρονου ανεξάρτητου παρατηρητηρίου ΗΜΕ που θα μελετά και θα μετρά την έκθεση από ασύρματα δίκτυα, ιδίως το 5G. Στο πλαίσιο αυτό, θα πραγματοποιηθεί συνδυασμός μετρήσεων σε διάφορες περιοχές της Περιφέρειας Πελοποννήσου με σύγχρονο εξοπλισμό: επίγειο – αερομεταφερόμενο με drones, στενής και ευρείας ζώνης, στατικό – κινητό, συστήματος και ΗΜΕ. Αυτό το άρθρο παρουσιάζει μια επισκόπηση, την τρέχουσα κατάσταση και τα αρχικά αποτελέσματα από το έργο PANDORA.

© 2023 Βιβλιοθήκη και Κέντρο Πληροφόρησης Πανεπιστημίου Πελοποννήσου

Λέξεις-κλειδιά: Ασύρματες Επικοινωνίες, Μετρήσεις, ΗΜΕ, 5G, Drones

Doi:

Abstract

The popularity of mobile communications and the advent of 5G wireless systems has spurred a new wave of discussions and worries about the health effects of electromagnetic energy (EME) exposure. The PANDORA project started in May 2021 and is funded by the Peloponnese Region. The objective is to establish a modern independent EME observatory that will study and measure exposure from wireless networks, 5G in particular. In this context, combination of measurements will be carried out in different areas of the Peloponnese Region with state of the art equipment: terrestrial – airborne with drones, narrowband – wideband, static – mobile, EME – system. This article presents an overview, the current status and initial results from the PANDORA project.

© 2023 Library and Information Center, University of the Peloponnese

Keywords: Wireless Communications, Measurements, 5G, EME, Drones

1. Το 5G και τί θα προσφέρει στην έξυπνη ανάπτυξη

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση προσφέρει μια ευκαιρία σε ποικίλους τομείς να ενισχύσουν την ανταγωνιστικότητά τους και να συμβάλουν στις οικονομίες των περιφερειών, υποστηρίζοντας παράλληλα τους στόχους των Ηνωμένων Εθνών για βιώσιμη ανάπτυξη. Η βιομηχανική αυτή επανάσταση τροφοδοτείται από τις καθιερωμένες και τις αναδυόμενες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένου του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT), της τεχνητής νοημοσύνης, των προηγμένων αναλύσεων δεδομένων, της διαδικασίας αυτοματισμών και γενικότερα της ρομποτικής, του cloud computing, της εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας (virtual - augmented reality), της 3D εκτύπωσης και των drones. Ο βασικότερος ίσως παράγοντας που επιτρέπει στις τεχνολογίες αυτές να αξιοποιηθούν πλήρως το δυναμικό τους είναι η συνδεσιμότητα.

Οι βιομηχανικές επαναστάσεις χαρακτηρίζονται από τη μετεξέλιξη των δικτύων υποδομής. Ο ηλεκτρισμός τροφοδότησε τη δεύτερη και τρίτη βιομηχανική επανάσταση, καθώς επιτεύχθηκαν οικονομίες κλίμακας με τη σύνδεση μέσω δικτύων μεταφοράς υψηλής τάσης, των μεγάλων εγκαταστάσεων με τα δίκτυα τοπικής διανομής και τους απομακρυσμένους χρήστες. Η δυναμική της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης είναι ευρέως αποδεκτό ότι θα υλοποιηθεί πλήρως μέσω της εκτεταμένης ανάπτυξης των δικτύων επικοινωνίας 5G.

Η μετάβαση στο 5G περιλαμβάνει μια νέα αρχιτεκτονική δικτύου από άκρο σε άκρο και παρουσιάζει πολλά καθοριστικά χαρακτηριστικά που την καθιστούν μοναδική [1-6]. Οι βασικοί λειτουργικοί άξονες της τεχνολογίας 5G, η προστιθέμενη αξία και οι εφαρμογές μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

1. Αυξημένες δυνατότητες ευρυζωνικής επικοινωνίας στα κινητά (Enhanced mobile broadband -eMBB), δηλαδή γρήγορες συνδέσεις, υψηλό ρυθμό μετάδοσης και μεγάλη χωρητικότητα (έως 10 Gbps).
Προστιθέμενη αξία: επιτρέπει επέκταση της κυψελωτής κάλυψης και την ικανότητα χειρισμού μεγάλου αριθμού συσκευών και τεράστιου όγκου δεδομένων.
Εφαρμογές: ευρυζωνική κάλυψη εντός κτιρίων, υπηρεσίες εικονικής και μικτής πραγματικότητας, δημόσια προστασία και υπηρεσίες απόκρισης σε καταστροφές, υπηρεσίες με συνεχή και πραγματικού χρόνου ροή βίντεο, απομακρυσμένη ιατρική εξέταση και χειρουργική, κ.α.
2. Αξιοπίστη επικοινωνία με χαμηλή καθυστέρηση (Ultra-reliable low latency communication - uRLLC).
Προστιθέμενη αξία: μειωμένος χρόνος για φόρτωση δεδομένων από μια ασύρματη συσκευή (1 ms σε σύγκριση με 50 ms στο 4G).
Εφαρμογές: αυτόνομα οχήματα, αεροσκάφη και ρομποτικές εφαρμογές, συστήματα παρακολούθησης της υγείας, έξυπνο δίκτυο και μέτρηση, έξυπνη μεταφορά, αυτοματισμό εργοστασίων, απομακρυσμένη λειτουργία συσκευών, αυτόματη οδήγηση αυτοκινήτων, υπηρεσίες ασφάλειας, υψηλής απόδοσης παιχνίδια σε πραγματικό χρόνο κλπ.

