



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΑΠΟ
ΚΕΡΑΙΕΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ Δ. ΑΠΟΣΤΟΛΟΠΟΥΛΟΣ
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Χ. ΜΠΟΥΓΙΟΥΚΟΣ**

Επιβλέπων : Φίλιππος Κωνσταντίνου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Απρίλιος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΑΠΟ ΚΕΡΑΙΕΣ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Δ. ΑΠΟΣΤΟΛΟΠΟΥΛΟΣ
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Χ. ΜΠΟΥΓΙΟΥΚΟΣ

Επιβλέπων : Φίλιππος Κωνσταντίνου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Φ.Κωνσταντίνου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Χ.Καυάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Α.Παναγόπουλος
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Απρίλιος 2010

.....

Γεώργιος Δ. Αποστολόπουλος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

.....

Δημήτριος Χ. Μπουγιούκος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Γεώργιος Δ. Αποστολόπουλος, 2010

Copyright © Δημήτριος Χ. Μπουγιούκος, 2010

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Μετρήσεις Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας από Κεραίες Κινητής Τηλεφωνίας

Στο Δημήτρη, στην Αγγελική και στη Βίβιαν

Γεώργιος Δ. Αποστολόπουλος

Στην οικογένεια μου και στους φίλους μου

Δημήτριος Χ. Μπουγιούκος

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή μας Φίλιππο Κωνσταντίνου που μας έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθούμε με το αντικείμενο που μας ενδιαφέρει καθώς και για την βοήθεια του και τις συμβουλές του καθ'όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	9
Abstract	10
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	11
1.1 Περί σταθμών βάσης και δικτύου κινητής τηλεφωνίας	11
1.2 Το δίκτυο GSM.....	15
Κεφάλαιο 2: Διάδοση σε περιβάλλον κινητών επικοινωνιών	16
2.1 Μηχανισμοί διάδοσης.....	16
2.2 Απώλειες διαδρομής	17
2.2.1 Απώλειες διαδρομής για διάδοση ελευθέρου χώρου.....	17
2.2.2 Απώλειες διαδρομής για διάδοση μη οπτικής επαφής.....	18
2.2.3 Σκίαση και απώλειες διαδρομής.....	19
2.3 Διαλείψεις στο ασύρματο περιβάλλον των κινητών επικοινωνιών	19
2.3.1 Διαλείψεις μεγάλης κλίμακας (Large Scale Fading).....	21
2.3.2 Διαλείψεις μικρής κλίμακας (Small Scale Fading)	22
2.3.2.1 Ολίσθηση και εξάπλωση Doppler	22
2.3.2.2 Παράμετροι διαύλων με πολλαπλές διαδρομές.....	23
2.3.2.3 Κατηγορίες διαλείψεων μικρής κλίμακας	25
2.4 Βασικές κατανομές για μοντελοποίηση προβλημάτων διάδοσης	28
2.4.1 Κατανομή Rayleigh.....	28
2.4.2 Κατανομή Rice	29
Κεφάλαιο 3: Εκτίμηση της μέσης τιμής της έντασης ενός σήματος σε περιβάλλον κινητών επικοινωνιών	30
3.1 Εισαγωγή	30
3.2 Εκτίμηση της μέσης έντασης του λαμβανόμενου σήματος.....	30
3.2.1 Υπολογισμός του μήκους L και του αριθμού δειγμάτων N	31
3.2.2 Μέσος όρος δειγμάτων (Sampling Average)	35
3.2.3 Δέκτης με λογαριθμική συνάρτηση εξόδου	40
3.3 Συμπεράσματα.....	42
Κεφάλαιο 4: Ευρυζωνικός μετρητής ηλεκτρομαγνητικού πεδίου Narda NBM-550	43
4.1 Γενικά στοιχεία.....	43
4.2 Προετοιμασία του NBM-550 πριν τη χρήση.....	43

4.3 Περιγραφή των βασικών μενού και λειτουργιών του NBM-550	46
4.3.1 Η οθόνη μετρήσεων	46
4.3.2 Το βασικό μενού	48
4.3.2.1 Λειτουργίες βασικού μενού	48
4.3.2.2 Τα υπό-μενού	49
4.4 Το λογισμικό NBM-TS	51
Κεφάλαιο 5: Επιλεκτικός μετρητής ακτινοβολίας SRM-3000	53
5.1 Γενικά Στοιχεία	53
5.2 Προετοιμασία του μετρητικού εξοπλισμού πριν τη χρήση	54
5.3 Βασικές λειτουργίες του SRM-3000	56
5.4 Μεθοδολογία μετρήσεων με τη χρήση του SRM-3000	60
5.4.1 Μετρήσεις με τη χρήση του τριαξονικού probe της Narda	61
5.4.2 Μετρήσεις με τη χρήση probes από άλλους κατασκευαστές	61
5.5 Το λογισμικό “SRM-Tools”	61
Κεφάλαιο 6: Αβεβαιότητα μετρήσεων	65
6.1 Εισαγωγή	65
6.2 Ορολογία	65
6.3 Υπολογισμός της αβεβαιότητας με τη μέθοδο BIPM	66
6.4 Αβεβαιότητα της μέτρησης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το όργανο Narda NBM-550	68
6.5 Αβεβαιότητα της μέτρησης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το όργανο SRM-3000	69
Κεφάλαιο 7: Διαδικασία μετρήσεων	71
7.1 Επιλογή του χώρου μετρήσεων	71
7.2 Οριοθέτηση σημείων μέτρησης	77
7.3 Διεξαγωγή των μετρήσεων	77
7.3.1 Μετρήσεις εν στάσει με το SRM-3000	77
7.3.2 Μετρήσεις εν κινήσει με το SRM-3000	80
7.3.3 Μετρήσεις εν στάσει με το SRM-3000 και το NBM-550 ταυτόχρονα	82
7.3.4 Μετρήσεις εν κινήσει με το NBM-550	83
7.4 Παρατηρήσεις επί της διαδικασίας μετρήσεων	84
Κεφάλαιο 8: Επεξεργασία μετρήσεων και εξαγωγή συμπερασμάτων	86
8.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων των μετρήσεων με το NBM-550	86
8.1.1 Παρατηρήσεις	112

Μετρήσεις Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας από Κεραίες Κινητής Τηλεφωνίας

8.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων των μετρήσεων με το SRM-3000	114
8.2.1 Παρατηρήσεις.....	141
8.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων των παράλληλων μετρήσεων με το SRM-3000 και το NBM-550	142
8.3.1 Παρατηρήσεις.....	145
8.4 Γενικές παρατηρήσεις, μελλοντικές εργασίες	145
Βιβλιογραφία	147

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάπτυξη μιας αξιόπιστης μεθόδου συλλογής μετρήσεων για τα επίπεδα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, τόσο από εκπομπές κεραιών κινητής τηλεφωνίας, όσο κι από εκπομπές κεραιών των διαφόρων ασύρματων υπηρεσιών.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν εντός της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου με την βοήθεια του επιλεκτικού μετρητή ακτινοβολίας SRM-3000 και του ευρυζωνικού μετρητή ακτινοβολίας NBM-550.

Η παρούσα διπλωματική αποτελείται από οχτώ κεφάλαια. Τα πρώτα έξι περιέχουν το βασικό θεωρητικό υπόβαθρο που σχετίζεται με το θέμα και τα τελευταία δυο περιέχουν μεθοδολογία μετρήσεων και στατιστική ανάλυση δεδομένων μετρήσεων αντίστοιχα.

Στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των σταθμών βάσης και του κυψελωτού συστήματος. Γίνεται περιγραφή για την ισχύ εκπομπής και το διάγραμμα ακτινοβολίας των κεραιών που χρησιμοποιούν οι σταθμοί βάσης, για τον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ σταθμών βάσης αλλά και μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού τηλεφώνου. Τέλος, παρουσιάζονται οι βασικές ιδιότητες του συστήματος GSM.

Στο Κεφάλαιο 2 μελετάμε την διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε περιβάλλον κινητών επικοινωνιών. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι μηχανισμοί διάδοσης, οι απώλειες διάδοσης και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα φαινόμενα διαλείψεων που εμφανίζονται στις κινητές επικοινωνίες.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται μέθοδοι εκτίμησης του τοπικού μέσου όρου της έντασης ενός σήματος. Γίνεται σύνδεση με την θεωρία του προηγούμενου κεφαλαίου για τους τύπους διαλείψεων και καταλήγουμε στις προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται, ώστε η εκτίμηση να αντιπροσωπεύει την πραγματική μέση τιμή της έντασης με συγκεκριμένο βαθμό βεβαιότητας.

Στα Κεφάλαια 4,5,6 περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά των οργάνων NBM-550 και SRM-3000. Δίνονται πληροφορίες που αφορούν τις κυριότερες λειτουργίες των δύο οργάνων καθώς και των λογισμικών που τα συνοδεύουν NBM-TS και SRM-Tools τα οποία επιτρέπουν την ρύθμιση διαφόρων παραμέτρων. Επίσης, γίνεται και εκτίμηση της αβεβαιότητας των μετρήσεων της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για τα δύο όργανα με βάσει τις προδιαγραφές της κατασκευάστριας εταιρίας.

Τέλος, η διπλωματική ολοκληρώνεται με τα Κεφάλαια 7,8 όπου γίνεται περιγραφή της διαδικασίας λήψης των μετρήσεων, στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων που συγκεντρώθηκαν από τα διάφορα σενάρια μετρήσεων και εξάγονται τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

Λέξεις-κλειδιά: Κεραίες κινητής τηλεφωνίας, 40λ, SRM-3000, NBM-550, τοπική μέση τιμή, διαλείψεις, ρυθμός δειγματοληψίας, ταχύτητα αυτοκινήτου

Abstract

The purpose of this thesis is to develop a reliable method for collecting measurements of the levels of electromagnetic radiation emissions from both mobile phone antennas as and from emissions of the various wireless services.

The measurements were conducted inside the NTUA campus with the use of selective radiation meter SRM-3000 and broadband radiation meter NBM-550.

The present thesis divides in eight chapters. The first six chapters include the basic theoretical knowledge which is relevant to the subject and the other two chapters include measurement methodology and measurement statistic analysis respectively.

Chapter 1 presents the main characteristics of base stations and cellular systems. A description of the transmission power and the radiation pattern of antennas used in base stations is included. Moreover, it is described the way that the base stations work and transmit the required signals so as communication to be achieved with other base stations or mobile phones. Finally, reference is made about the basic properties of the GSM system.

In chapter 2 we study the propagation of radio waves in a mobile environment. The mechanisms of radio propagation are presented along with the theory about propagation loss. Emphasis is given in the fading phenomena that occurs in wireless communications and results in deviation of the attenuation that a carrier-modulated signal experiences over certain propagation media.

In chapter 3 the procedure for obtaining the local average power (also called local mean) of a mobile radio signal is described. Connecting the theory that was mentioned in the previous chapter about the types of fading we conclude to the conditions that must be satisfied in order to estimate the true average power with a degree of certainty.

Chapters 4,5,6 are basically describing the basic features of NBM-550 and SRM-3000. The functions of both meters and the required checks which should be done before the measurements are analyzed. In addition, details are given about the two accompanying software programs NBM-TS and SRM-Tools which enable the user to change parameters or extract data from the field meters.

Finally, the thesis concludes with Chapters 7,8 which describe the procedure of measurements, present the statistical analysis of results obtained by different measurement scenarios and then the respective conclusions are drawn.

Key words: mobile phone antennas, 40λ, SRM-3000, NBM-550, local average power, 1σ spread, large and small scale fading, sampling rate, car's velocity

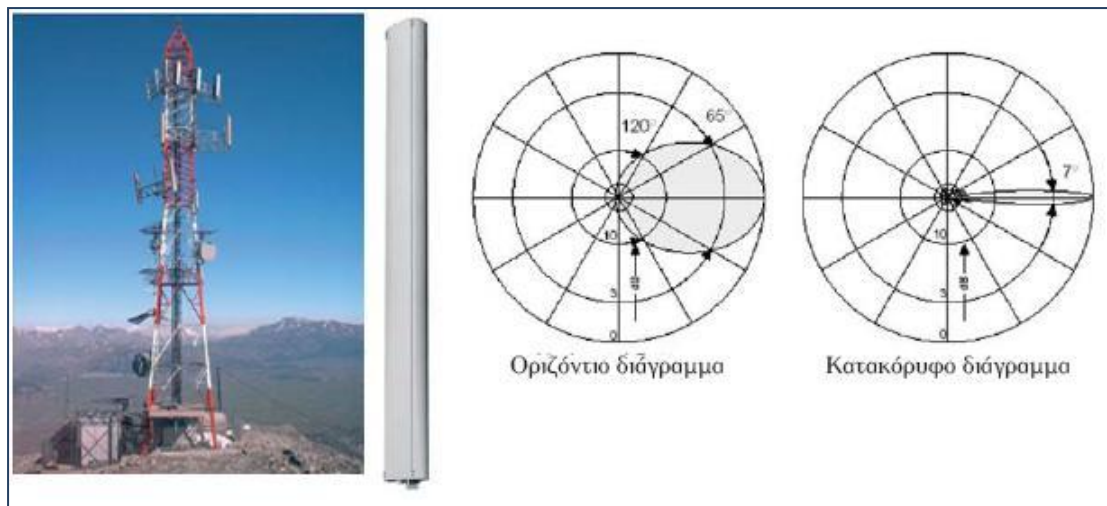
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Περί σταθμών βάσης και δικτύου κινητής τηλεφωνίας

- **Σταθμοί Βάσης**

Οι σταθερές κεραίες που χρησιμοποιούνται για τις ασύρματες επικοινωνίες ονομάζονται σταθμοί βάσης κυψελωτών επικοινωνιών ή πύργοι μετάδοσης κινητής τηλεφωνίας. Ένας σταθμός βάσης αποτελείται από πολλά διαφορετικά εξαρτήματα, συμπεριλαμβανομένων ενός στεγάστρου εξοπλισμού, ενός πύργου ή ιστού που παρέχει το απαραίτητο ύψος για την προσφορά καλύτερης κάλυψης και των πομποδεκτών και κεραίων που βρίσκονται στην κορυφή του πύργου ή ιστού. Σε μερικές περιπτώσεις οι πομποδέκτες και οι κεραίες είναι προσαρτημένα στην κορυφή κτιρίων, όπου το ίδιο το κτίριο προσφέρει το απαραίτητο ύψος. Το τυπικό ύψος εγκαταστάσεων σταθμών βάσης κυμαίνεται μεταξύ 15 και 60 μέτρων. Τα ραδιοσήματα τροφοδοτούνται μέσω καλωδίων προς τις κεραίες και στη συνέχεια εκπέμπονται ως ραδιοκύματα στην περιοχή ή την κυψέλη που περιβάλλει το σταθμό βάσης. Οι κεραίες που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση και λήψη σημάτων προς και από τους κινητούς χρήστες είναι συνήθως περίπου 15-30 εκατοστά σε πλάτος και μέχρι μερικά μέτρα σε μήκος, ανάλογα με την συχνότητα λειτουργίας τους και αποτελούνται από ορθογώνια πλαίσια με διαστάσεις περίπου 0.3-1.2 μέτρων (sector antenna) [1].

Πέρα όμως από τις παραπάνω κεραίες που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία με τα κινητά τηλέφωνα, στους σταθμούς βάσης υπάρχουν και κεραίες σε σχήμα πιάτου (dish antenna), οι οποίες αποτελούν τερματικούς κόμβους μικροκυματικής σύνδεσης σημείο σε σημείο και επικοινωνίας με άλλους σταθμούς βάσης για τη διασύνδεση του δικτύου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι σταθμοί βάσεις συνδέονται μεταξύ τους με υπόγεια καλώδια αντί για μικροκυματικές συνδέσεις.

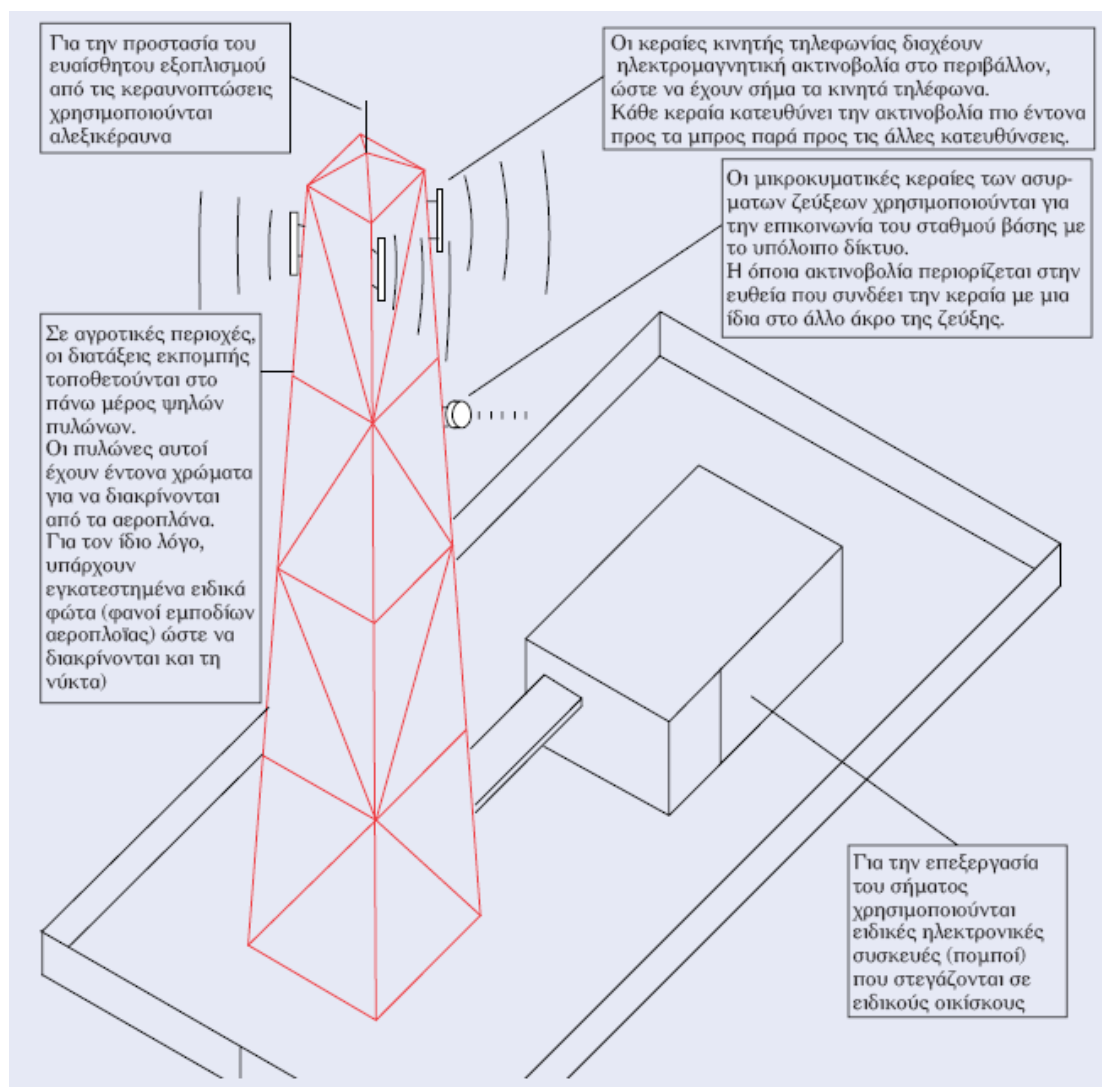


Εικόνα 1.1: Όψη και διαγράμματα ακτινοβολίας κεραίας κινητής τηλεφωνίας της εταιρίας Kathrein τύπου 739630 για εκπομπή στην συχνότητα των 900MHz, όπως δίνονται από τον κατασκευαστή

Οι κεραίες κινητής τηλεφωνίας δεν εκπέμπουν σφαιρικά γύρω τους με τον ίδιο τρόπο, αλλά ακτινοβολούν σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις για να επικοινωνούν με τα κινητά τηλέφωνα που βρίσκονται στην περιοχή που έχει σχεδιαστεί να καλύπτει ο σταθμός βάσης. Είναι, δηλαδή, κατευθυντικές και στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο

επίπεδο. Οι κεραίες αυτές ακτινοβολούν περισσότερο προς την κατεύθυνση του ορίζοντα όπου κατευθύνεται η κύρια δέσμη τους και πολύ λιγότερο στις υπόλοιπες.

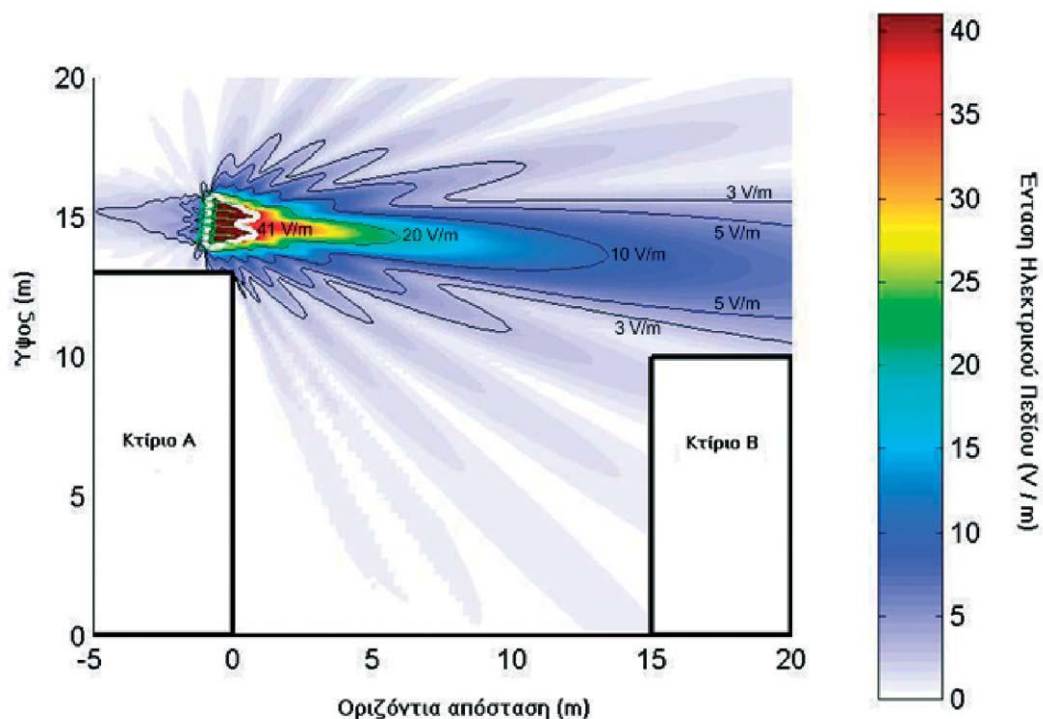
Οι μικροκυματικές κεραίες των ασύρματων ζεύξεων είναι υπερκατευθυντικές, εκπέμποντας μια πολύ στενή δέσμη και χρειάζονται δύο όμοιες κεραίες (από μία σε κάθε άκρο της σύνδεσης) για να αποκατασταθεί μια ζεύξη. Όλη η ακτινοβολία συγκεντρώνεται στη κατεύθυνση της ευθείας που συνδέει τις δύο κεραίες και η ακτινοβολία που διαφεύγει εκτός αυτής είναι σχεδόν μηδενική. Για να αποκατασταθεί η σύνδεση απαιτείται να μην παρεμβάλλεται τίποτα στη νοητή ευθεία μεταξύ των δύο κεραίων. Μερικές φορές είναι αδύνατο να δημιουργηθεί μια απευθείας σύνδεση μεταξύ ενός σταθμού βάσης και του κέντρου του και έτσι χρησιμοποιείται κάποιος άλλος σταθμός βάσης ως ενδιάμεσος. Στις περιπτώσεις αυτές ο ενδιάμεσος σταθμός βάσης θα έχει περισσότερες από μία μικροκυματικές κεραίες. Υπάρχουν, επίσης, περιπτώσεις που οι σταθμοί βάσης μεταδίδουν τις κλήσεις τους στο κέντρο ενσύρματα π.χ. με κάποιο μισθωμένο κύκλωμα και δεν έχουν καμία μικροκυματική ζεύξη [1].



Εικόνα 1.2: Βασικά μέρη ενός σταθμού βάσης

Στους σταθμούς βάσης υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που καθορίζουν τα επίπεδα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στις θέσεις που μπορεί να βρεθεί κάποιος άνθρωπος.

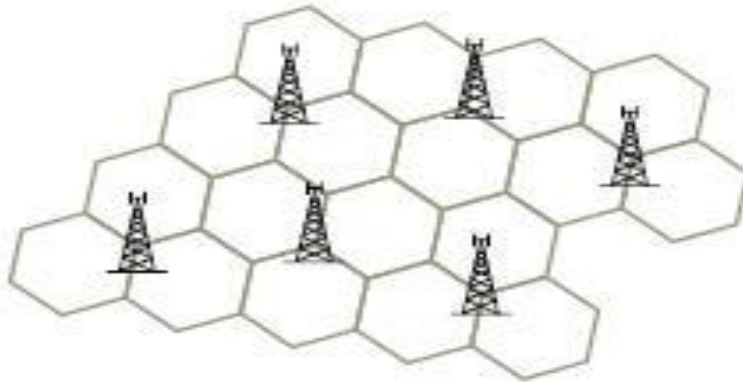
- **Η ισχύς εκπομπής:** Η συνολική ισχύς που εκπέμπεται από τα κεραιοσυστήματα. Όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς εκπομπής τόσο μεγαλύτερη είναι και η ακτινοβολία που προσπίπτει στις θέσεις που βρίσκονται οι άνθρωποι. Τυπικές τιμές ισχύος στην είσοδο των κεραιών των σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας είναι από 10W έως 40W στις αραιοκατοικημένες αγροτικές περιοχές και κάτω από 10W στις πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές.
- **Το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας:** Ανάλογα με την κατασκευή τους, οι κεραιές δεν εκπέμπουν την ακτινοβολία ομοιόμορφα (σφαιρικά) στο περιβάλλον τους, αλλά υπάρχουν κατευθύνσεις στις οποίες εκπέμπουν πολύ περισσότερο από άλλες. Η διαφορά στην ένταση της ακτινοβολίας μεταξύ δύο κατευθύνσεων μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 100 φορές. Οι κατασκευαστές των κεραιών παρέχουν διαγράμματα που δείχνουν πως μεταβάλλεται η ισχύς της ακτινοβολίας στο περιβάλλον των κεραιών συναρτήσει της κατεύθυνσης.
- **Η απόσταση από την κεραία:** Η ακτινοβολούμενη ισχύς από μια κεραία προς μία κατεύθυνση δεν είναι σταθερή, αλλά μειώνεται πολύ γρήγορα με την απόσταση (με το αντίστροφο τετράγωνο της απόστασης, δηλαδή σε διπλάσια απόσταση προσπίπτει το ένα τέταρτο της ακτινοβολίας και σε δεκαπλάσια απόσταση το ένα εκατοστό).
- **Τα παρεμβαλλόμενα φυσικά ή τεχνητά εμπόδια:** Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εξασθενεί πάρα πολύ στα σημεία που βρίσκονται πίσω από τοίχους ή κάτω από οροφές κτιρίων.



Εικόνα 1.3: Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στη κατεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας της κεραίας κινητής τηλεφωνίας στο κατακόρυφο επίπεδο

- **Δίκτυα κινητής επικοινωνίας**

Τα δίκτυα κινητής επικοινωνίας χωρίζονται σε γεωγραφικές περιοχές που ονομάζονται κυψέλες, καθεμία από τις οποίες εξυπηρετείται από ένα σταθμό βάσης. Τα κινητά τηλέφωνα αποτελούν το σύνδεσμο του χρήστη με το δίκτυο. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να εξασφαλίζει τη διατήρηση της σύνδεσης των κινητών τηλεφώνων με το δίκτυο καθώς οι χρήστες μετακινούνται από τη μία κυψέλη στην άλλη [2].



Εικόνα 1.4: Θεωρητική μοντελοποίηση ενός δικτύου

Τα κινητά τηλέφωνα, για να επικοινωνήσουν με τους σταθμούς βάσης ανταλλάσσουν ραδιοσήματα. Το επίπεδο ισχύος αυτών το σημάτων βελτιστοποιείται με προσοχή έτσι ώστε το δίκτυο να λειτουργεί ικανοποιητικά. Επιπλέον, είναι ενδεδειγμένα ρυθμισμένα έτσι ώστε να αποφεύγονται παρεμβολές με άλλα ραδιοσυστήματα που χρησιμοποιούνται, για παράδειγμα από τις υπηρεσίες άμεσης δράσης, τα ταξί και τους ραδιοφωνικούς και τηλεοπτικούς αναμεταδότες [2].



Εικόνα 1.5: Παράδειγμα της περιοχής κάλυψης ενός σταθμού βάσης

Οι κυψέλες θεωρούνται ως κανονικά εξάγωνα σχηματίζοντας δομή κηρήθρας, αν και στην πράξη το σχήμα τους ενδέχεται να είναι ακαθόριστο, διότι όχι μόνο τα χαρακτηριστικά του ανάγλυφου του εδάφους όπως δέντρα, λόφοι και κτίρια μπορούν να εμποδίσουν ή να εξασθενίσουν τα ραδιοκύματα, αλλά και επειδή οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας δεν έχουν πάντα την δυνατότητα να τοποθετούν τους σταθμούς βάσης όπου επιθυμούν, διότι δεν είναι πάντα διαθέσιμες οι κατάλληλες θέσεις.

Στα πρώτα κυψελωτά συστήματα η ακτίνα των κυψελών εκτεινόταν σε αρκετά χιλιόμετρα και η κυψέλη εξυπηρετούσε χρήστες που βρίσκονταν σε οχήματα. Κυψέλες με αρκετά μεγάλη ακτίνα της τάξης μερικών δεκάδων χιλιομέτρων καλούνται μακροκυψέλες (macrocells). Λόγω της αύξησης των συνδρομητών που

πρέπει να εξυπηρετηθούν σε μία συγκεκριμένη περιοχή και συνεπώς της ανάγκης για υποστήριξη μεγαλύτερης χωρητικότητας, επαναχρησιμοποιούνται οι ραδιοδιαλκοι, μειώνοντας ταυτόχρονα την ισχύ εκπομπής από τους σταθμούς βάσης. Έτσι λοιπόν, προκύπτουν μικρότερες σε έκταση κυψέλες που καλούνται μικροκυψέλες (microcells) και έχουν ακτίνα μέχρι 1km. Υπάρχουν και μικρότερες κυψέλες με ακτίνα περίπου 100 μέτρων, που ονομάζονται πικοκυψέλες (picocells) οι οποίες χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα σε εσωτερικούς χώρους, αλλά και σε περιοχές υψηλής πυκνότητας τηλεπικοινωνιακής κίνησης, που ονομάζονται spots ή hot-spots.

1.2 Το δίκτυο GSM

Στην Ελλάδα λειτουργούν τέσσερα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιώντας το ψηφιακό Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (GSM). Αυτά είναι γνωστά ως συστήματα δεύτερης γενιάς (2G), καθώς ακολούθησαν τα πρώτης γενιάς αναλογικά συστήματα, τα οποία πλέον δεν λειτουργούν. Επίσης, τα συστήματα τρίτης γενιάς (3G) είναι διαθέσιμα και στην Ελλάδα.

Το Ευρωπαϊκό Τηλεπικοινωνιακό Συμβούλιο το 1982, άρχισε τη μελέτη για τη δημιουργία ενός κοινού Ευρωπαϊκού ψηφιακού συστήματος κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G) και τότε αυτό το σύστημα ονομάστηκε αρχικά Group Special Mobile (GSM). Το GSM είναι ένα κυψελοειδές ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G), το οποίο για τη μετάδοση πληροφορίας χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά σήματα με την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ένα αριθμό καναλιών και την διαίρεση αυτών σε χρονοθυρίδες [3].

Το 1989 η ευθύνη του GSM ανατέθηκε στο Ευρωπαϊκό Τηλεπικοινωνιακό Ινστιτούτο Προτύπων (ETSI) και το 1990 ανακοινώθηκε επίσημα για πρώτη φορά το πρότυπο και τα χαρακτηριστικά του GSM. Το 1991 λοιπόν άρχισε η εμπορική του διάθεση στην Ευρώπη, ενώ στην Ελλάδα το 1993 από την WIND. Το πρότυπο GSM δεν είναι μόνο ένα Ευρωπαϊκό πρότυπο αφού υιοθετήθηκε και από πολλές άλλες χώρες των άλλων ηπείρων. Σήμερα το GSM είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα παγκοσμίως και υλοποιήθηκε από 500 παροχείς σε 158 χώρες, παρέχοντας υπηρεσίες σε 400 εκ. χρήστες (Οκτώβριος 2000) και καλύπτοντας το 59% της αγοράς των ασύρματων δικτύων.

Το GSM στηρίζεται σε TDMA τεχνική, με 200 kHz απόσταση φερόντων, αλλά συνδυάζει και την FDMA με FDD. Κάθε φέρον έχει οκτώ διαύλους με διάρκεια χρονοσχισμός τα 0.577 msec, ενώ χρησιμοποιεί την τεχνική ψηφιακής διαμόρφωσης GMSK με τελικό ρυθμό μετάδοσης τα 270,8Kbps. Οι συχνότητες λειτουργίας είναι οι 890-915MHz/935-960MHz. Υποστηρίζει υπηρεσίες φωνής (13Kbps) και δεδομένων μέχρι 9.6 Kbps [3].

Μια τροποποίηση του GSM900 είναι το GSM1800 ή DCS1800, το οποίο λειτουργεί στις ζώνες συχνοτήτων 1710-1785MHz/1805-1880MHz. Το σύστημα έχει βελτιστοποιηθεί για τερματικές συσκευές χειρός με μέγιστη ισχύ το 1Watt ή τα 250mWatt και υποστηρίζει την επικάλυψη macrocells και picocells.

Κεφάλαιο 2: Διάδοση σε περιβάλλον κινητών επικοινωνιών

Οι κινητές επικοινωνίες χρησιμοποιούν κυρίως ηλεκτρομαγνητικά κύματα με συχνότητες στην ζώνη που εκτείνεται από μερικές εκατοντάδες MHz μέχρι λίγα GHz. Αυτό που πρέπει να τονισθεί είναι ότι τα αποτελέσματα της διάδοσης επηρεάζουν τις κινητές επικοινωνίες κατά αρκετούς τρόπους. Η κατανομή της μέσης ηλεκτρομαγνητικής ισχύος σε μια συγκεκριμένη περιοχή ή σε έναν συγκεκριμένο χώρο είναι βασική απαίτηση για αξιόπιστη επικοινωνία. Τα σημαντικότερα προβλήματα στην ασύρματη διάδοση είναι ο θόρυβος, οι παρεμβολές, η παρεμπόδιση από ανθρώπινες και φυσικές κατασκευές και η πολυδιαδρομική διάδοση. Η κατάσταση επιδεινώνεται καθώς τα παραπάνω φαινόμενα μεταβάλλονται χρονικά με απρόβλεπτο τρόπο, κυρίως με την κίνηση των τερματικών σταθμών. Τα χαρακτηριστικά αυτά θέτουν τα βασικά όρια στην έκταση της κάλυψης, το ρυθμό μετάδοσης και την αξιοπιστία της επικοινωνίας στο ραδιοδιάλυο. Τα όρια καθορίζονται από πολλούς παράγοντες με κυριότερους το περιβάλλον διάδοσης και την κινητικότητα των χρηστών. Είναι πολύ σημαντικό λοιπόν να υπάρχει επαρκής γνώση για τη συμπεριφορά του διαλύου, ώστε να μπορεί κάποιος να εισάγει σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που βελτιώνουν τον διάλυο ή να χρησιμοποιήσει κεραίες για τους σταθμούς βάσης κατά τρόπο που να μειώνονται οι παραπάνω επιδράσεις [4].

2.1 Μηχανισμοί διάδοσης

Οι μηχανισμοί που διέπουν τη ραδιοδιάδοση είναι διάφοροι και πολύπλοκοι. Γενικά, μπορούν να συνοψιστούν στους εξής τρεις βασικούς:

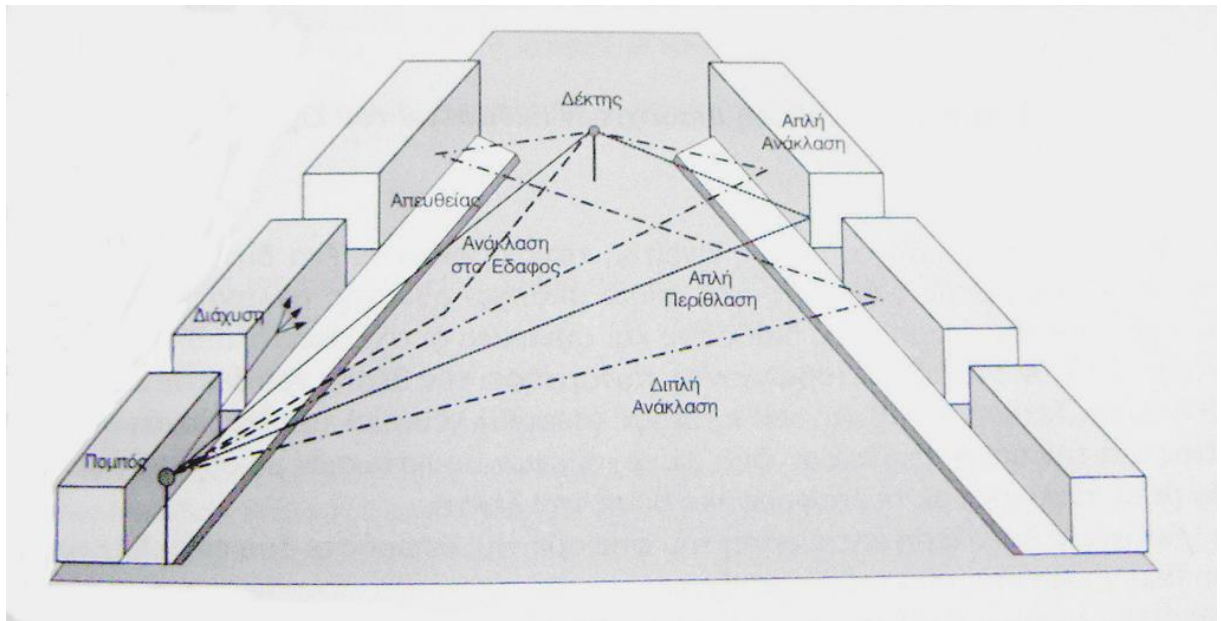
- Ανάκλαση (reflection)
- Περίθλαση (diffraction)
- Σκέδαση (scattering)

Η ανάκλαση εμφανίζεται όταν ένα εκπεμπόμενο ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσκρούει σε μια λεία επιφάνεια με πολύ μεγάλες διαστάσεις συγκρινόμενες με το μήκος κύματος του RF σήματος.

Η περίθλαση συμβαίνει όταν ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη υπάρχει φυσικό ή τεχνητό εμπόδιο με μεγάλες διαστάσεις συγκρινόμενες με το μήκος κύματος, το οποίο προκαλεί την εμφάνιση δευτερευόντων κυμάτων πίσω από το εμπόδιο σύμφωνα με την αρχή του Huygens. Η περίθλαση είναι ένα φαινόμενο που εξηγεί την μεταφορά ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας από τον πομπό στο δέκτη χωρίς την απαραίτητη ύπαρξη απευθείας μονοπατιού μεταξύ τους [4].

Η σκέδαση εμφανίζεται στην περίπτωση όπου στη διαδρομή του ραδιοκύματος υπάρχουν αντικείμενα με διαστάσεις ίσες ή μικρότερες του μήκους κύματος. Η σκέδαση ακολουθεί τους ίδιους φυσικούς νόμους με τη διάχυση και έχει ως αποτέλεσμα την επανεκπομπή της ενέργειας του πομπού προς πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις. Έχει αποδειχθεί ότι η σκέδαση είναι ο μηχανισμός διάδοσης που είναι πολύ πιο δύσκολο να προβλεφθεί στα ασύρματα συστήματα κινητών επικοινωνιών. Για παράδειγμα, στα μικροκυβελωτά συστήματα που λειτουργούν στις αστικές περιοχές, οι θέσεις των σημάτων οδικής κυκλοφορίας και των λαμπτήρων σκεδάζουν ενέργεια προς όλες τις κατευθύνσεις και παρέχουν με αυτόν τον τρόπο ραδιοκάλυψη σε περιοχές που μπορεί να μην λαμβάνουν ενέργεια μέσω ανάκλασης ή περίθλασης [5].

Οι τρεις κυριότεροι μηχανισμοί διάδοσης φαίνονται στο παρακάτω σχήμα 2.1 :



Σχήμα 2.1: Οι τρεις κυριότεροι μηχανισμοί διάδοσης

2.2 Απώλειες διαδρομής

Με τον όρο απώλειες διαδρομής ορίζουμε τον λόγο της εκπεμπόμενης ισχύος προς την λαμβανόμενη ισχύ για ένα δεδομένο περιβάλλον διάδοσης και είναι συνήθως μια συνάρτηση της απόστασης διάδοσης.

Υπάρχουν διάφορα στατιστικά, εμπειρικά και αναλυτικά μοντέλα απωλειών διάδοσης με εφαρμογή στα συστήματα κινητών επικοινωνιών. Ανάλογα με την πολυπλοκότητα του μοντέλου, οι βασικές πληροφορίες στις οποίες στηρίζονται τα μοντέλα αυτά είναι η συχνότητα λειτουργίας, ο τύπος της περιοχής (αστικής, προαστιακή, αγροτική), η απόσταση του πομπού και δέκτη, το ύψος της κεραίας του πομπού, το ύψος της κεραίας του δέκτη, καθώς και συγκεκριμένα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής, όπως ο προσανατολισμός των δρόμων, το μέσο ύψος κτιρίων, η μέση απόσταση μεταξύ των οικοδομικών τετραγώνων, η μορφολογία της περιοχής στην ευθεία που ενώνει πομπό και δέκτη, η παρουσία ή όχι δένδρων, ακόμη και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των επιφανειών των κτιρίων και του εδάφους[4].

2.2.1 Απώλειες διαδρομής για διάδοση ελευθέρου χώρου

Το μοντέλο απωλειών ελευθέρου χώρου περιγράφει το φαινόμενο της ζεύξης μεταξύ πομπού και δέκτη σε χώρο ελεύθερο από άλλα φυσικά ή τεχνητά εμπόδια. Παρούσα θεωρείται μόνο η απευθείας συνιστώσα και το μέσο θεωρείται ισοτροπικό, ομογενές και χωρίς απώλειες.

Για μια κεραία-δέκτη που βρίσκεται σε απόσταση d από τον πομπό, μπορούμε να γράψουμε ότι λαμβάνει ισχύ:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{L} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2.1)$$

όπου P_t η ισχύς τροφοδοσίας, G_t το κέρδος μια πραγματικής κατευθυντικής κεραίας, G_r το κέρδος της κεραίας δέκτη και L οι απώλειες π.χ. λόγω καλωδίων, φίλτρων κτλ. Επειδή συνήθως μας ενδιαφέρει να εκφράζουμε απλά τον λόγο της εκπεμπόμενης προς την λαμβανόμενη ισχύ για δύο κεραίες ιστροπικές ($G_t=G_r=1$) χωρίς επιπλέον απώλειες ($L=1$) έχουμε:

$$L_{FS} = \frac{P_t}{P_r(d)} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad (2.2)$$

ο λόγος αυτός είναι οι απώλειες ελευθέρου χώρου (free space loss). Σε λογαριθμικές μονάδες (dB) συνήθως γράφεται:

$$\begin{aligned} PL(d) &= 10 \log\left(\frac{P_t}{P_r(d)}\right) = 10 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \\ &= 22 - 20 \log(\lambda) + 20 \log(d) \end{aligned} \quad (2.3)$$

2.2.2 Απώλειες διαδρομής για διάδοση μη οπτικής επαφής

Στα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών οι συνθήκες διάδοσης ελευθέρου χώρου δεν πληρούνται. Τα Η/Μ κύματα διαδίδονται σε πιο πολύπλοκα περιβάλλοντα όπου ανακλώνται, διαθλώνται ή διαχέονται από το έδαφος, τα κτίρια και άλλα αντικείμενα. Συνεπώς, οι απώλειες διάδοσης δεν εξαρτώνται μόνο από την απόσταση και την συχνότητα, αλλά και από τα ύψη των κεραιών του κινητού σταθμού και του σταθμού βάσης, τα γεωμετρικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά των σκεδαστών, καθώς και από τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους.

Ένα πολύ απλό μοντέλο διάδοσης για περιβάλλον όπου δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη (non-line-of-sight, NLOS) είναι το εκθετικό μοντέλο που υπολογίζει τις απώλειες σε λογαριθμικές μονάδες (dB), ως εξής:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2.4)$$

και δείχνει ότι η μέση τιμή των απωλειών διαδρομής L αυξάνει εκθετικά με την απόσταση d . Οι όροι της παραπάνω σχέσης είναι οι εξής:

- n = Εκθέτης απωλειών διαδρομής
- d = Απόσταση μεταξύ κεραιών εκπομπής και λήψης
- d_0 =Απόσταση αναφοράς μέχρι την οποία ισχύει διάδοση οπτικής επαφής (LOS)
- $PL(d_0)$ = Απώλειες διαδρομής σε απόσταση d_0 και διάδοση (LOS)
- $PL(d)$ = Απώλειες διαδρομής για συνδυασμένη διάδοση (LOS) και (NLOS)

Στην περίπτωση ελευθέρου χώρου (FSL) έχουμε $n=2$, ενώ το n κυμαίνεται από 2 έως 4 για τυπικές αστικές περιοχές με μακροκυψέλες και από 1,6 έως 8 για μικροκυψελωτό περιβάλλον. Ο συντελεστής εξασθένησης n προκύπτει εμπειρικά από μετρήσεις.

2.2.3 Σκίαση κι απώλειες διαδρομής

Η εξίσωση (2.4) δεν λαμβάνει υπόψη το γεγονός ότι η αταξία στο περιβάλλον διάδοσης μπορεί να είναι διαφορετική σε δύο θέσεις όπου η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη είναι η ίδια. Λόγω της ανομοιομορφίας του περιβάλλοντος διάδοσης, η μέση ισχύς που λαμβάνεται σε διάφορες θέσεις του δέκτη που ισαπέχουν από τον πομπό, είναι πολύ διαφορετική από εκείνη που υπολογίζεται μέσω της σχέσης (2.4). Μετρήσεις που έχουν γίνει στα πλαίσια διαφόρων ερευνών έχουν δείξει ότι για οποιαδήποτε τιμή του d , η τιμή των απωλειών διαδρομής $\mathcal{P}L(d)(dB)$ σε μια συγκεκριμένη θέση είναι τυχαία μεταβλητή και έχει λογαριθμική-κατανομή γύρω από την απόλυτη μέση τιμή των απωλειών διαδρομής $PL(d)$. Δηλαδή:

$$\mathcal{P}L(d) = PL(d) + X_{\sigma} = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{\sigma} \quad (2.5)$$

και η ισχύς λήψης σε απόσταση d από τον πομπό θα είναι:

$$P_r(d) = P_t - PL(d) \quad (2.6)$$

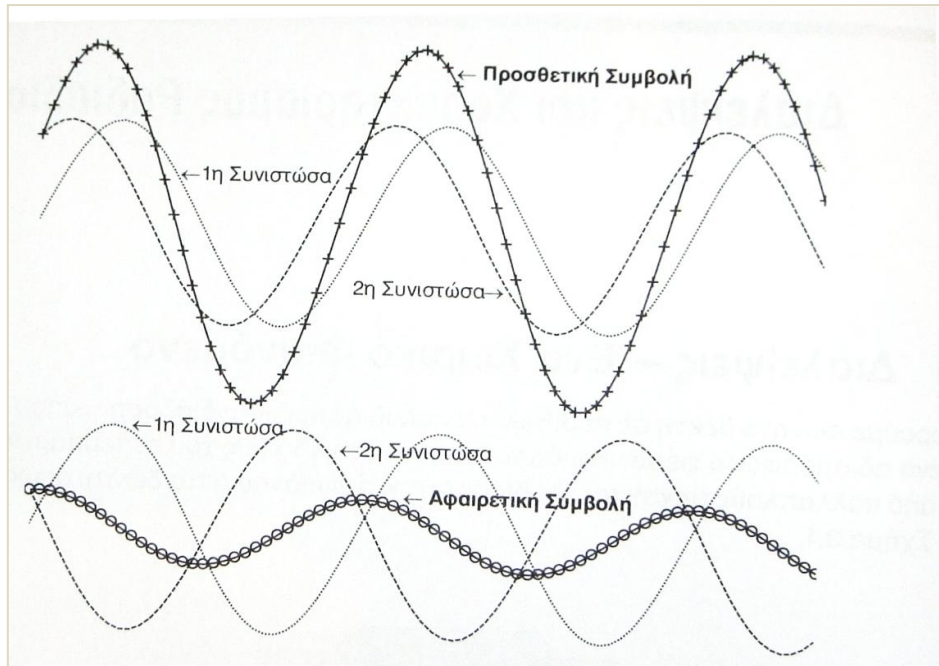
όπου X_{σ} (dB) είναι τυχαία μεταβλητή με κατανομή που εξαρτάται από τη συνιστώσα διάλειψης.

Το πρόβλημα που προκαλείται από την σκίαση είναι ότι όλες οι θέσεις που βρίσκονται σε δοθείσα απόσταση από τον πομπό μπορεί να μη λαμβάνουν επαρκή στάθμη του σήματος για τη σωστή αποδιαμόρφωση της πληροφορίας. Για να επιτευχθεί επαρκής ραδιοκάλυψη θα πρέπει να προστεθεί ένα περιθώριο διαλείψεων (fade margin) στις απώλειες διαδρομής. Το περιθώριο διαλείψεων είναι συνήθως επιπρόσθετη εκπεμπόμενη ισχύς, ώστε να παρέχεται η απαιτούμενη στάθμη σήματος [5].

2.3 Διαλείψεις στο ασύρματο περιβάλλον των κινητών επικοινωνιών

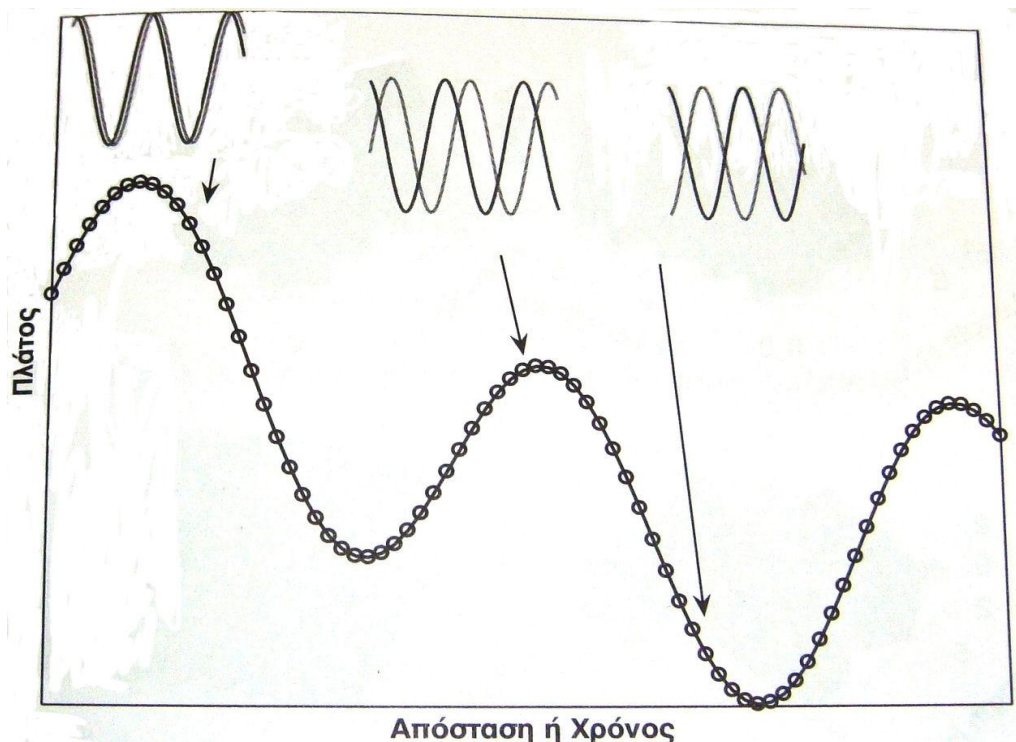
Θεωρούμε ακίνητο δέκτη σε περιβάλλον πολυδιαδρομικής διάδοσης, όπου εκπέμπεται ένα αδιαμόρφωτο φέρον και όπου διαδοχικές εκδόσεις του εκπεμπόμενου σήματος από πολλαπλούς μηχανισμούς διάδοσης καταφθάνουν στο δέκτη.

Κάθε πολυδιαδρομική συνιστώσα καταφθάνει στο δέκτη με διαφορετική χρονική καθυστέρηση και, λόγω του διαφορετικού ηλεκτρικού μονοπατιού που διανύουν, η κάθε συνιστώσα έχει μια σχετική ολίσθηση φάσης. Η υπέρθεση των συνιστωσών κάθε χρονική στιγμή οδηγεί στην αθροιστική ή την αφαιρετική συμβολή των ραδιοκυμάτων, ανάλογα με τις σχετικές φάσεις των συνιστωσών. Στο σχήμα 2.2 απεικονίζονται δύο ακραίες περιπτώσεις συμβολής δύο συνιστωσών.



Σχήμα 2.2: Συμβολή διαδοχικών εκδόσεων του σήματος

Αν θεωρήσουμε ότι ο δέκτης κινείται, τότε προκύπτει ένα δυναμικό περιβάλλον πολυδιαδρομικής διάδοσης (multipath propagation), στο οποίο υπάρχει συνεχής αλλαγή του ηλεκτρικού μήκους κάθε μονοπατιού διάδοσης και συνεπώς οι σχετικές ολισθήσεις φάσης μεταξύ των συνιστωσών μεταβάλλονται συναρτήσει της θέσης του δέκτη. Στο σχήμα 2.3 απεικονίζεται η μεταβολή του πλάτους (περιβάλλουσας) του λαμβανόμενου σήματος για την απλή περίπτωση δύο εισερχομένων συνιστωσών με σχετικές φάσεις που μεταβάλλονται με τη διαφορετική θέση του δέκτη.



Σχήμα 2.3: Χωρική μεταβολή της περιβάλλουσας

Στην πραγματικότητα υπάρχουν πολύ περισσότερες συνιστώσες στον δέκτη και η περιβάλλουσα έχει πιο περίπλοκη μορφή, όπως εκείνη στο σχήμα. Αυτού του είδους τα φαινόμενα (ενισχυτική/αποσβεστική συμβολή, διαφορά φάσης μεταξύ των κυμάτων) συνιστούν τις διαλείψεις (fading), των οποίων η ένταση αυξάνει γενικά με τη συχνότητα του φέροντος και το μήκος ζεύξους [4].

Αν θεωρήσουμε δέκτη που κινείται σε περιβάλλον πολυδιαδρομικής διάδοσης και καταγράψουμε τη στιγμιαία λαμβανόμενη ισχύ συναρτήσει της απόστασης, θα προκύψει κάτι ανάλογο με την εικόνα του σχήματος 2.4:



Σχήμα 2.4: Υπέρθυση διαλείψεων

Μπορούμε να διακρίνουμε δύο είδη διαλείψεων :

1. Διαλείψεις μεγάλης κλίμακας (Large scale fading)
2. Διαλείψεις μικρής κλίμακας (Small scale fading)

2.3.1 Διαλείψεις μεγάλης κλίμακας (Large Scale Fading)

Οι διαλείψεις μεγάλης κλίμακας εμπεριέχουν τα δύο από τα τέσσερα βασικά χαρακτηριστικά της ραδιομετάδοσης: τις απώλειες διάδοσης, δηλαδή τη μεταβολή της εξασθένισης με την απόσταση και τη σκίαση, δηλαδή την τυχαία μεταβολή της εξασθένισης για δεδομένη απόσταση. Με άλλα λόγια, εκφράζουν τη μέση εξασθένιση της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος εξαιτίας της κίνησης σε μεγάλες περιοχές. Η στατιστική ανάλυση των μακρόχρονων διαλείψεων δίνει ένα μέτρο των απωλειών διάδοσης συναρτήσει της απόστασης.

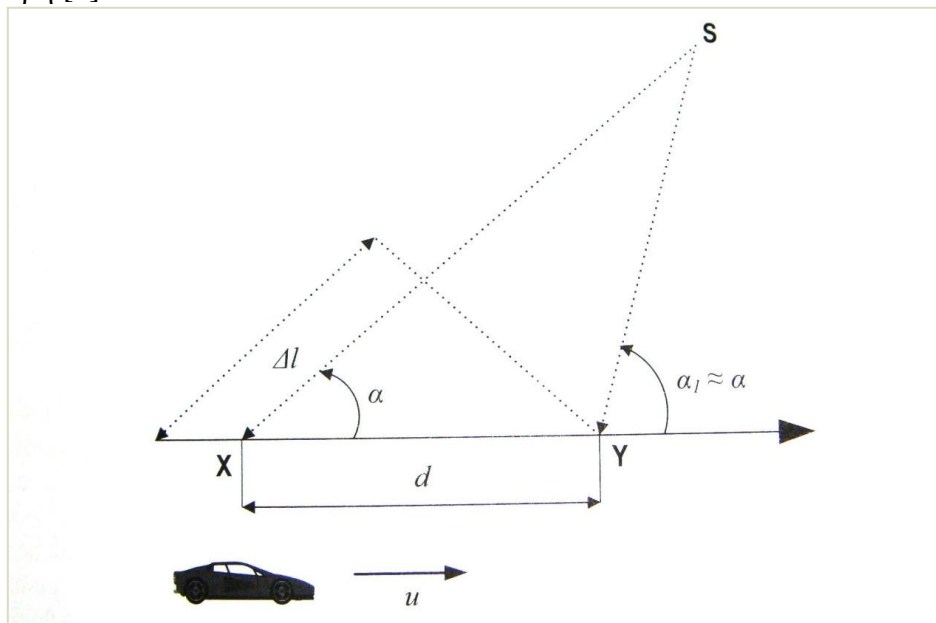
2.3.2 Διαλείψεις μικρής κλίμακας (Small Scale Fading)

Ο όρος διαλείψεις μικρής κλίμακας χρησιμοποιείται για την περιγραφή της απότομης διακύμανσης του πλάτους ενός ραδιοσήματος σε μικρό χρονικό διάστημα ή σε μικρή διανυόμενη απόσταση της τάξης του $\lambda/2$, έτσι ώστε οι επιδράσεις των απωλειών διαδρομής και σκίασης να μπορούν να αμεληθούν. Οι διαλείψεις μικρής κλίμακας οφείλονται κυρίως στις πολλαπλές διαδρομές ενός μεταδιδόμενου σήματος που προκύπτουν από ανακλάσεις σε τοπικούς σκεδαστές όπως σπίτια, κτίρια και άλλα ανθρώπινα δημιουργήματα, ή από φυσικά εμπόδια, όπως δέντρα που βρίσκονται στο περιβάλλον του κινητού τερματικού. Δεν οφείλονται σε φυσικά εμπόδια που παρεμβάλλονται μεταξύ εκπομπής και λήψης. Οι τρεις κυριότερες συνέπειες από την ύπαρξη πολλαπλών διαδρομών είναι:

- Απότομες αλλαγές στην ένταση του σήματος όταν διανύονται μικρές αποστάσεις ή μεσολαβούν μικρά χρονικά διαστήματα
- Τυχαία διαμόρφωση συχνότητας, που οφείλεται στο γεγονός ότι η ολίσθηση Doppler είναι διαφορετική για τα διάφορα σήματα πολλαπλών διαδρομών
- Εξάπλωση χρονοκαθυστερήσης, η οποία προκαλείται από διαφορετική καθυστέρηση σε κάθε διαδρομή που ακολουθείται από το σήμα

2.3.2.1 Ολίσθηση και εξάπλωση Doppler

Θεωρούμε κινητό τερματικό το οποίο μετακινείται με σταθερή ταχύτητα u μεταξύ των θέσεων X και Y που απέχουν μεταξύ τους απόσταση d , ενώ ταυτόχρονα λαμβάνει σήμα από απομακρυσμένη πηγή S , όπως φαίνεται στο σχήμα. Η διαφορά Δl των δρόμων από την πηγή S μέχρι τις θέσεις X και Y κινητού είναι $\Delta l = d \cos \alpha = u \Delta t \cos \alpha$ όπου Δt είναι ο χρόνος που χρειάζεται το κινητό να φτάσει από τη θέση X στη θέση Y . Η γωνία α υποτίθεται ότι είναι ίδια, καθότι η πηγή S είναι πολύ απόμακρη [4].



