



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**ΣΧΟΛΗ
ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΕΑΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2021-2022

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΕΠΑΓΩΜΕΝΗΣ ΠΟΛΩΣΗΣ ΓΙΑ
ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΥΔΑΤΙΝΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ»**

ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΟΚΟΛΑΚΗΣ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ - ΚΡΗΤΗΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**ΣΧΟΛΗ
ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΕΑΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2021-2022

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΕΠΑΓΩΜΕΝΗΣ ΠΟΛΩΣΗΣ ΓΙΑ
ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΥΔΑΤΙΝΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ»**

ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΟΚΟΛΑΚΗΣ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ - ΚΡΗΤΗΣ

2022

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Ελένη Κόκκινου
Καθηγήτρια**

**Επιτροπή Αξιολόγησης : Δρ. Ελένη Κόκκινου
Δρ. Κωνσταντίνος Λουλακάκης
Δρ. Αναστασία Ταμπακάκη**

Ημερομηνία Παρουσίασης :

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας :

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διατριβή ξεκίνησε και ολοκληρώθηκε στο θεσμοθετημένο εργαστήριο Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του τμήματος Γεωπονίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, του ΕΛΜΕΠΑ με την επιστημονική υποστήριξη του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας. Τώρα, που το έργο έχει ολοκληρωθεί, θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια Κόκκινου Ελένη για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ στο εργαστήριό της και να προσπαθήσω να φέρω σε πέρας ένα, όπως αποδείχθηκε, δύσκολο έργο. Πολλές ευχαριστίες και στην εξεταστική επιτροπή.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την υποστήριξη τους.

Περιεχόμενα

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ	1
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ	2
Πρόλογος	4
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.2 Η φασματικά επαγόμενη πόλωση	7
1.2.1 Μηχανισμός πόλωσης ηλεκτροδίων	7
1.2.2 Πόλωση Μεμβρανών	8
1.2.3 Πόλωση Maxwell – Wagner	8
1.2.4 Πόλωση διπλού στρώματος (EDL).....	9
1.3 Εφαρμογή της Φασματικά επαγόμενης πόλωσης.....	9
1.4 Μοντέλο IP και Παράμετροι.....	10
1.4.1 Θεωρητική βάση	10
2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ	12
2.1 Δειγματοληψία νερού	12
2.2 Δειγματοληψία Εδάφους	18
2.3 Συλλογή εδαφοβελτιωτικού	22
2.3.1 Προετοιμασία δειγμάτων εδάφους για συνδυασμό με εδαφοβελτιωτικό.....	22
2.4 Ρυπαντής	23
3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	27
3.1 Εισαγωγή Προετοιμασία μηχανήματος και τρόπος λειτουργίας	27
3.2 Προετοιμασία ηλεκτροδίων	33
3.3 Κατασκευή στηλών.....	35
3.4 Βαθμονόμηση μηχανήματος PSIP	39
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	43
4.1 Γενικά.....	43
4.2 Αποτελέσματα μετρήσεων διαφόρων υδάτων.....	43
4.3 Αποτελέσματα μετρήσεων θαλασσινού νερού με πετρέλαιο.....	54
4.4 Αποτελέσματα μετρήσεων εδάφους με εδαφοβελτιωτικό.....	74
4.5 Αποτελέσματα μετρήσεων εδάφους με πετρέλαιο	87
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	110
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	112

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι αξιοποίηση της μεθόδου της Φασματικά Επαγόμενης Πόλωσης για τον εντοπισμό υδάτινων ρύπων από φυσικά και ανθρωπογενή αίτια. Για τα πειράματα χρησιμοποιήθηκε το επιστημονικό όργανο *PSIP Lab/Field Unit (Portable Spectral Induced Polarization)*, το οποίο προσδιορίζει ηλεκτρική αγωγιμότητα και ηλεκτρική αντίσταση σε υγρά και στερεά δείγματα. Έγιναν δειγματοληψίες νερού και εδάφους από τις περιοχές του Αλμυρού ποταμού και του φαραγγιού του Καρτερού κοντά στη πόλη του Ηρακλείου Κρήτης. Μετρήθηκαν οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και αντίστασης τόσο σε φυσική κατάσταση όσο και σε κατάσταση ρύπανσης (π.χ με πετρέλαιο).

Η μεθοδολογία που παρουσιάστηκε αποτελεί ένα γρήγορο, χαμηλού κόστους και ακριβή τρόπο εντοπισμού ρύπανσης τόσο από φυσικά αίτια (π.χ. διάλυση πετρωμάτων λόγω της δράσης του νερού) όσο και ανθρωπογενούς ρύπανσης (π.χ. διαφυγή πετρελαίου).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Αντικείμενο πτυχιακής εργασίας

Το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής είναι η διερεύνηση της μεθόδου της φασματικά επαγόμενης πόλωσης για τον εντοπισμό υδάτινης ρύπανσης τόσο σε υγρά όσο και σε στερεά δείγματα. Χρησιμοποιήθηκε η συσκευή PSIP Field/Lab Unit, η οποία προσδιορίζει την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την αντίσταση του υγρού ή στερεού δείγματος.

1.2 Η φασματικά επαγόμενη πόλωση

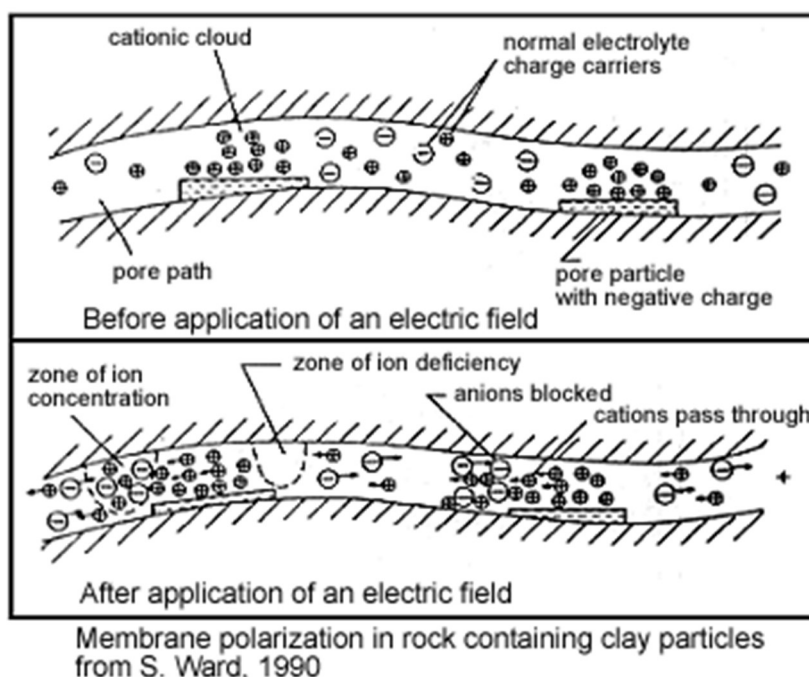
Η φασματικά επαγόμενη πόλωση είναι επέκταση της επαγόμενης πόλωσης με τη διαφορά μεταξύ τους να είναι ότι στη φασματικά επαγόμενη πόλωση μετράμε στο χώρο των συχνοτήτων ενώ με την μέθοδο της επαγωγική πόλωσης μπορούμε να μετρήσουμε την πόλωση και τη δυνατότητα φόρτισης. Για να ξεκινήσουμε τις μετρήσεις πρέπει να εφαρμόσουμε ηλεκτρικό ρεύμα στην επιφάνεια που μελετάμε. Για να το καταφέρουμε αυτό χρησιμοποιούμε δυο ηλεκτρόδια για να δημιουργηθεί το ηλεκτρικό κύκλωμα και δυο ηλεκτρόδια ώστε να μετρήσουμε το δυναμικό τάσης. Στη συνέχεια διακόπτουμε απότομα τη παροχή ρεύματος με αποτέλεσμα τη παροδική μείωση της τάσης. Η επαγωγική πόλωση πραγματοποιείται λόγω ηλεκτροχημικών αντιδράσεων που μπορούν να παραχθούν σε επιφάνειες με ηλεκτρολύτες (Gerodimou, 2017).

1.2.1 Μηχανισμός πόλωσης ηλεκτροδίων

Όταν βυθιστεί ένα ηλεκτρόδιο σε διάλυμα ηλεκτρολύτη συγκεκριμένης συγκέντρωσης παρατηρείται διαχωρισμός-ανακατανομή των ιόντων και δυναμικό ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο και στο διάλυμα. Η ροή ρεύματος προκαλείται με την ανακατανομή των ιόντων όταν εφαρμοστεί διαφορά δυναμικού λόγω της δράσης κάποιου εξωτερικού παράγοντα (π.χ. ρύπανση). Η μετρούμενη διαφορά αλλάζει από την αρχική τιμή. Σε περίπτωση που διακοπεί η εξωτερική τάση, η τάση του διαλύματος επιστρέφει στην αρχική της τιμή (Tselentis & Paraskeuopoulos, 2013).

1.2.2 Πόλωση Μεμβρανών

Η πόλωση των μεμβρανών (Εικόνα 1.1) οφείλεται στο διαχωρισμό των ιόντων λόγω του πορώδους των στρωμάτων. Εξαιτίας του πορώδους, το ηλεκτρικό ρεύμα συναντά δυσκολία στην κίνηση του, με αποτέλεσμα τη δημιουργία διπολικής φόρτισης η οποία προστίθεται σε οποιαδήποτε άλλη τάση μετράται στην επιφάνεια του εδάφους. Ακόμη μια μορφή πόλωσης εμφανίζεται όταν στο έδαφος υπάρχει άργιλος. Λόγω της δομής της, η άργιλος εμποδίζει την κίνηση οποιουδήποτε ιοντικού διαλύματος. Έχει παρατηρηθεί ότι εάν γίνει εισαγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, τα θετικά φορτισμένα σωματίδια συνεχίζουν τη κίνηση τους ανενόχλητα λόγω του μικρού τους μεγέθους σε αντίθεση με τα αρνητικά φορτισμένα σωματίδια. Με τη διακοπή της παροχής ρεύματος στο έδαφος τείνουν να τοποθετηθούν την αρχική τους θέση στο χώρο. Αυτός ο διαμοιρασμός στο χώρο δεν μπορεί να επαναληφθεί για κάποιο χρονικό διάστημα πράγμα που αποδεικνύει την πόλωση του εδάφους (McCormick., 2014).



Εικόνα 1.1: Πόλωση μεμβράνης σε πέτρωμα που περιέχει άργιλο (Ward, 1990)

1.2.3 Πόλωση Maxwell – Wagner

Η Maxwell-Wagner πόλωση είναι μια διεπαφική πόλωση που προκαλείται λόγω της ασυνέχειας των εκτοπισμένων τάσεων σε πολυφασικό σύστημα με ασυνέχειες της διηλεκτρικής διαπερατότητας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στη διεπαφή μεταξύ διαφορετικών φάσεων. (Kemna et al., 2012). Η πόλωση αυτή είναι κυρίως υπεύθυνη για

φαινόμενα πόλωσης στο ανώτερο φάσμα συχνοτήτων, συνήθως πάνω από 1 kHz (Kemna et al., 2012).

1.2.4 Πόλωση διπλού στρώματος (EDL)

Το ηλεκτρικό διπλό στρώμα εμφανίζεται στην επιφάνεια του αντικείμενου όταν εκτεθεί σε κάποιο υγρό. Το διπλό ηλεκτρικό σώμα αναφέρεται σε δυο παράλληλα φορτισμένα στρώματα που περιβάλλουν το αντικείμενο. Η ηλεκτρική πόλωση δυο στρωμάτων προκαλείται από τη παρουσία πολλών φορέων φόρτισης σε κάποιες ασυνέχειες του πορώδους υλικού κατά την απουσία μεταλλικών αγωγών (Schmutz et al., 2010) και έχει σημαντική επιρροή στην συμπεριφορά των κολλοειδών και άλλων επιφανειών σε επαφή με διαλύματα ή με αγωγούς γρήγορων ιόντων σε στερεά κατάσταση. Το EDL περιγράφει τις ηλεκτροχημικές διαδικασίες που είναι υπεύθυνες για τις περισσότερες αποκρίσεις που συναντάμε στο ηλεκτρικό διπλό στρώμα (Attwa & Günther., 2013). Το πρώτο στρώμα, η επιφανειακή φόρτιση, αποτελείται από ιόντα που απορροφούνται λόγω χημικών αντιδράσεων. Το πρώτο στρώμα ονομάζεται στρώμα Stern και χαρακτηρίζει της διεπαφικές διαδικασίες στο εσωτερικό κομμάτι του ηλεκτρικού διπλού στρώματος. Η πόλωση του στρώματος Stern συμβάλει σε συχνότητες κάτω από τα 100 Hz. Το δεύτερο στρώμα αποτελείται από ιόντα που προσελκύονται στην επιφάνεια μέσω της δύναμης του Couloumb. Το στρώμα είναι χαλαρά συνδεδεμένο με το αντικείμενο και αποτελείται από ελεύθερα ιόντα που κινούνται στο υγρό επηρεαζόμενα από τις δυνάμεις της ηλεκτρικής προσέλκυσης και της θερμικής κίνησης αντί να είναι προσκολλημένα στο αντικείμενο, για αυτό το λόγο το στρώμα αυτό ονομάζεται στρώμα διάχυσης (Diffuse Layer). Αν γίνει εφαρμογή ενός ηλεκτρικού πεδίου από εξωτερικό παράγοντα τότε το στρώμα διάχυσης εκτοπίζεται. Με τα κατιόντα να κινούνται προς μια κατεύθυνση ενώ τα ανιόντα κινούνται στην αντίθετη κατεύθυνση (Kenma et al., 2012)

1.3 Εφαρμογή της Φασματικά επαγόμενης πόλωσης

Η φασματικά επαγόμενη πόλωση (Φ.Ε.Π.) χρησιμοποιείται συχνά σε έρευνες για τον εντοπισμό μεταλλοφόρων πετρωμάτων (Marshall & Madden., 1959). Η μέθοδος αυτή είναι επίσης σημαντική για την εκτίμηση των υδραυλικών παραμέτρων του εδάφους καθώς παρέχει περισσότερες πληροφορίες για τους εδαφικούς πόρους όπως για παράδειγμα το μέγεθος τους έναντι άλλων μεθόδων που χρησιμοποιούν ηλεκτρισμό (Attwa et al., 2013), (Slater et al., 2002).

Επίσης η Φ.Ε.Π. χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό και τον διαχωρισμό δυο ρυπαντών στο έδαφος ειδικά όταν είναι αναμειγμένοι οργανικοί με ανόργανους ρυπαντές. Λόγω

αυτού η χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου έχει αυξηθεί για τον χαρακτηρισμό εδαφών που είναι ρυπασμένα (Kenma., 2000).

Ακόμη έχουν σημειωθεί προσπάθειες να χρησιμοποιηθεί αυτή η μέθοδος για τον εντοπισμό ρύπανσης από υδρογονάνθρακες αλλά τα αποτελέσματα μεταξύ των πειραμάτων διαφέρουν (Cassiani et al., 2009) (Brown et al., 2004) (Borner et al., 1993).

Στο τομέα που φαίνεται να φέρει τις μεγαλύτερες δυνατότητες η φασματικά επαγόμενη πόλωση είναι στον τομέα της βίο-γεωφυσικής. Διότι μπορεί να εντοπίσει τις αλλαγές που προέρχονται από την ανάπτυξη μικροβίων και τον σχηματισμό *biofilm* στην σύνδεση μεταξύ εδάφους και υγρού όπως και των πόρων του εδάφους (Ntarlagianis et al., 2009) (Kenma et al., 2012). Αλλαγές στο ηλεκτρικό σήμα που δίνεται προκαλούνται από την αποσάθρωση των ορυκτών και την παραγωγή οργανικών οξέων λόγω μικροβιολογικών διεργασιών (Ntarlagiannis., 2006). Αλλαγές στο σήμα που καταγράφεται μπορεί να προκαλέσουν και αδρανή μικροβιακά κύτταρα (Ntarlagianis et al., 2005).

1.4 Μοντέλο IP και Παράμετροι

1.4.1 Θεωρητική βάση

Ως *IP* (*Induced Porization*) ορίζουμε την επαγόμενη πόλωση και το φαινόμενο το οποίο χαρακτηρίζεται από τη εναπομείνασα τάση στο εκάστοτε αντικείμενο αφότου διακοπεί το παρεχόμενο ρεύμα (Slater et al., 2002). Ο τρόπος μέτρησης πόλωσης που χρησιμοποιείται συνήθως συμπεριλαμβάνει τη γωνία φάσης (f), τη φορτιστικότητα (M) και το ποσοτικοποιημένο φαινόμενο συχνότητας (percentage frequency effect)(Π.Α.Σ.) (Εικόνα 1.2). Η φορτιστικότητα μετριέται σε χρόνο ενώ η γωνία φάσης και το Π.Α.Σ. σε συχνότητες. Ο συχνότερος τρόπος υπολογισμού είναι ως προς τη φορτιστικότητα (M):

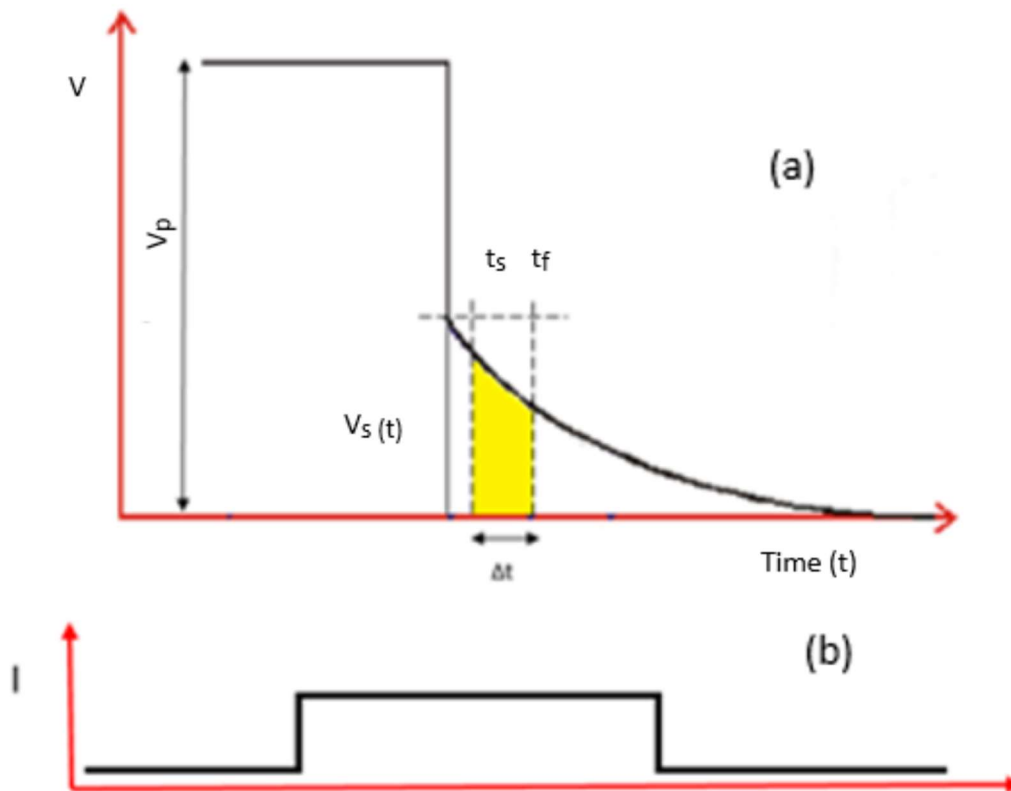
$$M = \frac{\int_{T_s}^{T_f} V_s dt}{V_p} \times \frac{1}{\Delta t}$$

Όπου V_s είναι η εναπομείνασα τάση σε διάστημα χρόνου μεταξύ t_s και t_f αφότου έχει διακοπεί η παροχή ρεύματος. Το V_p αντιστοιχεί στη μετρούμενη τάση ορισμένη χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια που παρέχεται ρεύμα και Δt αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα. Η φορτιστικότητα μετριέται σε millivolts ανά Volt. Αντίστοιχη μέτρηση αποτελεί η μέτρηση του Π.Α.Σ. :

$$PFE = \frac{\sigma(\omega_1) - \sigma(\omega_0)}{\sigma(\omega_0)} \times 100$$

Όπου $\sigma(\omega_1)$ και $\sigma(\omega_0)$ αντιστοιχούν στη μετρούμενη αγωγιμότητα στις συχνότητες ω_1 και ω_0 όπου $\omega_1 > \omega_0$. Η γωνία φάσης είναι συνδεδεμένη με της ηλεκτρικές μετρήσεις όγκου και μηχανισμούς επιφανειακής αγωγιμότητας. Στα μη μεταλλικά περιβάλλοντα οι γωνίες που παρατηρούνται είναι ίσες με την αναλογία της φανταστικής αγωγιμότητας (σ'') με τη πραγματική (σ') (Ward, 1990) (Slater et al., 2002).

$$\Phi(\omega) = \tan^{-1}\left(\frac{\sigma''(\omega)}{\sigma'(\omega)}\right) \cong \frac{\sigma''(\omega)}{\sigma'(\omega)}$$



Εικόνα 1.2: (a) Time-domain IP σήμα και η μέτρηση παραμέτρων για τον υπολογισμό του M , (b) Τετράγωνο τάσης που απεικονίζει τη κυματομορφή σε χαμηλή συχνότητα (~ 1 Hz) που δείχνει τη συνεχή αλλαγή στη πολικότητα.

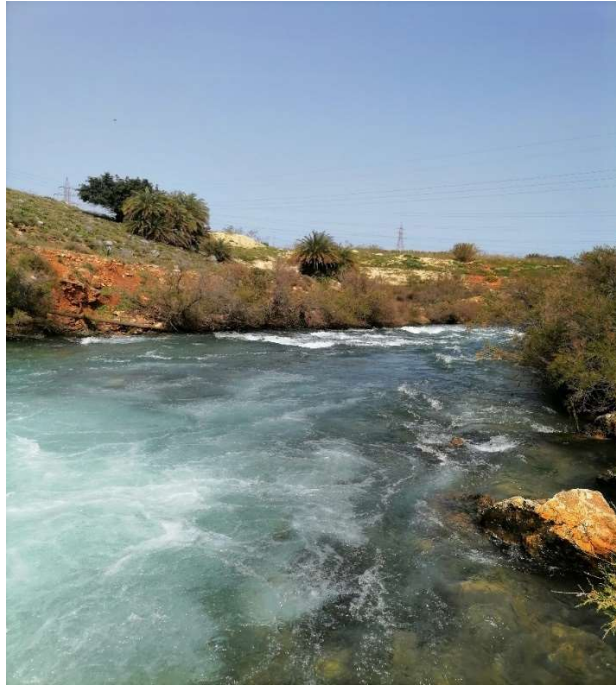
2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ

2.1 Δειγματοληψία νερού

Για τις ανάγκες του πειράματος χρειάστηκε να γίνει δειγματοληψία νερού από διάφορες περιοχές του Ηρακλείου. Η πρώτη τοποθεσία που επισκεφτήκαμε ήταν ο ποταμός Αλμυρός του δήμου Γαζίου. Ο ποταμός έχει χαρακτηριστεί ως καταφύγιο άγριας ζωής και είναι προστατευόμενη ζώνη αναγνωρισμένη από την Ευρωπαϊκή ένωση και η διαχείριση του υπόκειται στη μέριμνα του υπουργείου περιβάλλοντος της Ελληνικής κυβέρνησης (<https://www.protectedplanet.net/341526>). Η φύση του ποταμού είναι ιδιαίτερη καθώς το νερό του προέρχεται από δύο υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες με το νερό τους να περνάει από μια καρστική πηγή και στο τέλος καταλήγει στη λίμνη εκεί που βρίσκεται σήμερα το φράγμα. Εξαιτίας του τρόπου με τον οποίο το νερό καταλήγει στην επιφάνεια, η αλατότητα του μεταβάλλεται με την εποχή. Το εν λόγω φράγμα κατασκευάστηκε το 1977 σε μια προσπάθεια ρύθμισης της αλμυρότητας του νερού με της υδροστατική πίεση πράγμα το οποίο απέτυχε (Μυλωνάς et al., 2000)(Πουρσανίδης et al., 2012). Σε διάφορα σημεία του ποταμού σχηματίζονται διάφοροι καλαμώνες, αλμυρόβαλτοι και εποχιακά λιμνία.

Για τη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιήθηκαν άδεια μπουκάλια νερού δυο λίτρων. Το πρώτο σημείο που επισκεφτήκαμε ήταν στην αρχή του ποταμού κοντά στο φράγμα. Οι συντεταγμένες της τοποθεσίας είναι 35,33366402 - 25,04791378. Για τη λήψη των συντεταγμένων χρησιμοποιήθηκε εφαρμογή που χρησιμοποιεί τεχνολογία *GPS*. Στην εικόνα 2.1 φαίνεται το πρώτο σημείο δειγματοληψίας.

Στη συνέχεια μεταφερθήκαμε στο δεύτερο σημείο δειγματοληψίας ακολουθώντας την ροή του ποταμού. Οι συντεταγμένες της τοποθεσίας είναι 35,33906017- 25,05547147. Στην εικόνα 2.2 φαίνεται το σημείο από το οποίο έγινε η δειγματοληψία.



Εικόνα 2.1 :Πρώτο σημείο δειγματοληψίας νερού από τον Αλμυρο ποταμό του δήμου Γαζίου δίπλα από το φράγμα.



Εικόνα 2.2: Δεύτερο σημείο δειγματοληψίας από τον Αλμυρό ποταμό του δήμου Γαζίου κοντά στις εγκαταστάσεις τις ΔΕΗ.

Το τρίτο σημείο δειγματοληψίας βρίσκεται πιο κοντά στην εκβολή του ποταμού με συντεταγμένες: 35,33645181-25,05585499. Στην εικόνα 2.3 φαίνεται το σημείο όπου πραγματοποιήθηκε η διαδικασία.



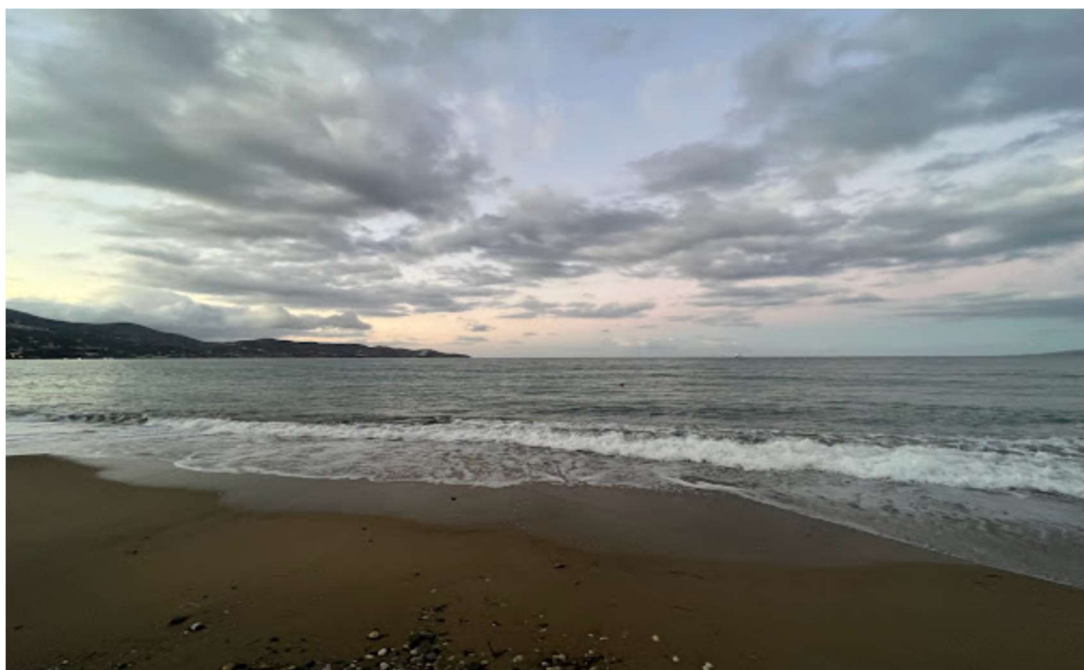
Εικόνα 2.3: Τρίτο σημείο δειγματοληψίας από τον ποταμό Αλμυρό του δήμου Γαζίου το οποίο βρίσκεται πιο κοντά στην εκβολή του ποταμού.

Το τέταρτο σημείο δειγματοληψίας βρίσκεται στην εκβολή του ποταμού αλλά η δειγματοληψία χωρίστηκε σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος έγινε λήψη του νερού πριν αποκτήσει επαφή με το θαλασσινό νερό και αυτό αποτέλεσε το τέταρτο δείγμα. Οι συντεταγμένες του σημείου είναι 35,33876883-25,06289195. Στην εικόνα 2.4 φαίνεται το σημείο από το οποίο έγινε η δειγματοληψία.



Εικόνα 2.4: Τέταρτο σημείο δειγματοληψίας νερού από τον ποταμό Αλμυρό του δήμου Γαζίου. Το σημείο δειγματοληψίας είναι πριν το νερό του ποταμού επηρεαστεί από το θαλασσινό νερό.

Το δεύτερο μέρος της δειγματοληψίας της εκβολής του Αλμυρού ποταμού έγινε μέσα από τη θάλασσα πλέον έτσι ώστε το νερό του ποταμού να έχει αναμειχθεί με το νερό της θάλασσας. Στην εικόνα 2.5 φαίνεται το σημείο. Σε σχετικά κοντινή απόσταση βρίσκονται και εγκαταστάσεις ηλεκτροδότησης της ΔΕΗ, οι οποίες χρησιμοποιούν το νερό της θάλασσας για την ψύξη των μηχανημάτων τους.

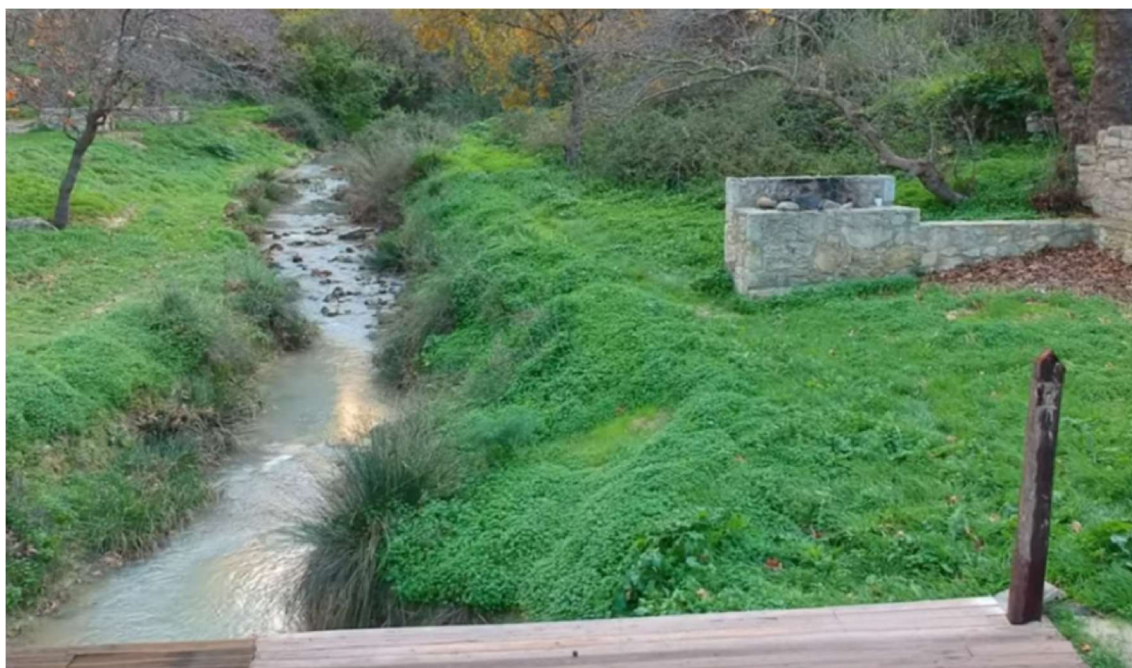


Εικόνα 2.5: Πέμπτο σημείο δειγματοληψίας νερού από το ποταμό Αλμυρό του δήμου Γαζίου.

Η δεύτερη περιοχή που έγιναν δειγματοληψίες είναι φαράγγι του Καρτερού και συγκεκριμένα το ποτάμι που κυλάει κατά μήκος του. Το φαράγγι αυτό βρίσκεται ανατολικά της πόλης του Ηρακλείου και μέρη του περνάνε μέσα από τους δήμους Ν. Καζαντζάκη, Επισκοπής και Νέας Αλικαρνασσού. Όπως και ο Αλμυρός ποταμός έτσι και αυτό είναι προστατευόμενη περιοχή που στη περίπτωση του ανήκει στο δίκτυο περιοχών *Natura 2000*. Κατά μήκος του ποταμού συναντώνται καλαμώνες, έντονη βλάστηση, λιμνάζοντα νερά και γενικότερα βλάστηση η οποία αναμένεται να συναντηθεί σε βιότοπο τέτοιου τύπου. (<https://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=GR4310002>)

Για τη δειγματοληψία νερού από το ποτάμι χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά μπουκάλια νερού δυο λίτρων και για την καταγραφή των συντεταγμένων χρησιμοποιήθηκε εξοπλισμός χαρτογράφησης.

Η διαδικασία της δειγματοληψίας ξεκίνησε στην αρχή του φαραγγιού σε σημείο τροποποιημένο από τον άνθρωπο όπως φαίνεται παρακάτω από την εικόνα 2.6. Οι συντεταγμένες του πρώτου σημείου δειγματοληψίας είναι 609334,804-3905488,005.



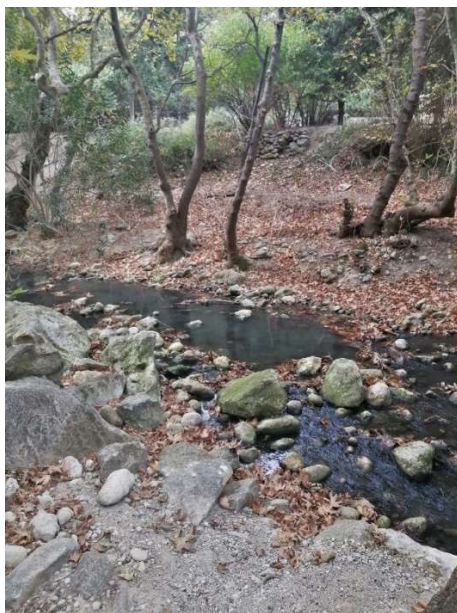
Εικόνα 2.6: Πρώτο σημείο δειγματοληψίας από το ποτάμι στο φαράγγι του Καρτερού.

Για την λήψη του δεύτερου δείγματος προχωρήσαμε πιο μέσα στο φαράγγι, αναζητώντας προσβάσιμο σημείο για την πραγματοποίηση της διαδικασίας. Το σημείο αυτό βρίσκεται στις ακόλουθες συντεταγμένες: 609382,187-3905334,655. Στην εικόνα 2.7 φαίνεται το σημείο όπου έγινε η δειγματοληψία.



Εικόνα 2.7: Δεύτερο σημείο δειγματοληψίας νερού από το ποτάμι του φαραγγιού του Καρτερού.

Στη συνέχεια προχωρήσαμε στο τρίτο σημείο δειγματοληψίας με συντεταγμένες 609364,372-3905102,465. Στην εικόνα 2.8 παρακάτω φαίνεται το σημείο δειγματοληψίας.



Εικόνα 2.8: Τρίτο σημείο δειγματοληψίας νερού από το ποτάμι κατά μήκος του φαραγγιού.

Το τέταρτο σημείο από το οποίο έγινε δειγματοληψία, ολοκληρώνοντας την διαδικασία λήψης νερού στο φαράγγι βρίσκεται αρκετά πιο μέσα στο φαράγγι με

αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η χρήση του εξοπλισμού *GPS* λόγω αδυναμίας λήψης σήματος. Παρά το γεγονός αυτό στην εικόνα 2.9 φαίνεται το σημείο από το οποίο έγινε η δειγματοληψία.



Εικόνα 2.9: Τέταρτο σημείο δειγματοληψίας νερού από το ποτάμι που βρίσκεται εντός του φαραγγιού του Καρτερού.

2.2 Δειγματοληψία Εδάφους

Για τις ανάγκες του πειράματος έγινε και δειγματοληψία εδάφους. Η δειγματοληψία έγινε με τη χρήση ενός φτυαριού στην περιοχή του Αλμυρού ποταμού από τέσσερα διαφορετικά σημεία. Ο τρόπος ο οποίος έγινε η δειγματοληψία ήταν ως εξής: Πρώτα δημιουργήθηκαν τέσσερις τεμνόμενες τομές στο έδαφος δημιουργώντας ένα τετράγωνο σχηματισμό με τη χρήση του φτυαριού. Στη συνέχεια ανυψώθηκε το κομμάτι αυτό με τρόπο τέτοιο χωρίς να προκληθεί ζημιά στη σύσταση του και αφότου έγινε αυτό τοποθετήθηκε σε πλαστική σακούλα για τη μεταφορά του. Λόγω τεχνικών δυσκολιών δεν ήταν δυνατή η ακριβής προσδιορισμός της γεωγραφικής θέσης των σημείων από τα οποία έγινε η εκάστοτε συλλογή εδάφους. Στην εικόνα 2.10 φαίνεται η τοποθεσία από την οποία έγινε η λήψη 2 δειγμάτων.



Εικόνα 2.10: Σημείο διπλής δειγματοληψίας εδάφους στην περιοχή του Αλμυρού ποταμού του δήμου Γαζίου.

Στη συνέχεια έγινε δειγματοληψία σε επόμενο σημείο στην περιοχή του Αλμυρού ποταμού όπως υποδεικνύετε από το βέλος της εικόνας 2.11.



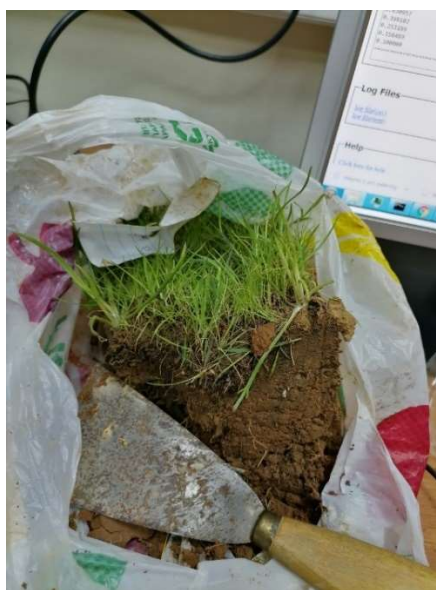
Εικόνα 2.11: Τρίτο σημείο δειγματοληψίας εδάφους από τον Αλμυρό ποταμού του δήμου Γαζίου.

Το τέταρτο και τελευταίο δείγμα εδάφους λήφθηκε από δίπλα από τη γέφυρα όπου έγινε η δεύτερη δειγματοληψία νερού. Το σημείο φαίνεται στην εικόνα 2.12 παρακάτω.



Εικόνα 2.12 :Τέταρτο σημείο δειγματοληψίας εδάφους κοντά στον Αλμυρό ποταμό δήμου Γαζίου . Το βέλος δείχνει το σημείο από το οποίο έγινε η συλλογή του εδάφους.

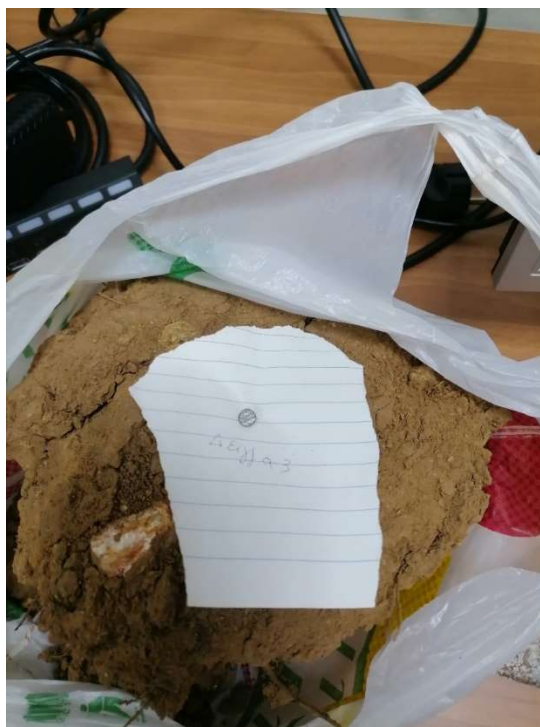
Τα δείγματα που συλλέχθηκαν μεταφέρθηκαν στο χώρο του εργαστηρίου μέσα σε πλαστικές σακούλες όπως φαίνεται στις Εικόνα 2.13, Εικόνα 2.14 και Εικόνα 1.15. Τα δείγματα μεταφέρθηκαν χωρίς να προκληθεί ζημιά στη συνοχή τους. Στην Εικόνα 2.16 φαίνεται πως το τέταρτο δείγμα έχει αποσαθρωθεί αλλά αυτό δεν οφείλεται στην απόσπαση ή την μεταφορά του αλλά εξαρχής βρισκόταν σε αυτή τη κατάσταση λόγω έλλειψης υγρασίας.



Εικόνα 2.13: Πρώτο δείγμα εδάφους από τη περιοχή του Αλμυρού ποταμού δήμου Γαζίου.



Εικόνα 2.14: Δεύτερο δείγμα χώματος που συλλέχθηκε από την περιοχή του Αλμυρού ποταμού του δήμου Γαζίου.



Εικόνα 2.15: Τρίτο δείγμα χώματος από την περιοχή του Αλμυρού ποταμού του δήμου Γαζίου.

2.3 Συλλογή εδαφοβελτιωτικού

Για τις ανάγκες του πειράματος έγινε χρήση εδαφοβελτιωτικού, παραγωγής του εργαστηρίου διαχείρισης αποβλήτων του τμήματος Γεωπονίας του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου.

2.3.1 Προετοιμασία δειγμάτων εδάφους για συνδυασμό με εδαφοβελτιωτικό

Πριν γίνει η ανάμειξη των δειγμάτων με το εδαφοβελτιωτικό, τα δείγματα ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας και στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι αναλογίες εδαφοβελτιωτικού που αντιστοιχούσαν σε κάθε δείγμα. Η αναλογίες που επιλέχθηκαν ήταν 25% και 50% εδαφοβελτιωτικό για το εκάστοτε δείγμα.

Για το δείγμα 1 υπολογίστηκε το συνολικό του βάρος ήταν 302 gr. Οπότε για την προσθήκη 25% αναλογούν 75,5 gr και για το 50% 151 gr εδαφοβελτιωτικό.

Για το δείγμα 2 υπολογίστηκε ότι το συνολικό του βάρος ήταν 360 gr. Οπότε για την προσθήκη 25% αναλογούν 90 gr και για το 50% 180 gr εδαφοβελτιωτικό.

Για το δείγμα 3 υπολογίστηκε ότι το συνολικό του βάρος ήταν 405 gr. Οπότε για την προσθήκη 25% αναλογούν 101,25 gr και για το 50% 202,5 gr εδαφοβελτιωτικού.

Τέλος το δείγμα 4 ζύγιζε 450 gr. Οπότε για την προσθήκη 25% αναλογούν 112,5 gr και για το 50% αναλογούν 225 gr εδαφοβελτιωτικού.