3. Ικανότητα για μεγάλη ασφάλεια, που οδηγεί σε υψηλή αξιοπιστία και διαθεσιμότητα.
Προστιθέμενη αξία: δημιουργεί μια εξαιρετικά αξιόπιστη σύνδεση και μπορεί να υποστηρίξει εφαρμογές όπου η διακοπή της επικοινωνίας δεν είναι επιλογή.
Εφαρμογές: όπως και στην περίπτωση (2).
4. Μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής (Massive machine type communications - mMTC) που θα οδηγήσει σε αυξημένη φασματική απόδοση μέσω της ανάπτυξης μικρών κυψελών.
Προστιθέμενη αξία: επιτρέπει έναν μεγάλο αριθμό συνδέσεων για υποστήριξη εφαρμογών με μεγάλη κίνηση δεδομένων.
Εφαρμογές: υπηρεσίες για παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων και προληπτική συντήρηση, έξυπνες πόλεις / κτίρια / γεωργία, διαχείριση ενέργειας/υπηρεσίες κοινής ωφέλειας μέσω διαδικτύου, βιομηχανικός αυτοματισμός, έξυπνη εφοδιαστική (προηγμένη τηλεματική), έξυπνο δίκτυο και τηλεμέτρηση, έξυπνες καταναλωτικές φορητές συσκευές, περιβαλλοντική διαχείριση, έξυπνη παρακολούθηση και ανάλυση βίντεο κλπ.
5. Καλύτερη ενεργειακή απόδοση λόγω χαμηλότερων απαιτήσεων ισχύος για την υλοποίηση της επικοινωνίας (συστήματα MIMO), και της ευρείας χρήσης μικρών κυψελών [7-12].
Προστιθέμενη αξία: Οδηγεί σε μείωση κόστους και δυνατότητα μαζικού Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT).
Εφαρμογές: όπως και στην περίπτωση (4).

Μαζί αυτά τα καθοριστικά χαρακτηριστικά θα μετασχηματίσουν πολλούς ζωτικούς τομείς, όπως τη μεταποίηση, τις μεταφορές, τις δημόσιες υπηρεσίες και την υγεία. Οικονομικές αναλύσεις όπως π.χ. στο [1], εκτιμούν ότι η έξυπνη διασύνδεση που θα υλοποιηθεί μέσω των δικτύων 5G θα αποτελέσει καταλύτη για κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, με εκτιμώμενη ετήσια παγκόσμια οικονομική αξία της τάξης των 13 τρισεκατομμυρίων δολαρίων το 2035 και ταυτόχρονη δημιουργία ~22 εκατομμυρίων θέσεων εργασίας.

2. Το πρόβλημα

Παρόλο που τα δίκτυα 5G αποτελούν κατά κοινή ομολογία ίσως το βασικότερο μοχλό επιτάχυνσης της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης, έχει παρατηρηθεί παράλληλα και μια διογκούμενη ανησυχία πολιτών για τους πιθανούς κινδύνους που μπορεί να έχει η έκθεση στην ηλεκτρομαγνητική (ΗΜ) ακτινοβολία από τα συστήματα αυτά [13]. Ενώ οι αντιδράσεις στην ανάπτυξη των δικτύων 5ης γενιάς κινητής τηλεφωνίας ήταν μάλλον αναμενόμενες, όπως και στις προηγούμενες γενιές, η έκταση τους αυτή τη φορά είναι σημαντικά μεγαλύτερη. Αυτό συμβαίνει εν μέρει εξαιτίας της γρήγορης και εκτεταμένης διάδοσης πληροφοριών και απόψεων, πολλές φορές μη επιβεβαιωμένων, μέσω των

κοινωνικών δικτύων και του διαδικτύου γενικά. Επιπλέον, οι υπερβολικά υψηλές προσδοκίες από τη νέα τεχνολογία, που ξεπερνούν κατά πολύ τις προηγούμενες γενιές, έχουν προκαλέσει αυξημένη δυσπιστία αλλά και καχυποψία σε τμήματα του πληθυσμού. Σε διάφορες χώρες, παρατηρήθηκαν περιστατικά καταστροφής κεραιών κινητής τηλεφωνίας, ακόμη και σε περιοχές όπου οι κεραίες δεν είχαν σχέση με την τεχνολογία 5G και λειτουργούσαν εκεί για χρόνια παρέχοντας υπηρεσίες προηγούμενων γενεών. Στην Ελλάδα, οι αντιδράσεις εκδηλώθηκαν κυρίως με διαμαρτυρίες και αντιπαραθέσεις με τα συνεργεία εγκατάστασης κεραιών ή τους ιδιοκτήτες κτιρίων που φιλοξενούσαν σταθμούς βάσης. Ένα ενδεικτικό περιστατικό ήταν η απόφαση του δημοτικού συμβουλίου Καλαμάτας να ακυρώσει την άδεια της WIND για την πιλοτική λειτουργία του 5G, αντανακλώντας τον φόβο των πολιτών, όχι ως μέσο πίεσης για την ενίσχυση της διερεύνησης και ενημέρωσης, αλλά ως μέσο πίεσης για την άμεση επιβολή πολιτικών αποφάσεων. Η ενδεχόμενη ευρεία αποδοχή μιας τέτοιας κίνησης θα είχε όμως ως επακόλουθο να αποτρέψει την υλοποίηση του βασικού, οριζόντιου τομέα των ΤΠΕ, ανατρέποντας ουσιαστικά την υλοποίηση ενός μεγάλου μέρους της στρατηγικής έξυπνης εξειδίκευσης στην Περιφέρεια Πελοποννήσου, δεδομένου ότι το 5G σχετίζεται άρρηκτα με όλους τους επιλεγμένους κλάδους. Είναι επομένως αυτονόητη η καθυστέρηση της ενίσχυσης των περιφερειακών συστημάτων καινοτομίας και της επακόλουθης διάχυσης των οφελών σε όλο το εύρος της περιφερειακής οικονομίας.