Σχήμα 2.5: Ολίσθηση Doppler

Η αλλαγή στη φάση του λαμβανόμενου σήματος λόγω της διαφοράς μήκους των διαδρομών στις θέσεις X και Y είναι:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta l}{\lambda} = \frac{2\pi u\Delta t}{\lambda} \cos\alpha \quad (2.7)$$

και έτσι η φαινομενική ολίσθηση συχνότητας ή ολίσθηση Doppler f_D δίνεται από τη σχέση:

$$f_D = \frac{\Delta\varphi}{2\pi\Delta t} = \frac{u}{\lambda} \cos\alpha \quad (2.8)$$

Η εξίσωση (2.8) συσχετίζει την ολίσθηση Doppler με την ταχύτητα του κινητού και τη γωνία μεταξύ της κατεύθυνσης της κίνησης του κινητού και της κατεύθυνσης άφιξης του σήματος. Σε σήματα με διαμόρφωση συνεχούς κυματομορφής, οι συνιστώσες πολλαπλών διαδρομών, οι οποίες καταφθάνουν από τις διάφορες κατευθύνσεις, συνεισφέρουν στην αύξηση του εύρους ζώνης του λαμβανόμενου σήματος, φαινόμενο που ονομάζεται εξάπλωση Doppler (Doppler spread), B_D . Με άλλα λόγια, η εξάπλωση Doppler B_D είναι ένα μέτρο της διεύρυνσης του φάσματος που προκαλείται από τον ρυθμό χρονικής μεταβολής του ραδιοδιαύλου κινητών επικοινωνιών και ορίζεται ως η περιοχή συχνοτήτων στην οποία το λαμβανόμενο φάσμα Doppler είναι μη μηδενικό. Όταν μεταδίδεται ημιτονικό φέρον συχνότητας f_c , το φάσμα του λαμβανόμενου σήματος θα περιέχει φασματικές συνιστώσες στην περιοχή $f_c - f_D$ και $f_c + f_D$ [5].

2.3.2.2 Παράμετροι διαύλων με πολλαπλές διαδρομές

➤ Παράμετροι χρονικής διασποράς

Για να συγκρίνουμε διαφορετικά κανάλια πολυδιαδρομικής μετάδοσης και να αναπτύξουμε μερικές γενικές σχεδιαστικές κατευθύνσεις για τα ασύρματα συστήματα, χρησιμοποιούμε παραμέτρους που ποσοτικοποιούν τους διαύλους πολλαπλών δρόμων. Η μέση επιπλέον καθυστέρηση (mean excess delay, $\bar{\tau}$) και η ενεργός διασπορά καθυστέρησης (rms delay spread, σ_τ) είναι τέτοιες παράμετροι και προκύπτουν κυρίως από το προφίλ καθυστέρησης ισχύος το οποίο και θεωρείται δεδομένο από μετρήσεις [6]. Η μέση επιπλέον καθυστέρηση είναι η ροπή πρώτης τάξης του προφίλ καθυστέρησης ισχύος και ορίζεται ως εξής:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (2.9)$$

Η δε ενεργός διασπορά καθυστέρησης είναι η ροπή δεύτερης τάξης του προφίλ καθυστέρησης ισχύος και δίνεται από την σχέση:

$$\sigma_\tau = \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (2.10)$$

όπου

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (2.11)$$

Πρέπει να τονισθεί ότι αυτές οι δύο παράμετροι ορίζονται από ένα και μοναδικό προφίλ καθυστέρησης ισχύος το οποίο είναι χρονικός ή χωρικός μέσος όρος από διαδοχικές μετρήσεις κρουστικών αποκρίσεων που έχουν συλλεχθεί σε μια τοπική περιοχή [6].

➤ Εύρος ζώνης συνοχής (Coherence Bandwidth)

Καθώς η διασπορά καθυστέρησης είναι ένα φυσικό φαινόμενο που οφείλεται στους πολλαπλούς δρόμους διάδοσης στον δίαυλο, το εύρος ζώνης συνοχής B_c , είναι μια οριζόμενη σχέση που παράγεται από την ενεργό διασπορά καθυστέρησης σ_τ . Το εύρος ζώνης συνοχής είναι ένα στατιστικό μέτρο που χαρακτηρίζει την περιοχή συχνοτήτων μέσα στην οποία ο ραδιοδίαυλος θεωρείται επίπεδος, δηλαδή, δίαυλος που επιτρέπει να διέλθουν όλες οι φασματικές συνιστώσες με περίπου ίσο κέρδος και με γραμμική φάση. Δύο συχνότητες που απέχουν περισσότερο από B_c , επηρεάζονται κατά εντελώς διαφορετικό τρόπο από τον δίαυλο. Αν το εύρος ζώνης συνοχής ορίζεται ως εύρος ζώνης συχνοτήτων μέσα στο οποίο η συνάρτηση συσχέτισης των περιβαλλουσών δύο σημάτων με συχνότητες f_1 και f_2 αντίστοιχα είναι από πάνω από 0.9, τότε:

$$B_c \approx \frac{1}{50\sigma_\tau} \quad (2.12)$$

Εάν ο ορισμός δεν είναι τόσο αυστηρός και η συνάρτηση συσχέτισης στο πεδίο της συχνότητας θεωρείται ότι έχει μέση τιμή μεγαλύτερη από 0.5, τότε το εύρος ζώνης συνοχής είναι περίπου:

$$B_c \approx \frac{1}{5\sigma_\tau} \quad (2.13)$$

➤ Χρόνος συνοχής (Coherence Time)

Η παράμετρος που εκφράζει την εξάπλωση Doppler και χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίζει, στο πεδίο του χρόνου, την ιδιότητα του ραδιοδίαυλου να εμφανίζει διασπορά συχνότητας είναι ο χρόνος συνοχής T_c . Ο χρόνος συνοχής είναι αντιστρόφως ανάλογος με την μέγιστη ολίσθηση Doppler, f_m , και ορίζεται ως:

$$T_c = \frac{1}{f_m} \quad (2.14)$$

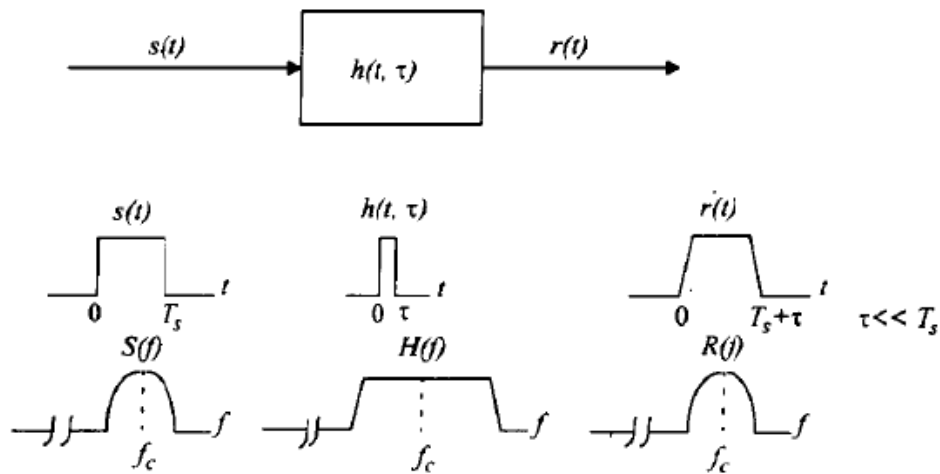
Ο χρόνος συνοχής είναι μια στατιστική μέτρηση του χρονικού διαστήματος στο οποίο η κρουστική απόκριση του διαύλου είναι ουσιαστικά αμετάβλητη και ποσοτικοποιεί την ομοιότητα της απόκρισης του διαύλου στις διάφορες χρονικές στιγμές. Με άλλα λόγια, ο χρόνος συνοχής είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο δύο λαμβανόμενα σήματα έχουν μεγάλη πιθανότητα να εμφανίσουν συσχέτιση πλάτους.

2.3.2.3 Κατηγορίες διαλείψεων μικρής κλίμακας

Ανάλογα με τη σχέση των χαρακτηριστικών του σήματος (εύρος ζώνης, ρυθμός μετάδοσης συμβόλων) και των παραμέτρων που περιγράφουν τη συμπεριφορά του ραδιοδίαυλου (ενεργός διασπορά καθυστέρησης, εξάπλωση Doppler), τα διάφορα μεταδιδόμενα σήματα υφίστανται διαφορετικές μορφές διαλείψεων.

- *Επίπεδες Διαλείψεις (Flat Fading)*

Αν η απόκριση ενός ραδιοδίαυλου κινητών επικοινωνιών είναι σταθερή και η απόκριση φάσης του γραμμική σε εύρος ζώνης που είναι μεγαλύτερο από το εύρος ζώνης του μεταδιδόμενου σήματος, τότε το λαμβανόμενο σήμα υφίσταται επίπεδες διαλείψεις. Στις επίπεδες διαλείψεις, η δομή του ραδιοδίαυλου όσο αφορά τις πολλαπλές διαδρομές είναι τέτοια, ώστε τα φασματικά χαρακτηριστικά του μεταδιδόμενου σήματος να διατηρούνται στον δέκτη. Τα χαρακτηριστικά του ραδιοδίαυλου που υφίσταται επίπεδες διαλείψεις φαίνονται στο σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6 : Χαρακτηριστικά καναλιού επίπεδων διαλείψεων

Από το σχήμα 2.6 προκύπτει ότι αν η απόκριση πλάτους του ραδιοδίαυλου μεταβάλλεται με τον χρόνο, έχουμε μεν χρονική μεταβολή της στάθμης στο λαμβανόμενο σήμα, αλλά το φάσμα του σήματος παραμένει ίδιο. Οι ραδιοδίαυλοι με επίπεδες διαλείψεις είναι επίσης γνωστοί ως δίαυλοι μεταβαλλόμενου πλάτους καθώς και ως δίαυλοι στενής ζώνης, καθότι το εύρος ζώνης του μεταδιδόμενου σήματος είναι μικρό σε σύγκριση με το εύρος ζώνης τους [6].

Συνοψίζοντας ένα σήμα υφίσταται επίπεδες διαλείψεις όταν:

$$B_S < B_C \quad (2.15)$$

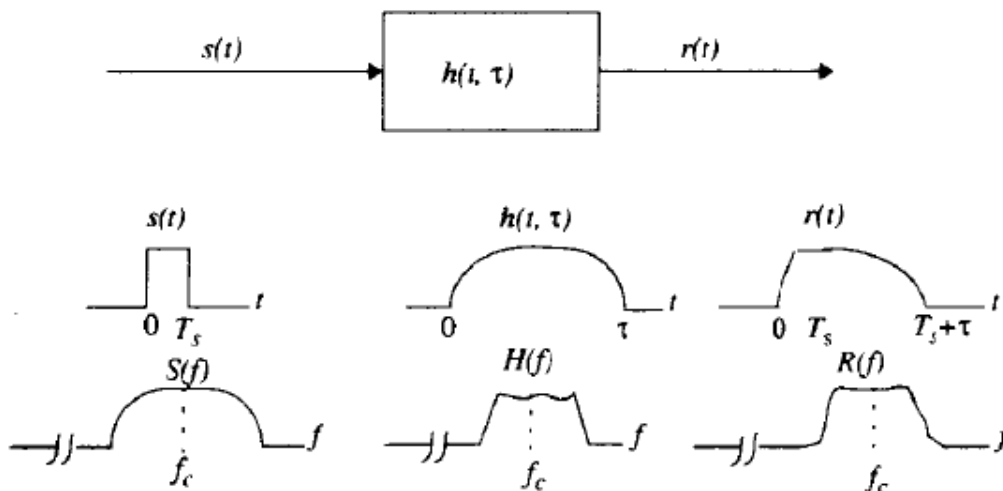
και

$$T_S > \sigma_\tau \quad (2.16)$$

όπου T_S είναι η περίοδος συμβόλου, B_S το εύρος ζώνης του διαμορφωμένου σήματος που μεταδίδεται στον δίαυλο, B_C το εύρος ζώνης συνοχής του και σ_τ η ενεργός διασπορά καθυστέρησης.

- *Διαλείψεις επιλεκτικές ως προς την συχνότητα (Frequency Selective Fading)*

Όταν ο διάυλος παρουσιάζει σταθερή απόκριση πλάτους και γραμμική απόκριση φάσης σε εύρος ζώνης που είναι μικρότερο από το εύρος ζώνης του μεταδιδόμενου σήματος, τότε ο διάυλος προκαλεί στο λαμβανόμενο σήμα διαλείψεις επιλεκτικές ως προς τη συχνότητα. Το λαμβανόμενο σήμα περιέχει πολλαπλές εκδόσεις της μεταδιδόμενης κυματομορφής με διαφορετικές εξασθενίσεις και καθυστερήσεις και συνεπώς είναι παραμορφωμένο. Αυτού του είδους οι διαλείψεις οφείλονται στην χρονική διασπορά των μεταδιδόμενων συμβόλων στον διάυλο. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργείται διασυμβολική παρεμβολή. Στο σχήμα 2.7 φαίνονται τα χαρακτηριστικά διαύλου με διαλείψεις επιλεκτικές ως προς την συχνότητα [6].



Σχήμα 2.7 : Χαρακτηριστικά καναλιού συχνοεπιλεκτικών διαλείψεων

Συνοψίζοντας όπως και παραπάνω, μπορούμε να πούμε ότι ένα σήμα υφίσταται διαλείψεις επιλεκτικές ως προς την συχνότητα όταν:

$$B_S > B_C \quad (2.17)$$

και

$$T_S < \sigma_\tau \quad (2.18)$$

- Γρήγορες Διαλείψεις (Fast Fading)

Στην περίπτωση που συγκρίνουμε το πόσο απότομα αλλάζει το μεταδιδόμενο σήμα με τον ρυθμό μεταβολής του διαύλου, μπορούμε να κατατάξουμε τους διαύλους σε διαύλους με γρήγορες διαλείψεις ή σε διαύλους με αργές διαλείψεις. Όταν έχουμε γρήγορες διαλείψεις, η κρουστική απόκριση του διαύλου αλλάζει απότομα κατά τη διάρκεια μετάδοσης ενός συμβόλου, δηλαδή ο χρόνος συνοχής του διαύλου είναι μικρότερος από την περίοδο ενός συμβόλου του μεταδιδόμενου σήματος. Αυτό προκαλεί διασπορά συχνότητας λόγω της εξάπλωσης Doppler, γεγονός που συντελεί στην παραμόρφωση του σήματος στη λήψη. Αν θεωρήσουμε το πεδίο συχνότητας, παρατηρούμε ότι η παραμόρφωση λόγω γρήγορων διαλείψεων αυξάνει όσο αυξάνει η

εξάπλωση Doppler σε σχέση με το εύρος ζώνης του μεταδιδόμενου σήματος [6]. Τελικά, οι συνθήκες για να υφίσταται ένα σήμα γρήγορες διαλείψεις είναι οι εξής:

$$T_S > T_C \quad (2.19)$$

και

$$B_S < B_D \quad (2.20)$$

όπου T_C είναι ο χρόνος συνοχής του ραδιοδιαύλου και B_D η εξάπλωση Doppler.

- *Αργές διαλείψεις (Slow fading)*

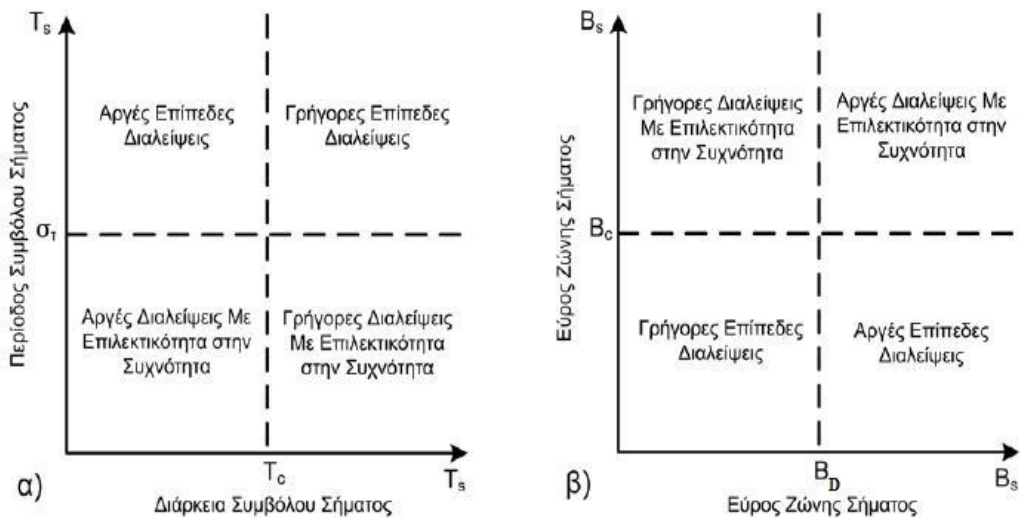
Σε δίαυλο με αργές διαλείψεις, η κρουστική του απόκριση μεταβάλλεται με ρυθμό πολύ μικρότερο από τον ρυθμό μεταβολής του μεταδιδόμενου σήματος βασικής ζώνης. Στην περίπτωση αυτή ο δίαυλος μπορεί να θεωρηθεί στατικός κατά τη διάρκεια ενός ή αρκετών διαστημάτων ίσων με το αντίστροφο του εύρους ζώνης. Στο πεδίο συχνότητας, τούτο σημαίνει ότι η εξάπλωση Doppler του διαύλου είναι πολύ μικρότερη από το εύρος ζώνης του σήματος βασικής ζώνης. Έτσι, ένα σήμα υφίσταται αργές διαλείψεις αν

$$T_S < T_C \quad (2.21)$$

και

$$B_S > B_D \quad (2.22)$$

Πρέπει να τονιστεί, ότι η ταχύτητα του κινητού ή των διαφόρων αντικειμένων στον δίαυλο και ο ρυθμός μετάδοσης στη βασική ζώνη καθορίζουν κατά πόσο το σήμα υπόκειται σε γρήγορες ή αργές διαλείψεις. Επίσης, οι αργές ή γρήγορες διαλείψεις δεν έχουν καμία σχέση με τις απώλειες διαδρομής.



Σχήμα 2.8: Τύποι διαλείψεων μικρής κλίμακας

2.4 Βασικές κατανομές για μοντελοποίηση προβλημάτων διάδοσης

2.4.1 Κατανομή Rayleigh

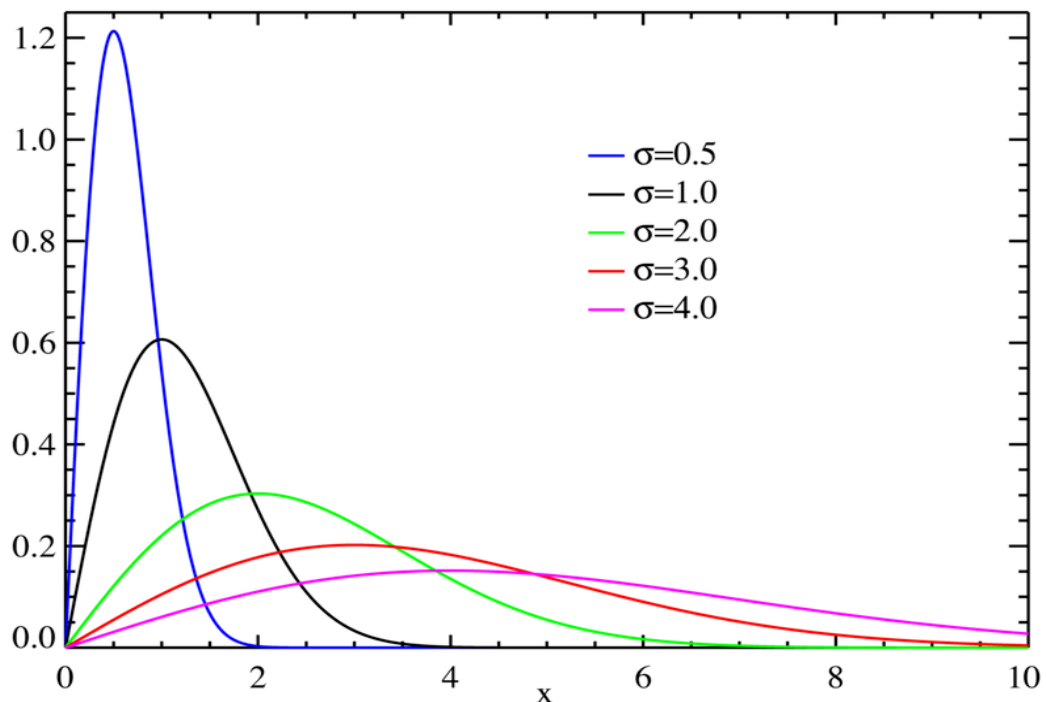
Η κατανομή Rayleigh είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη κατανομή για να περιγράψει την περιβάλλουσα του λαμβανόμενου σήματος. Το μοντέλο Rayleigh είναι συχνά μια καλή προσέγγιση όταν οι χρήστες κινούνται σε περιβάλλον κινητών και προσωπικών επικοινωνιών όπου υπάρχουν πολλά εμπόδια και συνεπώς δεν υπάρχει απευθείας διαδρομή μεταξύ πομπού και δέκτη. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (probability density function, p.d.f) μια τυχαίας μεταβλητής X που ακολουθεί κατανομή Rayleigh δίνεται από τον τύπο:

$$p(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.23)$$

και για την αθροιστική συνάρτηση κατανομής (cumulative distribution function, c.d.f):

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.24)$$

όπου σ η ρίζα της μέσης τιμής της ισχύος του σήματος και x το πλάτος του σήματος.



Σχήμα 2.9: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας Rayleigh κατανομής για διάφορα σ

2.4.2 Κατανομή Rice

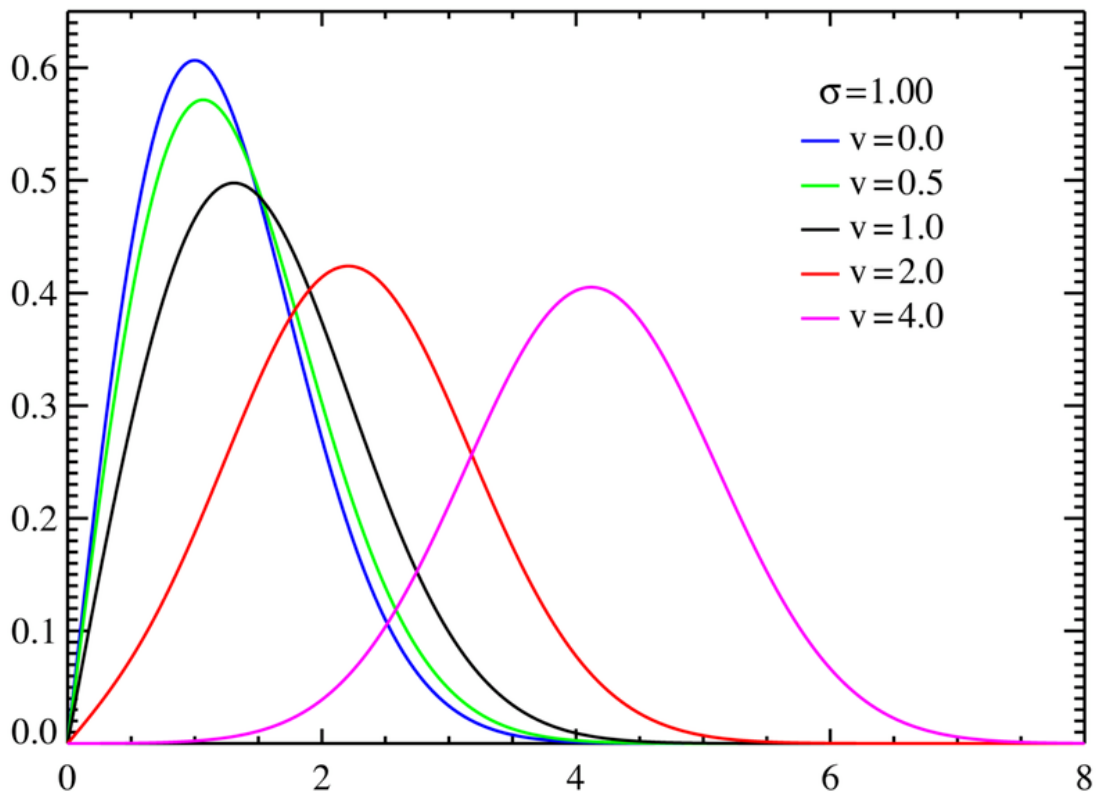
Σε μικρο-κυψελοειδή περιβάλλοντα υπάρχει συνήθως ένας κυρίαρχος δρόμος οπτικής επαφής σε αντιδιαστολή με τις πολλές διαφορετικές οδεύσεις που μπορεί να ακολουθήσει ένα σήμα μέχρι τη λήψη του από τον δέκτη. Συνήθως, το άμεσο κύμα παρουσιάζεται σχετικά πιο ισχυρό σε σύγκριση με τα ανακλώμενα. Το μοντέλο που περιγράφει αυτήν την κατάσταση λέγεται στατιστικό μοντέλο Rice [7]. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (p.d.f) και η αθροιστική συνάρτηση κατανομής (c.d.f) μιας τυχαίας μεταβλητής X για την κατανομή Rice δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$p(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + a^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{ax}{\sigma^2}\right) \quad (2.25)$$

και

$$F(x) = 1 - 2 \exp\left(-\frac{a^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \int_{\frac{x}{\sigma\sqrt{2}}}^{\infty} v \exp(-v^2) I_0\left(\frac{2va}{\sigma\sqrt{2}}\right) dv \quad (2.26)$$

Όπου σ είναι η ρίζα της μέσης τιμής της ισχύος του σήματος, a το μέγιστο πλάτος της συνιστώσας του κυρίαρχου σήματος και I_0 η τροποποιημένη συνάρτηση Bessel πρώτου είδους και x το πλάτος του σήματος.



Σχήμα 2.10: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας Rice κατανομής για διάφορα ν

Κεφάλαιο 3: Εκτίμηση της μέσης τιμής της έντασης ενός σήματος σε περιβάλλον κινητών επικοινωνιών

3.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η περιβάλλουσα του λαμβανόμενου ραδιοσήματος αποτελεί υπέρθεση των διαλείψεων μικρής και μεγάλης κλίμακας. Για να λάβουμε τον τοπικό μέσο όρο της έντασης του ραδιοσήματος πρέπει να εξομαλύνουμε το κομμάτι των βραχύχρονων διαλείψεων και να κρατήσουμε αυτό των μακρόχρονων. Σοβαρά φαινόμενα διαλείψεων στις κινητές επικοινωνίες συμβαίνουν αρκετά συχνά και ακόμα συχνότερα όταν το τερματικό βρίσκεται σε κίνηση. Οι δύο βασικότερες αιτίες για αυτά τα φαινόμενα είναι η διάδοση πολλαπλών δρόμων του ραδιοσήματος και το μονοπάτι διακύμανσης απωλειών (path loss fluctuation). Όσον αφορά τον πρώτο παράγοντα, είναι γνωστό ότι οι κεραίες λήψης στις κινητές επικοινωνίες συνήθως βρίσκονται χαμηλότερα από τις κατασκευές που τις περιβάλλουν και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το μεταδιδόμενο σήμα να εμποδίζεται να διαδοθεί και να δημιουργούνται πολλά ανακλώμενα κύματα. Καθώς αυτά τα ανακλώμενα κύματα φτάνουν στο δέκτη, παρατηρείται αυτή η γρήγορη μεταβολή στο σήμα σε μικρά χρονικά ή χωρικά διαστήματα. Το μονοπάτι διακύμανσης απωλειών έχει να κάνει με τις μεταβολές της μέσης τιμής της έντασης του σήματος καθώς το κινητό τερματικό ταξιδεύει. Οι διακυμάνσεις αυτές οφείλονται στους απευθείας δρόμους διάδοσης που υπάρχουν ανάμεσα στον σταθμό βάσης και το κινητό τερματικό πάνω από τις διαφορετικές διαμορφώσεις εδάφους σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Επίσης, το μονοπάτι διακύμανσης απωλειών αναφέρεται και σαν τοπικός μέσος όρος των διαλείψεων μεγάλης κλίμακας επειδή επηρεάζεται από το τερματικό που κινείται σε πραγματικό χρόνο και μεταβάλλεται αργά [11].

Η εκτίμηση της συμπεριφοράς των μακρόχρονων διαλείψεων από το λαμβανόμενο ραδιοσήμα είναι το ίδιο με το να εκτιμούμε τον τοπικό μέσο όρο της έντασης του. Αυτή η εκτιμώμενη τιμή παίζει σημαντικό ρόλο. Έτσι, είναι κρίσιμο να αναπτυχθεί μια μέθοδος που να εκτιμά σωστά τον τοπικό μέσο όρο της έντασης του σήματος. Κάτι τέτοιο θα βοηθούσε στον σχεδιασμό των συστημάτων κινητών τηλεπικοινωνιών, αφού η πληροφορία για την ένταση του σήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους δέκτες για διάφορα επίπεδα ελέγχου και ειδικά σε αποφάσεις που έχουν να κάνουν με την αλλαγή καναλιού καθώς το κινητό τερματικό εισέρχεται σε μια καινούρια κυψέλη [11].

3.2 Εκτίμηση της μέσης έντασης του λαμβανόμενου σήματος

Έστω $r(t)$ το λαμβανόμενο σήμα από το κινητό τερματικό, αυτό μπορεί να χωριστεί σε δύο τμήματα, το $m(t)$ που αφορά τις μακρόχρονες διαλείψεις και το τμήμα $r_0(t)$ που αφορά τις βραχύχρονες διαλείψεις. Οι τρεις αυτές παράμετροι συνδέονται σύμφωνα με την σχέση :

$$r(t) = m(t) \cdot r_0(t) \quad (3.1)$$

Αν ο σταθμός βάσης και τα κινητά τερματικά δεν μετακινούνται αλλά κινείται το περιβάλλον, τότε χρησιμοποιούμε την εξίσωση (3.1) με τον χρόνο t ως τυχαία μεταβλητή. Αν το κινητό τερματικό κινείται με ταχύτητα u (m/sec), τότε η απόσταση

x της διαδρομής διάδοσης μεταξύ του σταθμού βάσης και του κινητού δίνεται από την σχέση:

$$x = u \cdot t \quad (3.2)$$

και στην περίπτωση αυτή μπορούμε να γράψουμε:

$$r(x) = m(x) \cdot r_0(x) \quad (3.3)$$

Η μέση τιμή της έντασης ενός ραδιοσήματος $m(x)$ σε πραγματικό χρόνο είναι μια τυχαία μεταβλητή που επηρεάζεται αποκλειστικά από το μονοπάτι διακύμανσης απωλειών.

Κατά την λήψη ενός σήματος στο δέκτη του κινητού τερματικού, η τοπική μέση ένταση του πεδίου μπορεί να υπολογιστεί με την βοήθεια δύο βασικών παραμέτρων. Η πρώτη είναι η επιλογή του κατάλληλου μήκους $2L$ από τα δεδομένα του σήματος για τον υπολογισμό του τοπικού μέσου όρου της έντασης και αφού προσδιορίσουμε το μήκος L , η δεύτερη παράμετρος είναι πόσα ανεξάρτητα δείγματα χρειάζονται μέσα σε αυτό το μήκος $2L$. Αν και δεν είναι αναγκαίο να χρησιμοποιήσουμε παραπάνω δείγματα από αυτά που στην πράξη απαιτούνται, σε καμία περίπτωση δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε λιγότερα. Ο απαραίτητος αριθμός δειγμάτων πρέπει να υπολογιστεί [11]. Ο λόγος που χρησιμοποιούμε την δειγματοληψία δεδομένων είναι για να αποφύγουμε μια αναλογική διαδικασία φιλτραρίσματος που θα ήταν αρκετά δύσκολο να υλοποιηθεί σωστά. Και οι δύο παράμετροι που αναφέρθηκαν έχουν στόχο την μείωση των λαθών στην διαδικασία εκτίμησης του μέσου όρου.

3.2.1 Υπολογισμός του μήκους L και του αριθμού δειγμάτων N

Το μήκος του τοπικού σήματος πρέπει να επιλεγεί σωστά. Αν είναι πολύ μικρό τότε οι βραχύχρονες διαλείψεις θα είναι ακόμα παρούσες μετά την εξαγωγή του μέσου όρου. Στον αντίποδα, αν επιλεγεί πολύ μεγάλο οι μακρόχρονες διαλείψεις που μας ενδιαφέρουν θα εκτιμηθούν λάθος. Στην συνέχεια υπολογίζουμε το κατάλληλο ενδιάμεσο μήκος.

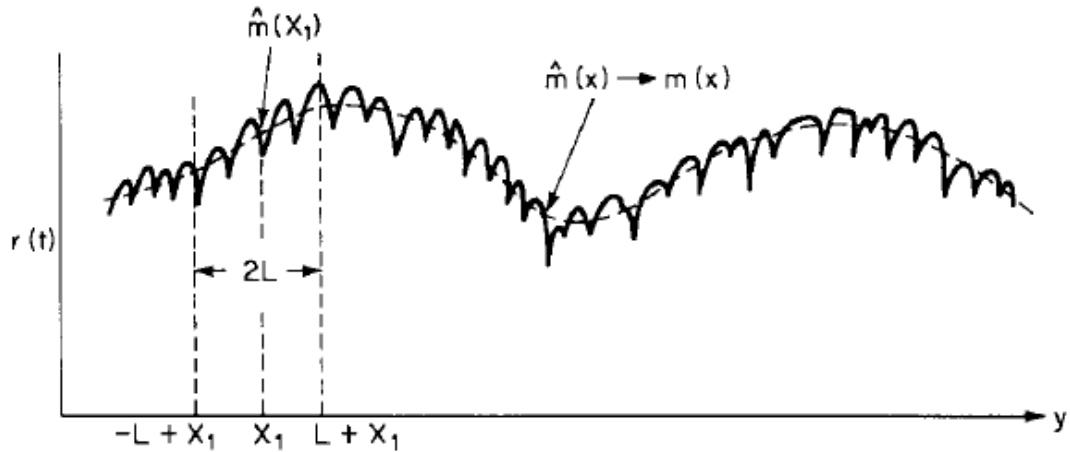
○ Τα κριτήρια επιλογής του μήκους $2L$

Το σήμα που λαμβάνει το κινητό τερματικό και υφίσταται συνεχώς φαινόμενα διαλείψεων μπορεί να εκφραστεί ως εξής :

$$s(t) = r(t) \cdot e^{j\psi(t)} \quad (3.4)$$

όπου $r(t)$ και $\psi(t)$ είναι η περιβάλλουσα και η φάση του σήματος, αντίστοιχα. Η μεταβλητή $r(t)$ μπορεί να χωριστεί σε δύο επιμέρους όρους όπως είδαμε και παραπάνω στις σχέσεις (3.1), (3.3).

Ο εκτιμώμενος τοπικός μέσος όρος, $\hat{m}(x)$, σε ένα σημείο x , λαμβάνεται ολοκληρώνοντας την σχέση (3.3) σε ένα μήκος $2L$ από $x - L$ έως $x + L$ όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1:



Σχήμα 3.1: Υπολογισμός του τοπικού μέσου όρου

$$\hat{m}(x) = \frac{1}{2L} \int_{x-L}^{x+L} r(y) dy = \frac{1}{2L} \int_{x-L}^{x+L} m(y) r_0(y) dy \quad (3.5)$$

Εάν το μήκος L επιλεγεί σωστά, τότε το $\hat{m}(x)$ θα πλησιάζει το $m(x)$:

$$\hat{m}(x) \rightarrow m(x) \quad (3.6)$$

ή

$$\hat{m}(x) = m(x) \left[\frac{1}{2L} \int_{x-L}^{x+L} r_0(y) dy \right] = m(x) \quad (3.7)$$

Η εξίσωση (3.7) συνεπάγεται ότι :

$$\frac{1}{2L} \int_{x-L}^{x+L} r_0(y) dy = 1 \quad (3.8)$$

όπου το r_0 είναι ένα κανονικοποιημένο σήμα κατανομής Rayleigh με μέση τιμή ίση με 1, $\langle r_0 \rangle = 1$ [10,11]. Για να επιλέξουμε το κατάλληλο μήκος $2L$ ώστε να πληρείται η συνθήκη της σχέσης (3.8), υπολογίζουμε την διασπορά (variance) του τοπικού μέσου όρου $\hat{m}(x)$:

$$\sigma_{\hat{m}}^2 = \langle \hat{m}^2(x) \rangle - \langle \hat{m}(x) \rangle^2 \quad (3.9)$$

○ **Υπολογισμός της διασποράς του τοπικού μέσου όρου $\hat{m}(x)$**

Ο εκτιμώμενος τοπικός μέσος όρος $\hat{m}(x)$ είναι στην ουσία ο μέσος όρος της περιβάλλουσας $r(y)$ σε μήκος $2L$, όπως εκφράζεται από την σχέση (3.5). Γνωρίζοντας ότι η περιβάλλουσα $r(y)$ ακολουθεί κατανομή Rayleigh εντός του μήκους $2L$ και ότι $\langle r_0 \rangle = 1$, λαμβάνουμε την εξής έκφραση για τον τοπικό μέσο όρο και την συσχέτιση της $r(y)$:

$$\hat{m}(x) = \langle r(y) \rangle = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma \quad (3.10)$$

$$R_r(y) = \frac{\pi}{2} \sigma^2 \left[1 + \frac{J_0^2(\beta y)}{4} \right] \quad (3.11)$$

όπου $2\sigma^2 = \langle r(y)^2 \rangle$ είναι η μέση ένταση ενός σήματος που ακολουθεί κατανομή Rayleigh, J_0 η συνάρτηση Bessel πρώτου είδους μηδενικής τάξης, $\beta = 2\pi/\lambda$ και λ το μήκος κύματος [8,11]. Γενικά το σ αλλάζει από σημείο σε σημείο στο πραγματικό περιβάλλον. Η μέση τιμή του τοπικού μέσου όρου $\hat{m}(x)$ υπολογίζεται ως εξής :

$$\langle \hat{m}(x) \rangle = \left\langle \frac{1}{2L} \int_{x-L}^{x+L} r(y) dy \right\rangle = \frac{1}{2L} \int_{x-L}^{x+L} \langle r(y) \rangle dy = \langle r(y) \rangle = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma = \hat{m}(x) \quad (3.12)$$

Η μέση τετραγωνική τιμή του τοπικού μέσου όρου $\langle \hat{m}^2(x) \rangle$ είναι:

$$\begin{aligned} \langle \hat{m}^2(x) \rangle &= \left\langle \frac{1}{4L^2} \int_{x-L}^{x+L} \int_{x-L}^{x+L} r(y_1)r(y_2) dy_1 dy_2 \right\rangle \\ &= \frac{1}{4L^2} \int_{x-L}^{x+L} \int_{x-L}^{x+L} \langle r(y_1)r(y_2) \rangle dy_1 dy_2 \end{aligned} \quad (3.13)$$

Αντικαθιστώντας τις σχέσεις (3.11) , (3.12) και (3.13) στην σχέση (3.9) και κάνοντας τις πράξεις προκύπτει η παρακάτω σχέση για την διασπορά του τοπικού μέσου όρου:

$$\begin{aligned} \sigma_{\hat{m}}^2 &= \frac{\hat{m}^2(x)}{4L} \int_0^{\frac{2L}{\lambda}} \left(1 - \frac{y}{2L}\right) J_0^2(\beta y) dy \\ &= \frac{\hat{m}^2(x)}{2 \left(\frac{2L}{\lambda}\right)} \int_0^{\frac{2L}{\lambda}} \left(1 - \frac{x}{2L}\right) \cdot J_0^2(2\pi x) dx \end{aligned} \quad (3.14)$$

Όταν $2L/\lambda \rightarrow 0$, η σχέση (3.14) γίνεται:

$$\begin{aligned} \sigma_{\hat{m}}^2 &= \frac{\hat{m}^2(x)}{2\varepsilon} \int_0^{2\varepsilon} \left(1 - \frac{x}{\varepsilon}\right) dx \xrightarrow{(3.10)} \sigma_{\hat{m}}^2 = \frac{\pi}{2} \sigma^2 \int_0^{2\varepsilon} \left(1 - \frac{x}{\varepsilon}\right) dx \\ &= \frac{1}{4} \left(\frac{\pi}{2} \sigma^2\right) \quad \mu\varepsilon \varepsilon \rightarrow 0 \end{aligned} \quad (3.15)$$

Το $1\sigma_{\hat{m}}$ spread ορίζεται ως εξής:

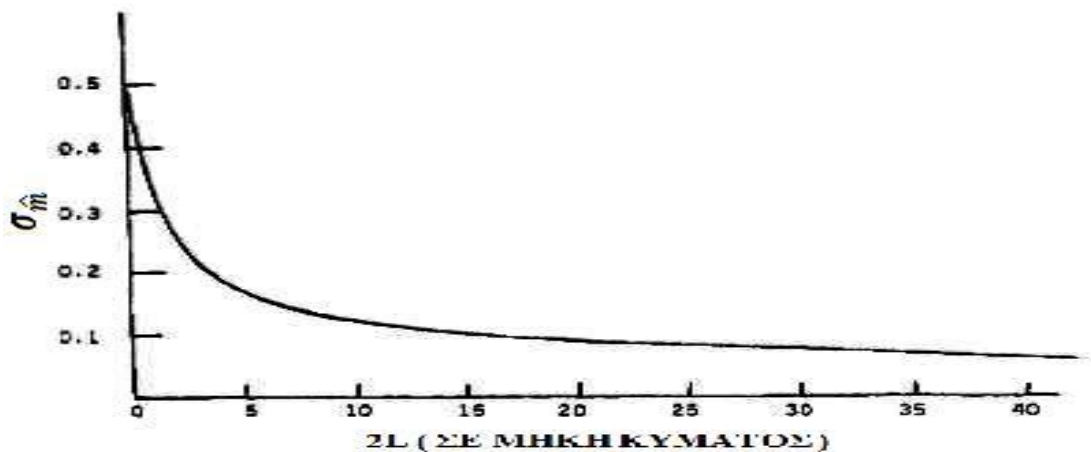
$$1\sigma_{\hat{m}} = 20 \log \frac{m(x) + \sigma_{\hat{m}}}{m(x) - \sigma_{\hat{m}}} \quad (3.16)$$

Το ολοκλήρωμα της σχέσης (3.14) υπολογίζεται αριθμητικά ως συνάρτηση του μήκους $2L$ και παρουσιάζεται στον πίνακα (3.1).

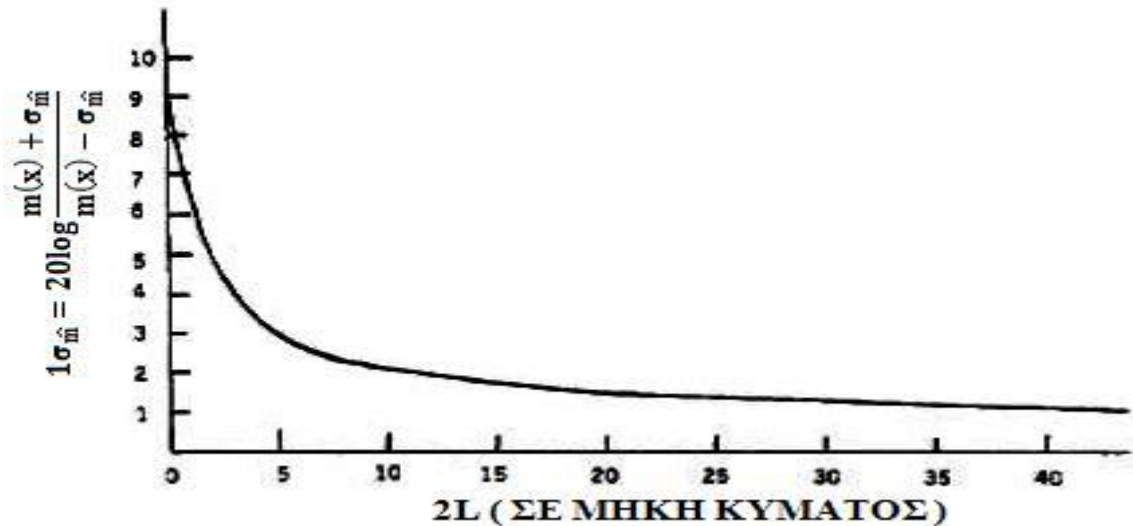
2L	$\sigma_{\hat{m}}$	1σ spread $20\log \frac{m(x) + \sigma_{\hat{m}}}{m(x) - \sigma_{\hat{m}}}$	2σ spread $20\log \frac{m(x) + 2\sigma_{\hat{m}}}{m(x) - 2\sigma_{\hat{m}}}$
5λ	0.165·m(x)	3dB	6dB
10λ	0.122·m(x)	2.1dB	4.2dB
15λ	0.101·m(x)	1.8dB	3.6dB
20λ	0.091·m(x)	1.6dB	3.1dB
25λ	0.082·m(x)	1.4dB	2.9dB
30λ	0.079·m(x)	1.3dB	2.8dB
35λ	0.071·m(x)	1.2dB	2.5dB
40λ	0.067·m(x)	1dB	2.3dB

Πίνακας 3.1: Αριθμητικός υπολογισμός του ολοκληρώματος της σχέσης 3.14

Εάν το 2L είναι αρκετά μεγαλύτερο από το λ, είναι λογικό να θεωρήσουμε ότι η $m(x)$ που είναι η μέση τιμή του $r(x)$ ακολουθεί Gaussian κατανομή, αφού αποτελεί το άθροισμα πολλών ανεξάρτητων τυχαίων μεταβλητών[10]. Ο πίνακας 3.1 μας πληροφορεί για το πόσο κοντά είναι ο τοπικός μέσος όρος $\hat{m}(x)$ με την πραγματική μέση τιμή $m(x)$. Για παράδειγμα, όταν το 2L ισούται με 20λ, βλέπουμε το 1σ spread ισούται με 1.6dB. Αυτό σημαίνει ότι η τιμή του $\hat{m}(x)$ θα βρίσκεται 1.6dB πάνω ή κάτω από το $m(x)$ για το 68% των συνολικών μετρούμενων δειγμάτων. Αντίστοιχα, για 2L=20λ και 2σ spread η τιμή του $\hat{m}(x)$ θα βρίσκεται στο διάστημα $[m(x) - 3.1dB, m(x) + 3.1dB]$ για το 95,46% των συνολικών μετρούμενων δειγμάτων. Στα επόμενα δύο σχήματα δίνονται οι γραφικές παραστάσεις των εξισώσεων (3.14) και (3.16).



Σχήμα 3.2: Η τιμή του $\sigma_{\hat{m}}$ συναρτήσει του 2L



Σχήμα 3.3: Η τιμή του $1\sigma_m$ spread συναρτήσει του $2L$

3.2.2 Μέσος όρος δειγμάτων (Sampling Average)

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, όταν ο υπολογισμός του μέσου όρου γίνεται μέσω αναλογικής διαδικασίας με την χρήση φίλτρου, είναι δύσκολο να ελεγχθεί το εύρος ζώνης, ακόμα κι αν έχει γίνει σωστή επιλογή του μήκους των δεδομένων προς ολοκλήρωση. Έτσι, για την εξαγωγή του μέσου όρου δειγματοληπτείται η περιβάλλουσα $r(t)$ του λαμβανόμενου σήματος[11]. Το ερώτημα που ανακύπτει τώρα είναι: πόσα δείγματα χρειάζεται να ληφθούν από ένα σήμα εντός μήκους $2L$; Ο αριθμός των δειγμάτων πρέπει να είναι όσο μικρότερος γίνεται και καθορίζεται από την βασική προϋπόθεση ότι τα δείγματα πρέπει να είναι ασυσχέτιστα μεταξύ τους.

Η $r(x)$ είναι μια μεταβλητή που συνδυάζει δύο κατανομές, την κανονική (normal-Gaussian distribution) και την Rayleigh. Έστω ότι η μεταβλητή $\bar{r}(x)$ εκφράζεται ως εξής :

$$\bar{r}(x) = \sum_{i=1}^N \frac{r(x_i)}{N} \quad (3.17)$$

όπου N είναι ο αριθμός των συνολικών δειγμάτων. Ο μέσος όρος που προκύπτει από τα δείγματα $\bar{r}(x)$ είναι διαφορετικός από τον αναλογικό μέσο όρο $\langle r(x) \rangle$ που δίνεται από την σχέση (3.10).

Για μεγάλο N η μεταβλητή $\bar{r}(x)$ ακολουθεί πάντα κανονική κατανομή ανεξάρτητα τι κατανομή ακολουθεί η $r(x)$. Η μέση τιμή της μεταβλητής $r(x)$ δίνεται από την σχέση (3.10), έτσι η τιμή σ μπορεί να εκφραστεί ως εξής :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\langle r^2(x) \rangle}{2}} \quad (3.18)$$

Η τυπική απόκλιση σ_r της μεταβλητής $r(x)$ που ακολουθεί κατανομή Rayleigh είναι:

$$\sigma_r = E[(r - \bar{r})^2] = \sqrt{2 - \frac{\pi}{2}} \sigma \quad (3.19)$$

Ορίζουμε \hat{m} και $\hat{\sigma}_{\bar{r}}$ την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση της μεταβλητής $\bar{r}(x)$ αντίστοιχα.

Για την μέση τιμή \hat{m} έχουμε:

$$\begin{aligned} \hat{m} = E[\bar{r}(x)] &= E\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r(x_i)\right] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E[r(x_i)] = E[r(x_i)] = m \\ &= \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma \end{aligned} \quad (3.20)$$

Για την τυπική απόκλιση $\hat{\sigma}_{\bar{r}}$ έχουμε:

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}_{\bar{r}}^2 &= E[(\bar{r} - \hat{m})^2] = E[(\bar{r} - m)^2] = E\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (r(x_i) - m)^2\right] \\ &= \frac{1}{N^2} \{NE[(r(x_i) - m)^2] + 2N(N-1)E[(r(x_i) - m)(r(x_j) - m)]\} \\ &= \frac{1}{N} E[(r(x_i) - m)^2] = \frac{\sigma_r^2}{N} \Rightarrow \hat{\sigma}_{\bar{r}} = \frac{\sigma_r}{\sqrt{N}} \end{aligned} \quad (3.21)$$

Έστω η τυποποιημένη μεταβλητή z που αντιστοιχεί στην Gaussian μεταβλητή \bar{r} .

Έχουμε ότι:

$$z = \frac{\bar{r} - \hat{m}}{\hat{\sigma}_{\bar{r}}} \quad (3.22)$$

Η πιθανότητα η μεταβλητή z να είναι μικρότερη από μια συγκεκριμένη τιμή Z εκφράζεται ως εξής:

$$P(z \leq Z) = P\left(\frac{\bar{r} - \hat{m}}{\hat{\sigma}_{\bar{r}}} \leq Z\right) \quad (3.23)$$

Στη συνέχεια ψάχνουμε τον αριθμό N των δειγμάτων της έντασης του σήματος που είναι απαραίτητα ώστε να υπολογίσουμε με ένα συγκεκριμένο βαθμό βεβαιότητας (εκφρασμένο συνήθως σε μορφή ποσοστού επί τοις εκατό) ότι η μέση τιμή των δειγμάτων αυτών βρίσκεται εντός συγκεκριμένου εύρους της πραγματικής μέσης τιμής. Το εύρος αυτό αποκαλείται διάστημα εμπιστοσύνης (Δ.Ε.) και μπορεί να βρεθεί επιβεβαιώνοντας ότι:

$$P[-Z_1 \leq z \leq +Z_1] = \int_{-Z_1}^{+Z_1} p(z) dz = 2P(Z_1) \quad (3.24)$$

Αναπτύσσοντας την σχέση (3.24) με την βοήθεια των σχέσεων (3.21) και (3.22) έχουμε:

$$P \left[-Z_1 \leq \frac{\bar{r} - \hat{m}}{\hat{\sigma}_{\bar{r}}} \leq +Z_1 \right] = 2P(Z_1)$$

ή

$$P \left[m - \frac{\sigma_r}{\sqrt{N}} Z_1 \leq \bar{r} \leq m + \frac{\sigma_r}{\sqrt{N}} Z_1 \right] = 2P(Z_1) \quad (3.25)$$

Ο επόμενος πίνακας έχει συνταχθεί με τη βοήθεια των στατιστικών δεδομένων της κανονικής κατανομής και δείχνει το εύρος, σε όρους τυπικής απόκλισης σ_{Normal} , μέσα στο οποίο βρίσκεται ένα συγκεκριμένο ποσοστό των τιμών [17].

P(Z ₁)	Εύρος
68%	$\pm\sigma_{Normal}$
80%	$\pm 1.28\sigma_{Normal}$
90%	$\pm 1.65\sigma_{Normal}$
95.46%	$\pm 2\sigma_{Normal}$
99%	$\pm 2.58\sigma_{Normal}$

Πινάκας 3.2

Για την μεταβλητή z που ακολουθεί τυποποιημένη κανονική κατανομή κατασκευάζουμε 90% διάστημα εμπιστοσύνης με τον ακόλουθο τρόπο:

$$P(-1.65 \leq z \leq 1.65) = 90\% \quad (3.26)$$

Με την βοήθεια των σχέσεων (3.21) και (3.22) έχουμε:

$$P \left(-1.65 \leq \frac{\bar{r} - \hat{m}}{\frac{\sigma_r}{\sqrt{N}}} \leq 1.65 \right) = 90\%$$

ή

$$P \left(-1.65 \frac{\sigma_r}{\sqrt{N}} \leq \bar{r} - \hat{m} \leq \frac{\sigma_r}{\sqrt{N}} 1.65 \right) = 90\%$$

ή

$$P \left(m - 1.65 \frac{\sigma_r}{\sqrt{N}} \leq \bar{r} \leq m + \frac{\sigma_r}{\sqrt{N}} 1.65 \right) = 90\% \quad (3.27)$$

Απλοποιώντας την σχέση (3.27), αντικαθιστούμε τις τιμές για τα m , σ_r από τις σχέσεις (3.19), (3.20):

$$P \left(\left(1 - \frac{1.65 \sigma_r}{\sqrt{N} m} \right) m \leq \bar{r} \leq \left(1 + \frac{1.65 \sigma_r}{\sqrt{N} m} \right) m \right) = 90\%$$

ή

$$P \left(\left(1 - \frac{1.65}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{4-\pi}{\pi}} \right) m \leq \bar{r} \leq \left(1 + \frac{1.65}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{4-\pi}{\pi}} \right) m \right) = 90\%$$

ή

$$P \left(\left(1 - \frac{0.8625}{\sqrt{N}} \right) m \leq \bar{r} \leq \left(1 + \frac{0.8625}{\sqrt{N}} \right) m \right) = 90\% \quad (3.28)$$

Το 90% διάστημα εμπιστοσύνης (Δ.Ε.) εκφρασμένο σε dB είναι:

$$\Delta.E. = 20 \log \left[\frac{\left(1 + \frac{0.8625}{\sqrt{N}} \right) m}{m} \right] = 20 \log \left(1 + \frac{0.8625}{\sqrt{N}} \right) \quad (3.29)$$

Εάν θέλουμε η μεταβλητή \bar{r} να απέχει ± 1 dB από την πραγματική μέση τιμή της πρέπει:

$$\begin{aligned} 20 \log \left(1 + \frac{0.8625}{\sqrt{N}} \right) \leq 1 &\Rightarrow 1 + \frac{0.8625}{\sqrt{N}} \leq 10^{\frac{1}{20}} \Rightarrow \frac{0.8625}{\sqrt{N}} \\ &\leq (1.12201 - 1) \Rightarrow \sqrt{N} \geq 7.0686 \Rightarrow N \geq 50 \end{aligned} \quad (3.30)$$

Η παραπάνω εξίσωση δείχνει ότι ο απαιτούμενος αριθμός δειγμάτων είναι από 50 και πάνω. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι τα δείγματα αυτά πρέπει να είναι ασυσχέιστα μεταξύ τους. Το διάστημα d που πρέπει να μεσολαβεί μεταξύ των δειγμάτων για να είναι ασυσχέιστα μεταξύ τους, θεωρητικά, είναι $d=0.5\lambda$. Από την διαδικασία των μετρήσεων ραδιοσημάτων σε πραγματικό περιβάλλον, το μήκος αυτό είναι ελαφρώς μεγαλύτερο $d=0.8\lambda$ [8,11,12]. Προφανώς, αυτό που επιδιώκουμε στην πράξη είναι η απόσταση μεταξύ των δειγμάτων να είναι μεγαλύτερη του 0.8λ .

Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς το απαιτούμενο μήκος $2L$ για την εξαγωγή του μέσου όρου είναι 40λ και ο αριθμός των δειγμάτων 50. Έτσι το διάστημα μεταξύ των δειγμάτων προκύπτει $\frac{40\lambda}{50} = 0.8\lambda$ και τα δείγματα είναι ασυσχέιστα μεταξύ τους.

Στον επόμενο πίνακα φαίνονται οι αποκλίσεις της εκτιμώμενης μέσης τιμής για διάφορους βαθμούς εμπιστοσύνης καθώς και για διάφορα πλήθη δειγμάτων. Η διαδικασία υπολογισμού που ακολουθήθηκε είναι ακριβώς ίδια με παραπάνω.

Μετρήσεις Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας από Κεραίες Κινητής Τηλεφωνίας

N	Δ.Ε. 90% (dB)	Δ.Ε. 95.46% (dB)	Δ.Ε 99% (dB)
5	2.8	3.3	4.1
10	2.1	2.5	3.1
15	1.7	2.1	2.6
20	1.5	1.8	2.3
25	1.4	1.6	2.1
30	1.3	1.5	1.9
35	1.2	1.4	1.8
40	1.1	1.3	1.7
45	1.05	1.26	1.6
50	1	1.20	1.5
55	0.96	1.15	1.45
60	0.92	1.10	1.39
65	0.88	1.10	1.34
70	0.85	1.02	1.30
75	0.82	0.99	1.26
80	0.80	0.96	1.22
85	0,78	0.93	1.19
90	0.76	0.91	1.15
95	0.74	0.88	1.13
100	0.72	0.86	1

Πίνακας 3.3

Παρατηρούμε από τον πίνακα 3.3 ότι καθώς το ποσοστό του διαστήματος εμπιστοσύνης αυξάνεται, αυξάνεται παράλληλα και το διάστημα μέσα στο οποίο βρίσκεται η μεταβλητή $\bar{r}(x_i)$.

3.2.3 Δέκτης με λογαριθμική συνάρτηση εξόδου

Οι υπολογισμοί που έγιναν στην προηγούμενη παράγραφο για τον αριθμό δειγμάτων N αφορούν δέκτες με γραμμική συνάρτηση εξόδου, δηλαδή η καταγραφή γίνεται σε volts. Στην πράξη, οι μετρήσεις συνήθως λαμβάνονται με την χρήση δεκτών που έχουν λογαριθμική συνάρτηση εξόδου. Τα δείγματα του σήματος εκφράζονται κατευθείαν σε λογαριθμική κλίμακα dB σε σχέση με κάποια τιμή αναφοράς και οι διάφοροι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν κατευθείαν από αυτά [9]. Η έξοδος ενός τέτοιου δέκτη μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$r_{dB} = 20 \log r = a \cdot \ln(r^2) \quad (3.31)$$

όπου $a = \frac{10}{\ln 10} = 4.34$ και r η περιβάλλουσα του λαμβανόμενου σήματος που ακολουθεί κατά τα γνωστά κατανομή Rayleigh.

Η μέση τιμή της εξόδου του λογαριθμικού δέκτη δίνεται από την σχέση:

$$E\{r_{dB}\} = \int_0^{\infty} a \ln(r^2) p_r(r) dr \quad (3.32)$$

όπου $p_r(r)$ η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της περιβάλλουσας r του σήματος. Λόγω κατανομής Rayleigh η μέση τιμή της εξόδου ισούται με:

$$E\{r_{dB}\} = a\{\ln(2\sigma^2) - C\} = 10 \log(2\sigma^2) - 2.51 \quad (3.33)$$

όπου C είναι η σταθερά του Euler και ίση με 0.5772.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι η μέση τιμή των δειγμάτων εξόδου του δέκτη $E\{r_{dB}\}$ δεν είναι ίδια με την μέση τιμή των δειγμάτων της περιβάλλουσας r εκφρασμένη σε dB. Η μέση τιμή αυτή γράφεται $[E\{r\}]_{dB}$. Ωστόσο, η εξίσωση (3.33) δείχνει την σχέση μεταξύ της $E\{r_{dB}\}$ και της μέσης έντασης του σήματος εκφρασμένη σε dB[9]. Αφού η μέση ένταση είναι $2\sigma^2$, μπορεί να εκφραστεί σε decibels ως $10 \log(2\sigma^2)$ κι έτσι η εξίσωση (3.33) γράφεται:

$$E\{r_{dB}\} = (Μέση \acute{\epsilon}νταση)_{dB} - 2.51 \quad (3.34)$$

Έτσι η μέση ένταση (mean power) ενός σήματος που ακολουθεί κατανομή Rayleigh μπορεί να υπολογιστεί κατευθείαν από την $E\{r_{dB}\}$ προσθέτοντας 2.51 dB.