2.4 Ρυπαντής

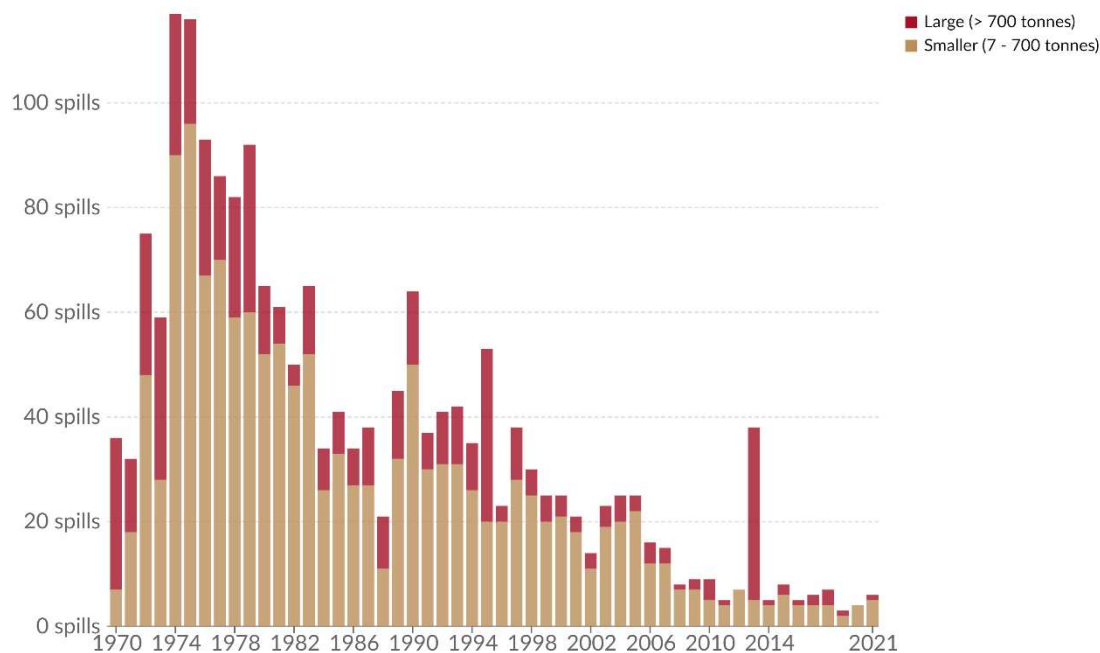
Ως ρυπαντής χρησιμοποιήθηκε πετρέλαιο θέρμανσης (C₁₂H₂₃). Χρησιμοποιήθηκε το πετρέλαιο ως ρυπαντής, διότι είναι από τα πιο διαδεδομένα καύσιμα στο κόσμο και τα ατυχήματα με αυτό προκαλούν σοβαρά οικολογικά προβλήματα (Leahy et al., 1990) (Mnif et al., 2017). Η ρύπανση του εδάφους από το πετρέλαιο προκαλεί σημαντικές αλλαγές στις ιδιότητες του όπως για παράδειγμα έλλειψη νερού, οξυγόνου καθώς και έλλειψη σημαντικών θρεπτικών για τα φυτά στοιχείων του (Mitter et al., 2021).

Εξαιρετικά σημαντικό πρόβλημα αποτελεί και η ρύπανση του θαλασσινού νερού, αν συμβεί ατύχημα κατά τη μεταφορά του πετρελαίου ή κατά την εξαγωγή του. Όταν χυθεί στη θάλασσα το πετρέλαιο, προκαλεί μείωση του διαθέσιμου οξυγόνου στο νερό, δεν επιτρέπει στο ηλιακό φως να περάσει, σκοτώνει έμμεσα τη πανίδα της περιοχής καθώς πεθαίνουν από υποθερμία όταν κολλήσει πάνω τους. Μακροπρόθεσμα μειώνει το πληθυσμό του εκάστοτε είδους διότι λόγω της κατάποσης του μειώνεται η αναπαραγωγή τους. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι πέρα την τεράστια οικολογική καταστροφή που προκαλείται σημειώνεται και οικονομική ζημιά λόγω μείωσης του τουρισμού στη περιοχή αλλά και της αλιείας (Mishra et al., 2022) (Carson and Hanemann., 1992).

Στην Εικόνα 2.16 φαίνεται ο αριθμός θαλάσσιων ατυχημάτων (1970-2021) κατά τη μεταφορά πετρελαίου.

Global number of oil spills from tankers, 1970 to 2021

Our World
in Data



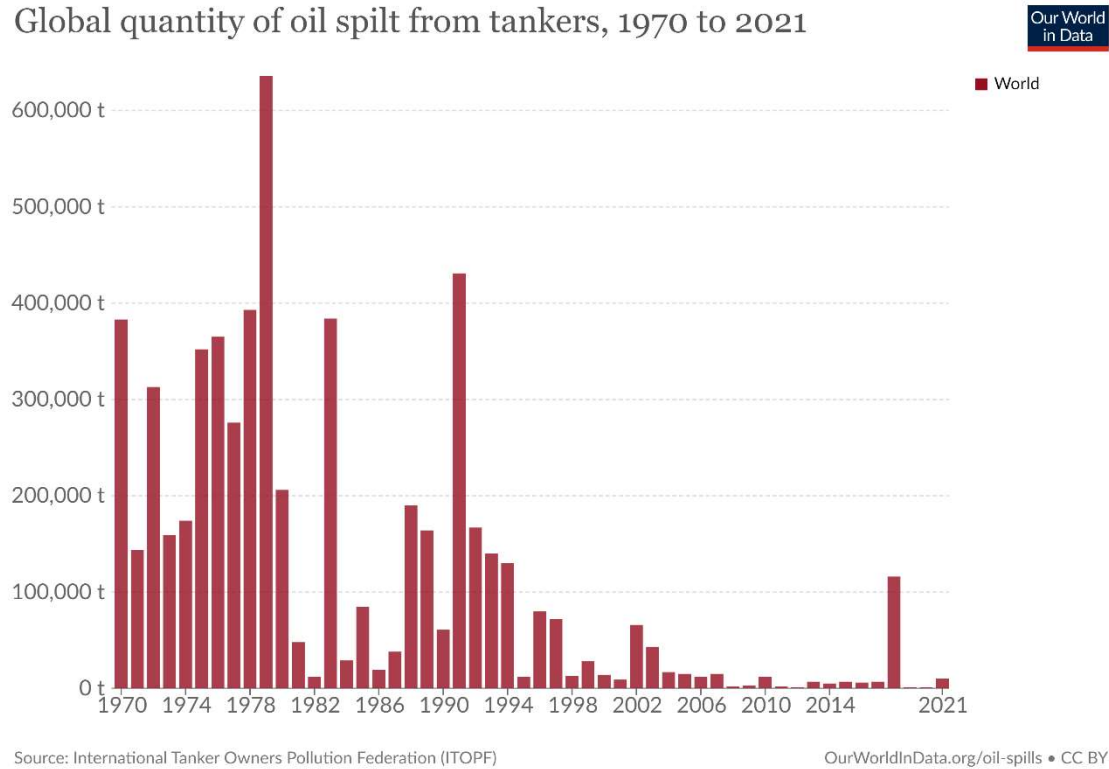
Source: International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF)

OurWorldInData.org/oil-spills • CC BY

Εικόνα 2.16: Αριθμός ατυχημάτων που οδήγησαν στη διαρροή πετρελαίου στη Θάλασσα από το 1970 έως το 2021.

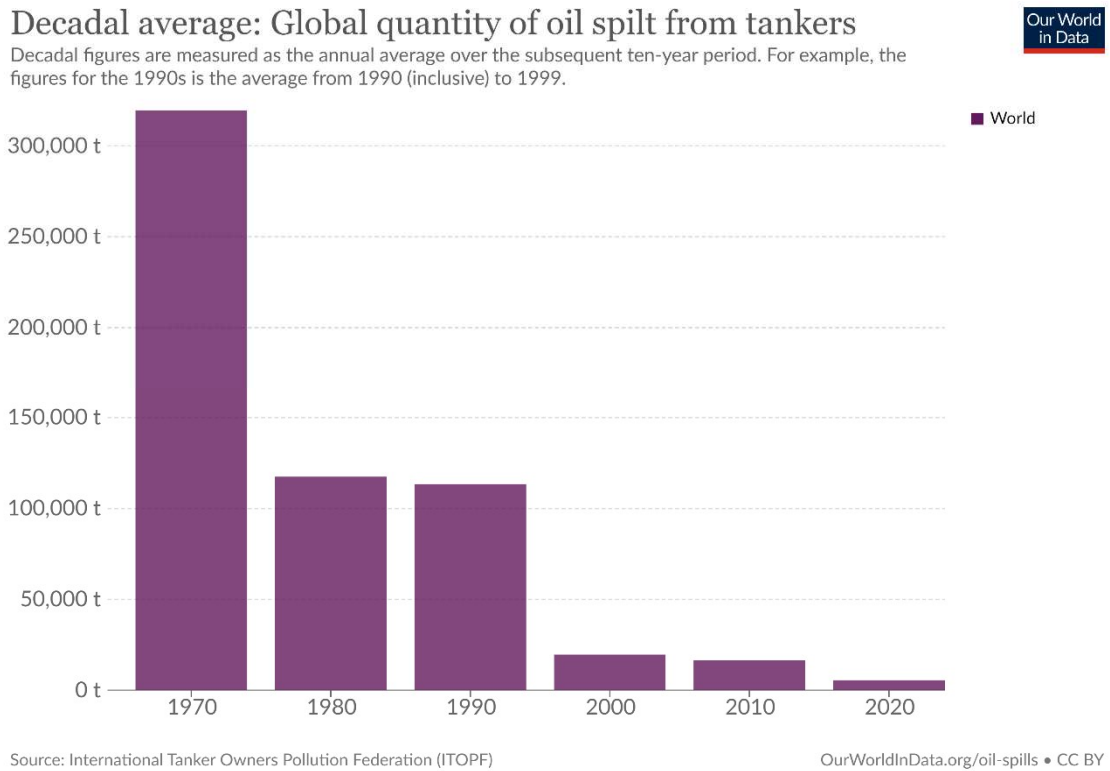
Στη συνέχεια στην Εικόνα 2.17 γίνεται σύγκριση των ποσοτήτων χαμένου πετρελαίου στη θάλασσα από το 1970 έως το 2021. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα φαίνεται ότι η ποσότητα του πετρελαίου που χύνεται, έχει μειωθεί δραματικά από το 1990 και μετά πράγμα αρκετά σημαντικό για τη προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων.

Global quantity of oil spilt from tankers, 1970 to 2021



Εικόνα 2.17: Ποσότητες πετρελαίου στη θάλασσα από το 1970 έως το 2021 σε παγκόσμια κλίμακα.

Τέλος στην Εικόνα 2.18 διακρίνεται η ποσότητα πετρελαίου που χάθηκε στη θάλασσα ανά δεκαετία.



Εικόνα 2.18: Ποσότητες χαμένου πετρελαίου στη θάλασσα ανά δεκαετία από το 1970 έως 2020. Το σύνολο κάθε δεκαετίας αποτελεί το μέσο όρο ατυχημάτων για την κάθε δεκαετία που αναγράφεται.

3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

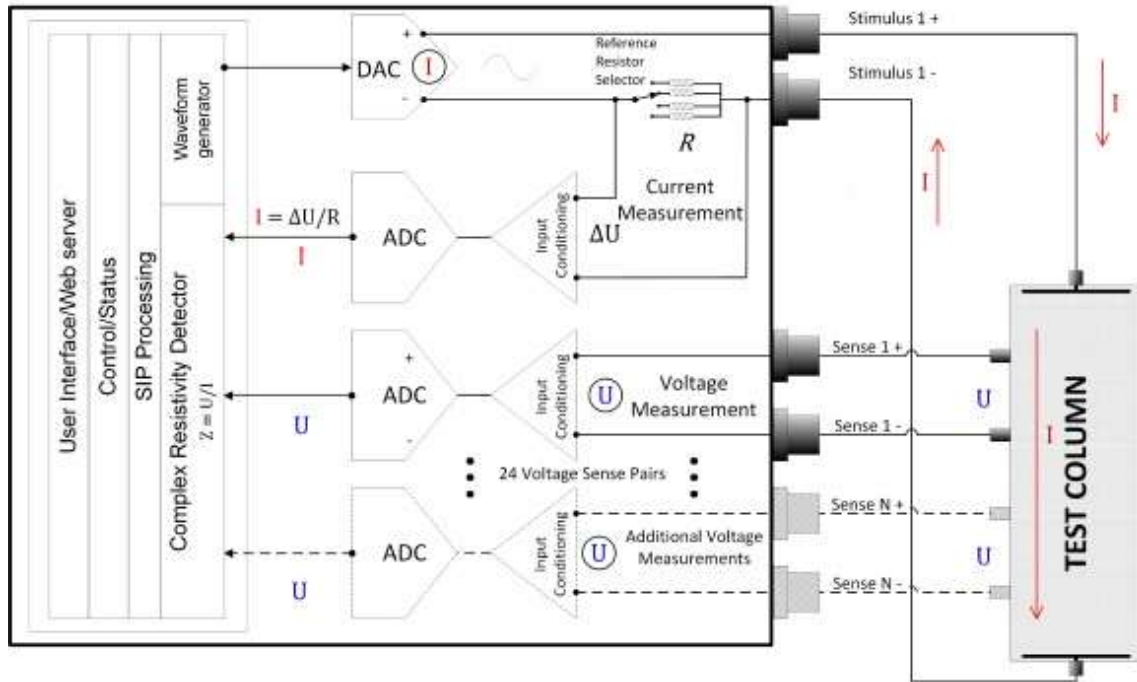
3.1 Εισαγωγή Προετοιμασία μηχανήματος και τρόπος λειτουργίας

Το μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκε για τους σκοπούς του πειράματος ονομάζεται Portable SIP Field/Lab Unit. Το SIP στο όνομα του μηχανήματος αντιστοιχεί σε Spectral Induced Polarization (Φασματικά Επαγόμενη Πόλωση). Κατασκευάστηκε από την εταιρία Ontash & Ermac σε συνεργασία με τον πανεπιστήμιο Rutgers και η κατασκευή του χρηματοδοτήθηκε από Εθνικό Επιστημονικό Ίδρυμα των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής.

Το PSIP είναι ένα όργανο γεωφυσικής πολλαπλών καναλιών με δυνατότητα χρήσης του στο εργαστήριο αλλά και στο πεδίο. Είναι ικανό να μετρήσει την φασματικά επαγόμενη πόλωση, την συμβατική αντίσταση, την επαγόμενη πόλωση και το δικό του ηλεκτρικό δυναμικό. Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζεται ενδεικτικά ένα διάγραμμα του τρόπου λειτουργίας και στησίματος του μηχανήματος εντός του εργαστηρίου και στην Εικόνα 3.2 φαίνεται μια πραγματική φωτογραφία του μηχανήματος. Η χρήση του μηχανήματος είναι εξαιρετικά φιλική προς το χρήστη καθώς το μόνο που χρειάζεται είναι ένα καλώδιο δικτύου, ώστε το μηχάνημα να αποκτήσει πρόσβαση στο διαδίκτυο. Μετά πρέπει απλά να συνδεθεί μια οθόνη στη θήρα VGA και πληκτρολόγιο και ποντίκι στη θήρα USB.

Για την έναρξη των μετρήσεων, ο χρήστης χρειάζεται να ανοίξει τον περιηγητή του διαδικτύου και να πληκτρολογήσει τον ακόλουθο σύνδεσμο :http://psip_ip_address, μόλις ολοκληρωθεί η σύνδεση ο χρήστης πλέον βλέπει τη κεντρική σελίδα ελέγχου του μηχανήματος όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.3. Αφότου επιλεγθεί το κανάλι μετρήσεων ανοίγει νέο παράθυρο οδηγώντας το χρήστη στο παράθυρο παρατήρησης της μέτρησης και ρύθμισης των παραμέτρων εκείνης όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.4 και Εικόνα 3.5. Η επιφάνεια χρήσης είναι εξαιρετικά εύχρηστη και επιτρέπει την εύκολη ρύθμιση των συχνοτήτων κτλ.

Μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων το μηχάνημα έχει δημιουργήσει ένα γράφημα και έχει ετοιμάσει τα δεδομένα όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.6 και Εικόνα 3.7. Επιπλέον είναι δυνατόν να επιλεγθεί η επιλογή "log file" ώστε να κατέβουν τα αρχεία καταγραφής. Η επιλογή αυτή βρίσκεται στο κάτω μέρος της σελίδας μετά τα δεδομένα και είναι ορατή στην Εικόνα 3.8. Στην Εικόνα 3.9 διακρίνονται τα δεδομένα σε αρχείο του προγράμματος Excel.




Εικόνα 3.1: Διάγραμμα λειτουργίας PSIP σε εργαστηριακό περιβάλλον.

<https://www.ontash.com/products.htm#PSIP>



Εικόνα 3.2: Portable SIP (Spectral Induced Polarization) Field / Lab Unit της εταιρίας Ontash & Ermac.



Ontash & Ermac PSIP TOOL

PSIP Unit Control

Restart PSIP Software :

Reboot PSIP Unit :

PSIP Firmware Update

[Click here to upload file](#)

Install Update :

PSIP Measurements

Stimulus Port-1 :

Stimulus Port-2 :

Stimulus Port-3 :

Stimulus Port-4 :

PSIP Processing

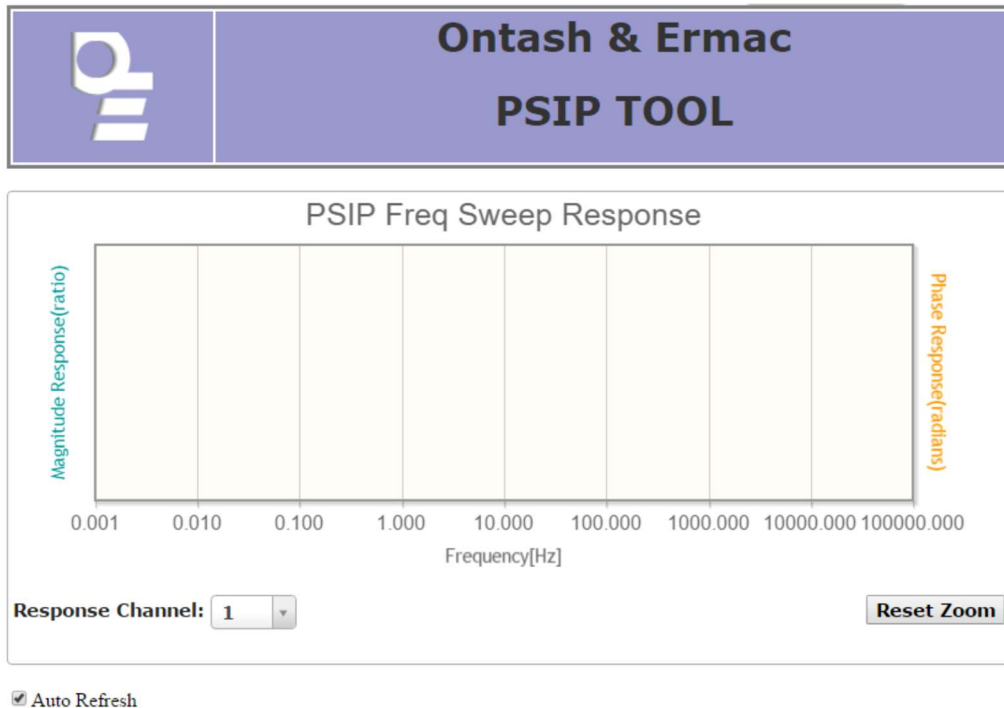
Time Calculator :

Logging

[Click here to view logs folder](#)

©2014 Ontash & Ermac, Inc.

Εικόνα 3.3: Κεντρική σελίδα ελέγχου του μηχανήματος από την οποία είναι δυνατόν να επιλεχθεί το κανάλι μετρήσεων ή να γίνουν οι απαραίτητες αναβαθμίσεις λογισμικού.



Εικόνα 3.4: Παράθυρο παρατήρησης της μέτρησης. Στον Χ άξονα είναι οι συχνότητες μετρούμενες σε Hz. Στον Υ άξονα είναι η απόκριση μεγέθους μετριέται σε ratio και η απόκριση φάσης που μετριέται σε radians.

Input

<p>Channel Selection</p> <p>Stimulus(Output) 1</p> <p>Response(Input) * 1 * 2</p>	<p>Sweep Settings</p> <p>Start Freq[Hz] 1000.000000</p> <p>Stop Freq[Hz] 0.100000</p> <p>No. of Steps 21</p> <p>Amplitude[V] 5.000000</p>	<p>Processing Settings</p> <p>Settle time[s] 1</p> <p>Settle cycles 1</p> <p>Integration time[s] 5</p> <p>Integration cycles 5</p>	<p>Other Settings</p> <p>Current Resistor[Ohms] 100.000000</p> <p>Loop Count 1</p> <p>External Trigger Sel None</p>
--	--	---	--

Log Settings

Log File Name Prefix:

User Comment :

Result

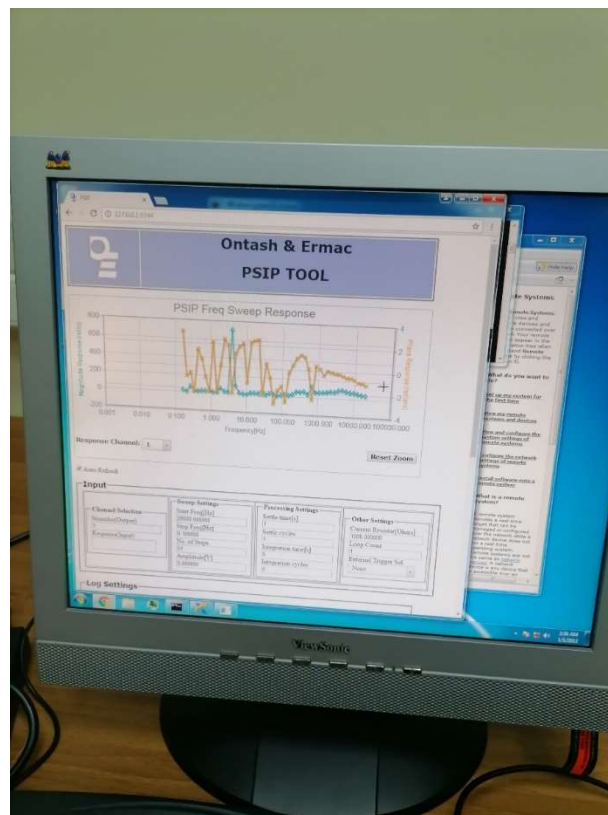
```
PSIP Results are displayed here
Time Elapsed = 0
Current Loop = 0
No. of Freq. tested = 0
```

Log Files

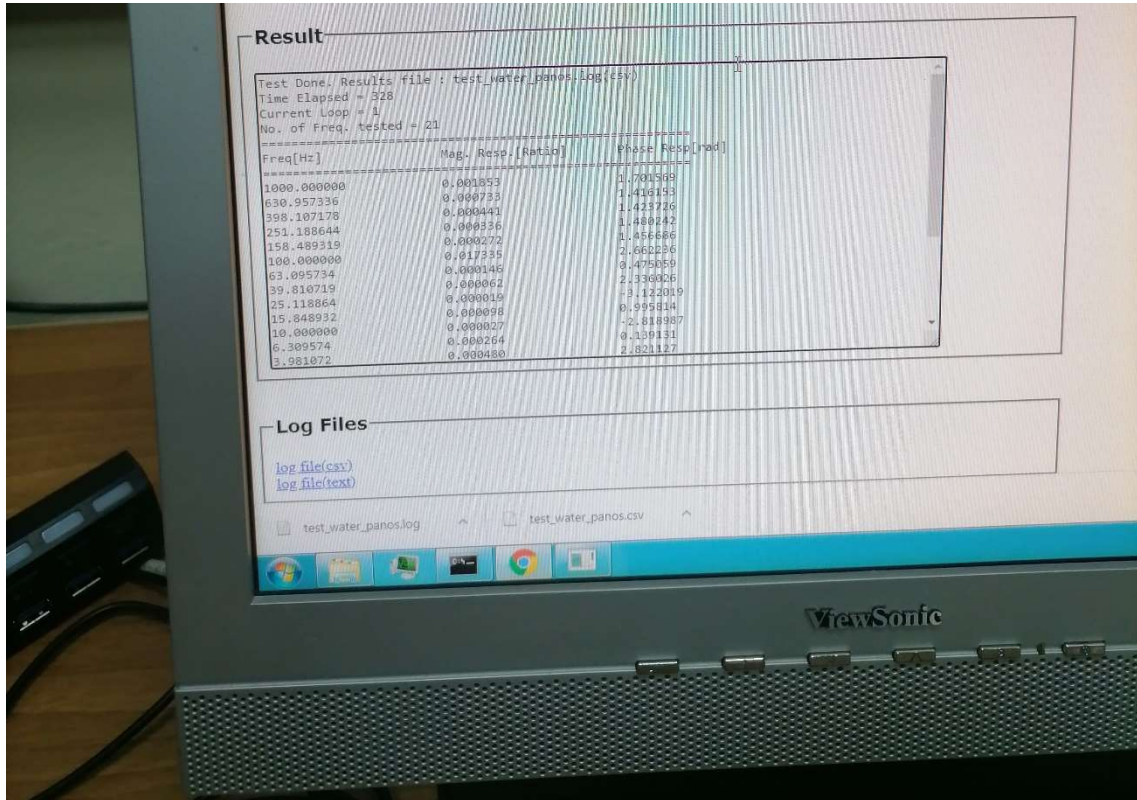
Help
[Click here for help](#)

©2014 Ontash & Ermac, Inc.

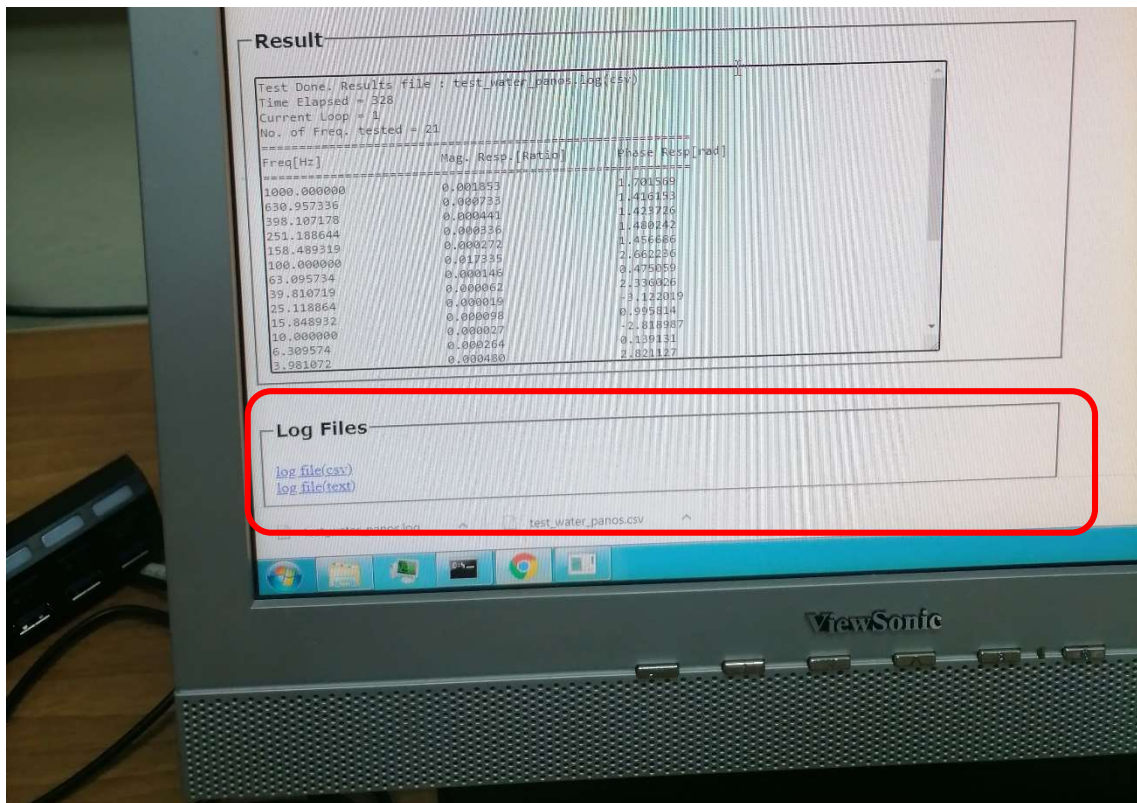
Εικόνα 3.5: Προεπιλεγμένες ρυθμίσεις μηχανήματος



Εικόνα 3.6: Γράφημα ολοκληρωμένης μέτρησης.

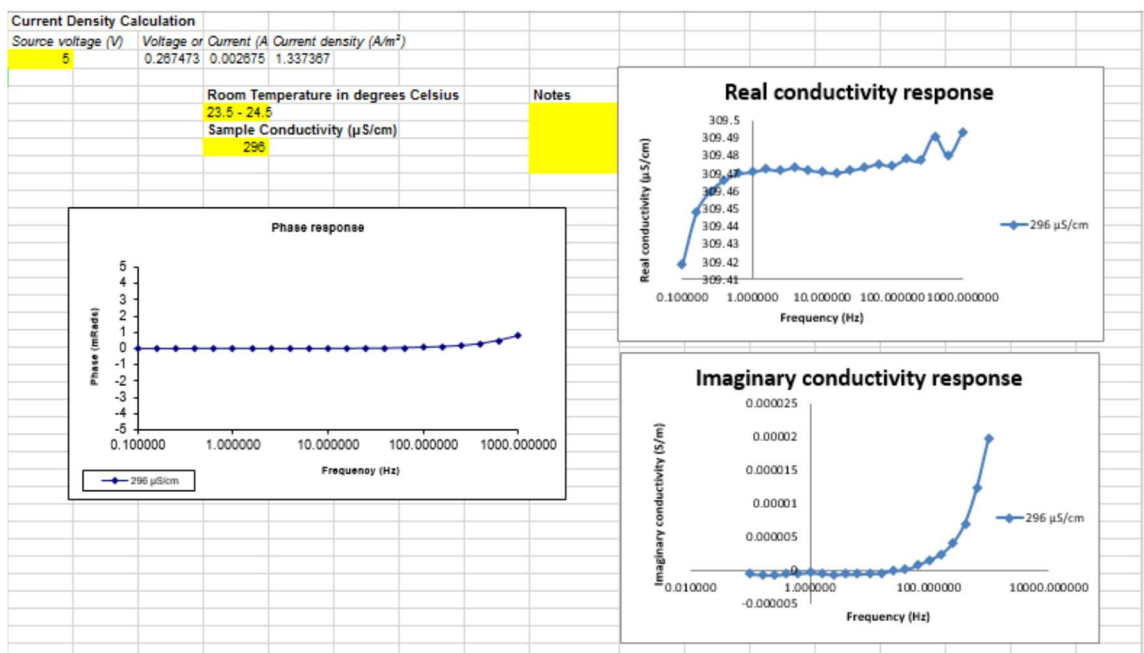


Εικόνα 3.8: Αποτελέσματα μέτρησης σε διάφορες συχνότητες.



Εικόνα 3.9: Επιλογή λήψης αρχείων καταγραφής των δεδομένων.

Sample name			resistance(Ohm)			100				
Length:	0.09	m								
Area:	0.002	m ²			0.001405305					
freq (Hz)	Phase (Rads)	mag(dB)	resistance	resistivity (Ohm-m)	Fluid C (μS/cm)	Phase (mRads)	Imag cond (S/m)	Real cond (S/m)	New K	
1000.000000	-0.000775	17.693445	1769.3445	39.31876667	254.331477	0.775	1.97107E-05	0.02543314	309.493148	
630.957345	-0.000483	17.694184	1769.4184	39.32040889	254.3208548	0.483	1.22837E-05	0.025432083	309.480222	
398.107171	-0.000276	17.693572	1769.3572	39.31904889	254.3296515	0.276	7.0195E-06	0.025432964	309.490927	
251.188644	-0.000162	17.694344	1769.4344	39.32076444	254.3185551	0.162	4.11996E-06	0.025431855	309.477424	
158.489320	-0.000097	17.694307	1769.4307	39.32068222	254.3190869	0.097	2.4669E-06	0.025431909	309.478071	
100.000000	-0.000062	17.694525	1769.4525	39.32116667	254.3159537	0.062	1.57676E-06	0.025431595	309.474258	
63.095735	-0.000031	17.694463	1769.4463	39.32102889	254.3168448	0.031	7.88382E-07	0.025431684	309.475343	
39.810717	-0.000005	17.694586	1769.4586	39.32130222	254.3150769	0.005	1.27158E-07	0.025431508	309.473191	
25.118864	-0.000001	17.694669	1769.4669	39.32148667	254.313884	0.001	2.54314E-08	0.025431388	309.47174	
15.848932	0.000014	17.69475	1769.475	39.32166667	254.3127199	-0.014	-3.56038E-07	0.025431272	309.470323	
10.000000	0.000016	17.694726	1769.4726	39.32161333	254.3130648	-0.016	-4.06901E-07	0.025431306	309.470743	
6.309573	0.000021	17.694661	1769.4661	39.32146889	254.313999	-0.021	-5.34059E-07	0.0254314	309.47188	
3.981072	0.000021	17.694578	1769.4578	39.32128444	254.3151919	-0.021	-5.34062E-07	0.025431519	309.473331	
2.511886	0.000022	17.694678	1769.4678	39.32150667	254.3137547	-0.022	-5.5949E-07	0.025431375	309.471582	
1.584893	0.000018	17.694632	1769.4632	39.32140444	254.3144158	-0.018	-4.57766E-07	0.025431442	309.472387	
1.000000	0.000011	17.694723	1769.4723	39.32160667	254.3131079	-0.011	-2.79744E-07	0.025431311	309.470795	
0.630957	0.000017	17.694778	1769.4778	39.32172889	254.3123175	-0.017	-4.32331E-07	0.025431232	309.469833	
0.398107	0.00002	17.694984	1769.4984	39.32218667	254.3093568	-0.02	-5.08619E-07	0.025430936	309.466231	
0.251189	0.000026	17.695345	1769.5345	39.32298889	254.3041687	-0.026	-6.61191E-07	0.025430417	309.459917	
0.158489	0.000023	17.696036	1769.6036	39.32452444	254.2942386	-0.023	-5.84877E-07	0.025429424	309.447833	
0.1	0.00002	17.697728	1769.7728	39.32828444	254.2699266	-0.02	-5.0854E-07	0.025426993	309.418248	
			1769.4748	39.32166286	254.3127445	AVE		0.025431274	309.470354	

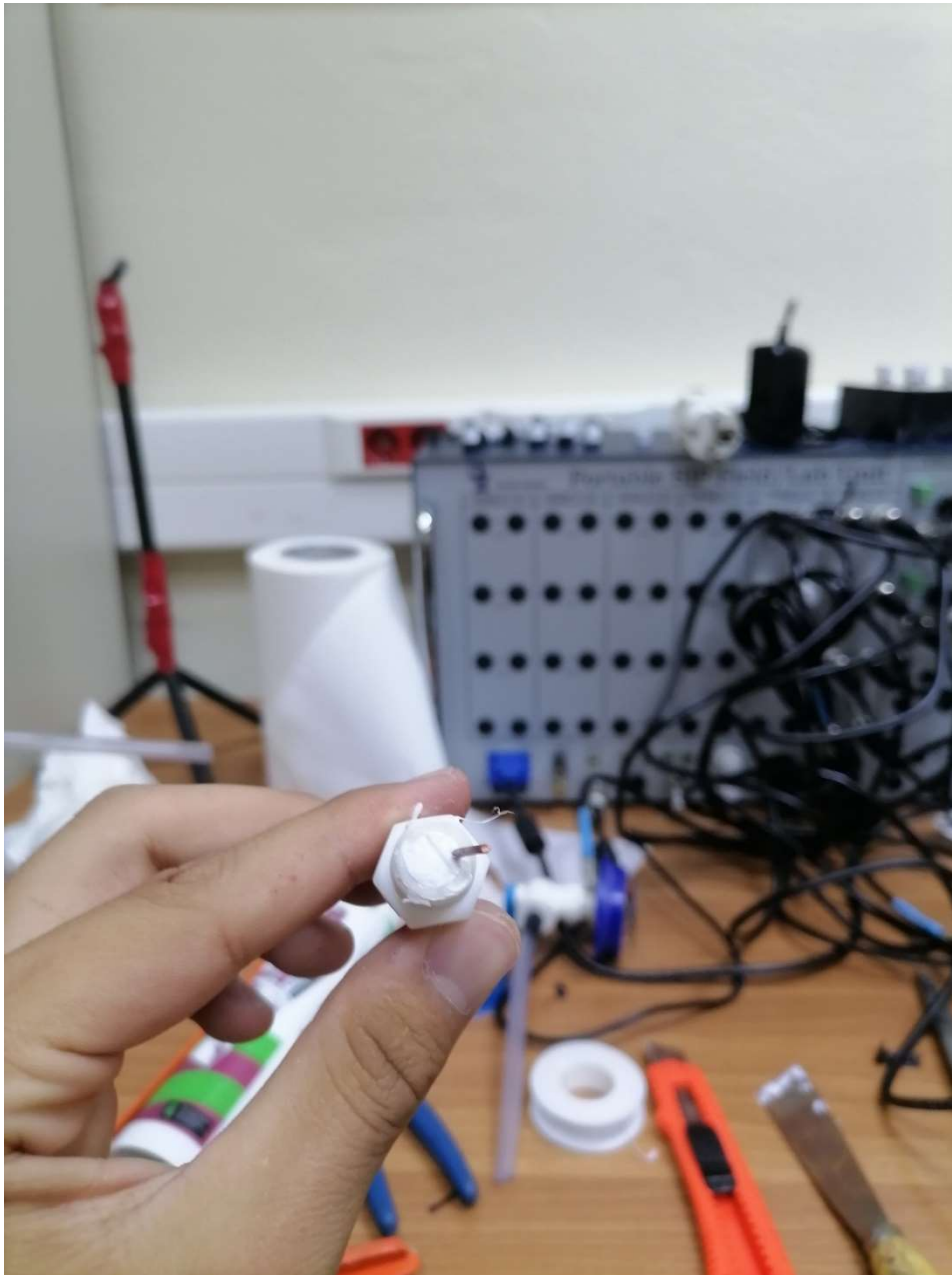


Εικόνα 3.10: Δεδομένα μετά από την επεξεργασία σε αρχείο του προγράμματος Excel.

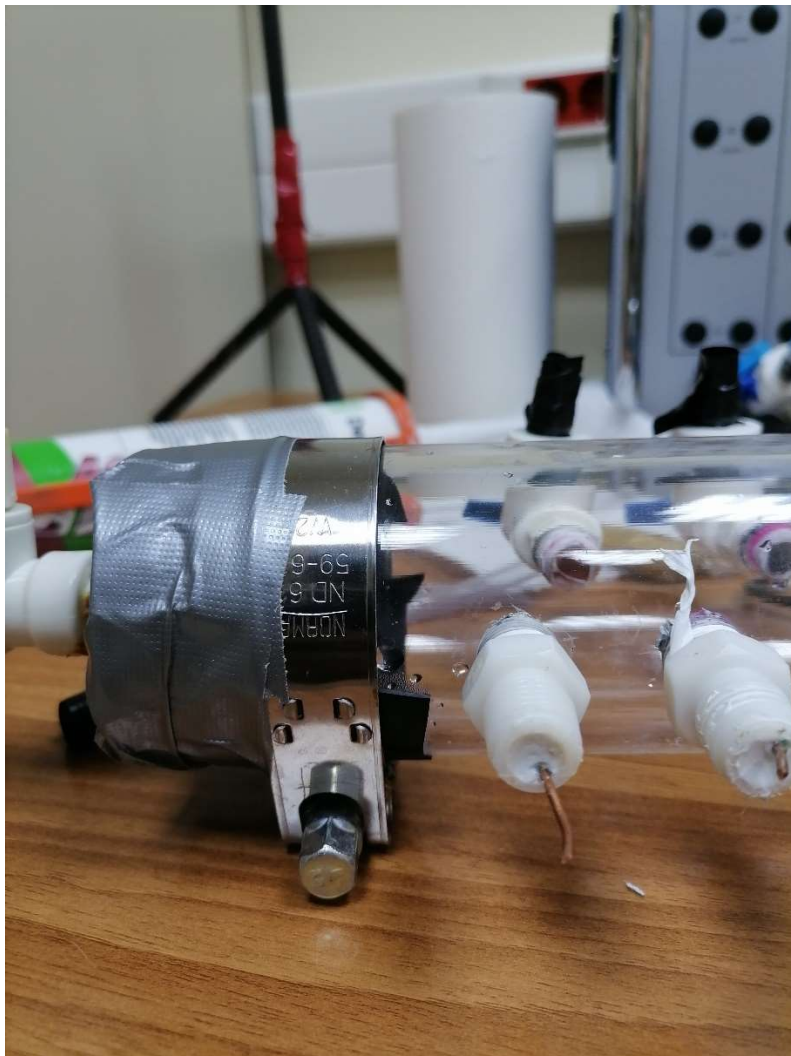
3.2 Προετοιμασία ηλεκτροδίων

Για την προετοιμασία των ηλεκτροδίων χρησιμοποιήθηκε χλωρίνη και χάλκινο σύρμα. Το σύρμα κόπηκε σε μήκος 10cm για κάθε θέση πάνω στη στήλη. Στη συνέχεια εμβαπτίστηκε για 30 λεπτά σε κοινή χλωρίνη μέχρι που απέκτησε μια γκριζα επιστρωση στην επιφάνεια του. Αυτή η διαδικασία δημιουργεί ένα στρώμα στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου, κάνοντας το να έχει μικρότερη ηλεκτρική αντίσταση (Stephen Lee & John Kruse., 2008)(Bates & Macaskill., 1954). Αφότου ετοιμάστηκαν τα ηλεκτρόδια τοποθετήθηκαν σε κομμάτια πλαστικού με σπειροειδής πλευρές ώστε να μπορούν να βιδωθούν πάνω στην στήλη. Παράδειγμα της ολοκλήρωσης του έργου

αυτού φαίνεται στην Εικόνα 3.11 και στην Εικόνα 3.12. Στην περιοχή που βιδώθηκαν χρησιμοποιήθηκε και τεφλόν για τη στεγανοποίηση του σημείου.



Εικόνα 3.11: Ηλεκτρόδιο τοποθετημένο σε πλαστικό κομμάτι έτοιμο να βιδωθεί στη στήλη. Για να συγκρατηθεί το ηλεκτρόδιο χρησιμοποιείτε αδιάβροχη σιλικόνη η οποία παράλληλα εξυπηρετεί και στην στεγανοποίηση.



Εικόνα 3.12: Ηλεκτρόδια βιδωμένα με τεφλόν πάνω στη στήλη για τη καλύτερη στεγανοποίηση του σημείου.

3.3 Κατασκευή στηλών

Για τη κατασκευή των στηλών χρησιμοποιήθηκαν διάφανοι πλαστικοί σωλήνες διαμέτρου 50mm και μήκους 250mm, οι οποίοι τρυπήθηκαν σε 5 σημεία από την μια πλευρά και σε 3 σημεία από την άλλη. Στη πλευρά που δημιουργήθηκαν οι 5 τρύπες θα τοποθετηθούν 4 ηλεκτρόδια και ένα βρυσάκι και από την άλλη πλευρά τρία βρυσάκια. Παράδειγμα της κατασκευής παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.13. Στην Εικόνα 3.14 φαίνεται ο τρόπος στεγανοποίησης της στήλης χρησιμοποιώντας ένα ειδικά διαμορφωμένο πώμα το οποίο διατρέχεται από ένα ηλεκτρόδιο και έχει επίσης ένα βρυσάκι για την εκτόνωση είτε του αέρα είτε του νερού εντός της στήλης. Γύρω από το πώμα φαίνεται τυλιγμένη ταινία τεφλόν, το οποίο είναι ένα οργανικό πολυμερές που χρησιμοποιείται για την καλύτερη στεγανοποίηση υλικών. Τέλος έγινε η τοποθέτηση

των ηλεκτροδίων πάνω στο σωλήνα. Τα ηλεκτρόδια τοποθετήθηκαν μέσα σε σπειροειδές πλαστικό ώστε να μπορούν να βιδωθούν πάνω στη στήλη και συγκρατούνται από αδιάβροχη σιλικόνη μέσα σε αυτό. Στην Εικόνα 3.15 φαίνονται τοποθετημένα πάνω στη στήλη και στην Εικόνα 3.16 παρουσιάζεται το ολοκληρωμένο αποτέλεσμα πάνω σε ένα μεταλλικό τρίποδο και συνδεδεμένο στο μηχάνημα.