Από την άλλη πλευρά υπάρχει βέβαια το θέμα της μεθοδολογίας της εκτίμησης της ΗΜ ακτινοβολίας από σταθμούς βάσης 5G έτσι ώστε οι μετρήσεις να δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα με καλό βαθμό βεβαιότητας. Η τρέχουσα μεθοδολογία για τον προσδιορισμό των λαμβανόμενων επιπέδων ΗΜ πεδίων βασίζεται στην παραδοχή ότι οι κεραίες εκπομπής χαρακτηρίζονται από γνωστό και προβλέψιμο διάγραμμα ακτινοβολίας [8]. Επιπλέον, θεωρεί μια πολύ συντηρητική εκτίμηση, ότι ο σταθμός βάσης μεταδίδει ραδιοσήματα με τη θεωρητική μέγιστη ισχύ, καθώς και ότι η κατανομή ΗΜ ακτινοβολίας στην περιοχή του σταθμού βάσης είναι ημι-αιτιοκρατική εκ φύσεως. Ωστόσο, και οι δύο αυτές υποθέσεις δεν είναι κατάλληλες για τη νέα τεχνολογία 5G. Τα κεραιο-συστήματα 5G διαφέρουν σημαντικά από αυτά που χρησιμοποιούνται στα κινητά συστήματα 4G, καθώς μπορεί να περιλαμβάνουν πολλές κεραίες που λειτουργούν σε υψηλότερες συχνότητες (3,4 GHz έως 6 GHz και 20 GHz έως 60 GHz). Επιπλέον, η 3D διαμόρφωση δέσμης (beamforming) επιτρέπει την οδήγηση της ακτινοβολίας τόσο σε οριζόντιο όσο και σε κατακόρυφο επίπεδο, μεταδίδοντας το σήμα ακριβώς προς την κατεύθυνση του τερματικού λήψης. Επιπλέον, η τεχνολογία 5G κάνει εκτεταμένη χρήση της τεχνικής αμφιδρόμησης Διαίρεσης Χρόνου (Time Division Duplex - TDD) και η μετάδοση κάτω ζεύξης γίνεται μόνο στο χρονικό διάστημα που διατίθεται για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ του σταθμού βάσης και του τερματικού σταθμού. Συμπερασματικά λοιπόν, η νέα μεθοδολογία για το 5G μάλλον πρέπει να υιοθετήσει δύο είδη διαδικασιών εύρεσης μέσης τιμής: τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο του χώρου [9-12].

Λαμβάνοντας υπόψη τις αλληλεπικαλυπτόμενες κυψέλες και τις πολλαπλές τεχνολογίες ραδιοεπαφών, η μεθοδολογία πρέπει επίσης να εξετάσει το συνδυασμό των αναλογιών έκθεσης από πολλαπλές συχνότητες και πολλαπλές πηγές σημάτων. Το ανθρώπινο σώμα επηρεάζεται από τη

συσσωρευτική έκθεση σε ΗΜ πεδία. Επομένως πρέπει να συμπεριληφθούν όλες οι πηγές που ανήκουν σε διαφορετικές ραδιοτεχνολογίες που συνυπάρχουν σε μια συγκεκριμένη περιοχή στον υπολογισμό του σωρευτικού επιπέδου έκθεσης σε ΗΜ πεδία.

3. Το έργο ΠΑΝΔΩΡΑ

Για να μπορέσει να αντιστραφεί αυτό το κλίμα που έχει δημιουργηθεί θα πρέπει να εστιάσουμε στην παροχή συγκεκριμένων απαντήσεων στα ερωτήματα που γνωρίζουμε ότι έχουν διατυπωθεί τόσο από τους διάφορους επιστημονικούς φορείς, όσο και πολιτών. Πρέπει επομένως:

1. να υπάρχει ανεξαρτησία του φορέα που πραγματοποιεί τις μετρήσεις, από
 - εταιρείες κινητής τηλεφωνίας
 - επιτροπές που θεσπίζουν όρια έκθεσης στην ΗΜ ακτινοβολία
 - κρατικούς φορείς που συμμετέχουν σε επιτροπές που θεσπίζουν όρια έκθεσηςγια να αυξηθεί το αίσθημα αξιοπιστίας, αποκλείοντας οποιαδήποτε υποψία γύρω από το θέμα της 'σύγκρουσης συμφερόντων'.
2. να εξηγηθεί η μεθοδολογία εκτίμησης της ΗΜ ακτινοβολίας από σταθμούς βάσης 5G με μετρήσεις που δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα με καλό βαθμό βεβαιότητας, λαμβάνοντας υπόψη τα τεχνικά χαρακτηριστικά του 5G.
3. να πραγματοποιηθεί αντιπροσωπευτική καμπάνια μετρήσεων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που θα περιλαμβάνουν
 - i) τυχαίες χρονικές στιγμές, επαναλαμβανόμενες ή συνεχείς για μεγαλύτερη χρονική διάρκεια
 - ii) διαφορετικές τοποθεσίες και πόλεις, που θα καλύπτουν περιπτώσεις συγκέντρωσης πληθυσμού
 - iii) διαφορετικές συχνοτικές μπάντες λειτουργίας του 5G ξεκινώντας από τη φασματική περιοχή ως 6GHz για την πρώτη φάση υλοποίησής του, αλλά και για τη μελλοντική χρήση στη μιλιμετρική μπάντα.
 - iv) τη συσσωρευτική διάσταση των επιπτώσεων της ΗΜ ακτινοβολίας στον άνθρωπο
 - ως προς την έκθεση στα διαφορετικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (2G, 3G, 4G και 5G), και λόγω του γεγονότος ότι όλα τα συστήματα λειτουργούν ταυτόχρονα, αλλά και διότι δεδομένης μιας ζήτησης παροχής υπηρεσίας, η χαμηλότερη χρήση ενός συστήματος μπορεί να σημαίνει ταυτόχρονα υψηλότερη ενός άλλου.
 - ως προς την έκθεση σε ακτινοβολία με παρόμοια χαρακτηριστικά, π.χ. από σταθμούς τηλεόρασης, WiFi, κλπ.

Ο τρόπος υλοποίησης της πράξης ΠΑΝΔΩΡΑ βασίζεται στους τρεις πυλώνες της προτεινόμενης λύσης του προβλήματος:

Καταρχήν δημιουργήθηκε η απαραίτητη υποδομή στο πλαίσιο ενός παρατηρητήριου ΗΜ ακτινοβολίας, από τον μοναδικό ανεξάρτητο τοπικό φορέα που διαθέτει επιστημονική εγκυρότητα και κατάλληλη εξειδίκευση, στην Περιφέρεια Πελοποννήσου, το εργαστήριο Ασυρμάτων και Κινητών Επικοινωνιών του τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου.

Κατόπιν, το θέμα της αποτελεσματικής καταγραφής και ανάλυσης της λαμβανόμενης ακτινοβολίας θα αντιμετωπιστεί αφενός με την ανάλυση των υπάρχουσών επιστημονικών μεθόδων και αφετέρου με τον καινοτόμο συνδυασμό δύο μετρητικών μεθοδολογιών που θα πραγματοποιηθούν τόσο σε επίπεδο λειτουργίας ασύρματου δικτύου όσο και εκπομπών ΗΜ ακτινοβολίας. Με αυτόν τον τρόπο θα αποκτηθούν επιπλέον σημαντικές πληροφορίες στα συστήματα 5G, οι οποίες βρίσκονται στο επίπεδο του συστήματος/δικτύου.

Ο τελευταίος πυλώνας αφορά στην πραγματοποίηση καμπάνιας μετρήσεων τόσο επιμέρους στα διαφορετικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 2G-4G, και φυσικά με ιδιαίτερη έμφαση στο 5G, όσο και συσσωρευτικά ως προς την έκθεση σε ακτινοβολία με παρόμοια χαρακτηριστικά από σταθμούς τηλεόρασης, δίκτυα WiFi, κλπ. Αυτό θα βασιστεί στον επίσης καινοτόμο συνδυασμό με μετρήσεις τόσο στο έδαφος όσο και σε διαφορετικά ύψη, με τη χρήση drones (π.χ. [14]), οι οποίες θα πραγματοποιηθούν με τον απαραίτητο μετρητικό εξοπλισμό.

Τα ανωτέρω υλοποιούνται στο πλαίσιο διαφορετικών Πακέτων Εργασίας (ΠΕ) του έργου από το εργαστήριο Ασυρμάτων και Κινητών Επικοινωνιών, με μια ομάδα που περιλαμβάνει τέσσερα μέλη ΔΕΠ/ΕΔΙΠ, έναν μεταδιδάκτορα, έναν υποψήφιο διδάκτορα, έναν μεταπτυχιακό φοιτητή, και έξι φοιτητές.

Η πράξη ΠΑΝΔΩΡΑ (Παρατηρητήριο ελέγχου ΗΜ Ακτινοβολίας στην Περιφέρεια Πελοποννήσου για Δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έως και 5G με προτεραιότητα την προστασία του πολίτη) εντάχθηκε στο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Πελοπόννησος 2014-2020», ξεκίνησε να υλοποιείται 1/5/2021 και είχε αρχική διάρκεια έως 30/4/2023. Το έργο μεταφέρθηκε στο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Πελοπόννησος 2021- 2027» και έχει νέα καταληκτική ημερομηνία 30/11/2024, [15].