Η μέση τετραγωνική τιμή της εξόδου του λογαριθμικού δέκτη είναι:

$$\begin{aligned} E\{r_{dB}^2\} &= \int_0^{\infty} a^2 (\ln(r^2))^2 p_r(r) dr \\ &= \int_0^{\infty} a^2 (\ln(r^2))^2 \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) dr \end{aligned} \quad (3.35)$$

Θέτοντας όπου $r^2 = y$ το ολοκλήρωμα της σχέσης (3.35) παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$\int_0^{\infty} a^2 (\ln(y))^2 \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{y}{2\sigma^2}\right) dr \quad (3.36)$$

Το ολοκλήρωμα αυτό είναι γνωστό με δεδομένη λύση και τελικά έχουμε ότι:

$$E\{r_{dB}^2\} = \alpha^2 \left(\frac{\pi^2}{6} + (C - \ln 2\sigma^2)^2 \right) \quad (3.37)$$

Η διασπορά σ_{dB}^2 δίνεται από την διαφορά $E\{r_{dB}^2\} - (E\{r_{dB}\})^2$ και είναι:

$$\sigma_{dB}^2 = \frac{\alpha^2 \pi^2}{6} \quad (3.38)$$

Έτσι, η τυπική απόκλιση μια Rayleigh μεταβλητής ισούται με:

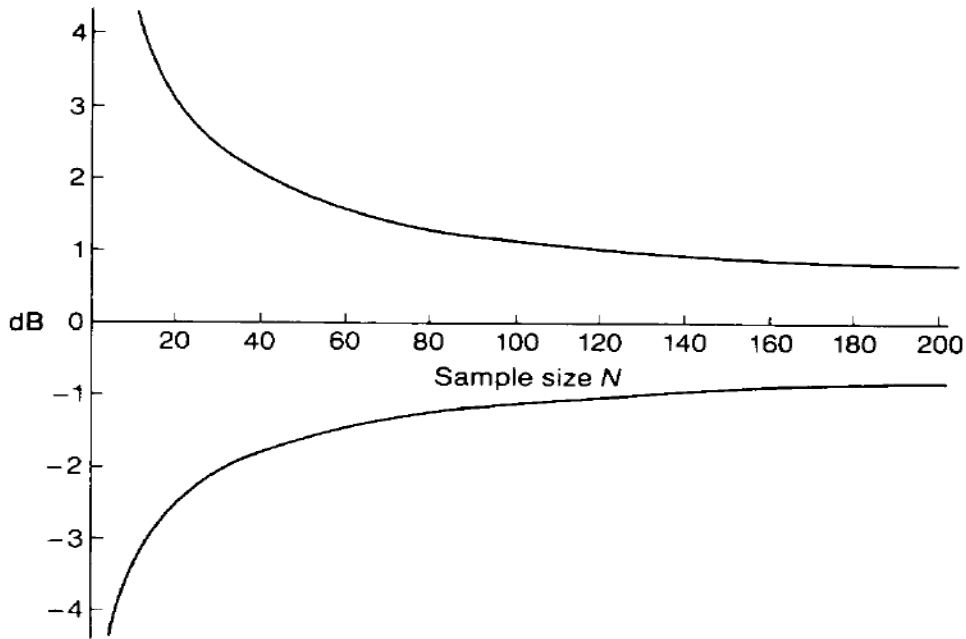
$$\sigma_{dB} = \frac{\alpha\pi}{\sqrt{6}} = 5.57 \text{ dB} \quad (3.39)$$

Και πάλι η εκτίμηση για την μέση τιμή της έντασης του σήματος γίνεται από τον μέσο όρο N ανεξάρτητων δειγμάτων. Αν ο αριθμός N είναι σχετικά μεγάλος τότε τα δείγματα ακολουθούν κανονική κατανομή σύμφωνα με το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα. Έτσι, η τυπική απόκλιση των N λογαριθμικών δειγμάτων θα είναι λόγω της σχέσης (3.39) $5.57/\sqrt{N}$. Εάν μας ενδιαφέρει η εκτίμηση να γίνει σε εύρος $\pm 1\text{dB}$, τότε από την σχέση (3.25) πρέπει $(\bar{r} - m) = 1$ και για 90% διάστημα εμπιστοσύνης η Z_1 δίνεται από τον πίνακα 3.2 ως 1.65. Έτσι ο αριθμός των ανεξάρτητων δειγμάτων που απαιτούνται προκύπτει:

$$\frac{Z_1 \sigma}{\sqrt{N}} = 1 = \frac{1.65 \times \sigma}{\sqrt{N}} \Rightarrow N = 85 \quad (3.40)$$

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να συσχετίσουμε τον αριθμό των δειγμάτων που υπολογίσαμε με το μήκος των αποστάσεων μέσα στις οποίες πρέπει να ληφθούν. Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, θεωρούμε δύο δείγματα ασυσχέτιστα όταν η απόσταση μεταξύ τους κυμαίνεται τουλάχιστον από 0.5λ έως 0.8λ. Έτσι, οι ελάχιστες αποστάσεις που απαιτούνται βρίσκονται στο διάστημα από 43λ έως 68λ.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει το 95% διάστημα εμπιστοσύνης για την εκτίμηση της μέσης τιμής της έντασης ενός σήματος σε decibels. Ο απαιτούμενος αριθμός δειγμάτων φαίνεται ξεκάθαρα ότι εξαρτάται από το πόσο ακριβής θέλουμε να είναι η εκτίμηση της τοπικής μέσης τιμής [9].



Σχήμα 3.4: Σχέση του 95% διαστήματος εμπιστοσύνης με τον αριθμό δειγμάτων για την εκτίμηση της μέσης έντασης (dB) σε Rayleigh περιβάλλον διάδοσης

3.3 Συμπεράσματα

Ο προσδιορισμός του κατάλληλου μήκους ενός ραδιοσήματος βασίζεται στα στατιστικά της κατανομής Rayleigh που αντιπροσωπεύουν τις βραχύχρονες διαλείψεις. Έτσι, η επεξεργασία του μέσου όρου των δεδομένων αντιπροσωπεύει τις μακρόχρονες διαλείψεις οι οποίες μας δίνουν την πληροφορία για την μέση τιμή της τοπικής έντασης του σήματος. Εάν η περιοχή πάνω από την οποία διαδίδεται το σήμα είναι επίπεδη, τότε η μέση τιμή της τοπικής έντασης παραμένει σταθερή σε όλη τη μετρούμενη περιοχή.

Υπολογίσαμε τις τιμές για το μήκος $2L$ και τον αριθμό των δειγμάτων N βασισμένοι στην κατανομή Rayleigh, της οποίας βασική παραδοχή είναι ότι δεν υπάρχει απευθείας σήμα που φτάνει από τον πομπό στον δέκτη. Η υπόθεση ότι δεν υπάρχει κανένα απευθείας σήμα που φτάνει στο κινητό τερματικό αποτελεί την χειρότερη περίπτωση. Συνήθως, όταν το τερματικό βρίσκεται κοντά στον σταθμό βάσης, θα υπάρχει τουλάχιστον ένα μονοπάτι απευθείας διάδοσης. Σε αυτή την περίπτωση, οι διαλείψεις μικρής κλίμακας θα παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά και θα ακολουθούν Rician κατανομή. Κατά συνέπεια, δεν θα χρειαζόμαστε το μήκος $2L$ να ισούται με 40λ . Ωστόσο, όταν το κινητό τερματικό ταξιδεύει στον δρόμο, η απευθείας συνιστώσα διάδοσης στον δέκτη εμφανίζεται και χάνεται λόγω της διαμόρφωσης του εδάφους και των εμποδίων. Για αυτό το λόγο, είναι προτιμότερο να παίρνουμε το μήκος $2L$ ίσο με 40λ και το $N=50$ δείγματα ώστε να μπορούμε να διαχειριστούμε όλες τις πιθανές περιπτώσεις διάδοσης.

Στα σήματα που έχουν χαμηλότερη συχνότητα ίσως είναι προτιμότερο να θεωρούμε διαστήματα των 20λ για την εξαγωγή των τοπικών μέσων όρων. Ο λόγος είναι ότι το περίγραμμα εδάφους και οι απώλειες διαδρομής μπορεί να αλλάζουν σε απόσταση μεγαλύτερη των 20λ όταν το μήκος κύματος γίνεται μεγαλύτερο και πιο συγκρίσιμο με το μέγεθος των διάφορων εμποδίων.

Κεφάλαιο 4: Ευρυζωνικός μετρητής ηλεκτρομαγνητικού πεδίου Narda NBM-550

4.1 Γενικά στοιχεία

Ο ευρυζωνικός μετρητής ηλεκτρομαγνητικού πεδίου NBM-550 της Narda Safety Test Solutions είναι μια φορητή συσκευή που δίνει την δυνατότητα για ακριβείς μετρήσεις μη ιονίζουσας ακτινοβολίας στην ζώνη συχνοτήτων από 100kHz έως 3GHz. Η συσκευή NBM-550 αποτελείται από την κεντρική μονάδα όπου εμφανίζονται οι διάφορες ενδείξεις για τα επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και μια ιστροπική κεραία μέτρησης (probe) [13].

Ο μετρητής πεδίου NBM-550 χρησιμοποιείται για μετρήσεις σε περιβάλλοντα εργασίας που είναι πολύ πιθανό να εμφανίζονται ισχυρά μαγνητικά και ηλεκτρικά πεδία. Μερικά παραδείγματα εφαρμογών του είναι τα εξής:

- Μετρήσεις της έντασης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου για να διαπιστωθεί αν συμμορφώνονται με τους κανονισμούς για την γενική ασφάλεια
- Ορισμός ζωνών ασφαλείας
- Μετρήσεις και παρακολούθηση της έντασης του πεδίου γύρω από εξοπλισμούς radar και ευρυεκπομπής
- Μετρήσεις των εντάσεων των πεδίων που δημιουργούνται από τους πομπούς των κινητών τηλεφώνων και των δορυφορικών επικοινωνιών για την βεβαίωση ότι τηρούνται τα όρια προστασίας του κοινού
- Μετρήσεις έντασης πεδίου σε βιομηχανικό εξοπλισμό, όπως εξοπλισμούς συγκόλλησης, RF θέρμανσης, βαφής και ξήρανσης
- Μετρήσεις για την προστασία από την χρήση διαθερμικών συσκευών καθώς και άλλων ιατρικών συσκευών που παράγουν ακτινοβολία υψηλών συχνοτήτων
- Μετρήσεις έντασης πεδίου σε κυψέλες TEM (TEM cells) για την διαπίστωση ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC)

4.2 Προετοιμασία του NBM-550 πριν την χρήση

Πριν την λήψη μετρήσεων με το NBM-550 πρέπει να ελέγχονται διάφορες παράμετροι του οργάνου που αφορούν τόσο την ασφάλεια του χρήστη όσο και την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων που αναγράφονται στο όργανο για την ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Στη συνέχεια, παρατίθεται μια επισκόπηση των κυριότερων μερών του NBM-550.

Μετρήσεις Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας από Κεραίες Κινητής Τηλεφωνίας



Εικόνα 4.1: Επισκόπηση κυριότερων μερών του NBM-550

1. Υποδοχή σύνδεσης ισοτροπικής κεραίας
2. Μικρόφωνο
3. Περιοχή εμφάνισης των διάφορων μετρούμενων μεγεθών
4. Κουμπιά λειτουργίας και πλοήγησης
5. Υποδοχή για στήριξη σε ξύλινο τρίποδο
6. Θύρες ηλεκτρικής και οπτικής διασύνδεσης
 - 6a. Υποδοχή πολλαπλών λειτουργιών για σύνδεση με USB/GPS
 - 6b. Υποδοχή για την σύνδεση ακουστικού
 - 6c. Θύρα οπτικής διασύνδεσης
 - 6d. Υποδοχή σύνδεσης μετασχηματιστή/φορτιστή εναλλασσόμενου ρεύματος
7. Δεύτερη υποδοχή στο πίσω μέρος για στήριξη με ξύλινο τρίποδο
8. Κεφαλή ισοτροπικής κεραίας (probe)
9. Βύσμα ισοτροπικής κεραίας



Εικόνα 4.2: Τοποθέτηση δέκτη GPS και ισοτροπικής κεραίας (probe)

Κάθε φορά που το NBM-550 πρόκειται να τεθεί σε λειτουργία, ο χρήστης πρέπει να δίνει ιδιαίτερη προσοχή στα εξής σημεία:

- Σωστή τοποθέτηση και στήριξη του δέκτη GPS (Global Positioning System) στο πίσω μέρος της συσκευής, καθώς και σύνδεση του καλωδίου που μεταφέρει τα δεδομένα για την θέση του δέκτη στην κατάλληλη θύρα
- Σωστή εφαρμογή της ισοτροπικής κεραίας στην υποδοχή σύνδεσης στην κεντρική μονάδα
- Έλεγχος του επιπέδου φόρτισης της μπαταρίας ώστε να διασφαλιστεί η απρόσκοπτη διεξαγωγή των μετρήσεων για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα
- Βεβαίωση ότι η συσκευή είναι κλειστή πριν από κάθε αφαίρεση ή τοποθέτηση του probe και του δέκτη GPS

Εφόσον τηρηθούν αυτές οι βασικές προϋποθέσεις μπορεί να γίνει εκκίνηση της συσκευής, η οποία δεν γίνεται αμέσως αλλά χρειάζεται κάποιο χρόνο μέσα στον οποίο γίνονται οι απαραίτητοι εσωτερικοί έλεγχοι για να βεβαιωθεί η λειτουργικότητα των επιμέρους συστημάτων ή εφαρμογών. Εφόσον όλα πάνε καλά, στην οθόνη του NMB-550 λαμβάνουμε την εξής εικόνα:



Εικόνα 4.3: Επιτυχής εκκίνηση NBM-550

Αμέσως μετά εμφανίζονται οι πληροφορίες για την ημερομηνία της τελευταίας βαθμονόμησης του οργάνου και εν συνεχεία το όργανο είναι έτοιμο προς χρήση. Σε περίπτωση που εμφανιστεί κάποιο σφάλμα κατά τον αυτόματο εσωτερικό έλεγχο, τότε η εκκίνηση διακόπτεται και στην οθόνη εμφανίζεται σχετική ένδειξη που μας πληροφορεί από πού προήλθε το σφάλμα [13].

Η βαθμονόμηση της κεντρικής συσκευής όσο και της ισοτροπικής κεραίας ανά τακτά χρονικά διαστήματα εγγυάται αξιοπιστία στις μετρήσεις.

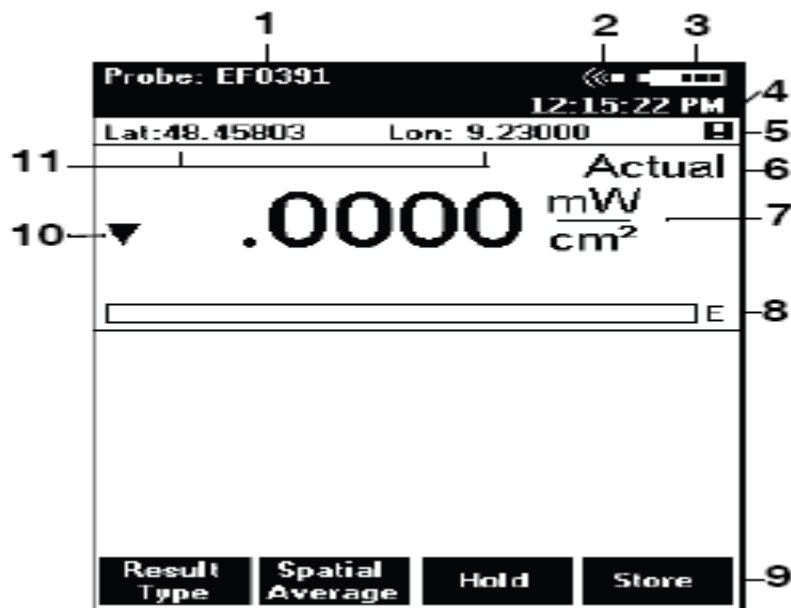
4.3 Περιγραφή των βασικών μενού και λειτουργιών του NBM-550

Η φιλοσοφία χειρισμού του NBM-550 ακολουθεί την εξής λογική: η οθόνη του μετρητή δείχνει κάθε φορά τις λειτουργίες οι οποίες είναι εφικτές βάσει της ισοτροπικής κεραίας (probe) που είναι συνδεδεμένη, των ρυθμίσεων που έχουν επιλεγεί και του μενού το οποίο είναι ανοιχτό. Οι διάφορες ρυθμίσεις χωρίζονται σε επίπεδα ώστε να διαχωρίζονται οι λειτουργίες που χρησιμοποιούνται συχνότερα από άλλες που χρησιμοποιούνται σπανιότερα.

- 1^ο επίπεδο : Η Οθόνη μετρήσεων (measurement screen)
- 2^ο επίπεδο : Το Βασικό μενού (main menu)
- 3^ο επίπεδο : Τα υπο-μενού (sub-menus)
- 4^ο επίπεδο : Οι λειτουργίες (functions)

4.3.1 Η οθόνη μετρήσεων

Η οθόνη μετρήσεων περιέχει σχεδόν όλες τις πληροφορίες για την κατάσταση του μετρητή NBM-550 καθώς και για την ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στον περιβάλλοντα χώρο.



Εικόνα 4.4: Οθόνη μετρήσεων (measurement screen)

1. Τύπος ισοτροπικής κεραίας (probe) που χρησιμοποιείται
2. Λειτουργία ηχητικού συναγερμού σε περίπτωση υπέρβασης ορίου ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
3. Επίπεδο φόρτισης μπαταρίας
4. Ωρα
5. Προειδοποίηση ότι τα δεδομένα θέσης του GPS δεν είναι ενημερωμένα
6. Τύπος εμφάνισης αποτελέσματος για την ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου
7. Μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου καθώς κι οι μονάδες αυτής
8. Ραβδόγραμμα της μετρούμενης έντασης με ταυτόχρονη ένδειξη για τον τύπο του πεδίου, E= Ηλεκτρικό πεδίο, H = Μαγνητικό πεδίο, S = Πυκνότητα ηλεκτρομαγνητικής ισχύος
9. Πλήκτρα λειτουργιών
10. Ένδειξη ότι η τρέχουσα μέτρηση δεν βρίσκεται μέσα στο εύρος τιμών που μπορεί να προβάλλει η συσκευή
 - Κάτω βέλος: λαμβανόμενο σήμα πολύ μικρό
 - Πάνω βέλος: λαμβανόμενο σήμα πολύ μεγάλο
11. Γεωγραφικές συντεταγμένες θέσης του δέκτη GPS

Τα πλήκτρα λειτουργιών που υπάρχουν στην οθόνη μετρήσεων δίνουν διάφορες δυνατότητες στον χρήστη για γρήγορα και ακριβή συμπεράσματα. Η λειτουργία **Result Type** αφορά τον τύπο του αποτελέσματος που εμφανίζεται στην οθόνη και ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μεταξύ 4 διαφορετικών μορφών:

- **Actual:** Εμφανίζεται η τελευταία μετρούμενη τιμή της έντασης του πεδίου τόσο αριθμητικά όσο και στο ραβδόγραμμα
- **Max hold:** Κατά την διάρκεια μιας διαδικασίας μετρήσεων η μέγιστη καταγραφόμενη τιμή έντασης πεδίου παγώνει στην οθόνη και φαίνεται αριθμητικά αλλά κι ως ξεχωριστή γραμμή στη περιοχή του ραβδογράμματος

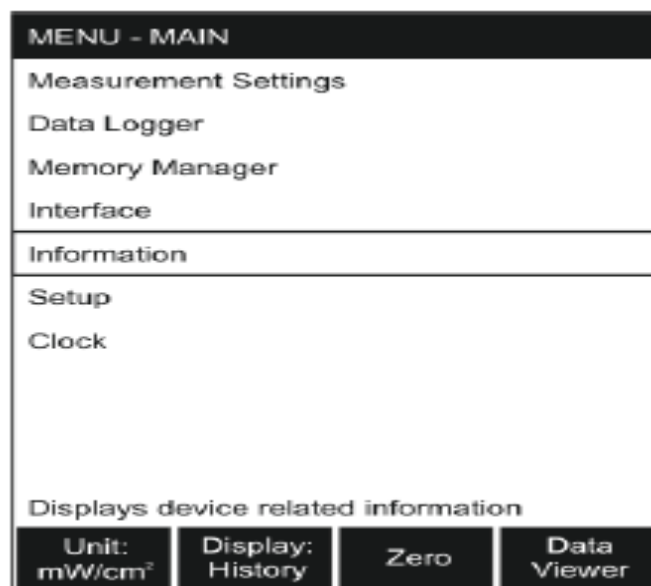
Μετρήσεις Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας από Κεραίες Κινητής Τηλεφωνίας

- **Average:** Υπολογίζεται και προβάλλεται στην οθόνη ο μέσος όρος των τρεχουσών τιμών μέτρησης. Το χρονικό παράθυρο για την εξαγωγή του μέσου όρου κυμαίνεται από 4sec έως 30min
- **Max average:** Η μέγιστη τιμή από τους υπολογιζόμενους μέσους όρους των μετρήσεων εμφανίζεται στην οθόνη

Η λειτουργία **Spatial Average** επιτρέπει τον υπολογισμό του χωρικού μέσου όρου της έντασης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Με αυτό τον τρόπο, θα μπορούσε για παράδειγμα να προσδιοριστεί η έκθεση του ανθρώπινου σώματος στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ο χωρικός μέσος όρος μπορεί να υπολογιστεί από διακεκριμένες τιμές οι οποίες έχουν καταγραφεί σε συγκεκριμένα σημεία στον χώρο ενδιαφέροντος ή μπορεί να υπολογιστεί από συνέχεις μετρήσεις καθώς η ισοτροπική κεραία κινείται γύρω από τον χώρο ενδιαφέροντος. Η λειτουργία **Hold** παγώνει στην οθόνη την τρέχουσα (actual) μετρούμενη τιμή της έντασης. Και τέλος η λειτουργία **Store** αποθηκεύει την τρέχουσα μετρούμενη τιμή.

4.3.2 Το βασικό μενού

Από την οθόνη μετρήσεων πατώντας μια φορά το πλήκτρο OK βρισκόμαστε στο βασικό μενού, το οποίο φαίνεται παρακάτω:



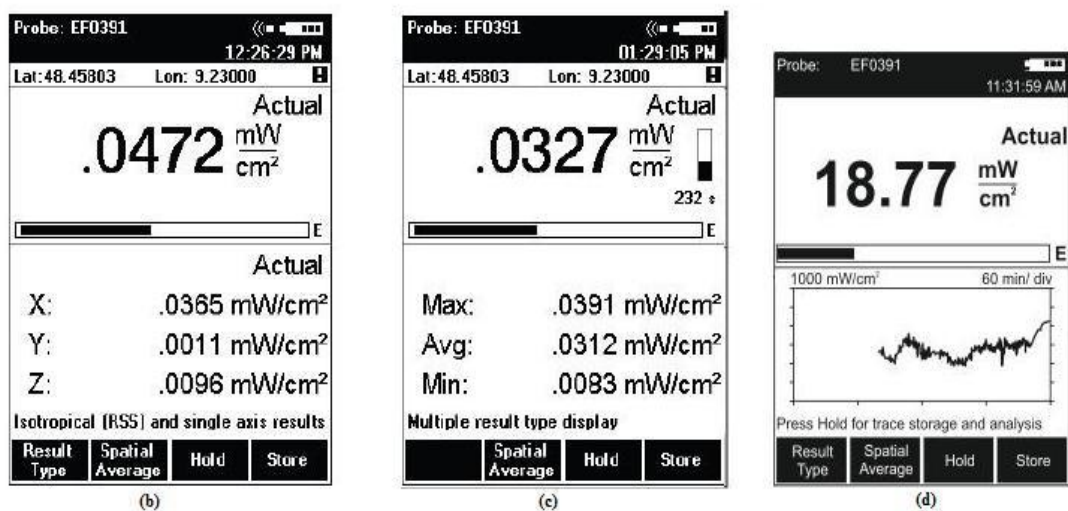
Εικόνα 4.5: Βασικό Μενού NBM-550

Βλέπουμε ότι το βασικό μενού αποτελείται από τέσσερα πλήκτρα λειτουργιών στο κάτω μέρος της οθόνης και από την λίστα των επτά υπο-μενού. Στην συνέχεια δίνουμε μια σύντομη περιγραφή για κάθε ένα στοιχείο ξεχωριστά.

4.3.2.1 Λειτουργίες βασικού μενού

- **Unit:** η λειτουργία αυτή μας επιτρέπει να επιλέγουμε τις μονάδες μέτρησης της τιμής της υπολογιζόμενης έντασης πεδίου. Οι επιλογές είναι W/m^2 , mW/cm^2 , V/m, A/m.

- **Display:** η λειτουργία αυτή μας επιτρέπει να αλλάζουμε το στυλ εμφάνισης πληροφοριών στην οθόνη μετρήσεων:
 - a. *Normal:* Βλέπουμε τη μετρούμενη τιμή ανάλογα με το επιλεγμένο τύπο εμφάνισης αποτελέσματος
 - b. *XYZ:* Βλέπουμε την τρέχουσα (actual) τιμή της έντασης του πεδίου και στο κάτω μέρος της οθόνης βλέπουμε την συνεισφορά των συνιστωσών στους τρεις κάθετους άξονες X, Y, Z
 - c. *Monitor:* Βλέπουμε την τρέχουσα (actual) τιμή της έντασης και ταυτόχρονα την μέγιστη, ελάχιστη τιμή καθώς και την μέση τιμή υπολογισμένα με βάση την στιγμή έναρξης της μέτρησης
 - d. *History:* Βλέπουμε την τρέχουσα τιμή της έντασης και στο κάτω μέρος της οθόνης διάγραμμα των τιμών της έντασης συναρτήσει του χρόνου



Εικόνα 4.6: Τρόποι εμφάνισης οθόνης μετρήσεων (Display modes)

- **Zero:** Η λειτουργία αυτή συμβαίνει ανά τακτά χρονικά διαστήματα που ορίζει ο χρήστης και ουσιαστικά αντισταθμίζει τις επιδράσεις των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων στα αποτελέσματα μετρήσεων της βασικής μονάδας
- **Data Viewer:** Η λειτουργία αυτή μας επιτρέπει να έχουμε πρόσβαση στην μνήμη του NBM-550 και να διατρέχουμε την λίστα των αποθηκευμένων μετρήσεων, να ανοίγουμε μεμονωμένες αποθηκευμένες μετρήσεις, να διαγράφουμε την τελευταία χρονικά αποθηκευμένη μέτρηση

4.3.2.2 Τα υπό-μενού

Στην εικόνα 4.5 φαίνονται τα διάφορα υπό-μενού του μετρητή NBM-550. Ξεκινώντας από πάνω πρώτο στην λίστα βρίσκεται το *Measurement Settings (Ρυθμίσεις μετρήσεων)*. Οι δυνατότητες που προσφέρει το υπό-μενού αυτό είναι ποικίλες και αναφέρουμε ενδεικτικά τις κυριότερες. Από εδώ μπορεί ο χρήστης να ρυθμίσει το χρονικό παράθυρο υπολογισμού του μέσου όρου (average) από μια σειρά μετρήσεων, να επιλέξει και να ενεργοποιήσει ένα συγκεκριμένο πρότυπο ασφαλείας (πχ IEEE, ICNIRP) για την λήψη μετρήσεων, να εφαρμόσει διόρθωση συχνότητας ώστε να ελαχιστοποιήσει το σφάλμα στην μετρούμενη τιμή έντασης όταν γνωρίζει ότι η κύρια πηγή ακτινοβολίας στον περιβάλλοντα χώρο εκπέμπει σε αυτήν την

συχνότητα, να επιλέξει τον τύπο πεδίου όταν χρησιμοποιείται συνδυαστική ισοτροπική κεραία (probe), να ορίσει μεταβλητές διαστάσεις για τις μονάδες μέτρησης ώστε να εξασφαλιστεί η προσαρμογή τους στο αποτέλεσμα της μέτρησης.

Δεύτερο στη λίστα υπό-μενού είναι το *Data Logger* (*Καταγραφέας δεδομένων*) και από εδώ ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει τις παραμέτρους καταγραφής μετρήσεων. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει η δυνατότητα να ξεκινήσει μια χρονομετρημένη καταγραφή δεδομένων ή μια υπό συνθήκη καταγραφή. Για την μεν πρώτη μπορεί να θέσει την ακριβή ώρα έναρξης της διαδικασίας, την χρονική διάρκεια που θα εκτελεστεί, το χρόνο δειγματοληψίας ο οποίος κυμαίνεται από 1sec έως 6min. Η υπό συνθήκη καταγραφή προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία. Με την λειτουργία αυτή μπορεί να γίνει καταγραφή μετρήσεων οι οποίες είτε υπερβαίνουν κάποιο άνω κατώφλι (UPPER THRESHOLD) είτε βρίσκονται εκτός του διαστήματος (OUT OF GAP) που ορίζεται από το άνω κατώφλι και το κάτω κατώφλι (LOWER THRESHOLD). Το εύρος αποθήκευσης πάλι μπορεί να επιλεγεί, ώστε να αποθηκεύονται όλες οι μετρήσεις που εκπληρώνουν την συνθήκη καταγραφής (store condition) με συχνότητα δειγματοληψίας 0.2sec, ή να αποθηκεύονται οι πρώτες και τελευταίες τιμές κατά την περίοδο που η συνθήκη καταγραφής εκπληρωνόταν [13].

Το επόμενο κατά σειρά υπό-μενού είναι το *Memory Manager* (*Διαχείριση Μνήμης*). Εδώ λαμβάνουμε πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της μνήμης της κεντρικής μονάδας. Μπορούμε να δούμε πληροφορίες όπως το ποσοστό της διαθέσιμης ελεύθερης μνήμης, τις τελευταίες αποθηκευμένες μετρήσεις, την ακριβή ημερομηνία και ώρα κατά την οποία έγιναν, τον τύπο των αποθηκευμένων μετρήσεων (Conditional storing, Timer Logging, Monitor Display, XYZ display κτλ). Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα για διαγραφή του τελευταίου αποθηκευμένου σετ μετρήσεων ή όλων των σετ μετρήσεων που έχουν ληφθεί και τέλος από εδώ μπορεί να αναπαραχθούν τα ηχητικά μηνύματα σχολιασμού που καταγράφηκαν και αποθηκεύτηκαν κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

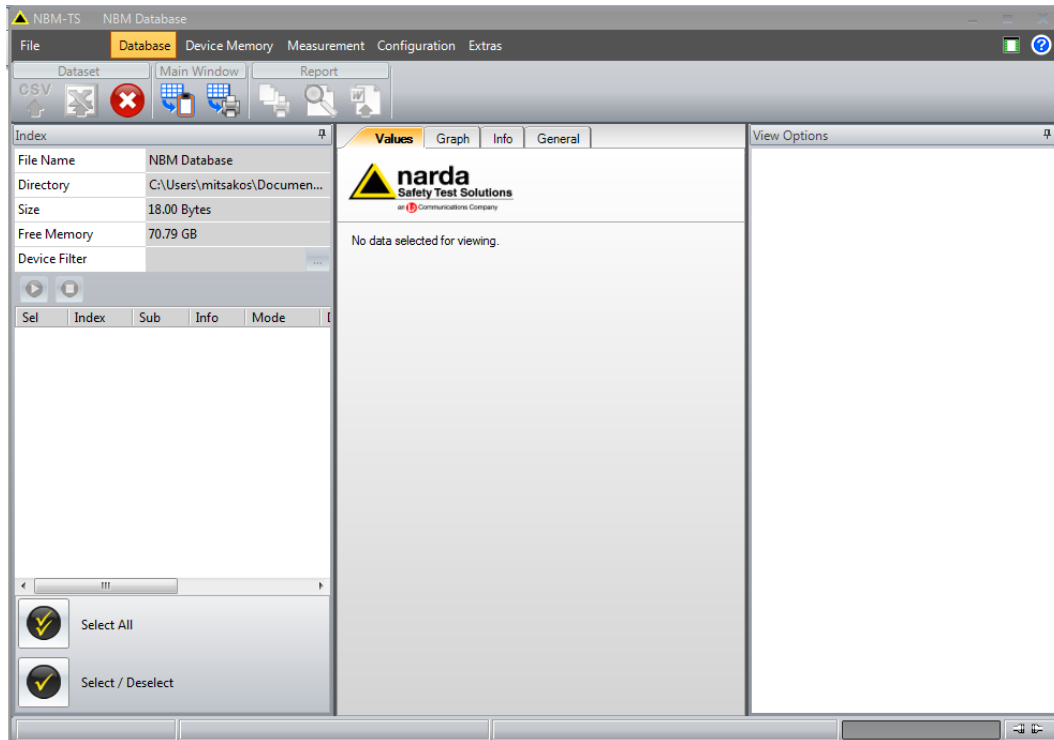
Στην συνέχεια συναντάμε το υπό-μενού *Interface* όπου γίνεται η επιλογή της σειριακής θύρας μέσω της οποίας θα συνδεθεί η κεντρική μονάδα με ένα PC (USB ή Optical). Ακόμα, μπορούμε να αλλάξουμε τον τρόπο εμφάνισης των γεωγραφικών συντεταγμένων θέσης του GPS (DMS, MinDec, DegDec) και ακόμα να επιλέξουμε αν θα χρησιμοποιήσουμε το NBM-550 για να χειριστούμε κάποιο άλλο όργανο της σειράς NBM-5XX [13].

Προχωρώντας, το επόμενο υπό-μενού στη λίστα είναι το *Information* (*Πληροφορίες*). Εδώ, συγκεντρώνονται πληροφορίες που έχουν σχέση με το όργανο και την χρησιμοποιούμενη ισοτροπική κεραία. Για το όργανο οι πληροφορίες αφορούν το όνομα του προϊόντος, τον σειριακό αριθμό του, την έκδοση firmware, την ημερομηνία της τελευταίας βαθμονόμησης του, την ημερομηνία της επόμενης βαθμονόμησης. Κατά τον ίδιο τρόπο δίνονται οι πληροφορίες για τον τύπο ισοτροπικής κεραίας που είναι συνδεδεμένη, το όνομα προϊόντος, τον αριθμό προϊόντος, τον σειριακό αριθμό, την τελευταία ημερομηνία βαθμονόμησης του probe, τον τύπο του πεδίου που λαμβάνει (E ή H), την χαμηλότερη και υψηλότερη συχνότητα που μπορεί να μετρήσει. Και, τέλος, δίνονται κάποιες διαγνωστικές πληροφορίες για την θερμοκρασία, για την τάση της μπαταρίας καθώς και για την χωρητικότητα της.

Τα δύο τελευταία υπό-μενού είναι τα *Setup* και *Clock*. Στο *Setup* μπορούμε να αποθηκεύσουμε ένα προφίλ συνολικών ρυθμίσεων που έχουμε κάνει στο NBM-550, το οποίο εξυπηρετεί την διαδικασία μετρήσεων που θέλουμε να πραγματοποιήσουμε. Στο υπό-μενού *Clock* γίνονται οι ρυθμίσεις για τις ενδείξεις ώρας και ημερομηνίας [13].

4.4 Το λογισμικό NBM-TS

Το λογισμικό πρόγραμμα “NBM-TS” παρέχεται από την εταιρία κατασκευής του οργάνου NBM-550, εγκαθίσταται σε υπολογιστή με λειτουργικό σύστημα Windows XP SP2 ή και νεότερης έκδοσης και παρέχει πολλές δυνατότητες χειρισμού της συσκευής μέσω του υπολογιστή.



Εικόνα 4.7: NBM-TS

Οι λειτουργίες που υλοποιούνται μέσω του λογισμικού είναι:

- Οπτικοποίηση των αποθηκευμένων αποτελεσμάτων των μετρήσεων
- Offline ανάλυση των αποθηκευμένων αποτελεσμάτων
- Απομακρυσμένος έλεγχος του NBM-550
- Απλή και γρήγορη εξαγωγή των δεδομένων των αποθηκευμένων μετρήσεων σε αρχεία Microsoft Excel, Word ή text, “CSV”
- Διαχείριση δεδομένων μετρήσεων σε βάσεις δεδομένων
- Άμεση εκτύπωση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων
- Στιγμιότυπα (screenshots) από τα εμφανιζόμενα παράθυρα
- Διαχείριση προτύπων ασφαλείας

Το λογισμικό “NBM-TS” προσφέρει ακόμα την δυνατότητα σύνδεσης των δεδομένων για τις γεωγραφικές συντεταγμένες θέσης του δέκτη GPS με πραγματικές εικόνες τοποθεσιών μέσω προγραμμάτων απεικόνισης όπως το Google Earth™, το Yahoo Maps, το Live Search Maps, καθιστώντας τα στοιχεία της έρευνας πιο ευπαρουσίαστα και ευανάγνωστα.

Μετρήσεις Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας από Κεραίες Κινητής Τηλεφωνίας

The screenshot displays the 'Info' tab of the Narda Safety Test Solutions software. At the top, the date is 02/23/2010 and the time is 02:21:58 PM. The interface is divided into several sections:

- Meter:** Model: NBM-550, S/N: B-0073
- Probe:** Model: EF0391, S/N: A-0218
- Coordinates:** Latitude: 37.97409, Longitude: 23.78534

Below these fields are empty text boxes for 'Comment' and 'Site'. There are also 'Learn' and 'Edit List...' buttons. A map area shows a satellite view of a building complex with a blue location pin. A 'Webbrowser' window is open over the map, displaying 'Live Search Maps' and a sidebar with 'My places', 'You must Sign', and 'Unsaved places'.

Εικόνα 4.8: Αξιοποίηση γεωγραφικών δεδομένων του δέκτη GPS μέσω του “NBM-TS”

Επιπλέον, το λογισμικό επιτρέπει την γρήγορη και εύκολη αναβάθμιση του firmware της συσκευής. Το firmware είναι ένα είδος λογισμικού το οποίο είναι γραμμένο σε γλώσσα μηχανής (assembly) και είναι φτιαγμένο συνήθως για ένα και μόνο μοντέλο συσκευής. Έτσι, ανά τακτά χρονικά διαστήματα μπορούμε να εξοπλίζουμε το NBM-550 με νέες ή βελτιωμένες λειτουργίες που επιτρέπουν ακριβέστερες μετρήσεις και γενικότερα βοηθούν στην εκπλήρωση των συνεχώς αυξανόμενων αναγκών του χρήστη.

Κεφάλαιο 5 : Επιλεκτικός μετρητής ακτινοβολίας SRM-3000

5.1 Γενικά Στοιχεία

Ο επιλεκτικός μετρητής ακτινοβολίας SRM-3000 (Selective Radiation Meter) της Narda Safety Test Solutions είναι μια φορητή μετρητική συσκευή που χρησιμοποιείται για ανάλυση ασφαλείας των ραδιοκυμάτων και των μικροκυματικών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.

Η συσκευή SRM-3000 αποτελείται από ένα αναλυτή φάσματος (100 kHz - 3 GHz) και μια ισοτροπική κεραία μέτρησης (probe) η οποία χρησιμοποιεί 3 κάθετα μεταξύ τους δίπολα. Το ισοτροπικό probe (κεραία μέτρησης) του SRM-3000 μετράει σε 3 κάθετους άξονες ταυτόχρονα [14].



Εικόνα 5.1: Κεραία μέτρησης της συσκευής SRM-3000

Η συσκευή SRM-3000 μπορεί να υπολογίσει αποτελέσματα που αφορούν:

- Το επίπεδο της έντασης του πεδίου ή το ποσοστό του επιτρεπτού επιπέδου έκθεσης
 - Είτε από μία πηγή
 - Είτε από λίστα πολλών πηγών ή καναλιών
- Τη συνεισφορά κάθε δεδομένης τηλεπικοινωνιακής υπηρεσίας
- Τη συνεισφορά από όλες τις υπηρεσίες και το ποσοστό τους στην συνολική έκθεση

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται σε μονάδες έντασης πεδίου, πυκνότητας ισχύος ή ποσοστού του επιτρεπτού ορίου. Στη συνέχεια, αναλύονται λεπτομερέστερα οι δυνατότητες χρήσης του SRM-3000 αλλά και οι διάφορες λειτουργίες του.

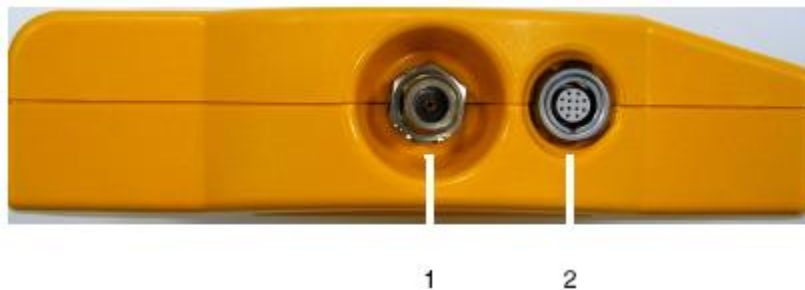
5.2 Προετοιμασία του μετρητικού εξοπλισμού πριν την χρήση

Στις επόμενες εικόνες είναι διακριτά τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται η μετρητική μονάδα SRM-3000.



Εικόνα 5.2: Βασικά μέρη του SRM-3000

1. Ισοτροπική κεραία μέτρησης ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου
2. Πάνω πλευρά όπου συνδέονται η ισοτροπική κεραία και το καλώδιο της
3. LCD οθόνη, περιστροφικό κουμπί ελέγχου, κουμπιά λειτουργίας, φωτεινή ένδειξη (LED) κατάστασης και επιπέδου φόρτισης
4. Κάτω πλευρά όπου βρίσκονται η μπαταρία της συσκευής, οι διάφορες θύρες σύνδεσης καθώς και η υποδοχή του φορτιστή/μετασχηματιστή εναλλασσόμενης τάσης.



Εικόνα 5.3: Πάνω πλευρά SRM-3000

1. Υποδοχή σύνδεσης ισοτροπικής κεραίας
2. Υποδοχή 12 πόλων για σύνδεση καλωδίου ελέγχου (εάν συνδεθεί κεραία ή καλώδιο κατασκευής Narda τότε η κεντρική μονάδα αναγνωρίζει αυτόματα το τύπο των συνδεόμενων στοιχείων)



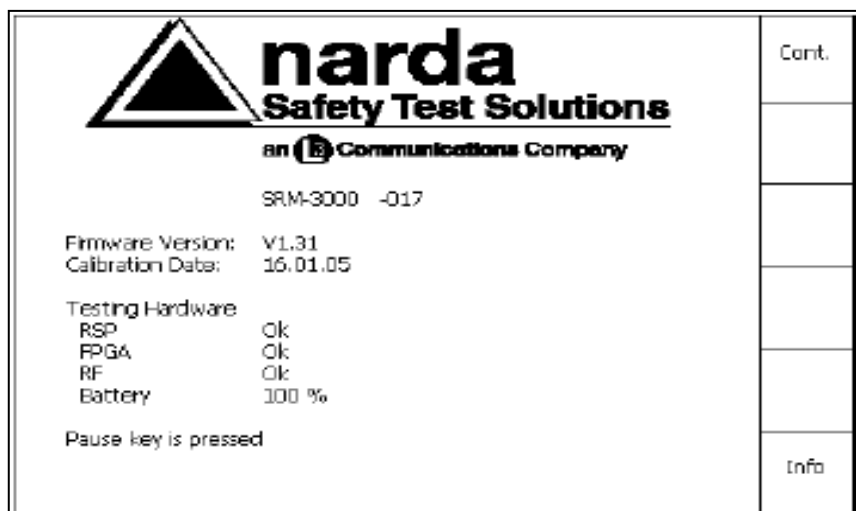
Εικόνα 5.4: Κάτω πλευρά SRM-3000

1. Θέση κράτησης μπαταρίας
2. Διεπαφή USB
3. Σειριακή θύρα δεδομένων για διασύνδεση με PC
4. Υποδοχή φορτιστή/μετασχηματιστή συσκευής

Πρώτου λοιπόν ξεκινήσει η διαδικασία λήψης μετρήσεων με τον επιλεκτικό μετρητή SRM-3000 πρέπει να ελέγχονται τα εξής:

- Έλεγχος των πινάκων συχνοτήτων της συσκευής
- Έλεγχος των καλωδίων που συνδέουν τα probes με την κυρίως συσκευή
- Έλεγχος ότι η συσκευή είναι κλειστή όταν θα συνδέεται το καλώδιο της συσκευής στο probe
- Έλεγχος ότι η συσκευή είναι σωστά συνδεδεμένη με τον υπολογιστή
- Έλεγχος ότι οι μπαταρίες είναι ικανοποιητικά φορτισμένες για το χρονικό διάστημα που απαιτεί ένα συγκεκριμένο σενάριο μέτρησης

Αφού τηρηθούν αυτές οι προϋποθέσεις, μπορούμε να εκκινήσουμε την συσκευή. Όταν γίνεται εκκίνηση της συσκευής (ON), αρχικά γίνεται εσωτερικός έλεγχος από την ίδια τη συσκευή της λειτουργικότητας των επιμέρους συστημάτων-λειτουργιών. Εφόσον η λειτουργία ελέγχου ολοκληρωθεί επιτυχώς τότε στην οθόνη παίρνουμε την παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 5.5: Οθόνη κατά την διάρκεια του εσωτερικού ελέγχου

και η συσκευή είναι έτοιμη προς χρήση. Στην περίπτωση που παρουσιαστεί κάποιο σφάλμα κατά την διάρκεια του εσωτερικού ελέγχου, η διαδικασία εκκίνησης της

συσκευής διακόπτεται και ο αντίστοιχος ενδεικτικός κωδικός του σφάλματος εμφανίζεται στην οθόνη.

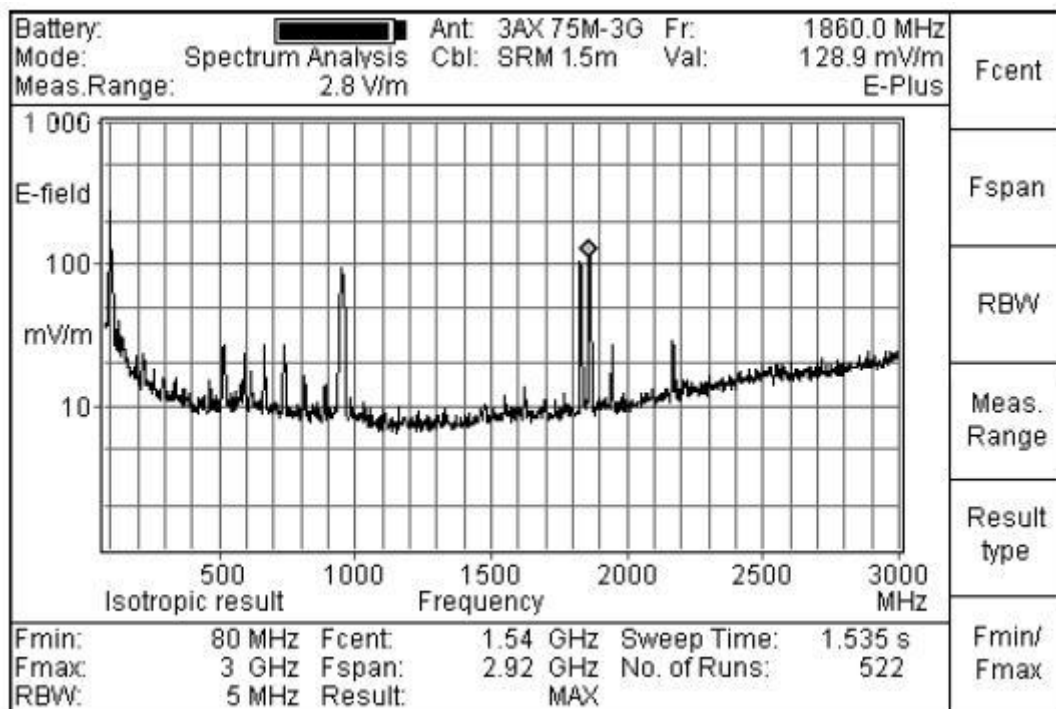
5.3 Βασικές λειτουργίες του SRM-3000

Καθώς το SRM-3000 έχει κατασκευασθεί για καθημερινή χρήση, διαθέτει ένα πλήθος γενικών και ειδικών λειτουργιών που προορίζονται για τις κυριότερες εφαρμογές που ενδιαφέρουν τους περισσότερους χρήστες και είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Φασματική Ανάλυση (Spectral Analysis Mode)

Σε περιβάλλοντα πολλών συχνοτήτων, η λειτουργία της «Φασματικής Ανάλυσης» (Spectrum Analysis mode) παρέχει μία γενική εικόνα όλων των φασματικών συνιστωσών και των αντίστοιχων τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου. Ο χρήστης πρέπει απλά να διαλέξει το εύρος της φασματικής ζώνης που επιθυμεί να μετρήσει. Το SRM-3000 μπορεί να δεχθεί φασματικές ζώνες που βρίσκονται εντός της φασματικής ζώνης που καλύπτει ο συνδεδεμένος αισθητήρας. Στην οθόνη του SRM-3000 απεικονίζεται το φάσμα και με τη χρήση δεικτών (markers) μπορεί να εκτιμηθεί η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. Επίσης, υπάρχουν πίνακες που παρουσιάζουν όλες τις τιμές της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που ξεπερνούν ένα καθορισμένο όριο και τις αντίστοιχες συχνότητες [14].

Ένα ειδικό χαρακτηριστικό είναι και η ικανότητα ολοκλήρωσης σε μία επιθυμητή ζώνη συχνοτήτων. Αυτό επιτρέπει στο χρήστη να απεικονίζει την ισχύ ενός καναλιού εκπομπής με εύρος ζώνης μεγαλύτερο από το Resolution Bandwidth (RBW) της μέτρησης. Το Resolution Bandwidth χαρακτηρίζει την επιλεκτικότητα του αναλυτή φάσματος σε σχέση με τα σήματα που έχουν περίπου το ίδιο πλάτος. Μόνο σήματα τα οποία διαχωρίζονται από μια συχνότητα μεγαλύτερη του Resolution Bandwidth μπορούν να διακριθούν το ένα από το άλλο [14].



Εικόνα 5.6: Η λειτουργία της Φασματικής Ανάλυσης είναι χρήσιμη για την αναγνώριση των πηγών μέσα σε ένα εύρος συχνοτήτων

✓ Εκτίμηση Ασφαλείας (Safety Evaluation)

Σε αυτή τη λειτουργία το SRM-3000 απεικονίζει τα αποτελέσματα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε μορφή πινάκων, έχοντας καταναίμει το συνολικό αποτέλεσμα στις ανεξάρτητες πηγές ακτινοβολίας. Επίσης, απεικονίζεται και η συνολική έκθεση. Οι ζώνες συχνοτήτων για κάθε υπηρεσία είναι ρυθμιζόμενες από το χρήστη. Τα αποτελέσματα μπορούν να απεικονίζονται ως ποσοστά ενός ορίου έκθεσης ή ως απόλυτες τιμές σε V/m ή A/m ή W/m² ή mW/cm². Η λειτουργία αυτή παρέχει στο χρήστη μία εύκολη και άμεση εκτίμηση της συνεισφοράς των ανεξάρτητων πηγών (υπηρεσιών) στη συνολική ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο στην περίπτωση εκείνη που πολλοί πάροχοι μοιράζονται τον ίδιο χώρο για τις κεραίες εκπομπής.

Battery: [REDACTED] Ant: 3AX 75M-3G Funkdienste D				Sel. first service
Mode: Safety Evaluation Cbl: SRM 1.5m				
Meas.Range: 10 V/m				
Service	Value	Frequency		Sel. last service
UKW	163.8 mV/m	87.500 MHz to	108.000 MHz	
Band II/DAB	80.33 mV/m	174.000 MHz to	230.000 MHz	Sel. all service
Band IV/V/DTVB	127.4 mV/m	470.000 MHz to	790.000 MHz	
GSM 900	186.4 mV/m	890.000 MHz to	960.000 MHz	
GSM 1800	230.7 mV/m	1710.000 MHz to	1880.000 MHz	Meas. Range
UMTS	129.6 mV/m	1920.000 MHz to	2170.000 MHz	
Others	256.3 mV/m			Result type
Total	469.0 mV/m	87.500 MHz to	2170.000 MHz	
Isotropic result				
Fmin:	87.5 MHz	Process Time: 1.270 s		
Fmax:	2.17 GHz	No. of Runs: 12		
RBW:	5 MHz(Auto)	Result:	ACT	

Εικόνα 5.7: Η λειτουργία της Εκτίμησης Έκθεσης επιτρέπει τη σύγκριση συνεισφορών διαφορετικών τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών με τη συνολική ένταση του ηλεκτρικού πεδίου.

Η λειτουργία αυτή βασίζεται στη «Φασματική λειτουργία» (spectrum analysis mode) και ακολουθείται από ολοκλήρωση σε συγκεκριμένες φασματικές ζώνες. Η διαδικασία μετρήσεων είναι πλήρως αυτοματοποιημένη. Το SRM-3000 μετράει όλο το εύρος συχνοτήτων για κάθε επιλεγμένη υπηρεσία και ρυθμίζει αυτόματα το Resolution Bandwidth (RBW), ώστε να ταιριάζει με το μικρότερο φασματικό εύρος που πρόκειται να μετρηθεί. Αποθηκεύει τις απόλυτες τιμές της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου από τις επιλεκτικές μετρήσεις καθώς και τα αντίστοιχα όρια έκθεσης. Η ολοκλήρωση σε όλες τις φασματικές ζώνες για τις ανεξάρτητες υπηρεσίες παρέχει την συνεισφορά. Το SRM-3000 ομαδοποιεί τις φασματικές ζώνες μεταξύ των επιλεγμένων υπηρεσιών ως “Others” και τις συμπεριλαμβάνει στο τελικό συγκεντρωτικό αποτέλεσμα [14].

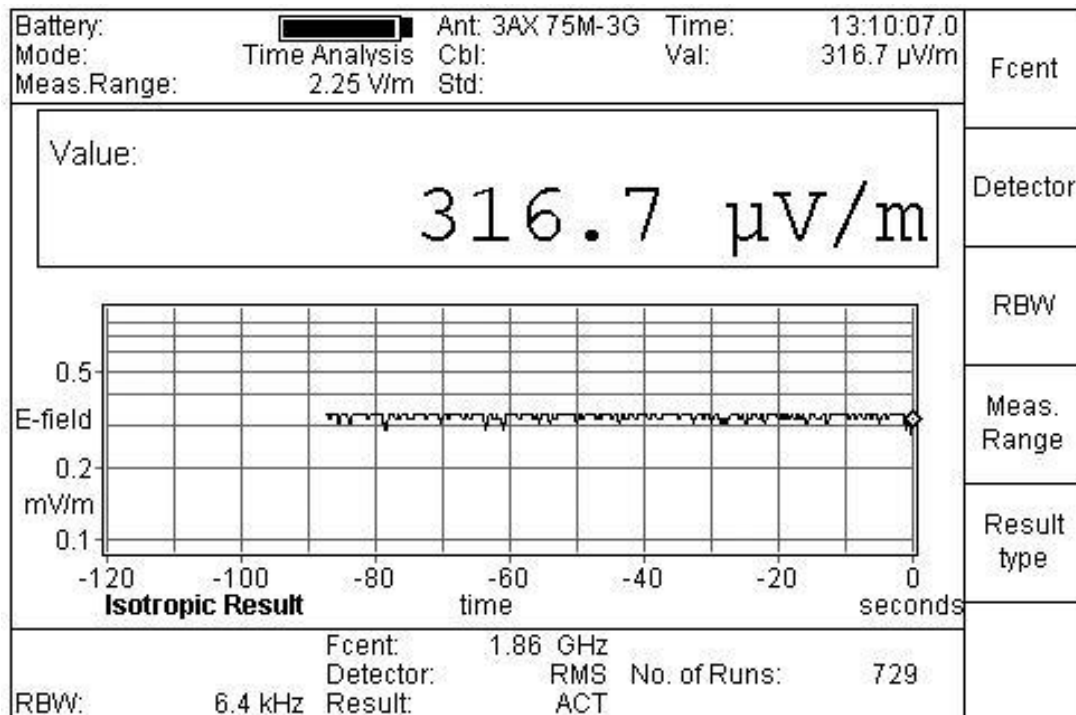
✓ Ανάλυση Χρόνου (Time Analysis)

Στη λειτουργία αυτή το SRM-3000 υπολογίζει την ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου γύρω από μια κεντρική συχνότητα που ορίζεται από τον χρήστη. Επίσης, το Resolution Bandwidth εναπόκειται στην επιλογή του χρήστη και κυμαίνεται στο διάστημα από 6.4kHz έως 6MHz. Ο αλγόριθμος μετρήσεων που χρησιμοποιεί η συσκευή εξασφαλίζει ότι τα μετρούμενα αποτελέσματα καταγράφονται, επεξεργάζονται και αποθηκεύονται σε πραγματικό χρόνο χωρίς κενά μεταξύ τους (όπως καθορίζεται από τον ρυθμό δειγματοληψίας).

Η «Ανάλυση Χρόνου» για την λήψη μετρήσεων δίνει δύο επιλογές είτε την ανίχνευση μέγιστης τιμής (PEAK, peak value detector) είτε την ανίχνευση rms τιμής (RMS, rms value detector) [14].

Η τρέχουσα (ACTUAL) και η μέγιστη τιμή (MAX) μπορούν να απεικονιστούν αριθμητικά όταν χρησιμοποιείται η ανίχνευση μέγιστης τιμής. Ανάλογα, η μέση τιμή (AVG) καθώς και η μέγιστη μέση τιμή (MAX AVG) μπορούν να προσδιορισθούν και να εμφανισθούν αριθμητικά όταν έχει επιλεγεί η ανίχνευση rms τιμής. Όσο αφορά τον χρόνο υπολογισμού της μέσης τιμής μπορεί να ρυθμιστεί από 0.96 sec έως 30 min.

Το SRM-3000 στη λειτουργία αυτή χρησιμοποιεί φίλτρα γύρω από την επιλεγμένη συχνότητα των οποίων η χαρακτηριστική καμπύλη της συνάρτησης μεταφοράς είναι απότομη. Αυτό συμβαίνει ώστε η αποκοπή να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη και με αυτό τον τρόπο να μπορούμε να παρακολουθούμε μια συγκεκριμένη τηλεπικοινωνιακή υπηρεσία κατά την διάρκεια μιας χρονικής περιόδου χωρίς αυτή να επηρεάζεται από γειτονικές υπηρεσίες.



Εικόνα 5.8: Η λειτουργία της Ανάλυσης Χρόνου όπου τα αποτελέσματα καταγράφονται συνεχόμενα με τον χρόνο και παρουσιάζονται είτε αριθμητικά είτε σε μορφή γραφήματος

- ✓ Λειτουργία Αποδιαμόρφωσης UMTS P-CPICH (Προαιρετική)

Στη λειτουργία αυτή, το SRM-3000 μπορεί να αποκωδικοποιήσει τα πιλοτικά κανάλια "Primary common pilot (P-CPICH)" κάθε κυψέλης UMTS που ανιχνεύεται για εύρος ζώνης 5 MHz.

Battery:		Ext. Power		Ant: 3AX 75M-3G		Fcent
Mode:		UMTS P-CPICH Dem.		Cbl:		
Meas.Range:		128 dBμV/m		Std:		
Ind.	Scr.	Value		Max.Value	Cell Name	Table Reset
1	34	-999.00 dBμV/m		69.83 dBμV/m		
2	339	68.32 dBμV/m		82.02 dBμV/m		
3	501	81.14 dBμV/m		92.19 dBμV/m		
						Max Reset
						Meas. Range
Total		81.36 dBμV/m		92.59 dBμV/m		Result type
Analog		80.18 dBμV/m		89.82 dBμV/m		
Isotropic Result		Extr. Fact.		4		
SENSITIVE		Fcent:		2.112 8 GHz		More ...
Full Table		Result:		ACT		

Εικόνα 5.9: Η επιλογή «Αποδιαμόρφωση UMTS P - CPICH» επιτρέπει στο SRM-3000 να αποκωδικοποιήσει τα πιλοτικά κανάλια P - CPICH που περιέχονται σε εύρος ζώνης 5 MHz και έτσι να συσχετίσει τις μετρούμενες τιμές της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου με τα αντίστοιχα κανάλια

Το όργανο παρέχει τα αποτελέσματα σε ένα πίνακα σύμφωνα με τους κωδικούς scrambling που χρησιμοποιούνται για να αναγνωρίσουν κάθε κυψέλη. Το SRM-3000 απεικονίζει τα αποτελέσματα ως ποσοστά μίας τιμής ορίου ή σε απόλυτες τιμές σε V/m ή A/m ή W/m² ή mW/cm². Εκτός από το άθροισμα των εντάσεων ηλεκτρικού πεδίου των αποδιαμορφωμένων σημάτων (Total), το SRM-3000 υπολογίζει την πραγματική συνολική αναλογική ισχύ του καναλιού UMTS (Analog).