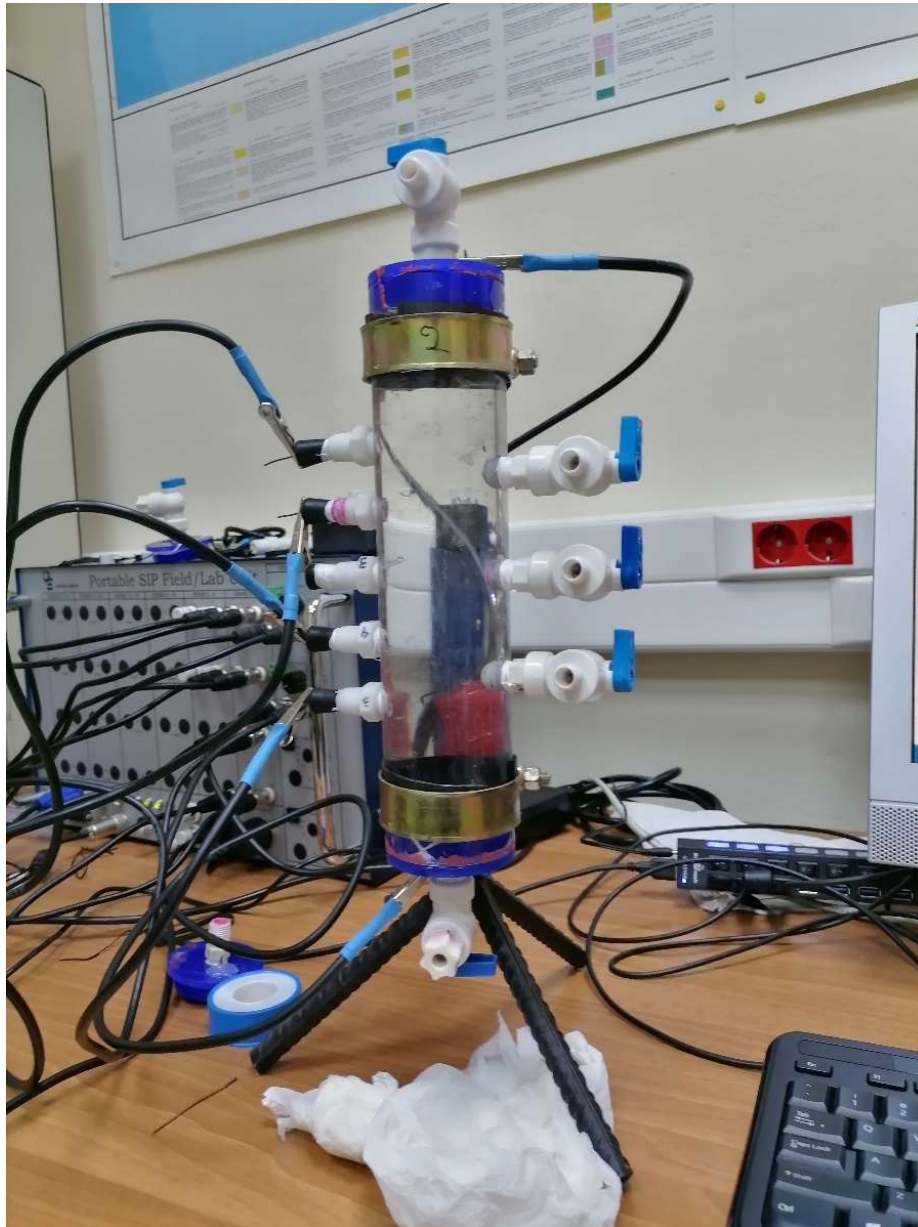
Εικόνα 3.13: Πλαστική στήλη με τοποθετημένα βρυσάκια για τον έλεγχο του επιπέδου των υγρών εντός, τα ηλεκτρόδια δεν έχουν τοποθετηθεί ακόμα.



Εικόνα 3.14: Πώμα στήλης μετρήσεων το οποίο διαπερνάτε από ηλεκτρόδιο και έχει βρυσάκι για την εκτόνωση του νερού και του αέρα εντός της στήλης. Η λευκή γραμμή που φαίνεται στο εσωτερικό του σωλήνα είναι το τεφλόν το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την στεγανοποίηση του πώματος.



Εικόνα 3.15: Ολοκληρωμένη στήλη με ηλεκτρόδια και βρυσάκια.



Εικόνα 3.16: Η ολοκληρωμένη στήλη διαθέτει δύο ομάδες ηλεκτροδίων στο πλάι, ένα ηλεκτρόδιο σε κάθε πώμα καθώς και δύο βρυσάκια και άλλα τρία βρυσάκια στο πλάι. Στην συγκεκριμένη φωτογραφία είναι συνδεδεμένη με το μηχάνημα *PSIP*.

3.4 Βαθμονόμηση μηχανήματος *PSIP*

Για τη βαθμονόμηση του μηχανήματος χρησιμοποιήθηκαν διαλύματα χλωριούχου καλίου γνωστής συγκέντρωσης. Η προετοιμασία και κατασκευή τους έγινε στο χώρο του εργαστηρίου Εδαφολογίας του τμήματος Γεωπονίας του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου με υπεύθυνο καθηγητή τον κύριο Τζανακάκη. Στον Πίνακα 1 φαίνεται η σύσταση των διαλυμάτων που κατασκευάστηκαν.

Πίνακας 1: Σύσταση γνωστών διαλυμάτων

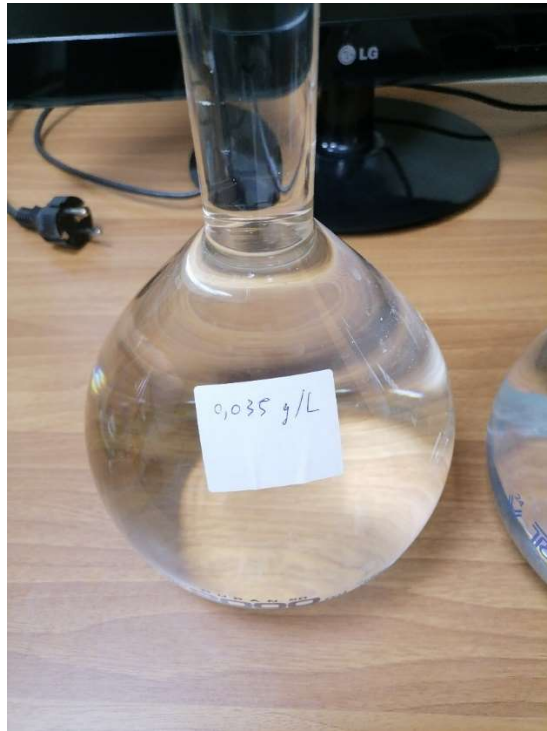
Αγωγιμότητα	Μοριακότητα	Αντοχή (στους 25°C)
147 $\mu\text{S}/\text{m}$	0.001M	$\pm 5\mu\text{S}/\text{m}$
1413 $\mu\text{S}/\text{m}$	0.01M	$\pm 12\mu\text{S}/\text{m}$
12,88 $\mu\text{S}/\text{m}$	0.1M	$\pm 0.11\mu\text{S}/\text{m}$

Για τις μετρήσεις ετοιμάστηκαν τρία διαλύματα συγκεντρώσεων 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τα κατασκευασμένα διαλύματα και η σύσταση τους φαίνεται στον Πίνακα 2.

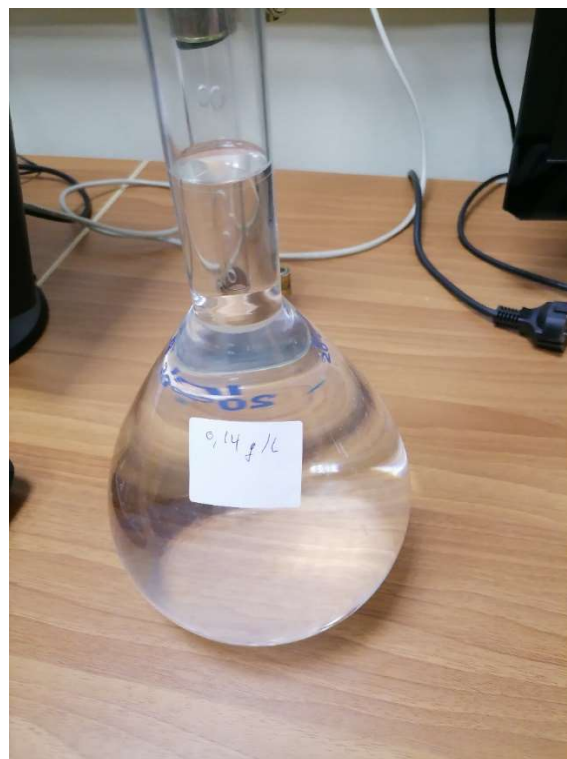
Πίνακας 2: Σύσταση των ετοιμασμένων διαλυμάτων.

Ποσότητα KCL (gr/L)	Μοριακότητα	Αγωγιμότητα
0.035 gr/L KCl	0.00047 M	70 $\mu\text{S}/\text{cm}$
0.14 gr/L KCl	0.002 M	300 $\mu\text{S}/\text{cm}$
0.45 gr/L KCl	0.0061 M	900 $\mu\text{S}/\text{cm}$

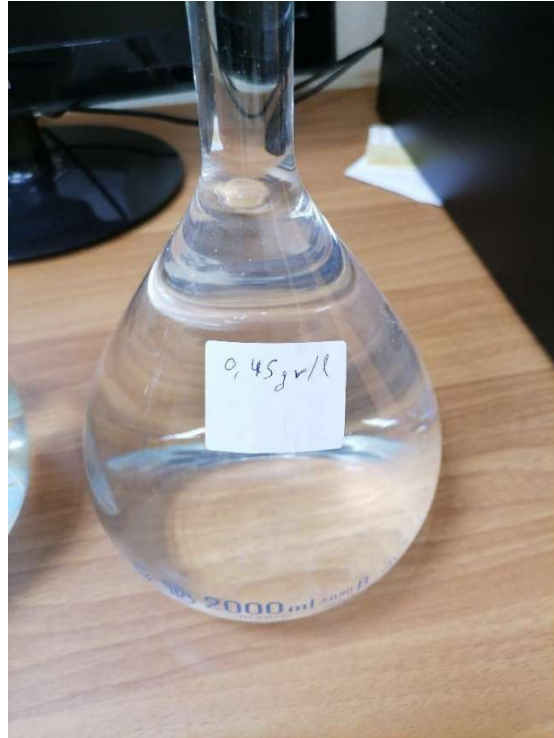
Τα διαλύματα κατασκευάστηκαν σε ελεγχόμενο εργαστηριακό χώρο σε θερμοκρασίες 20 με 25 βαθμούς Κελσίου. Μετά την προετοιμασία τους τα διαλύματα τοποθετήθηκαν σε γυάλινες κωνικές φιάλες όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.17, Εικόνα 3.18 και Εικόνα 3.19.



Εικόνα 3.17: Διάλυμα συγκέντρωσης 0.035 KCL/L.



Εικόνα 3.18: Διάλυμα συγκέντρωσης 0.14 KCL/L.



Εικόνα 3.19: Διάλυμα συγκέντρωσης 0.45 KCL/L.

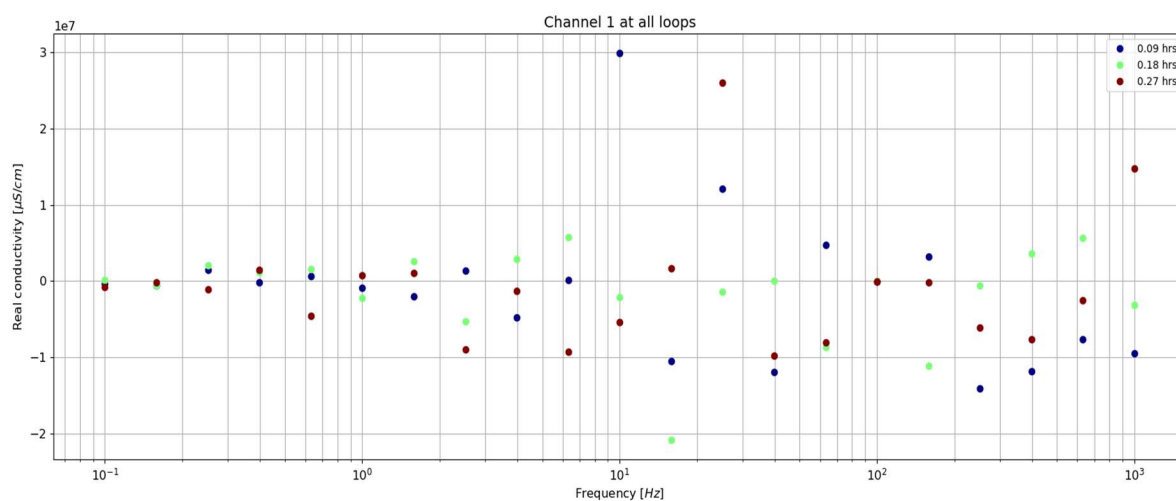
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

4.1 Γενικά

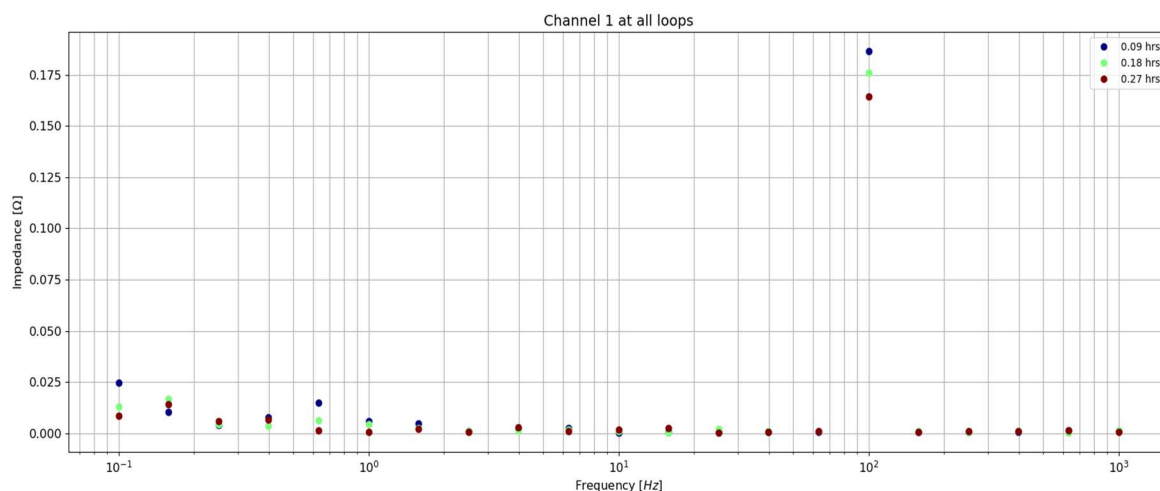
Για την παραγωγή των ακόλουθων αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το μηχάνημα *PSIP Unit* και στην συνέχεια η επεξεργασία των δεδομένων έγινε στο πρόγραμμα *Excel* και στο πρόγραμμα *SIPy*.

4.2 Αποτελέσματα μετρήσεων διαφόρων υδάτων

Οι πρώτες μετρήσεις που έγιναν ήταν εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν τα διαλύματα χλωριούχου καλίου. Τα διαλύματα μετρήθηκαν με αύξουσα σειρά ξεκινώντας από το διάλυμα με συγκέντρωση 0,035 KCL (Εικόνα 4.1, Εικόνα 4.2).

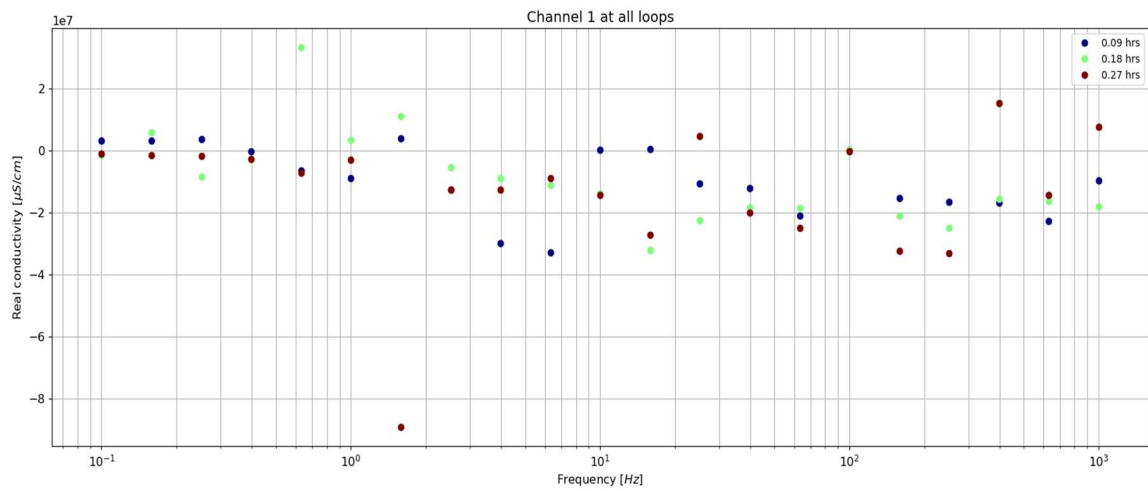


Εικόνα 4.1: Στο γράφημα αυτό φαίνεται η πραγματική αγωγιμότητα του διαλύματος KCL με συγκέντρωση 0,035M σε διάστημα 27 λεπτών.

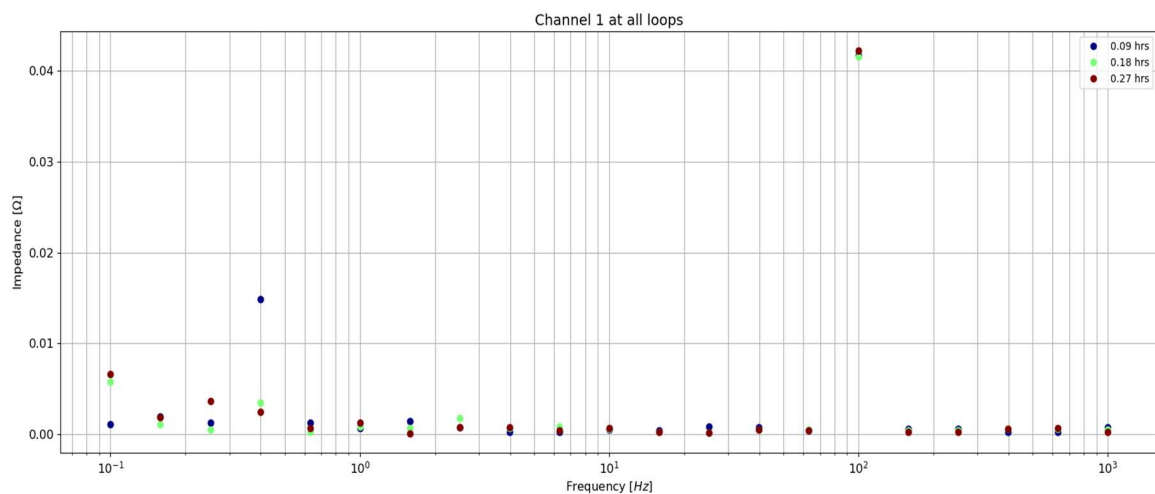


Εικόνα 4.2: Στο γράφημα αυτό παρουσιάζεται η αντίσταση του διαλύματος KCL συγκέντρωσης 0,035M σε διάστημα 27 λεπτών.

Το δεύτερο διάλυμα που αναλύθηκε ήταν συγκέντρωσης 0,14M KCL. Τα αποτελέσματα από αυτό φαίνονται παρακάτω (Εικόνα 4.3, Εικόνα 4.4).

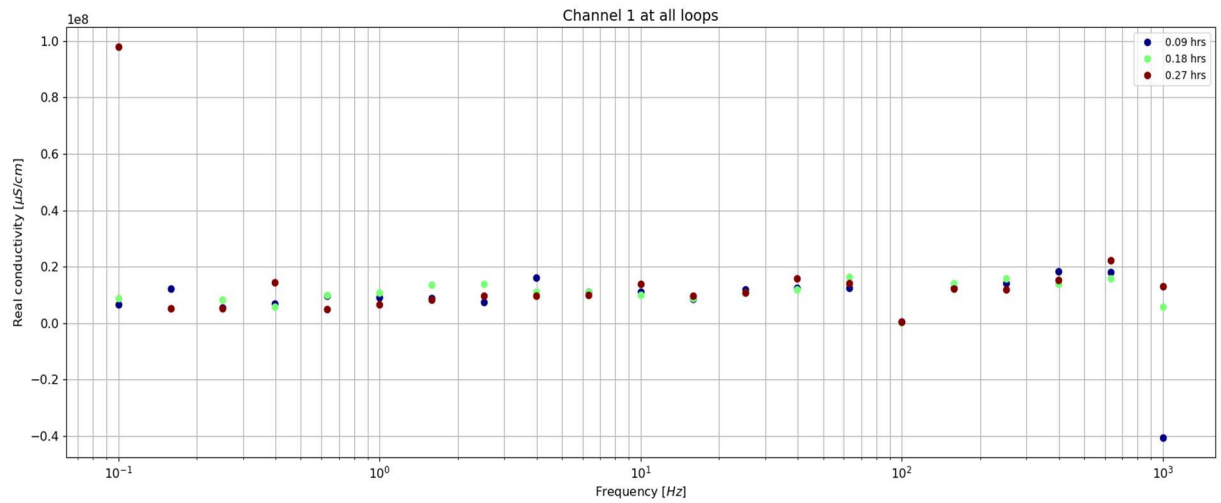


Εικόνα 4.3: Στο διάγραμμα φαίνεται η πραγματική αγωγιμότητα διαλύματος KCL συγκέντρωσης 0,14M σε 27 λεπτά.

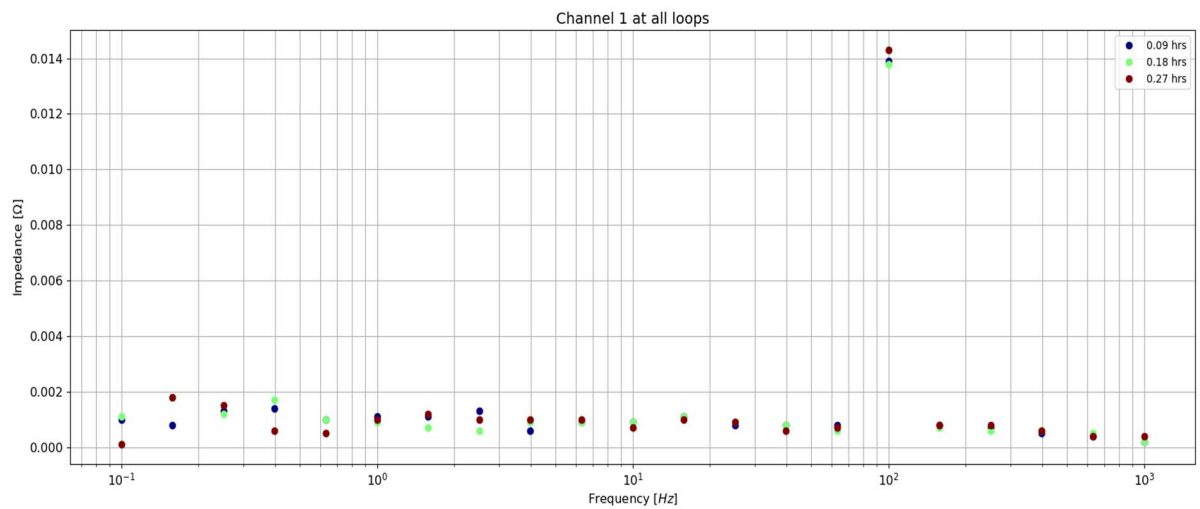


Εικόνα 4.4: Στο διάγραμμα φαίνεται η αντίσταση του διαλύματος KCL συγκέντρωσης 0,14M σε 27 λεπτά.

Τέλος το τελευταίο διάλυμα KCL που χρησιμοποιήθηκε ήταν της συγκέντρωσης των 0,45M (Εικόνα 4.5, Εικόνα 4.6).

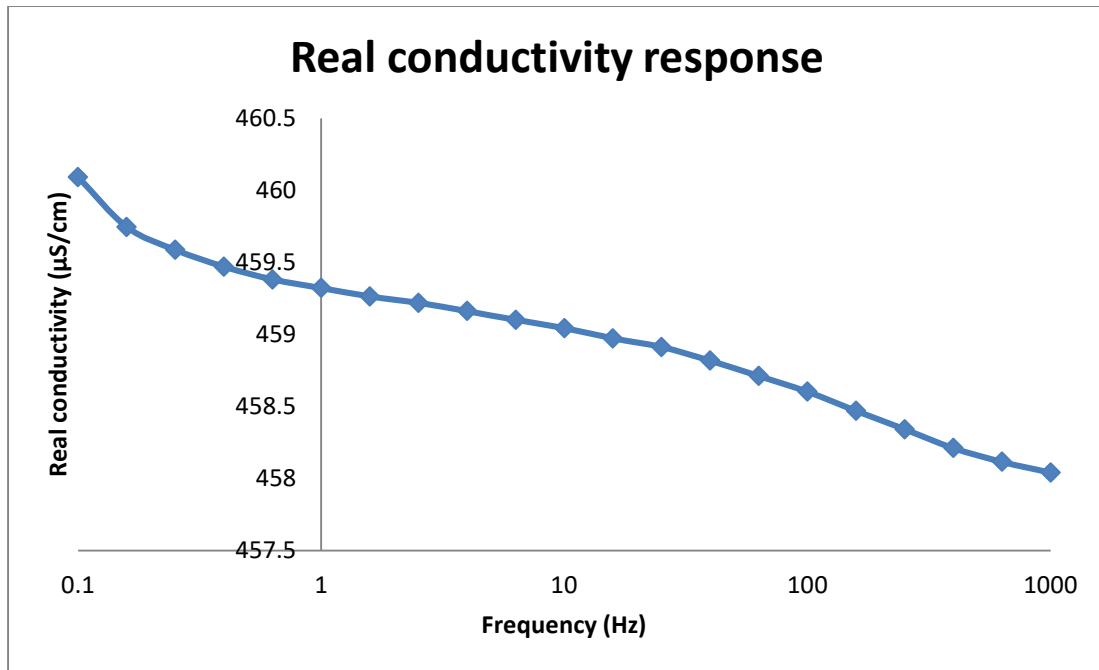


Εικόνα 4.5: Πραγματική αγωγιμότητα διαλύματος 0,45M KCL σε χρονικό διάστημα 27 λεπτών.

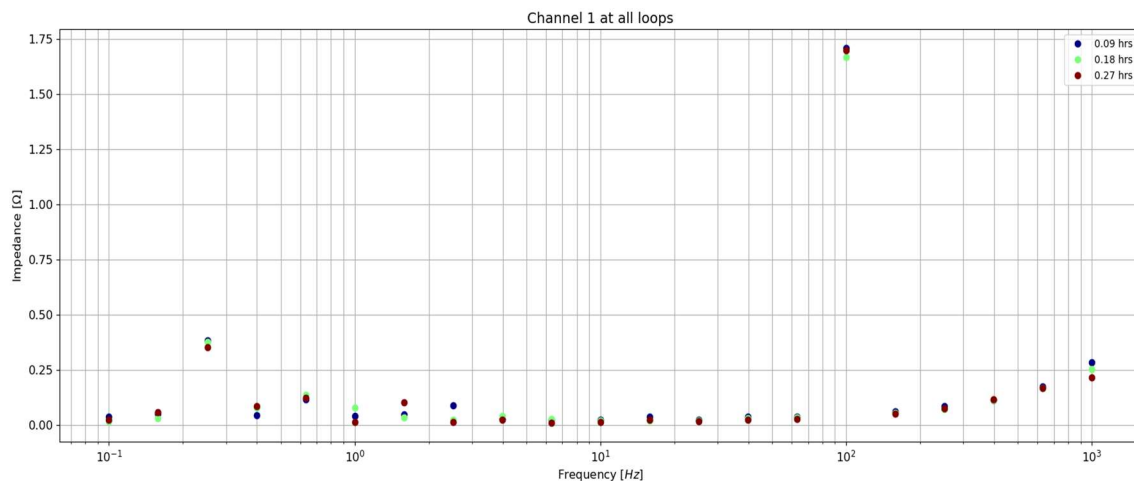


Εικόνα 4.6: Αντίσταση διαλύματος 0,45M KCL σε χρονικό διάστημα 27 λεπτών.

Με την ολοκλήρωση της τελευταίας μέτρησης του χλωριούχου καλίου το μηχάνημα είχε βαθμονομηθεί επιτρέποντας την μέτρηση και άλλων υγρών. Το υγρό που χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια ήταν κοινό νερό βρύσης (Εικόνα 4.7, Εικόνα 4.8).

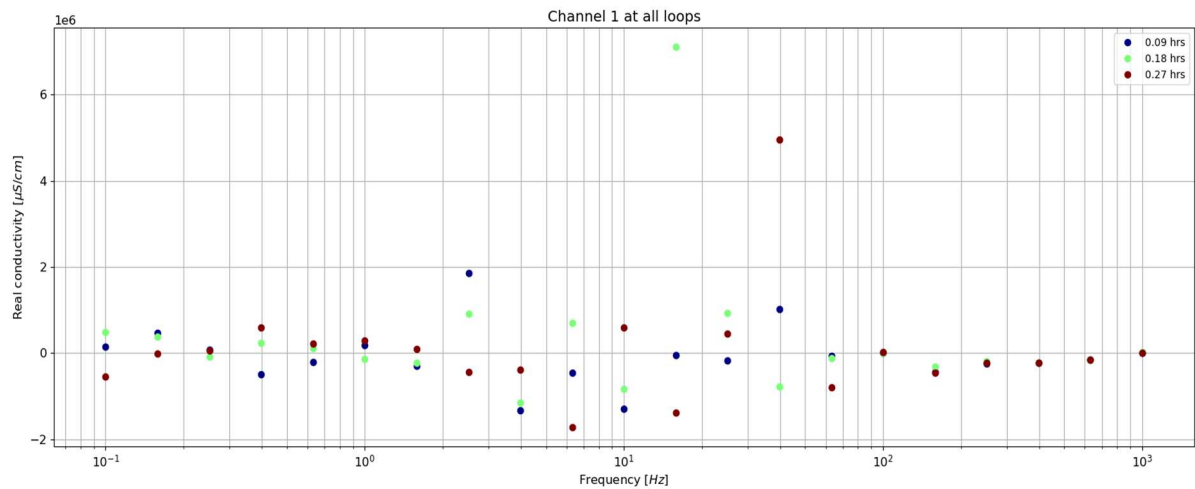


Εικόνα 4.7: Πραγματική αγωγιμότητα νερού βρύσης σε χρονικό διάστημα 27 λεπτών. Σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.

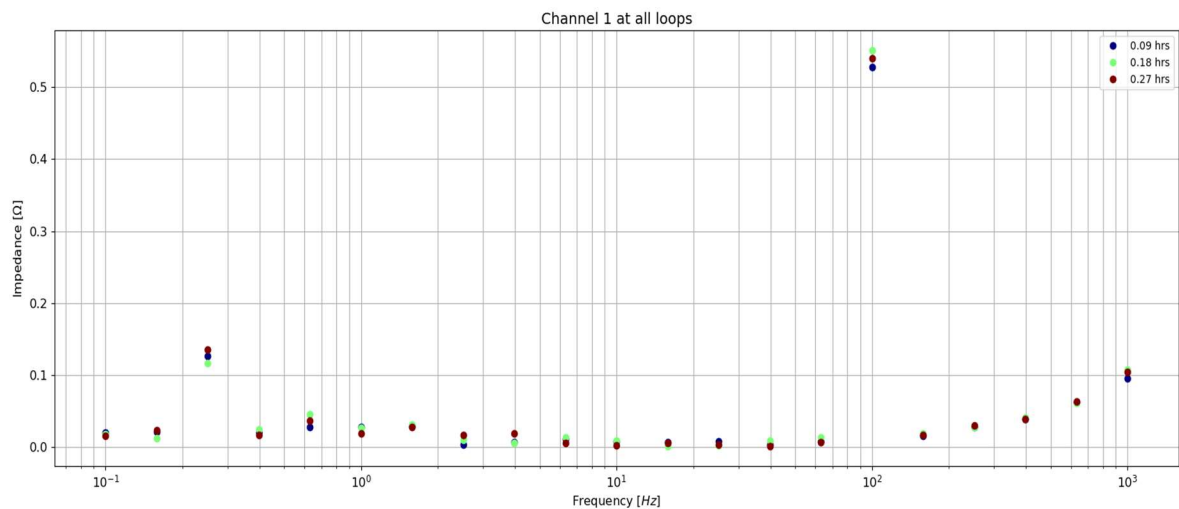


Εικόνα 4.8: Αντίσταση νερού βρύσης σε χρονικό διάστημα 27 λεπτών.

Το επόμενο είδος νερού που χρησιμοποιήθηκε ήταν το νερό που λήφθηκε από την περιοχή του Αλμυρού Ποταμού. Το πρώτο δείγμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν από το πρώτο σημείο δειγματοληψίας στην αρχή του ποταμού δίπλα από το φράγμα (Εικόνα 4.9, Εικόνα 4.10).

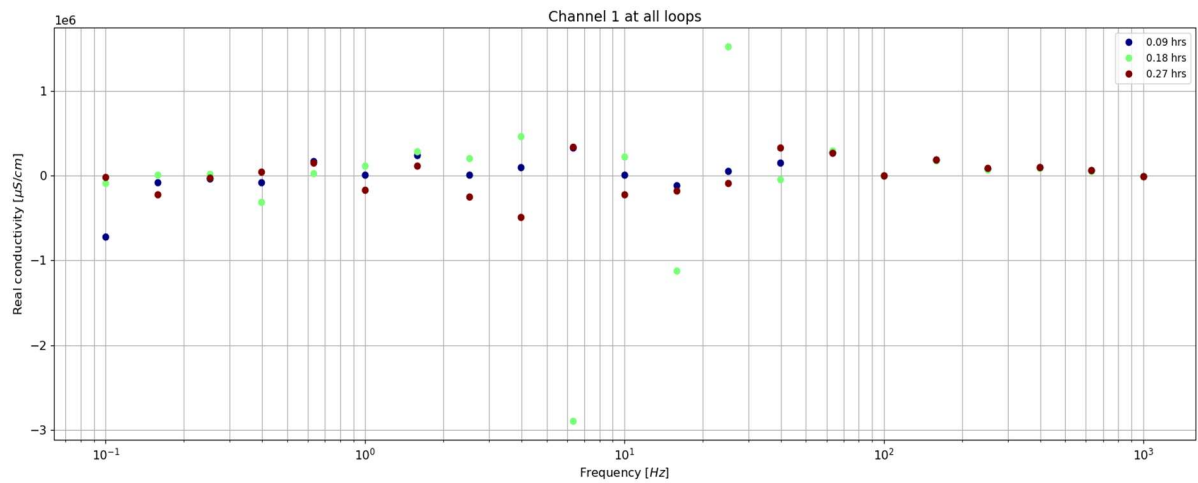


Εικόνα 4.9: Πραγματική αγωγιμότητα του νερού του Αλμυρού ποταμού από το 1ο σημείο δειγματοληψίας στην αρχή του ποταμού. Η μέτρηση χρειάστηκε 27 λεπτά για να ολοκληρωθεί.

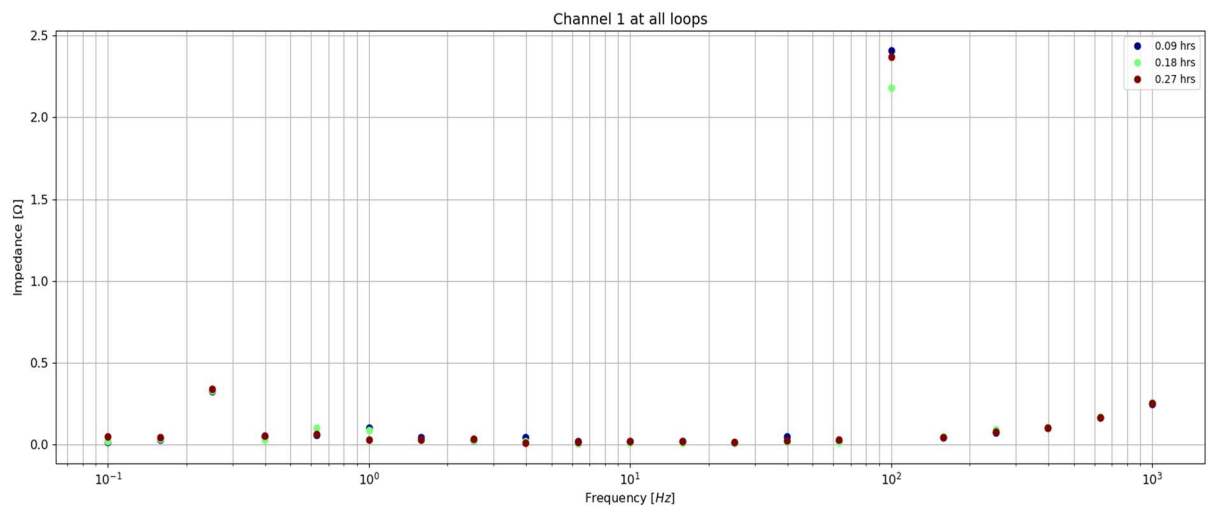


Εικόνα 4.10: Αντίσταση του νερού του Αλμυρού ποταμού από το πρώτο σημείο δειγματοληψίας στην αρχή του ποταμού. Η μέτρηση χρειάστηκε 27 λεπτά για να ολοκληρωθεί.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το 2^ο δείγμα από τον Αλμυρό ποταμό το οποίο συλλέχθηκε από το 2^ο σημείο δειγματοληψίας (Εικόνα 4.11, Εικόνα 4.12).

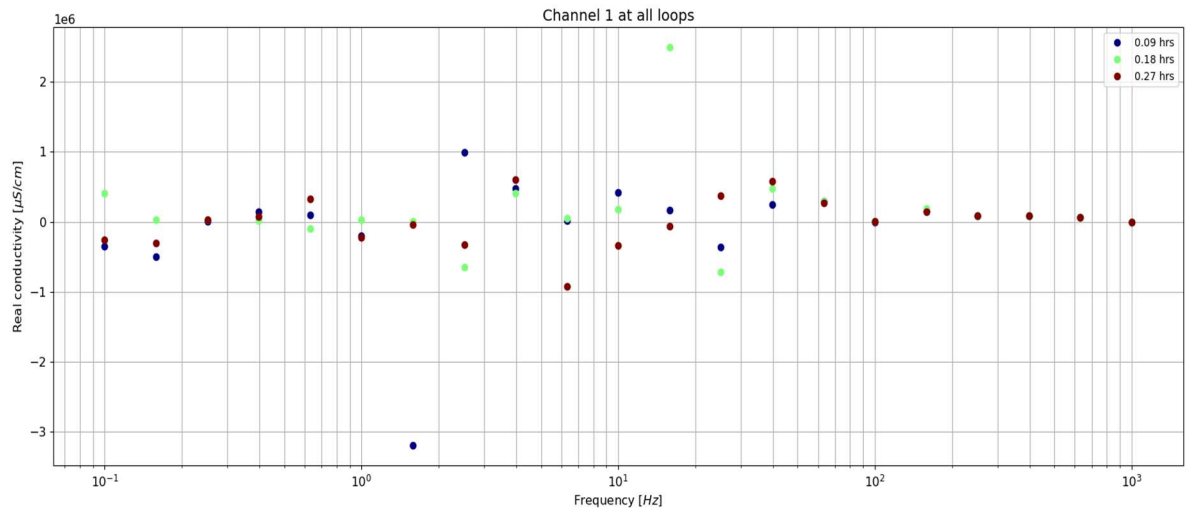


Εικόνα 4.11: Πραγματική αγωγιμότητα νερού από το 2ο σημείο δειγματοληψίας στον Αλμυρό ποταμό. Η μέτρηση διήρκησε 27 λεπτά.

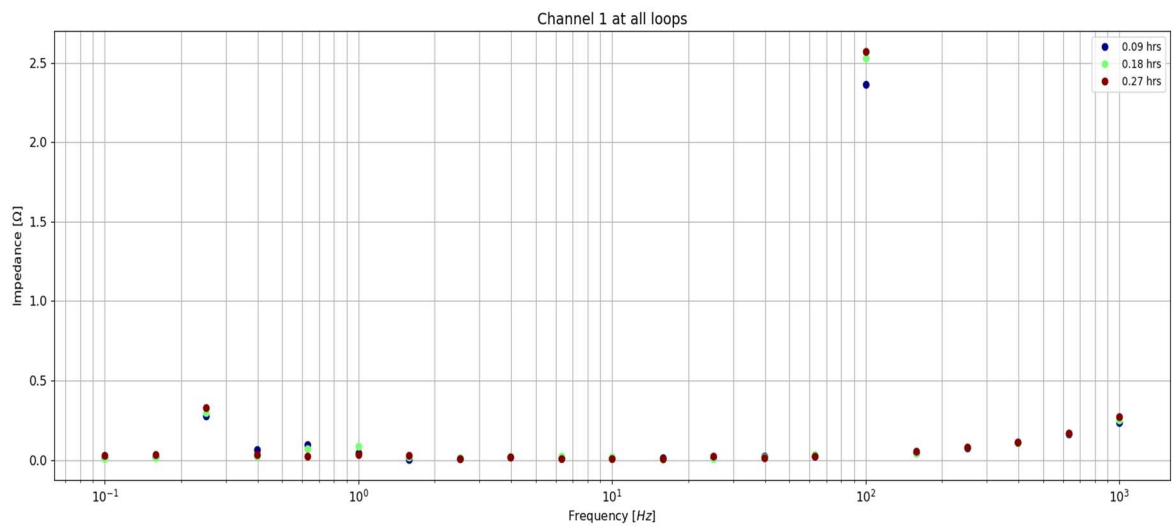


Εικόνα 4.12: Αντίσταση νερού από το 2ο σημείο δειγματοληψίας στον Αλμυρό ποταμό. Η μέτρηση διήρκησε 27 λεπτά.

Η 3^η μέτρηση που έγινε ήταν από το δείγμα που προήλθε από το 3^ο σημείο δειγματοληψίας στον Αλμυρό ποταμό. Τα αποτελέσματα της μέτρησης παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 4.13, Εικόνα 4.14).