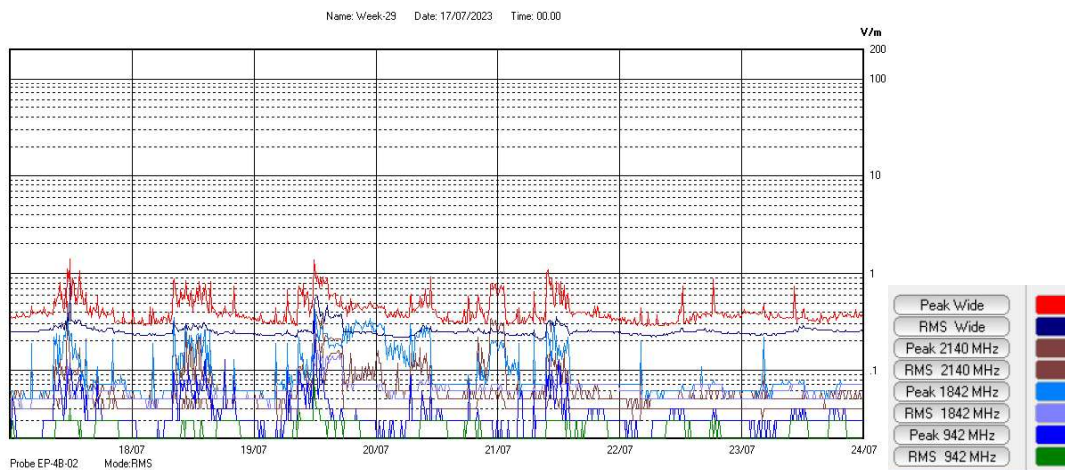
4. Πρώτα αποτελέσματα του έργου ΠΑΝΔΩΡΑ

4.1 Μετρήσεις 24ώρου με μετρητές ΗΜ ακτινοβολίας συνεχούς παρακολούθησης

Οι δύο σταθεροί μετρητές ξεκίνησαν να λειτουργούν το Νοέμβριο του 2022 και τοποθετήθηκαν στο εσωτερικό του εργαστηρίου Ασυρμάτων και Κινητών Επικοινωνιών (Εικόνα 1). Ακολούθησε μια περίοδος δοκιμών και ελέγχου σωστής λειτουργίας τους και σε όλο το χρονικό διάστημα έως σήμερα οι σταθμοί πραγματοποιούν μετρήσεις. Στη συνέχεια παρουσιάζονται στην Εικόνα 2 ενδεικτικές εβδομαδιαίες μετρήσεις για την περίοδο 17/7/2023 – 23/7/2023, για τις συχνότητες της κινητής τηλεφωνίας.



Εικόνα 1: Σταθερός μετρητής ΗΜ ακτινοβολίας 24ώρου (AMS806i)



Εικόνα 2: Εβδομαδιαία 24ωρη μέτρηση τον Ιούλιο του 2023 (17/07/2023 00:00 έως 23/07/2023 23:59)

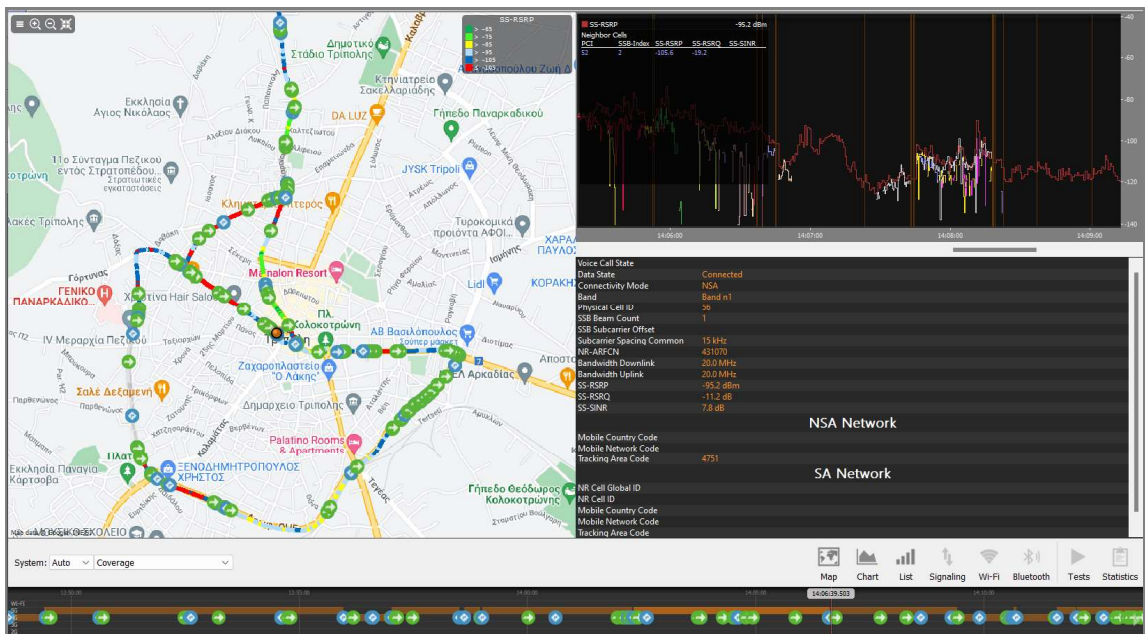
4.2 Μετρήσεις συστημάτων κινητής τηλεφωνίας

Το μετρητικό σύστημα Echo (One, Cloud, Studio) της Enhancell χρησιμοποιήθηκε από την ομάδα του έργου για εκτεταμένες χωρικά μετρήσεις συστήματος για τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και ειδικότερα για τα δίκτυα 4^{ης} και 5^{ης} γενιάς και για τους τρεις παρόχους κινητής τηλεφωνίας (Εικόνες 3 και 4). Στις Εικόνες 5 και 6 παρουσιάζονται ενδεικτικά αποτελέσματα μετρήσεων στην πόλη της Τρίπολης για έναν από τους παρόχους (πάροχος Α). Συγκεκριμένα παρουσιάζεται η διαθεσιμότητα των δικτύων 4G-5G (Εικόνα 5) και η ισχύς των σημάτων (Εικόνα 6) στα συστήματα αυτά, κατά μήκος της διαδρομής μέτρησης.