Για κάθε κυψέλη, το SRM-3000 απεικονίζει ταυτόχρονα τις τρέχουσες τιμές (Value) και τις μέγιστες τιμές από την τελευταία φορά που έγινε "Reset". Στη συνέχεια εφαρμόζει έναν παράγοντα προσέγγισης που καθορίζεται από τον χρήστη, τόσο στα επιμέρους όσο και στα συνολικά αποτελέσματα των μετρήσεων. Έτσι, υπολογίζονται οι τιμές για την χειρότερη περίπτωση, οι οποίες θα εμφανίζονταν αν όλα τα κανάλια που μεταφέρουν κίνηση (traffic channels) λειτουργούσαν στο μέγιστο φορτίο τους [14].

Η επιλογή καναλιού UMTS γίνεται δίνοντας την κεντρική συχνότητα ή τον αριθμό του καναλιού. Για μία γρήγορη και εύκολη αναγνώριση των διαφόρων κωδικών scrambling, μπορούν να επιλεγούν πίνακες με ονόματα κυψελών που έχουν εισαχθεί από τον χρήστη. Σε κάθε κώδικα μίας κυψέλης πρέπει να έχει αντιστοιχηθεί ένα όνομα.

5.4 Μεθοδολογία μετρήσεων με την χρήση του SRM-3000

Για την πραγματοποίηση μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικού υποβάθρου μη ιονίζουσας ακτινοβολίας με χρήση εξοπλισμού SRM-3000 πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η βασική μονάδα του SRM-3000 περιλαμβάνει τον αναλυτή φάσματος με την RF είσοδο, τον επεξεργαστή ελέγχου και μετρήσεων, τα πληκτρολόγια εισόδου εντολών καθώς και την οθόνη προβολής αποτελεσμάτων. Όλες οι διαδικασίες και παράμετροι μετρήσεων εισάγονται από τα πληκτρολόγια (softkeys) ή με το thumbwheel.

Όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, το SRM-3000 υπολογίζει τα αποτελέσματα ως εξής:

- Επίπεδα έντασης πεδίου ή ποσοστό επί των επιτρεπτών ορίων έκθεσης μίας πηγής ή ενός διαύλου ή ενός πίνακα πηγών
- Συνεισφορά από συγκεκριμένη τηλεπικοινωνιακή υπηρεσία
- Συνεισφορά από όλες τις υπηρεσίες και το ποσοστό συνεισφοράς κάθε υπηρεσίας στο ολικό πεδίο

Το SRM-3000 αυτόματα αναγνωρίζει τις πιο κάτω πληροφορίες:

- Τον συντελεστή κεραίας (Antenna factor) για την μετατροπή της τάσης στην έξοδο του probe σε τιμές έντασης πεδίου.

Μέσω ενός ειδικού καλωδίου ελέγχου, το SRM-3000 αναγνωρίζει αυτόματα τους συντελεστές διόρθωσης μέσω μίας μνήμης EEPROM που βρίσκεται μέσα στον αισθητήρα. Αν ο αισθητήρας είναι συνδεδεμένος με τη βασική μονάδα μέσω καλωδίου επέκτασης της Narda, τότε το SRM-3000 θα αναγνωρίσει και στην περίπτωση αυτή τους παράγοντες απωλειών αυτόματα, μέσω μίας παρόμοιας EEPROM των καλωδίων. Για αισθητήρες και καλώδια άλλων κατασκευαστών, ο χρήστης μπορεί να εισάγει τους σχετικούς παράγοντες διόρθωσης (παράγοντας κεραίας, απώλειες καλωδίων) μέσω του ειδικού λογισμικού και να τους μεταφέρει στη συνέχεια στο όργανο μέσω της σειριακής θύρας. Στη συνέχεια, ο χρήστης θα πρέπει να επιλέξει τον τύπο του αισθητήρα ή/και του καλωδίου που χρησιμοποιεί από το μενού ρυθμίσεων [14].

- Όρια έκθεσης από διεθνείς συστάσεις ασφαλείας (Exposure limits from common safety guidelines and standards)

Τα όρια έκθεσης αποθηκεύονται μέσα στο όργανο και μπορούν εύκολα να επιλεγούν μέσω ενός απλού μενού. Αν ο χρήστης επιθυμεί να ενημερώσει το όργανο με άλλα όρια, μπορεί να τα εισάγει μέσω του σχετικού λογισμικού.

- Κατανομή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (Assignment of telecom services to frequency bands)

Ο χρήστης μπορεί να εισάγει μέσω του σχετικού λογισμικού σε ειδικού πίνακες όσες υπηρεσίες τον ενδιαφέρουν (π.χ. GSM 900). Κάθε υπηρεσία αντιστοιχείται σε μία ζώνη συχνοτήτων. Ο χρήστης ορίζει το κάτω και το άνω όριο κάθε ζώνης. Στο τέλος η λίστα των υπηρεσιών φορτώνεται στο όργανο μέσω της σειριακής θύρας.

5.4.1 Μετρήσεις με την χρήση του τριαξονικού probe της Narda

Οι μετρήσεις δίνουν αυτόματα ισοτροπικά αποτελέσματα. Οι μετρήσεις αυτές μπορεί να γίνουν με τους εξής τρεις τρόπους:

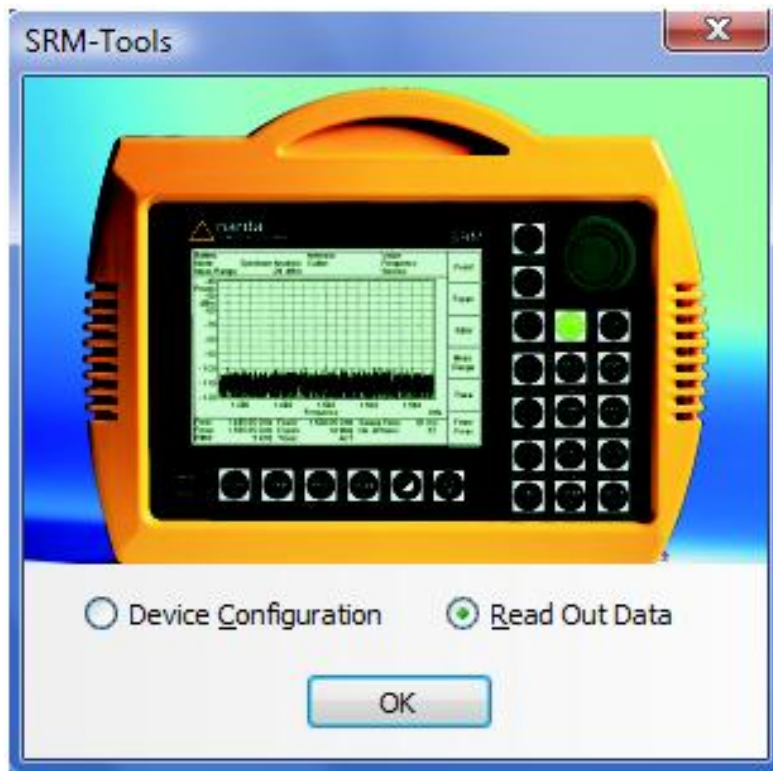
- Ο αισθητήρας συνδεδεμένος απευθείας με την βασική μονάδα. Με αυτή τη συνδεσμολογία πραγματοποιούνται μετρήσεις σε όλο το φάσμα συχνοτήτων της ζώνης των κινητών τηλεπικοινωνιών. Το SRM-3000 είναι ιδανικό για μετρήσεις σε ιστούς κεραιών όπου είναι εξαιρετικά δύσκολη η διεξαγωγή μετρήσεων στενής ζώνης.
- Ο αισθητήρας συνδεδεμένος με την βασική μονάδα μέσω καλωδίου. Με αυτή τη συνδεσμολογία είναι δυνατός ο έλεγχος μίας περιοχής για την εύρεση του σημείου με την υψηλότερη ένταση ηλεκτρικού πεδίου. Είναι επίσης δυνατό να κρεμαστεί η βασική μονάδα μέσω ενός λουριού και ο αισθητήρας να συγκρατείται με το χέρι.
- Ο αισθητήρας τοποθετημένος πάνω στο τρίποδο και συνδεδεμένος με την βασική μονάδα μέσω καλωδίου. Η συνδεσμολογία αυτή παράγει τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, εφόσον το μετρούμενο πεδίο δεν επηρεάζεται από την παρουσία της βασικής μονάδας ή του ανθρώπου.

5.4.2 Μετρήσεις με την χρήση probes από άλλους κατασκευαστές

Είναι δυνατό να γίνουν μετρήσεις με κεραίες ή probe από άλλους κατασκευαστές. Στην περίπτωση αυτή οι κεραίες θα μετρούν μόνο σε ένα άξονα με συνέπεια οι μετρήσεις να είναι κατευθυντικές. Τότε για την εύρεση της κατεύθυνσης μέγιστης εκπομπής μπορεί να περιστρέφεται η κεραία με το χέρι και να εντοπίζεται η κατεύθυνση μεγίστου. Το SRM-3000 μπορεί να μετρήσει με κατευθυντική κεραία και τους τρεις άξονες. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται η ειδική βάση που τοποθετείται πάνω στο τρίποδο στην οποία είναι σημειωμένες οι κατευθύνσεις X, Y και Z. Το SRM-3000 αποθηκεύει τα αποτελέσματα για κάθε άξονα X, Y, και Z και στην συνέχεια υπολογίζεται η ένταση πεδίου.

5.5 Το λογισμικό “SRM-Tools”

Το λογισμικό πρόγραμμα "SRM-Tools" είναι ένα ανεξάρτητο λογισμικό που παρέχεται από την εταιρεία κατασκευής της συσκευής SRM-3000, εγκαθίσταται σε υπολογιστή με λειτουργικό WINDOWS XP ή και νεότερης έκδοσης και επιτρέπει τη ρύθμιση των παραμέτρων της συσκευής μέσω υπολογιστή.



Εικόνα 5.10: SRM-Tools

Οι λειτουργίες που υλοποιούνται μέσω του λογισμικού είναι :

- Παραμετροποίηση της συσκευής SRM-3000
- Λήψη αποθηκευμένων δεδομένων από την συσκευή
- Ενεργοποίηση καταστάσεων λειτουργίας, χαρακτηριστικών
- Αναβάθμιση λογισμικού καθώς και του firmware της συσκευής

Παραμετροποίηση Συσκευής SRM-3000 (Device Configuration)

Οι λειτουργίες που καλύπτονται από τη συγκεκριμένη δυνατότητα είναι :

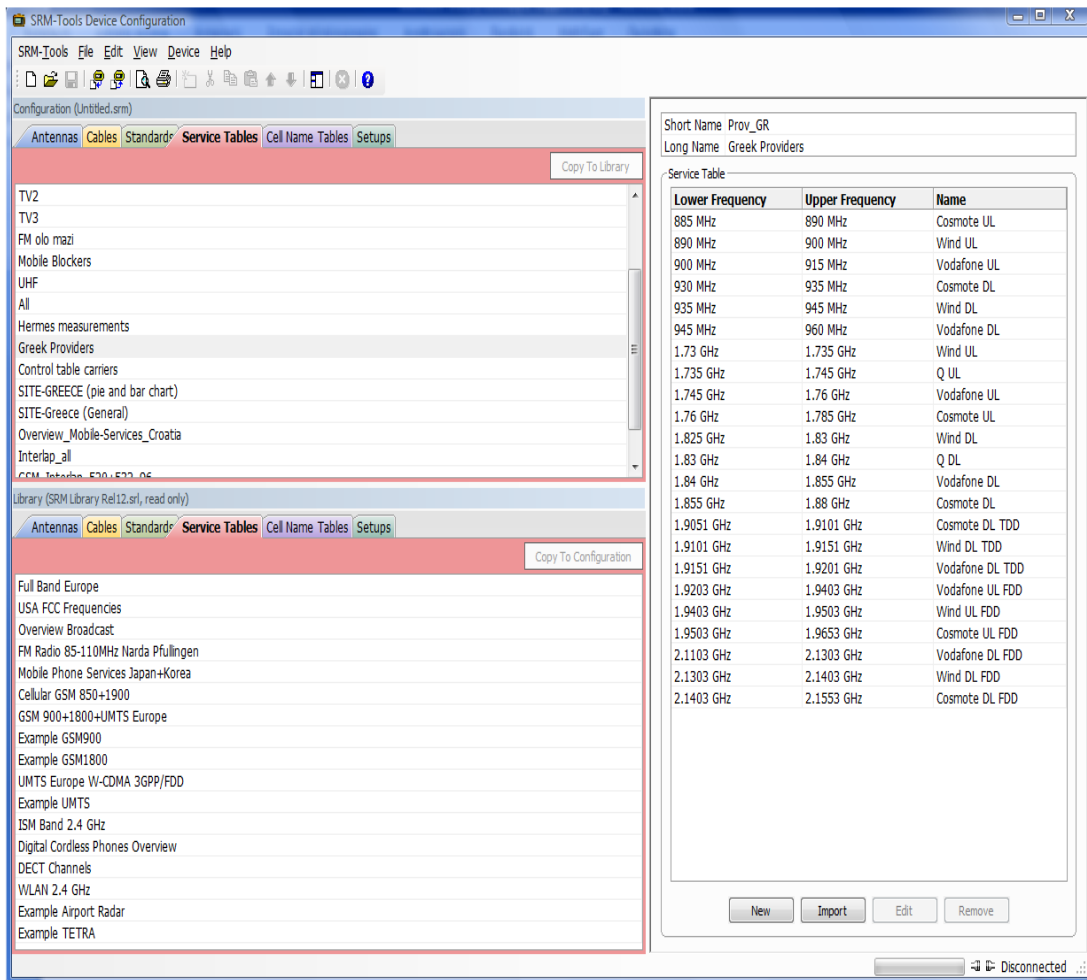
- Δημιουργία ενός προφίλ συγκεκριμένων ρυθμίσεων – λειτουργιών
- Μεταφορά του προφίλ από τον υπολογιστή στην συσκευή
- Μεταφορά ενός προφίλ λειτουργιών από την συσκευή στον υπολογιστή

Επιπλέον, το λογισμικό “SRM-Tools” παρέχει ακόμη τις εξής δυνατότητες:

- Εισαγωγή και διαχείριση μέχρι και 20 λιστών “Antenna Factor” για κεραίες που δεν είναι της εταιρίας κατασκευής της συσκευής (Narda). Οι παράμετροι “Antenna Factor” για τις κεραίες της κατασκευάστριας εταιρίας δεν χρειάζεται να εισαχθούν γιατί το SRM-3000 τις αναγνωρίζει αυτόματα κατά την σύνδεση τους.
- Εισαγωγή και διαχείριση μέχρι και 20 πινάκων “cable loss” για καλώδια που δεν είναι της κατασκευάστριας εταιρίας (Narda). Για καλώδια που κατασκευάζονται από την Narda ισχύει ότι και τις κεραίες που αναφέραμε προηγουμένως.
- Εισαγωγή και διαχείριση μέχρι και 20 πινάκων υπηρεσιών.

Μετρήσεις Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας από Κεραίες Κινητής Τηλεφωνίας

- Εισαγωγή και διαχείριση μέχρι και 20 πινάκων κυψελών
- Διαχείριση προτύπων ασφαλείας (πχ IEEE, FCC, ICNIRP, BGV B11, Safety Code 6)
- Διαχείριση μέχρι και 20 προκαθορισμένων ρυθμίσεων συσκευής
- Διαχείριση και αποθήκευση όλων των ρυθμίσεων των βιβλιοθηκών της συσκευής



Εικόνα 5.11: SRM-Tools Device Configuration

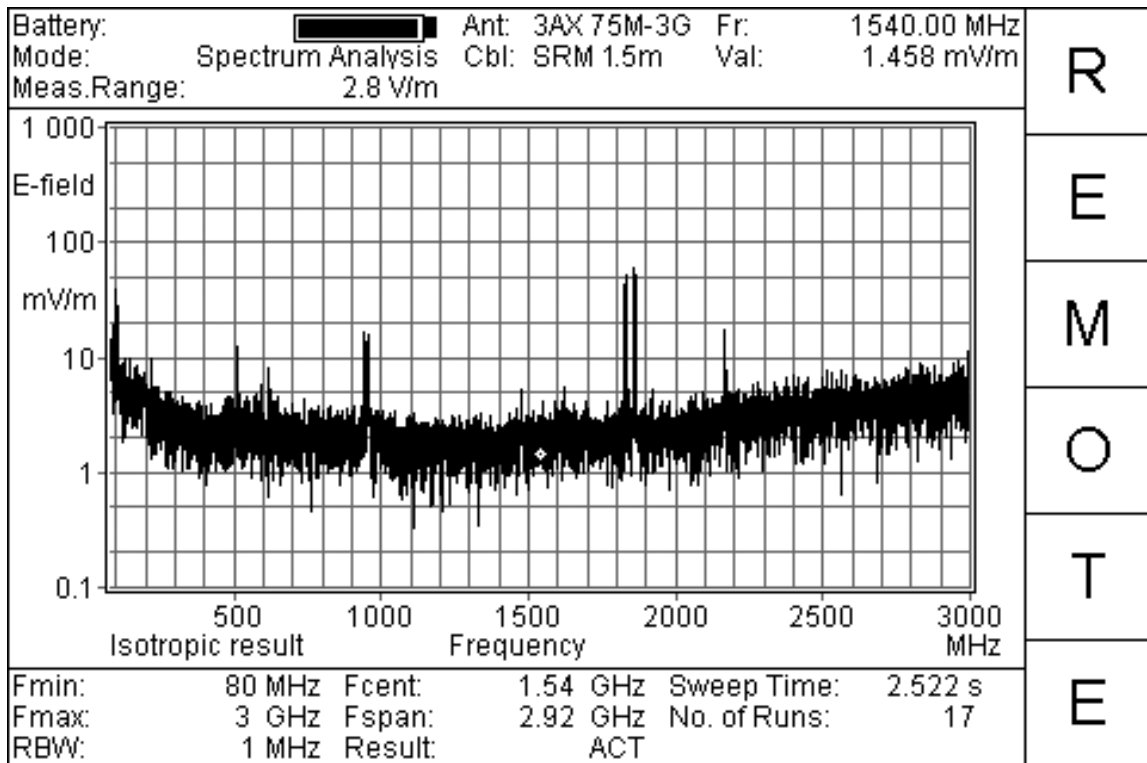
Λήψη αποθηκευμένων μετρήσεων από την συσκευή (Read out data)

Όλα τα αποτελέσματα και τα δεδομένα που αποθηκεύονται στη συσκευή SRM-3000 μπορούν να μεταφερθούν στον υπολογιστή μέσω του λογισμικού “SRM-Tools”. Μέσω του λογισμικού παρέχονται οι εξής δυνατότητες:

- Μεταφορά όλων ή μέρους των αποθηκευμένων αποτελεσμάτων/μετρήσεων σε αρχεία μορφής “txt”, “CSV”, Microsoft Excel για περαιτέρω επεξεργασία
- Εκτύπωση αποτελεσμάτων σε μορφή περίληψης

Απομακρυσμένη Διαχείριση Συσκευής

Όλες οι λειτουργίες της συσκευής είναι δυνατόν να ελεγχθούν απομακρυσμένα μέσω του λογισμικού και τη χρήση ενός υπολογιστή με σειριακή διεπαφή.



Εικόνα 5.12: Το SRM-3000 σε κατάσταση απομακρυσμένης διαχείρισης (Remote Control)

Κεφάλαιο 6 : Αβεβαιότητα μετρήσεων

6.1 Εισαγωγή

Σκοπός της συγκεκριμένης παραγράφου είναι η παρουσίαση του τρόπου υπολογισμού της αβεβαιότητας (ή ισοδύναμα του σφάλματος) που υπεισέρχεται στις μετρήσεις Η/Μ ακτινοβολίας με χρήση οργάνων μέτρησης ευρείας ζώνης (όπως το όργανο SRM-3000 και το NBM-550). Συγκεκριμένα, θα εκτιμήσουμε τα όρια της αβεβαιότητας (uncertainty bounds), δηλαδή το εύρος τιμών μέσα στο οποίο η πραγματική τιμή του εκάστοτε μετρούμενου μεγέθους πιθανολογείται ότι βρίσκεται. Η εκτίμηση αυτή στηρίζεται στη στατιστική - πιθανοτική ανάλυση, προκειμένου να εκτιμήσουμε τη συνολική αβεβαιότητα μίας μέτρησης και να παράσχουμε τα αντίστοιχα επίπεδα εμπιστοσύνης. Αρχικά, θα περιγραφεί η απαραίτητη ορολογία που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα παράγραφο. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η προσέγγιση που χρησιμοποιείται για τον συγκεκριμένο υπολογισμό και είναι γνωστή με το όνομα BIPM. Τέλος, υπολογίζεται η αβεβαιότητα των τελικών μεγεθών που μας ενδιαφέρουν βασιζόμενοι στα προηγούμενα αποτελέσματα και στη θεωρία διάδοσης των σφαλμάτων.

6.2 Ορολογία

Αβεβαιότητα (Uncertainty) / Σφάλμα (Error) / Απόκλιση (Deviation): Ένα μέτρο της απόκλισης της μέτρησης από μία εκτιμώμενη τιμή. Οι τρεις όροι χρησιμοποιούνται ισοδύναμα.

Απόλυτο Σφάλμα (Absolute Error): Το πραγματικό σφάλμα ενός φυσικού μεγέθους, με μονάδα μέτρησης ίδια με αυτή του μεγέθους. Αν το φυσικό μέγεθος συμβολίζεται με X , τότε το απόλυτο σφάλμα συμβολίζεται με ΔX . Για παράδειγμα, εάν δίνεται $E = (3 \pm 0.5) \text{ V/m}$, τότε το απόλυτο σφάλμα είναι $\Delta E = 0.5 \text{ V/m}$.

Σχετικό Σφάλμα (Relative Error): Ο λόγος του απόλυτου σφάλματος προς τη μέση τιμή ή την εκτιμώμενη αβεβαιότητα. Αν το φυσικό μέγεθος συμβολίζεται με X , τότε το σχετικό σφάλμα συμβολίζεται με δX και είναι ίσο προς $\Delta X/X$. Συχνά εκφράζεται και σε ποσοστό % : $\delta X (\%) = (\Delta X/X) \times 100$. Για παράδειγμα, αν δίνεται $E = (3 \pm 0.5) \text{ V/m}$, τότε $\delta E = 0.5/3 = 0.167$ ή 16.7 %.

Διάστημα Εμπιστοσύνης (Confidence Level): Το ποσοστό των μετρήσεων που αναμένεται να βρίσκεται σε ένα δεδομένο εύρος τιμών (ισοδύναμα η πιθανότητα εύρεσης μίας μέτρησης σε ένα διάστημα). Για παράδειγμα, αν δίνεται $E = (3 \pm 0.5) \text{ V/m}$ για διάστημα εμπιστοσύνης 67%, το 67% των μετρήσεων βρίσκονται στο διάστημα $(3 - 0.5) \text{ V/m}$ έως $(3 + 0.5) \text{ V/m}$. Το διάστημα αυτό λέμε ότι αντιστοιχεί σε μία τυπική απόκλιση ($1\sigma = 1 \times \Delta E$). Για διάστημα εμπιστοσύνης 95% πρέπει να πολλαπλασιαστεί το σχετικό σφάλμα ΔE με 1,96 ($1,96\sigma$).

Διάδοση Σφαλμάτων (Propagation of Errors): Αν διαθέτουμε ανεξάρτητες μεταβλητές (X, Y, Z, \dots) οι οποίες έχουν διαφορετικές αβεβαιότητες ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \dots$) η μέθοδος υπολογισμού της αβεβαιότητας μίας συνάρτησης των μεταβλητών αυτών (X, Y, Z, \dots) πραγματοποιείται με τους κανόνες διάδοσης σφάλματος.

6.3 Υπολογισμός της αβεβαιότητας με την μέθοδο BIPM

Το πρωταρχικό βήμα για την εκτίμηση της αβεβαιότητας ενός μεγέθους είναι η εύρεση όλων των παραγόντων που εισάγουν κάποιο σφάλμα στη μέτρησή του, είτε αυτοί είναι εξωτερικοί σε σχέση με το μετρητικό σύστημα είτε εσωτερικοί. Στη συνέχεια πρέπει να κατηγοριοποιήσουμε τις αβεβαιότητες που συνεισφέρουν οι παράγοντες αυτοί, σύμφωνα με κάποιο κριτήριο. Μία πρώτη κατηγοριοποίηση [15] διαχωρίζει τις αβεβαιότητες σε:

- **συστηματικές** (systematic), οι οποίες είναι εγγενείς του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στις μετρήσεις (όργανα, καλώδια κ.α.) και της μεθόδου μέτρησης που η τιμή τους δεν αλλάζει εάν η μέτρηση επαναληφθεί υπό τις ίδιες ακριβώς συνθήκες.
- **τυχαίες** (random), οι οποίες οφείλονται σε τυχαία γεγονότα και η τιμή τους αλλάζει εάν η μέτρηση επαναληφθεί υπό τις ίδιες ακριβώς συνθήκες.

Ωστόσο, ο διαχωρισμός αυτός μπορεί να είναι ασαφής γιατί κάποια συστηματική συνιστώσα αβεβαιότητας σε μία μέτρηση ενδέχεται να είναι τυχαία σε μία άλλη μέτρηση. Μία πιο πετυχημένη κατηγοριοποίηση [16] (την οποία υιοθετούμε) βασίζεται στον τρόπο υπολογισμού των συνιστωσών και όχι στη φύση τους. Έτσι, οι αβεβαιότητες διακρίνονται σε:

- **τύπου A** (type A), οι οποίες υπολογίζονται με στατιστικές μεθόδους.
- **τύπου B** (type B), οι οποίες υπολογίζονται με άλλους τρόπους, π.χ. μέσω των προδιαγραφών του κατασκευαστή (datasheets) ή μέσω της εμπειρίας από προηγούμενες μετρήσεις.

Στις αβεβαιότητες τύπου B περιλαμβάνονται και οι αβεβαιότητες που αφορούν σε παραμέτρους οι οποίες επιδρούν στα μετρούμενα μεγέθη μέσω κάποιας σχέσης, π.χ. η επίδραση της παροχής τάσης στη μέτρησης της ισχύος.

Έχοντας κατηγοριοποιήσει τις διάφορες συνιστώσες αβεβαιότητας (uncertainties components), προχωράμε στον υπολογισμό της συνολικής αβεβαιότητας μέτρησης (overall measurement uncertainty). Υιοθετούμε τη μέθοδο BIPM [16], η οποία μάλιστα προτείνεται και από το ETSI (European Telecommunications Standards Institute) σε αντίστοιχους υπολογισμούς, κατά την οποία:

1. Περιγράφουμε κάθε συνιστώσα αβεβαιότητας που συνεισφέρει στη συνολική αβεβαιότητα με μία υπολογιζόμενη τυπική απόκλιση, η οποία ορίζεται ως **τυπική αβεβαιότητα** (standard uncertainty - u). Οι τυπικές αβεβαιότητες τύπου A συμβολίζονται με u_i και εκείνες που είναι τύπου B με u_j .
2. Υπολογίζουμε τη **συνδυαστική τυπική αβεβαιότητα** (combined standard uncertainty - u_c), η οποία, υπό την προϋπόθεση ότι οι συνιστώσες είναι στοχαστικές και ανεξάρτητες μεταξύ τους και επιδρούν στη συνολική αβεβαιότητα αθροιστικά, προκύπτει λαμβάνοντας τη ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των τυπικών αβεβαιοτήτων (Root of the Sum of Squares - RSS). Στο σύστημά μας οι συνιστώσες επιδρούν πολλαπλασιαστικά αν

εκφράζονται με γραμμικό τρόπο, αλλά αθροιστικά αν εκφραστούν με λογαριθμικό τρόπο [17].

3. Υπολογίζουμε την **επεκταμένη αβεβαιότητα** (expanded uncertainty), πολλαπλασιάζοντας τη συνδυαστική τυπική αβεβαιότητα με μία σταθερά k_{xx} η οποία ονομάζεται παράγοντας κάλυψης (coverage factor). Για παράδειγμα, όταν η συνδυαστική τυπική αβεβαιότητα ακολουθεί κανονική κατανομή (normal distribution) η επεκταμένη αβεβαιότητα αντιστοιχεί σε διάστημα εμπιστοσύνης (confidence level) 68%, αν $k_{xx} = 1$, ενώ αντιστοιχεί σε διάστημα εμπιστοσύνης 95%, αν $k_{xx} = 1,96$ [17].

Επισημαίνουμε κάποια απαραίτητα, για τους υπολογισμούς, στοιχεία:

- Συνήθως τα στοιχεία που δίνονται για τις αβεβαιότητες των παραγόντων (από τον κατασκευαστή, μέσω μετρήσεων ή από εμπειρία) είναι σε μορφή $\pm a$, δίνονται δηλαδή το άνω (+a) και κάτω (-a) όριο της αβεβαιότητας ή το διάστημα που κείται η αβεβαιότητα (2a). Επειδή δε δίνεται κανένα στοιχείο για την κατανομή της αβεβαιότητας στο διάστημα αυτό, θα υποθέτουμε ότι ακολουθείται ομοιόμορφη κατανομή (rectangular distribution) και επομένως η τυπική αβεβαιότητα θα είναι ίση προς $a/\sqrt{3}$, εκτός αν αναφέρεται κάτι διαφορετικό.
- Εάν η συνεισφορά των συνιστωσών αβεβαιότητας είναι αθροιστική τότε πρέπει να χρησιμοποιηθούν μόνο γραμμικοί όροι (π.χ. τάση, ποσοστό % κλπ), ενώ εάν η συνεισφορά είναι πολλαπλασιαστική, τότε πρέπει να χρησιμοποιηθούν μόνο λογαριθμικοί όροι (dB). Ωστόσο, για μικρές τυπικές αβεβαιότητες (< 30% ή 2.5 dB) μπορούμε να πραγματοποιήσουμε από κοινού υπολογισμούς για πολλαπλασιαστικές και αθροιστικές συνεισφορές, με την προϋπόθεση ότι όλες οι συνιστώσες έχουν εκφραστεί πρώτα σε μία κοινή μονάδα.
- Όταν οι συνιστώσες αβεβαιότητας δεν εκφράζονται με τις ίδιες μονάδες (% ποσοστό τάσης ή ισχύος, απόλυτες τιμές τάσης ή ισχύος, dB), πριν τον υπολογισμό της συνδυαστικής τυπικής αβεβαιότητας, πρέπει να γίνει μετατροπή όλων των εκφράσεων ώστε να υπάρχει μία κοινή μονάδα. Ως κοινή μονάδα επιλέγουμε τα dB και ο τρόπος μετατροπής αναφέρεται στη [17].
- Για τον υπολογισμό της επεκταμένης αβεβαιότητας θα θεωρήσουμε διάστημα εμπιστοσύνης 95% και επομένως ο παράγοντας κάλυψης θα είναι $k_{95} = 1.96$ [16]. Αυτό σημαίνει ότι η συνολική αβεβαιότητα θα κείται στο διάστημα $2 \times u_c$ με πιθανότητα 95%.

6.4 Αβεβαιότητα της μέτρησης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το όργανο Narda NBM-550

Το φυσικό μέγεθος που καταγραφεί και μετράει το όργανο NBM-550 είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E σε μονάδες V/m). Ο υπολογισμός της συνολικής αβεβαιότητας πραγματοποιείται σύμφωνα με τη μέθοδο **BIPM** (Bureau International des Poids et Mesures - International Bureau of Weights and Measures) που υιοθετείται και από τον οργανισμό ETSI (European Telecommunications Standardization Institute).

Βασιζόμενοι στην μετρητική διάταξη συμπεραίνουμε ότι οι πιθανοί παράγοντες που συνεισφέρουν στην αβεβαιότητα είναι οι ακόλουθοι:

- Η συσκευή NBM-550
- Ισοτροπική κεραία λήψης (Probe EF0391, E-field)

Κάθε τμήμα της μετρητικής διάταξης εισάγει μία αβεβαιότητα στο μετρούμενο μέγεθος. Στους πίνακες που ακολουθούν δίνονται από τον κατασκευαστή του εξοπλισμού NBM-550 και του αντίστοιχου Probe οι επιμέρους παράγοντες που συνεισφέρουν στην συνολική αβεβαιότητα (παράγοντας κεραίας, απώλειες καλωδίων σύνδεσης, ατελής προσαρμογή κεραίας - καλωδίων – αισθητήρα μέτρησης κ.α.) για τρεις φασματικές ζώνες. Τα στοιχεία έχουν ληφθεί από τα τεχνικά φυλλάδια (datasheet) που συνοδεύουν τον εξοπλισμό και το Probe.

NBM-550 + E-FIELD PROBE EF0391 :

Πηγή αβεβαιότητας (Source Uncertainty)	Τιμή	Μονάδες	Κατανομή αβεβαιότητας	Διαιρέτης	Τυπική αβεβαιότητα
Calibration uncertainty at 27.5V/m	± 1.5	(dB)	Ομοιόμορφη	$\sqrt{3} = 1,732$	0.866
Linearity referred to 27.5V/m	± 1	(dB)	Ομοιόμορφη	$\sqrt{3} = 1,732$	0.577
Isotropic response	± 1	(dB)	Ομοιόμορφη	$\sqrt{3} = 1,732$	0.577
Συνδυαστική αβεβαιότητα :					1.19

Πίνακας 6.1: Αβεβαιότητα του οργάνου NBM-550

Χρησιμοποιώντας παράγοντα κάλυψης k_{95} , η επεκταμένη αβεβαιότητα θα είναι $\pm 1,19 \times 1,96 \approx 2,33$ dB σε διάστημα εμπιστοσύνης 95% [18], δηλαδή η αβεβαιότητα ως προς τη μέτρηση του πλάτους θα βρίσκεται σε διάστημα $\pm 2,72$ dB με πιθανότητα 95%.

6.5 Αβεβαιότητα της μέτρησης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για το όργανο SRM-3000

Το φυσικό μέγεθος που μετράει και καταγράφει το όργανο SRM-3000 είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E σε μονάδες V/m). Στον πίνακα 6.1 περιγράφονται οι επιμέρους παράγοντες που συνεισφέρουν στην συνολική αβεβαιότητα (παράγοντας κεραίας, απώλειες καλωδίων σύνδεσης, ατελής προσαρμογή κεραίας (καλωδίων, αισθητήρα μέτρησης κ.α.) για διάφορες φασματικές ζώνες από τα 75 MHz έως και τα 3 GHz. Ο υπολογισμός της συνολικής αβεβαιότητας πραγματοποιείται σύμφωνα με τη μέθοδο BIPM (Bureau International des Poids et Mesures - International Bureau of Weights and Measures) που υιοθετείται και από τον οργανισμό ETSI (European Telecommunications Standardization Institute) [16,17].

Standard Uncertainty of SRM-3000										
21.12.2004										
Conditions:										
Antenna: Triaxial Probe (75 MHz - 3 GHz)										
Antenna cable: 1,5 m										
Temperatur Range: + 15°C ... + 30°C										
Uncertainty in [%] (as +/- values)										
Frequency [MHz]	75 - 300	301 - 600	601 - 900	901 - 1200	1201 - 1400	1401 - 1600	1601 - 1800	1801 - 2200	2201 - 2700	2701 - 3000
Level measur. accuracy	8,07%	8,07%	8,07%	8,07%	8,07%	8,07%	8,07%	8,07%	12,95%	12,95%
Frequency response interpol.	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%
Instrument. linearity	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Antenna factor calibration	6,10%	9,43%	9,43%	9,43%	9,43%	9,43%	6,10%	6,10%	6,10%	6,10%
Frequency response interpol.	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%
Ellipse radio	3,42%	3,42%	3,42%	5,57%	5,57%	8,94%	8,94%	10,88%	12,89%	19,26%
Cable attenuation	1,16%	1,16%	1,16%	1,16%	1,16%	1,16%	1,16%	1,16%	1,16%	1,16%
Frequency response interpol.	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%	0,33%
Mismatch antenna - cable	4,46%	4,46%	4,07%	3,97%	3,97%	3,97%	2,83%	2,83%	3,16%	3,16%
Mismatch cable - SRM unit	1,77%	1,77%	1,77%	1,77%	1,77%	1,77%	1,77%	1,77%	1,77%	2,23%
Mismatch antenna - SRM unit	11,15%	10,25%	8,84%	8,84%	8,13%	8,13%	5,66%	5,66%	5,92%	7,15%
rss combined standard uncertainty	16,2%	17,2%	16,3%	16,8%	16,5%	17,9%	15,1%	16,3%	20,5%	25,4%
expanded uncertainty (K=2)	32,4%	34,4%	32,6%	33,7%	33,0%	35,8%	30,1%	32,6%	41,0%	50,7%
expanded uncertainty *) (K=2)	31,7%	33,7%	31,8%	31,8%	31,0%	31,0%	24,3%	24,3%	31,9%	33,0%

*) for max. search method (ellipse radio is not considered)

Πίνακας 6.2: Αβεβαιότητα του οργάνου SRM-3000

Η γραμμή “rss combined standard uncertainty” περιέχει ουσιαστικά τις τιμές του σχετικού σφάλματος της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε εκατοστιαία κλίμακα για κάθε φασματική ζώνη (% δE). Για παράδειγμα, στη ζώνη 75 – 300 MHz, σύμφωνα με τον πίνακα 6.2, είναι $\delta E = 0,162$ ή 16,2 %. Το σφάλμα αυτό όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 6.2 αντιστοιχεί σε διάστημα εμπιστοσύνης 67 % (ή ισοδύναμα σε μία τυπική απόκλιση σ) [18].

Η γραμμή “expanded uncertainty (K=2)” περιέχει τις τιμές του σχετικού σφάλματος δE για διάστημα εμπιστοσύνης 95,45% (ή ισοδύναμα για 2 τυπικές

Μετρήσεις Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας από Κεραίες Κινητής Τηλεφωνίας

αποκλίσεις σ). Προκύπτει από το δE αν πολλαπλασιαστεί με 2. Αν επιθυμούμε διάστημα εμπιστοσύνης 95 % πρέπει να πολλαπλασιάσουμε το δE με 1,96 [18].

Επομένως, αν με E συμβολίσουμε το μετρούμενο φυσικό μέγεθος, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις ακόλουθες εκφράσεις για την τυχαία μέτρηση i :

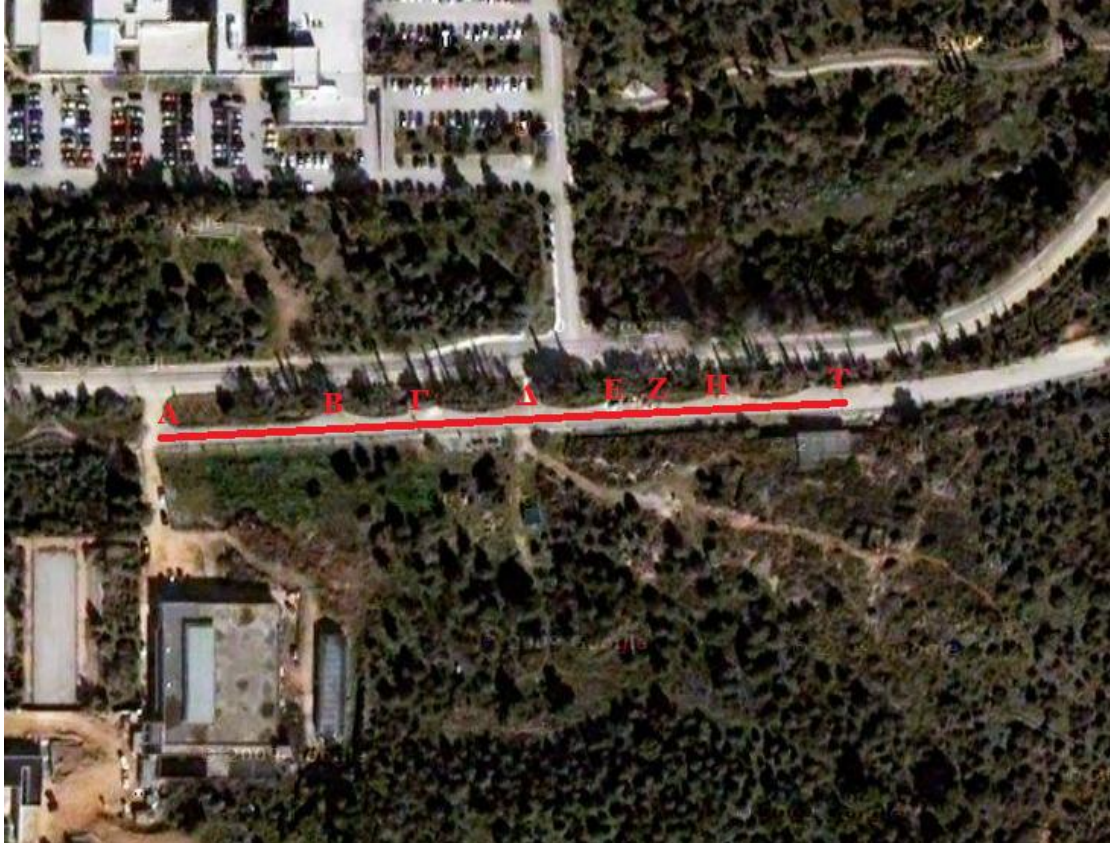
$$E_i \pm \Delta E_i \text{ όπου } \Delta E_i = E_i \times \delta E_i = E_i \times \sigma_{E_i} \text{ όπου:}$$

- E_i η καταγραφή του οργάνου SRM-3000 σε V/m
- σ_{E_i} το σχετικό σφάλμα όπως δίνεται από την γραμμή “rss combined standard uncertainty” του πίνακα 6.1

Κεφάλαιο 7 : Διαδικασία μετρήσεων

7.1 Επιλογή του χώρου μετρήσεων

Η διαδικασία των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε εντός της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου και συγκεκριμένα κατά μήκος ενός παράδρομου της εσωτερικής περιφερειακής οδού που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 7.1 : Τοποθεσία μετρήσεων εντός της Πολυτεχνειούπολης

Πρόκειται για μια ανηφορική διαδρομή καθώς κινούμαστε από το σημείο Α (αρχική θέση) στο σημείο Τ (τελική θέση). Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των δύο ακραίων σημείων όπως ελήφθησαν από τον δέκτη GPS του οργάνου NBM-550 είναι:

	Σημείο Α	Σημείο Τ
Γεωγραφικό μήκος (longitude)	23,78534	23,78736
Γεωγραφικό πλάτος (latitude)	37,97409	37,97417
Ύψος (altitude)	209 m	218 m

Πίνακας 7.1

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα σημεία της διαδρομής στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις σύμφωνα με την εικόνα 7.1:



Εικόνα 7.2: Σημείο Α



Εικόνα 7.3: Σημείο Β

Μετρήσεις Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας από Κεραίες Κινητής Τηλεφωνίας



Εικόνα 7.4: Σημείο Γ



Εικόνα 7.5: Σημείο Δ



Εικόνα 7.6: Σημείο E



Εικόνα 7.7: Σημείο Z

Μετρήσεις Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας από Κεραίες Κινητής Τηλεφωνίας



Εικόνα 7.8: Σημείο Η



Εικόνα 7.9: Σημείο Τ

Μετρήσεις Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας από Κεραίες Κινητής Τηλεφωνίας

Η συγκεκριμένη διαδρομή επιλέχθηκε για τους εξής λόγους:

1. Είναι μια ευθεία απαλλαγμένη από την αστική κίνηση, όπως αυτοκίνητα, πεζοί κτλ και έτσι καθίσταται εύκολη η συλλογή μετρήσεων, τόσο βρισκόμενοι σε στάση όσο και σε κίνηση.
2. Το περιβάλλον παραμένει σχετικά αναλλοίωτο για τον χρόνο διάρκειας των μετρήσεων, γεγονός που επιτρέπει την διεξαγωγή τους κάτω από τις ίδιες συνθήκες.
3. Βρίσκεται κοντά σε κεραία κινητής τηλεφωνίας (GSM) και επίσης βρίσκεται υπό την εποπτεία των διάφορων τηλεπικοινωνιακών πομπών του Υμηττού.



Εικόνα 7.10: Κεραία κινητής τηλεφωνίας



Εικόνα 7.11: Κεραίες του Υμηττού

7.2 Οριοθέτηση σημείων μέτρησης

Μετρήθηκαν συνεχόμενα τμήματα των 5 μέτρων. Ξεκινώντας από ένα τυχαίο σημείο το οποίο θεωρήσαμε σαν αρχή (σημείο A , 0m) και σημειώνοντας τα άκρα κάθε τμήματος με σπρέι επάνω στον δρόμο, φτάσαμε σε ένα σημείο το οποίο θεωρήθηκε ως τέλος της περιοχής μετρήσεων (σημείο T, 180m). Το συνολικό διάστημα μετρήσεων προέκυψε ίσο με 180m (37 σημεία σημειωμένα επάνω στον δρόμο). Τα συγκεκριμένα σημεία που σημειώθηκαν εξυπηρετούν αφ' ενός στον ορισμό των θέσεων που πραγματοποιήθηκαν οι σταθερές μετρήσεις και αφετέρου στο να υπάρχει μια σταθερή διαδρομή για τα διάφορα σενάρια μετρήσεων, καθώς και μια καλύτερη εικόνα για τη θέση που βρισκόμαστε κάθε χρονική στιγμή.



Εικόνα 7.12: Διαδοχικά σημεία μετρήσεων που απέχουν 5m

7.3 Διεξαγωγή των μετρήσεων

Δοκιμαστικές μετρήσεις για τα διάφορα σενάρια ελήφθησαν από τα μέσα Ιανουαρίου έως τα μέσα Φεβρουαρίου. Οι τελικές μετρήσεις ελήφθησαν στις εξής ημερομηνίες: 17-02-2010 και 23-02-2010.

Μετρήσεις στις 17-02-2010

Χρησιμοποιήθηκε το όργανο SRM-3000 για την λήψη μετρήσεων τόσο κινούμενοι με το αυτοκίνητο όσο και ακίνητοι κάθε 5m.

7.3.1 Μετρήσεις εν στάσει με το SRM-3000

Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν έχοντας στερεώσει την ισοτροπική κεραία (probe) του SRM-3000 στην οροφή του αυτοκινήτου. Όπως γίνεται κατανοητό, ο αισθητήρας δεν ήταν κατευθείαν συνδεδεμένος με την κεντρική μονάδα αλλά χρησιμοποιήθηκε καλώδιο επέκτασης. Επίσης, ο χειρισμός του οργάνου για την λήψη των μετρήσεων γινόταν εντός του αυτοκινήτου. Όλα αυτά φαίνονται στις επόμενες εικόνες:



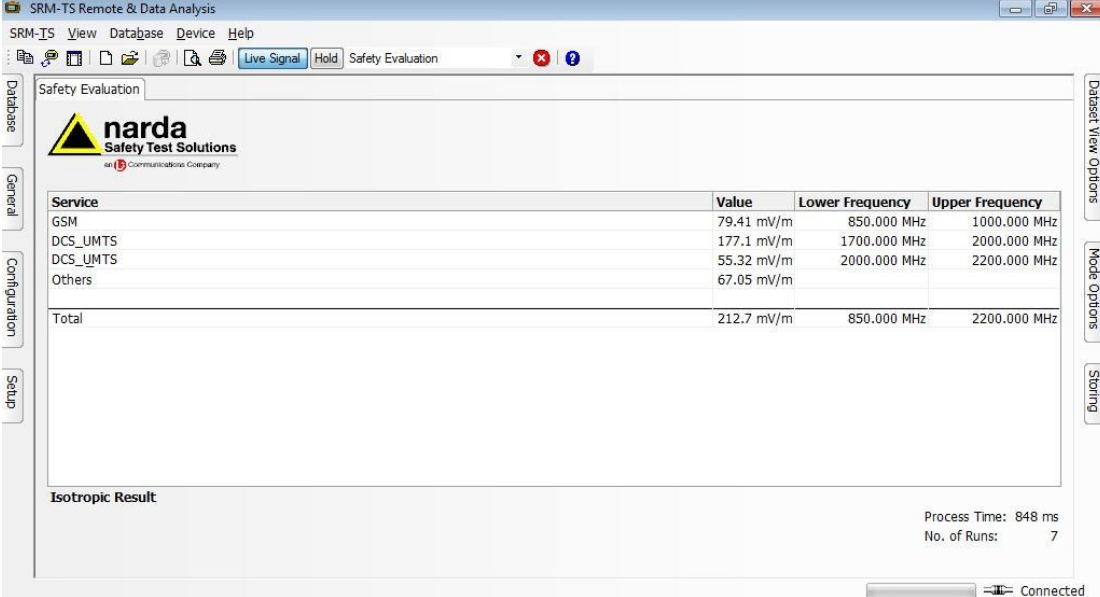
Εικόνα 7.13: Η ισοτροπική κεραία του SRM-3000 προσαρμοσμένη στην οροφή του οχήματος



Εικόνα 7.14: Έλεγχος του SRM-3000 μέσα από το όχημα

Μετρήσεις Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας από Κεραίες Κινητής Τηλεφωνίας

Το SRM-3000 ρυθμίστηκε στην λειτουργία της εκτίμησης ασφάλειας (safety evaluation) και το service table που επιλέχθηκε για τις μετρήσεις φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



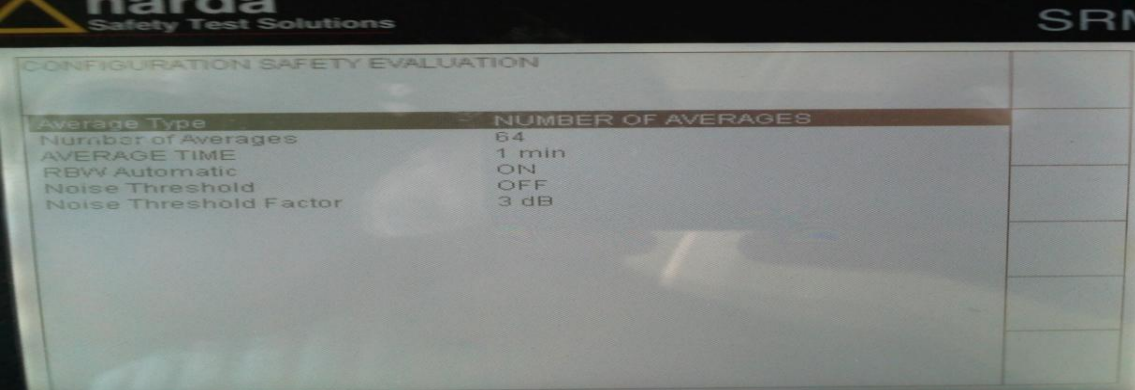
The screenshot shows the SRM-TS Remote & Data Analysis software interface. The main window displays the 'Safety Evaluation' section with the Narda Safety Test Solutions logo. A table lists the service parameters for the safety evaluation. The table has four columns: Service, Value, Lower Frequency, and Upper Frequency. The data is as follows:

Service	Value	Lower Frequency	Upper Frequency
GSM	79.41 mV/m	850.000 MHz	1000.000 MHz
DCS_UMTS	177.1 mV/m	1700.000 MHz	2000.000 MHz
DCS_UMTS	55.32 mV/m	2000.000 MHz	2200.000 MHz
Others	67.05 mV/m		
Total	212.7 mV/m	850.000 MHz	2200.000 MHz

Below the table, the 'Isotropic Result' is shown. The process time is 848 ms and the number of runs is 7. The interface also includes a 'Connected' status indicator at the bottom right.

Εικόνα 7.15: Service Table για τις εν στάσει μετρήσεις με το SRM-3000

Παρατηρούμε ότι περιλαμβάνει τρεις ζώνες συχνοτήτων από 850MHz έως 1000MHz, 1700MHz έως 2000MHz και από 2000MHz έως 2200MHz. Στην πρώτη ζώνη έχουμε την λειτουργία υπηρεσιών GSM και στις άλλες δύο την λειτουργία υπηρεσιών DCS (παράγωγο σύστημα GSM) και UMTS. Σε κάθε μια από τις τρεις ζώνες λαμβάνουμε την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε V/m. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το SRM-3000 ομαδοποιεί τις φασματικές ζώνες μεταξύ των επιλεγμένων υπηρεσιών ως “Others” και τις συμπεριλαμβάνει στο τελικό αποτέλεσμα Total. Οι αναγραφόμενες τιμές στην εικόνα 7.15 είναι η μέση τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για χρονικό διάστημα 1min. Η επιλογή αυτή έγινε αλλάζοντας το τύπο του αναγραφόμενου αποτελέσματος μέσω της λειτουργίας Result Type καθώς και ορίζοντας το χρονικό διάστημα εξαγωγής του μέσου όρου από το μενού Configuration Safety Evaluation.



The screenshot shows the 'CONFIGURATION SAFETY EVALUATION' screen of the SRM-3000. The screen displays the following configuration parameters:

Average Type	NUMBER OF AVERAGES
Number of Averages	64
AVERAGE TIME	1 min
RBW Automatic	ON
Noise Threshold	OFF
Noise Threshold Factor	3 dB

Εικόνα 7.16: Ορισμός χρόνου εξαγωγής του μέσου όρου της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο SRM-3000

Σταθμεύοντας το όχημα σε κάθε σημείο που είχαμε σημειώσει στο δρόμο, λαμβάναμε την αντίστοιχη μέτρηση. Σε κάθε ένα από αυτά τα σημεία αναμέναμε για χρονικό διάστημα ίσο με 1min, ώστε να λάβουμε το μέσο όρο του ηλεκτρικού πεδίου. Στην συνέχεια, μεταφερόμασταν στο αμέσως επόμενο σημείο, όπου ακολουθούσαμε και πάλι την ίδια διαδικασία. Σε κάθε σημείο μας ενδιαφέρουν οι τρεις πρώτες τιμές όπως φαίνονται στην εικόνα 7.14 για τα αντίστοιχα διαστήματα συχνοτήτων.

Το όχημα ξεκίνησε όχι από το σημείο Α (εικόνα 7.1), αλλά από το σημείο Τ και κατέληξε στο σημείο Α. Καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας, το όχημα είχε μέτωπο προς το σημείο Τ. Έτσι, η κίνηση μεταφοράς από το ένα σημείο στο επόμενο γινόταν με την όπισθεν με τον κινητήρα του οχήματος εκτός λειτουργίας. Το σενάριο αυτό αφενός μας διευκόλυνε διότι κινούμαστε κατηφορικά και αφετέρου εξασφάλιζε όμοιες συνθήκες πειράματος με τις μετρήσεις εν κινήσει που έγιναν στη συνέχεια.

7.3.2 Μετρήσεις εν κινήσει με το SRM-3000

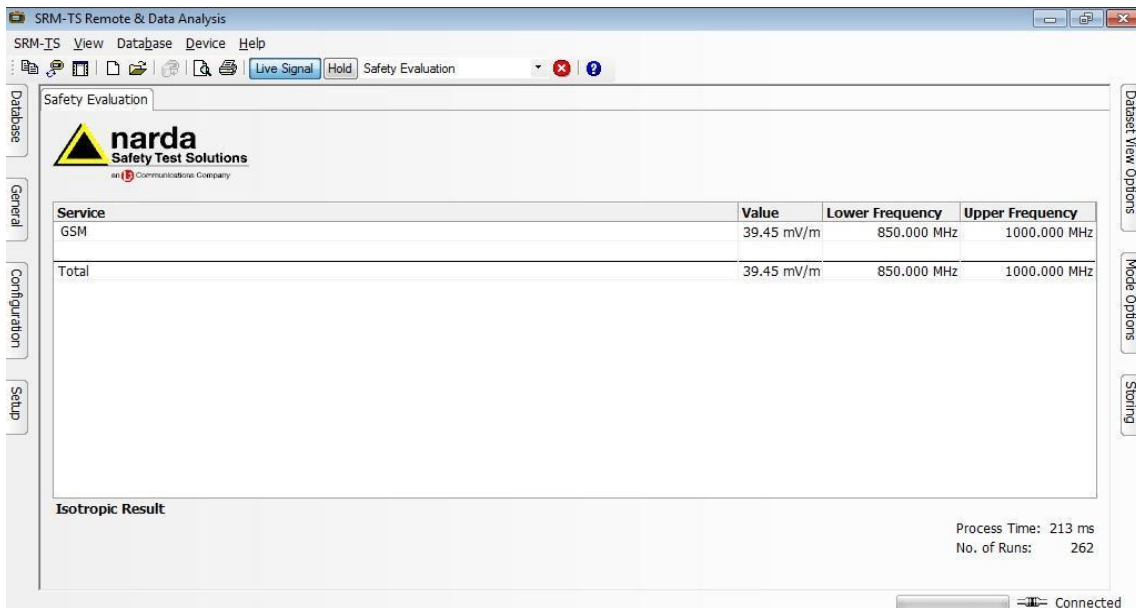
Οι μετρήσεις εν κινήσει πραγματοποιήθηκαν με το αυτοκίνητο, ενώ το probe ήταν προσαρμοσμένο όπως στην εικόνα 7.13. Ο οδηγός φρόντιζε για τη σταθερή ταχύτητα του αυτοκινήτου και ο συνοδηγός χειριζόταν το όργανο. Η ταχύτητα ελεγχόταν αναλογικά από το ταχύμετρο του αυτοκινήτου, καθώς και ψηφιακά από δέκτη GPS όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



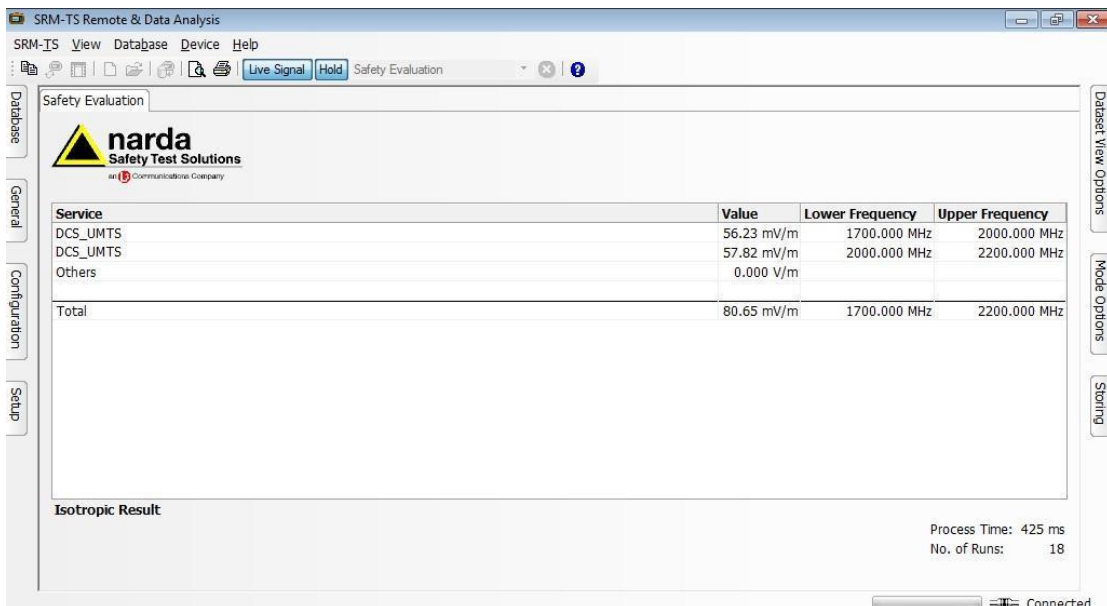
Εικόνα 7.17: Έλεγχος ταχύτητας αυτοκινήτου με αναλογικό ταχύμετρο και δέκτη GPS

Το όργανο ήταν και πάλι ρυθμισμένο στην λειτουργία εκτίμησης ασφάλειας (safety evaluation) και τα service tables που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται παρακάτω:

Μετρήσεις Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας από Κεραίες Κινητής Τηλεφωνίας

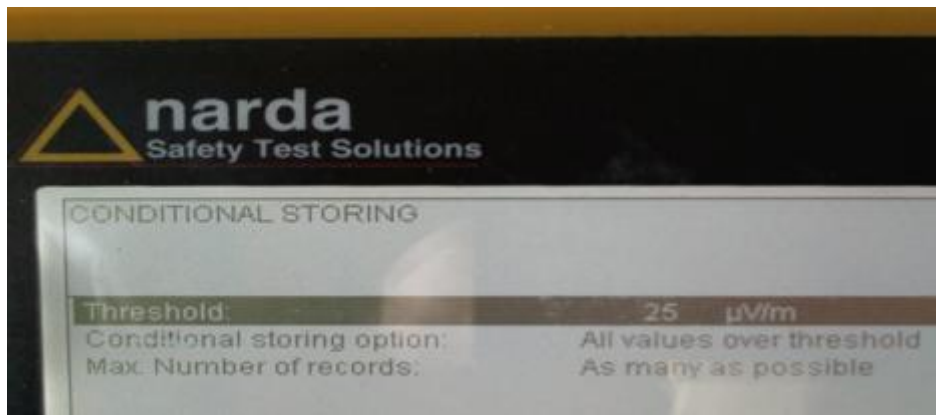


Εικόνα 7.18: Service table για τις εν κινήσει μετρήσεις στην περιοχή συχνοτήτων από 850MHz έως 1000MHz



Εικόνα 7.19: Service table για τις εν κινήσει μετρήσεις στην περιοχή συχνοτήτων από 1700MHz έως 2200MHz

Για να λάβουμε συνεχόμενα τιμές για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου καθώς το αυτοκίνητο βρισκόταν σε κίνηση χρησιμοποιήσαμε την λειτουργία που παρέχει το SRM-3000 για υπό συνθήκη αποθήκευση μετρήσεων (conditional storing). Στην λειτουργία αυτή ορίζεται από τον χρήστη το κατώφλι (threshold) πάνω από το οποίο αποθηκεύεται μια μέτρηση, καθώς και το εύρος των μετρήσεων (store range) που θέλει να αποθηκευτούν. Στην περίπτωση μας το threshold ρυθμίστηκε στο χαμηλότερο δυνατό 25μV/m και αποθηκεύονταν όλες (all values over threshold) οι μετρήσεις που το ξεπερνούσαν.