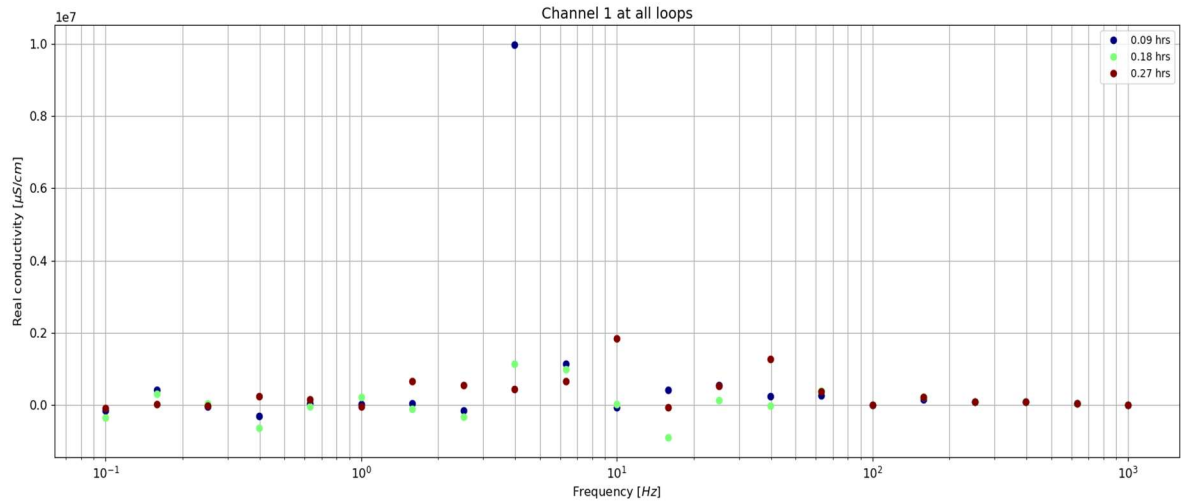


Εικόνα 4.13: Πραγματική αγωγιμότητα νερού Αλμυρού ποταμού από το σημείο δειγματοληψίας 3. Για την ολοκλήρωση της μέτρησης χρειάστηκαν 27 λεπτά.

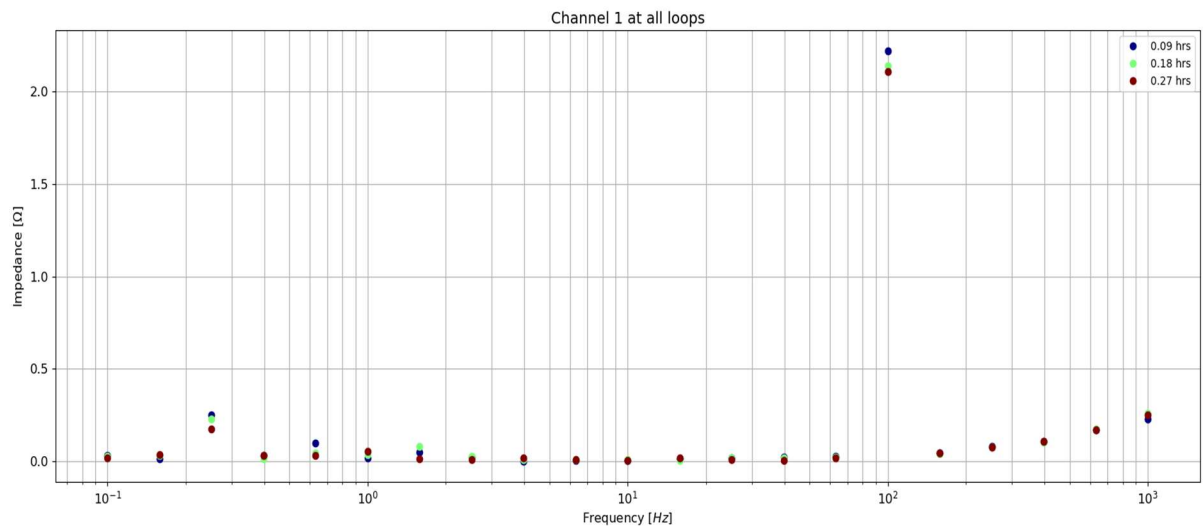


Εικόνα 4.14: Αντίσταση νερού Αλμυρού ποταμού από το σημείο δειγματοληψίας 3. Η μέτρηση διήρκεσε 27 λεπτά.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στη συνέχεια ανήκουν στο 4^ο δείγμα που μετρήθηκε. Χαρακτηριστικό του 4^{ου} σημείου δειγματοληψίας είναι ότι είναι στην εκβολή του ποταμού πριν ακόμα όμως το νερό του ποταμού αναμειχθεί εμφανώς με της θάλασσας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.15 και Εικόνα 4.16.

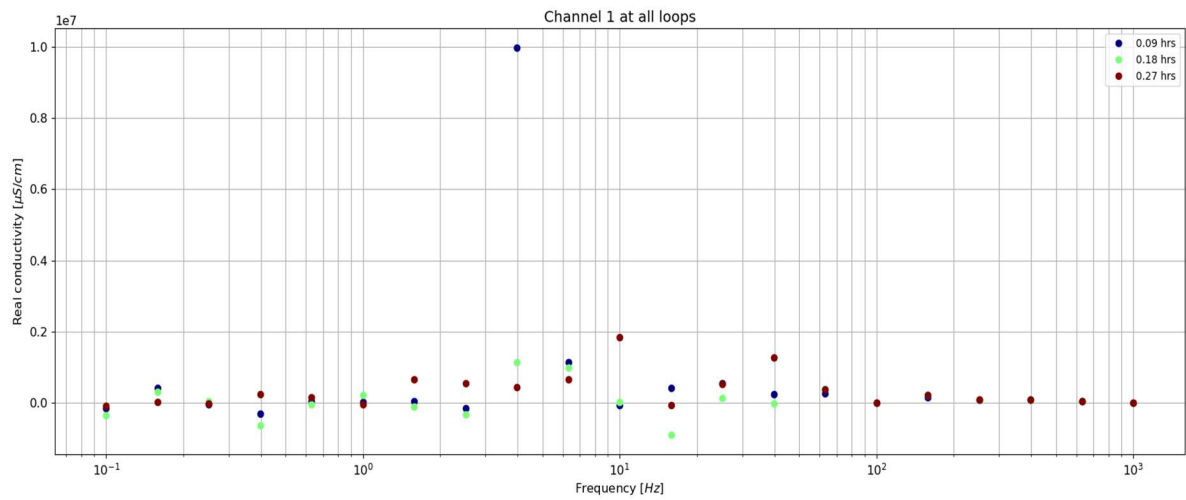


Εικόνα 4.15: Πραγματική αγωγιμότητα νερού Αλμυρού ποταμού από το σημείο δειγματοληψίας 4. Για την ολοκλήρωση της μέτρησης χρειάστηκαν 27 λεπτά.

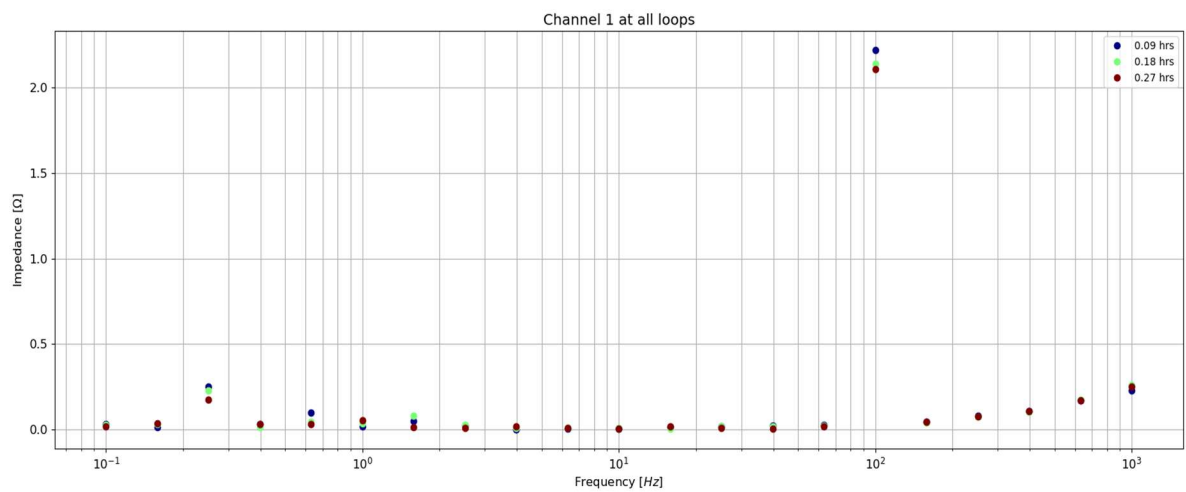


Εικόνα 4.16: Αντίσταση νερού από το 4ο σημείο δειγματοληψίας του Αλμυρού ποταμού. Για την ολοκλήρωση της μέτρησης χρειάστηκαν 27 λεπτά.

Το 5^ο και τελευταίο δείγμα όσον αφορά τα ύδατα του Αλμυρού ποταμού λήφθηκε από την εκβολή του ποταμού μέσα στην θάλασσα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του δείγματος παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 4.17, Εικόνα 4.18).

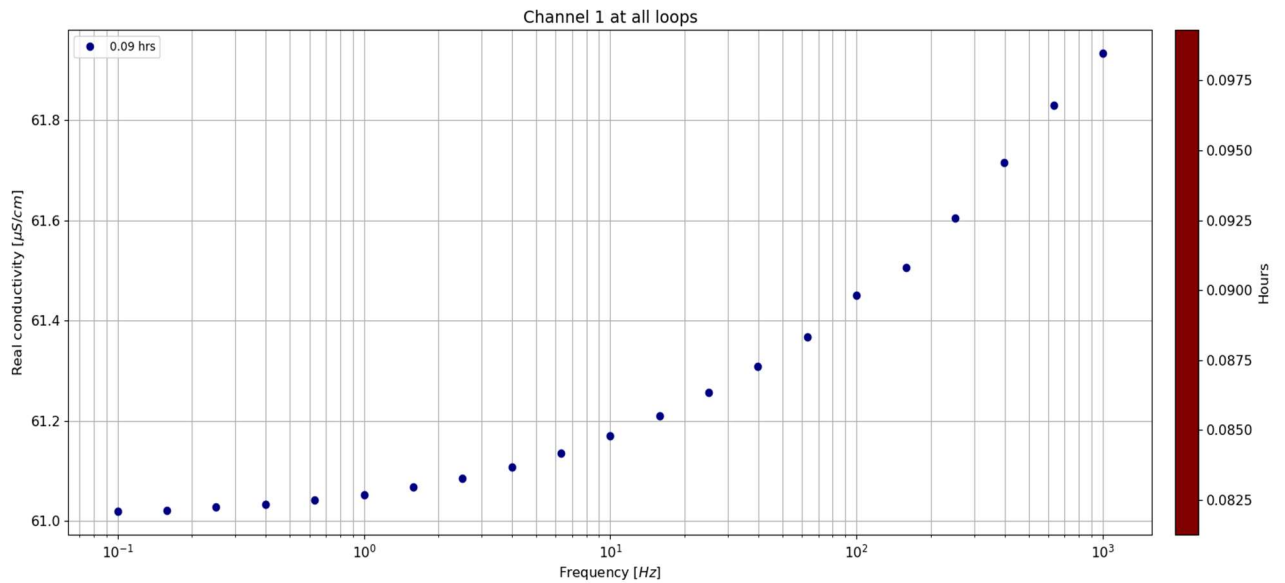


Εικόνα 4.17: Αγωγημότητα θαλασσινού νερού από την εκβολή του ποταμού Αλμυρού. Η μέτρηση ολοκληρώθηκε σε 27 λεπτά.



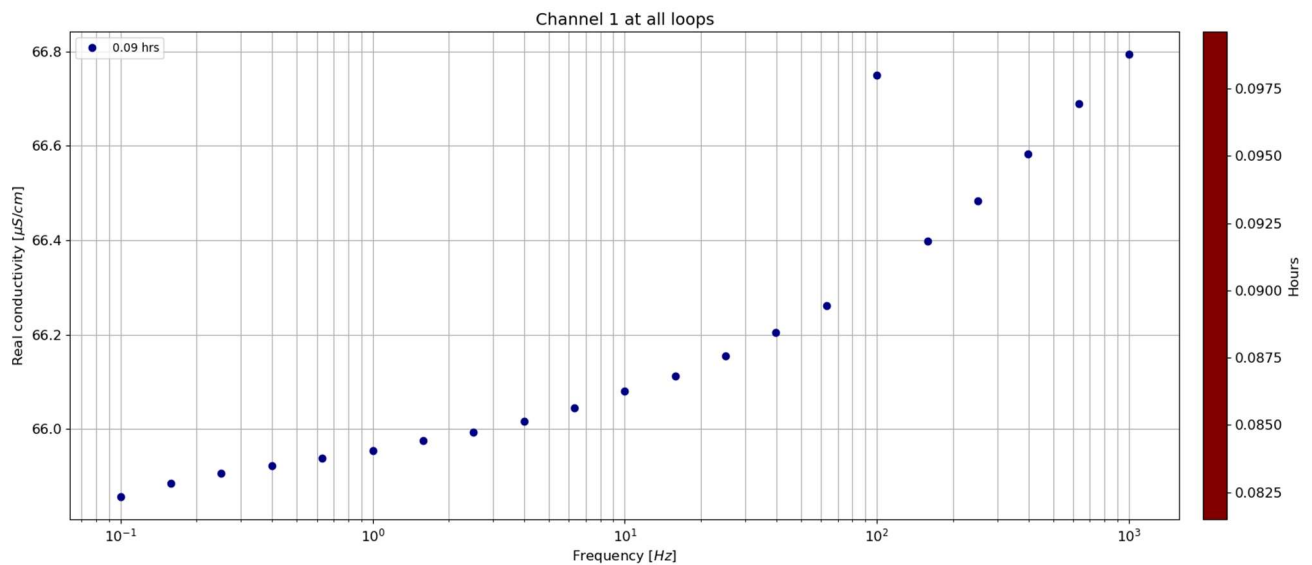
Εικόνα 4.18: Αντίσταση νερού θάλασσας από την εκβολή του ποταμού Αλμυρού. Η μέτρηση ολοκληρώθηκε σε 27 λεπτά.

Η επόμενη περιοχή από την οποία έγινε δειγματοληψία ήταν το ποτάμι στο φαράγγι του Καρτερού. Η δειγματοληψία χωρίστηκε σε τέσσερα σημεία. Το 1^ο σημείο δειγματοληψίας ήταν στην είσοδο στον φαράγγι (Εικόνα 4.19).



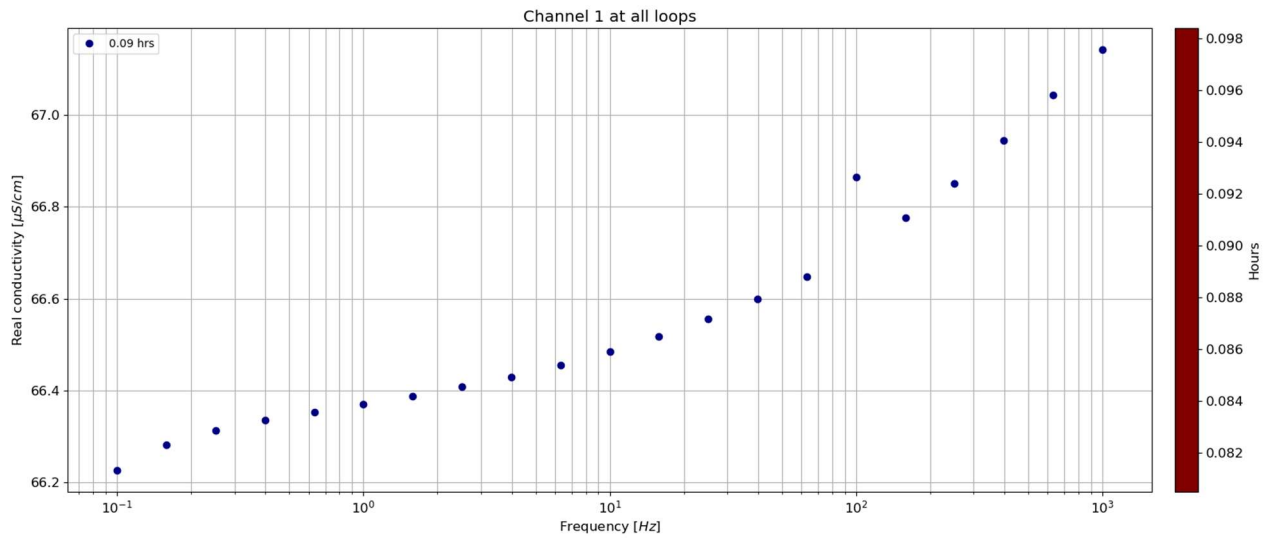
Εικόνα 4.19: Πραγματική αγωγιμότητα νερού από το 1ο σημείο δειγματοληψίας του ποταμού στο φαράγγι του Καρτερού. Η διάρκεια της μέτρησης ήταν 10 λεπτά.

Τα αποτελέσματα του δεύτερου δείγματος φαίνονται παρακάτω (Εικόνα 4.20).



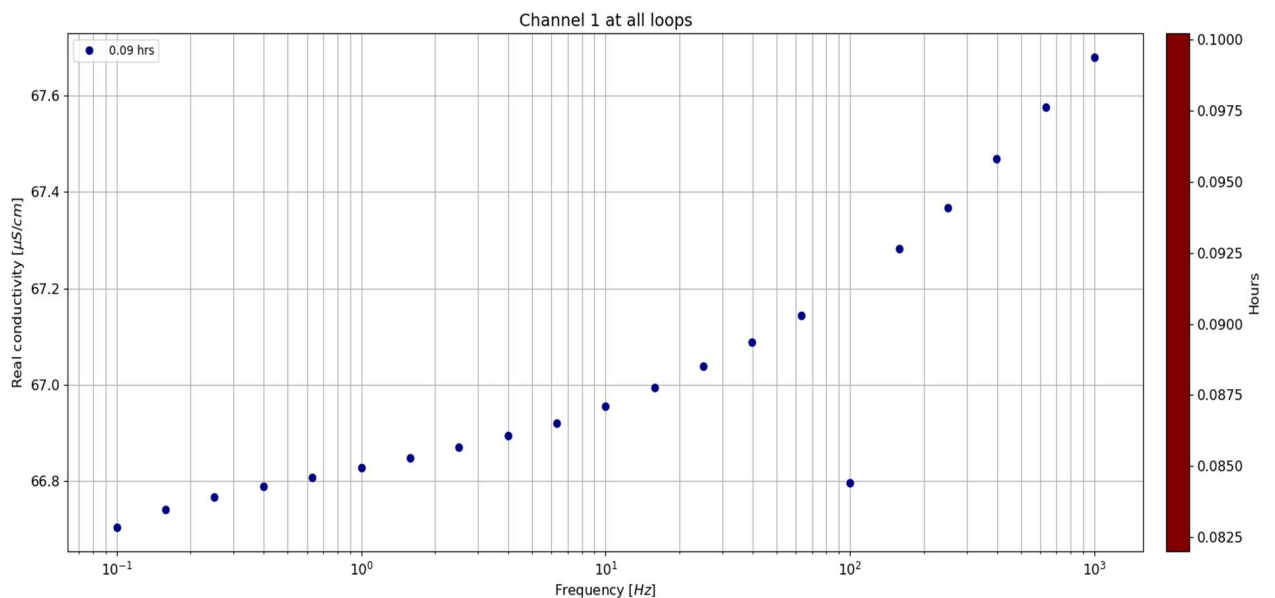
Εικόνα 4.20: Πραγματική αγωγιμότητα νερού από το 2ο σημείο δειγματοληψίας του ποταμού στο φαράγγι του Καρτερού. Η διάρκεια της μέτρησης ήταν 10 λεπτά.

Στην Εικόνα 4.21 παρουσιάζονται τα δεδομένα από το 3^ο δείγμα.



Εικόνα 4.21: Πραγματική αγωγιμότητα νερού από το 3^ο σημείο δειγματοληψίας του ποταμού στο φαράγγι του Καρτερού. Η διάρκεια της μέτρησης ήταν 10 λεπτά.

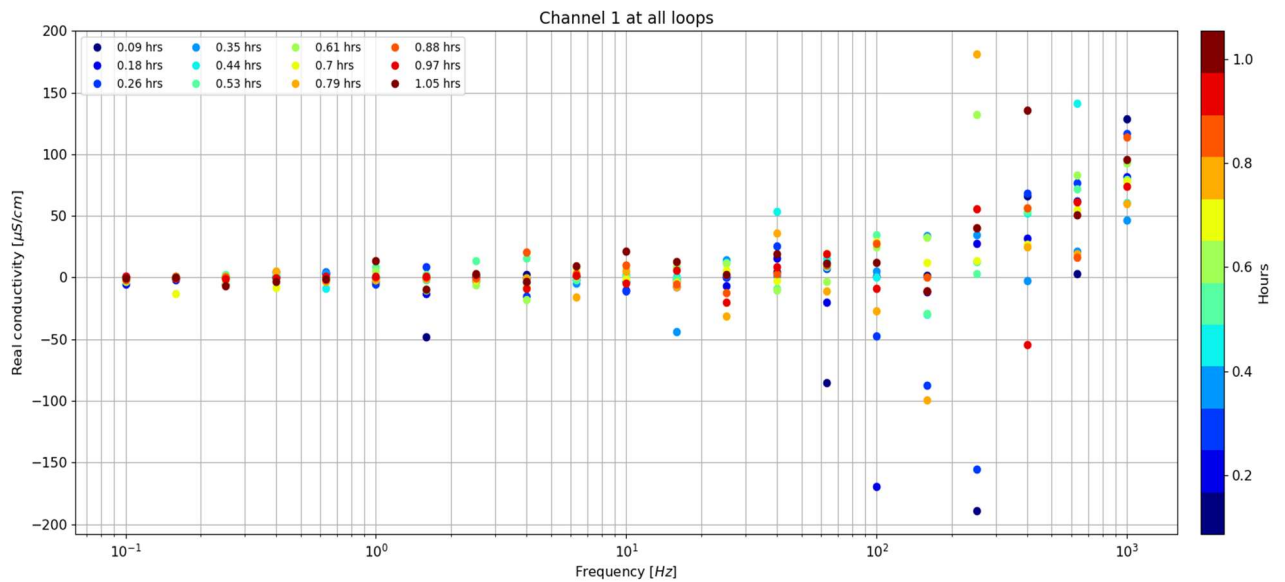
Το τελευταίο δείγμα για τον ήταν από το 4^ο σημείο δειγματοληψίας. Ολοκληρώνοντας έτσι τα αποτελέσματα ποταμό του φαραγγιού του Καρτερού από την περιοχή του Καρτερού. Τα αποτελέσματα της τελευταίας μέτρησης παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.22.



Εικόνα 4.22: Πραγματική αγωγιμότητα νερού από το 4^ο σημείο δειγματοληψίας του ποταμού στο φαράγγι του Καρτερού. Η μέτρηση διήρκεσε 10 λεπτά.

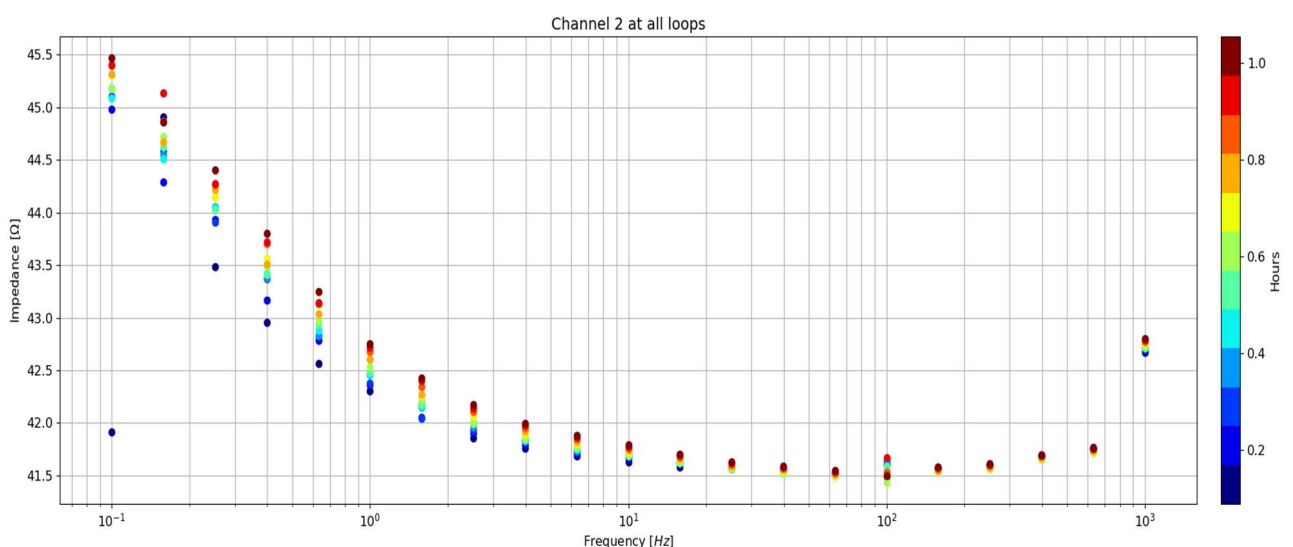
4.3 Αποτελέσματα μετρήσεων θαλασσινού νερού με πετρέλαιο

Μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων σε καθαρό νερό ξεκίνησε το πείραμα της προσθήκης του ρυπαντή σε θαλασσινό νερό. Ο ρυπαντής που επιλέχθηκε ήταν το πετρέλαιο εξαιτίας των καταστροφικών συνεπειών που επιφέρει στο περιβάλλον. Στην Εικόνα 4.23 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μέτρησης του νερού όταν έχει προστεθεί στην επιφάνεια του πετρέλαιο αποτελώντας το 25% της στήλης.



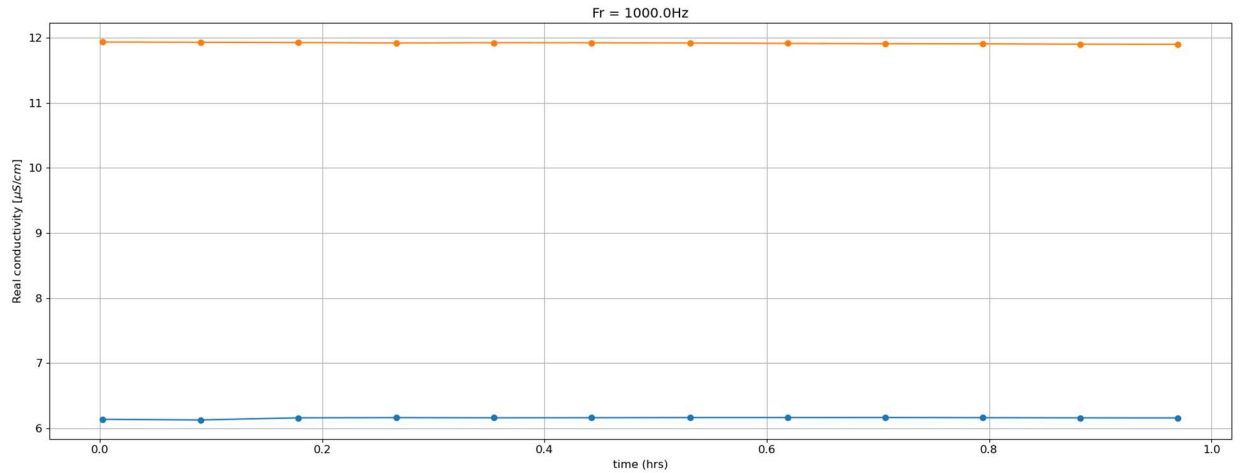
Εικόνα 4.23: Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει πως επηρεάστηκε η πραγματική αγωγιμότητα του θαλασσινού νερού σε διάστημα μιας ώρας.

Στην συνέχεια η Εικόνα 4.24 παρουσιάζει τα αποτελέσματα την ηλεκτρικής αντίστασης με την προσθήκη πετρελαίου, καλύπτοντας το 25% της χωρητικότητας της στήλης.

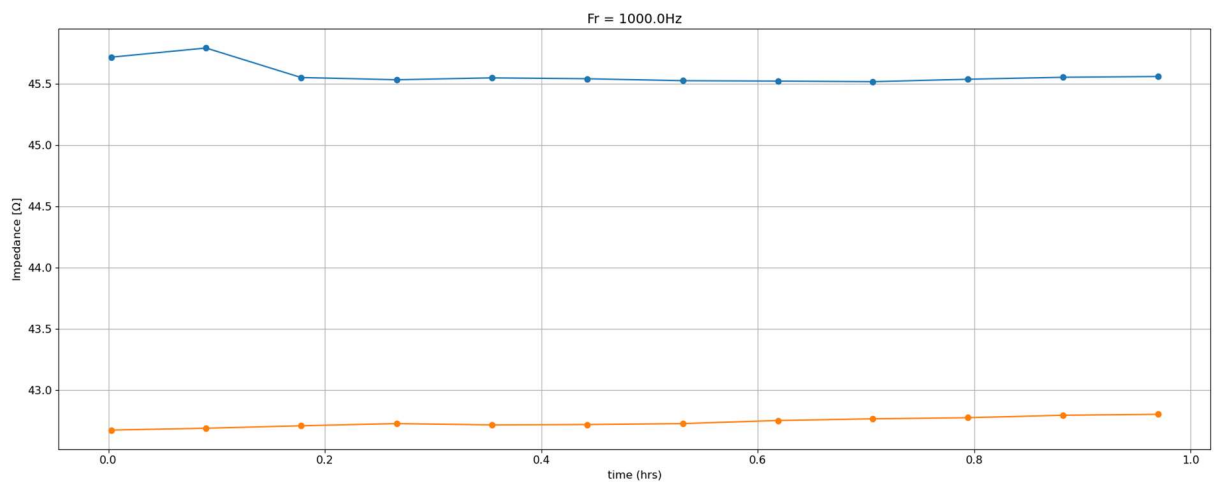


Εικόνα 4.24: Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει πως επηρεάστηκε η αντίσταση του θαλασσινού νερού σε διάστημα μιας ώρας.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα για την πραγματική αγωγιμότητα και την ηλεκτρική αντίσταση του θαλασσινού νερού με προσθήκη πετρελαίου. Η Εικόνα 4.25 και η Εικόνα 4.26 παρουσιάζουν την αγωγιμότητα και την αντίσταση αντίστοιχα στα 1000Hz.

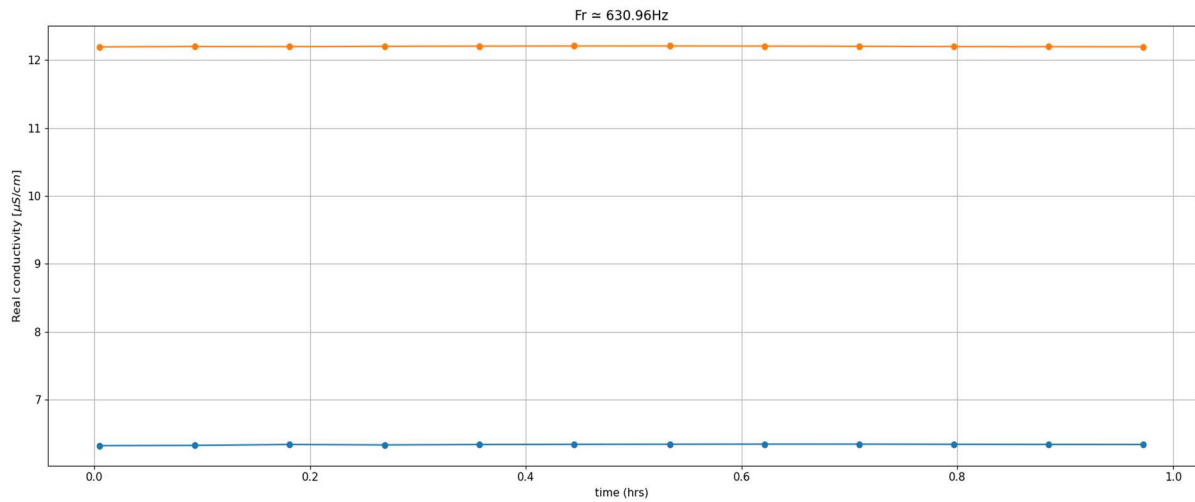


Εικόνα 4.25: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 1000Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2ο.

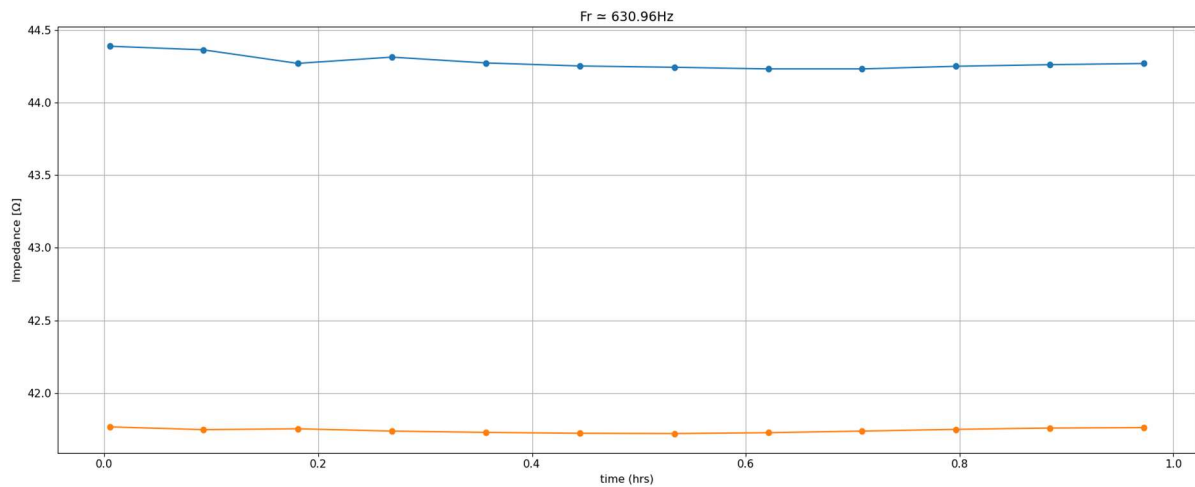


Εικόνα 4.26: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 1000Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2ο.

Η Εικόνα 4.27 και η Εικόνα 4.28 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα τη αγωγιμότητας και αντίστασης στα 630Hz.

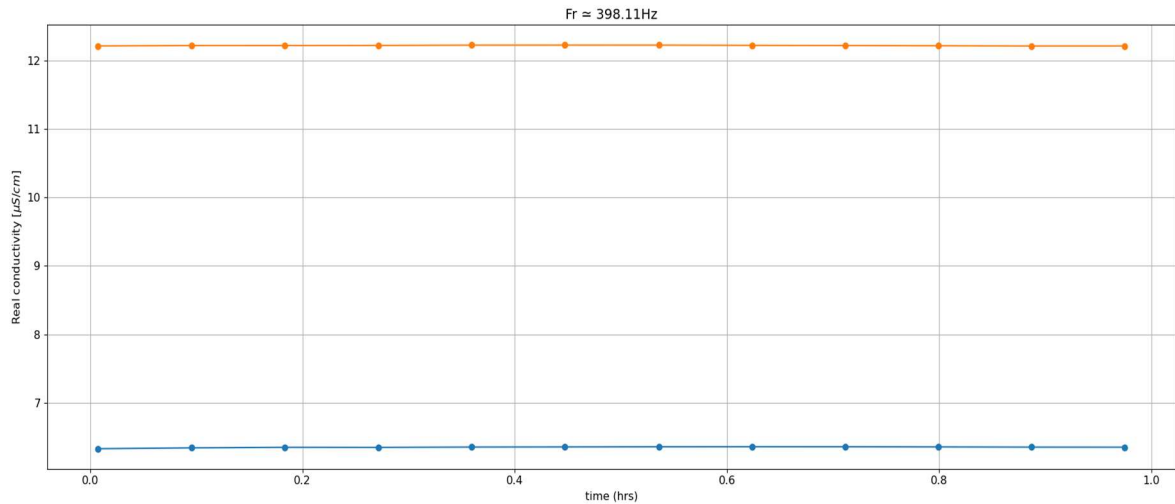


Εικόνα 4.27: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 630Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2ο.

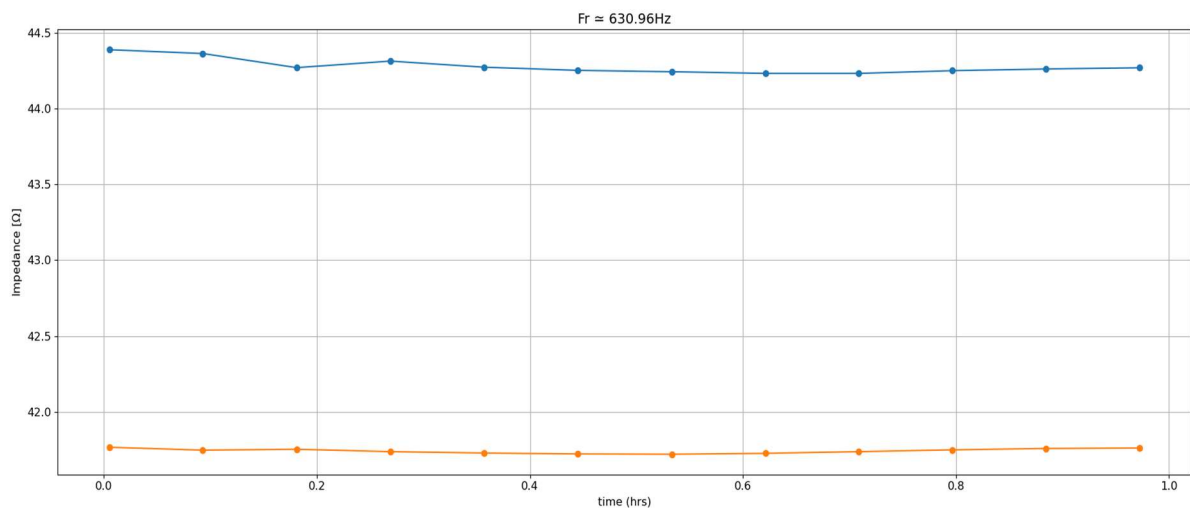


Εικόνα 4.28: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 630Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2ο.

Οι Εικόνες 4.29 και 4.30 αντιστοιχούν στα αποτελέσματα της αγωγιμότητας και της αντίστασης του θαλασσινού νερού μετά την προσθήκη πετρελαίου στα 398Hz.

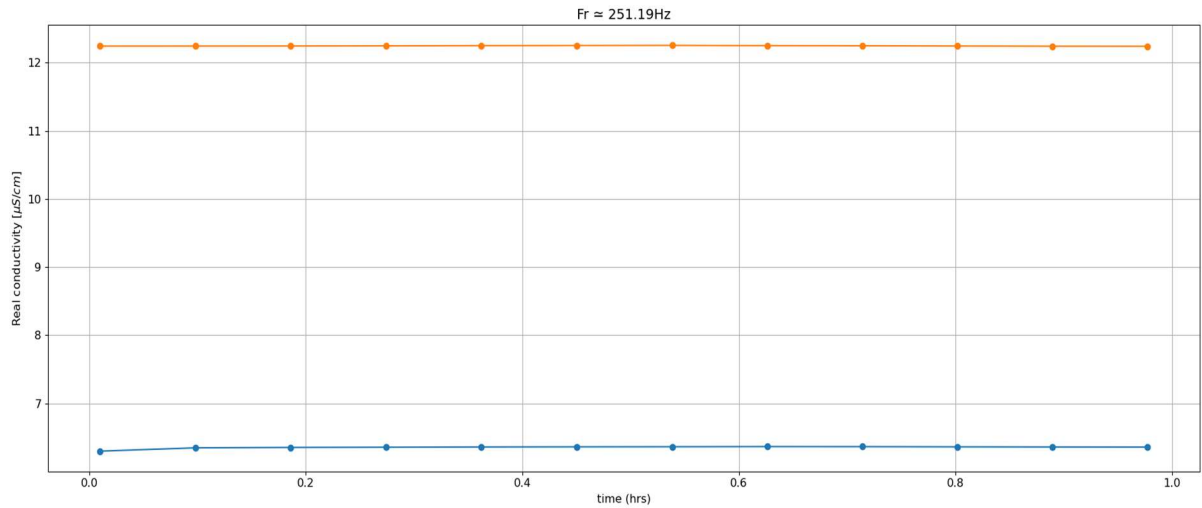


Εικόνα 4.29: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 398Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2ο.

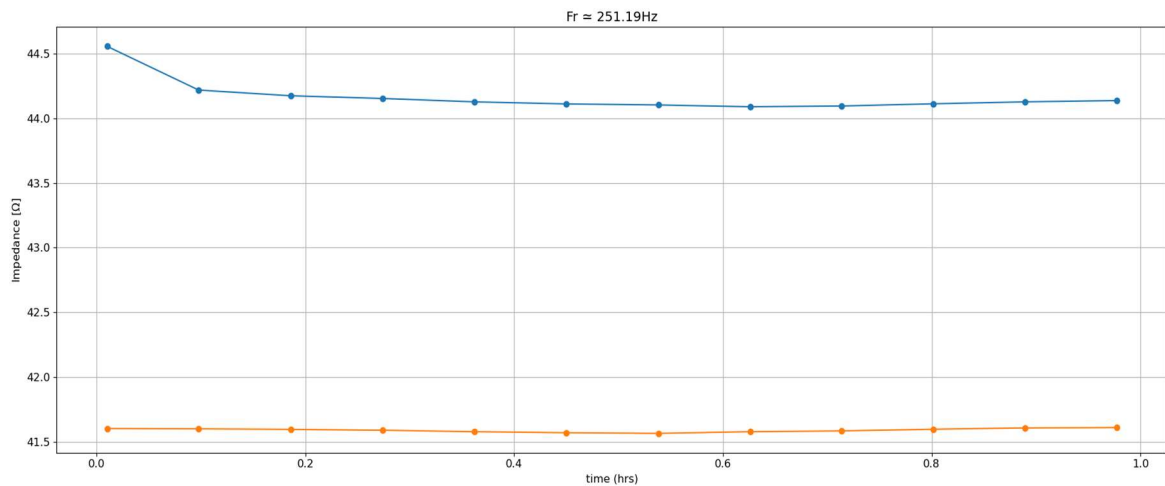


Εικόνα 4.30: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 398Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2ο.

Η Εικόνα 4.31 και η Εικόνα 4.32 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της αγωγιμότητας και της αντίστασης του θαλασσινού νερού μετά την προσθήκη πετρελαίου στα 251Hz.

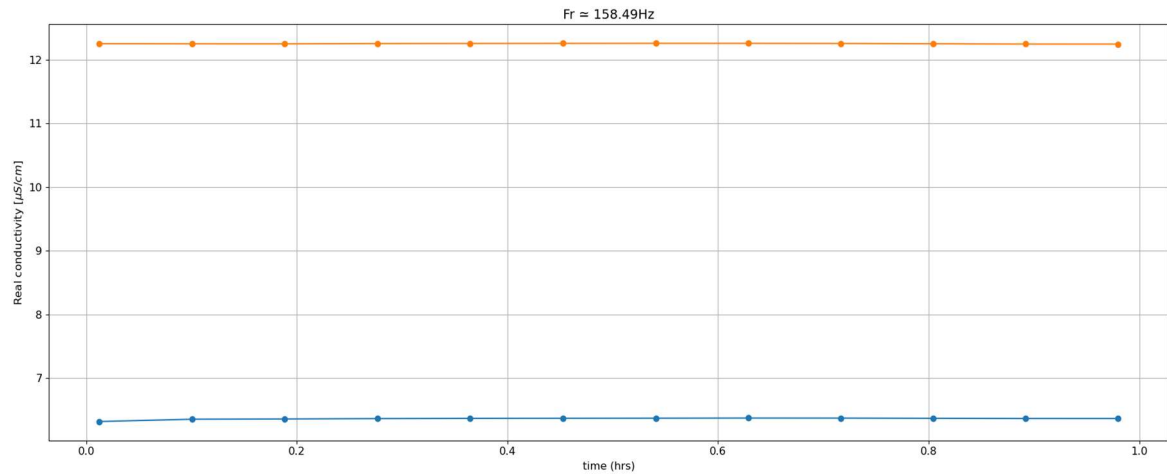


Εικόνα 4.31: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 251Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2ο.