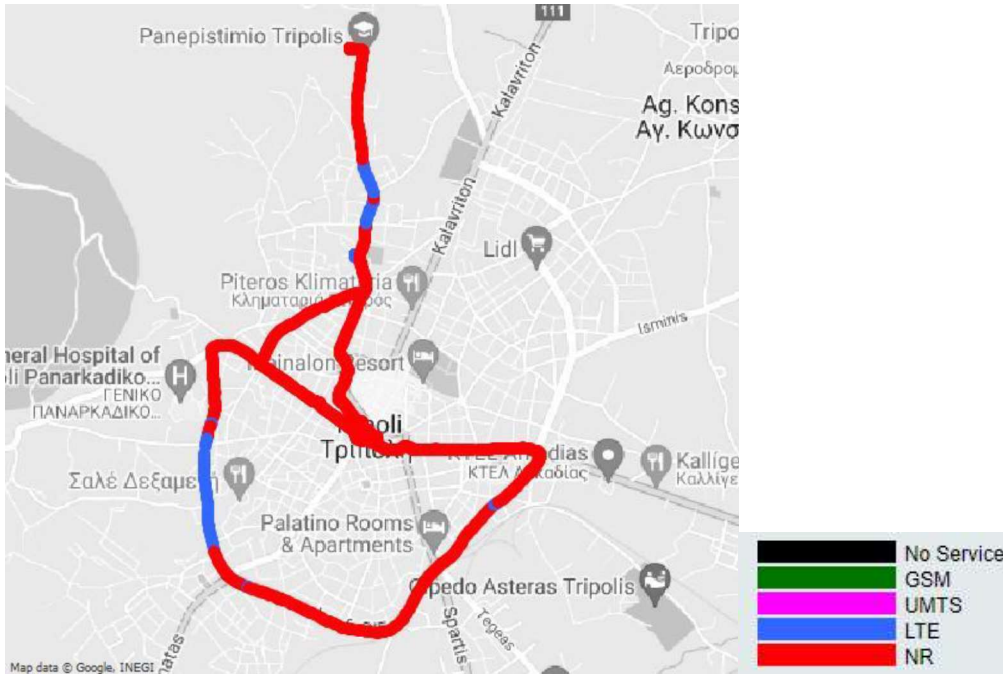
Μετρήσεις 5G στην Περιφέρεια Πελοποννήσου: το έργο «ΠΑΝΔΩΡΑ»



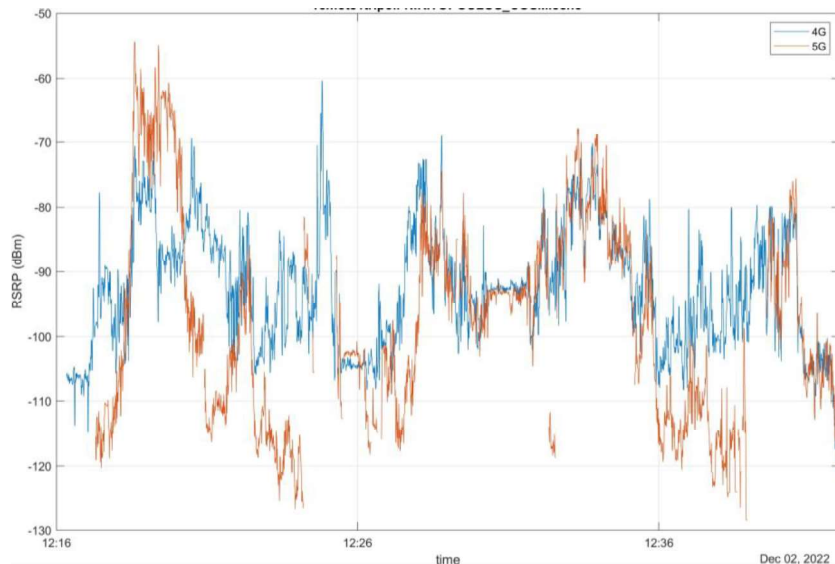
Εικόνα 3: Λειτουργία έξι κινητών Echo One μέσω του Echo Studio



Εικόνα 4: Περιβάλλον χρήση του Echo Studio



Εικόνα 5: Διαθεσιμότητα συστημάτων στη διαδρομή ΤΡΙΠΟΛΗ, 02.12.2022, (Πάροχος Α).



Εικόνα 6: Μέτρηση ισχύος σήματος (RSRP) για το 4G και 5G, στη ΤΡΙΠΟΛΗ, 02.12.2022, (Πάροχος Α).