Εικόνα 7.20: Conditional Storing για την λήψη μετρήσεων εν κινήσει με το SRM-3000

Για κάθε ξεχωριστό service table, δηλαδή για κάθε ξεχωριστή ζώνη συχνοτήτων, ελήφθησαν μετρήσεις της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου κατά μήκος της διαδρομής για ταχύτητες κίνησης του αυτοκινήτου 4, 6, 10, 20, 30, 40 km/h. Αφού το όχημα αποκτούσε την επιθυμητή σταθερή ταχύτητα, μόλις διερχόταν από το σημείο που θεωρούσαμε ως σημείο έναρξης των μετρήσεων, ο συνοδηγός εκκινούσε (Start) την διαδικασία καταγραφής των τρεχουσών (actual) τιμών της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου. Μόλις το όχημα έφτανε στο σημείο που κάθε φορά θεωρούσαμε ως τέλος της διαδρομής μετρήσεων η διαδικασία σταματούσε (Stop). Τελικά, για τις τρεις διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων λάβαμε 18 σετ μετρήσεων εντός της απόστασης των 180m.

Σημειώνουμε ότι οι συγκεκριμένες μετρήσεις δεν πραγματοποιήθηκαν για όλες τις ταχύτητες με την ίδια φορά. Δηλαδή, για τις ταχύτητες 6, 10 και 20 km/h η φορά δειγματοληψίας ήταν από το σημείο A προς το σημείο T, ενώ για τις ταχύτητες 4, 30 και 40 km/h η φορά δειγματοληψίας ήταν αντίθετη, δηλαδή από το σημείο T προς το σημείο A. Αυτή η αλλαγή συνέβη αφενός γιατί μια πολύ μικρή ταχύτητα όπως τα 4km/h διατηρείται ευκολότερα σταθερή όταν το όχημα κινείται σε κατωφέρεια, αφετέρου διότι από την πλευρά του σημείου A το όχημα δεν διέθετε τόσο χώρο για να επιταχύνει προς μια υψηλή ταχύτητα (30 ή 40 km/h) όσο διέθετε από την πλευρά του σημείου T (εικόνα 7.1). Επίσης, η κίνηση του οχήματος σε όλα τα παραπάνω σενάρια γινόταν κανονικά και όχι με την όπισθεν, με μέτωπο προς το πέρας των μετρήσεων.

Μετρήσεις 23-02-2010

Χρησιμοποιήθηκαν τα όργανα NBM-550 και SRM-3000 για την λήψη τόσο εν κινήσει μετρήσεων όσο και εν στάση εντός της προκαθορισμένης διαδρομής.

7.3.3 Μετρήσεις εν στάσει με το SRM-3000 και το NBM-550 ταυτόχρονα

Στην περίπτωση αυτή τα δύο όργανα κρατούνταν ανά χείρας με τις ιστροπικές κεραίες τους να είναι απευθείας συνδεδεμένες στις κεντρικές μονάδες. Το SRM-3000 είχε ρυθμιστεί στην λειτουργία της εκτίμησης ασφάλειας και το service table που είχε επιλεγεί ήταν το παρακάτω:

The screenshot shows the SRM-TS Remote & Data Analysis software interface. The main window displays a 'Service Evaluation' table with the following data:

Service	Value	Lower Frequency	Upper Frequency
FM	2.236 V/m	75.000 MHz	87.000 MHz
TV [UHF] - CB	2.565 V/m	87.000 MHz	109.000 MHz
	4.804 V/m	109.000 MHz	300.000 MHz
TV [UHF]	2.647 V/m	300.000 MHz	450.000 MHz
GSM	3.575 V/m	450.000 MHz	860.000 MHz
	1.859 V/m	860.000 MHz	1000.000 MHz
GSM - UMTS	4.334 V/m	1000.000 MHz	1700.000 MHz
	4.840 V/m	1700.000 MHz	2200.000 MHz
Others	10.67 V/m	2200.000 MHz	3000.000 MHz
	0.000 V/m		
Total	14.63 V/m	75.000 MHz	3000.000 MHz

Below the table, the 'Isotropic Result' section shows: Process Time: 1.908 s, No. of Runs: 4. The status bar at the bottom right indicates 'Connected'.

Εικόνα 7.21: Service Table για τις παράλληλες μετρήσεις με τα δύο όργανα

Από την εικόνα 7.21 παρατηρούμε ότι υπολογίζεται η συνεισφορά κάθε τηλεπικοινωνιακής υπηρεσίας (FM, UHF, GSM, UMTS) εντός της ζώνης συχνοτήτων από 75MHz έως 3GHz. Μας ενδιαφέρει η συνολική (total) υπολογιζόμενη ένταση ηλεκτρικού πεδίου (V/m), η οποία είναι η μέση τιμή (AVG) για χρονική διάρκεια 1min. Αντίστοιχα, το NBM-550 ρυθμίστηκε να μετρά τη μέση τιμή (AVG) της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου για 1min στο διάστημα από 100kHz έως 3GHz.

Έτσι, ξεκινώντας από το σημείο Α (έναρξης) και για κάθε σημείο ανά 5m μέχρι και το σημείο Τ (τερματισμού), στεκόμασταν όρθιοι σε θέση ο ένας δίπλα στον άλλο, λαμβάνοντας και αποθηκεύοντας τις προαναφερθείσες τιμές. Φροντίζαμε ώστε τα δύο όργανα να εκκινούν και να σταματούν ταυτόχρονα τη διαδικασία μέτρησης, ώστε να έχουμε τη δυνατότητα έπειτα να κάνουμε συγκρίσεις των αποτελεσμάτων τα οποία να αναφέρονται στον ίδιο χρόνο. Συνολικά ελήφθησαν 2 σετ των 37 μετρήσεων.

7.3.4 Μετρήσεις εν κινήσει με το NBM-550

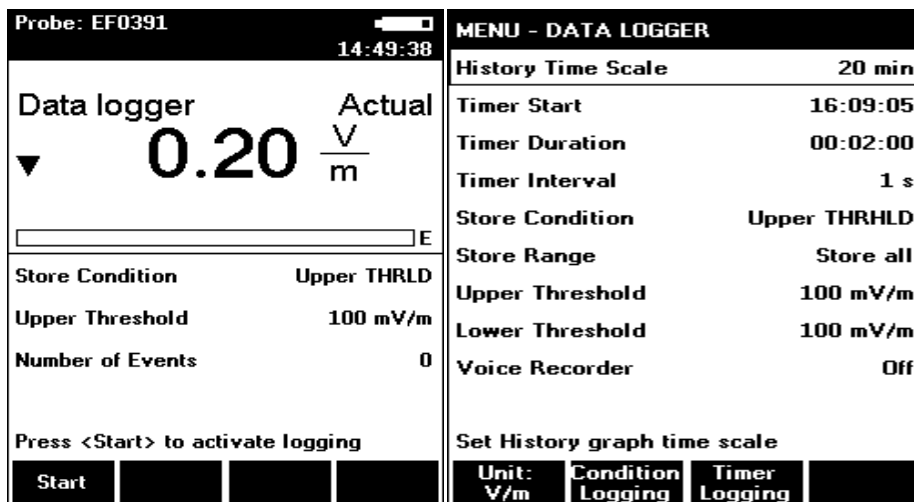
Εδώ πραγματοποιήθηκε η καταγραφή συνεχόμενων τιμών για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου με το όργανο NBM-550 καθώς το όχημα βρισκόταν σε κίνηση εντός της καθορισμένης διαδρομής. Ο οδηγός και πάλι φρόντιζε για τη σταθερή ταχύτητα του οχήματος και ο συνοδηγός χειριζόταν το όργανο, κρατώντας το στερεωμένο στην οροφή του οχήματος.



Εικόνα 7.22: Το NBM-550 κατά την διάρκεια των εν κινήσει μετρήσεων

Ο έλεγχος της ταχύτητας του οχήματος γινόταν και πάλι μέσω του αναλογικού ταχύμετρου και του δέκτη GPS όπως παραπάνω.

Χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία της υπό συνθήκη καταγραφής μετρήσεων (conditional storing) όπως φαίνεται στην συνέχεια:



Εικόνα 7.23: Υπό συνθήκη καταγραφή μετρήσεων με το NBM-550

Το άνω κατώφλι (Upper THRHL) ορίστηκε στα 100mV/m και το όργανο μετά την εκκίνηση αποθήκευε όλες (Store All) τις τρέχουσες (actual) τιμές που το ξεπερνούσαν. Οι ταχύτητες με τις οποίες κινηθήκαμε ήταν 4,6,10,20,30,40 km/h και η φορά κίνησης ήταν πάντα από το σημείο Α στο σημείο Τ. Όπως και προηγουμένως αφού το όχημα είχε αναπτύξει την επιθυμητή σταθερή ταχύτητα η διαδικασία καταγραφής ξεκινούσε την στιγμή διέλευσης από το σημείο Α πατώντας το κουμπί Start και σταματούσε στο σημείο Τ πατώντας το κουμπί Stop. Ο χρόνος δειγματοληψίας του NBM-550 στην λειτουργία αυτή είναι σταθερός στα 200msec. Συνολικά πήραμε 6 σετ μετρήσεων.

7.4 Παρατηρήσεις επί της διαδικασίας μετρήσεων

- Το SRM-3000 δεν διαθέτει ούτε σταθερή, ούτε ρυθμιζόμενη από το χρήστη δειγματοληψία. Αντίθετα, για να λάβει μια οποιαδήποτε μέτρηση σαρώνει συνεχώς το υπό εξέταση εύρος συχνοτήτων με ρυθμό όχι σταθερό. Όπως παρατηρήθηκε από την διαδικασία των μετρήσεων ο χρόνος δειγματοληψίας αυξανόταν όσο μικραίναμε το εξεταζόμενο εύρος ζώνης. Η δειγματοληψία προκύπτει πειραματικά κοντά στα 3.3 δείγματα/sec για εύρος ζώνης ίσο με 150MHz.
- Η χρονική διάρκεια του 1min για την εξαγωγή της μέσης τιμής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που ορίστηκε και για τα δύο όργανα είναι μικρότερη σε σχέση με την διάρκεια των 6min που υπαγορεύουν οι συστάσεις των διεθνών οργανισμών για την μέτρηση των επιπέδων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ωστόσο η διάρκεια του 1min επαρκεί για να διαμορφώσουμε μια αξιόπιστη εικόνα, καθώς το περιβάλλον της συγκεκριμένης περιοχής ήταν απαλλαγμένο από κινούμενα εμπόδια και σκεδαστές που συνήθως επηρεάζουν τις μετρήσεις και συναντάμε σε αστικές περιοχές. Επίσης, ο χρόνος του 1min εξυπηρετούσε πρακτικά την διαδικασία αφού η διάρκεια της μπαταρίας του SRM-3000 ήταν περιορισμένη.

- Στις μετρήσεις που έγιναν στις 17-02-2010 με το αυτοκίνητο, ο λόγος που δεν χρησιμοποιήσαμε το ίδιο service table με τις εν στάσει μετρήσεις που έγιναν την ίδια μέρα είναι λόγω της διαφορετικής συχνότητας δειγματοληψίας που έχει το SRM-3000 όπως εξηγήθηκε προηγουμένως. Έτσι, για να είμαστε βέβαιοι ότι θα έχουμε πάντοτε αποθηκεύσει το μέγιστο δυνατό αριθμό δειγμάτων για τη μελέτη μας, καταλήξαμε στη λύση της επανάληψης των διαδρομών με ίδια ταχύτητα, αλλά με template που αναλύει μικρότερο εύρος συχνοτήτων κάθε φορά. Έτσι, λοιπόν, επιλέξαμε να μετρήσουμε εν κινήσει πρώτα για το εύρος 850MHz-1000MHz και έπειτα ξανά για τις ίδιες ταχύτητες, αλλά αυτή τη φορά μόνο για τις ζώνες 1700MHz-2000MHz και 2000MHz-2200MHz ταυτόχρονα.
- Για να λάβουμε τις μετρήσεις στις 23-02-2010 μεταβάλαμε ελαφρώς το χώρο των μετρήσεων που φαίνεται στην εικόνα 7.1. Πιο συγκεκριμένα, μετατοπίσαμε κατά 25m τα σημεία έναρξης (σημείο A, 0m) και τερματισμού (σημείο T, 180m) προς την ίδια φορά (προς τα πάνω). Στόχος μας ήταν να απομακρύνουμε το σημείο έναρξης των μετρήσεων από το σημείο εκκίνησης του οχήματος (για τις μετρήσεις εν κινήσει), ώστε να υπάρχει χώρος και χρόνος για το όχημα για να αποκτήσει την κατάλληλη ταχύτητα (ακόμα και για τις υψηλές ταχύτητες, όπως τα 40km/h). Με τον τρόπο αυτό, καταφέραμε να λάβουμε όλες τις κινούμενες μετρήσεις με φορά από το σημείο A προς το σημείο T εκτός από τις μετρήσεις στα 4km/h, οι οποίες και πάλι ελήφθησαν με αντίθετη φορά, λόγω διευκόλυνσης της κίνησης σε κατωφέρεια.

Κεφάλαιο 8: Επεξεργασία μετρήσεων και εξαγωγή συμπερασμάτων

8.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων των μετρήσεων με το NBM-550

Ο επόμενος πίνακας παρουσιάζει συνοπτικά τα στοιχεία των 8 σετ μετρήσεων που ελήφθησαν στις 23-2-2010 με το NBM-550.

Νarda NBM-550					
Ταχύτητα	Ωρα	Αριθμός δειγμάτων	Περίοδος δειγματοληψίας	Φόρα κίνησης (Εικόνα 7.1)	Απόσταση
Εν στάσει κάθε 5m	14:21:58-15:08:09	37	-	Α προς Τ	180m
4km/h	15:50:38 - 15:53:01	718	200msec	Τ προς Α	180m
6km/h	15:46:11-15:47:46	478	200msec	Α προς Τ	180m
10km/h	15:56:51-15:57:49	291	200msec	Α προς Τ	180m
20km/h	15:59:46-16:00:16	152	200msec	Α προς Τ	180m
30km/h	16:02:17-16:02:38	105	200msec	Α προς Τ	180m
40km/h	16:08:02-16:08:17	78	200msec	Α προς Τ	180m

Πίνακας 8.1: Οι μετρήσεις με το NBM-550 στις 23-02-2010

Η ώρα για τις εν στάσει μετρήσεις αφορά το χρονικό διάστημα από την αποθήκευση της πρώτης μέτρησης μέχρι την αποθήκευση της τελευταίας (37^{ης}) με αναμονή σε κάθε ένα από τα 37 σημεία για χρόνο ίσο με 1min. Κατά το διάστημα αυτό, το όργανο υπολόγιζε την μέση τιμή της έντασης E(V/m) για τη θέση αυτή. Η ώρα για τις εν κινήσει μετρήσεις αφορά το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το NBM-550 κατέγραφε δείγματα εντός της απόστασης των 180m. Όλες οι εν κινήσει μετρήσεις έχουν ληφθεί με περίοδο δειγματοληψίας ίση με 200msec.

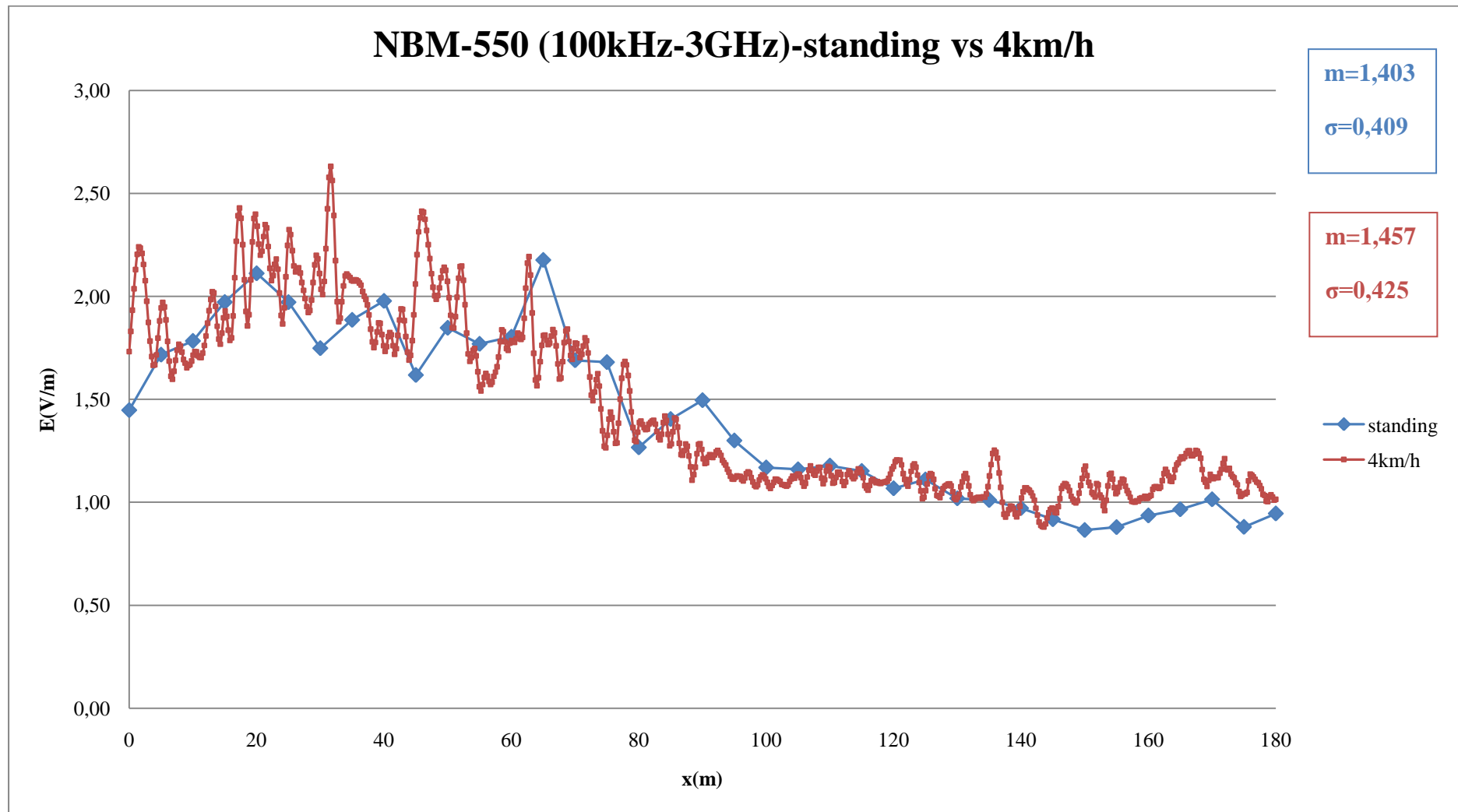
Για να έχουμε μια εικόνα της θέσης στην οποία ελήφθη το κάθε δείγμα, διαιρέσαμε την απόσταση (180m) με τον αριθμό των ληφθέντων δειγμάτων και έτσι κάθε θέση απείχε από την προηγούμενη απόσταση ίση με το πηλίκο αυτό. Ουσιαστικά, δηλαδή, όλες οι μετρήσεις κατανεμήθηκαν ομοιόμορφα μεταξύ της πρώτης (στα 0m) και της τελευταίας θέσης (στα 180m). Η ταχύτητα που αναφέρουμε στα διαγράμματα δεν είναι απόλυτα ακριβής. Ο κάθετος άξονας δίνει την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε (V/m) κι ο οριζόντιος την θέση σε (m) που αντιστοιχεί η τιμή αυτή. Η τακτική αυτή ακολουθήθηκε για όλα τα διαγράμματα που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία. Επίσης, η εξαγωγή των δεδομένων των μετρήσεων έγινε με την βοήθεια του λογισμικού “NBM-TS”.

Ακολουθούν τα διαγράμματα των εν κινήσει μετρήσεων του NBM-550 σε σύγκριση με τις εν στάσει του ίδιου οργάνου. Για κάθε διαφορετική ταχύτητα των μετρήσεων εν κινήσει (4,6,10,20,30,40 km/h) παρουσιάζουμε:

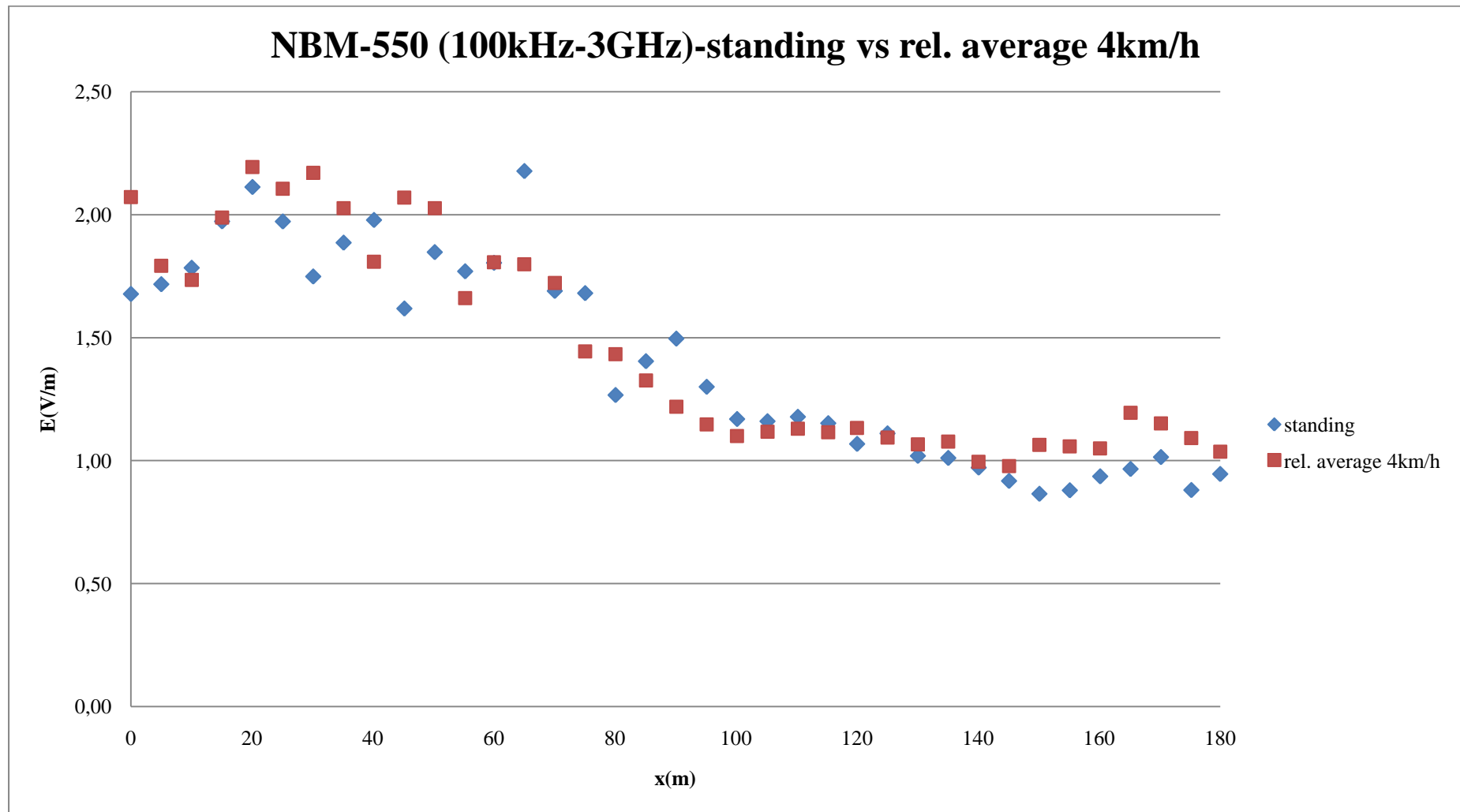
1. Το διάγραμμα των εν κινήσει μετρήσεων του NBM-550 σε απευθείας σύγκριση με τις εν στάσει μετρήσεις (Διαγράμματα 8.1, 8.2, 8.3, 8.4).

2. Το διάγραμμα σύγκρισης κάθε εν στάσει μέτρησης με το μέσο όρο των εν κινήσει μετρήσεων γύρω από την αντίστοιχη πλησιέστερη εν κινήσει μέτρηση (Διαγράμματα 8.1.1, 8.2.1, 8.3.1, 8.4.1) και το αντίστοιχο διάγραμμα απόκλισης των τιμών αυτών (Διαγράμματα 8.1.2, 8.2.2, 8.3.2, 8.4.2).
3. Το διάγραμμα σύγκρισης κάθε εν στάσει μέτρησης με την αντίστοιχη πλησιέστερη χωρικά εν κινήσει μέτρηση (Διαγράμματα 8.1.3, 8.2.3, 8.3.3, 8.4.3) και το αντίστοιχο διάγραμμα απόκλισης για τη σύγκριση των παραπάνω τιμών (Διαγράμματα 8.1.4, 8.2.4, 8.3.4, 8.4.4, 8.5.1, 8.5.2).

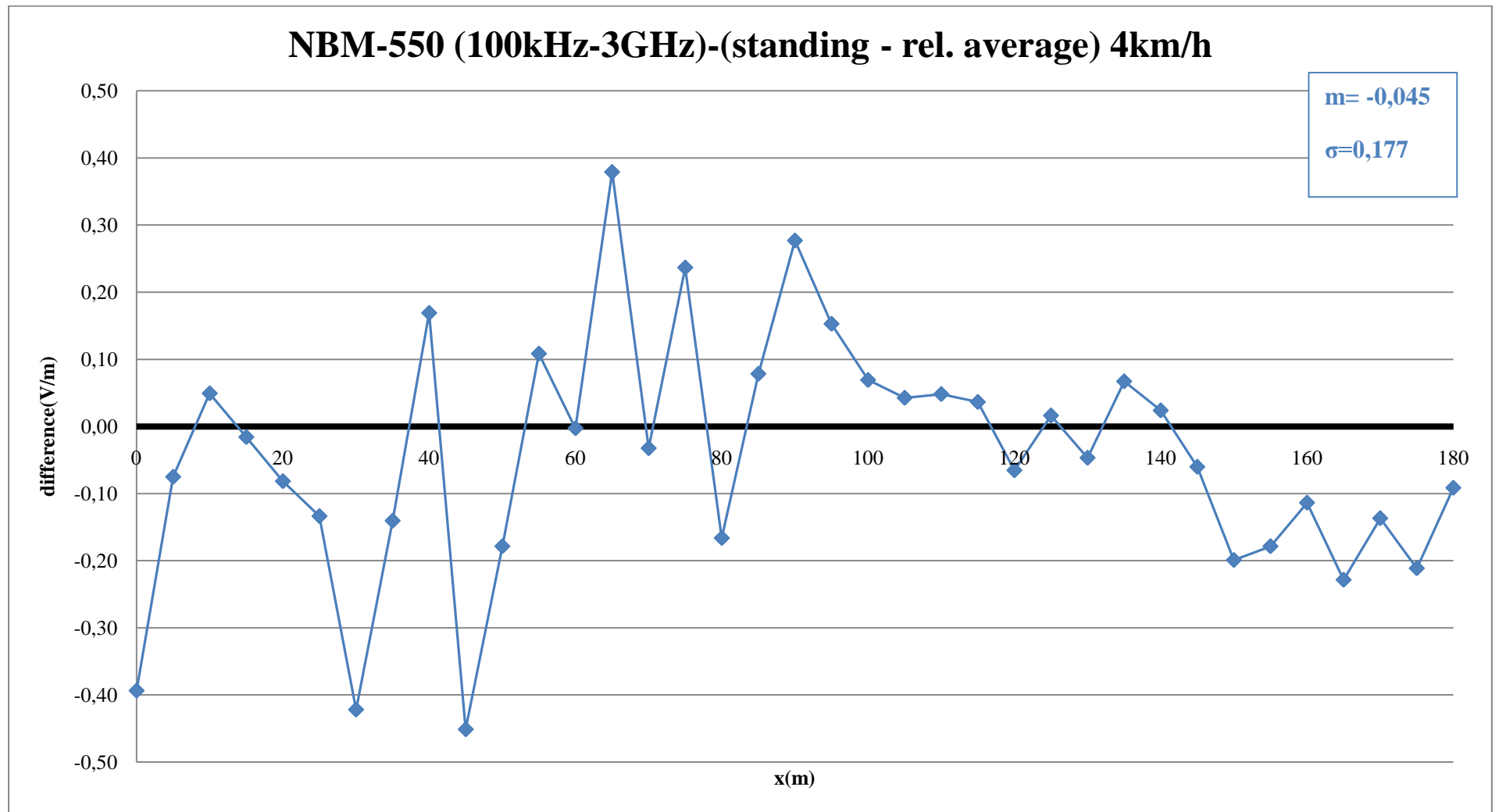
Τα διαγράμματα 8.1.1, 8.2.1, 8.3.1, 8.4.1 προέκυψαν για κάθε διαφορετική ταχύτητα ως εξής: λάβαμε τις 37 εν κινήσει μετρήσεις που βρίσκονταν χωρικά πιο κοντά στις αντίστοιχες 37 εν στάσει μετρήσεις. Έπειτα, υπολογίσαμε 37 διαφορετικούς μέσους όρους (average), έναν για κάθε θέση. Κάθε μέσος όρος προέκυψε από τις τιμές των εν κινήσει μετρήσεων (κόκκινο χρώμα στα παρακάτω διαγράμματα) που βρίσκονταν συμμετρικά και γύρω από τις 37 εν κινήσει μετρήσεις που ξεχωρίσαμε προηγουμένως, έτσι ώστε να συμπεριληφθούν όλες οι σχετικές μετρήσεις στον υπολογισμό τουλάχιστον ενός από τους 37 μέσους όρους, αλλά να μην υπάρχουν επικαλυπτόμενα δείγματα στον υπολογισμό γειτονικών μέσων όρων. Δηλαδή, για παράδειγμα, στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με 4km/h θα έχουμε $718\text{δείγματα}/37\text{θέσεις}=19.4$ περίπου, άρα κάθε μέσος όρος προκύπτει λαμβάνοντας 10 εν κινήσει μετρήσεις πάνω και 10 εν κινήσει μετρήσεις κάτω (συνολικά 20 δείγματα) από την κεντρική εν κινήσει μέτρηση (που είναι πλησιέστερη στην εν στάσει). Αντίστοιχα, για τα 6km/h λάβαμε 7 μετρήσεις πάνω και κάτω από την κεντρική, για τα 10km/h λάβαμε 4 μετρήσεις πάνω και κάτω από την κεντρική και για τα 20km/h λάβαμε 2 μετρήσεις πάνω και κάτω από την κεντρική. Για τα 30km/h και τα 40km/h δεν εφαρμόσαμε την παραπάνω μέθοδο διότι σε αυτές τις ταχύτητες τα εν κινήσει δείγματα ήταν σχετικά λίγα σε αριθμό και η εξαγωγή του μέσου όρου δεν θα μας έδινε αντιπροσωπευτικό αποτέλεσμα. Τελικά, για κάθε ταχύτητα (4, 6, 10, 20 km/h) συγκρίναμε αυτούς τους 37 μέσους όρους με τις αντίστοιχες 37 μετρήσεις εν στάσει.



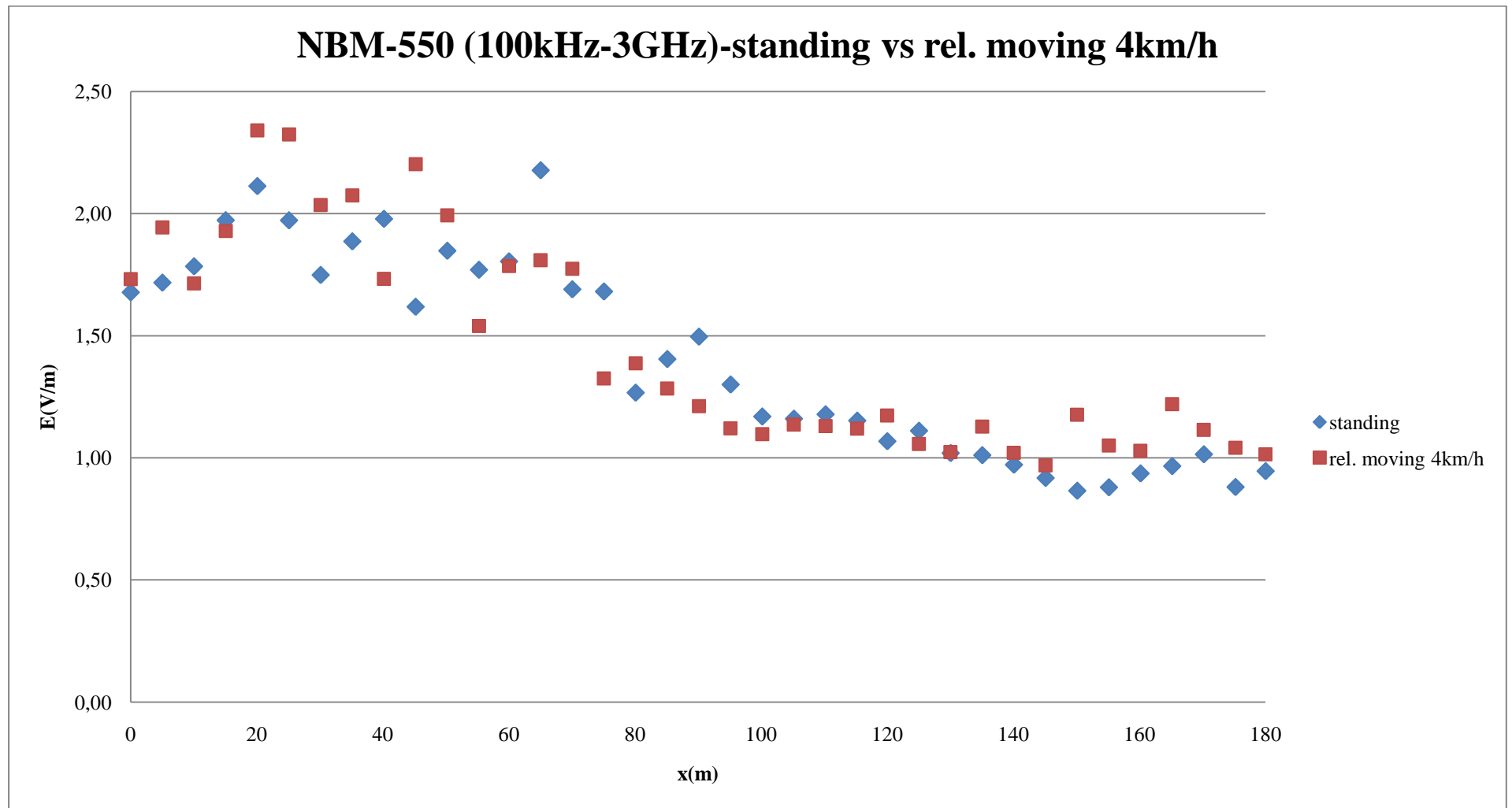
Διάγραμμα 8.1: NBM-550 σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 4km/h



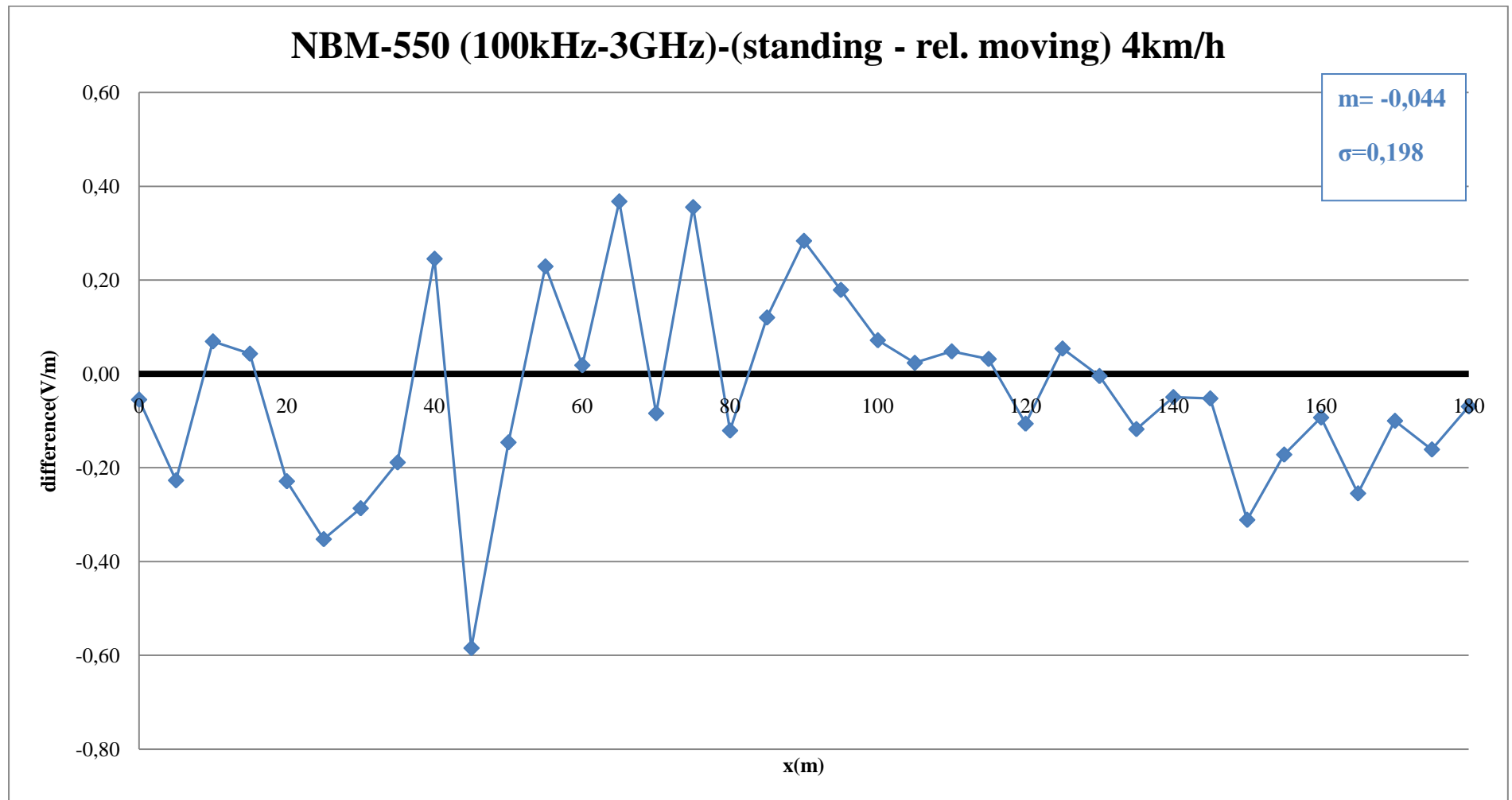
Διάγραμμα 8.1.1: NBM-550 σύγκριση κάθε εν στάσει μέτρησης με το μέσο όρο γύρω από την αντίστοιχη εν κινήσει στα 4km/h



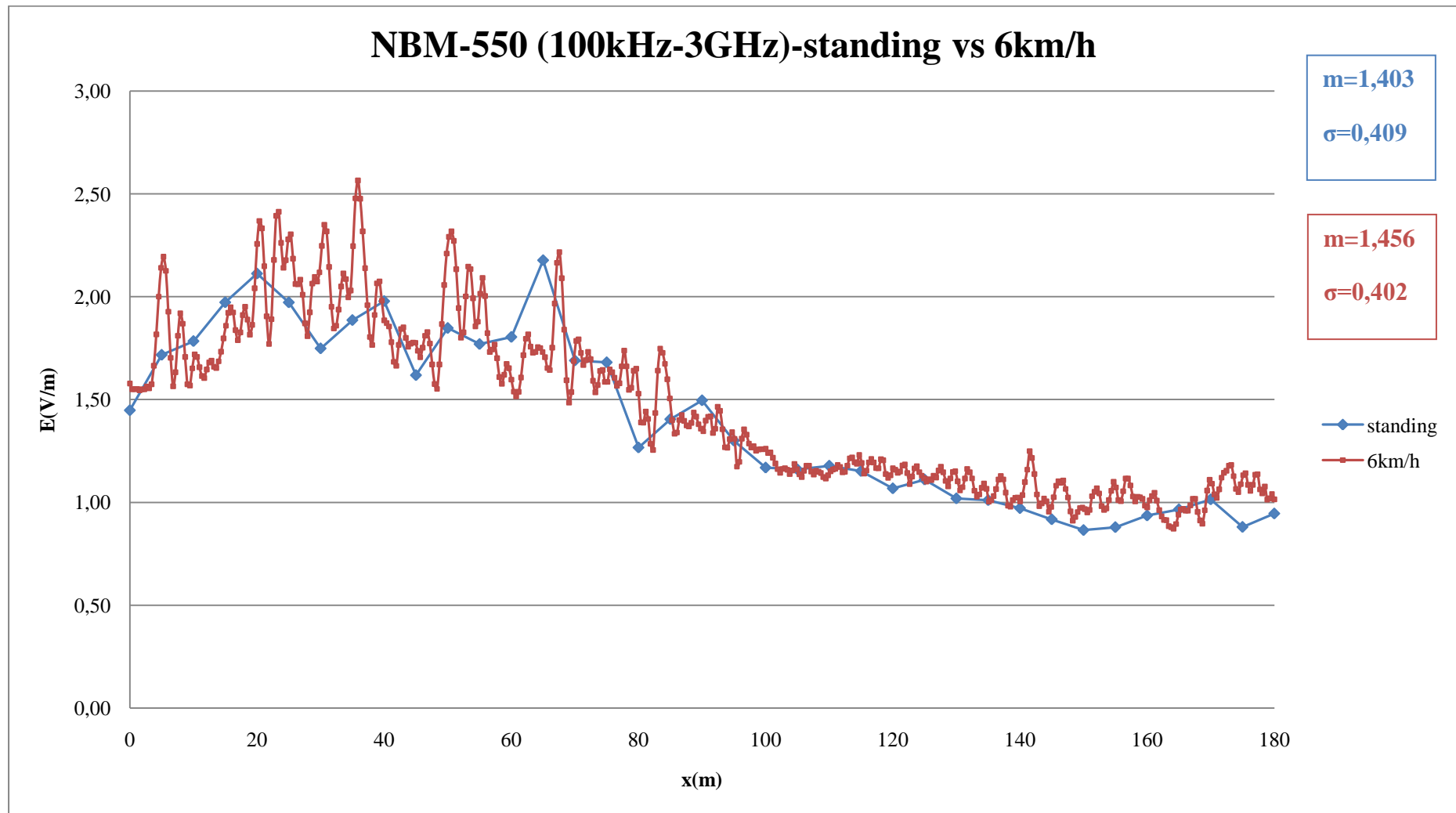
Διάγραμμα 8.1.2: Ανάλυση απόκλισης των αντίστοιχων τιμών για το διάγραμμα 8.1.1



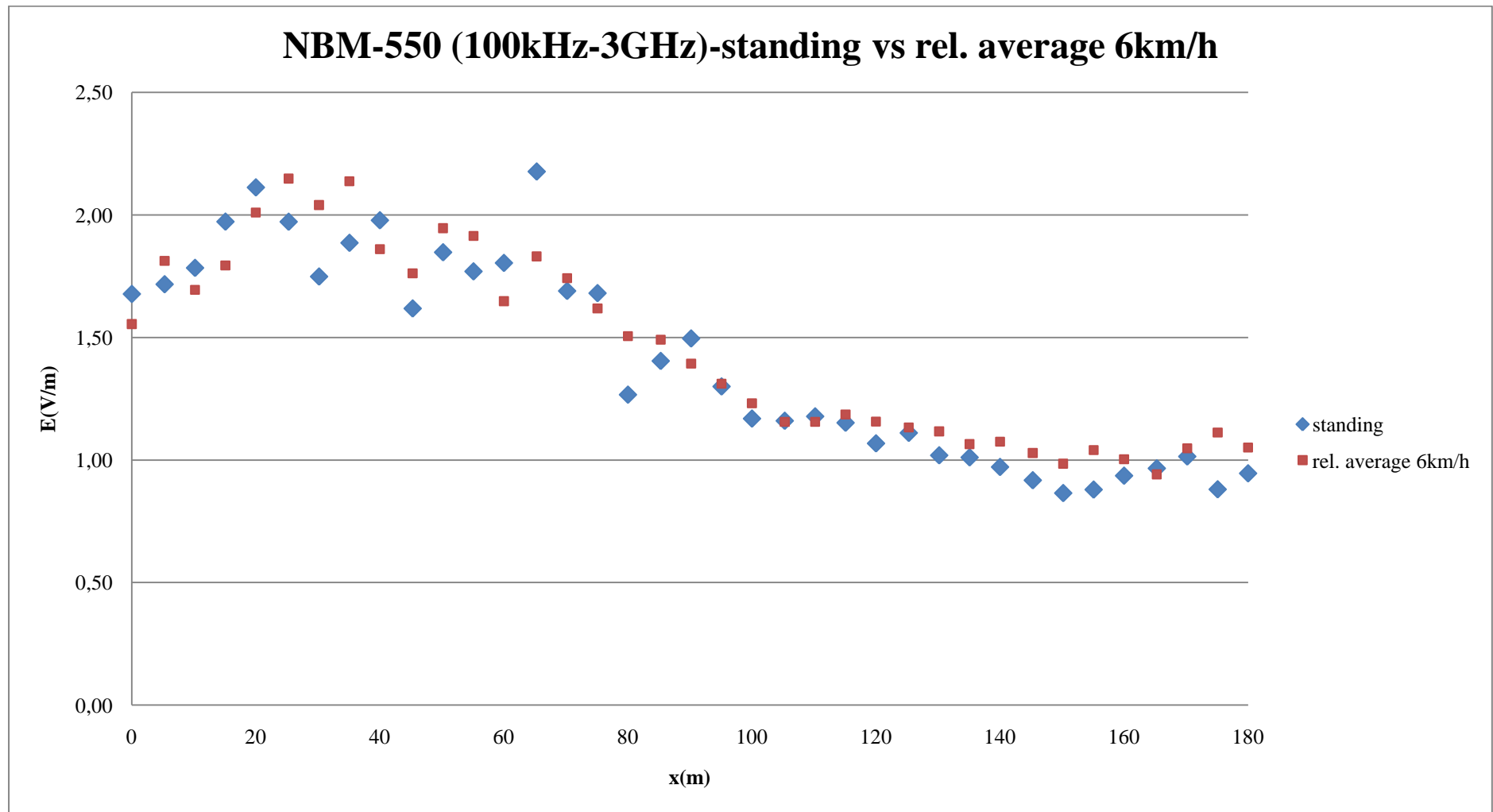
Διάγραμμα 8.1.3: NBM-550 σύγκριση κάθε εν στάσει μέτρησης με την αντίστοιχη εν κινήσει στα 4km/h



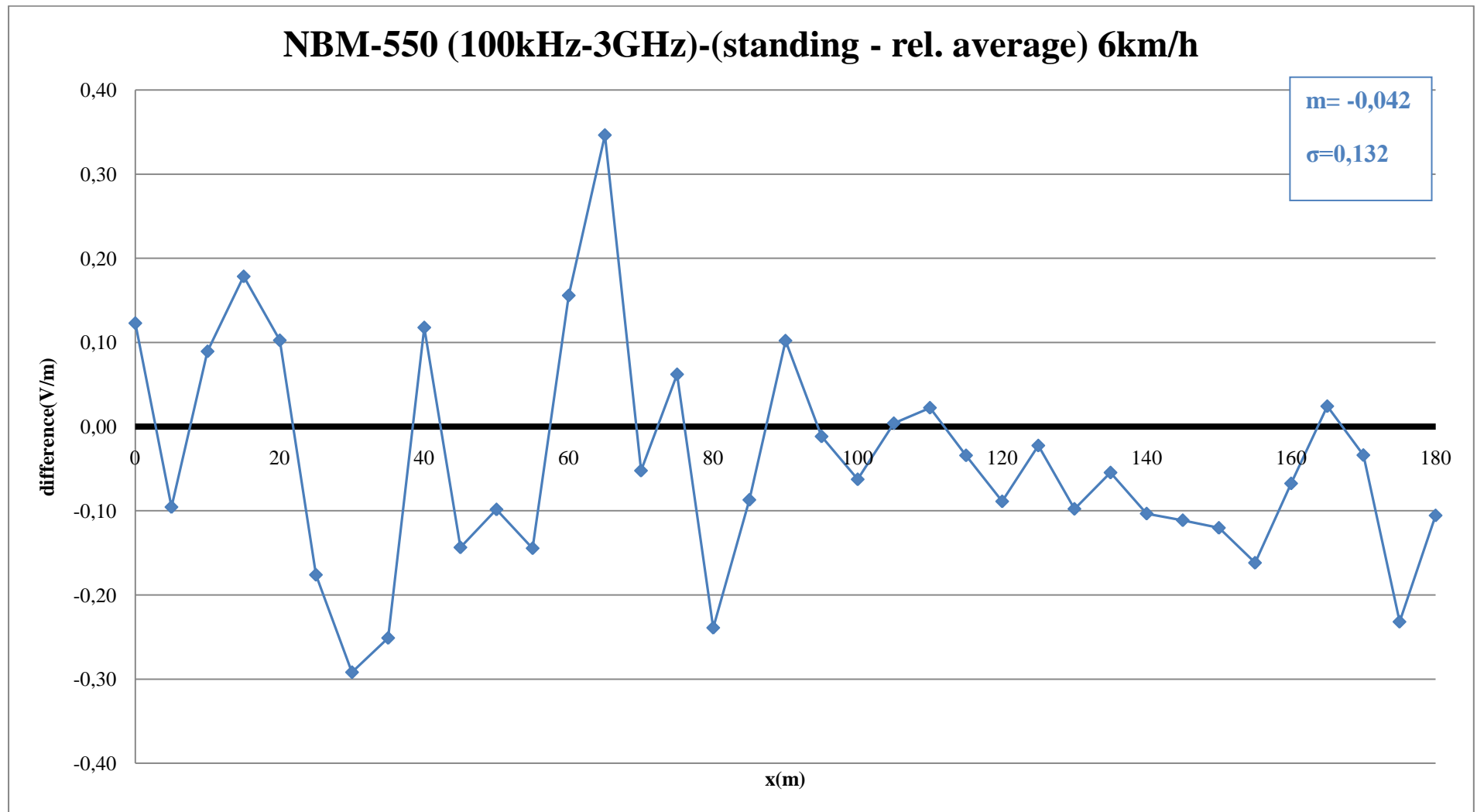
Διάγραμμα 8.1.4: Ανάλυση απόκλισης των αντίστοιχων τιμών του διαγράμματος 8.1.3



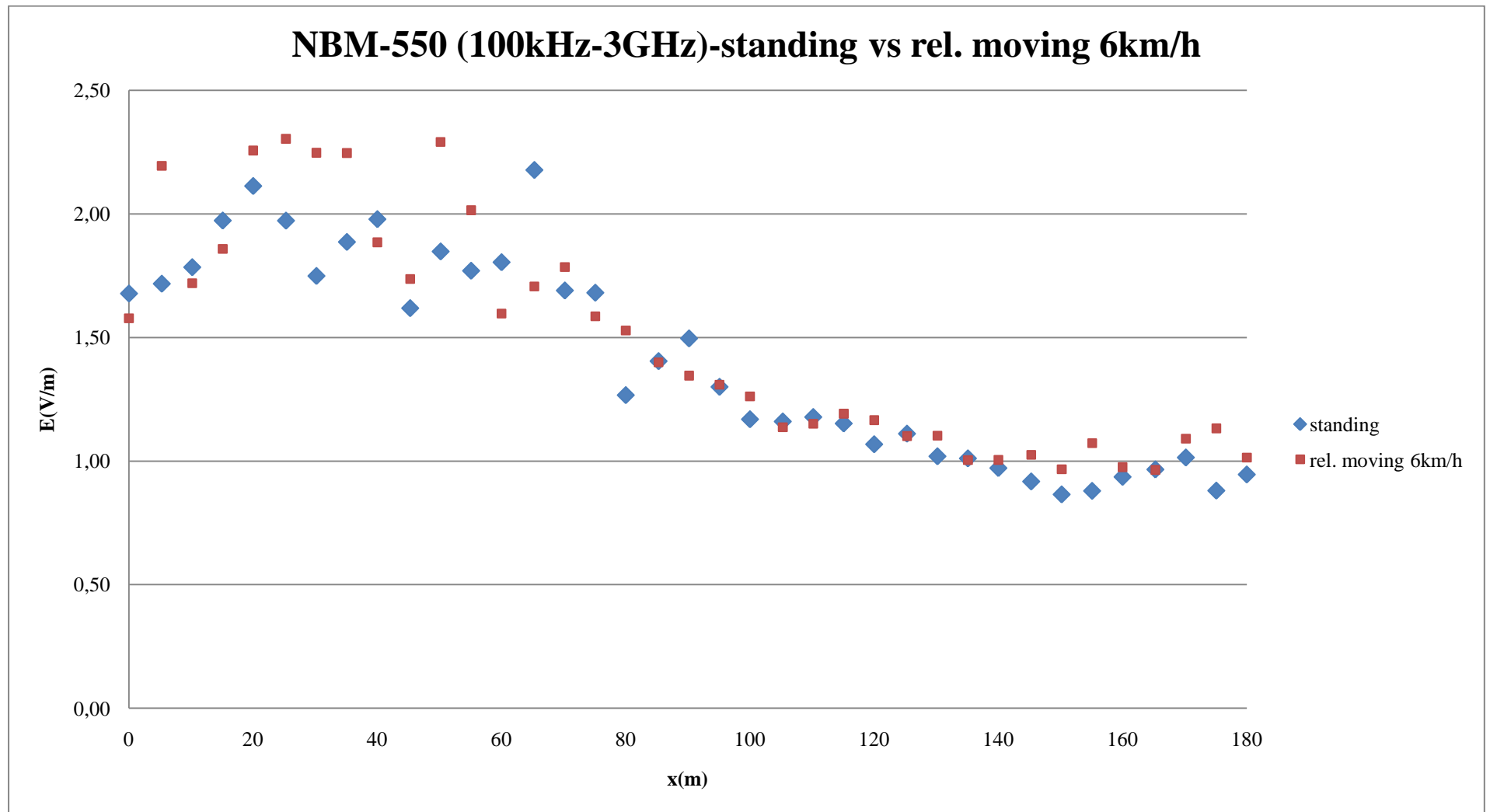
Διάγραμμα 8.2: NBM-550 σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 6km/h



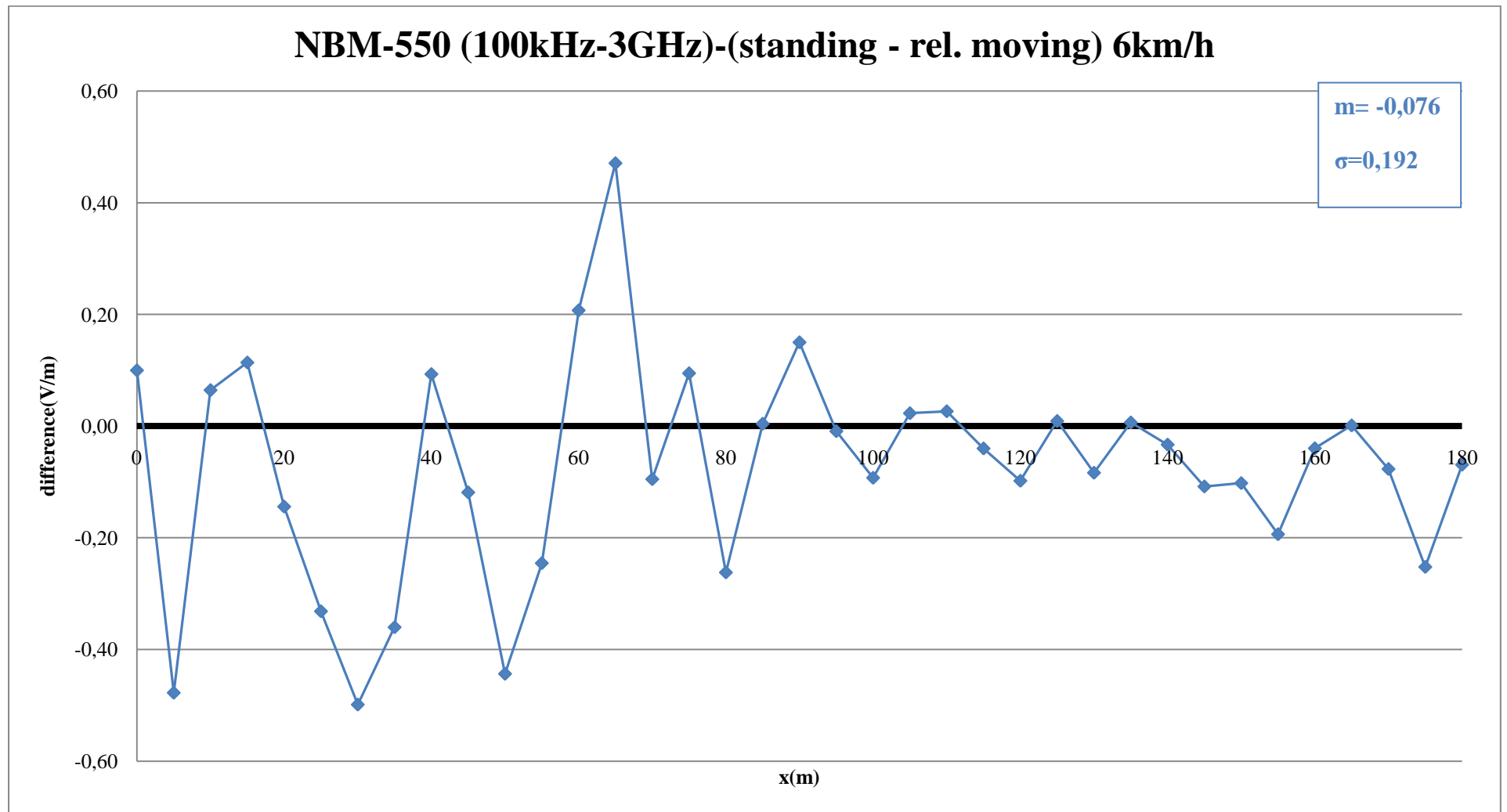
Διάγραμμα 8.2.1: NBM-550 σύγκριση κάθε εν στάσει μέτρησης με το μέσο όρο γύρω από την αντίστοιχη εν κινήσει στα 6km/h