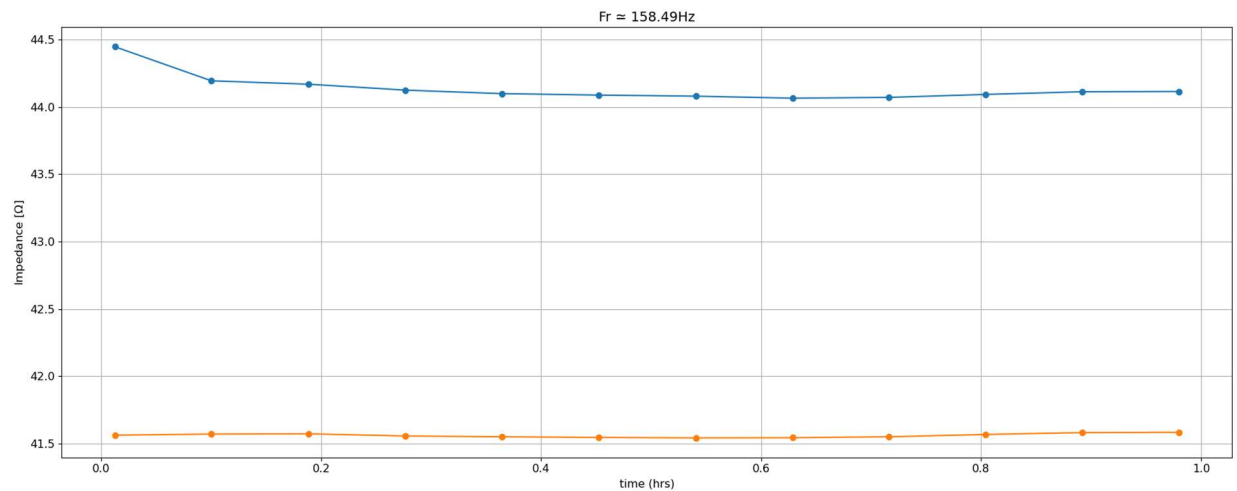


Εικόνα 4.32: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 251Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2ο.

Η Εικόνα 4.33 και η Εικόνα 4.34 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της αγωγιμότητας και της αντίστασης του θαλασσινού νερού μετά την προσθήκη πετρελαίου στα 158Hz.

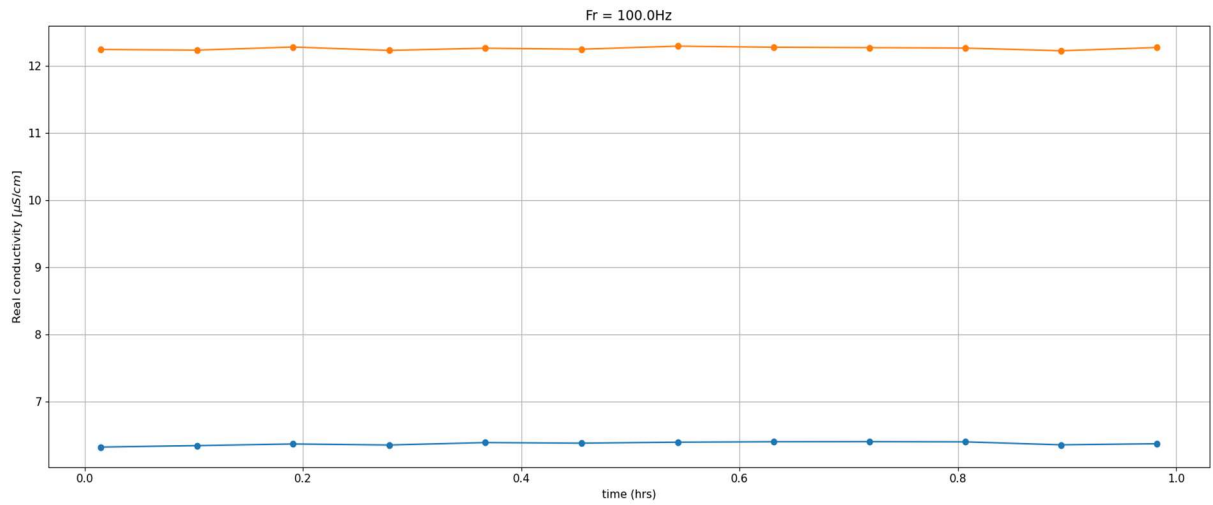


Εικόνα 4.33: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 158Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2ο.

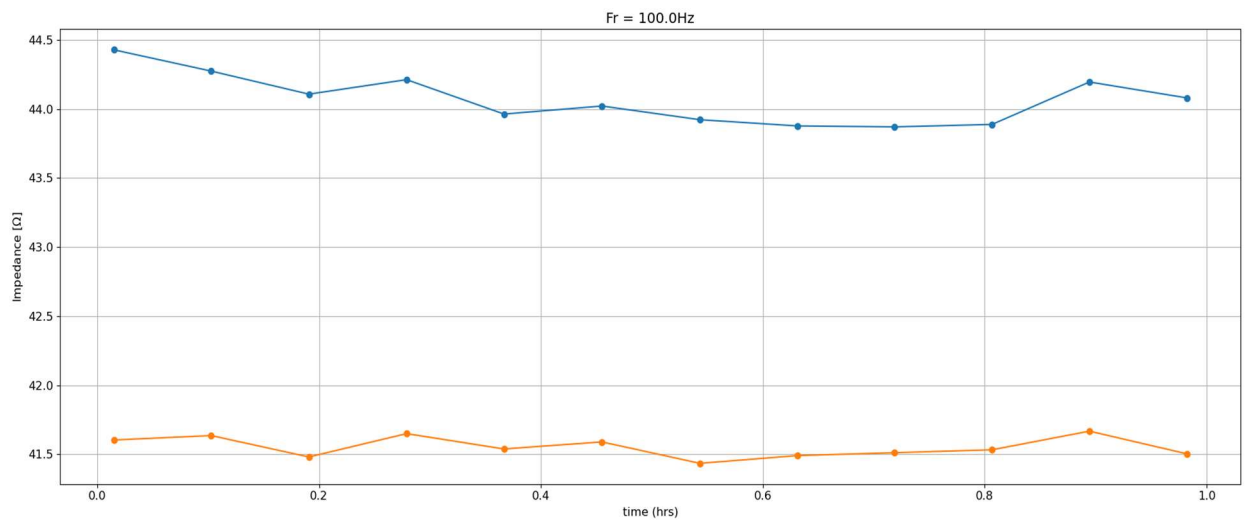


Εικόνα 4.34: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 158Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2ο

Η Εικόνα 4.35 και η Εικόνα 4.36 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της αγωγιμότητας και της αντίστασης του θαλασσινού νερού μετά την προσθήκη πετρελαίου στα 100Hz.

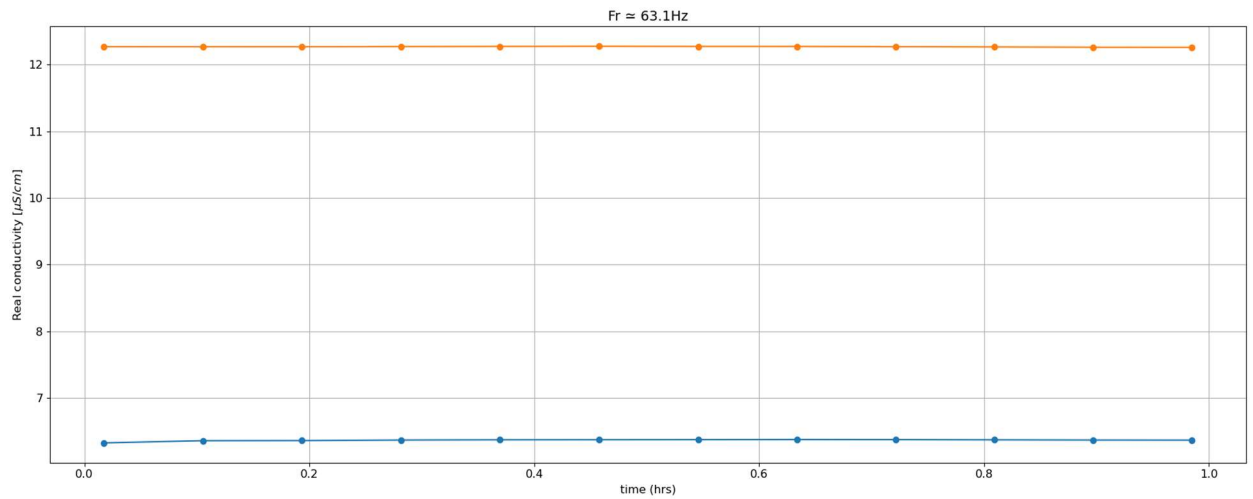


Εικόνα 4.35: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 100Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

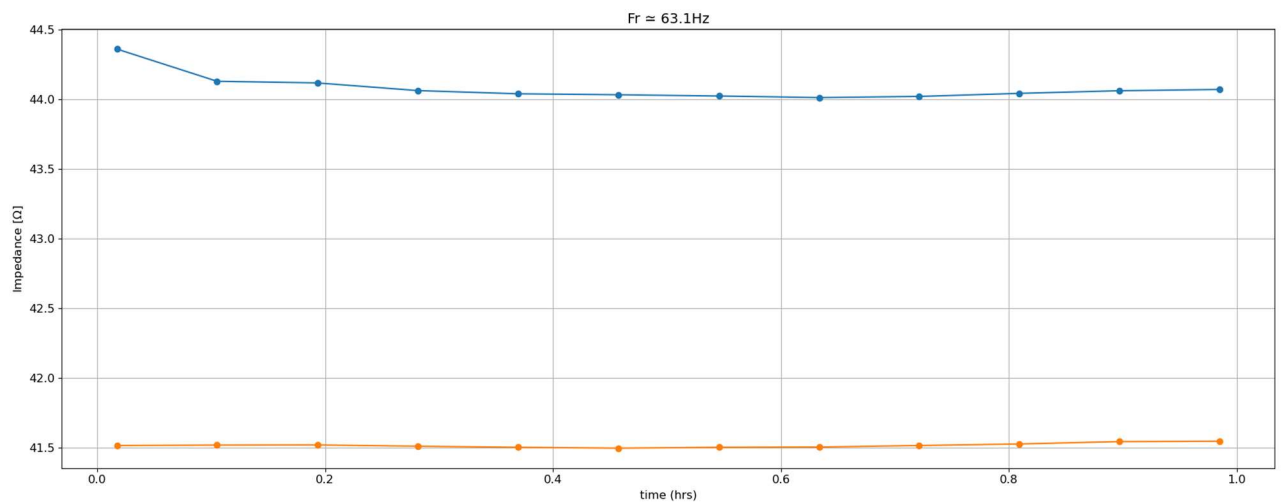


Εικόνα 4.35: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 100Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

Η Εικόνα 4.37 και η Εικόνα 4.38 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της αγωγιμότητας και της αντίστασης του θαλασσινού νερού μετά την προσθήκη πετρελαίου στα 63Hz.

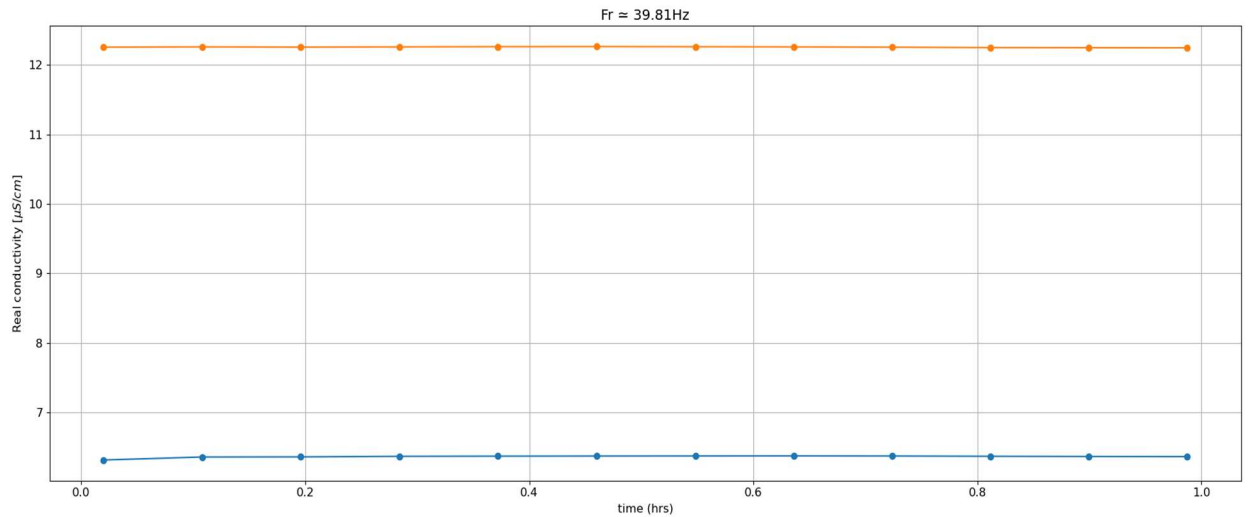


Εικόνα 4.37: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 63Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

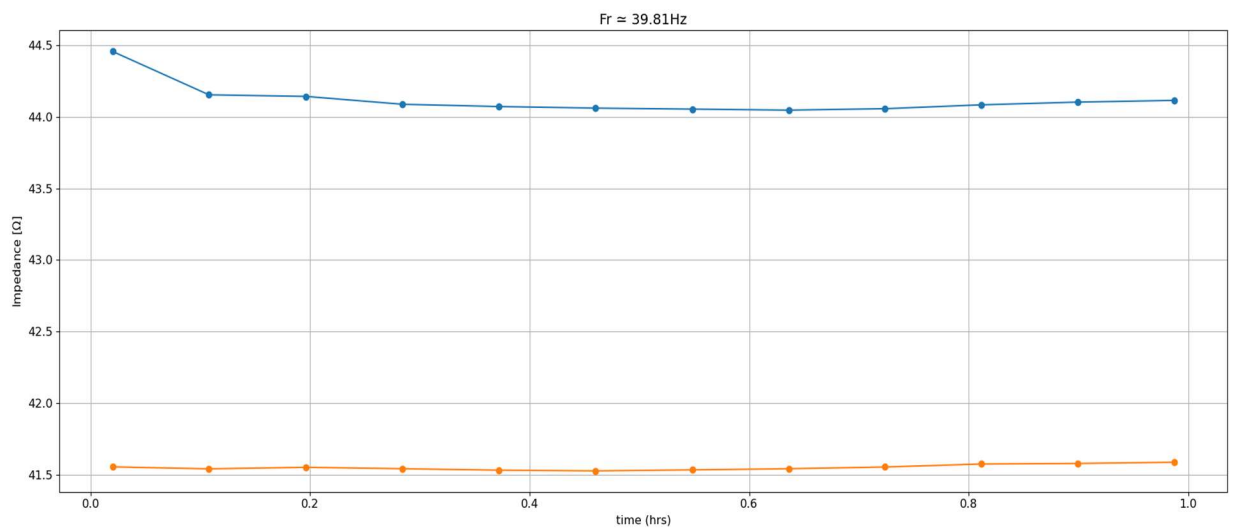


Εικόνα 4.38: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 63Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

Η Εικόνα 4.39 και η Εικόνα 4.40 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της αγωγιμότητας και της αντίστασης του θαλασσινού νερού μετά την προσθήκη πετρελαίου στα 39Hz.

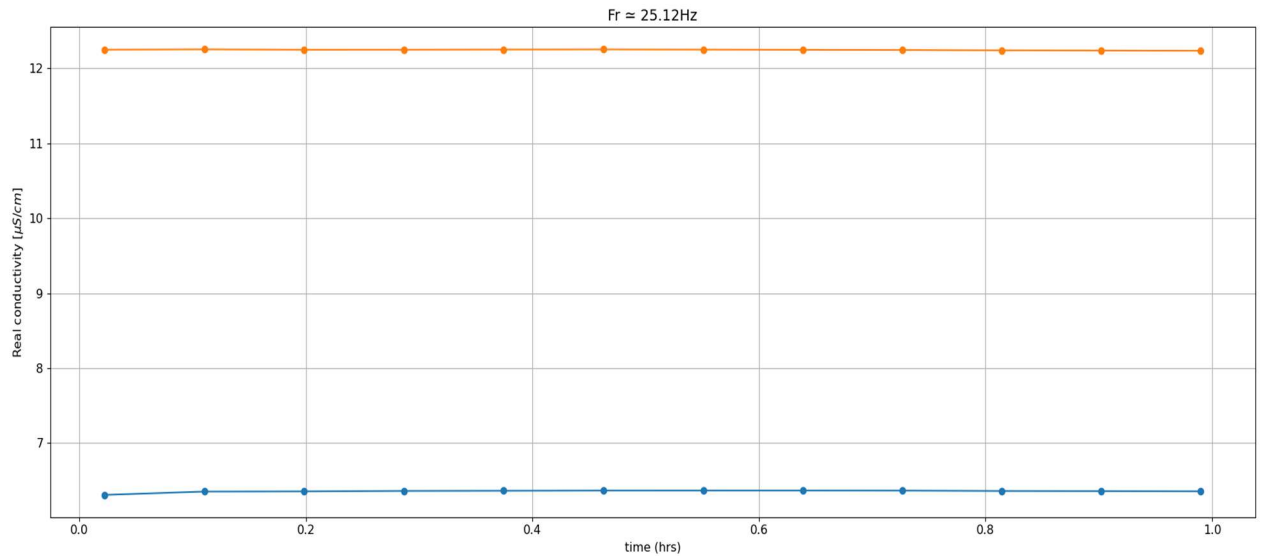


Εικόνα 4.39: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 39Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

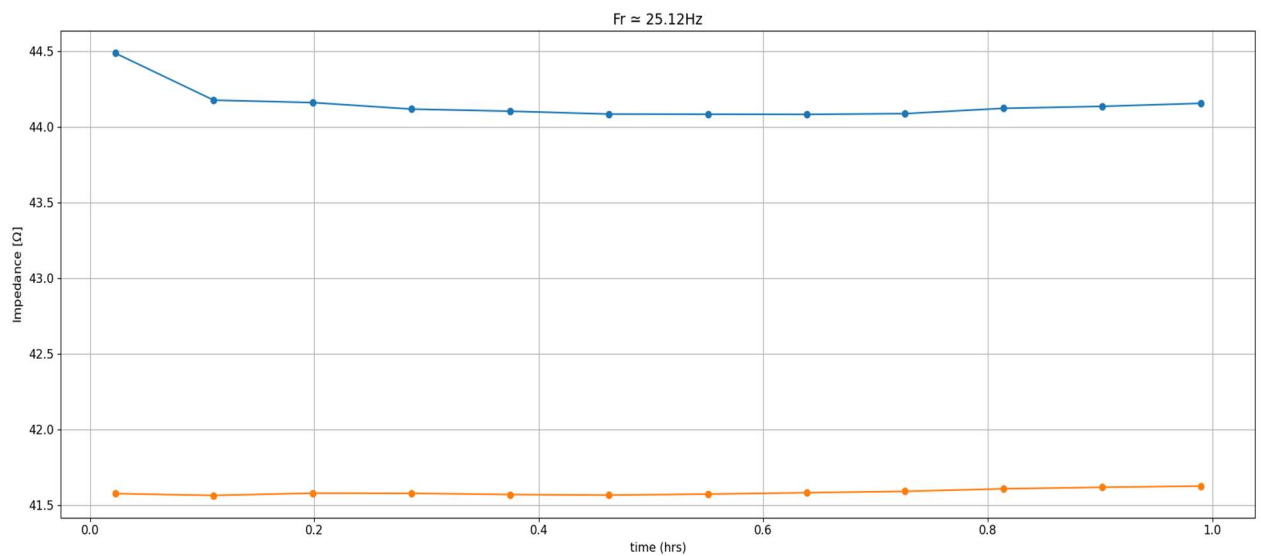


Εικόνα 4.40: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 39Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

Η Εικόνα 4.41 και η Εικόνα 4.42 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της αγωγιμότητας και της αντίστασης του θαλασσινού νερού μετά την προσθήκη πετρελαίου στα 25Hz.

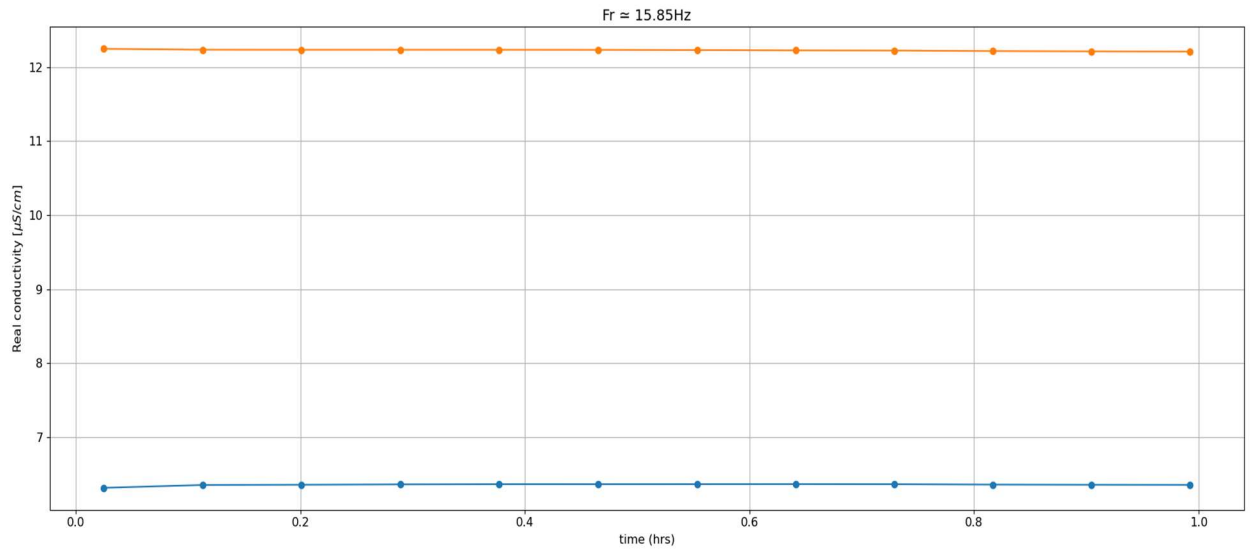


Εικόνα 4.41: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 25Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

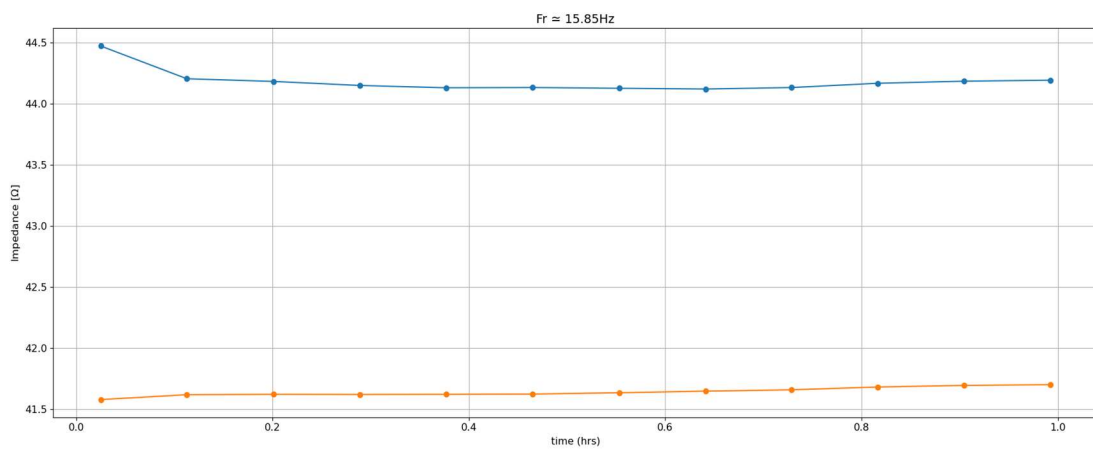


Εικόνα 4.42: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 25Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

Η Εικόνα 4.43 και η Εικόνα 4.44 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της αγωγιμότητας και της αντίστασης του θαλασσινού νερού μετά την προσθήκη πετρελαίου στα 15Hz.

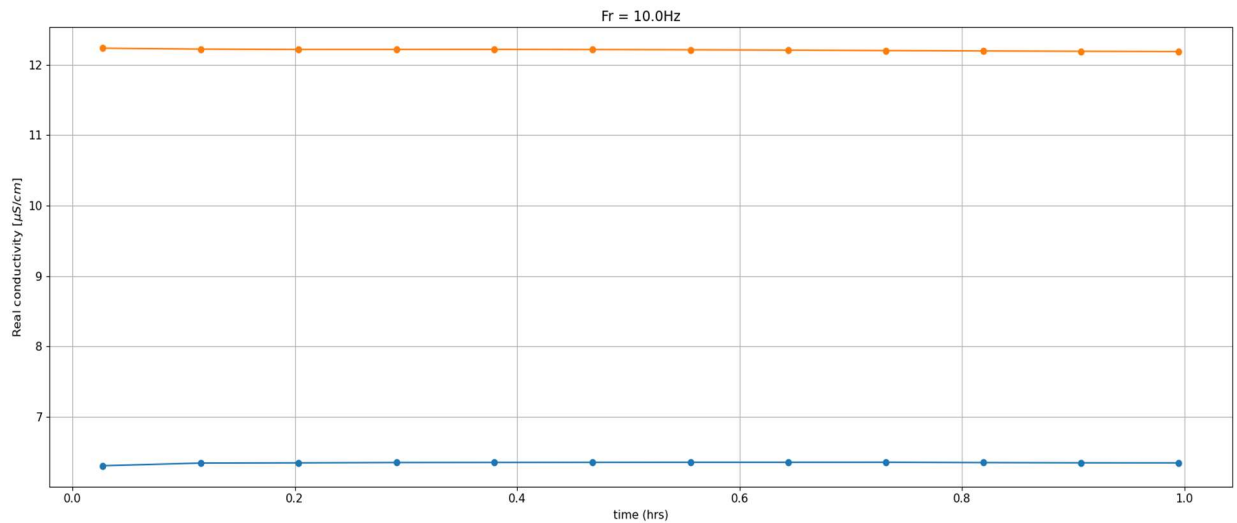


Εικόνα 4.43: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 15Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

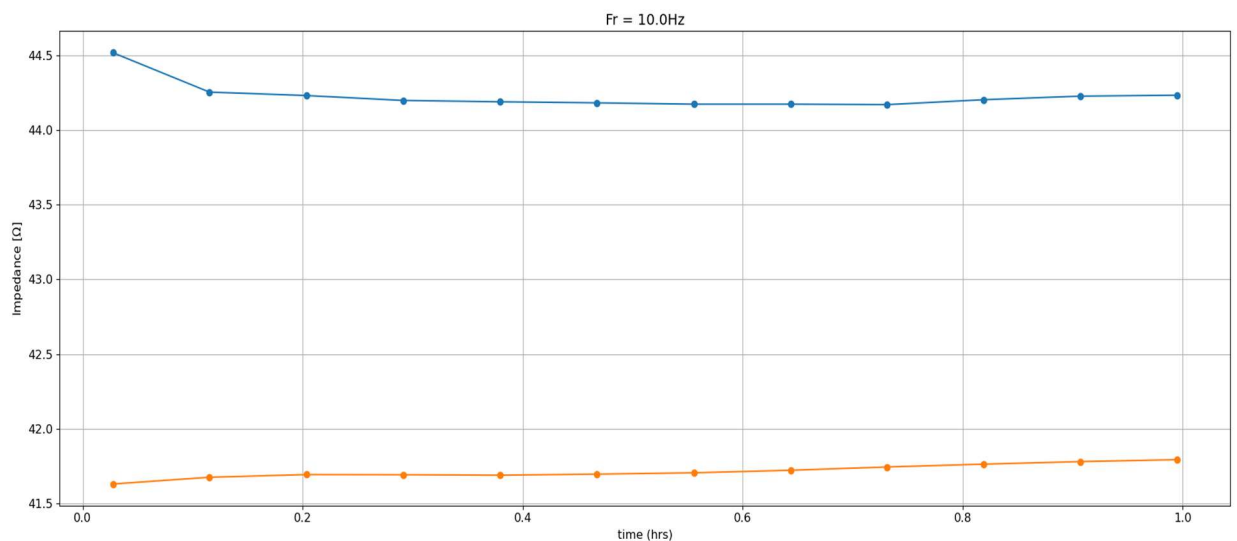


Εικόνα 4.44: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 15Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

Η Εικόνα 4.45 και η Εικόνα 4.46 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της αγωγιμότητας και της αντίστασης του θαλασσινού νερού μετά την προσθήκη πετρελαίου στα 10Hz.

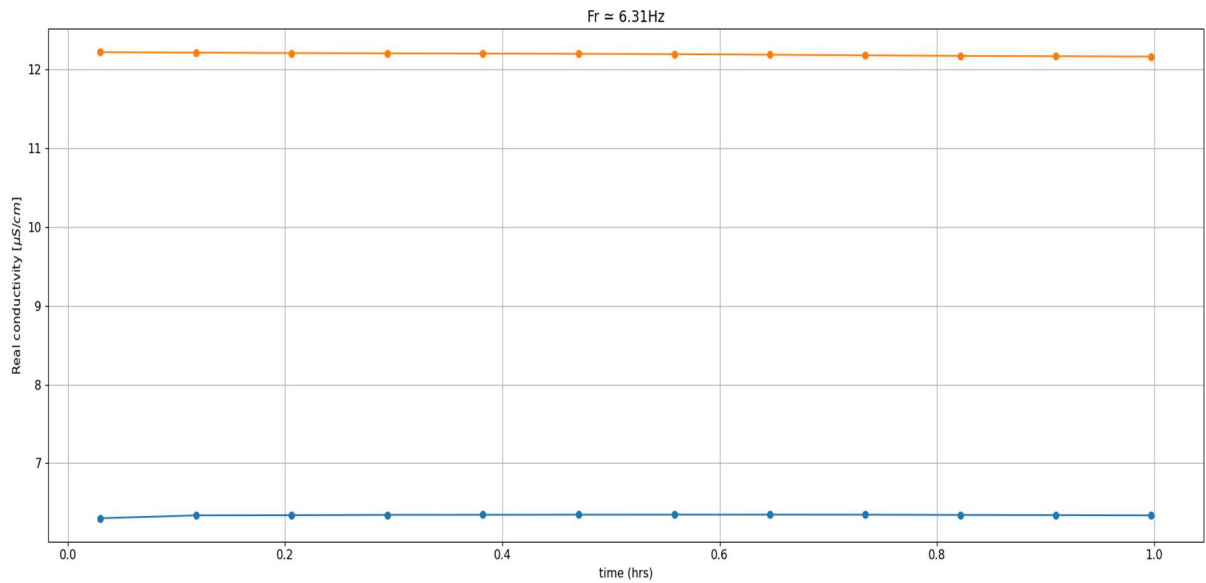


Εικόνα 4.45: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 10Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

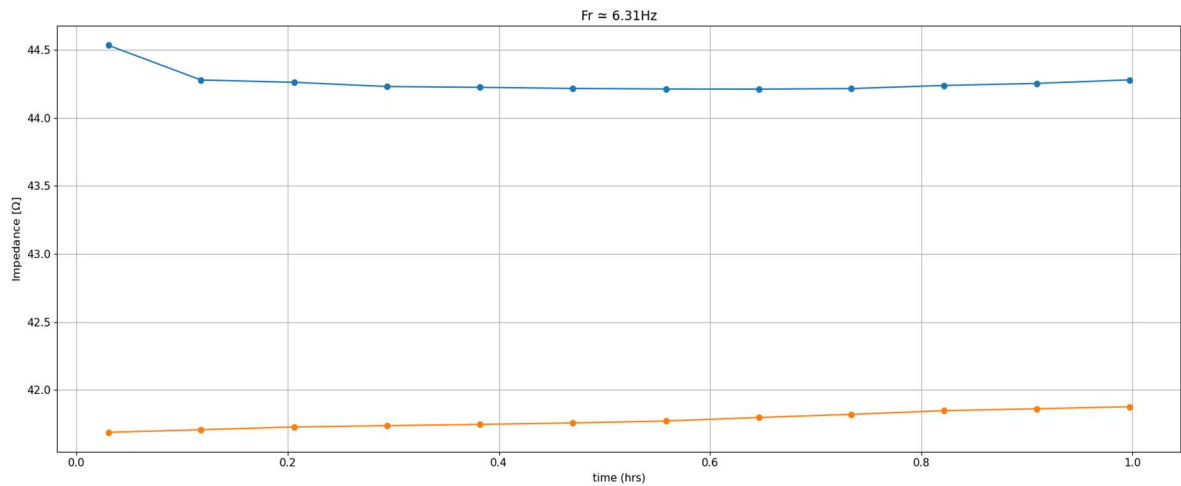


Εικόνα 4.46: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 10Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

Η Εικόνα 4.47 και η Εικόνα 4.48 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της αγωγιμότητας και της αντίστασης του θαλασσινού νερού μετά την προσθήκη πετρελαίου στα 6Hz.

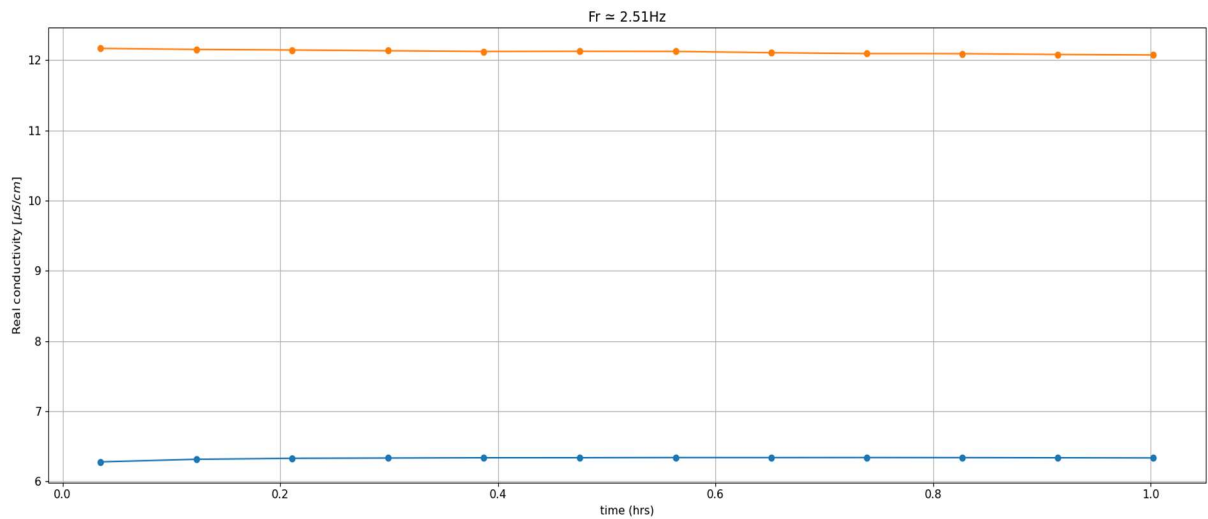


Εικόνα 4.47: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 6Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

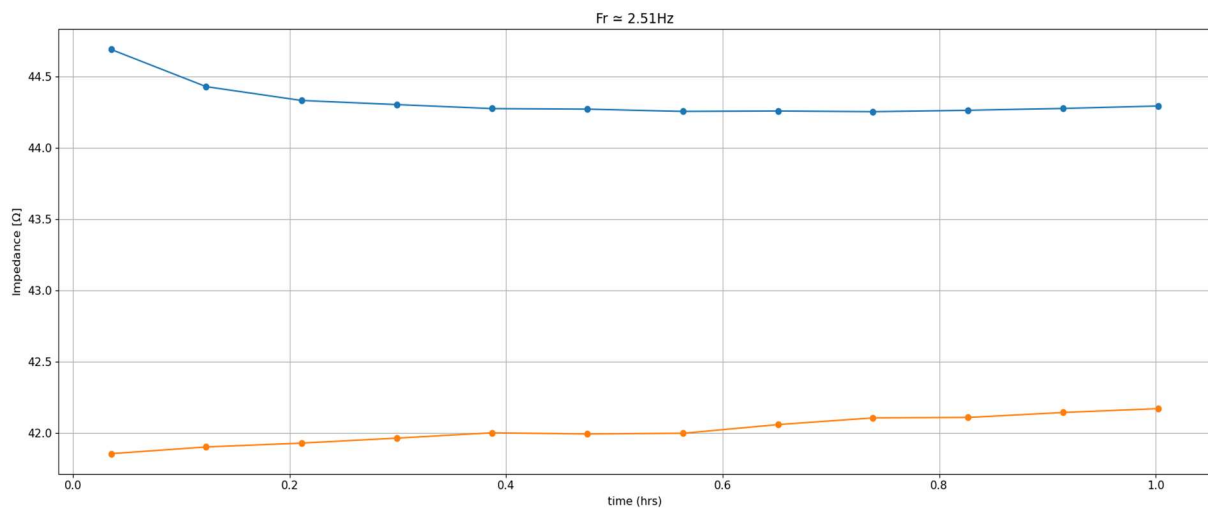


Εικόνα 4.48: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 10Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

Η Εικόνα 4.49 και η Εικόνα 4.50 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της αγωγιμότητας και της αντίστασης του θαλασσινού νερού μετά την προσθήκη πετρελαίου στα 2,51Hz.

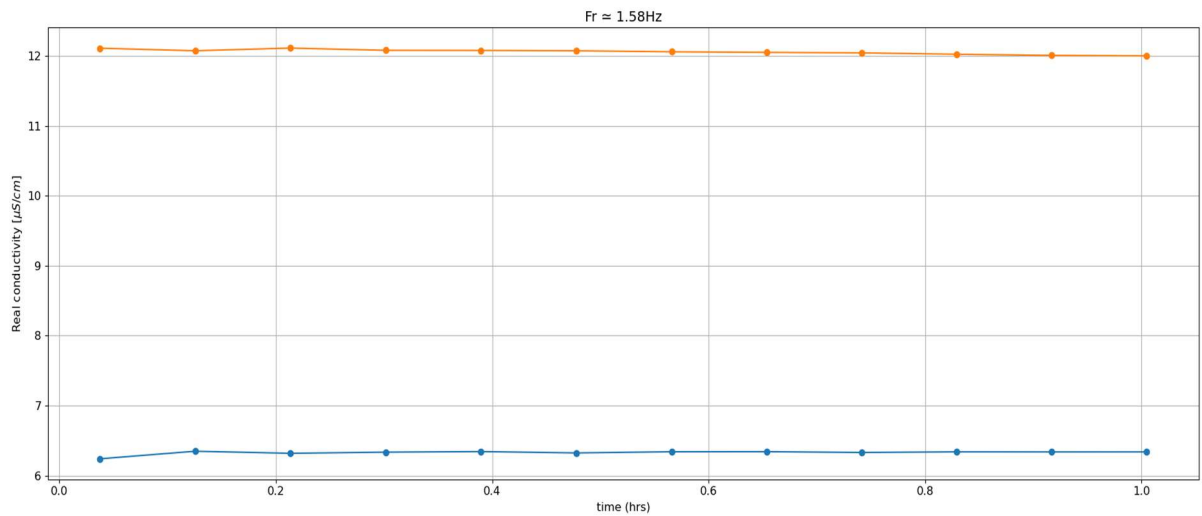


Εικόνα 4.49: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 2,51Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

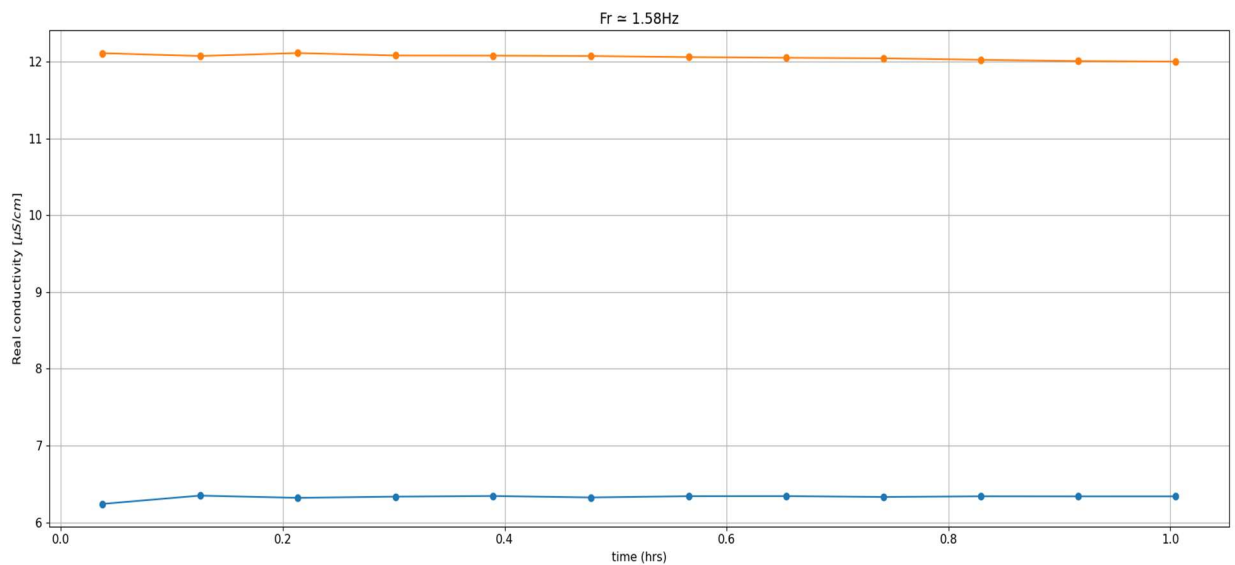


Εικόνα 4.50: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 2,51Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

Η Εικόνα 4.51 και η Εικόνα 4.52 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της αγωγιμότητας και της αντίστασης του θαλασσινού νερού μετά την προσθήκη πετρελαίου στα 1,58Hz.