4.3 Μετρήσεις με τους κινητούς μετρητές ΗΜ ακτινοβολίας



Για τον έλεγχο των επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε πολλαπλά σημεία ενδιαφέροντος της Περιφέρειας Πελοποννήσου, χρησιμοποιήθηκαν οι συχνοεπιλεκτικοί μετρητές Narda SRM3006, εύρους ζώνης λειτουργίας ως τα 6 GHz, Εικόνα 7. Στον Πίνακα 1 και στην Εικόνα 8 παρουσιάζονται η τοποθεσία

Μετρήσεις 5G στην Περιφέρεια Πελοποννήσου: το έργο «ΠΑΝΔΩΡΑ»

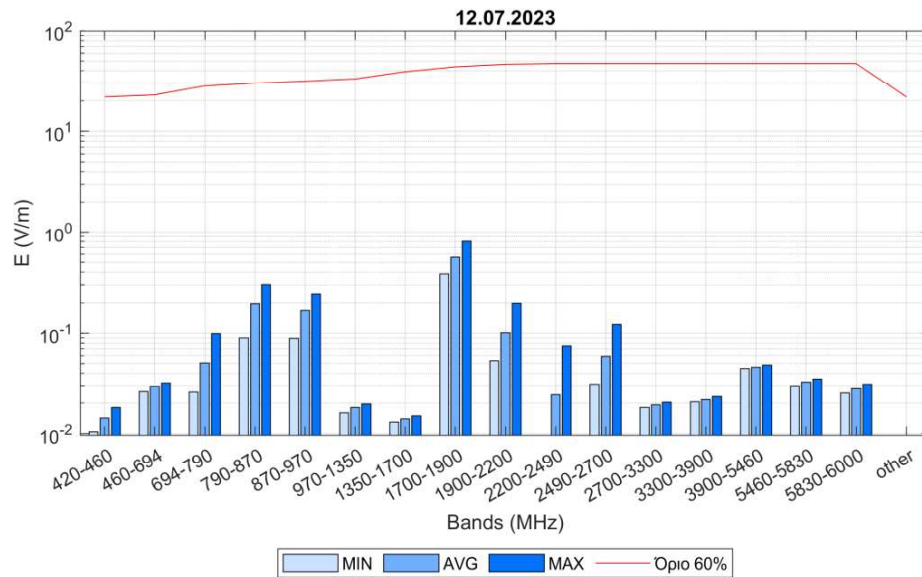
της μέτρησης και του μετρητικού συστήματος, και τα αποτελέσματα από 420 MHz ως και τα 6 GHz.



Εικόνα 7: Εργαστηριακό τεστ δύο SRM3006 σε συνδυασμό με την λειτουργία τριών τερματικών κινητής που είναι συνδεδεμένα σε 2G, 4G και 5G.

	
ID:	20230712_Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών
Ημερομηνία:	12 Ιουλίου 2023
Ώρα:	10:20
GPS:	37°31'37.5" N 22°22'19.6" E

Πίνακας 1: Μέτρηση στο προαύλιο του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών στην Τρίπολη (12 Ιουλίου 2023).



Εικόνα 8: Ένταση ηλεκτρικού πεδίου στις συχνοτικές μπάντες που ορίζονται από την ΕΕΑΕ

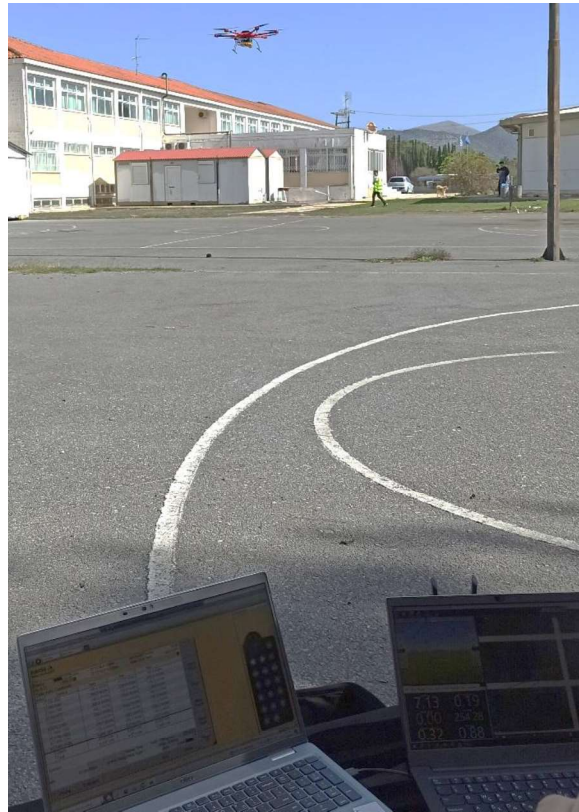
4.4 Πιλοτική λειτουργία του μετρητικού συστήματος με drones

Η πιλοτική λειτουργία του μετρητικού συστήματος με drones αφορούσε:

Α') στην τοποθέτηση του SRM-3006 πάνω στο ένα drone. Αυτό έγινε με την κατασκευή κατάλληλης βάσης πάνω στην οποία τοποθετήθηκαν επίσης ένα mini pc με την τροφοδοσία του από το drone, και wifi extender (Εικόνα 9) για την μετάδοση των μετρήσεων του SRM-3006 στο laptop του χειριστή στο έδαφος (Εικόνα 10).