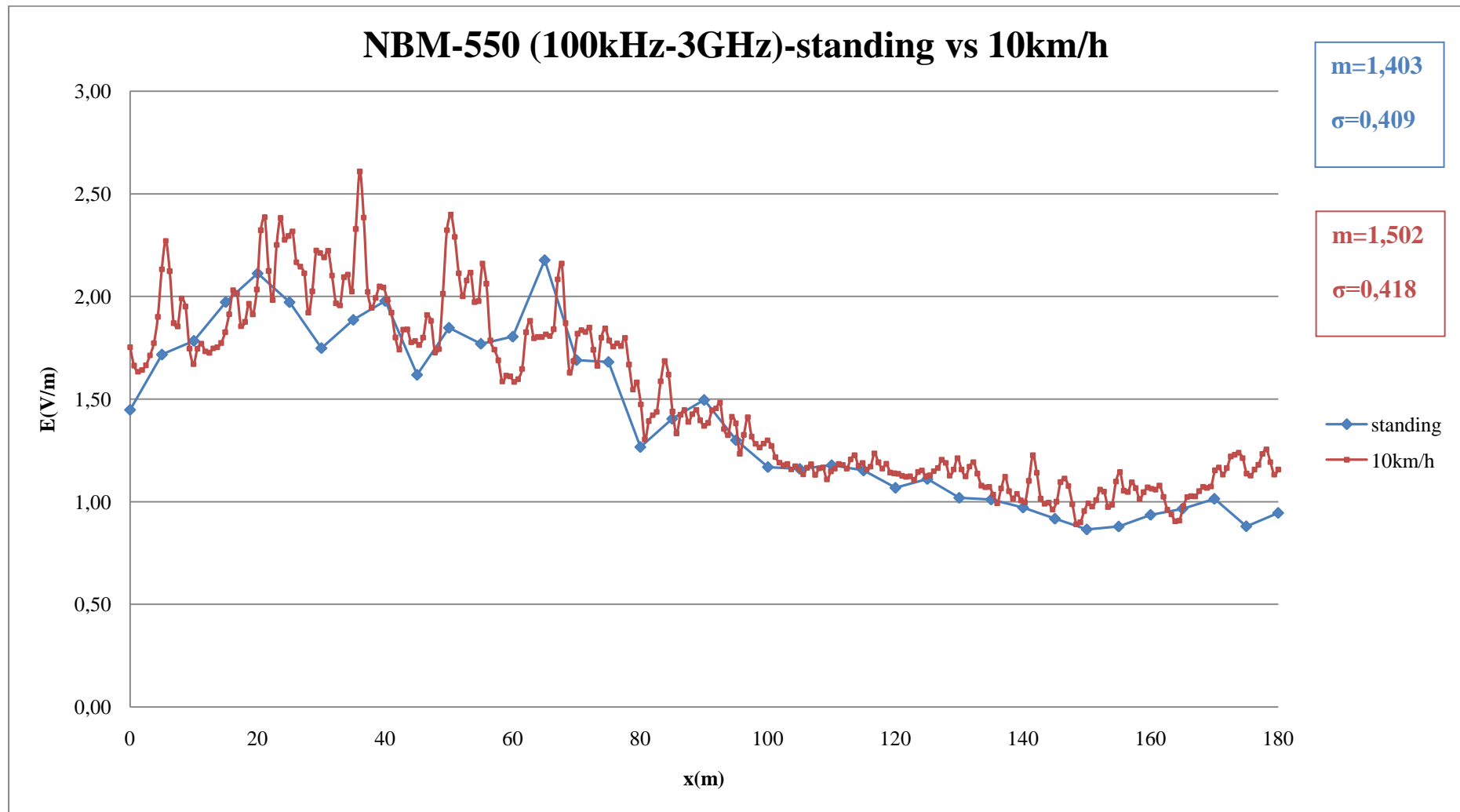
Διάγραμμα 8.2.2: Ανάλυση απόκλισης των αντίστοιχων τιμών για το διάγραμμα 8.2.1



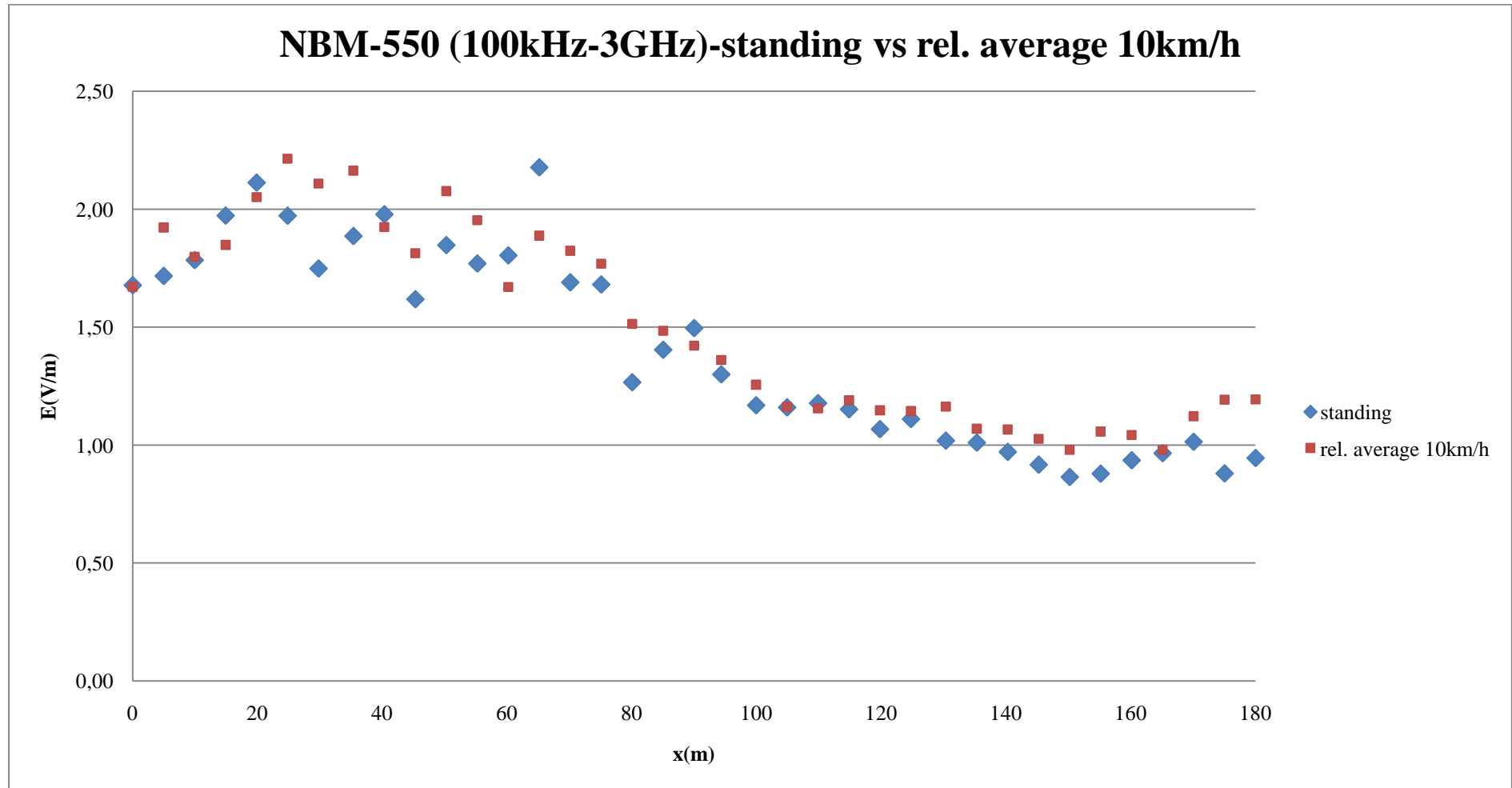
Διάγραμμα 8.2.3: NBM-550 σύγκριση κάθε εν στάσει μέτρησης με την αντίστοιχη εν κινήσει



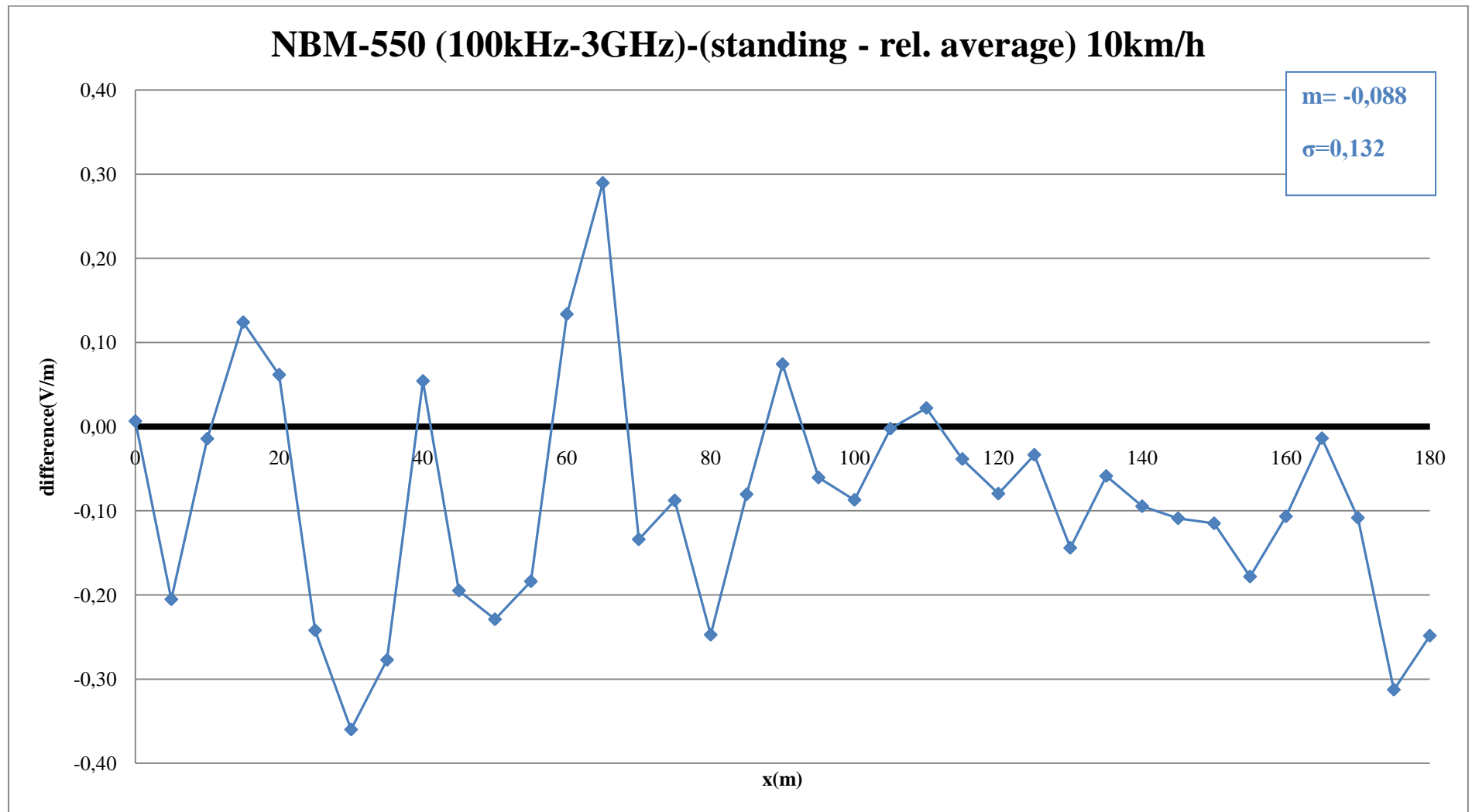
Διάγραμμα 8.2.4: Ανάλυση απόκλισης των αντίστοιχων τιμών για το διάγραμμα 8.2.3



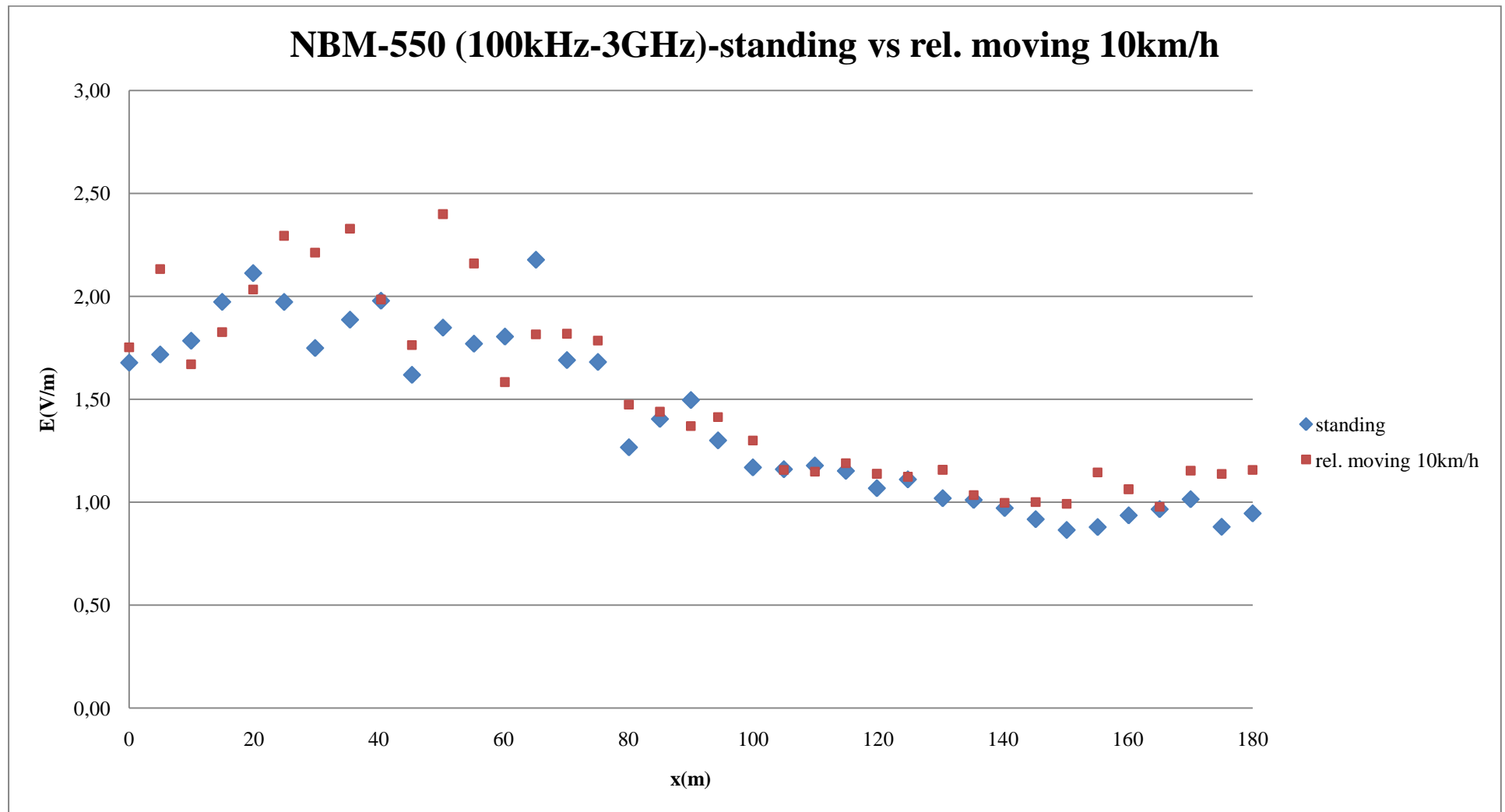
Διάγραμμα 8.3: NBM-550 σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 10km/h



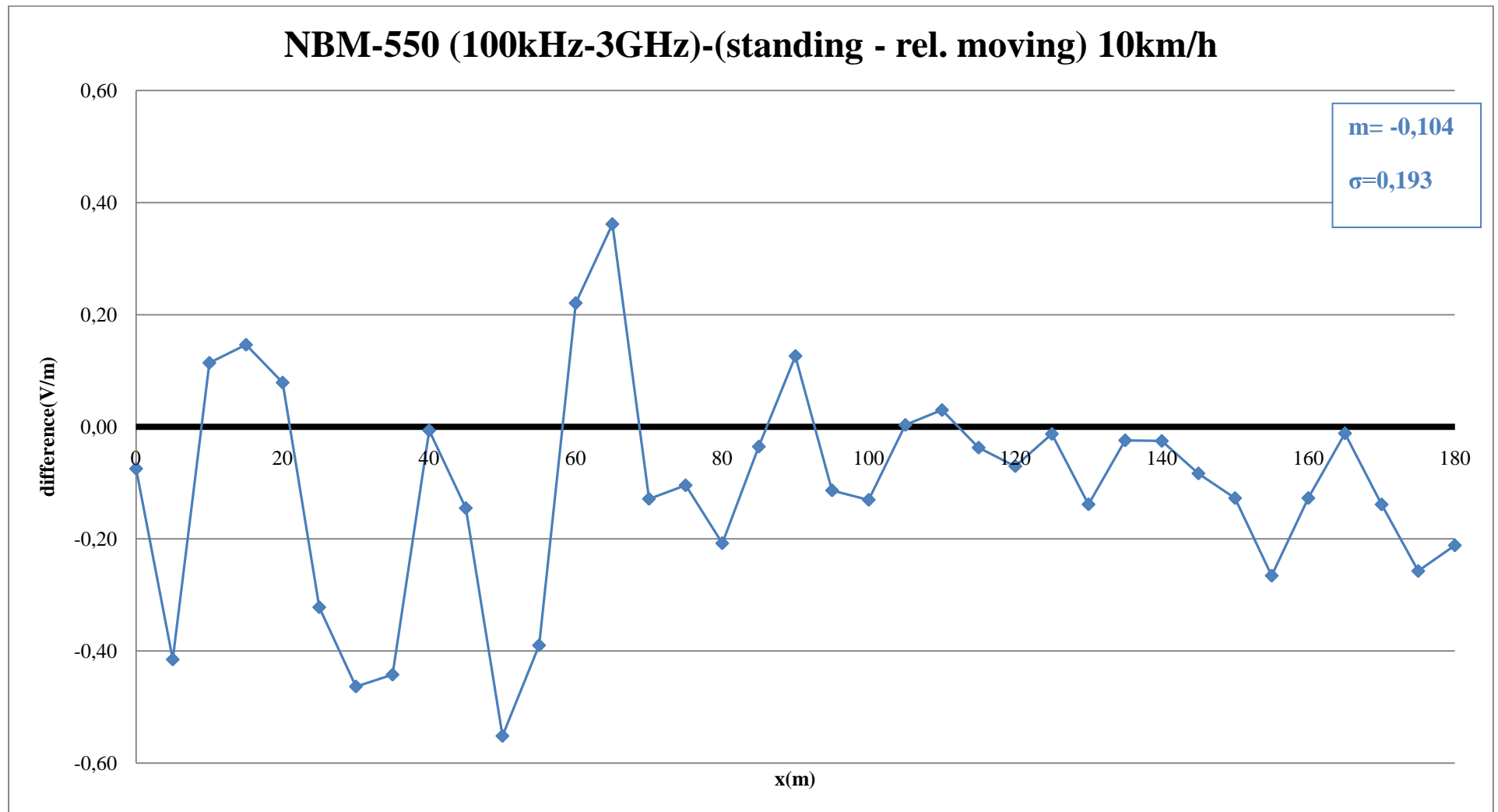
Διάγραμμα 8.3.1: NBM-550 σύγκριση κάθε εν στάσει μέτρησης με το μέσο όρο γύρω από την αντίστοιχη εν κινήσει στα 10km/h



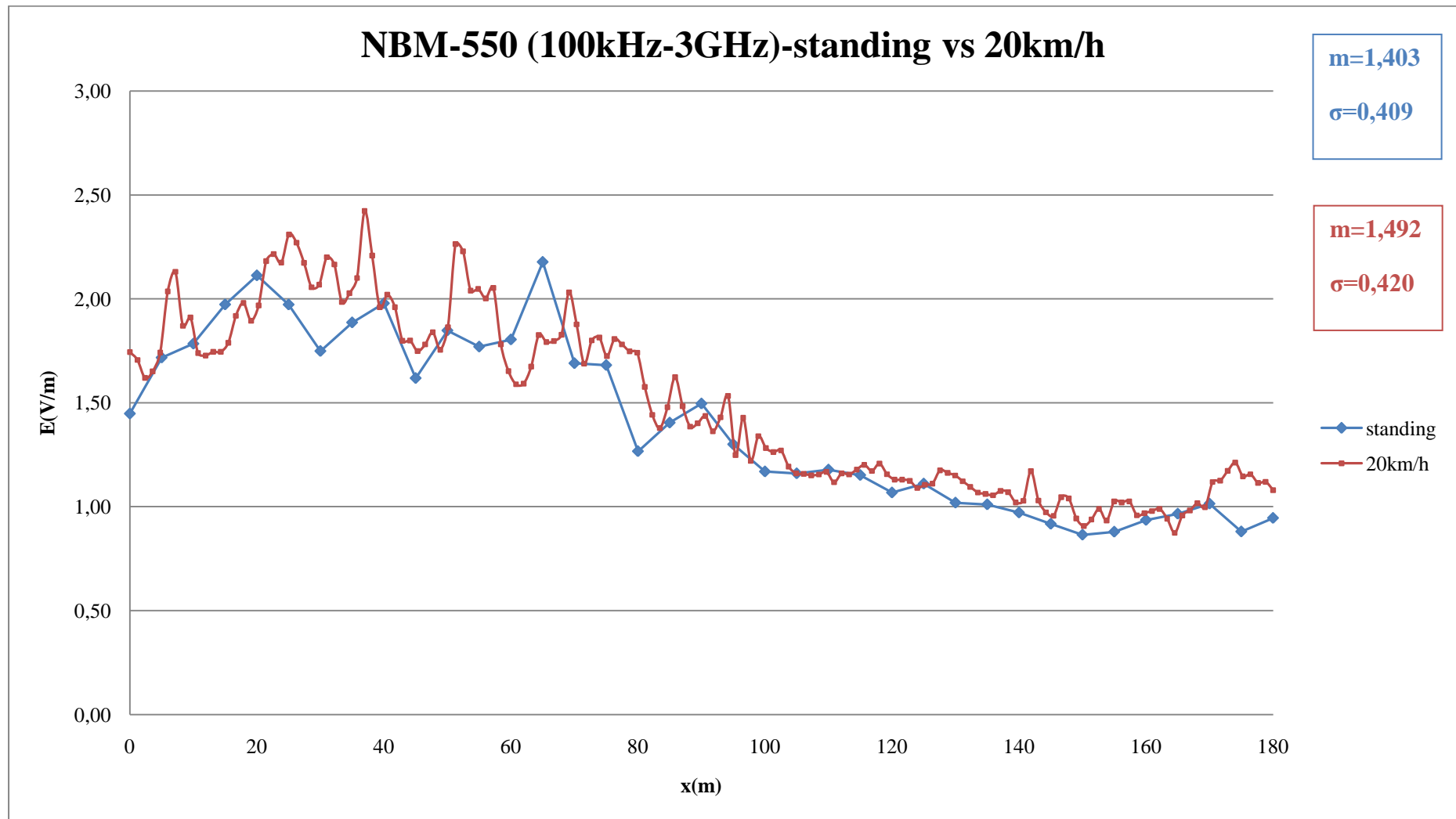
Διάγραμμα 8.3.2: Ανάλυση απόκλισης των αντίστοιχων τιμών για το διάγραμμα 8.3.1



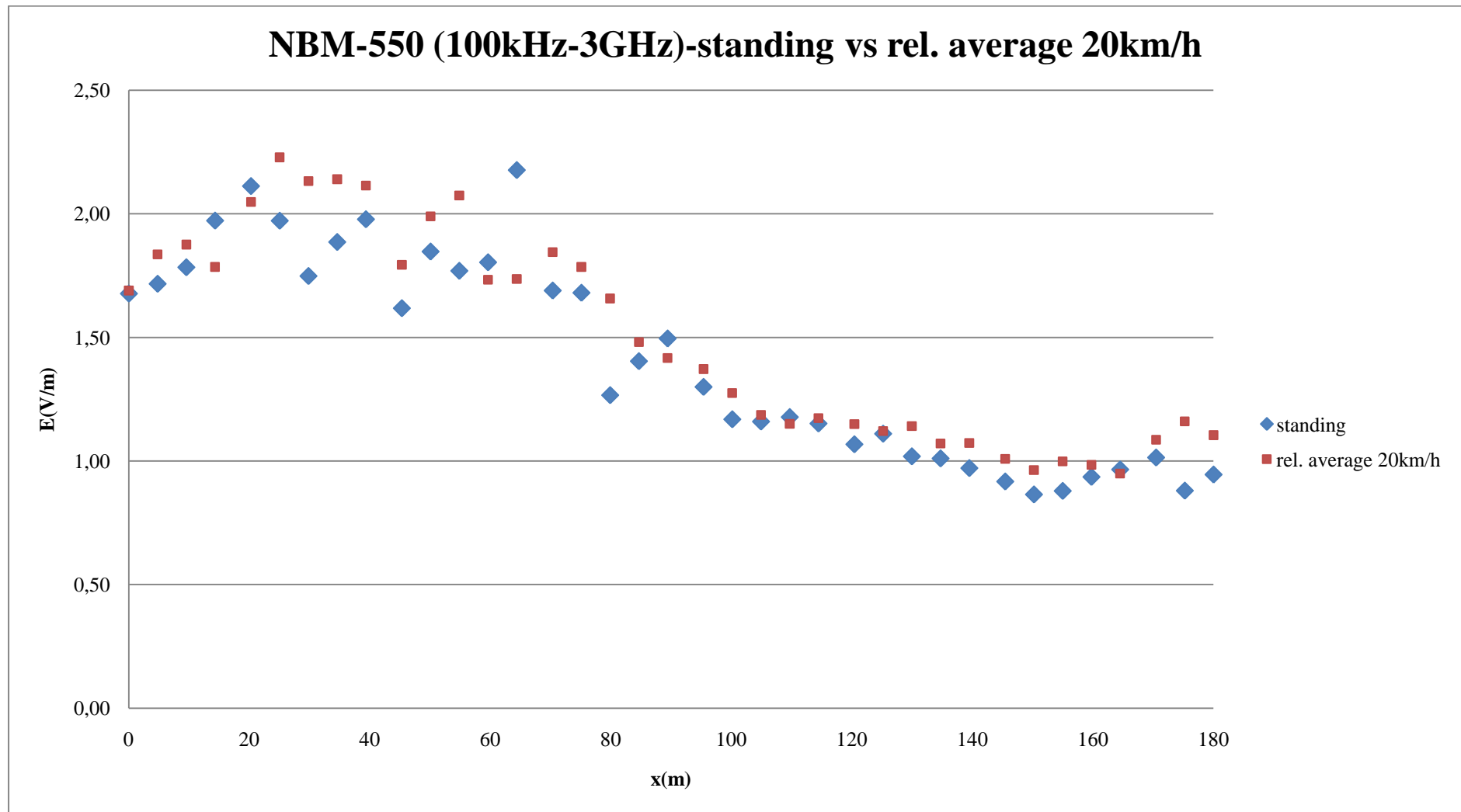
Διάγραμμα 8.3.3: NBM-550 σύγκριση κάθε εν στάσει μέτρησης με την αντίστοιχη εν κινήσει στα 10km/h



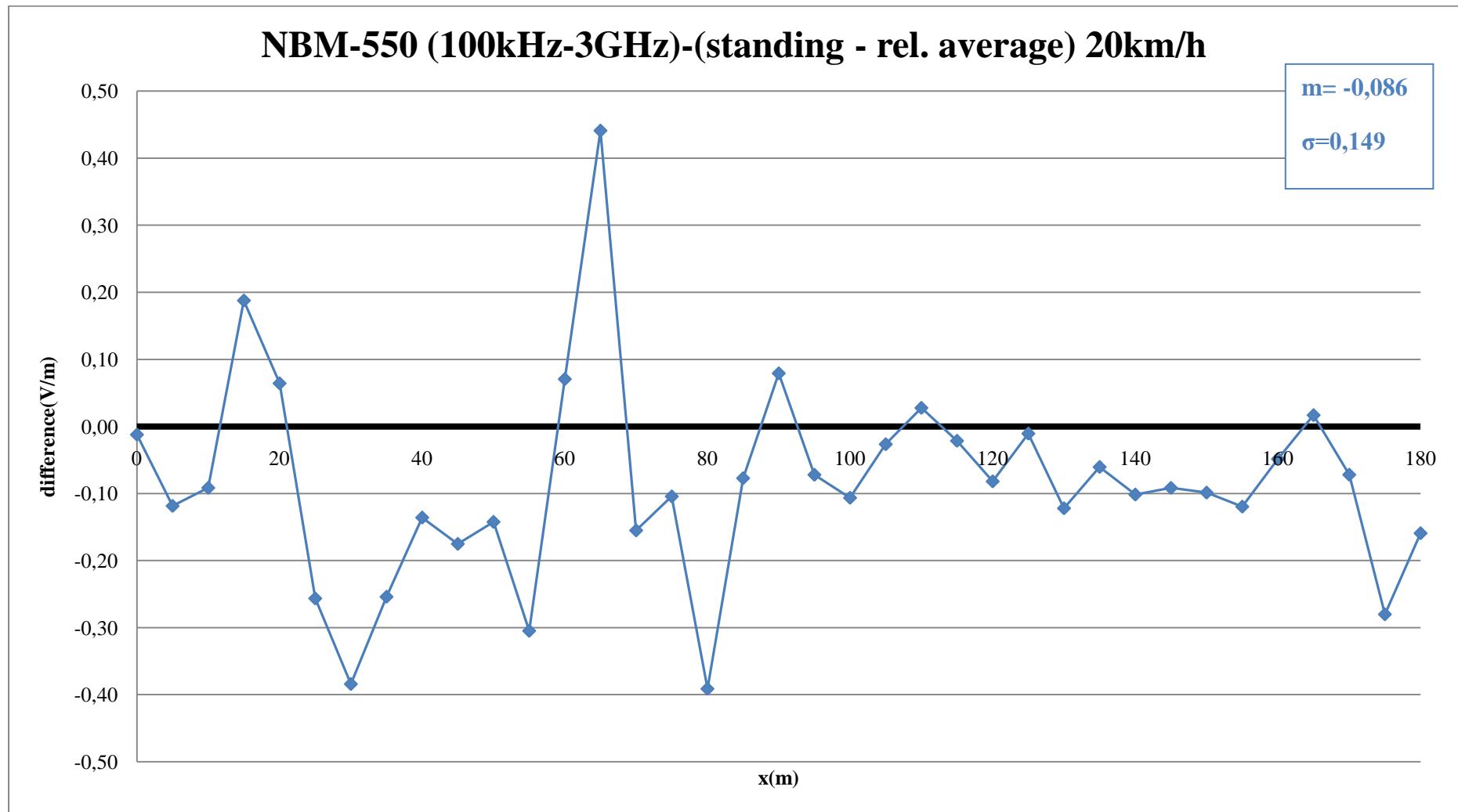
Διάγραμμα 8.3.4: Ανάλυση απόκλισης των αντίστοιχων τιμών για το διάγραμμα 8.3.3



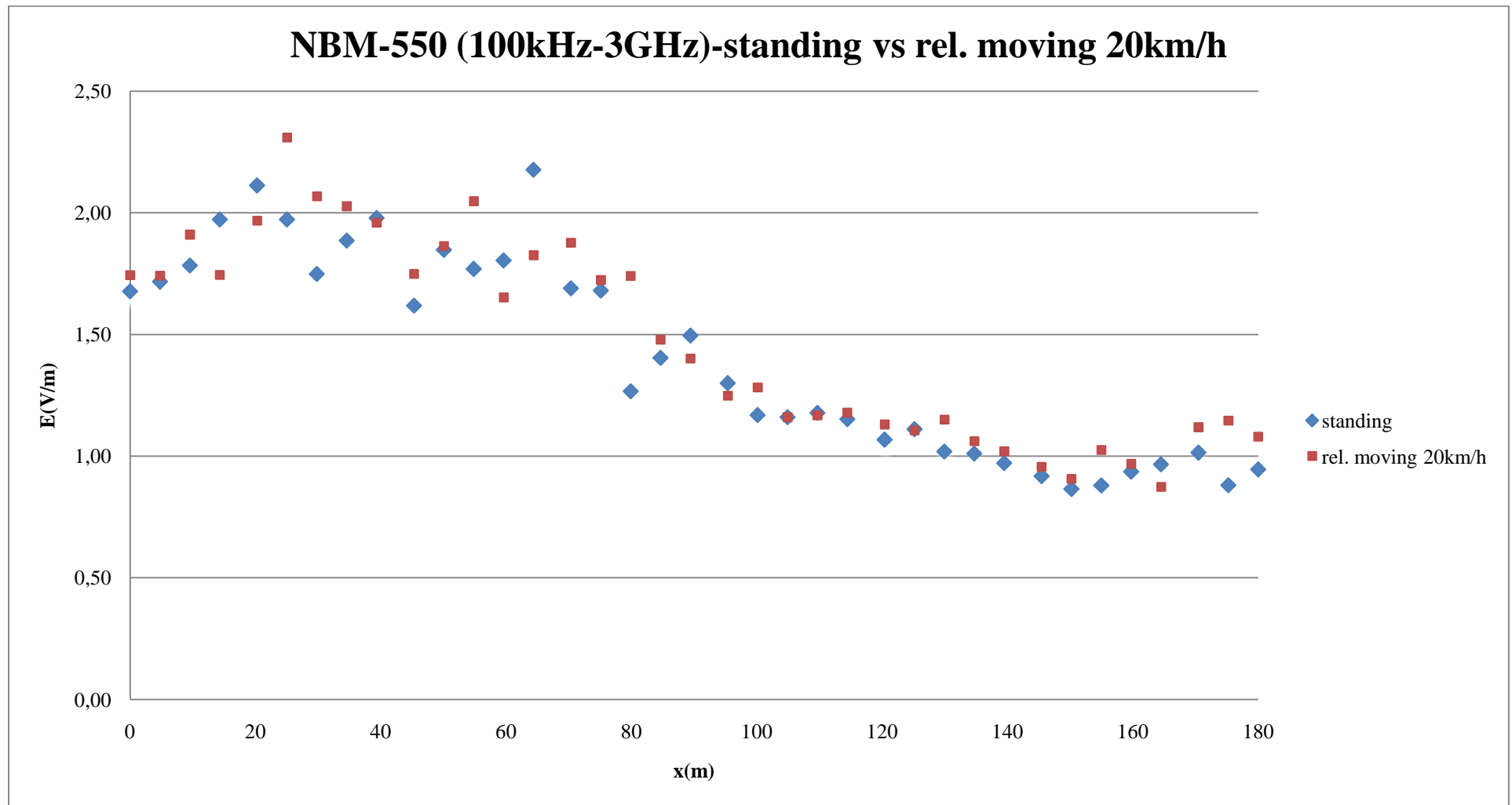
Διάγραμμα 8.4: NBM-550 σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 20km/h



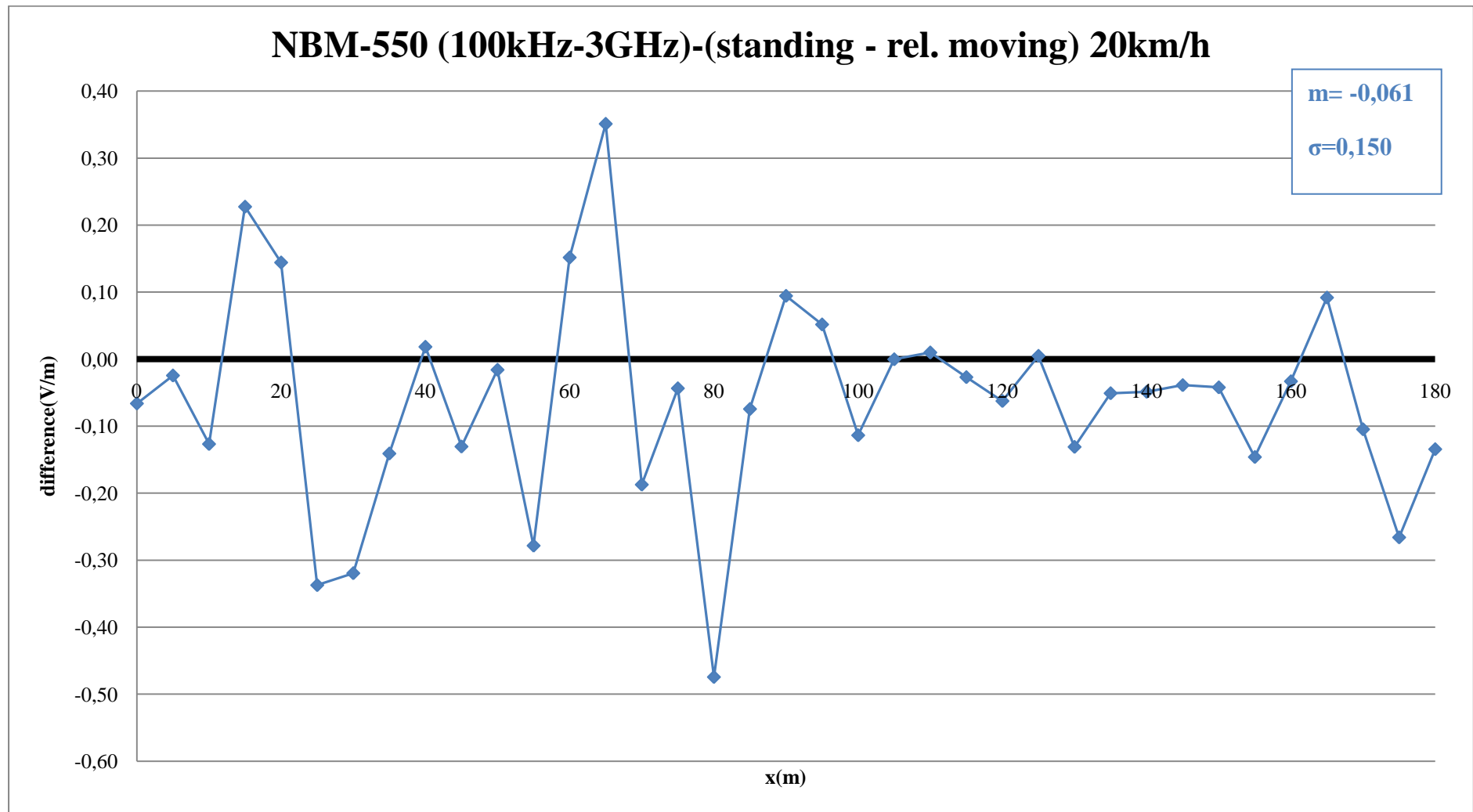
Διάγραμμα 8.4.1: NBM-550 σύγκριση κάθε εν στάσει μέτρησης με το μέσο όρο γύρω από την αντίστοιχη εν κινήσει στα 20km/h



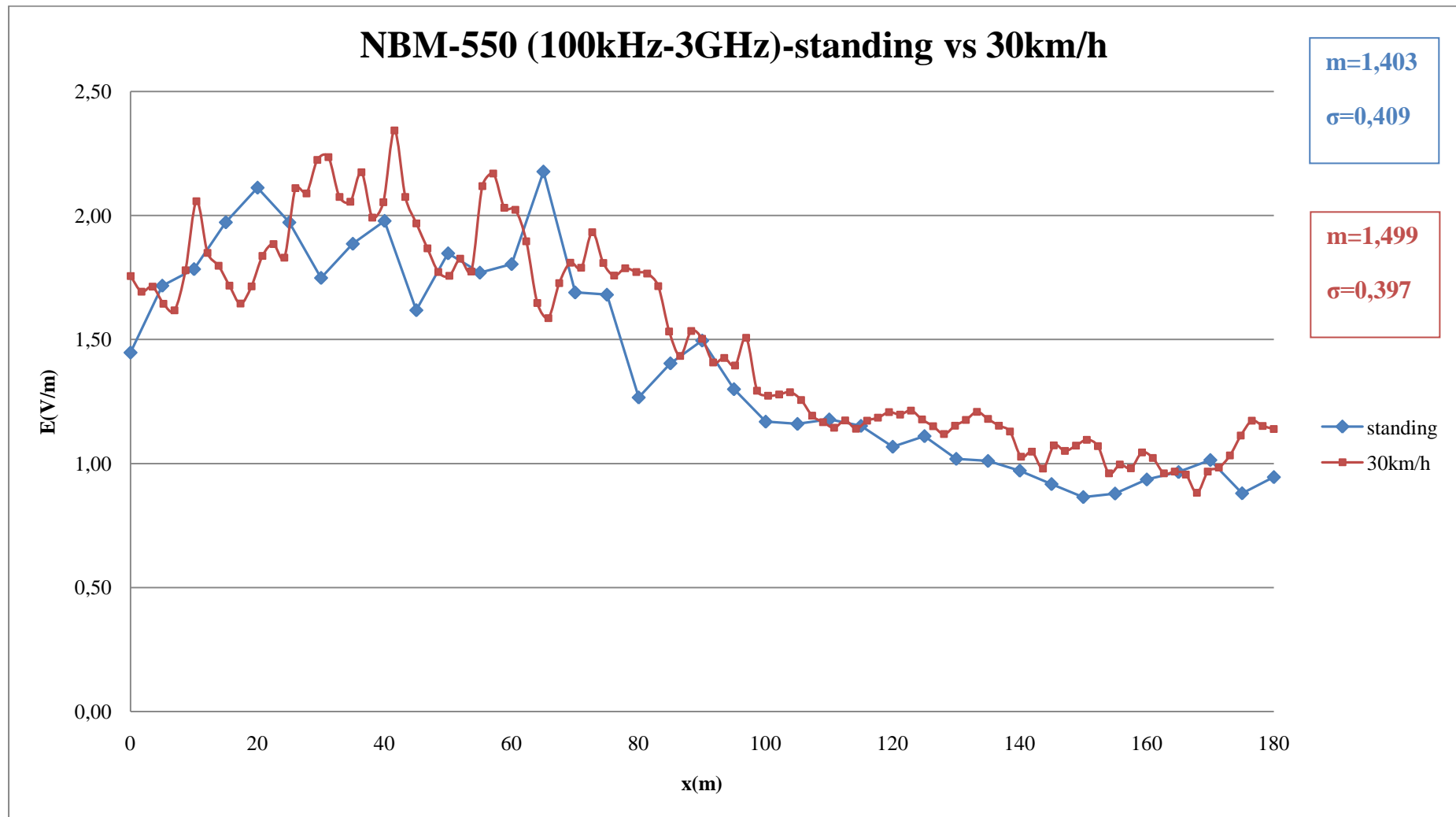
Διάγραμμα 8.4.2: Ανάλυση απόκλισης των αντίστοιχων τιμών για το διάγραμμα 8.4.1



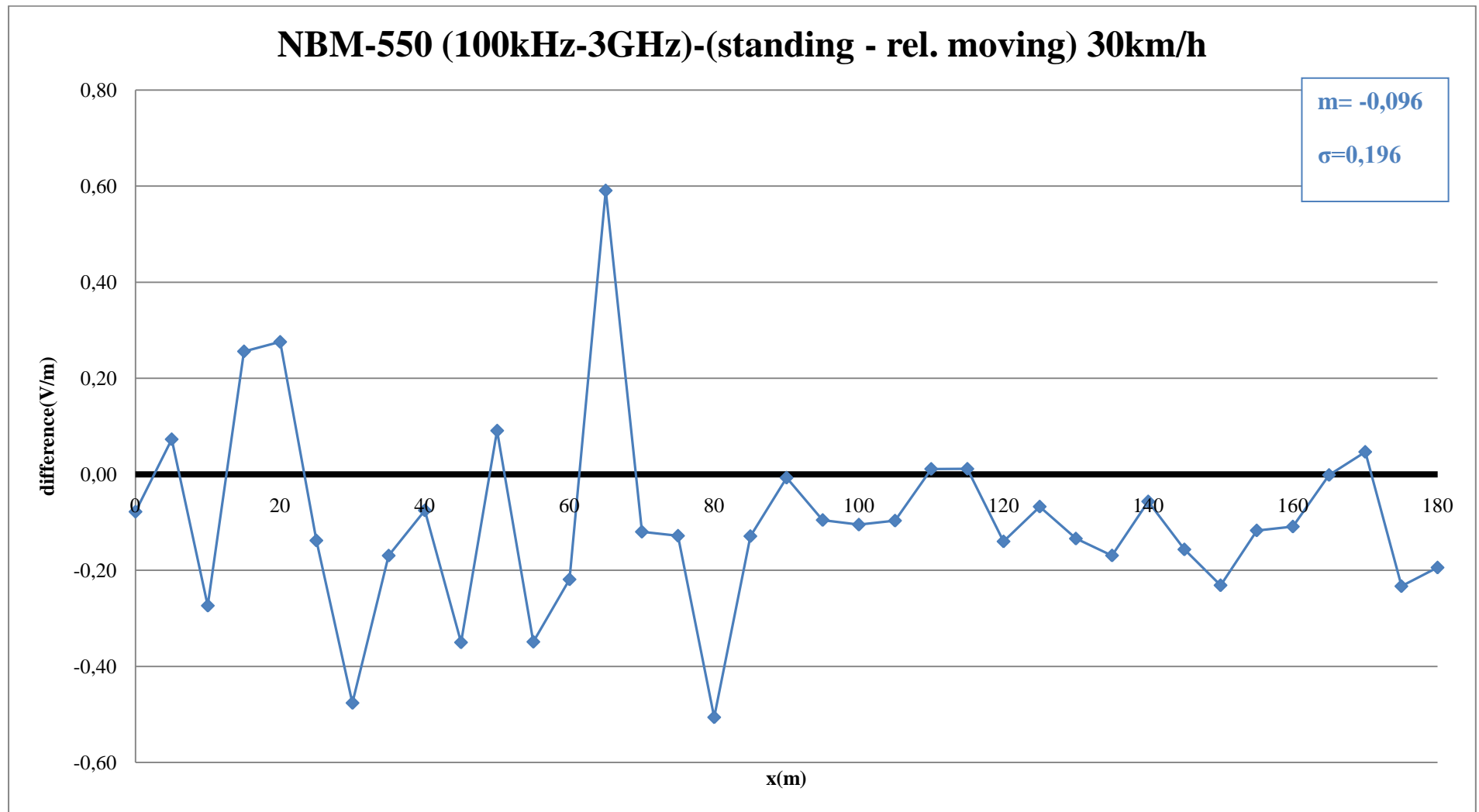
Διάγραμμα 8.4.3: NBM-550 σύγκριση κάθε εν στάσει μέτρησης με την αντίστοιχη εν κινήσει στα 20km/h



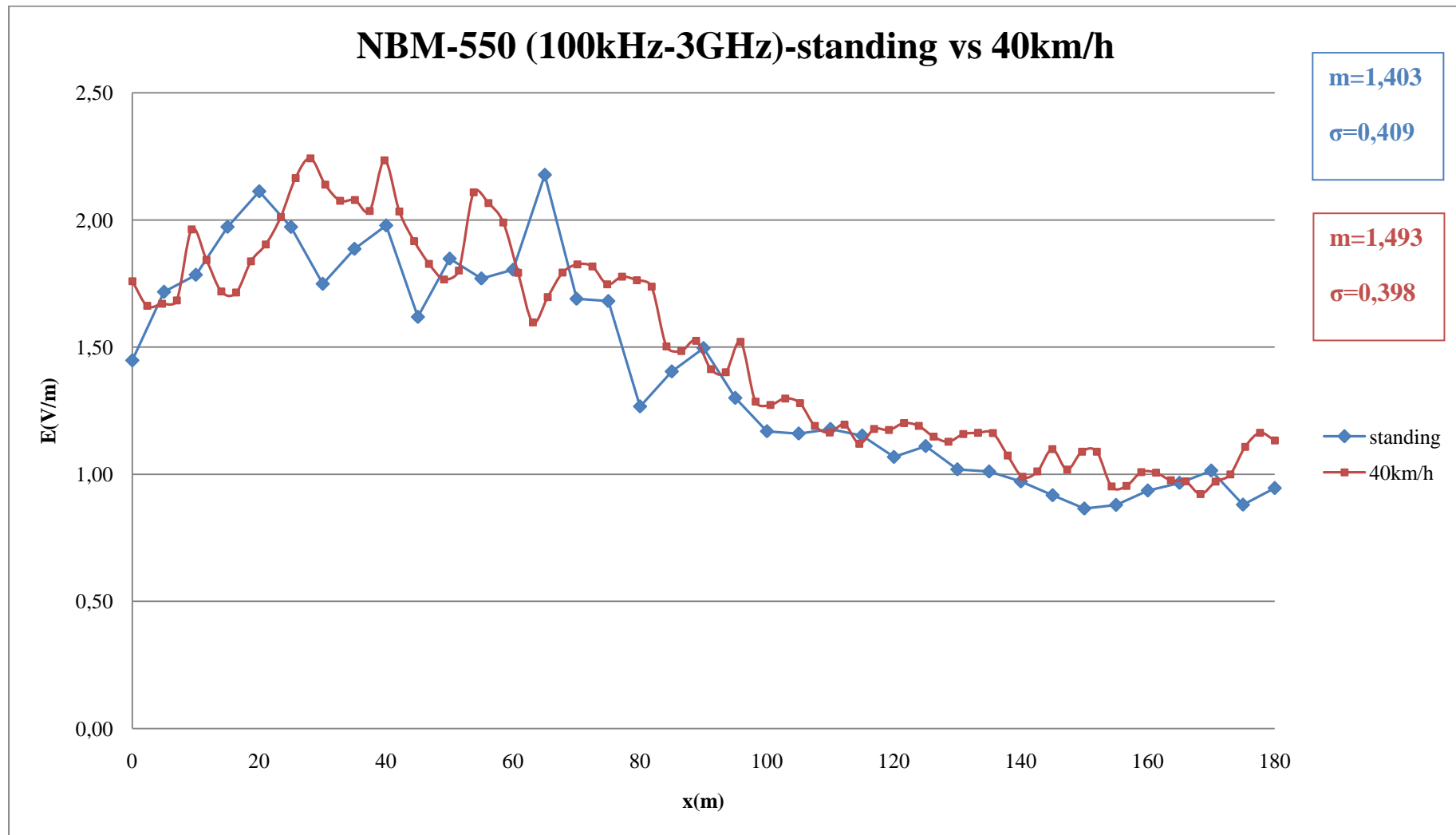
Διάγραμμα 8.4.4: Ανάλυση απόκλισης των αντίστοιχων τιμών για το διάγραμμα 8.4.3



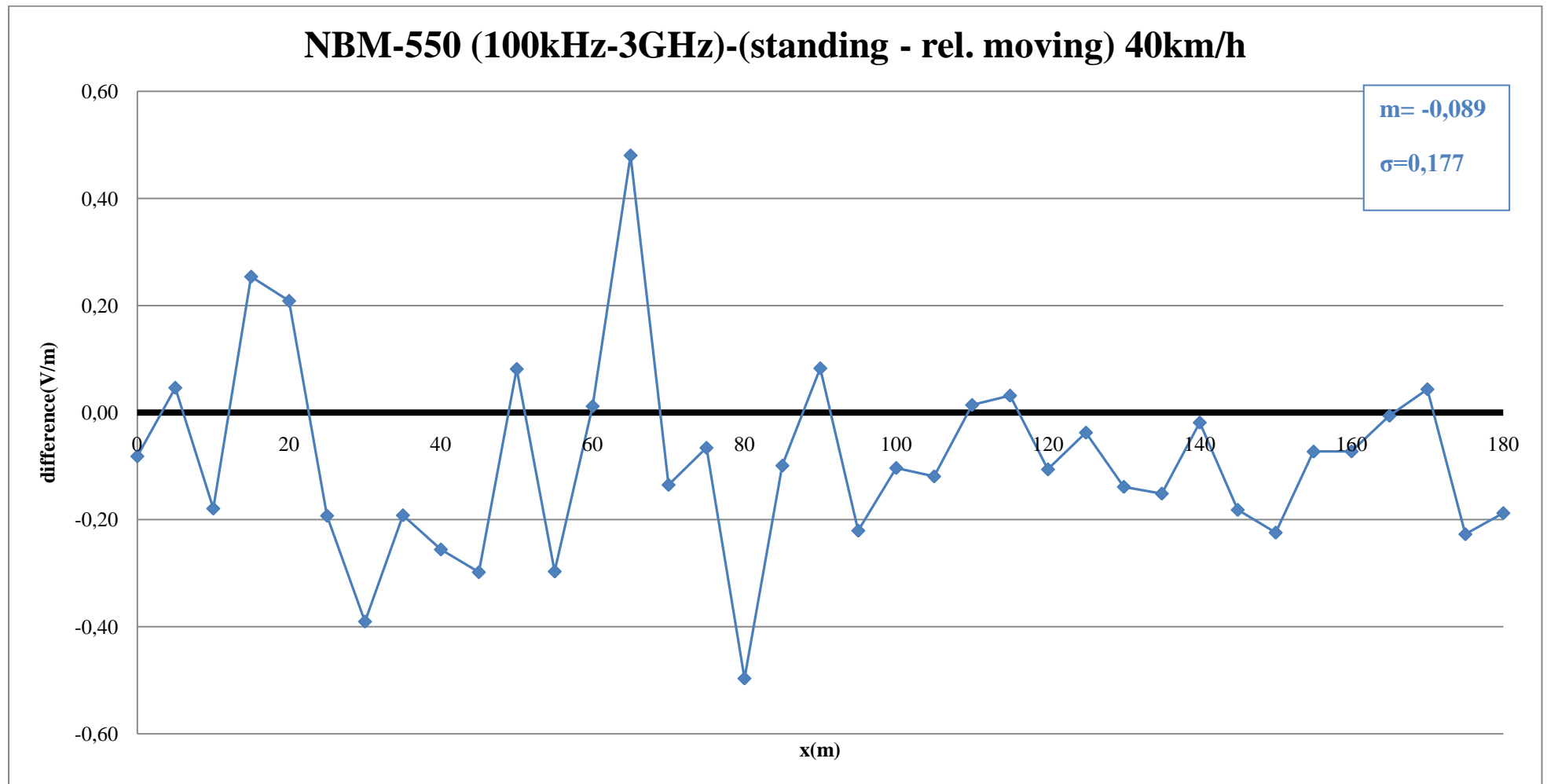
Διάγραμμα 8.5: NBM-550 σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 30km/h



Διάγραμμα 8.5.1: Ανάλυση απόκλισης των εν κινήσει μετρήσεων του διαγράμματος 8.5 που είναι πλησιέστερες χωρικά από τις αντίστοιχες εν στάσει



Διάγραμμα 8.6: NBM-550 σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 40km/h



Διάγραμμα 8.6.1: Ανάλυση απόκλισης των εν κινήσει μετρήσεων του διαγράμματος 8.6 που είναι πλησιέστερες χωρικά από τις αντίστοιχες εν στάσει

8.1.1 Παρατηρήσεις

- 1) Οι μετρήσεις της έντασης ηλεκτρικού πεδίου που πραγματοποιήθηκαν εν στάσει με το NBM 550 γενικά έχουν όμοια συμπεριφορά με αυτές που πραγματοποιήθηκαν εν κινήσει για όλες τις ταχύτητες κίνησης (4, 6, 10, 20, 30, 40km/h).
- 2) Παρατηρούμε ότι στο διάστημα 0m-90m (α' μισό της διαδρομής) το επίπεδο της λαμβανόμενης έντασης ηλεκτρικού πεδίου είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο επίπεδο για το διάστημα 90m-180m (β' μισό της διαδρομής) και ακόμα στο α' μισό οι διακυμάνσεις που εμφανίζονται είναι εμφανώς εντονότερες σε μικρή διανυόμενη απόσταση συγκριτικά με το β' μισό. Τα παραπάνω συμβαίνουν για όλες τις διαφορετικές ταχύτητες κίνησης. Είναι σαφές ότι από τα 90m και μετά μεσολαβούν εμπόδια μεταξύ του αισθητήρα του NBM 550 και ενός η περισσότερων πομπών που λειτουργούν σε συχνότητα μεταξύ 100KHz και 3GHz. Ελέγχοντας την παρακάτω εικόνα (8.1) της διαδρομής από 0m μέχρι 180m παρατηρούμε ότι από τη μέση περίπου της διαδρομής και μετά χάνουμε την απευθείας επαφή με την πιο κοντινή κεραία (κινητής τηλεφωνίας, GSM) εξαιτίας ενός φυσικού εμποδίου (δέντρο). Αυτό είναι ένας σημαντικός παράγοντας που θα μπορούσε να δικαιολογήσει την παραπάνω διαφορά έντασης ηλεκτρικού πεδίου για τα δύο μέρη του χώρου, δεδομένου ότι καμία στιγμή κατά μήκος της διαδρομής δεν χάσαμε την απευθείας επαφή με τις κεραίες του Υμηττού, εκτός από ένα διάστημα περίπου 30m στο τέλος (κοντά στο σημείο T), όπου και συναντάμε κτίσμα στα δεξιά μας (κινούμενοι προς το σημείο T). Δεν πρέπει, ακόμα, να αμελούμε τη σημαντική κλίση του εδάφους (η υψομετρική διαφορά μεταξύ των σημείων εκκίνησης και τερματισμού είναι περίπου 10 μέτρα), η οποία θα μπορούσε να συμβάλλει στη απώλεια μέρους της έντασης ηλεκτρικού πεδίου που ανιχνεύει το NBM 550 από τα 90m και μετά.

Μετρήσεις Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας από Κεραίες Κινητής Τηλεφωνίας



Εικόνα 8.1: Απώλεια οπτικής επαφής με την κοντινή κεραία κινητής τηλεφωνίας, καθώς κινούμαστε από το σημείο A στο σημείο T

- 3) Οι ακραίες τιμές (κυρίως τα μέγιστα, αλλά και τα ελάχιστα) της λαμβανόμενης έντασης ηλεκτρικού πεδίου καθώς κινούμαστε από 0m μέχρι 180m παρουσιάζουν μια απόκλιση όσο αυξάνεται η ταχύτητα του αυτοκινήτου. Πιο συγκεκριμένα, η απόκλιση αυτή παρατηρείται για ταχύτητες από 20km/h και άνω και φυσικά είναι εντονότερη για τα 30km/h και 40km/h. Στις παραπάνω ταχύτητες τα μέγιστα επίπεδα της έντασης ηλεκτρικού πεδίου καταγράφονται μεταξύ 2.3V/m και 2.4V/m, την ίδια στιγμή που για μικρότερες ταχύτητες (4km/h, 6km/h και 10km/h) εντοπίζονται περίπου στα 2.7V/m.
- 4) Σχετικά με τις δύο διαδικασίες ανάλυσης των διαγραμμάτων (πρώτον υπολογισμός μέσου όρου γύρω από μια εν κινήσει μέτρηση και σύγκρισή του με την εν στάσει και δεύτερον λήψη κατευθείαν της αντίστοιχης εν κινήσει μέτρησης και σύγκρισή της με την εν στάσει), παρατηρούμε ότι η πρώτη μέθοδος παρουσιάζει μικρότερη απόκλιση μεταξύ των συγκρινόμενων μεγεθών σχετικά με τη δεύτερη. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί, εφόσον ο υπολογισμός ενός μέσου όρου εξομαλύνει τις έντονες διακυμάνσεις του μετρούμενου μεγέθους, ειδικά εκεί που αυτές είναι εντονότερες, όπως στα πρώτα 90m των μετρήσεων. Έτσι, είναι λογικό αυτή η μέση τιμή να προσεγγίζει τις αντίστοιχες σταθερές μετρήσεις, εφόσον και αυτές έχουν εξαχθεί με τον υπολογισμό ενός μέσου όρου (averaging) από το NBM-550. Από την άλλη, δεν μπορούμε να ισχυριστούμε πως η ταύτιση μιας κινούμενης μέτρησης με την αντίστοιχη σταθερή είναι απόλυτα ακριβής, εξαιτίας του σφάλματος που ήδη έχουμε αναφέρει ότι υπεισέρχεται πρώτον στην ταχύτητα του οχήματος, δεύτερον στη θέση που βρισκόταν ο αισθητήρας του NBM-550 όταν λαμβάνονταν τα σει μετρήσεων (εν στάσει και εν κινήσει) και τρίτον εξαιτίας της διαφοράς ώρας κατά την οποία ελήφθησαν τα εξεταζόμενα δείγματα.

8.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων των μετρήσεων με το SRM-3000

Οι επόμενοι πίνακες παρουσιάζουν συνοπτικά τα στοιχεία των σει μετρήσεων που ελήφθησαν στις 17-2-2010 με το SRM-3000 με τη διαδικασία που περιγράφουμε στις παραγράφους 7.3.1 και 7.3.2.