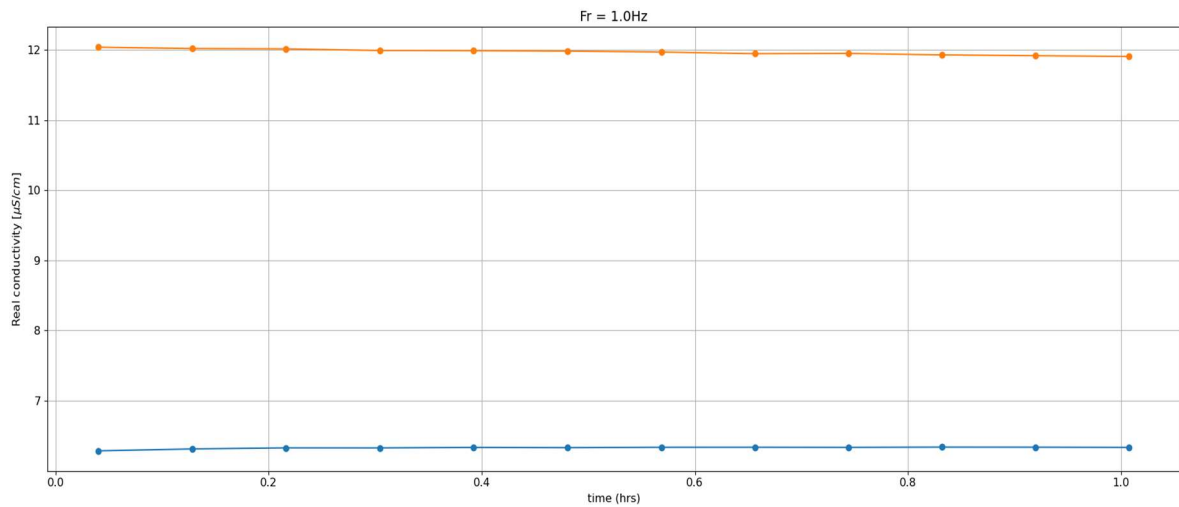


Εικόνα 4.51: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 1.58Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

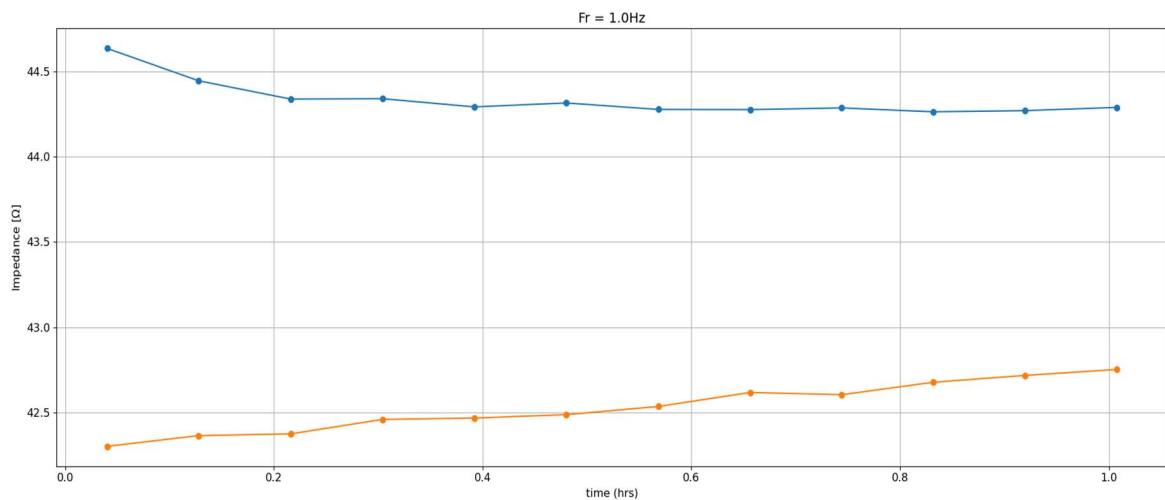


Εικόνα 4.52: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 1.58Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

Η Εικόνα 4.53 και η Εικόνα 4.54 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της αγωγιμότητας και της αντίστασης του θαλασσινού νερού μετά την προσθήκη πετρελαίου στο 1Hz.

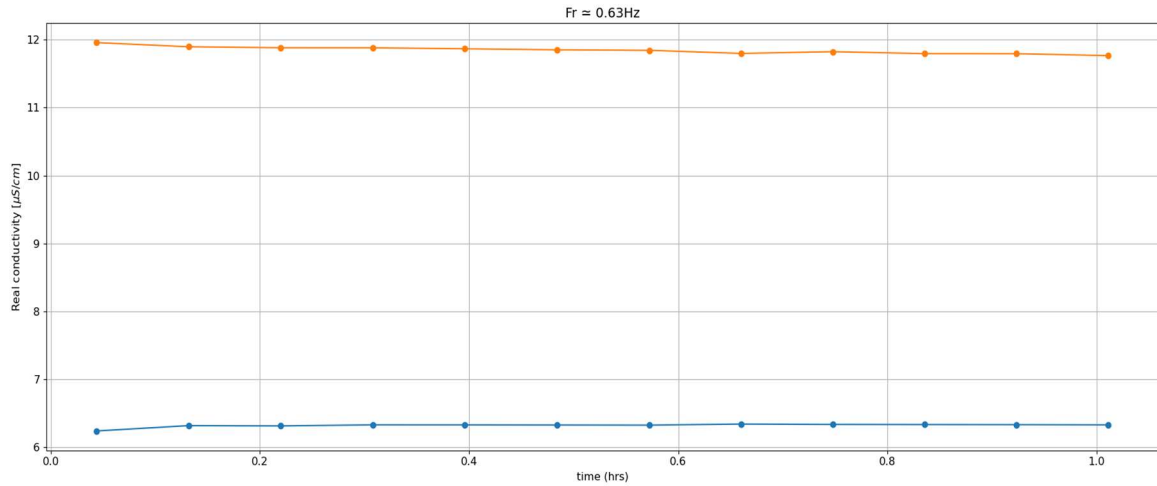


Εικόνα 4.53: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στο 1Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

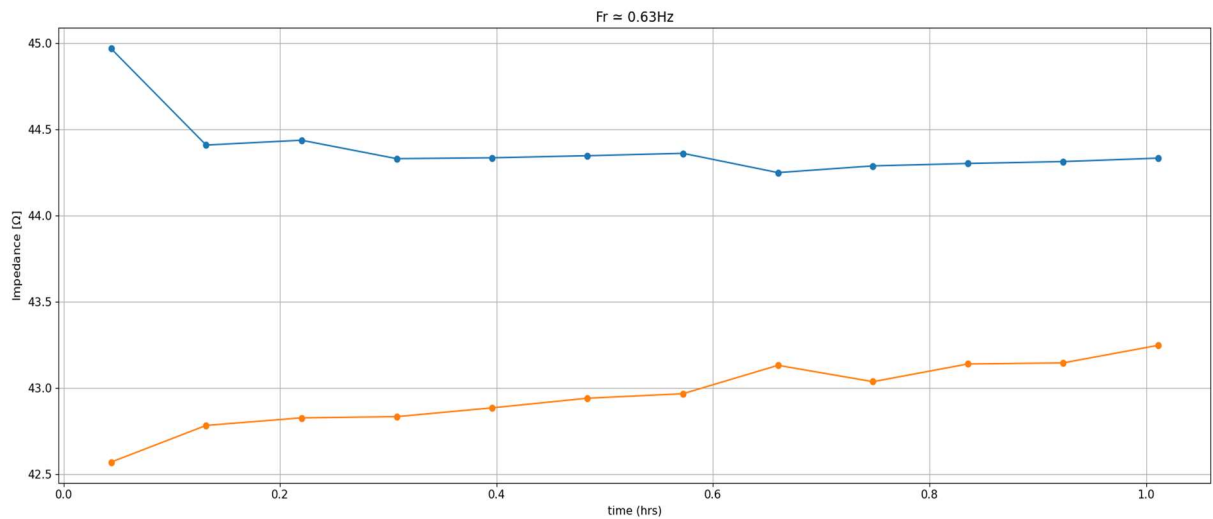


Εικόνα 4.54: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στο 1Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

Η Εικόνα 4.55 και η Εικόνα 4.56 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της αγωγιμότητας και της αντίστασης του θαλασσινού νερού μετά την προσθήκη πετρελαίου στα 0,6Hz.

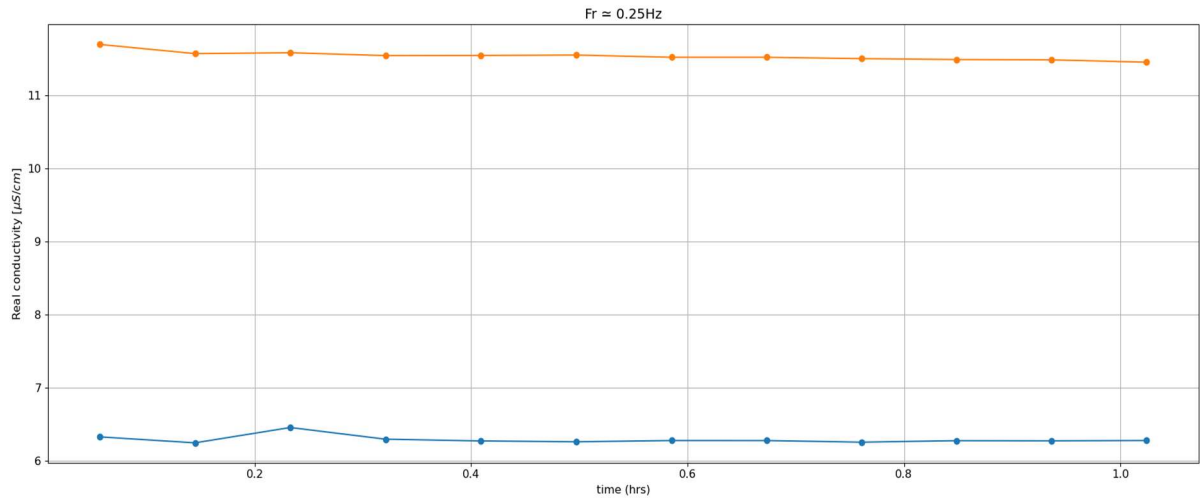


Εικόνα 4.55: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 0,6Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

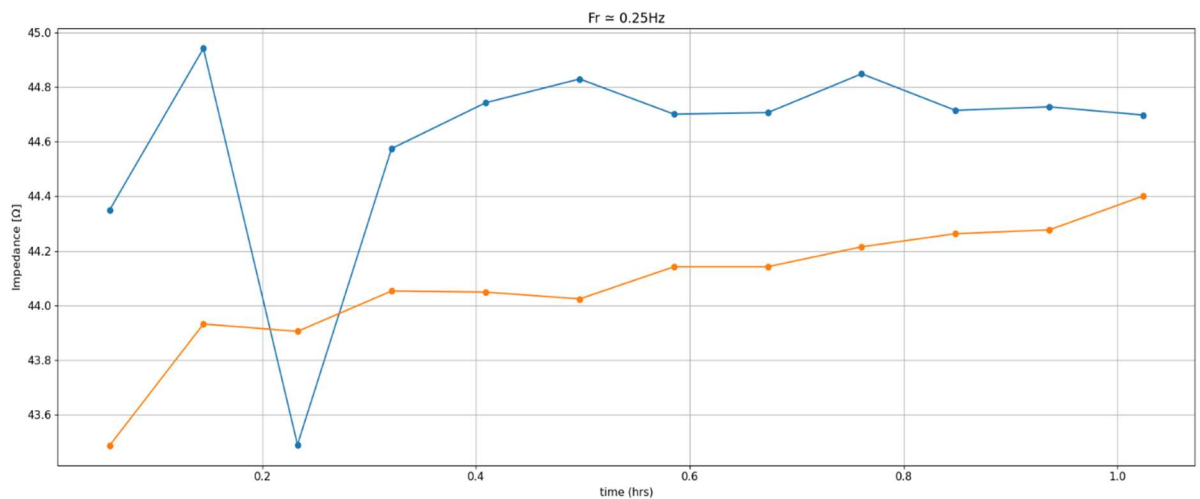


Εικόνα 4.56: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 0,6Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

Η Εικόνα 4.57 και η Εικόνα 4.58 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της αγωγιμότητας και της αντίστασης του θαλασσινού νερού μετά την προσθήκη πετρελαίου στα 0,25Hz.

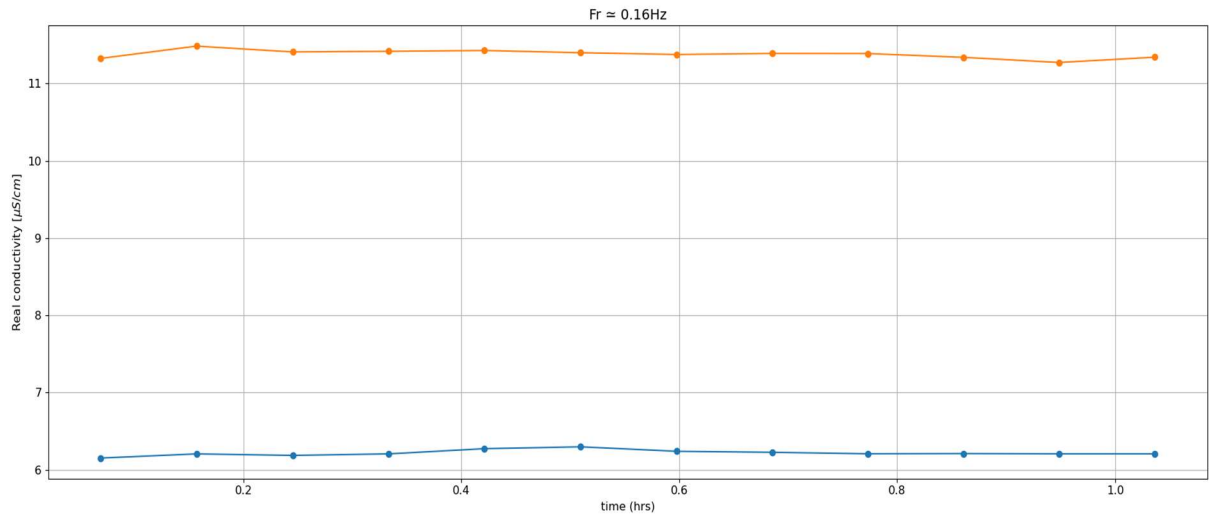


Εικόνα 4.57: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 0,25Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

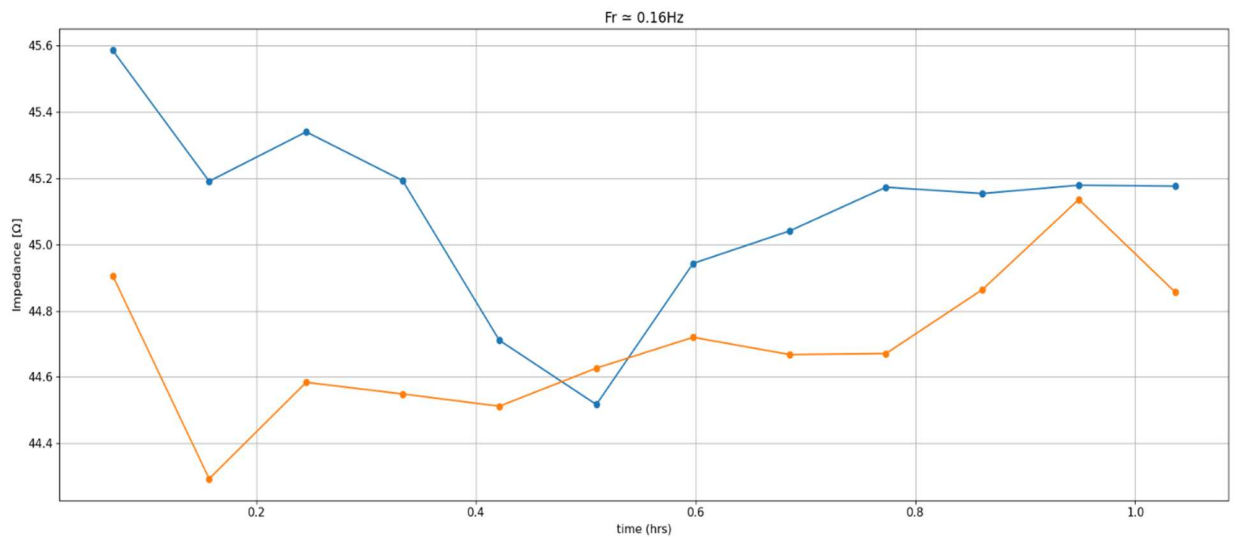


Εικόνα 4.58: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 0,25Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

Η Εικόνα 4.59 και η Εικόνα 4.60 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της αγωγιμότητας και της αντίστασης του θαλασσινού νερού μετά την προσθήκη πετρελαίου στα 0,16Hz.

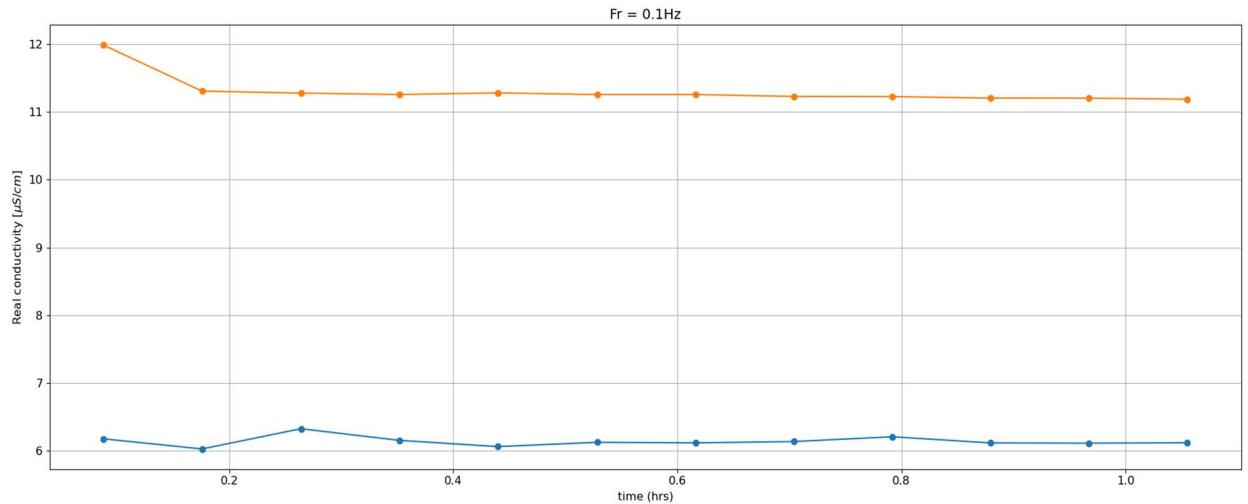


Εικόνα 4.59: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 0,16Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

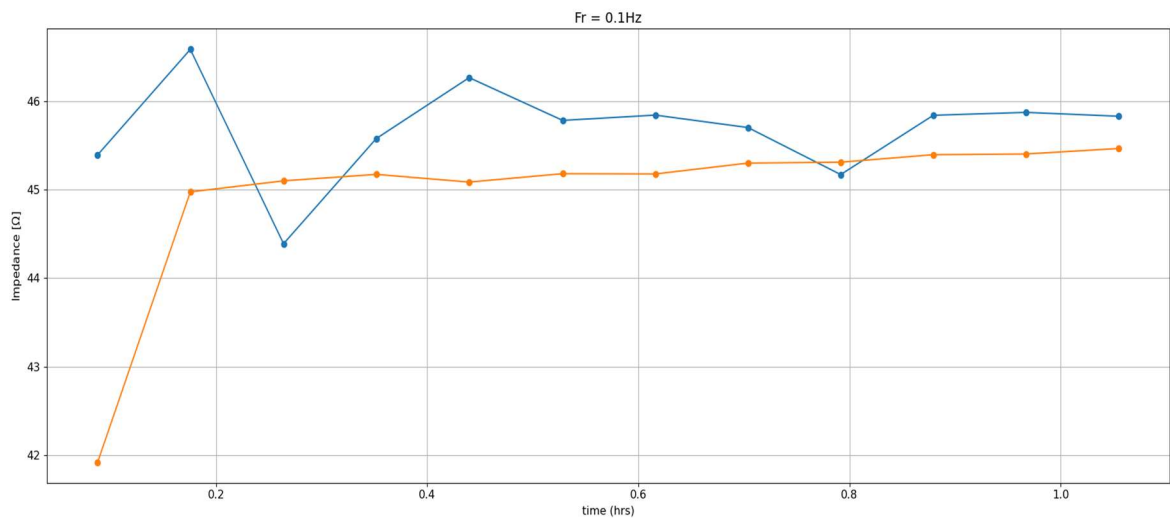


Εικόνα 4.60: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 0,16Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

Η Εικόνα 4.61 και η Εικόνα 4.62 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της αγωγιμότητας και της αντίστασης του θαλασσινού νερού μετά την προσθήκη πετρελαίου στα 0,1Hz.



Εικόνα 4.61: Πραγματική αγωγιμότητα θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 0,1Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

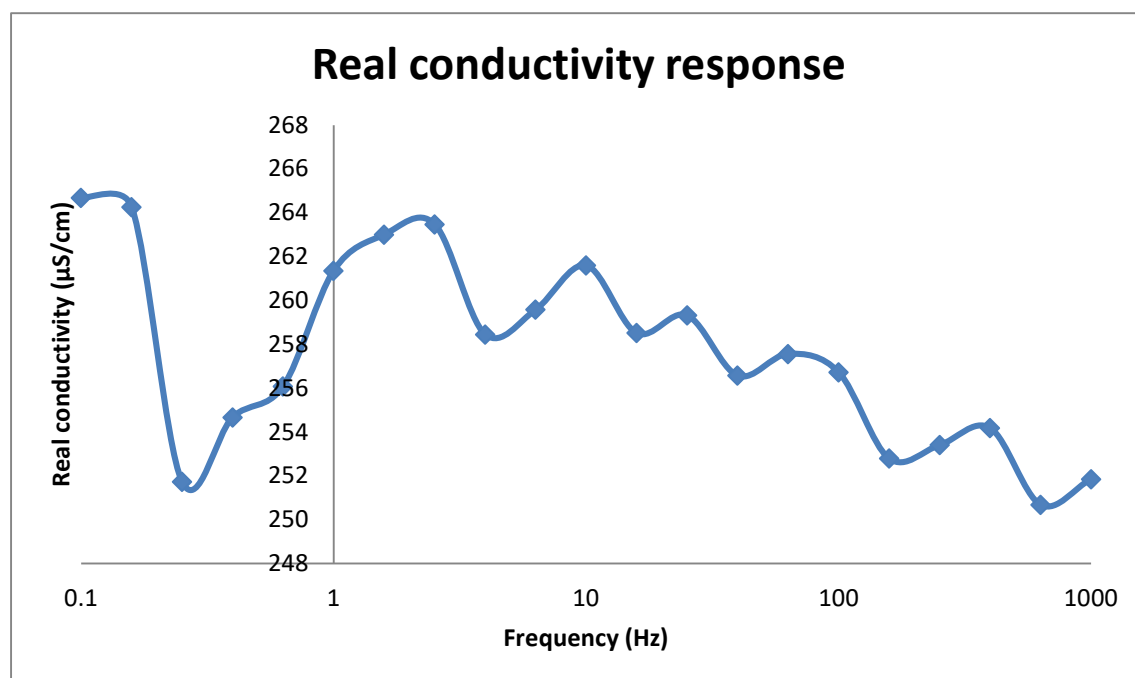


Εικόνα 4.62: Αντίσταση θαλασσινού νερού μετά τη προσθήκη πετρελαίου στο διάστημα 1 ώρας στα 0,1Hz. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων και η πορτοκαλί στο 2^ο.

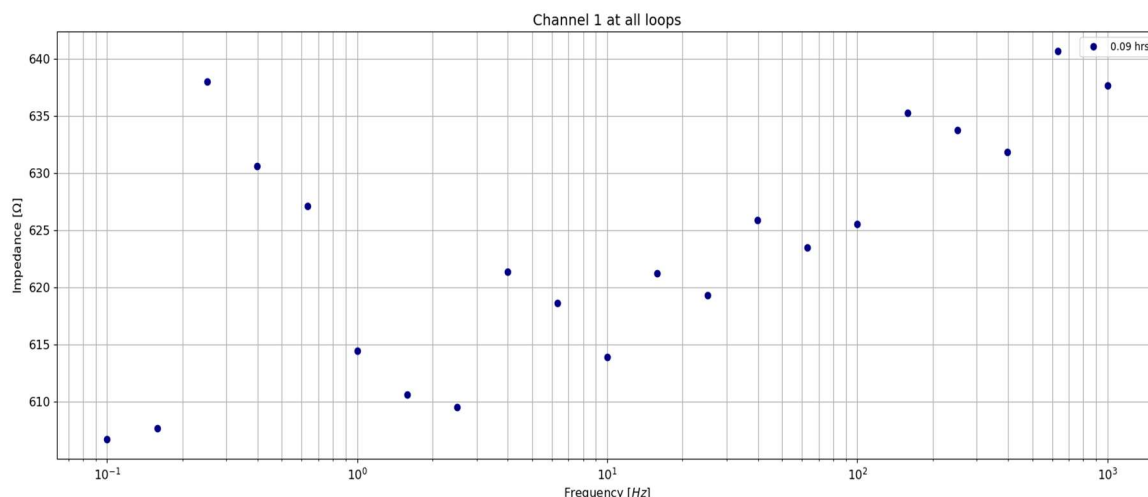
4.4 Αποτελέσματα μετρήσεων εδάφους με εδαφοβελτιωτικό

Μετά την ολοκλήρωση του πειράματος με την προσθήκη πετρελαίου σε νερό, το επόμενο βήμα ήταν ο έλεγχος των δειγμάτων του εδάφους σε συνδυασμό με εδαφοβελτιωτικό, το οποίο παράγεται στο εργαστήριο Διαχείρισης Αποβλήτων του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου.

Πριν την προσθήκη του εδαφοβελτιωτικού στο χώμα έγιναν μετρήσεις σε αυτό με προσθήκη νερού βρύσης. Στην Εικόνα 4.63 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας του εδαφοβελτιωτικού και στην Εικόνα 4.64 τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής του αντίστασης.

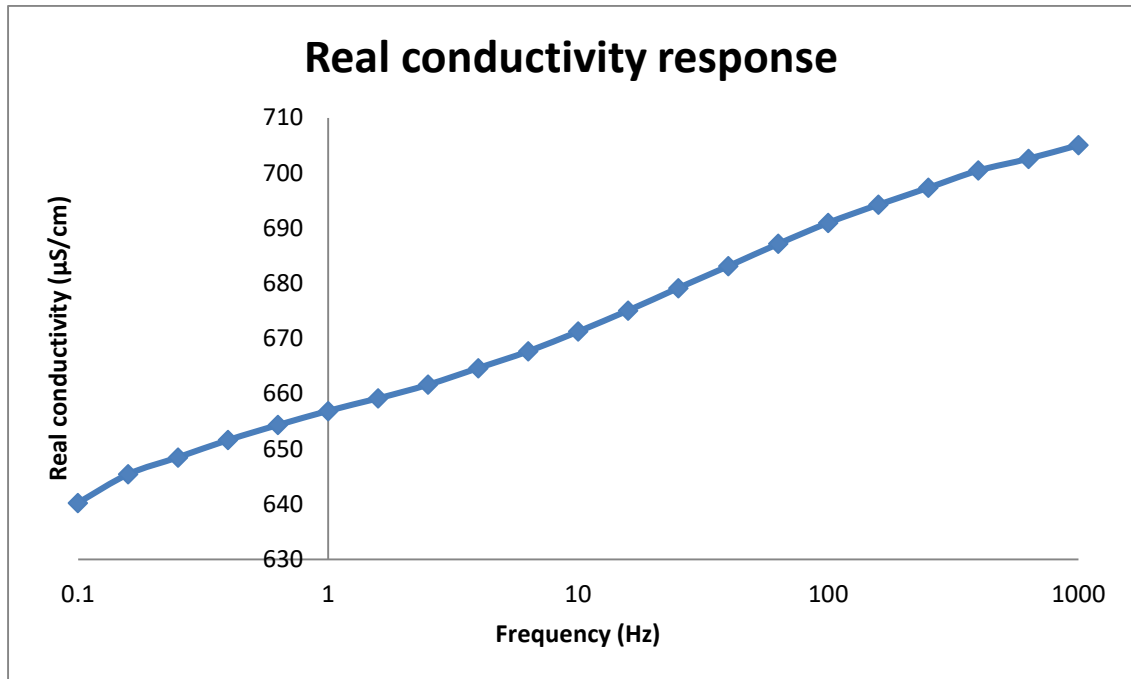


Εικόνα 4.63: Πραγματική αγωγιμότητα δείγματος εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως και 0.1Hz.

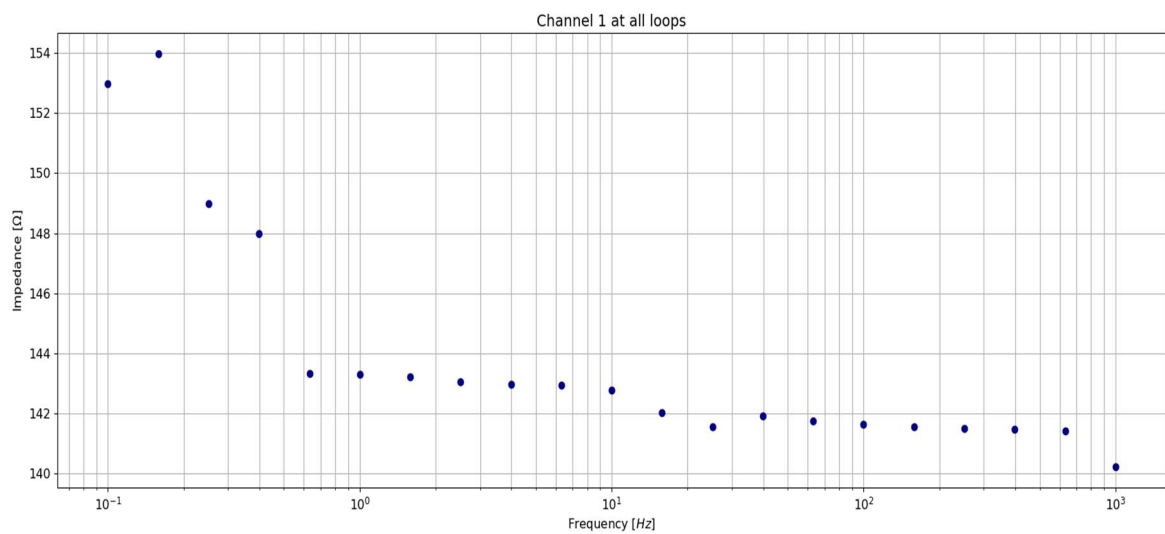


Εικόνα 4.64: Μέτρηση ηλεκτρικής αντίστασης σε δείγμα εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz με διάστημα ολοκλήρωσης της μέτρησης τα 5 λεπτά.

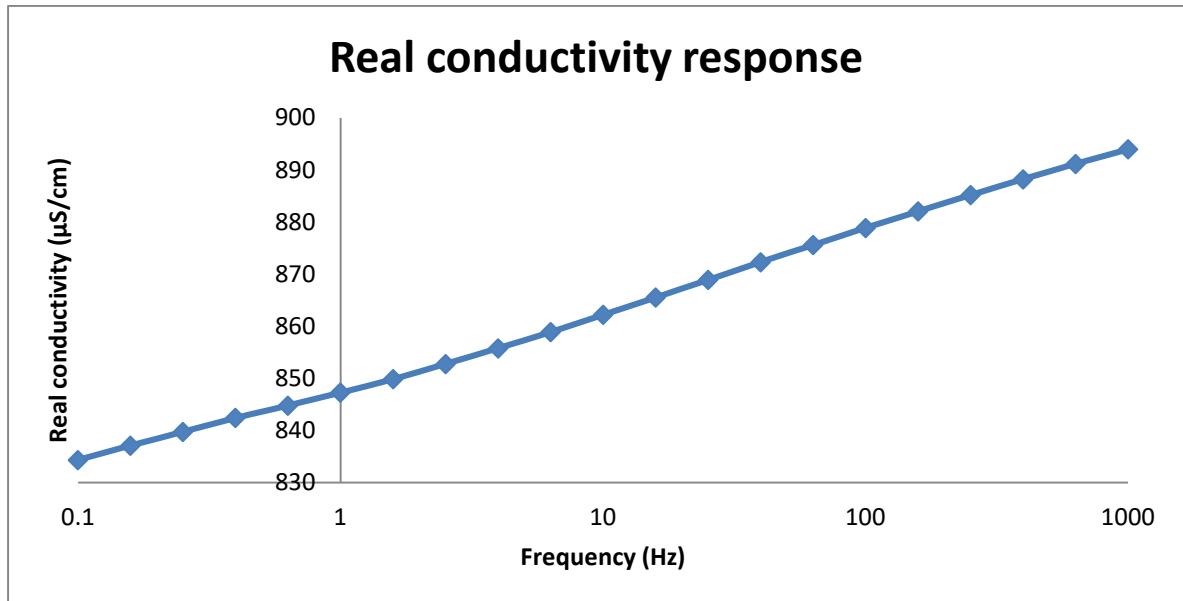
Στη συνέχεια έγιναν μετρήσεις αγωγιμότητας και αντίστασης σε κάθε δείγμα εδάφους χωρίς να έχει γίνει ανάμειξη και αφότου ολοκληρώθηκαν αυτές οι μετρήσεις έγινε η ανάμειξη των δειγμάτων. Στα δείγματα 1 έως 4 έγινε προσθήκη εδαφοβελτιωτικού με αναλογίες 25% και 50% για το κάθε δείγμα και τοποθετήθηκαν σε στήλες για την μέτρηση τους από το PSIP Unit. Για το δείγμα 1 τα αποτελέσματα χωρίς εδαφοβελτιωτικό παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.65 και Εικόνα 4.66. Στις Εικόνες 4.67, 4.68, όπως και στις Εικόνες 4.69, 4.70 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με προσθήκη εδαφοβελτιωτικού 25% και 50% αντίστοιχα.



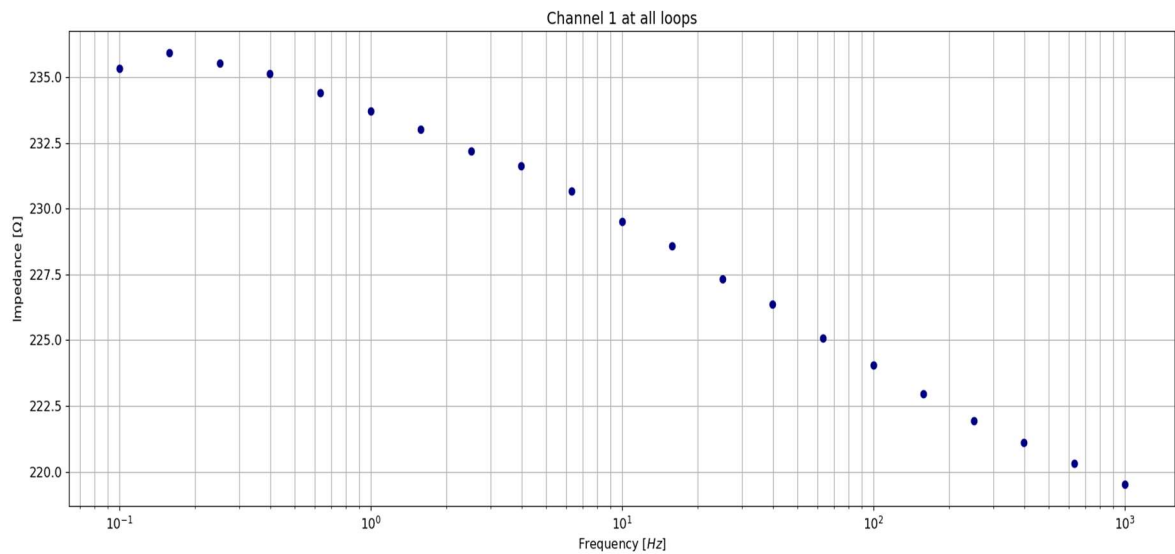
Εικόνα 4.65: Πραγματική αγωγιμότητα δείγματος 1 (έδαφος) χωρίς προσθήκη εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.



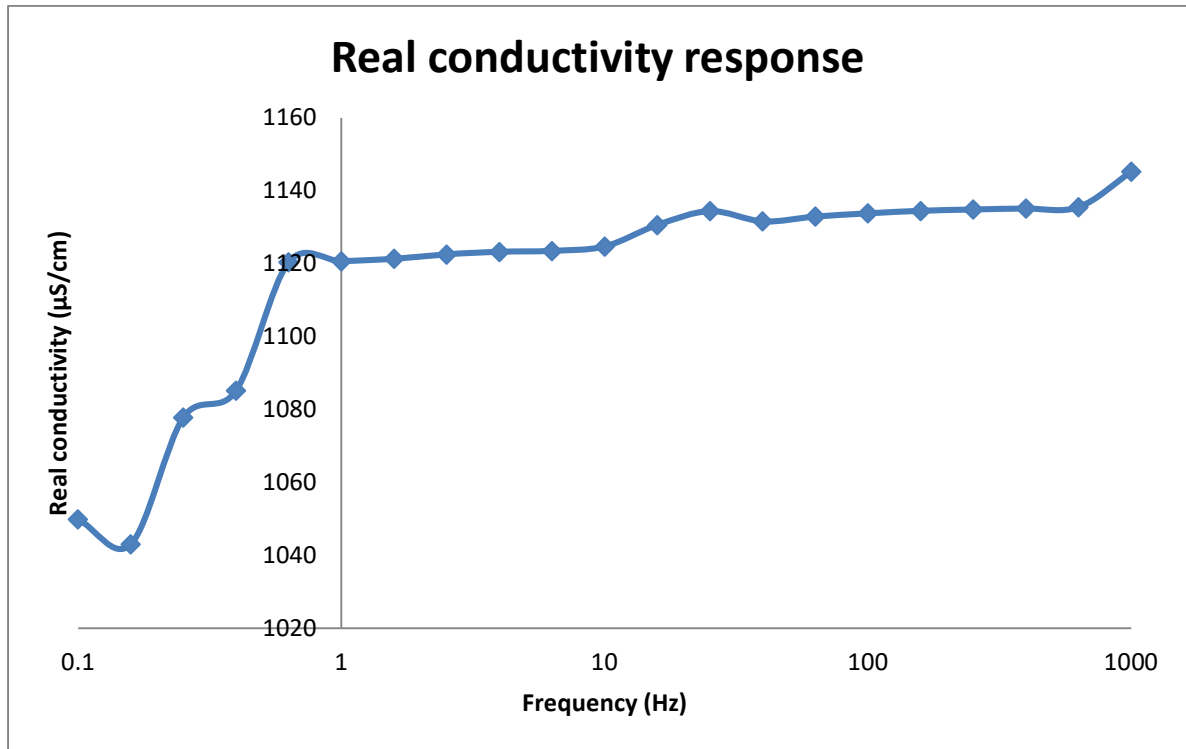
Εικόνα 4.66:: Αντίσταση δείγματος 1 (έδαφος) χωρίς προσθήκη εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.



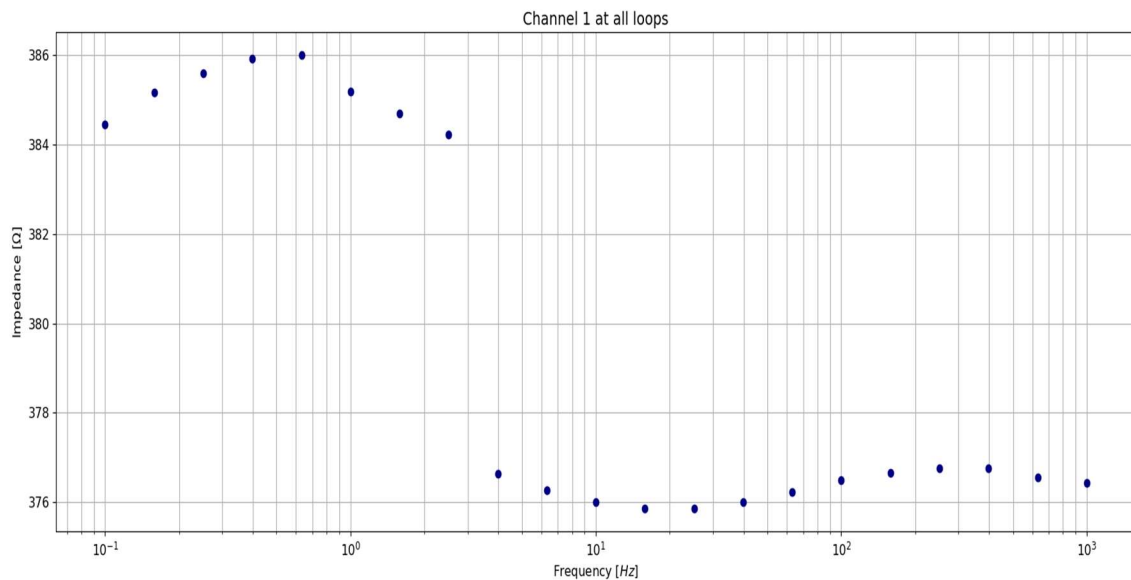
Εικόνα 4.67: Πραγματική αγωγιμότητα δείγματος 1 (έδαφος) με προσθήκη 25% εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.



Εικόνα 4.68: Αντίσταση δείγματος 1 (έδαφος) με προσθήκη 25% εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.

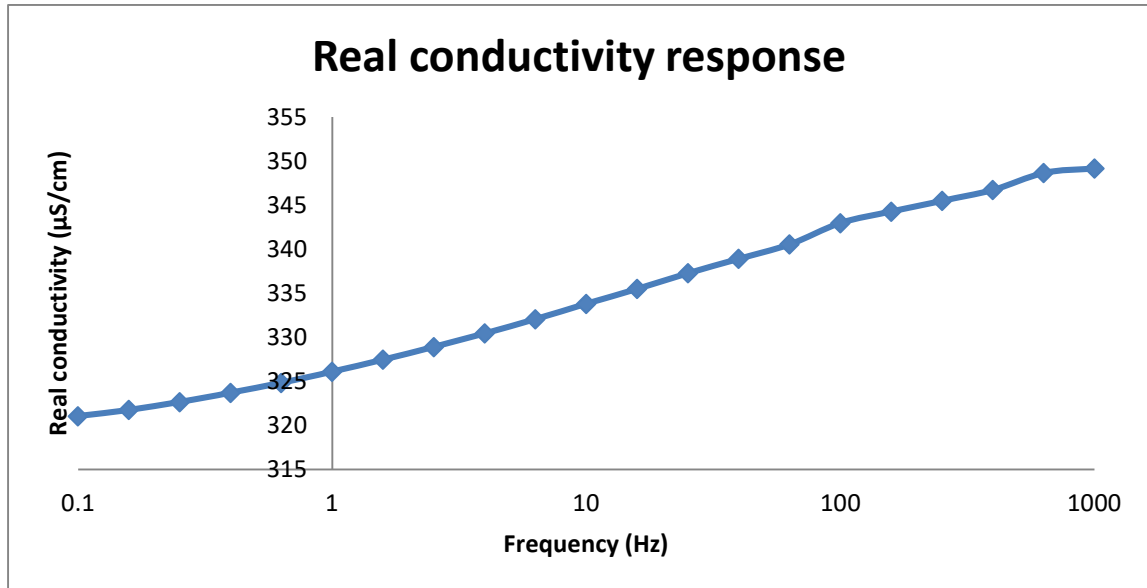


Εικόνα 4.69: Πραγματική αγωγιμότητα δείγματος 1 (έδαφος) με προσθήκη 50% εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.

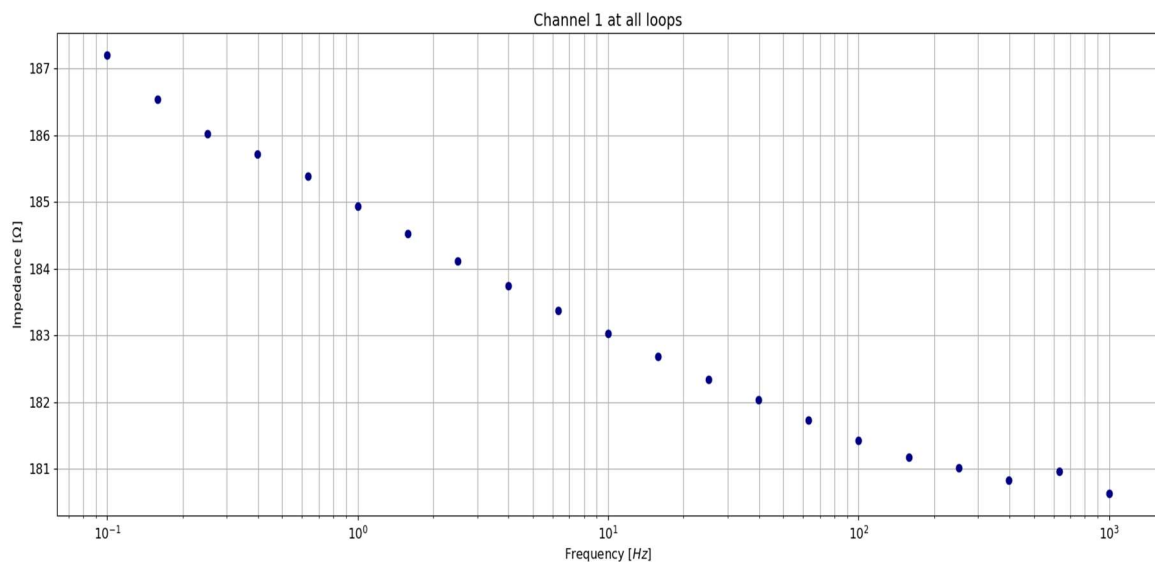


Εικόνα 4.70: Αντίσταση δείγματος 1 (χώμα) με προσθήκη 50% εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.