Εικόνα 9: Στήριξη του SRM-3006 στο drone



Εικόνα 10: Δοκιμαστικές πτήσεις drones και μετρήσεις με Narda SRM3006 στον προαύλιο χώρο του κτηρίου του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών



Εικόνα 11: Στήριξη των Echo One μετρητικών κινητών στο drone

Β') στην τοποθέτηση τεσσάρων (4) τερματικών συσκευών κινητής με το Echo One στο δεύτερο drone. Αυτό έγινε με την χρήση κατάλληλων ρυθμιζόμενων βάσεων κινητών τηλεφώνων που τοποθετήθηκαν στις (4) βάσεις στήριξης του drone, όπως φαίνεται στην Εικόνα 11. Μετρήσεις με κάθε drone/μετρητικό σύστημα ξεχωριστά, αλλά και με τα δύο drones/μετρητικά συστήματα μαζί

πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο του έργου, και θα παρουσιαστούν σε επόμενες ανακοινώσεις/δημοσιεύσεις.

5. Ευχαριστίες

Η πράξη ΠΑΝΔΩΡΑ (Παρατηρητήριο ελέγχου ΗΜ Ακτινοβολίας στην Περιφέρεια Πελοποννήσου για Δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έως και 5G με προτεραιότητα την προστασία του πολίτη), με Κωδικό ΟΠΣ 6001405, χρηματοδοτείται από το ΕΣΠΑ 2021-2027 και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση, στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Πελοπόννησος 2021- 2027».

6. Βιβλιογραφία - Παραπομπές

- [1] IHS Markit, The 5G Economy: How 5G will contribute to the global economy, November 2019, <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/ihs-5g-economic-impact-study-2019.pdf>.
- [2] Athanasiadou G.E., Fytabanis P., Zarbouti D.A., Tsoulos G.V., Gkonis P.K., Kaklamani D.I., “Radio Network Planning towards 5G mmWave Standalone Small-Cell Architectures”, In: MDPI Open Access Journals, Electronics, 9 (2), Special Issue Antennas and Propagation Aspects for Emerging Wireless Communication Technologies, pp. 339, 2020.
- [3] Tsoulos G.V, Bulakci Ö., Zarbouti D.A., Athanasiadou G.E., Kaloxylos A., “Performance of Vehicular Nomadic Node Operation in Realistic Multicellular Wireless Networks”, In 2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference, Sydney, Australia, 2017.
- [4] Tsoulos G.V., Bulakci Ö., Zarbouti D.A., Athanasiadou G.E., Kaloxylos A., “Dynamic Wireless Network Shaping via Moving Cells: The Nomadic Nodes Case”, Wiley Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 2016.
- [5] Athanasiadou G.E, Tsoulos G.V., Zarbouti D.A., Valavanis I.K., “Optimizing Radio Network Planning Evolution Towards Microcellular Systems”, *Wireless Personal Communications*.
- [6] Valavanis I.K., Zarbouti D.A., Athanasiadou G.E., Tsoulos G.V., “Basestation Antenna Pattern Reconfiguration for Minimum Transmit Power Network Planning”, In *Green Communications (OnlineGreenComm)*, 2015 *IEEE Online Conference On*, 66–71, 2015.
- [7] Tsoulos, George V., Editor, “MIMO System Technology for Wireless Communications”, CRC Press, 2006, ISBN: 9780849341908 .
- [8] Koutsi E.; Deligiannis S., Sarantopoulos I., Zarbouti D.A., Athanasiadou G.E., and Tsoulos G.V., “Radiation Measurements in Office Environment with Wi-Fi, 3G and 4G Users.” In *International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST) on Electronics and Communications*. Thessaloniki, Greece, 2019.
- [9] Tsoulos G.V., McGeehan J.P., Beach M.A., “Space Division Multiple Access (SDMA) Field Trials – Part I: Tracking and BER Performance”, In *IEE*

- Proceedings on Radar, Sonar and Navigation, special issue on Antenna Array Processing Techniques, pp. 73-78, February 1998.
- [10] Tsoulos G.V., McGeehan J.P., Beach M.A., “Space Division Multiple Access (SDMA) Field Trials – Part II: Calibration and Linearity issues”, In IEE Proceedings on Radar, Sonar and Navigation, special issue on Antenna Array Processing Techniques, pp. 79-84, February 1998.
- [11] Tsoulos G.V. and Athanasiadou G.E., “On the application of adaptive antennas to microcellular environments: Radio channel characteristics and system performance”, In IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 51, no 1, pp. 1-16, January 2002.
- [12] Tsoulos, George V, Editor, “Adaptive Antennas for Mobile Communications”, Wiley, 2001, ISBN: 978-0-7803-6016-7.
- [13] Γ. Αθανασιάδου, Ι. Ραυτόπουλος, Γ. Τσούλος ‘5G: νέα γενιά, παλιές ανησυχίες’, Διεπιστημονικό περιοδικό ΠΕΛΟΠΑΣ, Τόμος5, τεύχος2, Ιούνιος-Δεκέμβριος 2021, ISSN2529-1831 (Online).
- [14] Goudos S.K., Tsoulos G.V., Athanasiadou G.E., et.al., “Artificial Neural Network Optimal Modeling and Optimization of UAV Measurements for Mobile Communications Using the L-SHADE Algorithm”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation 67: 4022–31.
- [15] <http://wmclab.uop.gr/pandora/>