SRM-3000					
Ζώνη συχνότητας	850-1000MHz				
Ταχύτητα	Ωρα	Αριθμός δειγμάτων	Περίοδος δειγματοληψίας	Φόρα κίνησης (Εικόνα 7.1)	Απόσταση
Εν στάσει κάθε 5m	17:20:07-18:10:50	37	-	A προς T	180m
4km/h	13:13:48-13:15:51	399	300-350msec	T προς A	180m
6km/h	13:08:57-13:10:32	310	300-350msec	A προς T	180m
10km/h	13:20:01-13:21:00	191	300-350msec	A προς T	180m
20km/h	13:30:48-13:31:19	101	300-350msec	A προς T	180m
30km/h	13:24:18-13:24:39	70	300-350msec	T προς A	180m
40km/h	13:34:02-13:34:19	52	300-350msec	T προς A	180m

Πίνακας 8.2: Οι μετρήσεις με το SRM-3000 για το εύρος συχνοτήτων από 850MHz έως 1000MHz

Μετρήσεις Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας από Κεραίες Κινητής Τηλεφωνίας

SRM-3000					
Ζώνη συχνοτήτων	1700-2000MHz				
Ταχύτητα	Ωρα	Αριθμός δειγμάτων	Περίοδος δειγματοληψίας	Φόρα κίνησης (Εικόνα 7.1)	Απόσταση
Εν στάσει κάθε 5m	17:20:07-18:10:50	37	-	Α προς Τ	180m
4km/h	13:49:45-13:51:50	248	450-500msec	Τ προς Α	180m
6km/h	13:43:55-13:45:31	189	450-500msec	Α προς Τ	180m
10km/h	13:55:41-13:56:39	115	450-500msec	Α προς Τ	180m
20km/h	14:10:27-14:10:58	62	450-500msec	Α προς Τ	180m
30km/h	14:00:20-14:00:40	41	450-500msec	Τ προς Α	180m
40km/h	14:16:41-14:16:56	31	450-500msec	Τ προς Α	180m

Πίνακας 8.3: Οι μετρήσεις με το SRM-3000 για το εύρος συχνοτήτων από 1700MHz έως 2000MHz

SRM-3000					
Ζώνη συχνοτήτων	2000-2200MHz				
Ταχύτητα	Ωρα	Αριθμός δειγμάτων	Περίοδος δειγματοληψίας	Φόρα κίνησης (Εικόνα 7.1)	Απόσταση
Εν στάσει κάθε 5m	17:20:07-18:10:50	37	-	Α προς Τ	180m
4km/h	13:49:45-13:51:50	248	450-500msec	Τ προς Α	180m
6km/h	13:43:55-13:45:31	189	450-500msec	Α προς Τ	180m
10km/h	13:55:41-13:56:39	115	450-500msec	Α προς Τ	180m
20km/h	14:10:27-14:10:58	62	450-500msec	Α προς Τ	180m
30km/h	14:00:20-14:00:40	41	450-500msec	Τ προς Α	180m
40km/h	14:16:41-14:16:56	31	450-500msec	Τ προς Α	180m

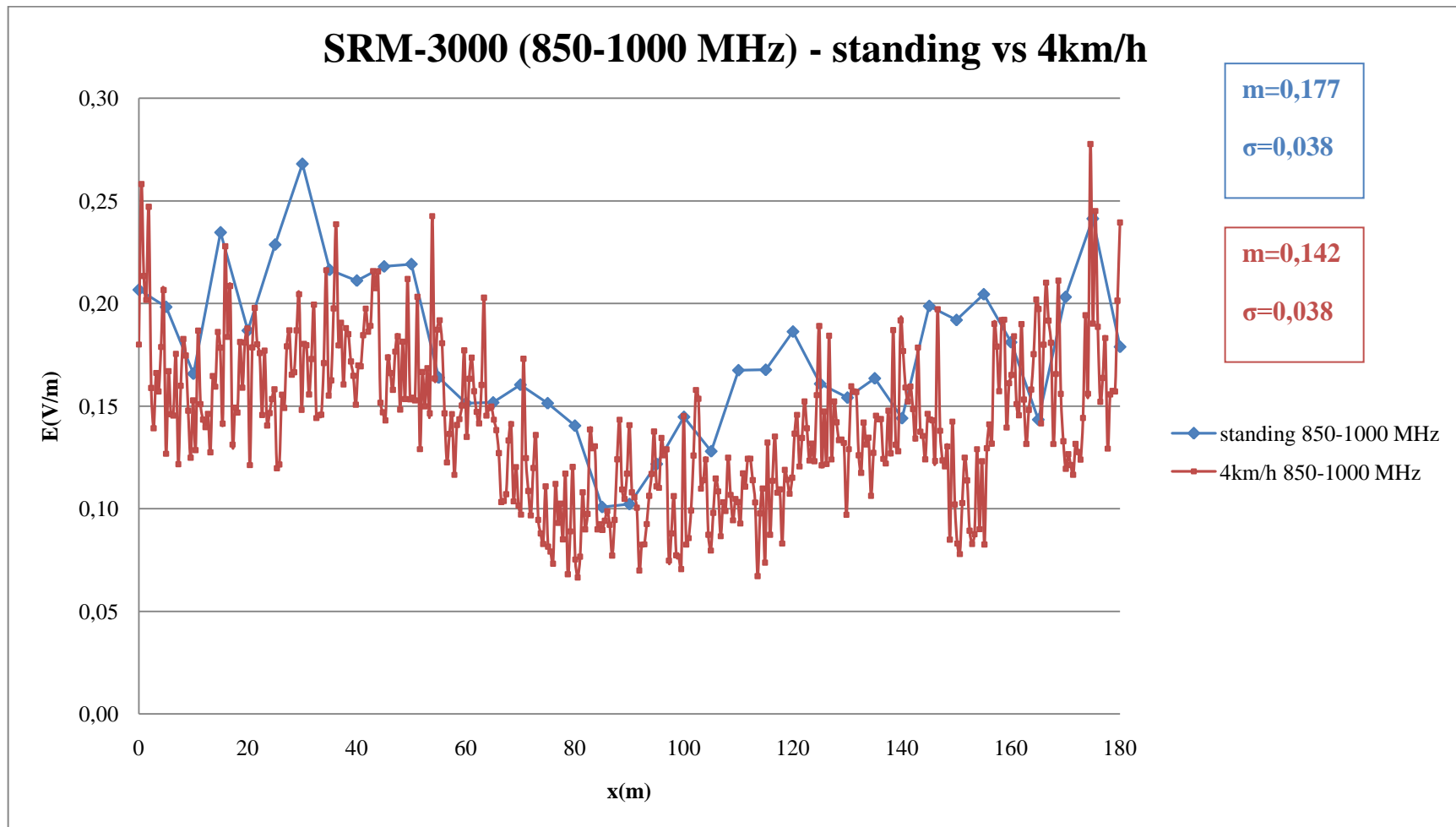
Πίνακας 8.4: Οι μετρήσεις με το SRM-3000 για το εύρος συχνοτήτων από 2000MHz έως 2200 MHz

Όλες οι μετρήσεις αναφέρονται στην απόσταση των 180m. Η ώρα για τις εν στάσει μετρήσεις αφορά το διάστημα από την αποθήκευση της πρώτης μέτρησης μέχρι την αποθήκευση της τελευταίας (37^{ης}) με αναμονή σε κάθε ένα από τα 37 σημεία για χρόνο ίσο με 1min. Κατά το διάστημα αυτό, το όργανο υπολόγιζε την μέση τιμή της έντασης E(V/m) για τη θέση αυτή. Η ώρα για τις εν κινήσει μετρήσεις αφορά το χρονικό διάστημα εντός του οποίου το SRM-3000 κατέγραφε δείγματα ενώ το όχημα ήταν σε κίνηση. Η περίοδος δειγματοληψίας του SRM-3000 δεν είναι

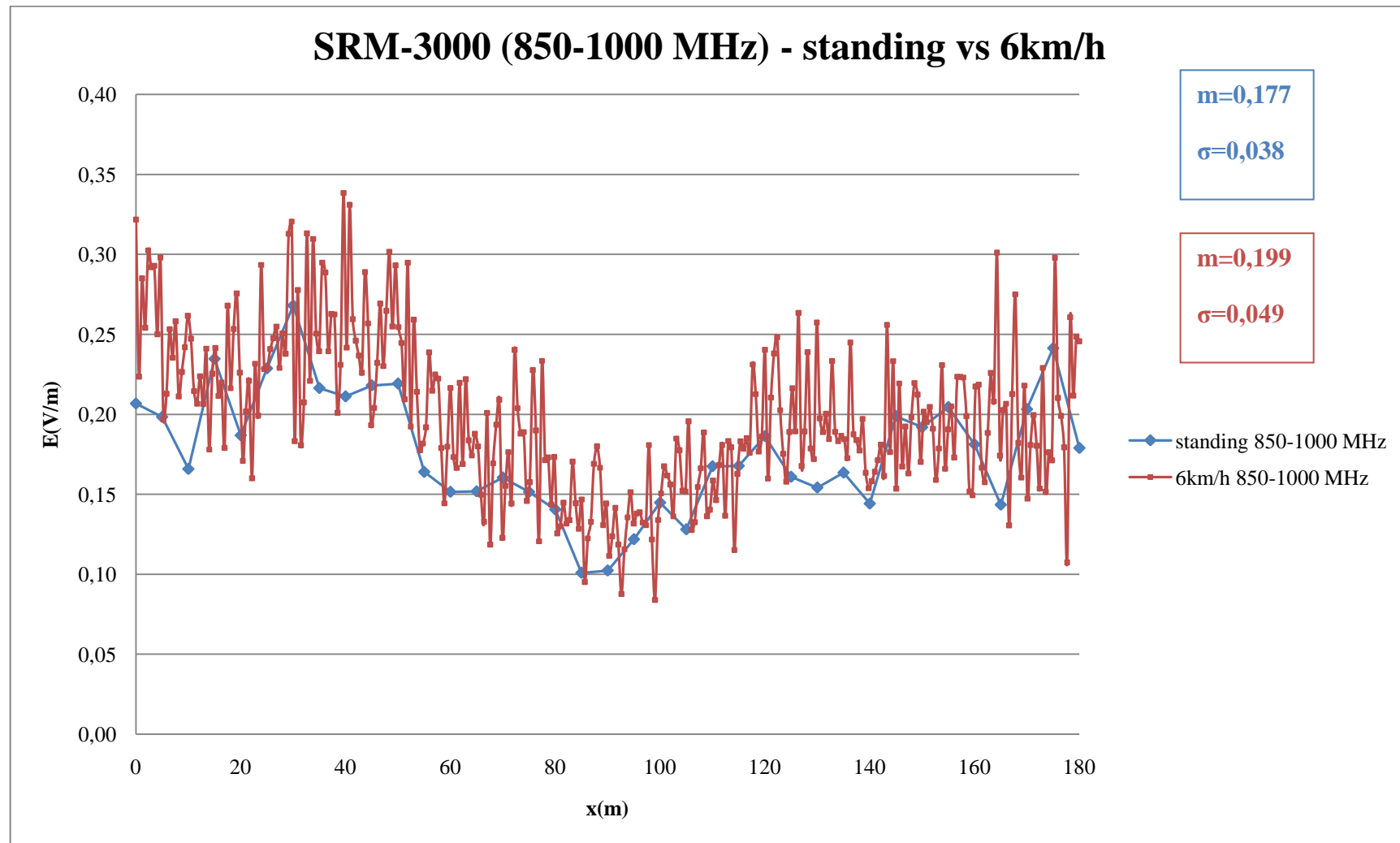
δυνατό να ρυθμιστεί από το χρήστη (το όργανο δεν παρέχει τέτοια επιλογή), ούτε διατηρούνταν σταθερή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Αντιθέτως, παρατηρήθηκε εξάρτηση της δειγματοληψίας από το κάθε φορά εξεταζόμενο εύρος ζώνης συχνοτήτων. Στους πίνακες 8.2, 8.3 η αναγραφόμενη τιμή για την περίοδο δειγματοληψίας προέκυψε πειραματικά από την επεξεργασία και διαδικασία των μετρήσεων.

Στην συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα των εν κινήσει μετρήσεων του SRM-3000 σε σύγκριση με τις εν στάσει του ίδιου οργάνου. Η απόσταση x (m) στον οριζόντιο άξονα των διαγραμμάτων εισήχθη ακριβώς με την διαδικασία που περιγράφηκε στην παράγραφο 8.1 του παρόντος κεφαλαίου. Πρώτα παρουσιάζονται τα διαγράμματα που αφορούν το εύρος ζώνης 850MHz-1000MHz για τις ταχύτητες 4, 6, 10, 20, 30 και 40 km/h (Διαγράμματα 8.7 έως 8.12), έπειτα τα διαγράμματα που αφορούν το εύρος ζώνης 1700MHz-2000MHz (Διαγράμματα 8.13 έως 8.18) για τις ίδιες ταχύτητες και τέλος τα διαγράμματα που αφορούν το εύρος ζώνης 2000MHz-2200MHz (Διαγράμματα 8.19 έως 8.24) επίσης για τις ίδιες ταχύτητες. Η εξαγωγή όλων των δεδομένων των μετρήσεων έγινε με την βοήθεια του λογισμικού “SRM-Tools”.

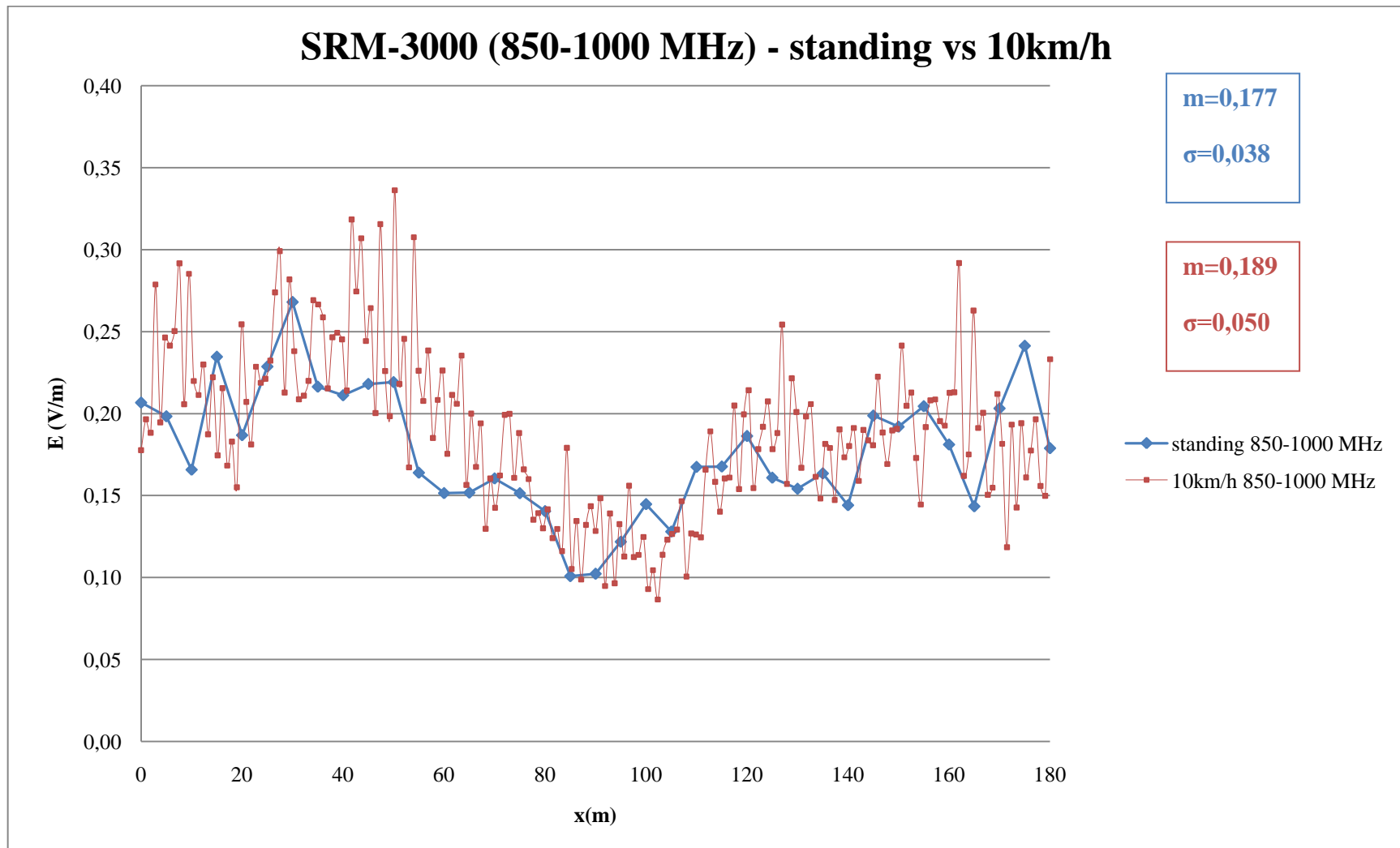
Τέλος, περιλαμβάνονται τα θεωρητικά διαγράμματα που μας δείχνουν την απόκλιση (σε dB) της εκτιμώμενης μέσης τιμής από την πραγματική σε συνάρτηση με την ταχύτητα του οχήματος στο οποίο βρίσκεται προσαρμοσμένος ο δέκτης καταγραφής. Έχουν υπολογιστεί για διάστημα 40λ, περιόδους δειγματοληψίας 200msec, 350msec και 500msec και διαστήματα εμπιστοσύνης 90% και 99% όπως υπαγορεύει η θεωρητική ανάλυση του κεφαλαίου 3.



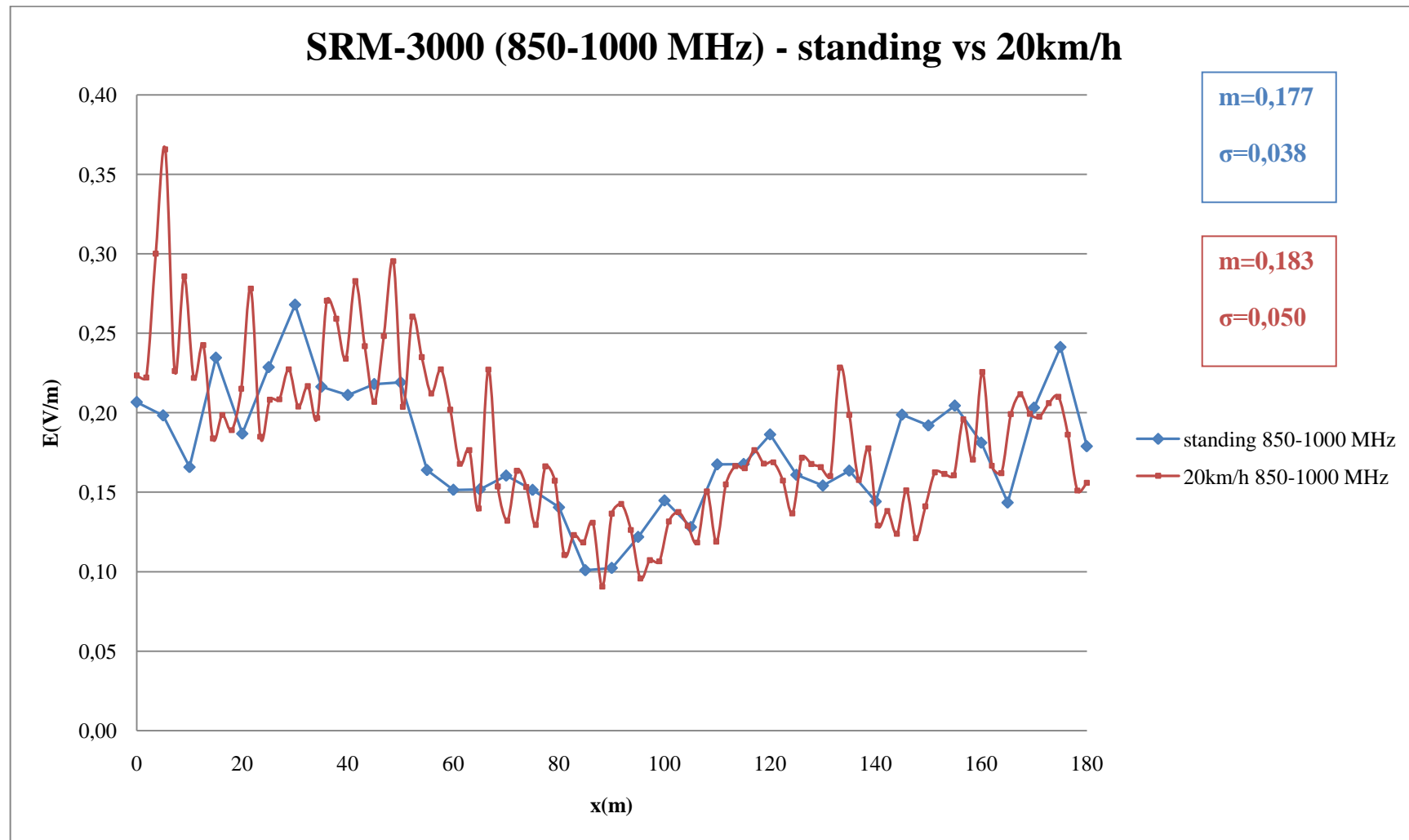
Διάγραμμα 8.7: SRM-3000 στο εύρος ζώνης 850MHz-1000MHz σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 4km/h



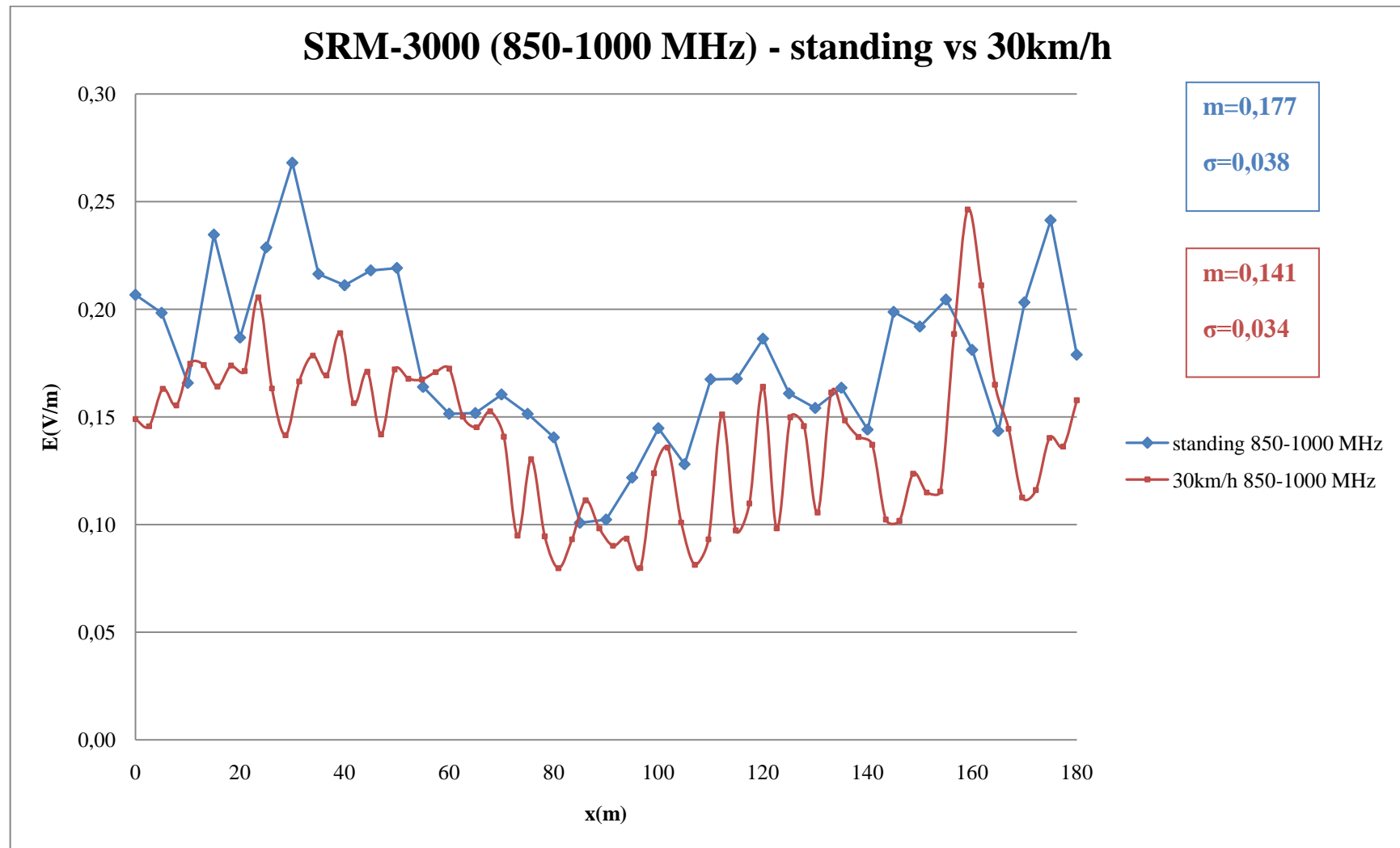
Διάγραμμα 8.8: SRM-3000 στο εύρος ζώνης 850MHz-1000MHz σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 6km/h



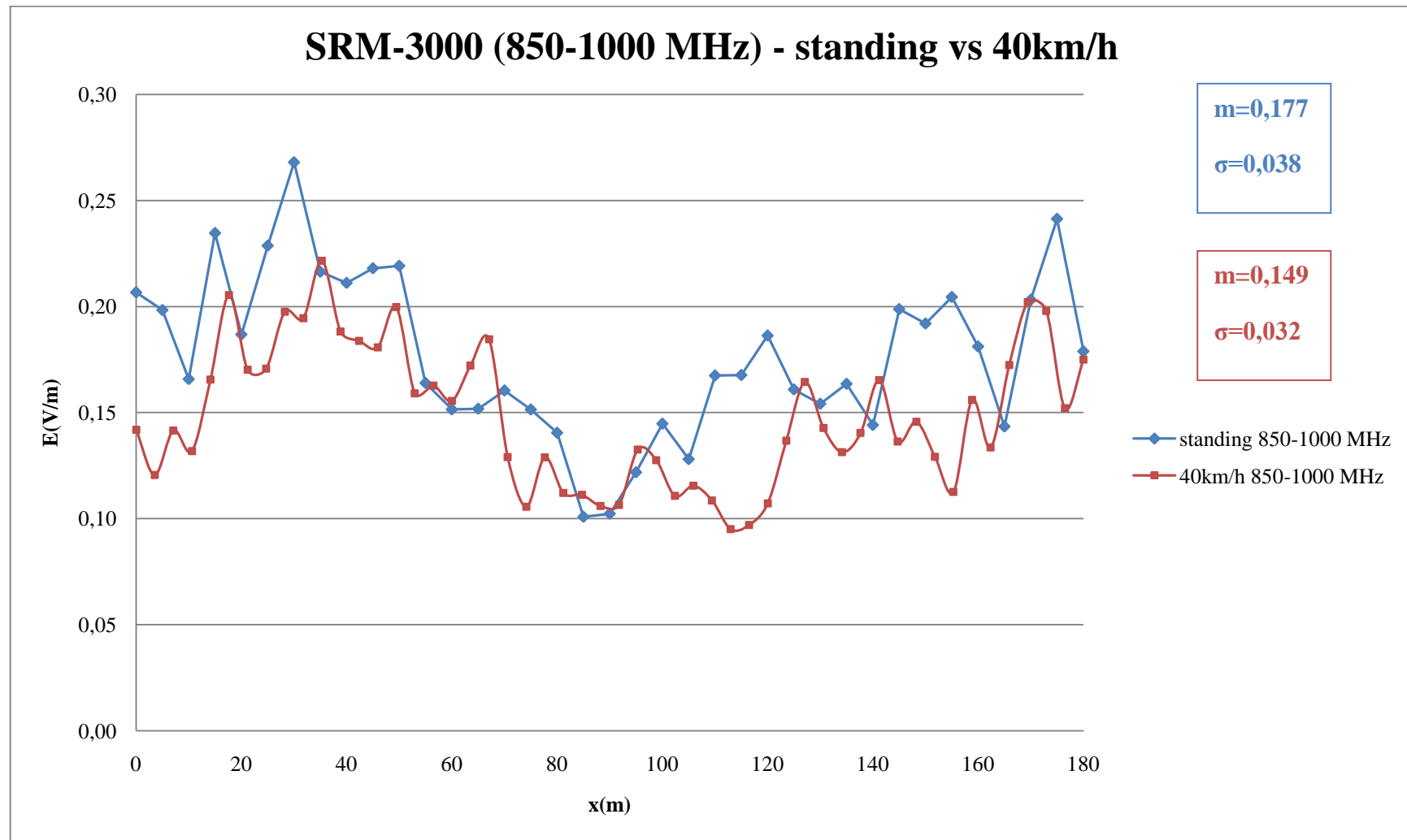
Διάγραμμα 8.9: SRM-3000 στο εύρος ζώνης 850MHz-1000MHz σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 10km/h



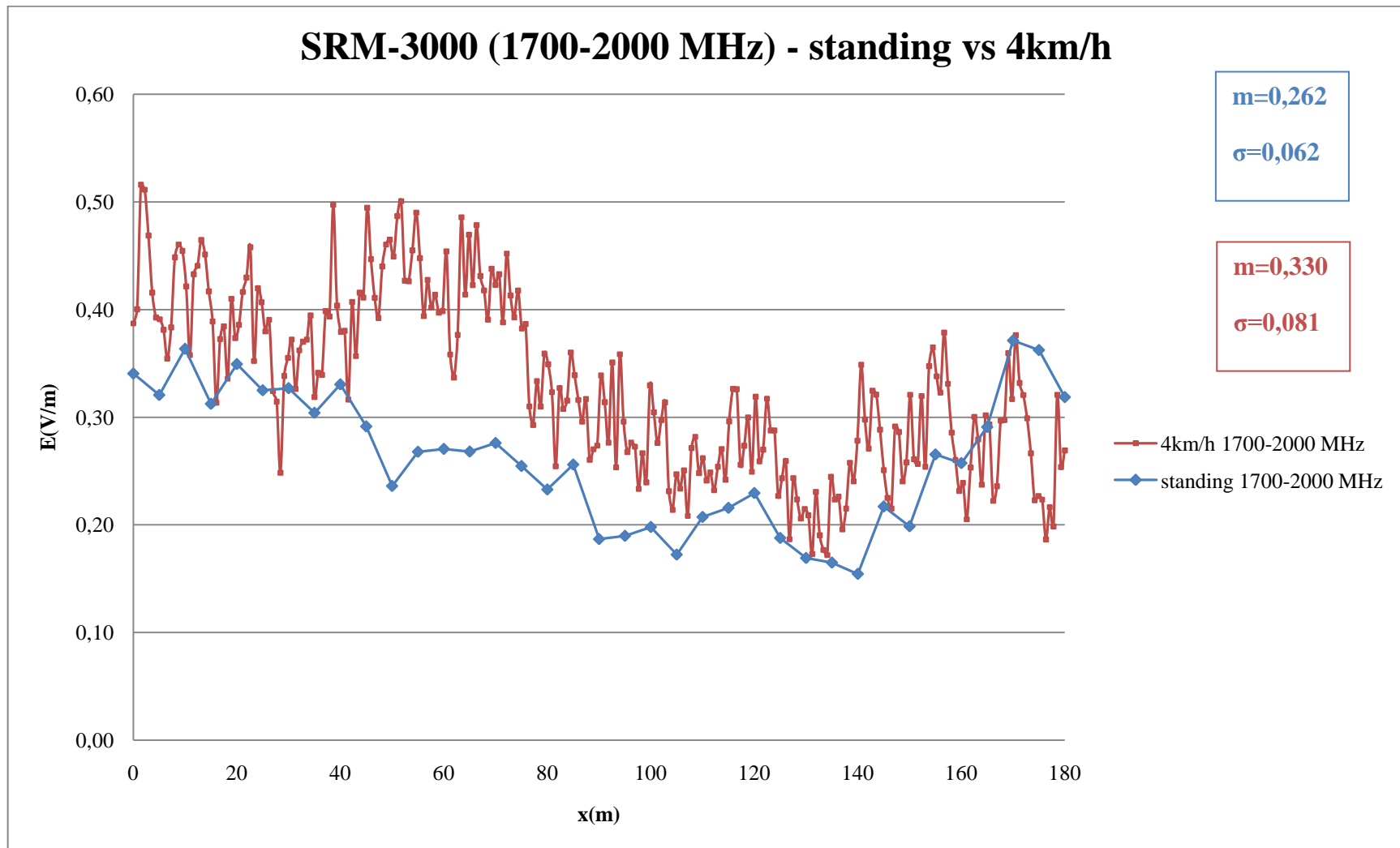
Διάγραμμα 8.10: SRM-3000 στο εύρος ζώνης 850MHz-1000MHz σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 20km/h



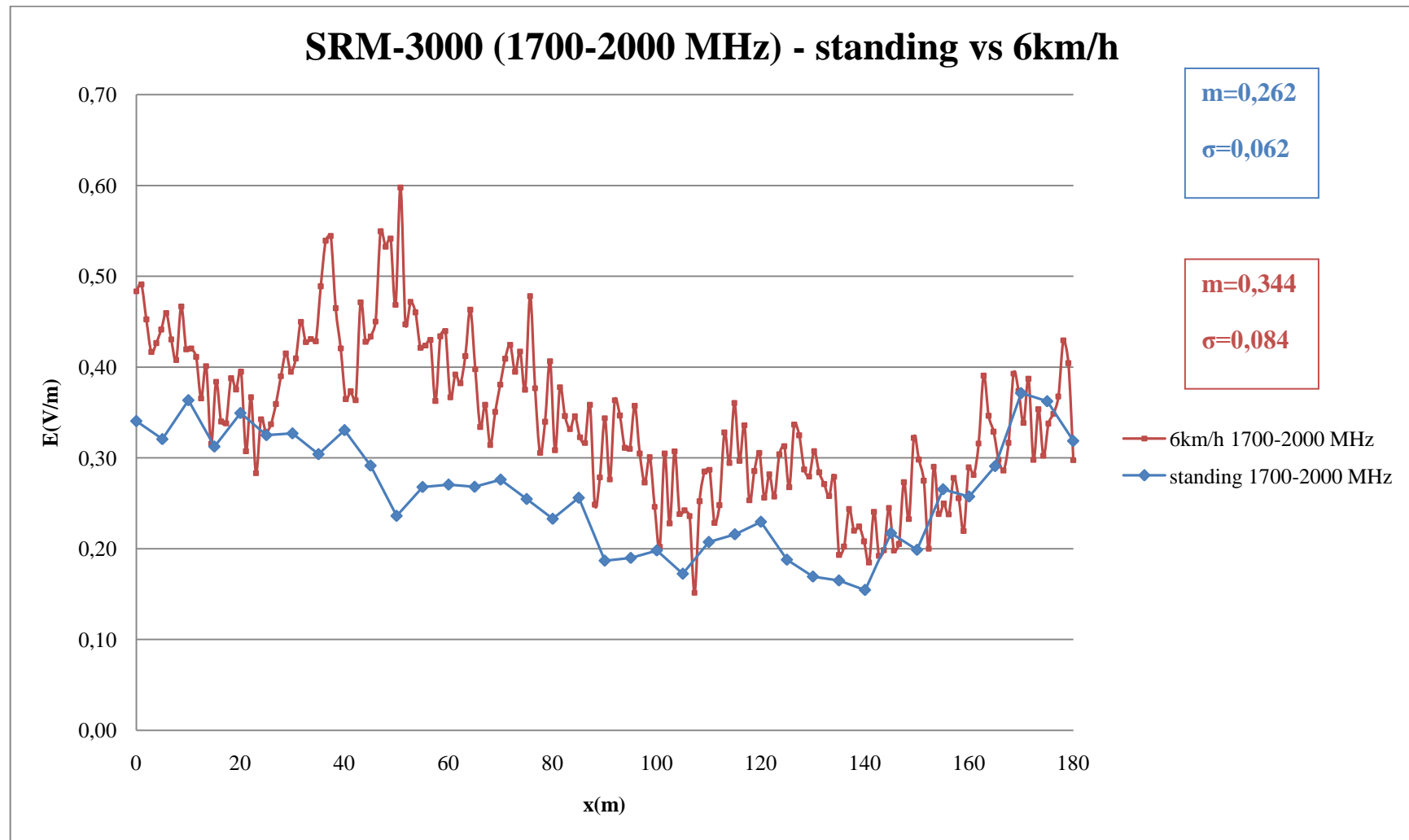
Διάγραμμα 8.11: SRM-3000 στο εύρος ζώνης 850MHz-1000MHz σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 30km/h



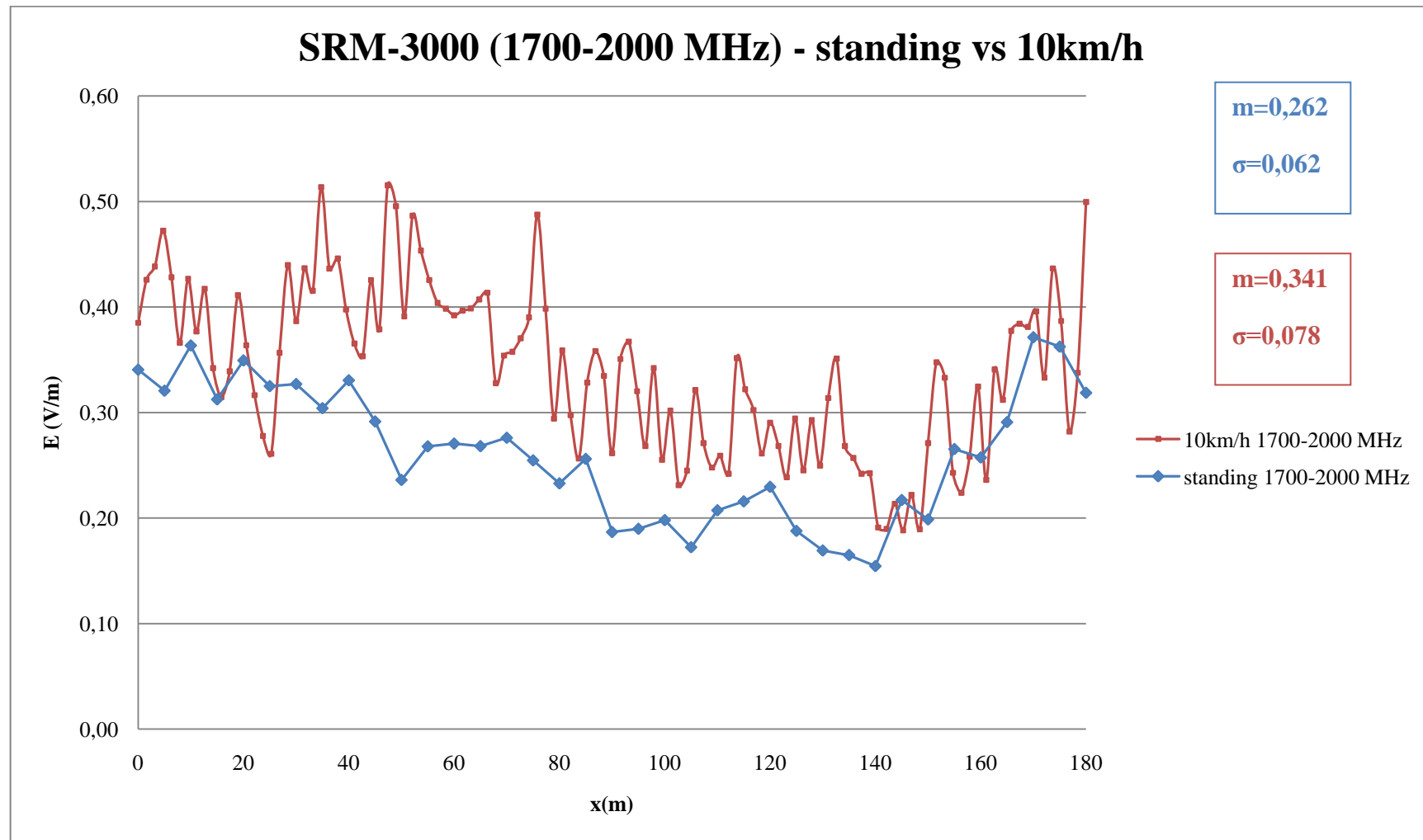
Διάγραμμα 8.12: SRM-3000 στο εύρος ζώνης 850MHz-1000MHz σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 40km/h



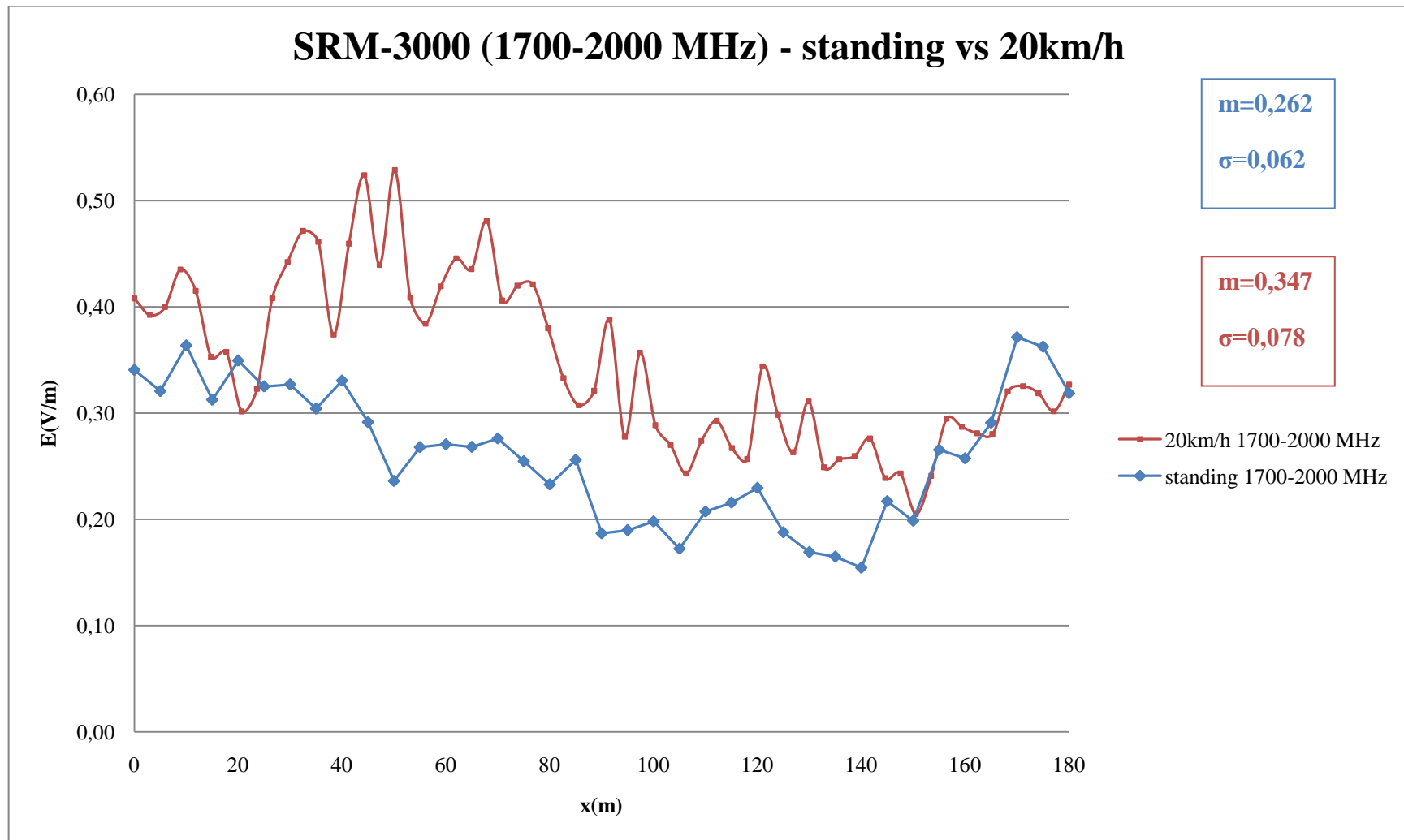
Διάγραμμα 8.13: SRM-3000 στο εύρος ζώνης 1700MHz-2000MHz σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 4km/h



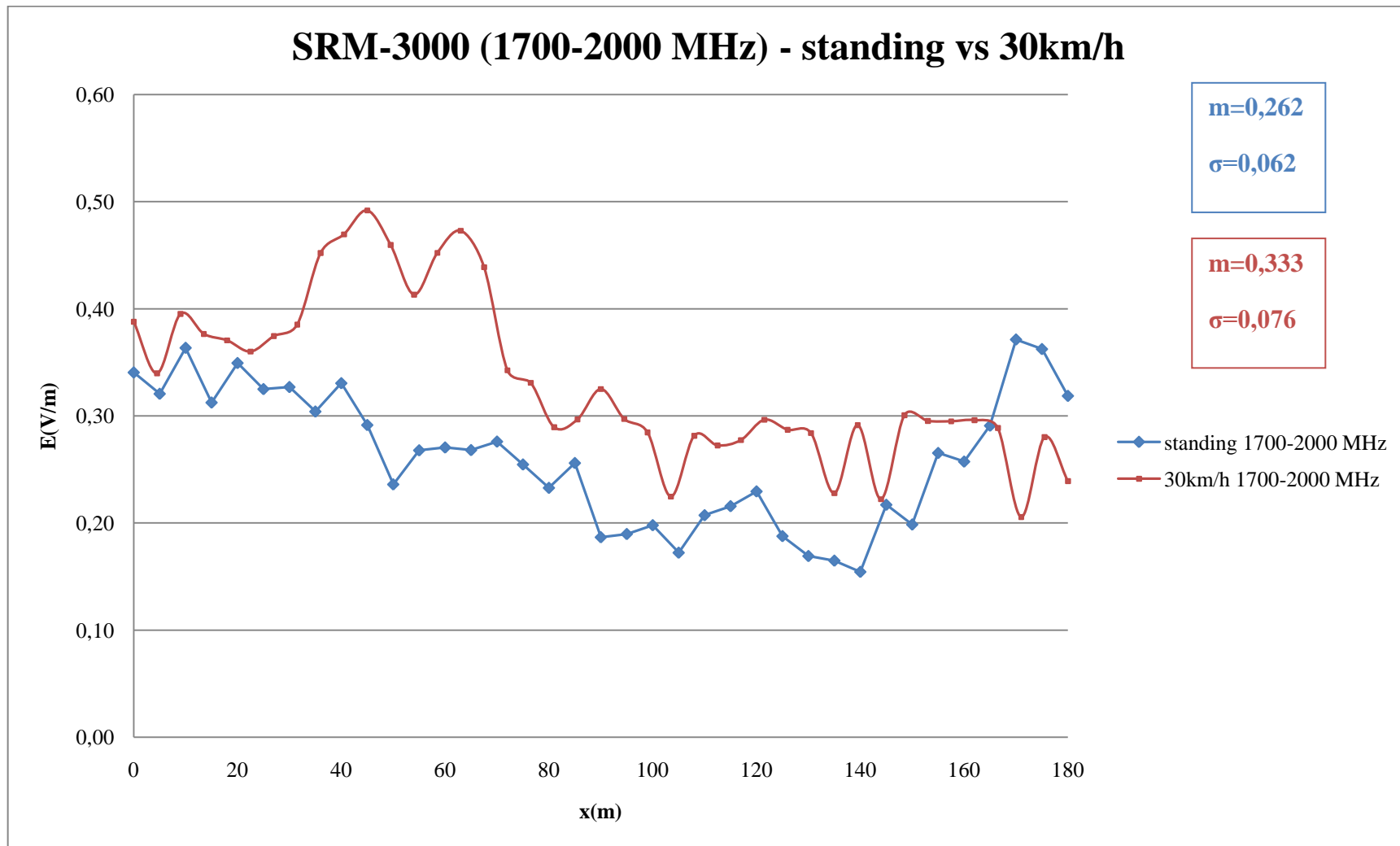
Διάγραμμα 8.14: SRM-3000 στο εύρος ζώνης 1700MHz-2000MHz σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 6km/h



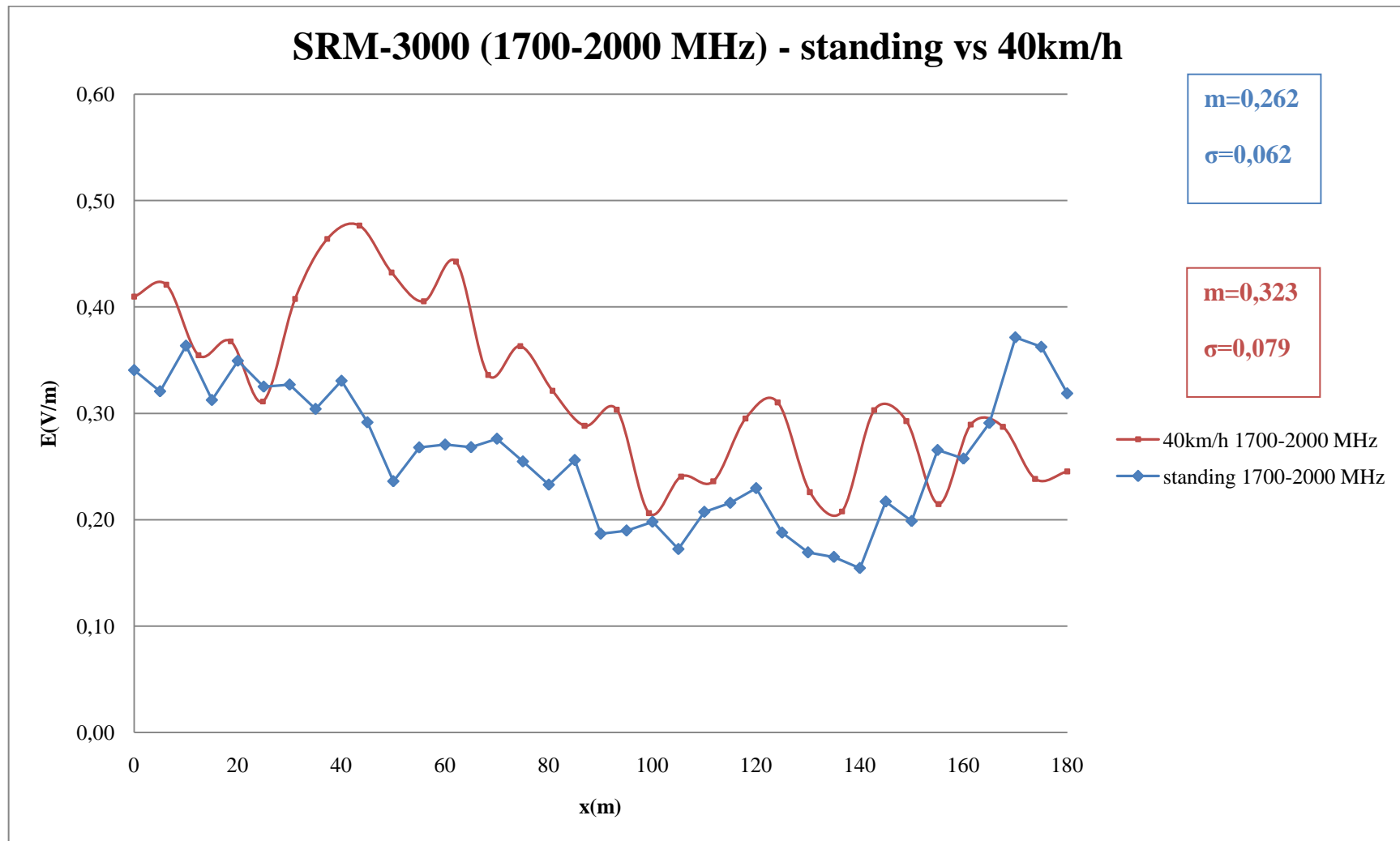
Διάγραμμα 8.15: SRM-3000 στο εύρος ζώνης 1700MHz-2000MHz σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 10km/h



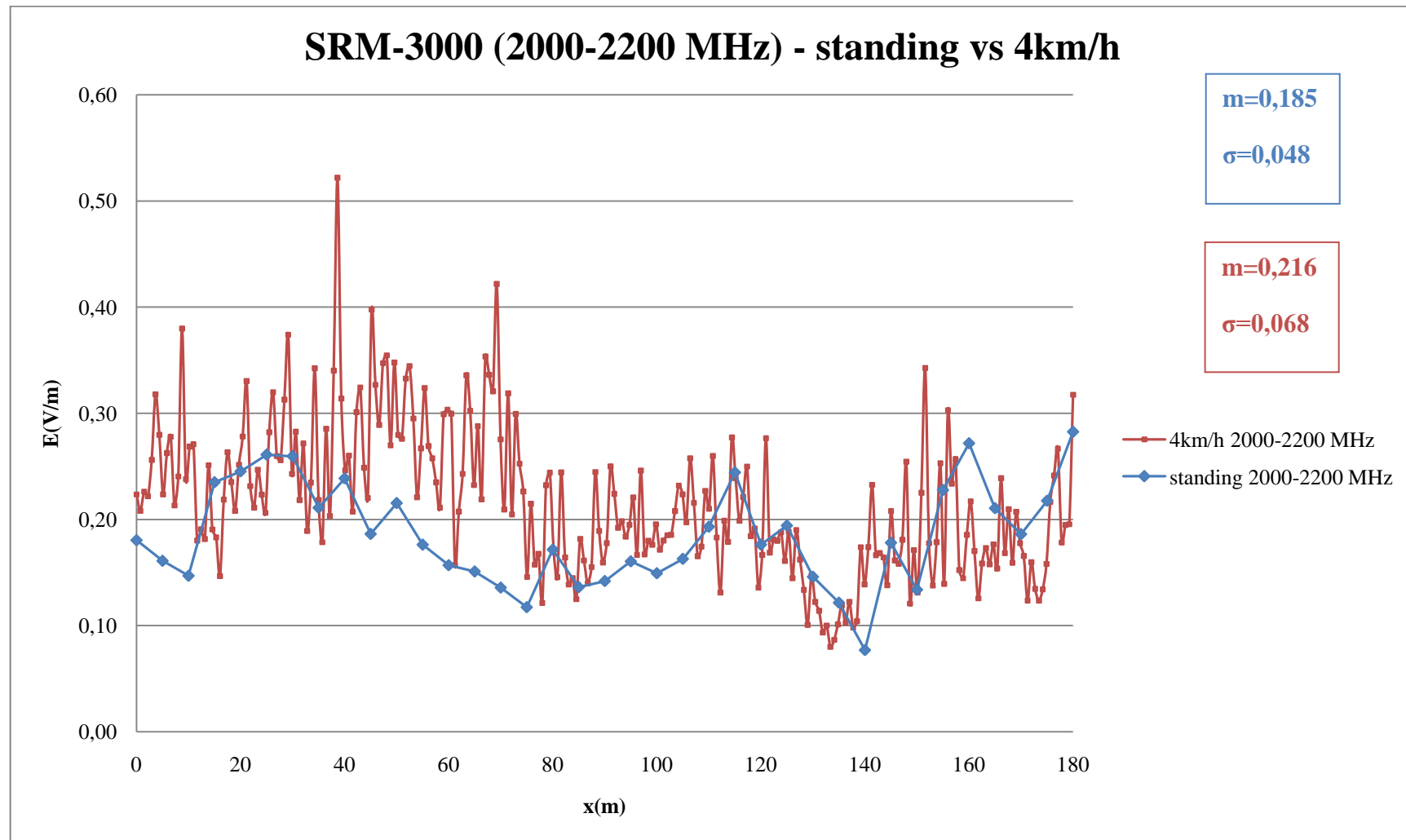
Διάγραμμα 8.16: SRM-3000 στο εύρος ζώνης 1700MHz 2000MHz-σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 20km/h



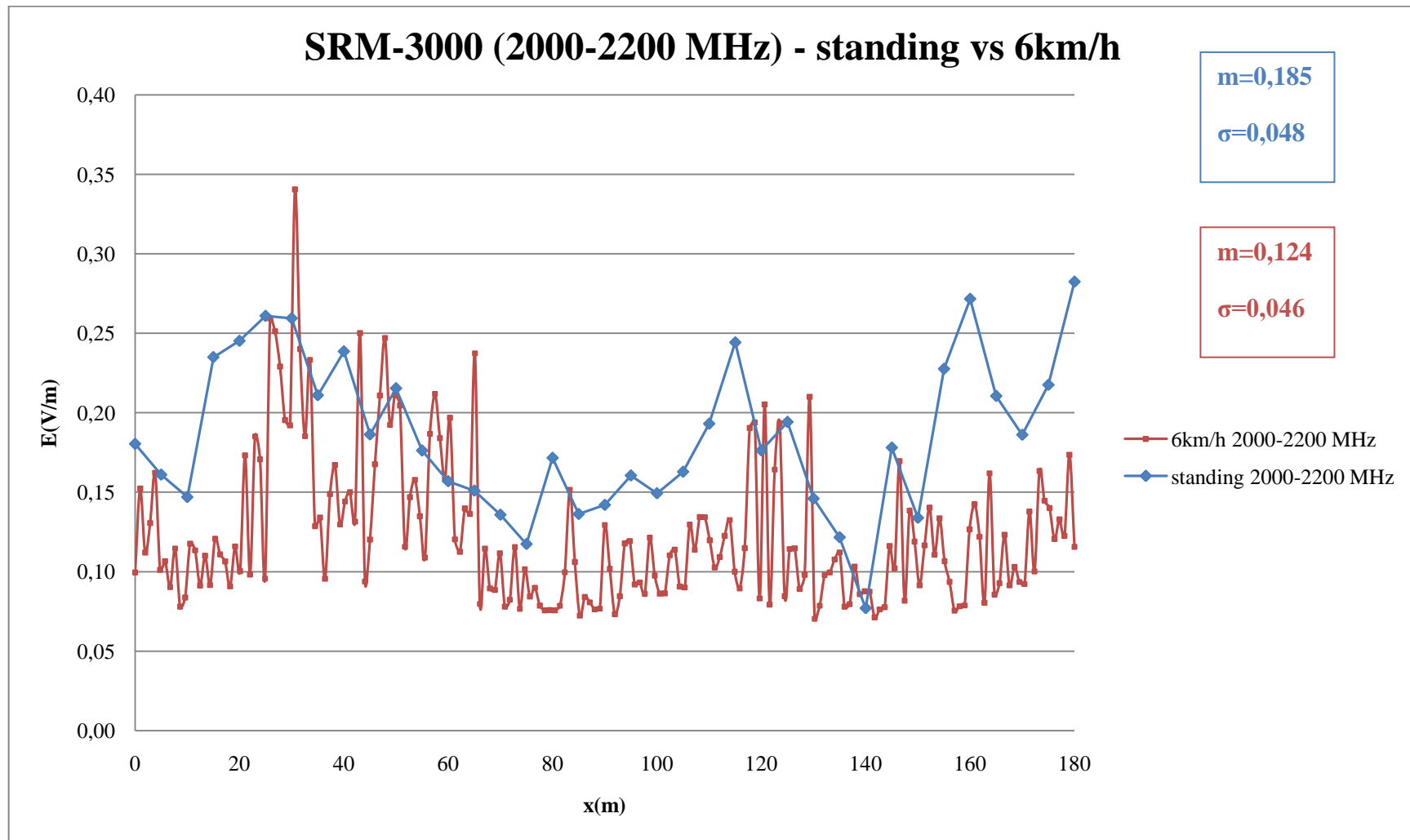
Διάγραμμα 8.17: SRM-3000 στο εύρος ζώνης 1700MHz-2000MHz σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 30km/h



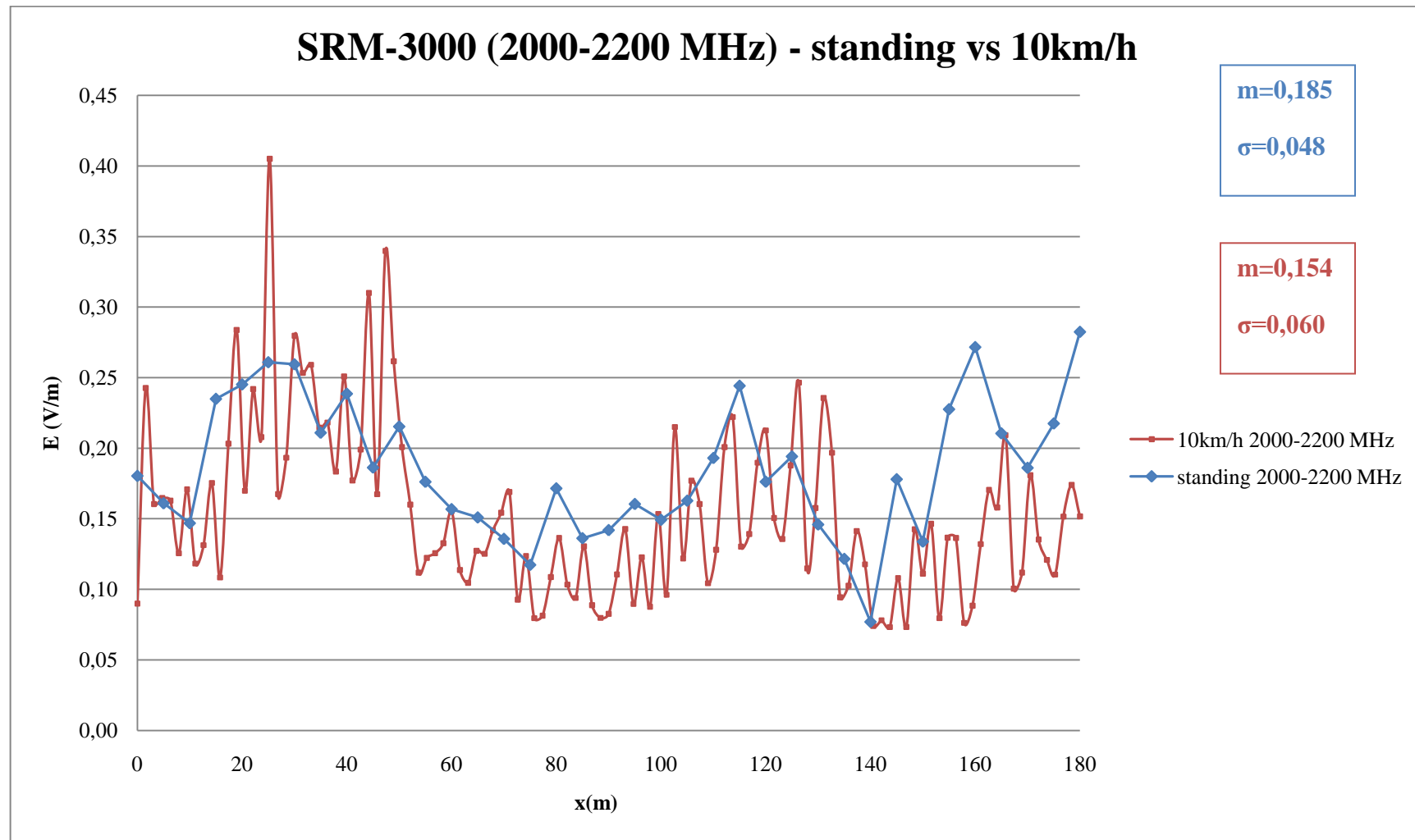
Διάγραμμα 8.18: SRM-3000 στο εύρος ζώνης 1700MHz-2000MHz σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 40km/h