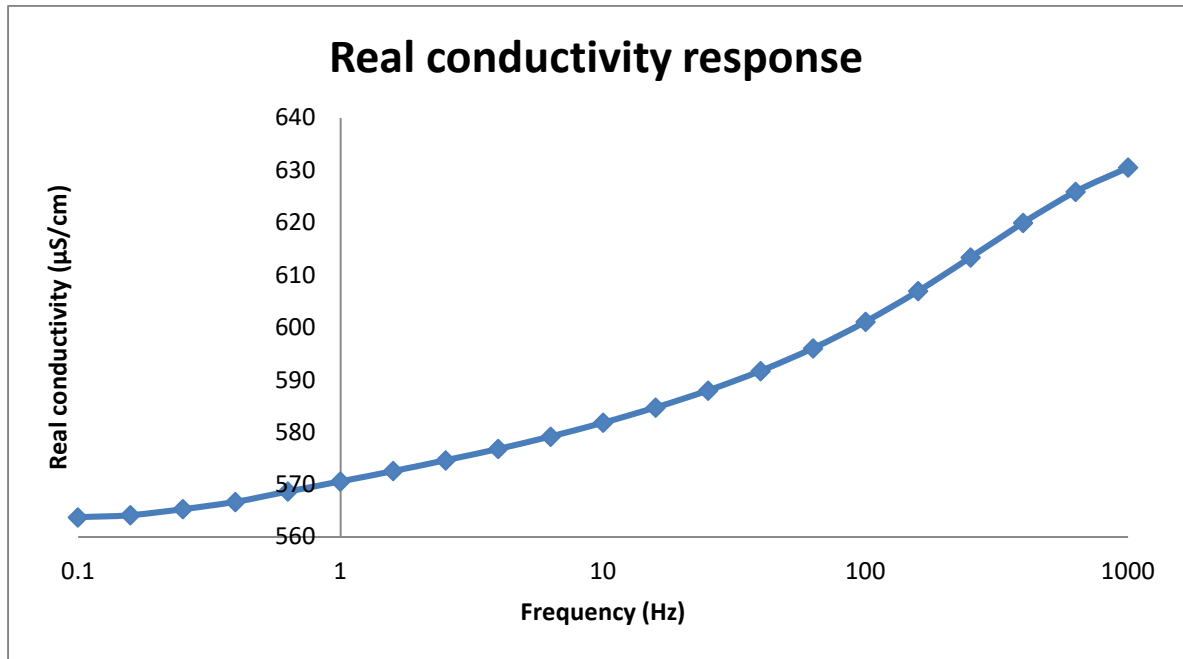
Για το δείγμα 2 τα αποτελέσματα χωρίς εδαφοβελτιωτικό παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.71 και Εικόνα 4.72. Στις Εικόνες 4.73, 4.74, όπως και στις Εικόνες 4.75, 4.76 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με προσθήκη εδαφοβελτιωτικού 25% και 50% αντίστοιχα.



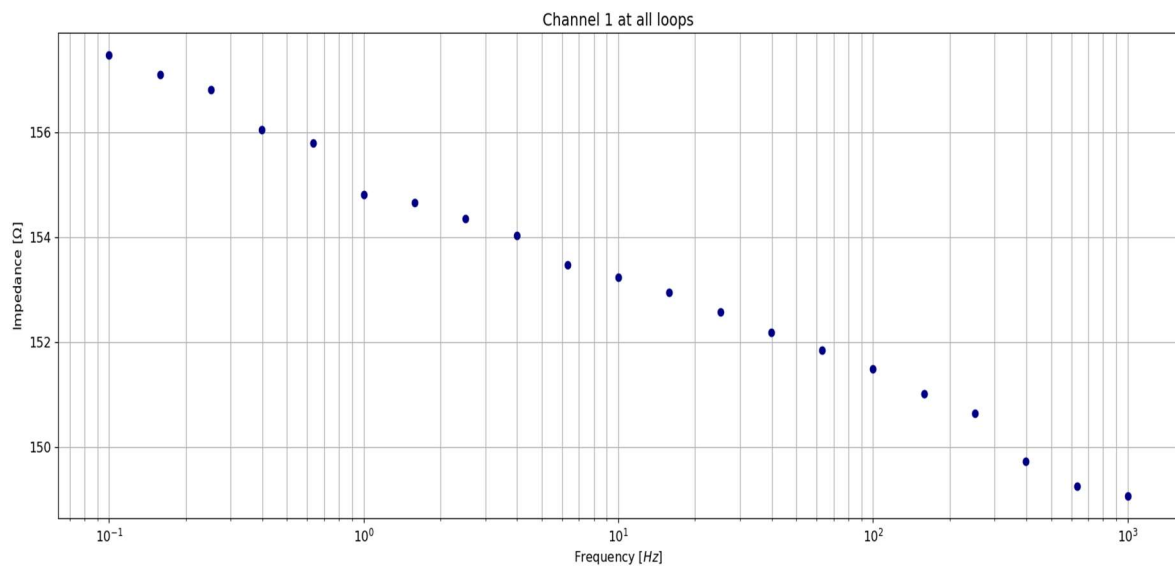
Εικόνα 4.71: Πραγματική αγωγιμότητα δείγματος 2 (έδαφος) χωρίς προσθήκη εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.



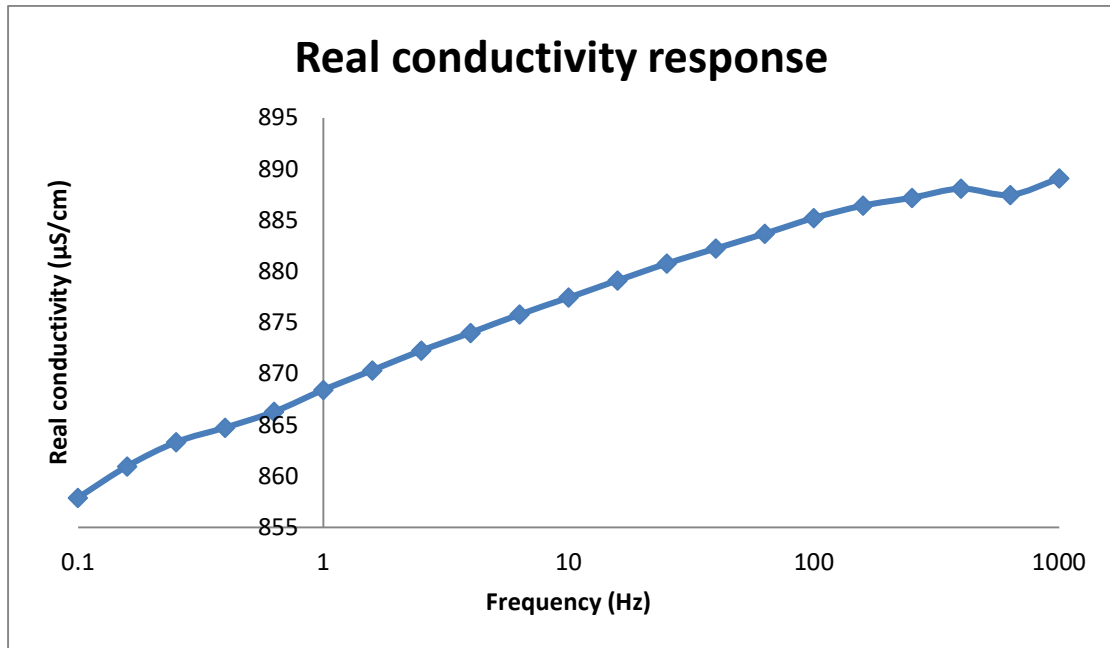
Εικόνα 4.72: Αντίσταση δείγματος 1 (έδαφος) χωρίς προσθήκη εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.



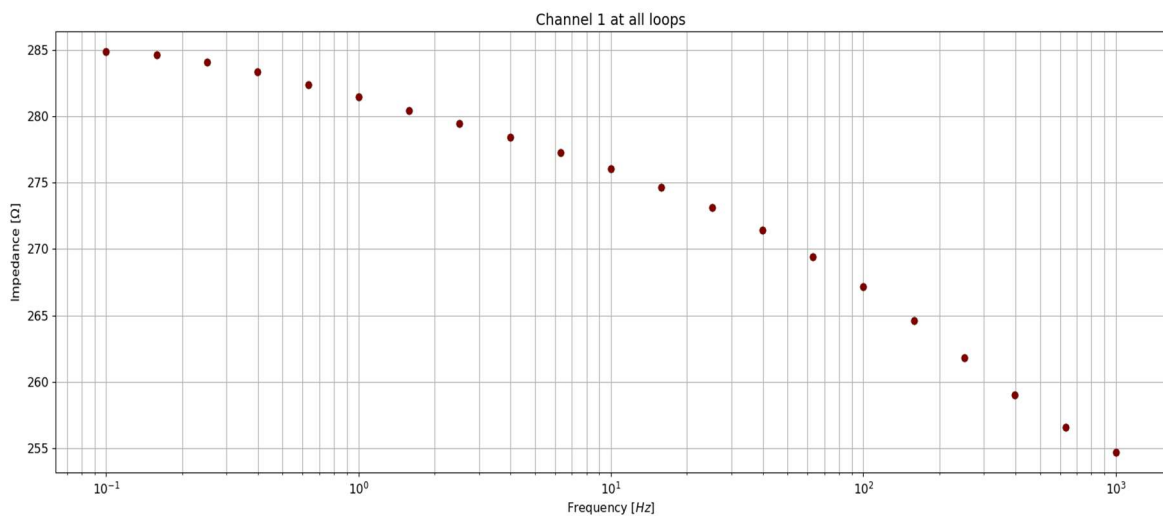
Εικόνα 4.73: Πραγματική αγωγιμότητα δείγματος 2 (έδαφος) με προσθήκη 25% εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.



Εικόνα 4.74: Αντίσταση δείγματος 2 (έδαφος) με προσθήκη 25% εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.

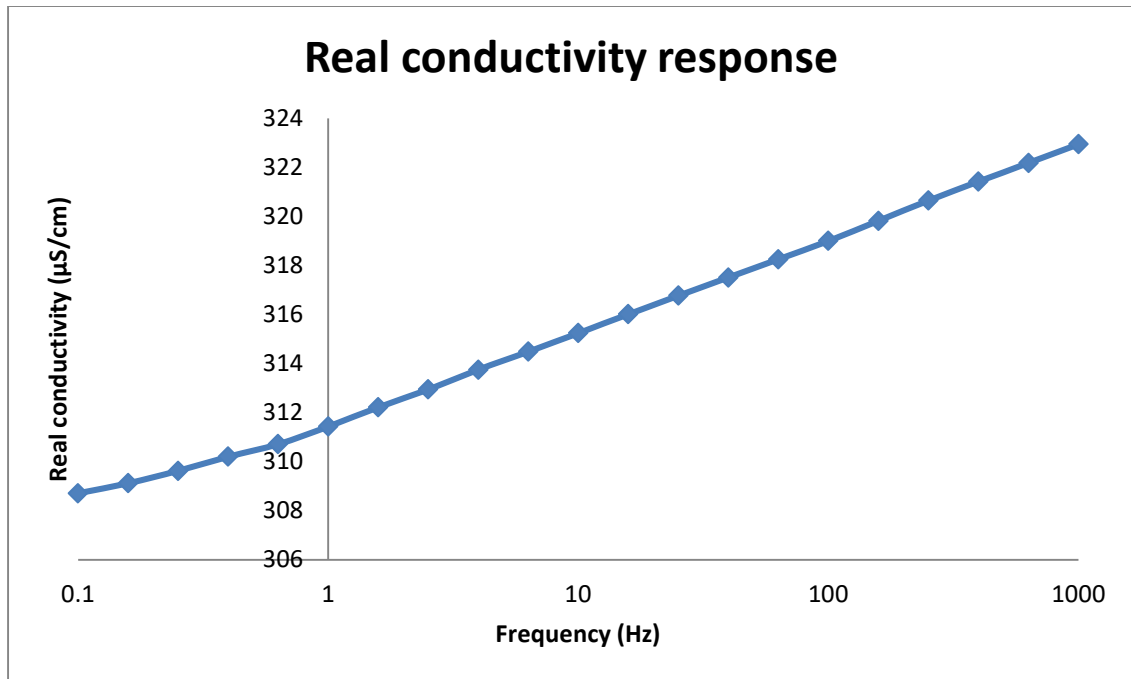


Εικόνα 4.75: Πραγματική αγωγιμότητα δείγματος 2 (έδαφος) με προσθήκη 50% εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.

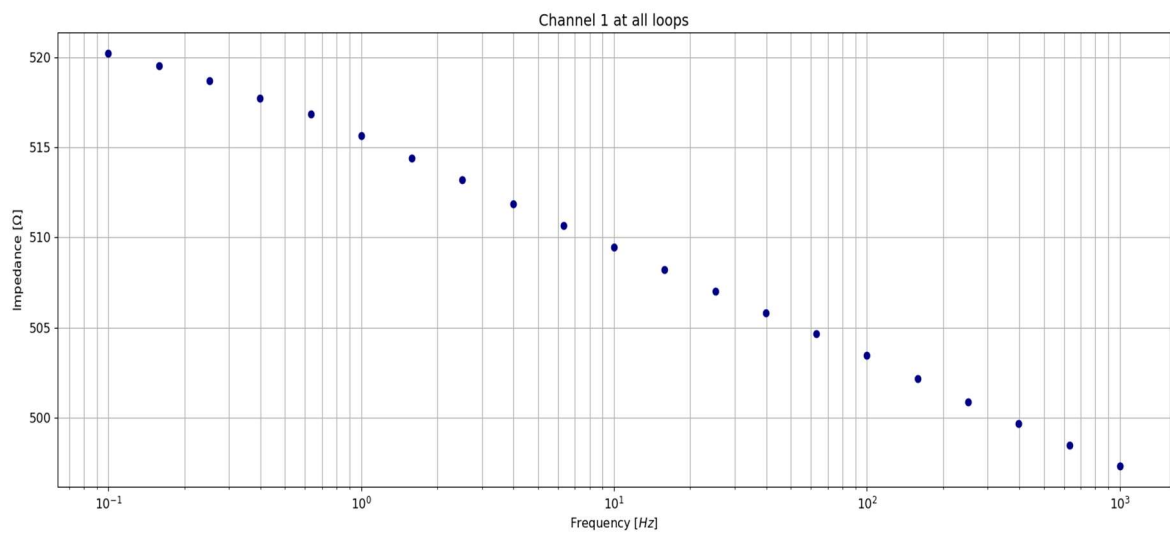


Εικόνα 4.76: Αντίσταση δείγματος 2 (έδαφος) με προσθήκη 50% εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.

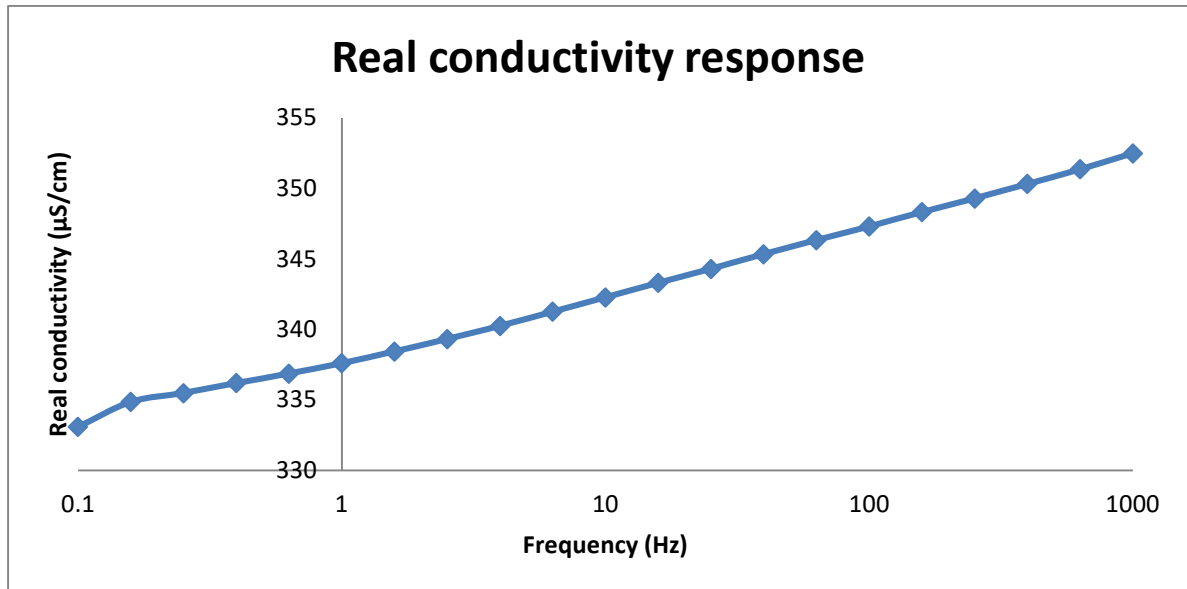
Για το δείγμα 3 τα αποτελέσματα χωρίς εδαφοβελτιωτικό παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.77 και Εικόνα 4.78. Στις Εικόνες 4.79, 4.80, όπως και στις Εικόνες 4.81, 4.82 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με προσθήκη εδαφοβελτιωτικού 25% και 50% αντίστοιχα.



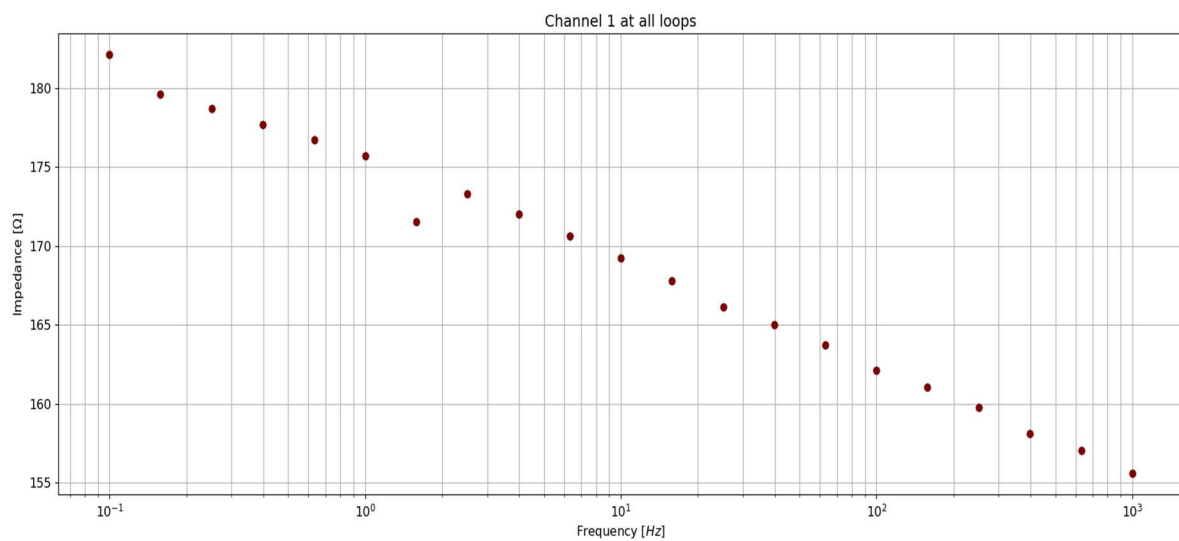
Εικόνα 4.77: Πραγματική αγωγιμότητα δείγματος 3 (έδαφος) χωρίς προσθήκη εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.



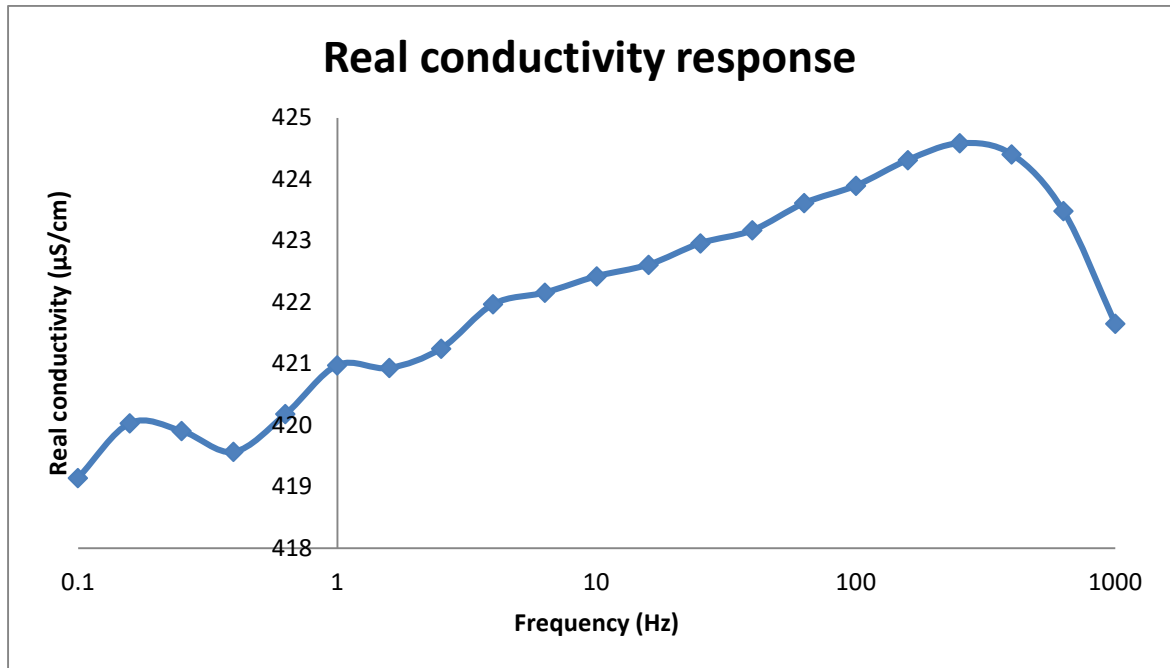
Εικόνα 4.78: Αντίσταση δείγματος 3 (έδαφος) χωρίς προσθήκη εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.



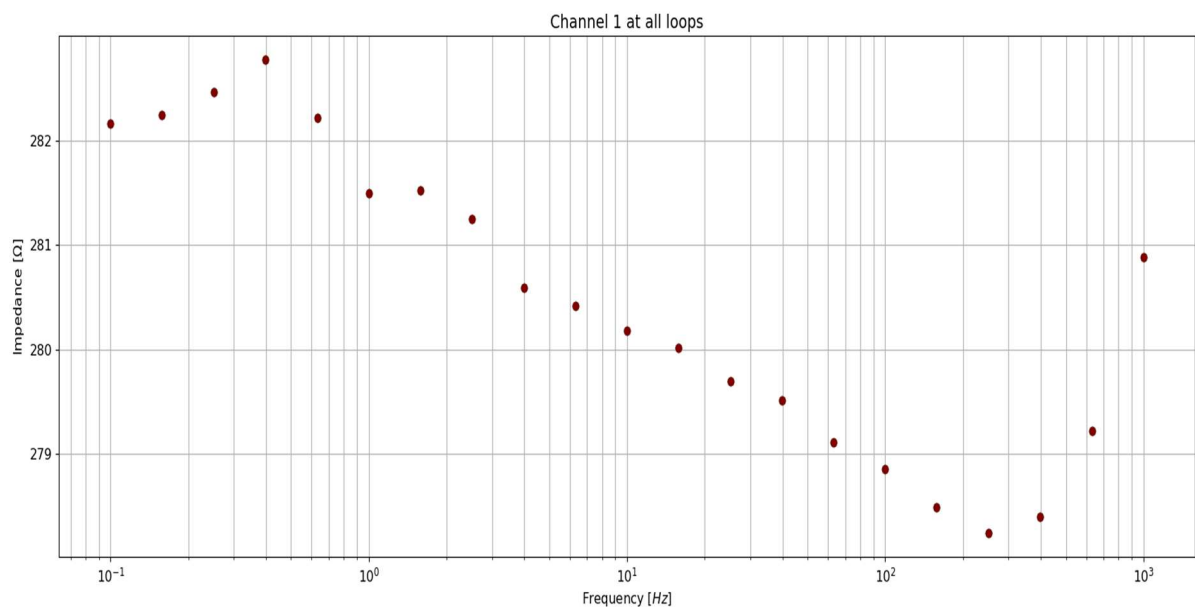
Εικόνα 4.79: Πραγματική αγωγιμότητα δείγματος 3 (χώμα) με προσθήκη 25% εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz



Εικόνα 4.80: Αντίσταση δείγματος 3 (έδαφος) με προσθήκη 25% εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz



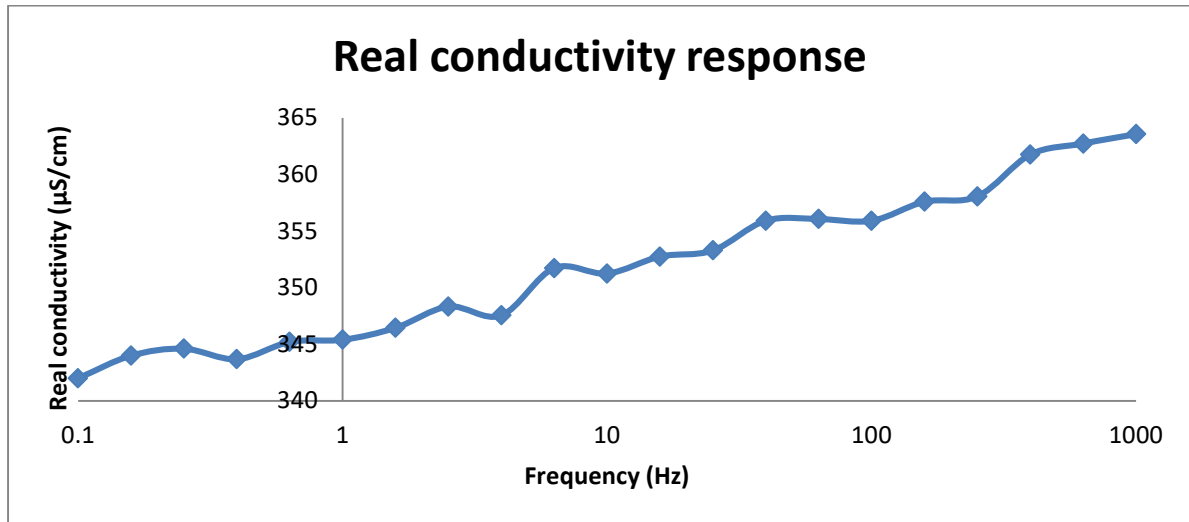
Εικόνα 4.81: Πραγματική αγωγιμότητα δείγματος 3 (χώμα) με προσθήκη 50% εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz



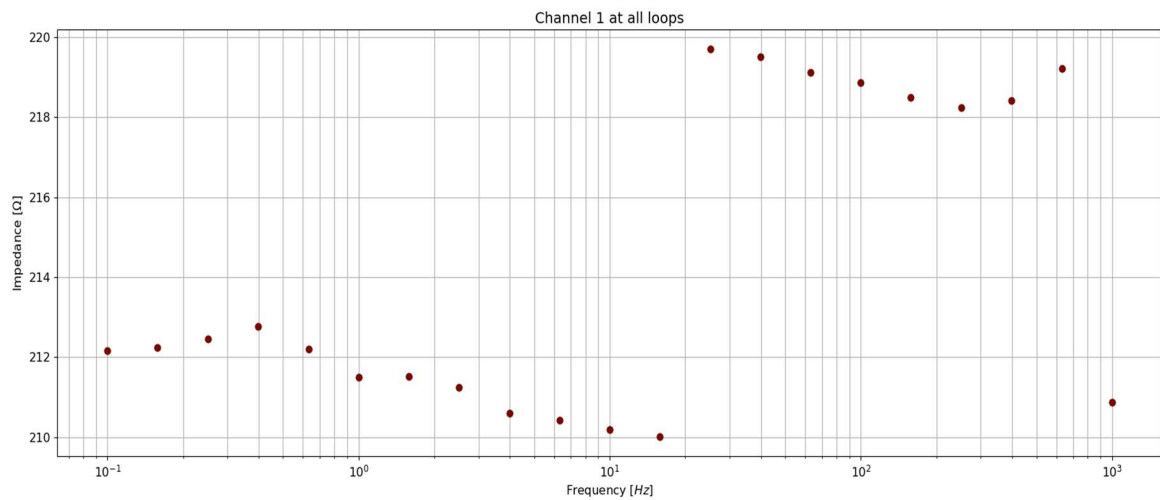
Εικόνα 4.82: Αντίσταση δείγματος 3 (έδαφος) με προσθήκη 50% εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.

Για το δείγμα 4 τα αποτελέσματα χωρίς εδαφοβελτιωτικό παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.83 και Εικόνα 4.84. Στις Εικόνες 4.85, 4.86, όπως και στις Εικόνες 4.87, 4.88

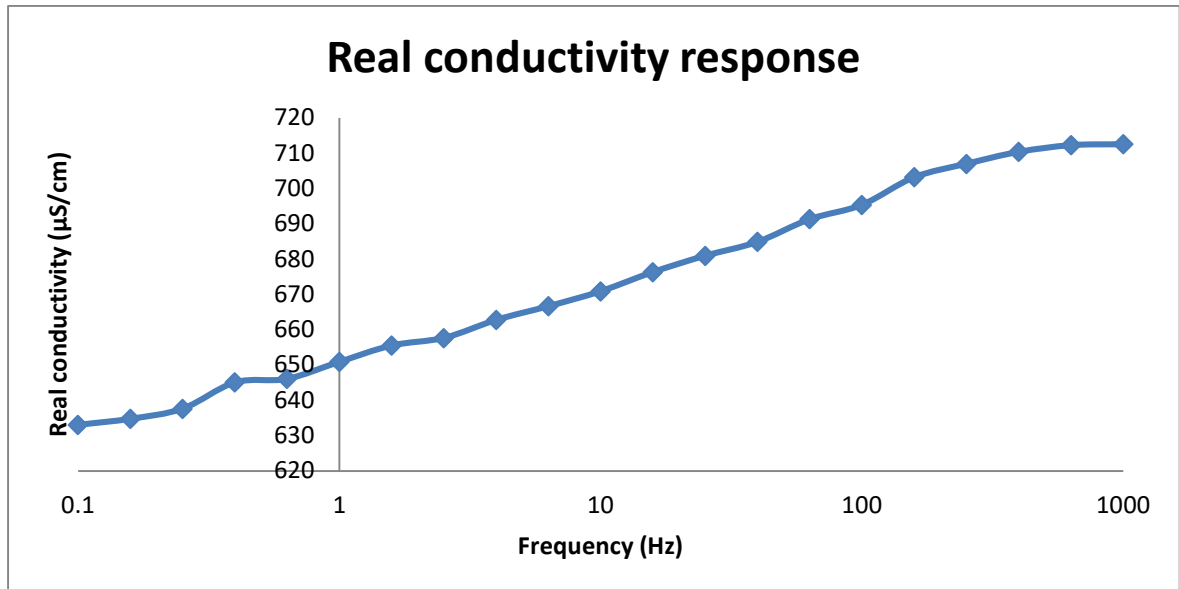
παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με προσθήκη εδαφοβελτιωτικού 25% και 50% αντίστοιχα.



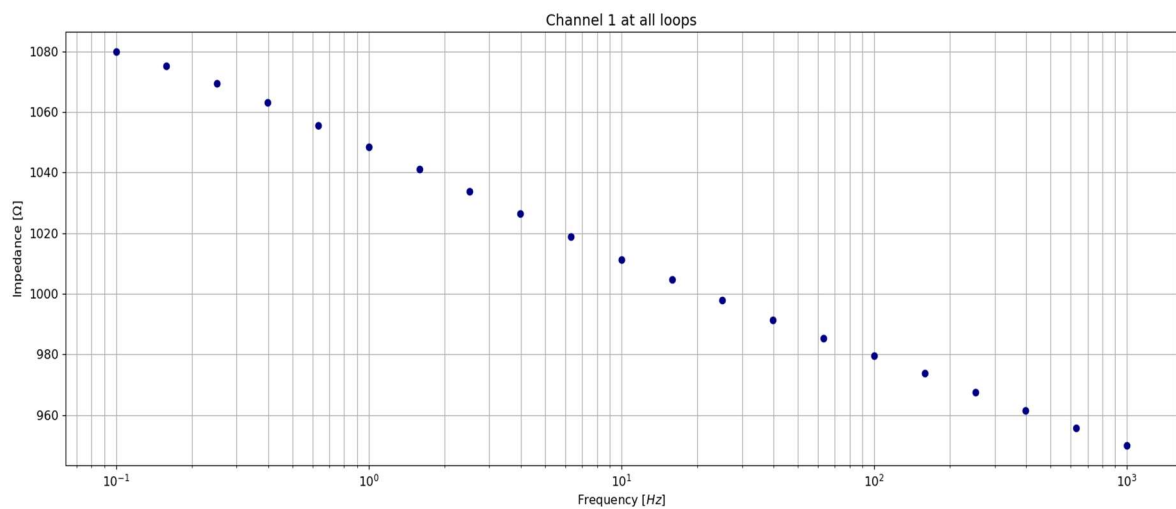
Εικόνα 4.83: Πραγματική αγωγιμότητα δείγματος 4 (έδαφος) χωρίς προσθήκη εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz



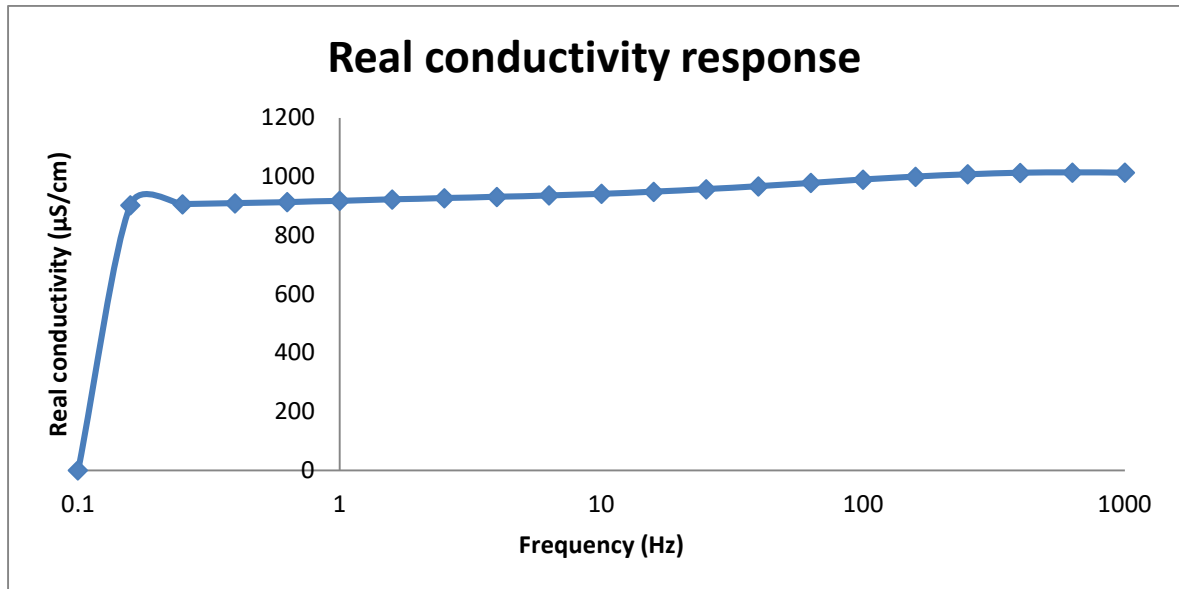
Εικόνα 4.84: Αντίσταση δείγματος 4 (έδαφος) χωρίς προσθήκη εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz



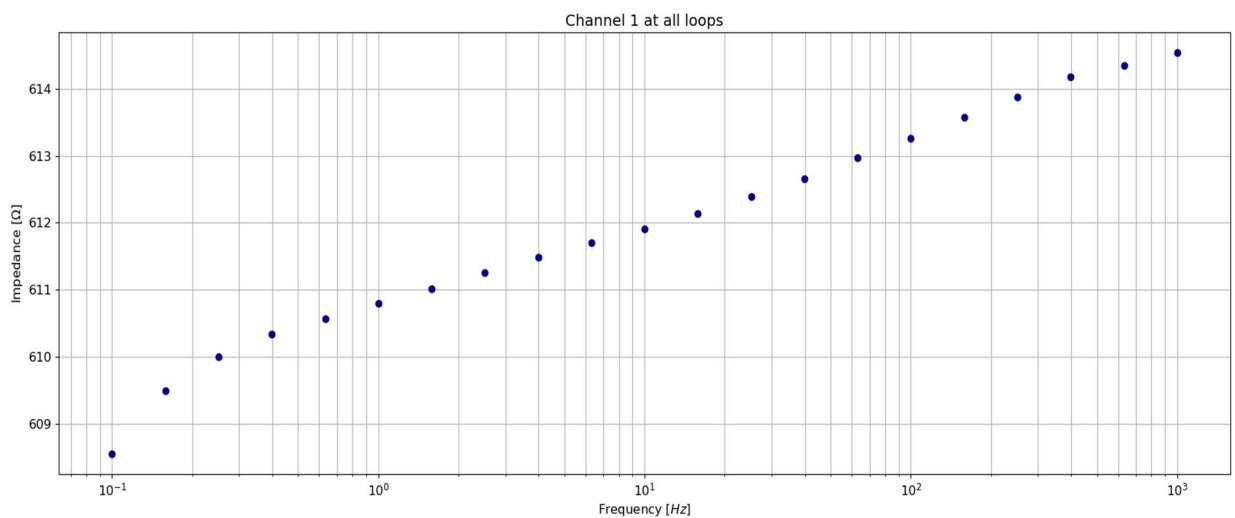
Εικόνα 4.85: Πραγματική αγωγιμότητα δείγματος 4 με προσθήκη 25% εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.



Εικόνα 4.86: Αντίσταση δείγματος 4 με προσθήκη 25% εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.



Εικόνα 4.87: Πραγματική αγωγιμότητα δείγματος 4 με προσθήκη 50% εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.

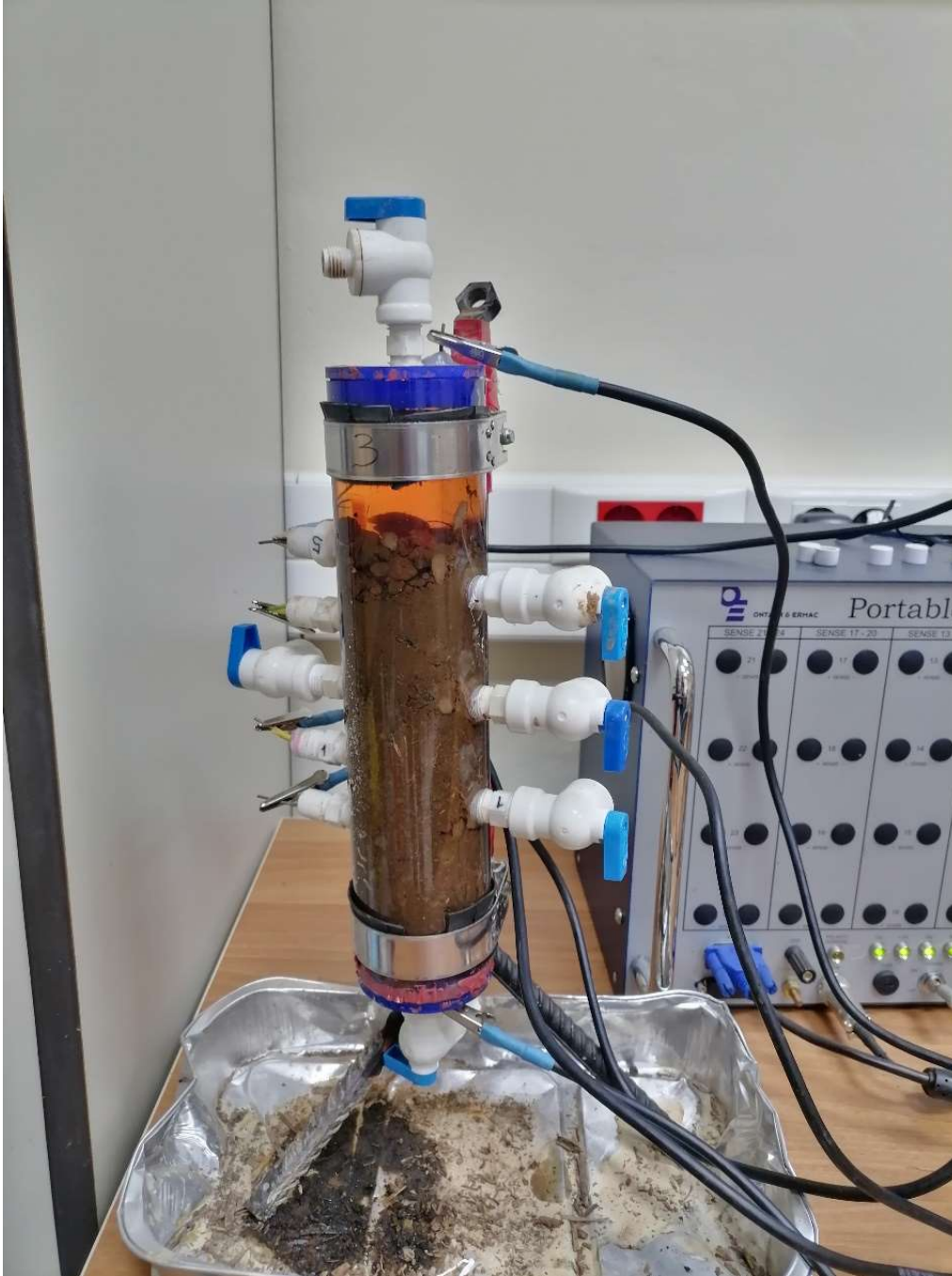


Εικόνα 4.88: Αντίσταση δείγματος 4 με προσθήκη 50% εδαφοβελτιωτικού σε συχνότητες από 1000Hz έως 0,1Hz.