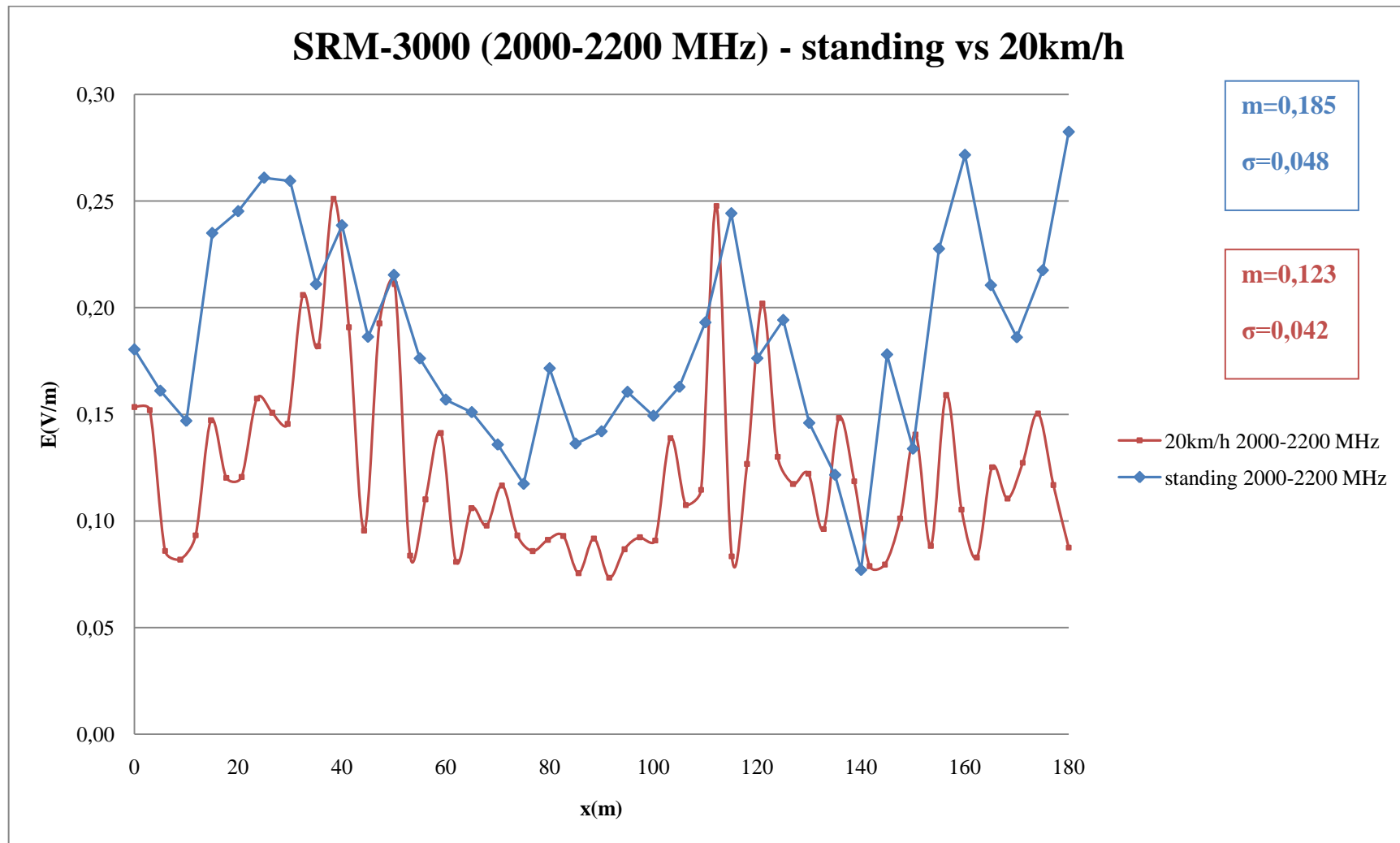
Διάγραμμα 8.19: SRM-3000 στο εύρος ζώνης 2000MHz-2200MHz σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 4km/h



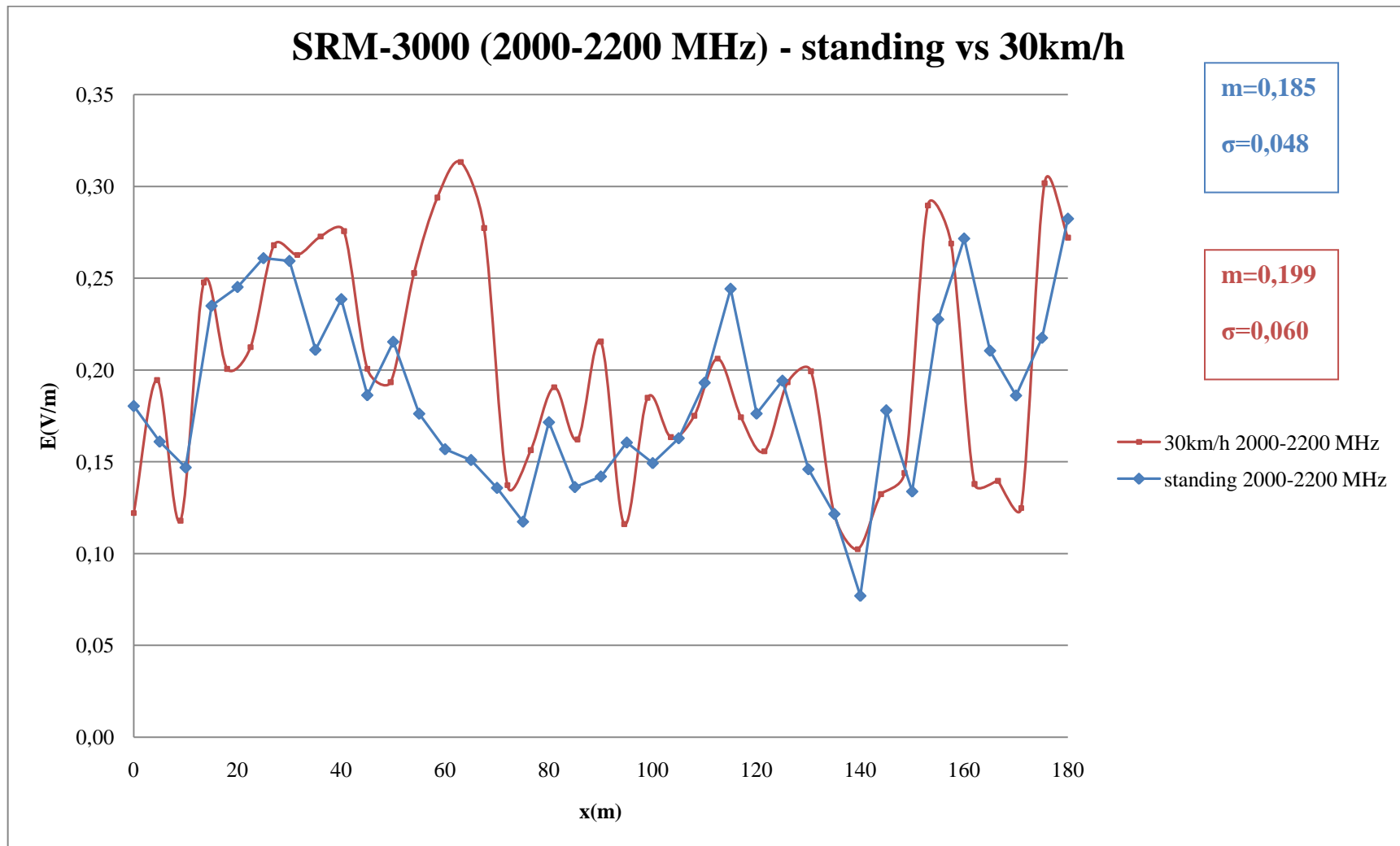
Διάγραμμα 8.20: SRM-3000 στο εύρος ζώνης 2000MHz-2200MHz σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 6km/h



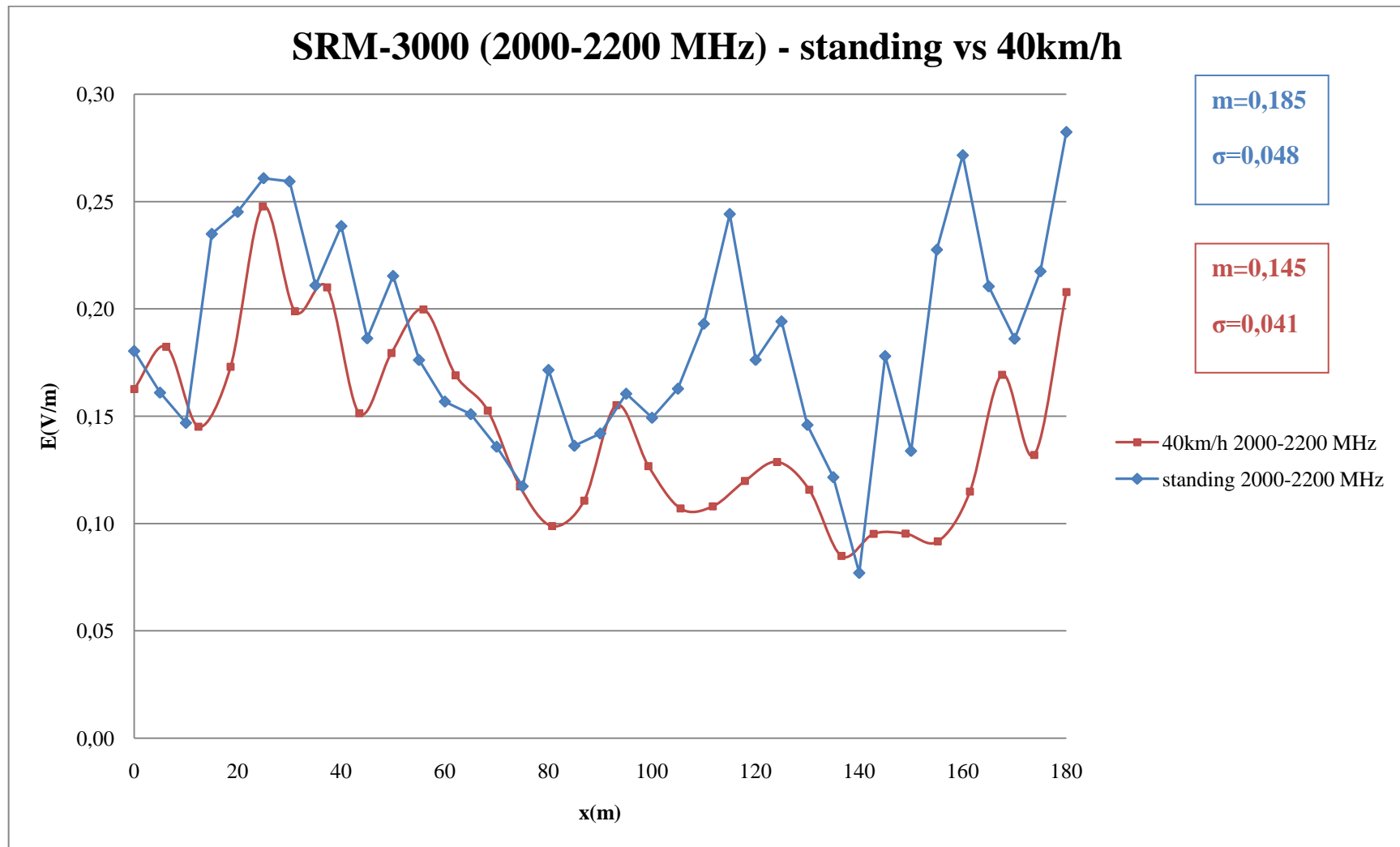
Διάγραμμα 8.21: SRM-3000 στο εύρος ζώνης 2000MHz-2200MHz σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 10km/h



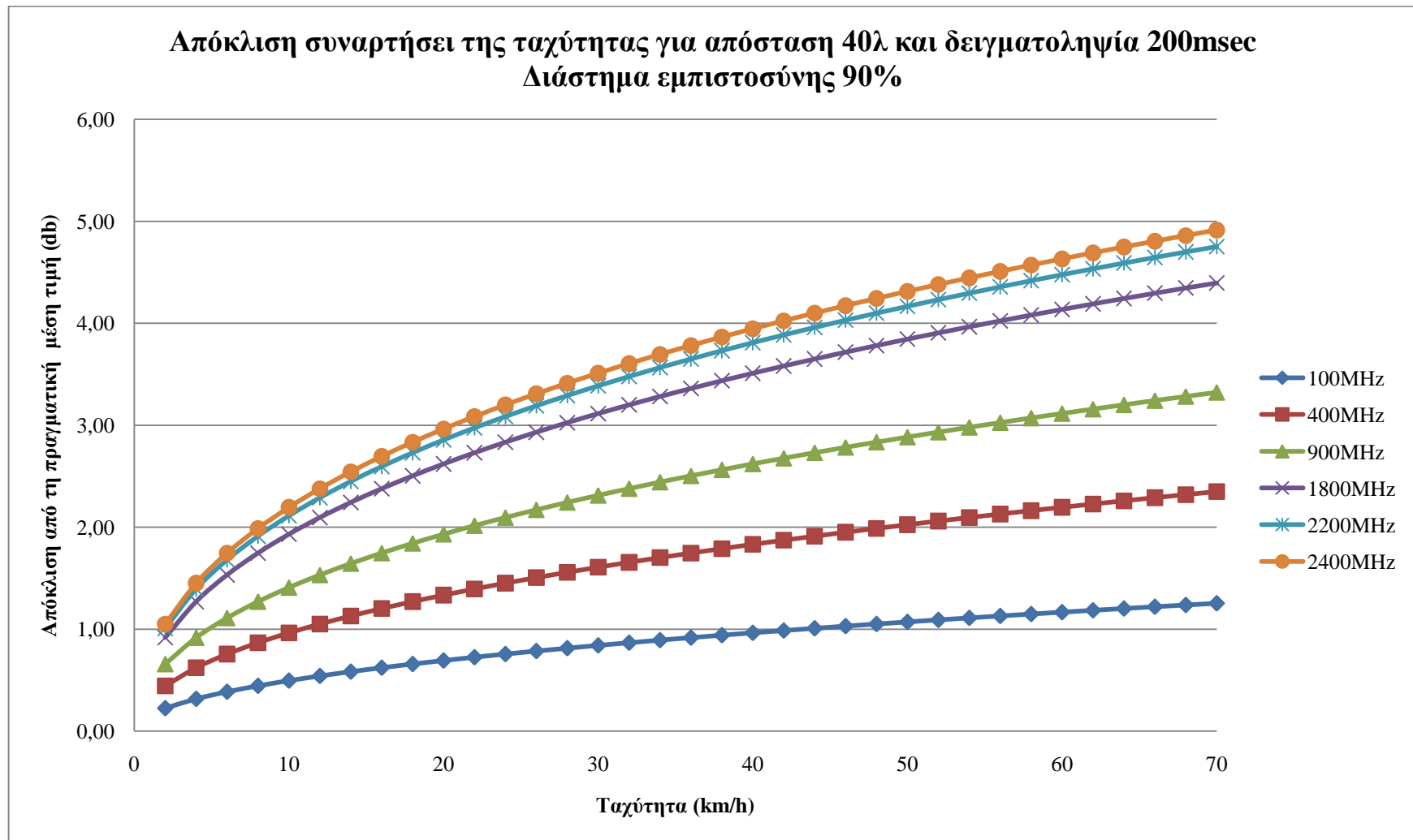
Διάγραμμα 8.22: SRM-3000 στο εύρος ζώνης 2000MHz-2200MHz σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 20km/h



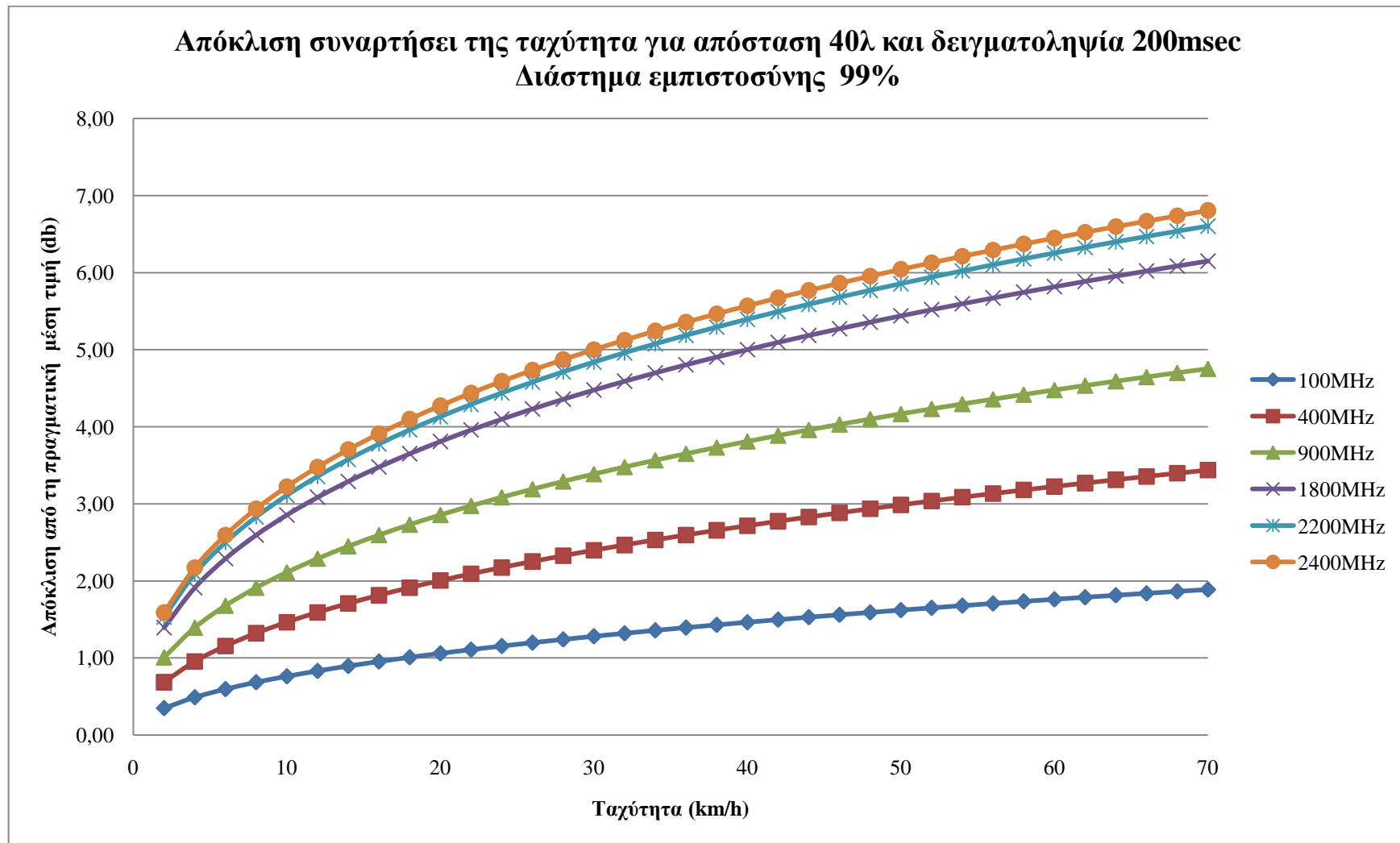
Διάγραμμα 8.23: SRM-3000 στο εύρος ζώνης 2000MHz-2200MHz σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 30km/h



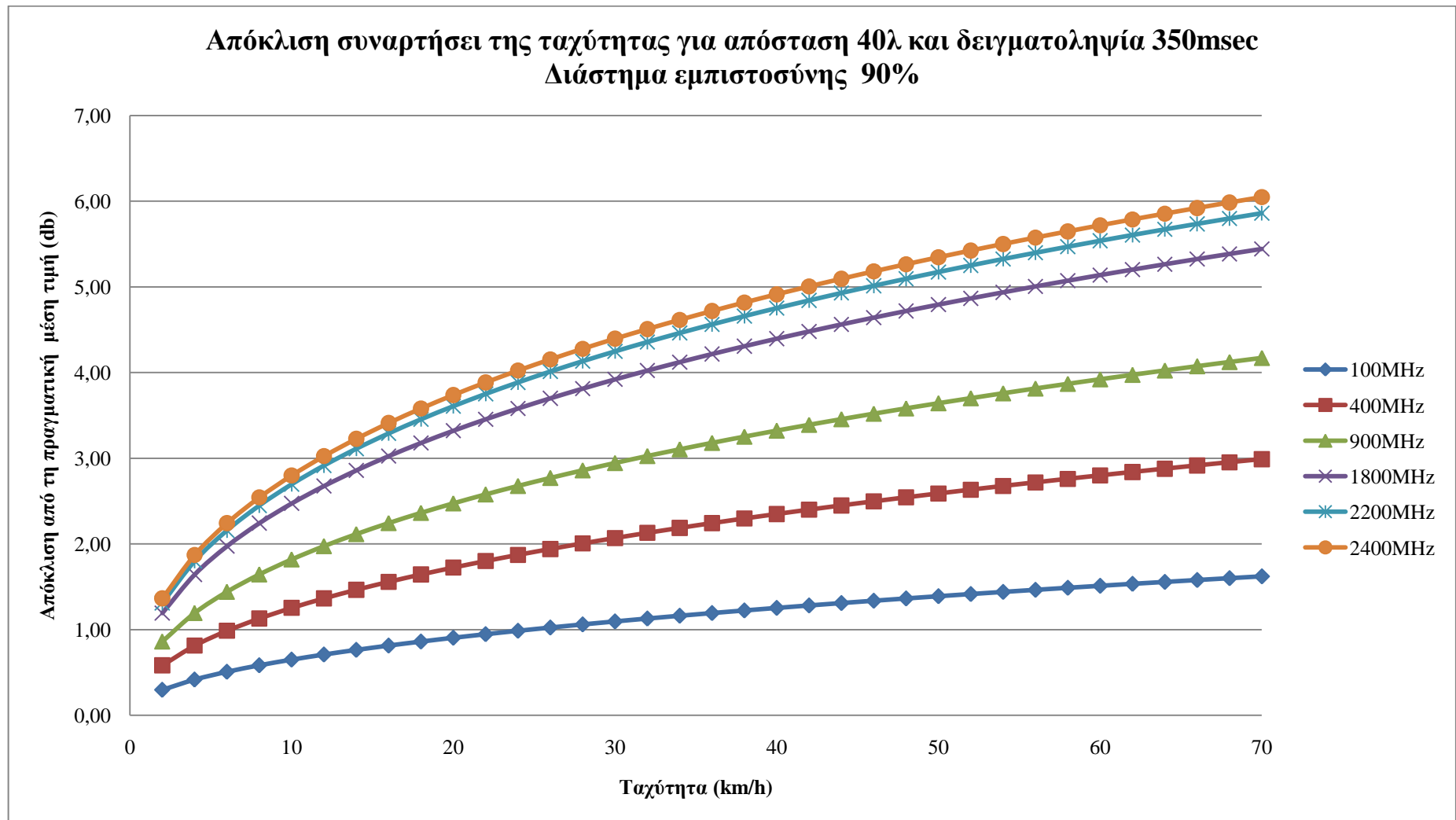
Διάγραμμα 8.24: SRM-3000 στο εύρος ζώνης 2000MHz-2200MHz σύγκριση των εν στάσει μετρήσεων με τις εν κινήσει στα 40km/h



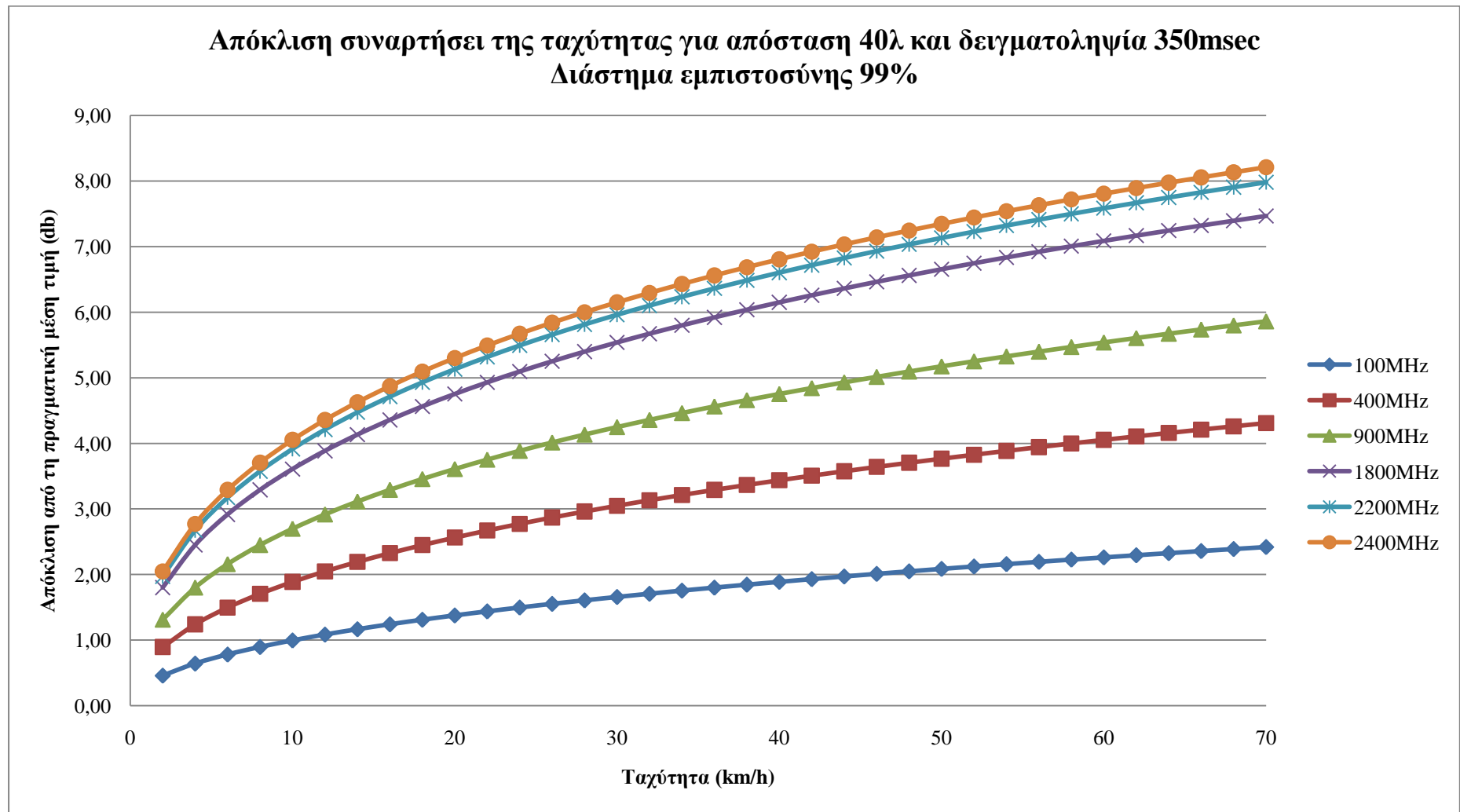
Διάγραμμα 8.25: Απόκλιση εκτιμώμενης μέσης τιμής για απόσταση 40λ, δειγματοληψία 200msec και δ.ε. 90%



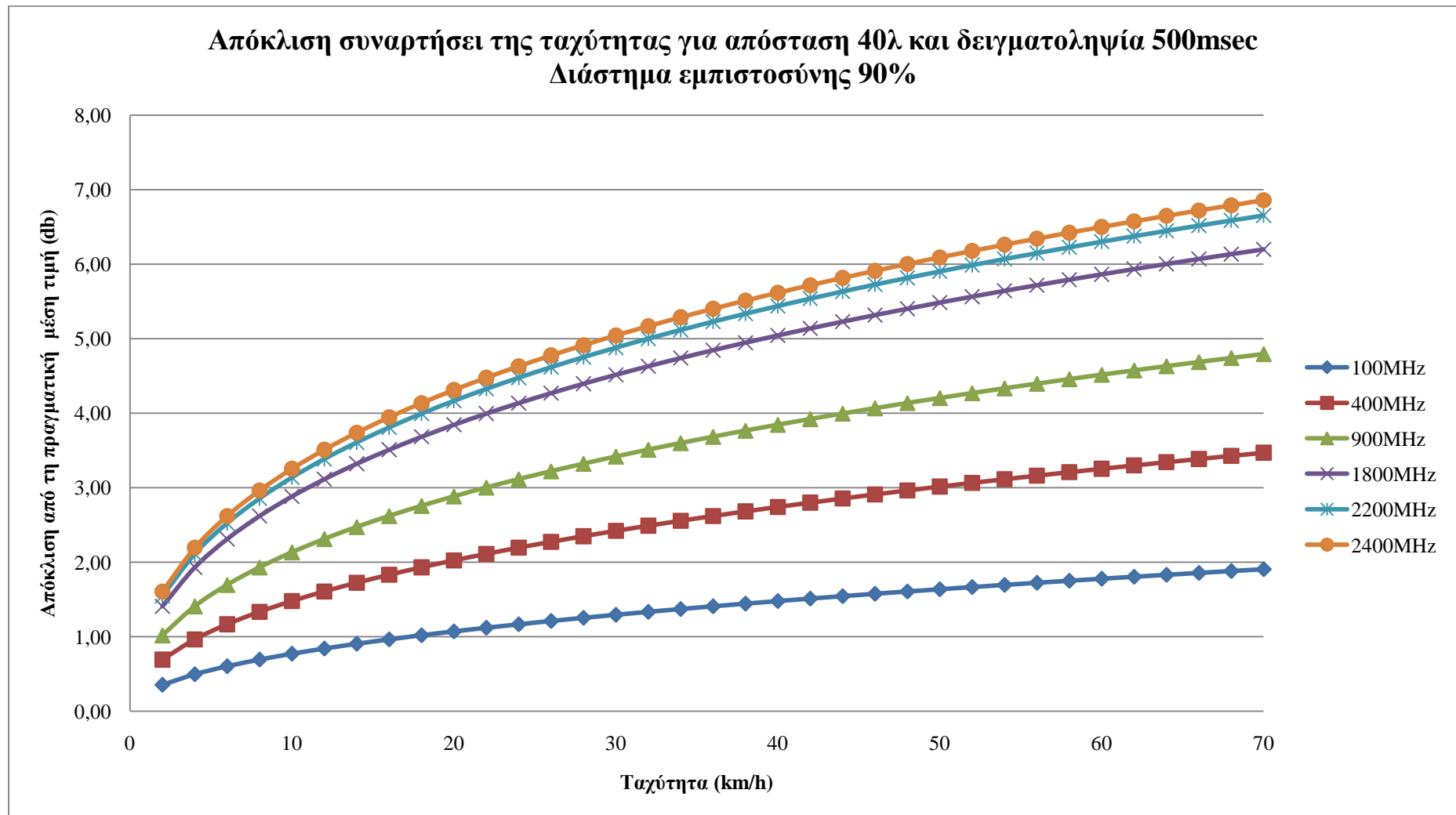
Διάγραμμα 8.26: Απόκλιση εκτιμώμενης μέσης τιμής για απόσταση 40λ, δειγματοληψία 200msec και δ.ε. 99%



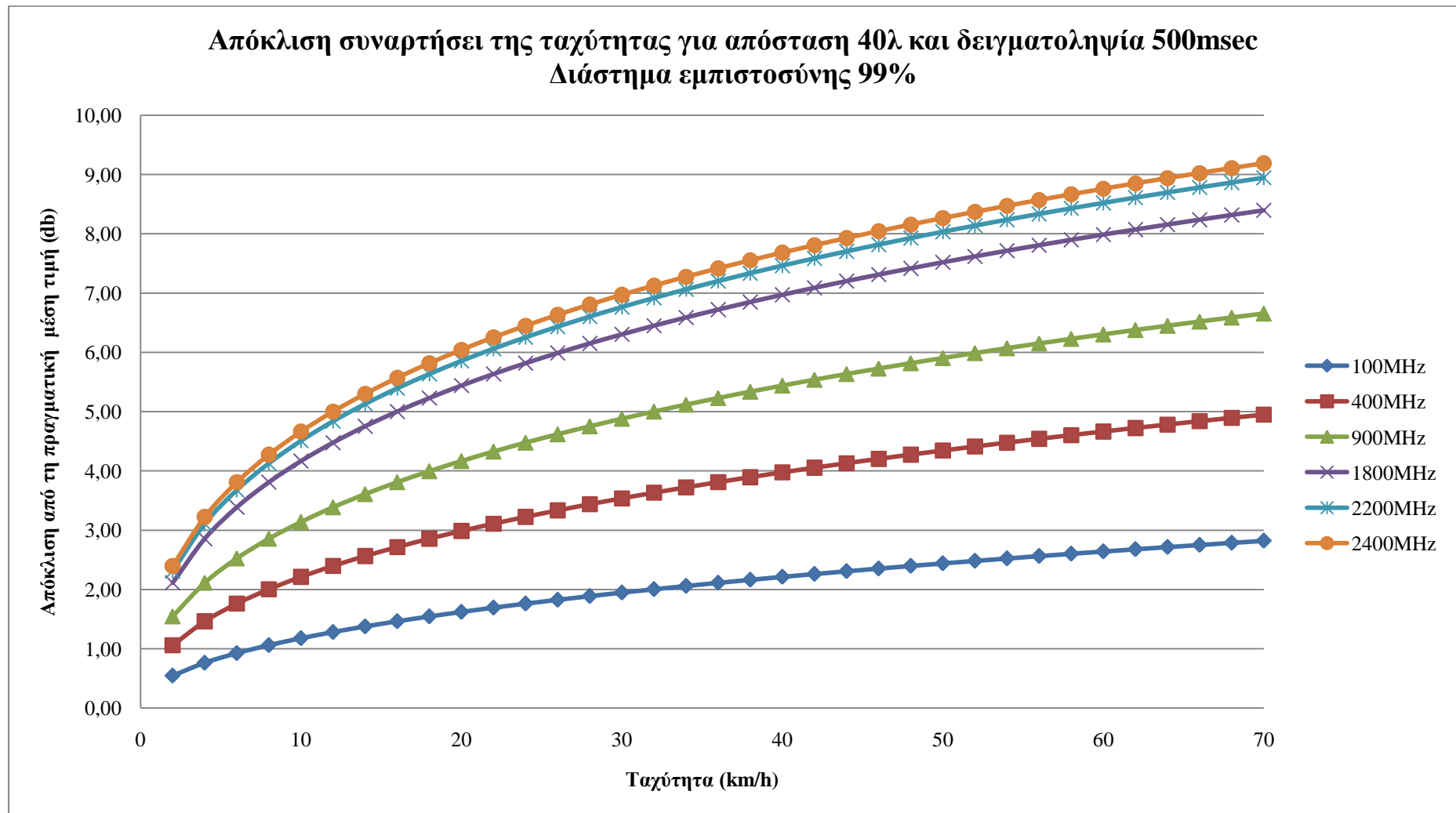
Διάγραμμα 8.27: Απόκλιση εκτιμώμενης μέσης τιμής για απόσταση 40λ, δειγματοληψία 350msec και δ.ε. 90%



Διάγραμμα 8.28: Απόκλιση εκτιμώμενης μέσης τιμής για απόσταση 40λ, δειγματοληψία 350msec και δ.ε. 99%



Διάγραμμα 8.29: Απόκλιση εκτιμώμενης μέσης τιμής για απόσταση 40λ, δειγματοληψία 500msec και δ.ε. 90%



Διάγραμμα 8.29: Απόκλιση εκτιμώμενης μέσης τιμής για απόσταση 40λ, δειγματοληψία 500msec και δ.ε. 99%

8.2.1 Παρατηρήσεις

- **Διαγράμματα που αφορούν το εύρος ζώνης 850-1000MHz**

Παρατηρούμε ότι η ποιοτική συμπεριφορά των εν κινήσει μετρήσεων συγκριτικά με τις εν στάσει είναι όμοια σε κάθε διάγραμμα. Πιο συγκεκριμένα, η μετρούμενη ένταση ηλεκτρικού πεδίου $E(V/m)$ φαίνεται να παρουσιάζει μια σχετική πτώση μεταξύ 60 και 120 μέτρων περίπου κατά μήκος της περιοχής μέτρησης. Αυτό σχετίζεται άμεσα με τη γεωγραφική θέση και τα χαρακτηριστικά των κεραιών (ισχύς εκπομπής, διάγραμμα ακτινοβολίας και θέση των κυρίως λοβών) που εξέπεμπαν εντός του εξεταζόμενου εύρους συχνοτήτων (850-1000MHz), καθώς επίσης και με τα ακίνητα εμπόδια (δέντρα, κτίσμα) που υπάρχουν κατά μήκος της διαδρομής μετρήσεων.

Ακόμα, συγκρίνοντας τα διαφορετικά διαγράμματα μεταξύ τους, παρατηρούμε διαφορά στα επίπεδα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου καθώς μεταβάλλεται η ταχύτητα με την οποία λαμβάνουμε τις μετρήσεις εν κινήσει. Πιο συγκεκριμένα, για τις ταχύτητες 4, 30 και 40 km/h μετράμε σε όλο το μήκος της διαδρομής μεγαλύτερη ένταση ηλεκτρικού πεδίου (τιμές μεταξύ 0.1 V/m και 0.3 V/m περίπου, συμφωνούν περισσότερο με τις μετρήσεις εν στάσει) από αυτή που μετράμε για τις ταχύτητες 4, 30 και 40 km/h (τιμές μεταξύ 0.075 V/m και 0.2 V/m περίπου, βρίσκονται φανερά σε χαμηλότερο επίπεδο από τις μετρήσεις εν στάσει). Αυτό πιθανώς να οφείλεται στην τηλεπικοινωνιακή κίνηση, δηλαδή πρακτικά στην ισχύ εκπομπής, του σταθμού βάσης εντός των ορίων του οποίου βρισκόμασταν κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Επίσης, η φορά λήψης των δειγμάτων στις ταχύτητες 4, 30 και 40 km/h ήταν αντίθετη σε σχέση με αυτήν των εν στάσει δειγμάτων. Στις πρώτες η φορά ήταν από το σημείο T στο A (βλέπε εικόνα 7.1) ενώ στις δεύτερες από το σημείο A στο σημείο T. Έτσι, υπήρχε εν μέρει αλλαγή των συνθηκών του πειράματος αφού η θέση της ισοτροπικής κεραίας του SRM-3000, που ήταν στερεωμένη σε συγκεκριμένο σημείο στην οροφή του οχήματος, μετατοπίστηκε χωρικά λόγω της αλλαγής κατεύθυνσης. Η μεταλλική επιφάνεια της οροφής του οχήματος μπορεί ακόμα να θεωρηθεί ως παράγοντας που επηρέασε τις μετρήσεις εφ' όσον λειτουργούσε ως ανακλαστήρας των διαφόρων σημάτων που έφταναν στον αισθητήρα του οργάνου.

- **Διαγράμματα που αφορούν το εύρος ζώνης 1700-2000MHz**

Αντίθετα με προηγουμένως, οι ακριβώς ίδιες αλλαγές κατά τη διαδικασία μέτρησης της έντασης ηλεκτρικού πεδίου $E(V/m)$ για το εύρος συχνοτήτων 1700-2000MHz δεν φαίνεται να επηρέασαν τις αντίστοιχες μετρήσεις εν κινήσει. Αυτές, παρά το γεγονός ότι κινούνται φανερά σε υψηλότερα επίπεδα από τις μετρήσεις εν στάσει, εντούτοις συμφωνούν απόλυτα μεταξύ τους. Αυτό σε ένα βαθμό υποδηλώνει μια σταθερότητα στην ισχύ που εξέπεμπαν οι γύρω σταθμοί βάσης στο συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων κατά την διάρκεια εκτέλεσης των μετρήσεων. Όμως, η διαφορά ώρας (περίπου 3 ώρες) που εμφανίζεται μεταξύ των εν στάσει και όλων των εν κινήσει μετρήσεων, επηρέασε φανερά το επίπεδο της λαμβανόμενης έντασης ηλεκτρικού πεδίου, η οποία καταγράφεται μεγαλύτερη στις εν κινήσει μετρήσεις συγκριτικά με τις εν στάσει.

• **Διαγράμματα που αφορούν το εύρος ζώνης 2000-2200MHz**

Σε αυτή την ομάδα των διαγραμμάτων παρατηρούμε και πάλι το ρόλο που παίζει στα αποτελέσματα μας η διαφορετική ώρα λήψης των συγκρινόμενων μετρήσεων καθώς και η μη εξασφάλιση απολύτως κοινών συνθηκών καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Οι εν κινήσει μετρήσεις παρουσιάζουν διαφορές τόσο συγκριτικά με τις εν στάσει, όσο και μεταξύ τους για τις διαφορετικές ταχύτητες. Εδώ, η μεταβολή στη φορά κίνησης δε φαίνεται να αποτελεί διαφοροποιητικό παράγοντα, εντούτοις στα 4km/h παρατηρούμε μια φανερή αύξηση του επιπέδου της έντασης ηλεκτρικού πεδίου (ξεπερνά ακόμα και τα 0.5V/m) σε αντίθεση με όλες τις υπόλοιπες ταχύτητες. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι τα εν κινήσει δείγματα (εκτός των 30km/h και κυρίως των 4km/h) προκύπτουν χαμηλότερα από τα αντίστοιχα εν στάσει.

Σε όλα τα διαγράμματα σημειώνουμε και πάλι μία σχετική πτώση της έντασης των εν κινήσει μετρήσεων στο διάστημα 60-120m και μια σχετική άνοδο με μεγάλες μεταπτώσεις στα διαστήματα πριν και μετά από το προαναφερθέν. Γενικά, προκύπτουν έντονες διακυμάνσεις στα δείγματα κατά μήκος των 180m και αυτό χαρακτηριστικά φαίνεται αν προσέξουμε τη συμπεριφορά των εν στάσει μετρήσεων.

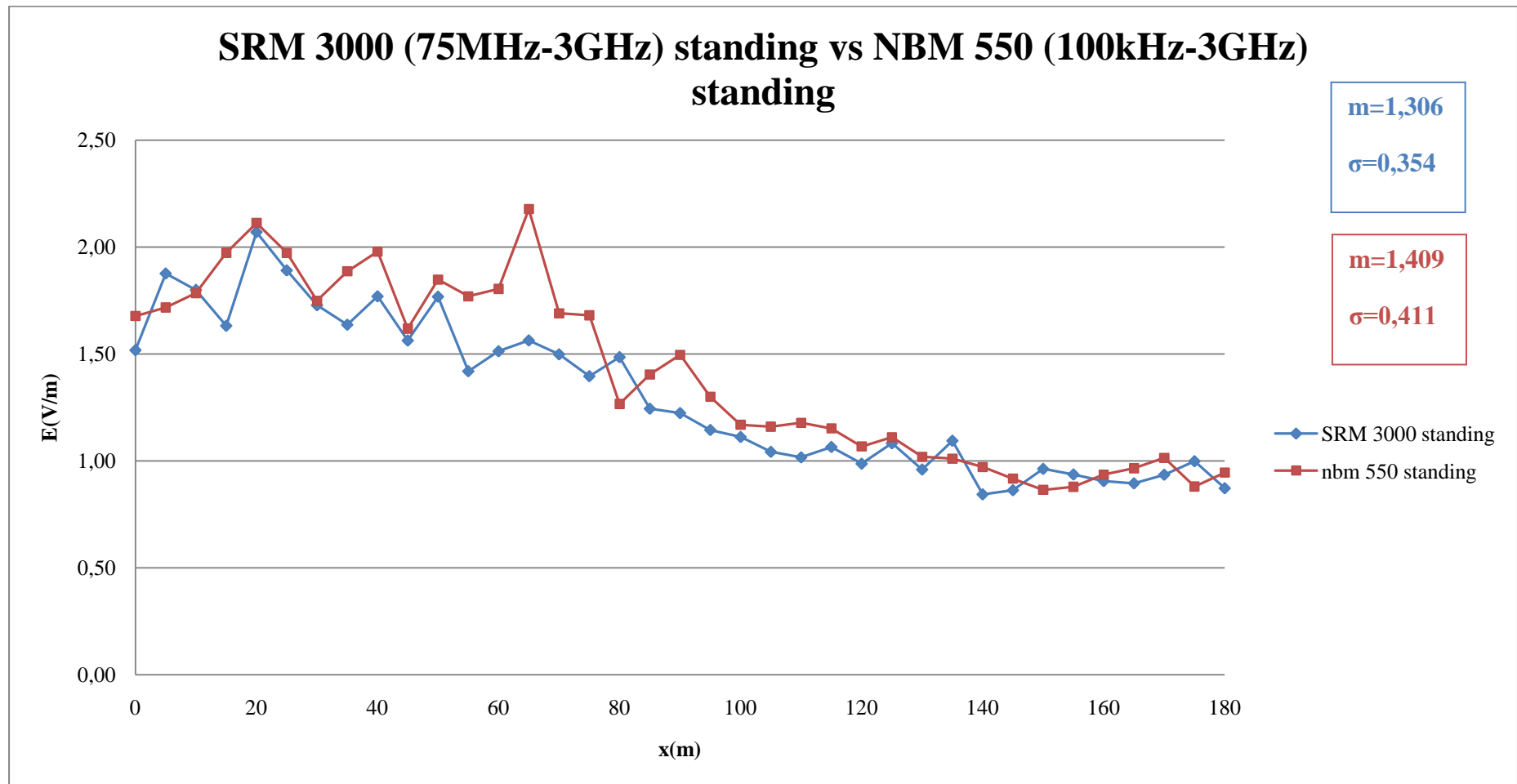
8.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων των παράλληλων μετρήσεων με το SRM-3000 και το NBM-550

Ο επόμενος πίνακας παρουσιάζει συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των σετ μετρήσεων που ελήφθησαν στις 17-2-2010 με το NBM-550 και παράλληλα με το SRM-3000 σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφουμε στην παράγραφο 7.3.3.

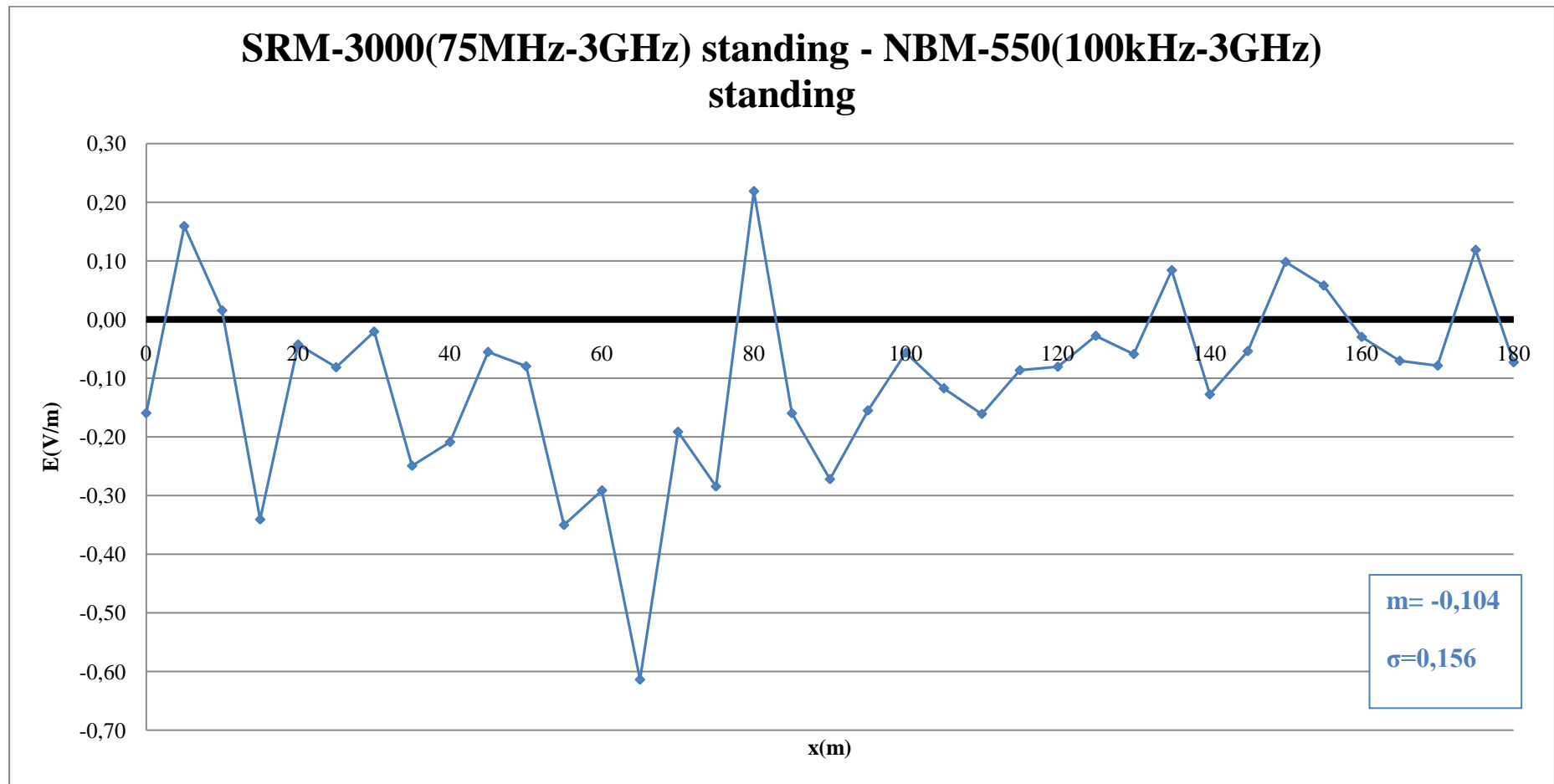
Όργανο	Ταχύτητα	Ώρα	Αριθμός δειγμάτων	Φορά κίνησης (Εικόνα 7.1)	Όχημα	Ζώνη συχνοτήτων
NBM-550	Εν στάσει κάθε 5m	14:22:00-15:08:11	37	Α προς Τ	Όχι	100kHz-3GHz
SRM-3000	Εν στάσει κάθε 5m	14:22:00-15:08:11	37	Α προς Τ	Όχι	75MHz-3GHz

Πίνακας 8.5: Οι εν στάσει μετρήσεις με το SRM-3000 και το NBM-550

Η ώρα που αναφέρουμε στον παραπάνω πίνακα αφορά το χρονικό διάστημα από την αποθήκευση της πρώτης μέτρησης μέχρι την αποθήκευση της τελευταίας (37ης) με αναμονή σε κάθε ένα από τα 37 σημεία για χρόνο ίσο με 1min. Κατά το 1min αυτό, το όργανο υπολόγιζε τη μέση τιμή έντασης E(V/m) για τη συγκεκριμένη θέση. Να τονίσουμε ότι στην περίπτωση αυτή δεν χρησιμοποιήσαμε όχημα, αλλά μετακινούμασταν πεζοί με τα όργανα ανά χείρας. Ξεκινήσαμε από το σημείο Α και καταλήξαμε στο σημείο Τ. Στην συνέχεια, ακολουθεί το διάγραμμα σύγκρισης των αντίστοιχων ζευγών των εν στάσει μετρήσεων για τα δύο όργανα (Διάγραμμα 8.30) και έπειτα το διάγραμμα απόκλισης κάθε αντίστοιχου ζευγους (Διάγραμμα 8.30.1)



Διάγραμμα 8.30: SRM-3000 (75MHz-3GHz) εν στάσει συγκριτικά με NBM-550 (100kHz-3GHz)



Διάγραμμα 8.30.1: Απόκλιση για τα ζεύγη τιμών του διαγράμματος 8.30

8.3.1 Παρατηρήσεις

1. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν εν στάσει και παράλληλα με τα δύο όργανα παρατηρούμε ότι εμφανίζουν παραπλήσια επίπεδα έντασης ηλεκτρικού πεδίου σε όλη την διαδρομή μέτρησης.
2. Παρατηρούμε και πάλι ότι στα πρώτα 90m της διαδρομής τόσο η μετρούμενη ένταση ηλεκτρικού πεδίου όσο κι οι διακυμάνσεις μεταξύ κοντινών μετρήσεων είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τα υπόλοιπα 90m ως το σημείο T.
3. Οι διαφορές στην υπολογιζόμενη ένταση στις ίδιες θέσεις από το δύο όργανα SRM-3000 και NBM-550 μπορεί να οφείλονται :
 - I. Στη διαφορά της θέσης μέτρησης των δύο οργάνων για κάθε ζεύγος δειγμάτων εν στάσει. Εξαιτίας της ανάγκης οι μετρήσεις να γίνονται παράλληλα για τα δύο όργανα, ώστε τα αποτελέσματα να αναφέρονται στον ίδιο χρόνο σε κάθε μία θέση (0m, 5m, 10m, 15m κλπ), τα δύο όργανα απείχαν μεταξύ τους απόσταση ίση με περίπου 1,5m το ένα δίπλα στο άλλο και σίγουρα δεν βρίσκονταν ακριβώς στο ίδιο ύψος, ούτε είχαν ακριβώς την ίδια κλίση ως προς την κάθετη στο δρόμο διεύθυνση.
 - II. Στη διαφορά στο εύρος συχνοτήτων μέτρησης στο κάθε όργανο. Για το NBM-550 είναι από 100kHz μέχρι 3GHz ενώ για το SRM-3000 είναι από 75MHz έως 3GHz. Αυτό μπορεί να δικαιολογήσει την διαφορά στην μέση τιμή των εν στάσει μετρήσεων για κάθε όργανο. (Η μέση τιμή για τις μετρήσεις από το NBM-550 προκύπτει μεγαλύτερη)

8.4 Γενικές παρατηρήσεις, μελλοντικές εργασίες

Όσον αφορά στα δύο όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις, μπορούμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις: Το NBM-550 προσφέρει μεγάλη ευκολία στον χειρισμό, φορητότητα, σταθερό και ρυθμιζόμενο από τον χρήστη ρυθμό δειγματοληψίας καθώς και μεγάλη αυτονομία μπαταρίας. Επίσης, παρατηρήθηκε μια όμοια συμπεριφορά στις καταγραφόμενες τιμές έντασης τόσο όταν το όργανο λάμβανε μετρήσεις σταθερό, όσο κι όταν βρισκόταν στερεωμένο στο κινούμενο αυτοκίνητο. Περιορισμούς στην διαδικασία μετρήσεων εισάγει το γεγονός ότι το όργανο αυτό μετρά σε σταθερό εύρος ζώνης από 100kHz έως 3GHz και συνεπώς δεν μπορούν να αναγνωριστούν οι κύριες πηγές συνεισφοράς έντασης ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στο χώρο ενδιαφέροντος. Από την άλλη, το SRM-3000 δίνει την δυνατότητα να μετρήσουμε σε συγκεκριμένο κάθε φορά εύρος ζώνης συχνοτήτων εφ' όσον θέλουμε να εξετάσουμε τα χαρακτηριστικά μιας συγκεκριμένης τηλεπικοινωνίας στον χώρο ενδιαφέροντος. Ωστόσο, δεν προσφέρει σταθερή και κυρίως ρυθμιζόμενη από τον χρήστη δειγματοληψία μετρήσεων γεγονός που δεν το καθιστά τόσο κατάλληλο για συλλογή εν κινήσει (με όχημα) μετρήσεων.

Όσο αφορά την διαδικασία μετρήσεων και τον χώρο διεξαγωγής τους μπορούμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις, οι οποίες θα βοηθούσαν στην υλοποίηση μελλοντικών εργασιών που αφορούν το παρόν θέμα. Αρχικά, ο χώρος μετρήσεων θα μπορούσε να μεταφερθεί σε μια τοποθεσία όπου υπάρχει σταθερή και αυξημένη

Μετρήσεις Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας από Κεραίες Κινητής Τηλεφωνίας

ένταση ηλεκτρομαγνητικού πεδίου όπως κάποιο πάρκο κεραιών (πχ Υμηττός) ή οι μετρήσεις να πραγματοποιηθούν σε χώρο όπου εκπέμπει πειραματικός πομπός με συγκεκριμένη ισχύ ακτινοβολίας ώστε να καταστεί δυνατή η εξέταση της αξιοπιστίας των διάφορων σεναρίων μέτρησης. Ακόμα, θα ήταν κρίσιμη για την αξιοπιστία του πειράματος η προσπάθεια για εξασφάλιση όμοιων συνθηκών κατά την εκτέλεση κάθε συγκεκριμένου σεναρίου μέτρησης. Για παράδειγμα, σταθερή ταχύτητα και φορά κίνησης, χρήση οδόμετρου για ακρίβεια στον καθορισμό των θέσεων των μετρήσεων, επανάληψη και συλλογή πολλαπλών δειγμάτων σε κοντινές χρονικές στιγμές.

Βιβλιογραφία

- [1] ΕΕΑΕ, “Κινητή τηλεφωνία και υγεία”, 06-03-2007
- [2] ΜΜΦ, Φόρουμ Κατασκευαστών Κινητών Τηλεφώνων “Σταθμοί βάσης κινητής τηλεφωνίας, Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία/Στοιχεία για την υγεία”
- [3] ΕΕΤΤ, «Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και κινητή τηλεφωνία-Τα επιστημονικά δεδομένα», 1-12-06
- [4] Αθανάσιος Κανατάς, Φίλιππος Κωνσταντίνου, Γεώργιος Πάντος “Συστήματα Κινητών Τηλεπικοινωνιών” Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2008
- [5] Μιχαήλ Ε. Θεολόγου, “Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών”, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2007
- [6] Theodore Rappaport, “Wireless Communications: Principles and Practice”, 2nd Edition, Prentice Hall 2002
- [7] Αθ. Δ. Παναγόπουλος , Εργαστήριο Κινητών Ραδιοεπικοινωνιών , ΣΗΜΜΥ ΕΜΠ, “ Συστήματα Κινητών Τηλεπικοινωνιών”, Διαφάνειες μαθήματος 2009-2010
- [8] W.C.Y Lee, “Mobile Communications Engineering”, 2nd Edition, Mc Graw Hill 1997
- [9] J.D. Parsons, “The Mobile Radio Propagation Channel”, 2nd Edition, John Wiley & Sons 2000
- [10] W.C.Y Lee and Y. S. Yeh, “On the Estimation of the Second-Order Statistics of Log-Normal Fading in Mobile Radio Environment”, IEEE Trans. On Communications Com-22: 6 June 1974
- [11] W.C.Y Lee, “Estimated Local Average Power of a Mobile Radio Signal”, IEEE Trans. on Vehicular Technology VT-34: Feb 1985
- [12] W. C. Y. Lee, “Antenna Spacing Requirement for a Mobile Radio Base-Station Diversity,” Bell System Technical Journal, vol. 50, July–August 1971, pp. 1859–1874
- [13] NBM-550, Broadband Field Meter, Narda Safety Test Solutions, “Operating Manual”
- [14] SRM-3000, Selective Radiation Meter, Narda Safety Test Solutions, “Operating Manual”
- [15] UKAS, “The Expression of Uncertainty in Testing”, Edition 1, October 2000
- [16] ETSI TR 100 028 – 1, “Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Uncertainties in the measurement of mobile radio equipment characteristics; Part 1”, v1.4.1, December 2001

[17] ETSI TR 100 028 – 1, “Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM); Uncertainties in the measurement of mobile radio equipment characteristics; Part 2”, v1.4.1, December 2001

[18] Murray R. Spiegel, “Πιθανότητες και Στατιστική”, Schaum’s Outline Series, McGraw – Hill, New York 1975

[19] ERC/REC/(00)08 της CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations), “Field Strength Measurements along a Route with Geographical Coordinate Registrations”