4.5 Αποτελέσματα μετρήσεων εδάφους με πετρέλαιο

Οι τελευταίες μετρήσεις που έγιναν ήταν εκείνες που χρησιμοποιήθηκε πετρέλαιο στην επιφάνεια μιας στήλης γεμάτη με χώμα. Οι μετρήσεις για την ολοκλήρωση του πειράματος αυτού χρειάστηκαν 8 ώρες για να ολοκληρωθούν. Το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα επιλέχθηκε ώστε να παρατηρηθεί η αντίδραση του εδάφους σε ένα ατύχημα που θα είχε ως αποτέλεσμα την διαρροή πετρελαίου στο έδαφος. Η Εικόνα 4.89 παρουσιάζει τη στήλη εδάφους με προσθήκη πετρελαίου στην αρχή των μετρήσεων και στην Εικόνα 4.90 φαίνεται το δείγμα μετά από 8 ώρες μετρήσεων

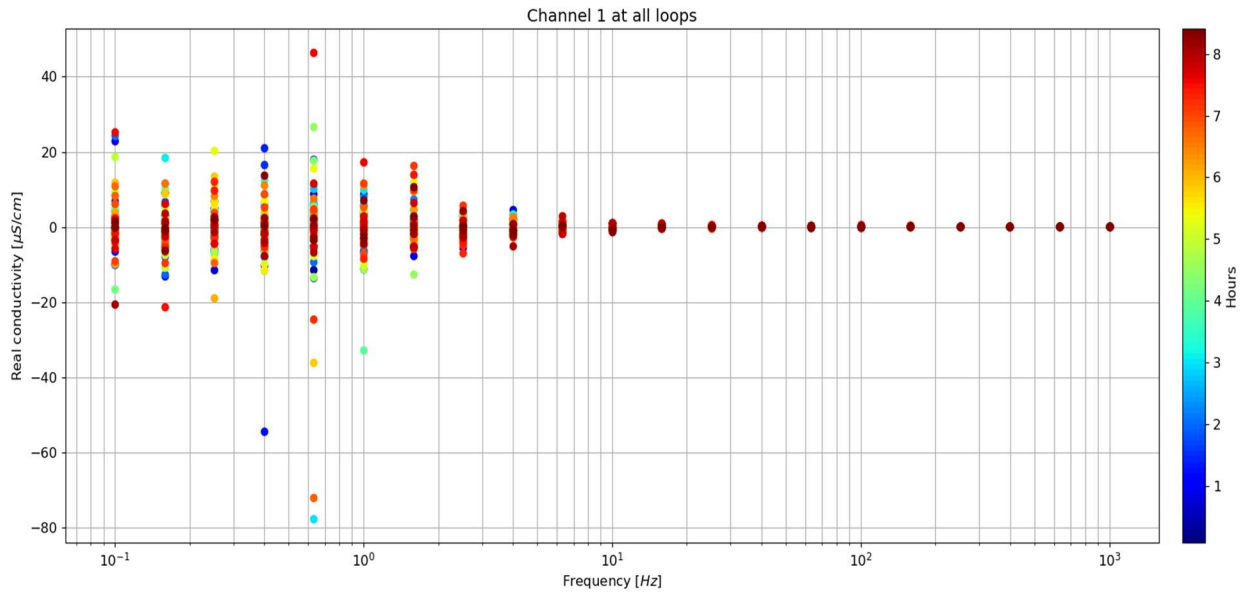
κορεσμένο πλέον από το πετρέλαιο. Η Εικόνα 4.90 και η Εικόνα 4.91 παρουσιάζουν το πώς επηρεάστηκε η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η αντίσταση του εδάφους αντίστοιχα σε διάστημα 8 ωρών από τη προσθήκη πετρελαίου.



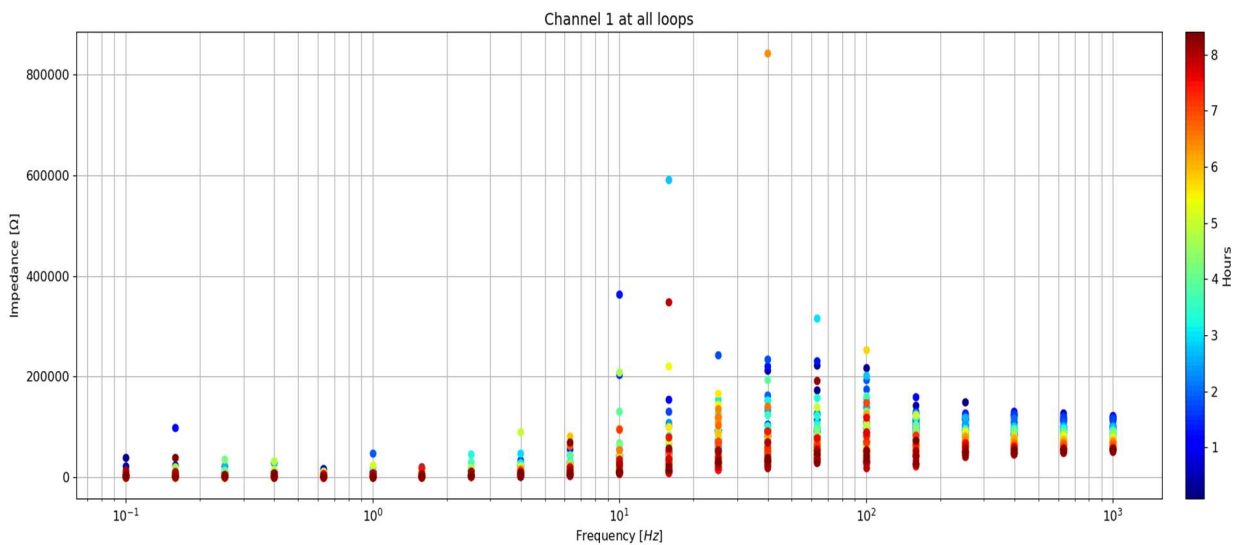
Εικόνα 4.89: Δείγμα εδάφους με πετρέλαιο πριν την έναρξη των οκτάωρων μετρήσεων. Η στήλη είναι συνδεδεμένη με το PSIP Unit.



Εικόνα 4.90: Δείγμα εδάφους με πετρέλαιο μετά την ολοκλήρωση των οκτώρων μετρήσεων. Η στήλη είναι συνδεδεμένη με το PSIP Unit.



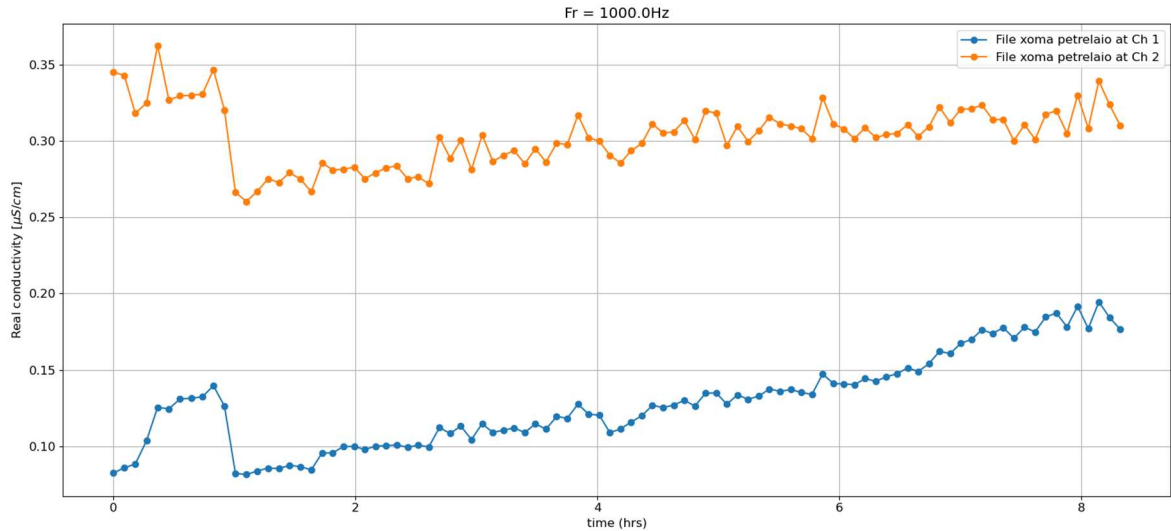
Εικόνα 4.91: Πραγματική αγωγιμότητα εδάφους σε διάστημα 8 ωρών καθώς ρυπαίνεται από πετρέλαιο.



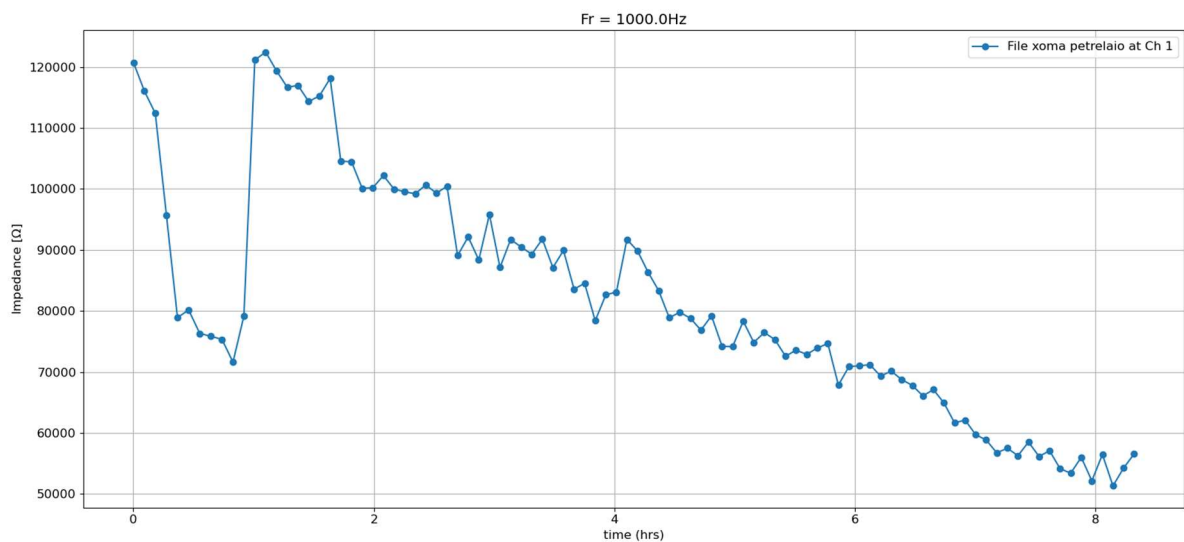
Εικόνα 4.92: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους σε διάστημα 8 ωρών καθώς ρυπαίνεται από πετρέλαιο

Στην συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα της πραγματικής αγωγιμότητας και την ηλεκτρικής αντίστασης σε όλα τα διαθέσιμα μήκη κύματος που μετρήθηκαν στο διάστημα των 8 ωρών.

Στην Εικόνα 4.93 και Εικόνα 4.94 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στα 1000Hz σε διάστημα 8 ωρών για το δείγμα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο.

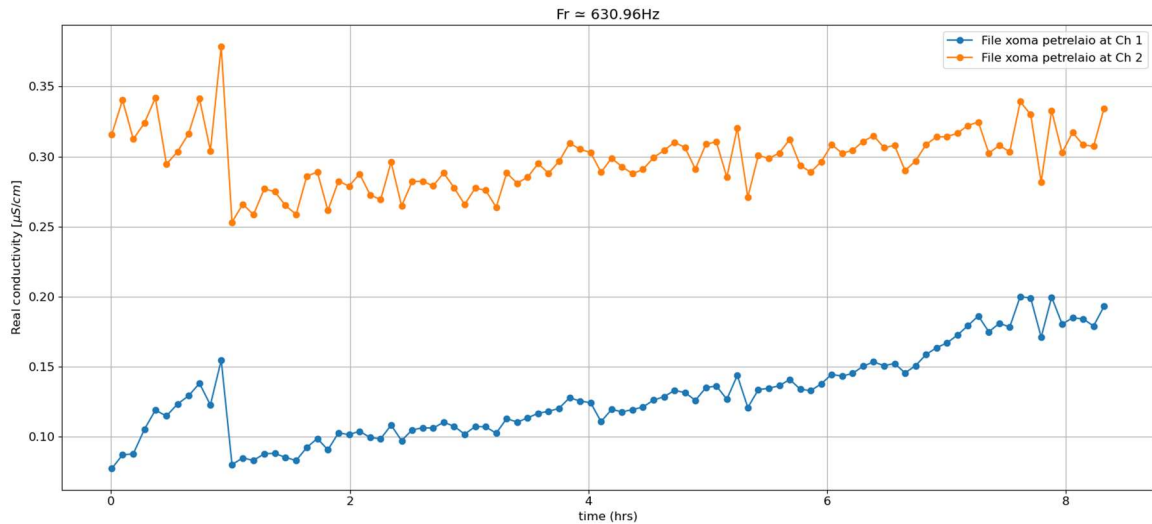


Εικόνα 4.93: Πραγματική αγωγιμότητα χώματος δείγμα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 1000Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2^ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

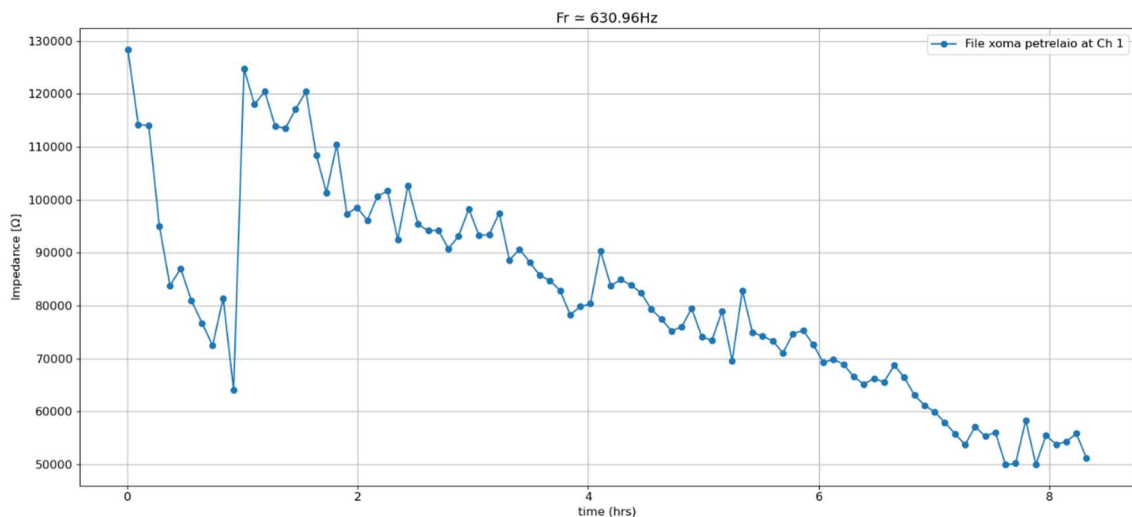


Εικόνα 4.94: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 1000Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

Στην Εικόνα 4.95 και Εικόνα 4.96 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στα 630Hz σε διάστημα 8 ωρών για το δείγμα χώματος μολυσμένου από πετρέλαιο.

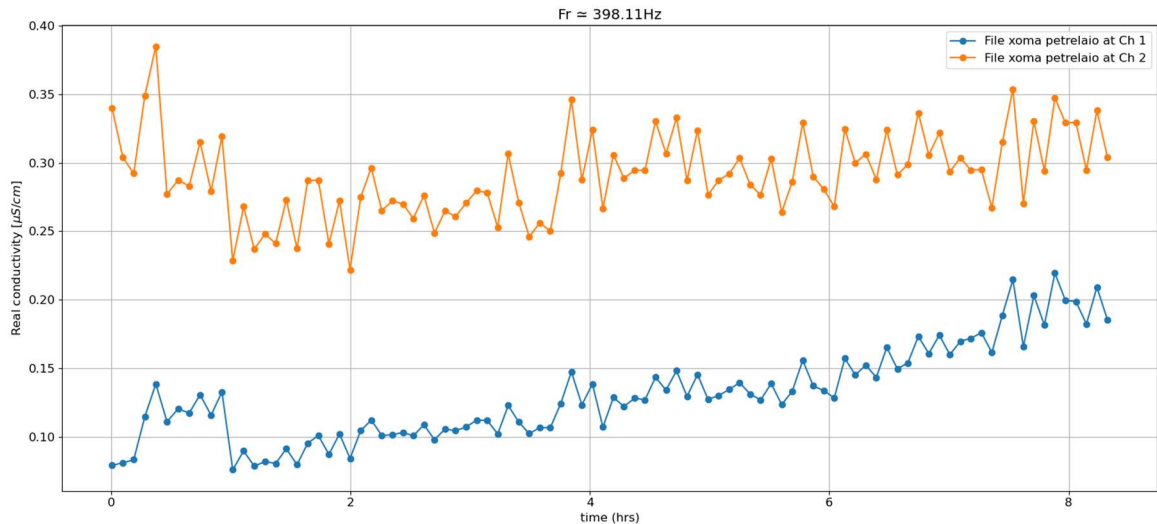


Εικόνα 4.95: Πραγματική αγωγιμότητα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 630Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2^ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

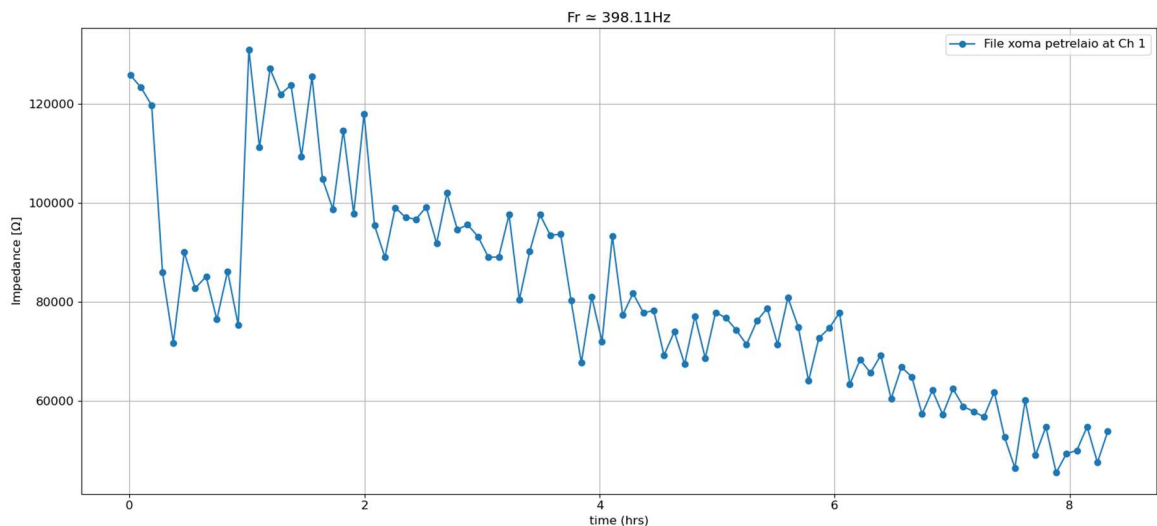


Εικόνα 4.96: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 630Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

Στην Εικόνα 4.97 και Εικόνα 4.98 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στα 398Hz σε διάστημα 8 ωρών για το δείγμα χρώματος μολυσμένου από πετρέλαιο.

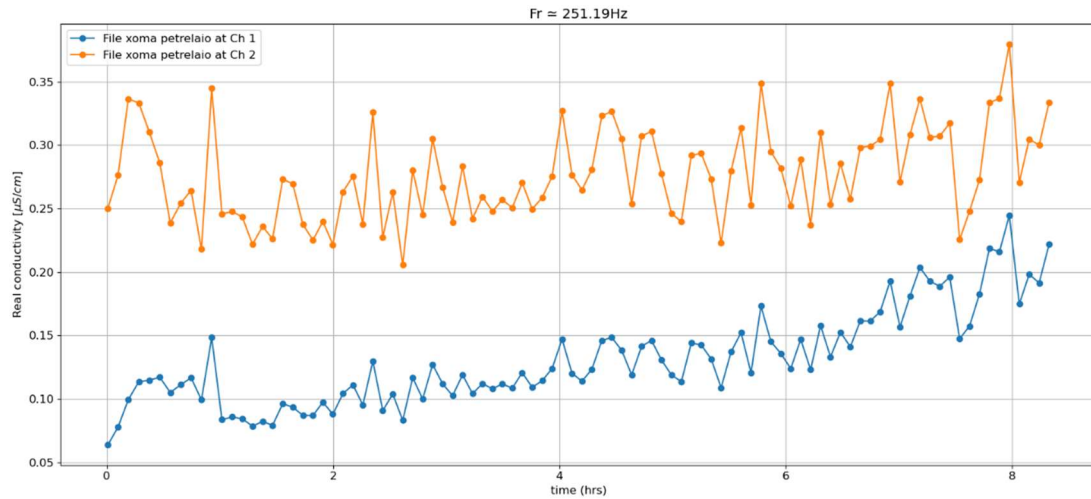


Εικόνα 4.97: Πραγματική αγωγιμότητα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 398Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2^ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

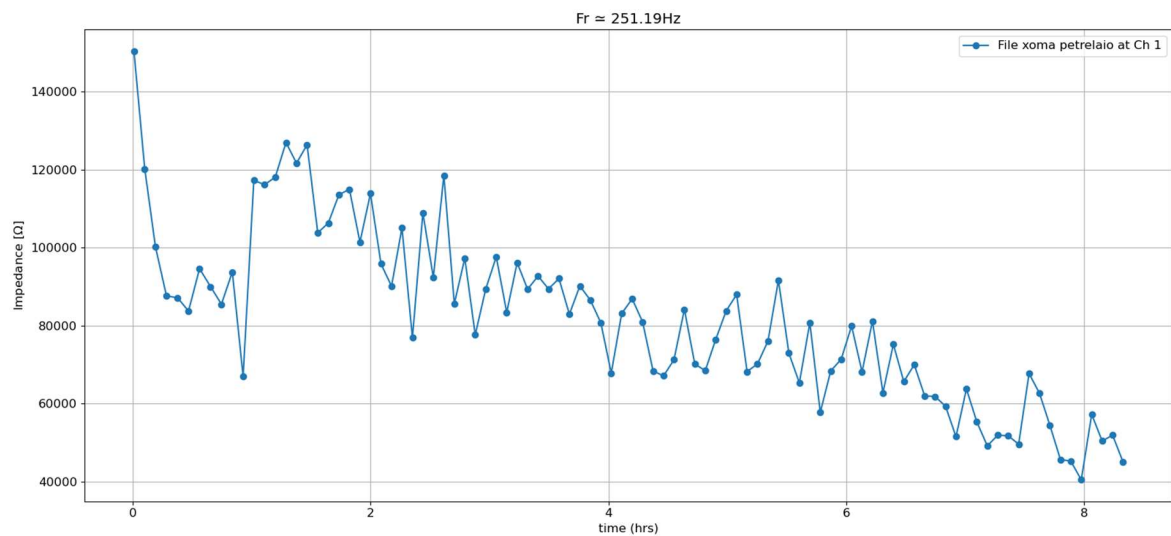


Εικόνα 4.98: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 398Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

Στην Εικόνα 4.99 και Εικόνα 4.100 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στα 251Hz σε διάστημα 8 ωρών για το εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο από πετρέλαιο.

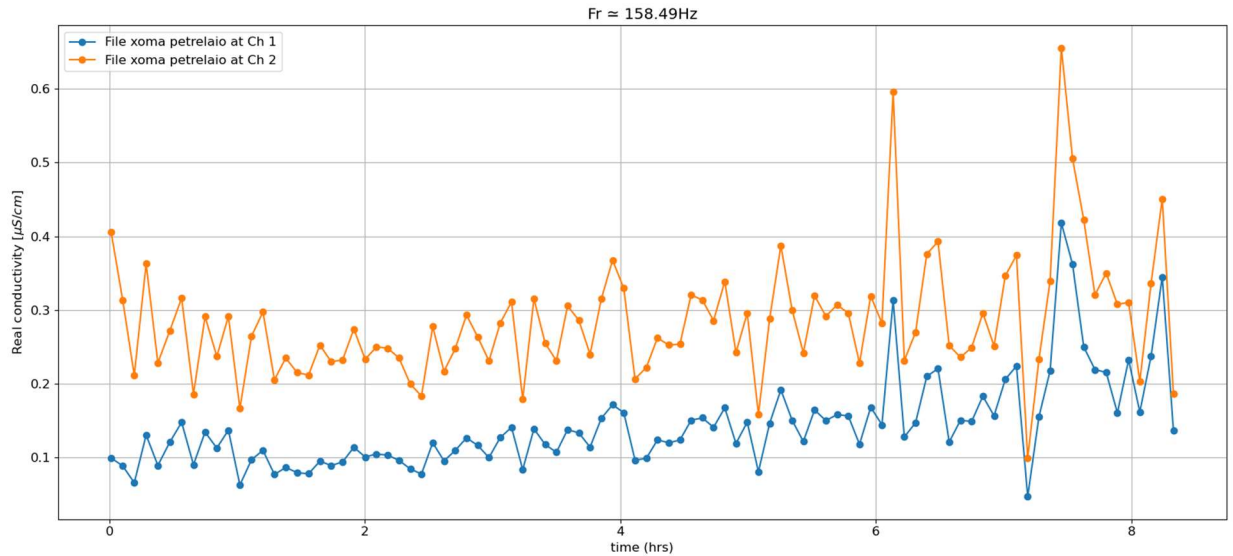


Εικόνα 4.99: Πραγματική αγωγιμότητα χώματος μολυσμένου με πετρέλαιο στα 251Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2^ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

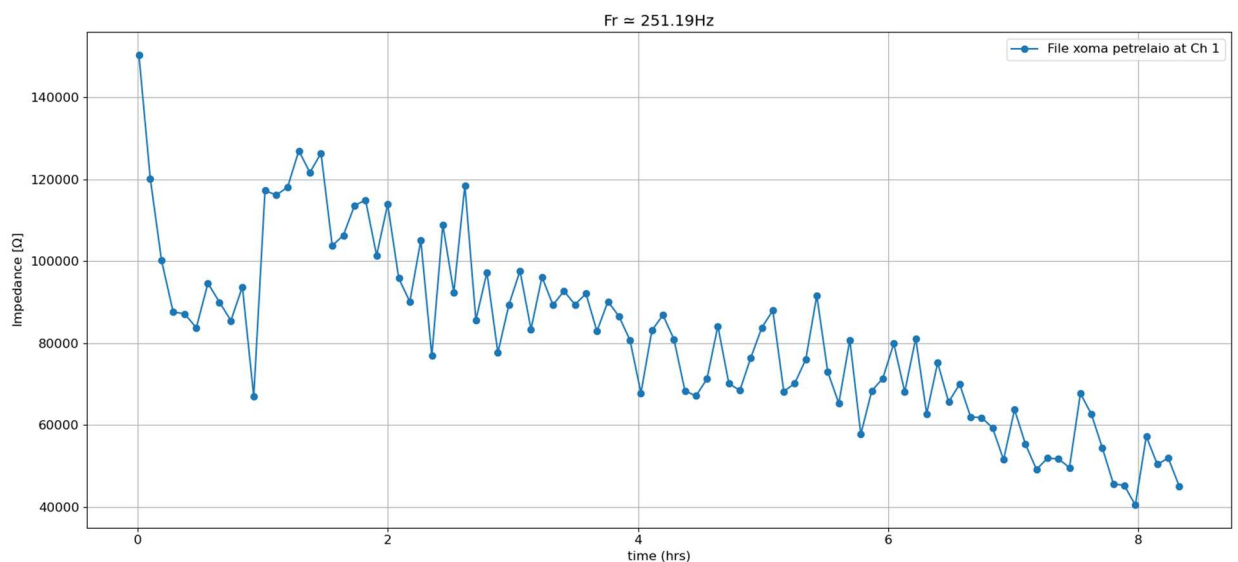


Εικόνα 4.100: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 251Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

Στην Εικόνα 4.101 και Εικόνα 4.102 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στα 158Hz σε διάστημα 8 ωρών για το δείγμα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο.

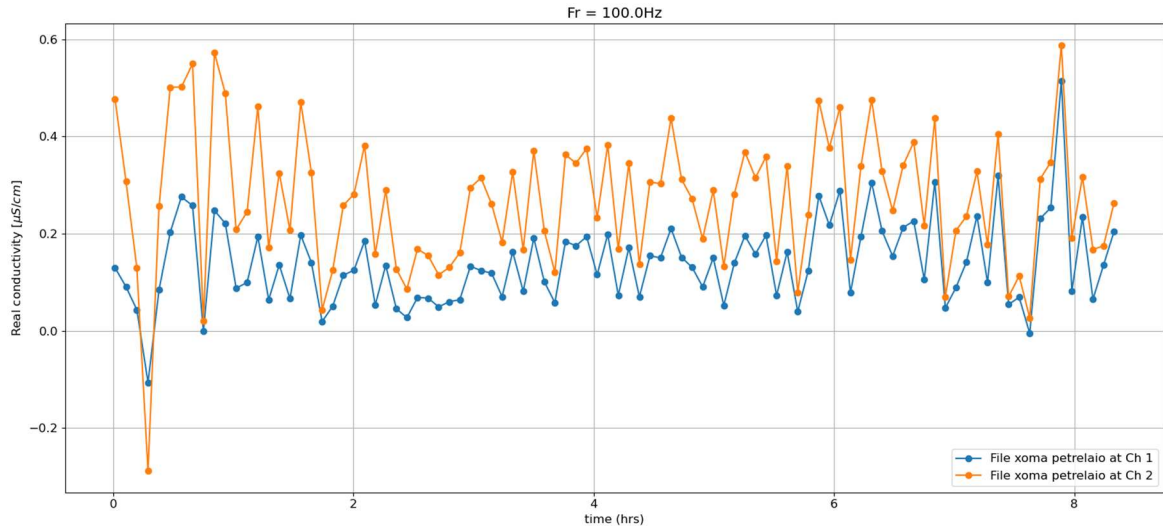


Εικόνα 4.101: Πραγματική αγωγιμότητα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 158Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2^ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

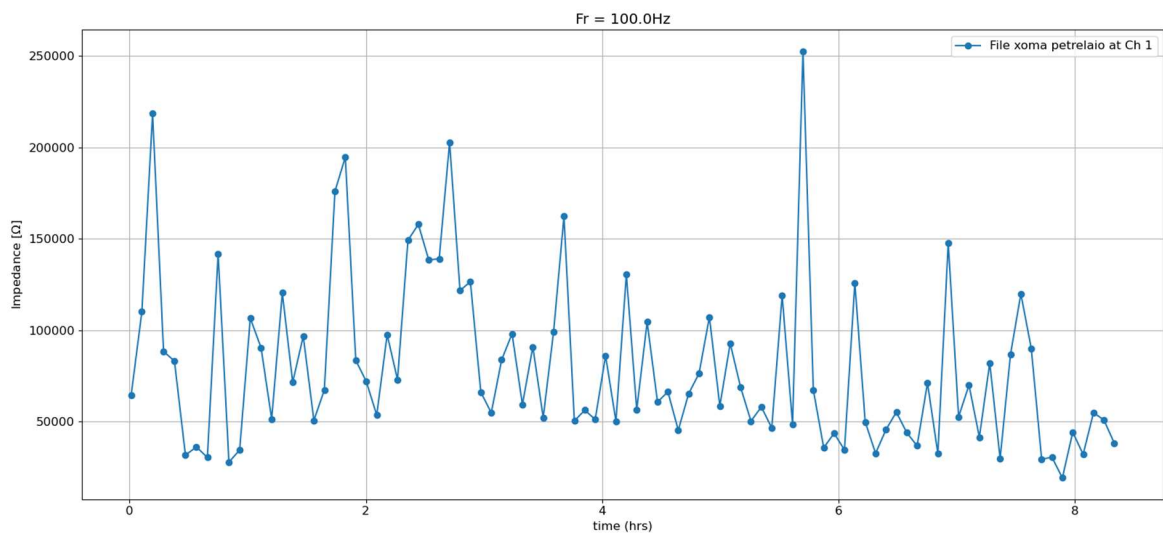


Εικόνα 4.102: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 158Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

Στην Εικόνα 4.103 και Εικόνα 4.104 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στα 100Hz σε διάστημα 8 ωρών για το δείγμα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο.

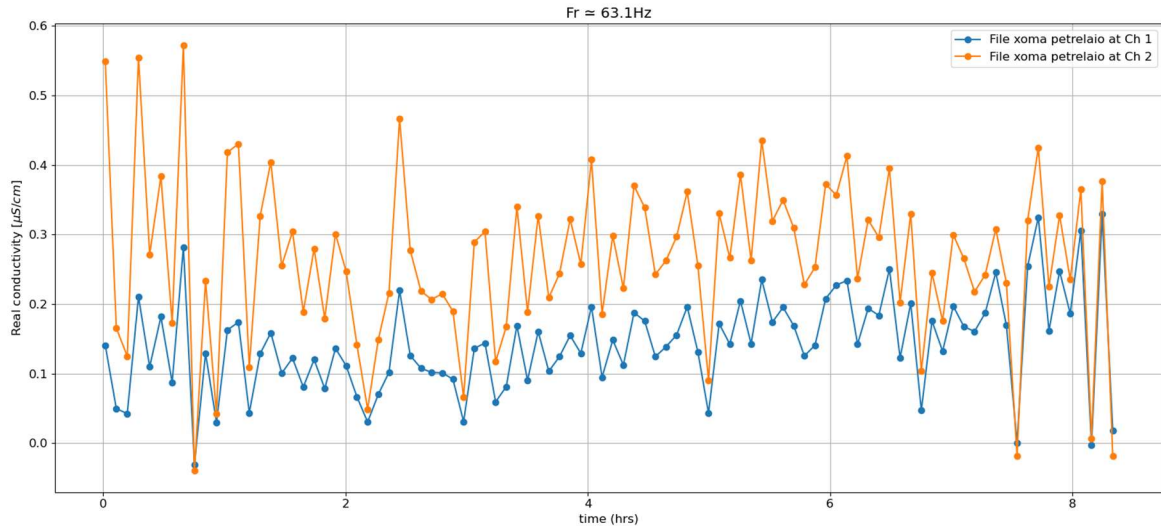


Εικόνα 4.103: Πραγματική αγωγιμότητα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 100Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2^ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

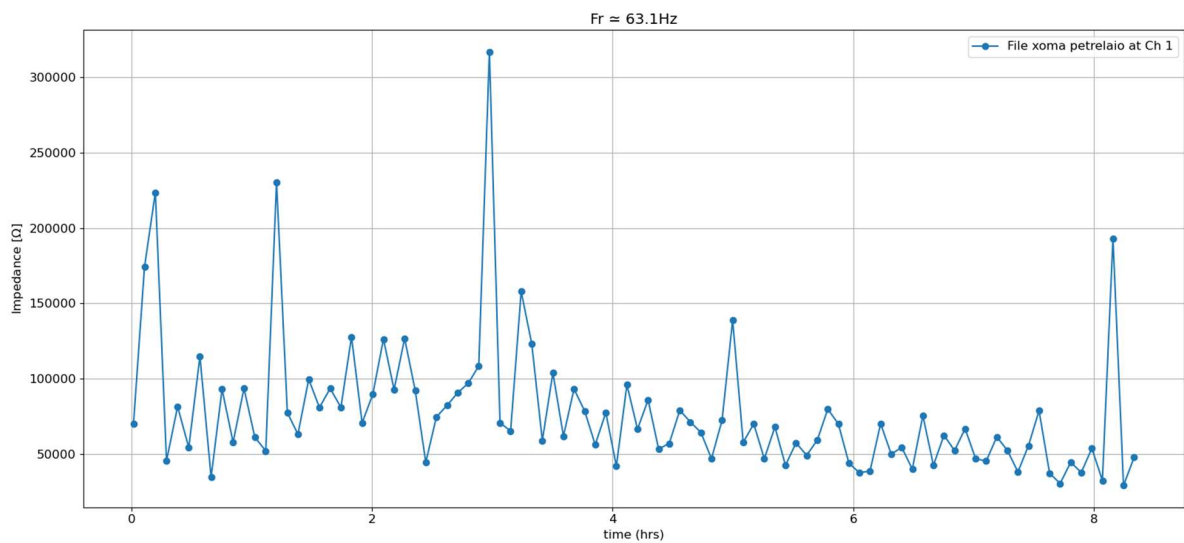


Εικόνα 4.104: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 100Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

Στην Εικόνα 4.105 και Εικόνα 4.106 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στα 63Hz σε διάστημα 8 ωρών για το δείγμα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο.

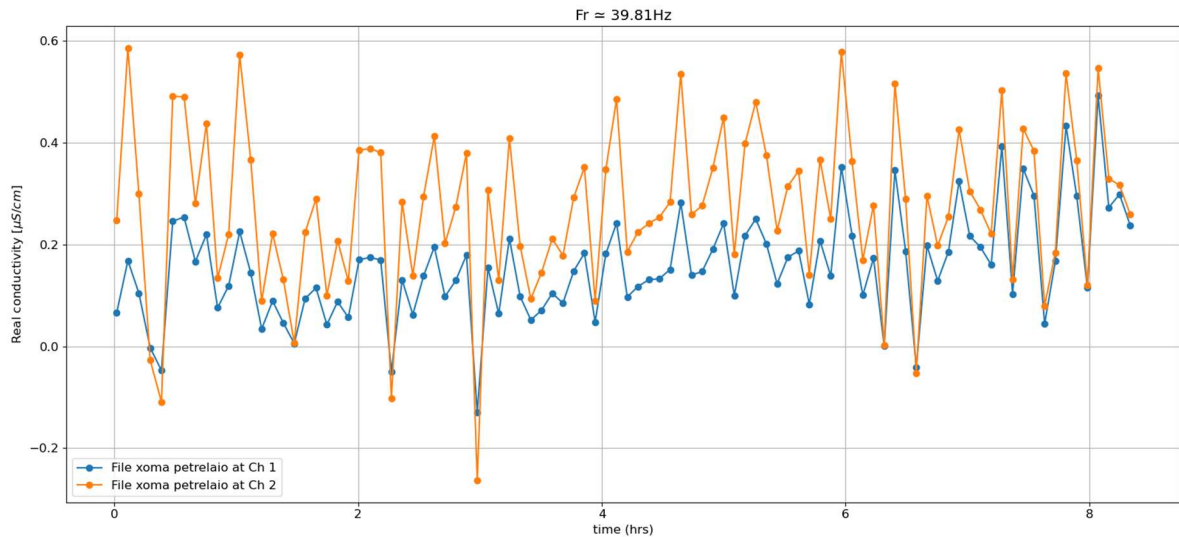


Εικόνα 4.105: Πραγματική αγωγιμότητα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 63Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2^ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

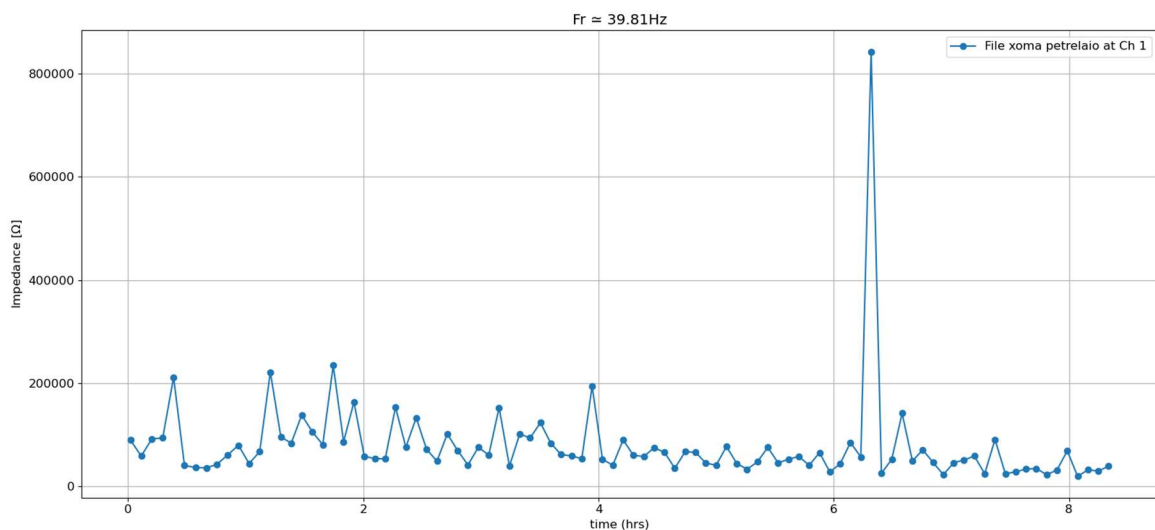


Εικόνα 4.106: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 63Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

Στην Εικόνα 4.107 και Εικόνα 4.108 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στα 39Hz σε διάστημα 8 ωρών για το δείγμα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο.

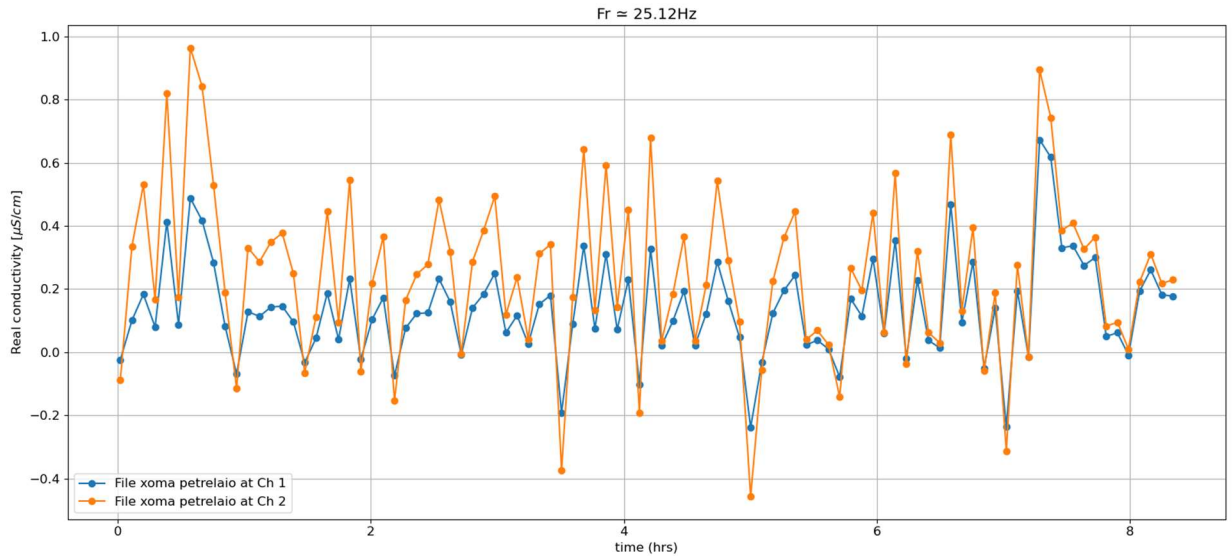


Εικόνα 4.107: Πραγματική αγωγιμότητα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 39Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2^ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

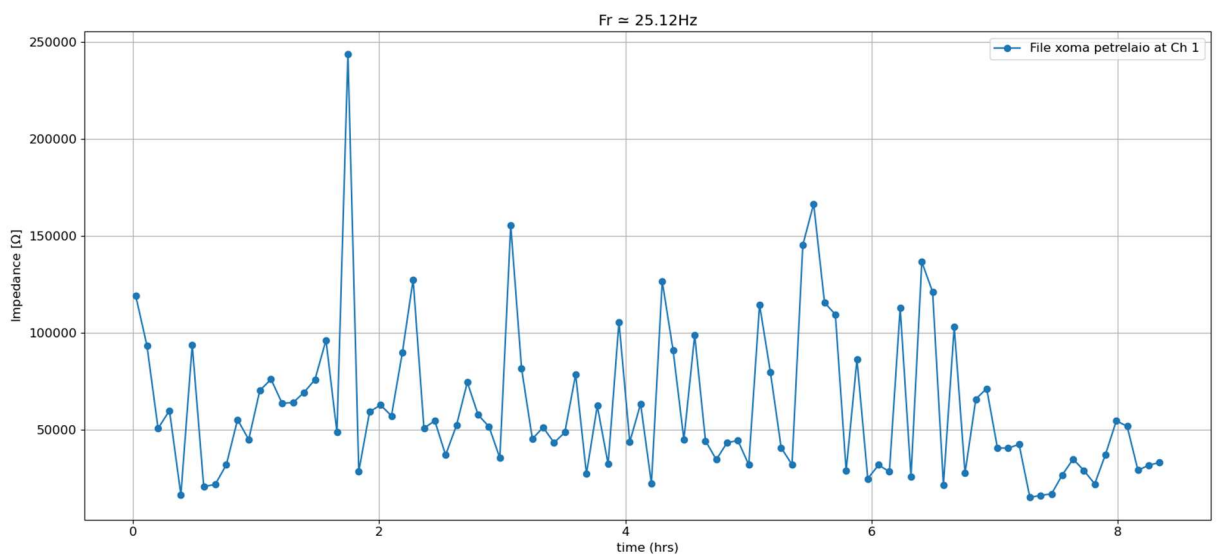


Εικόνα 4.108: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 39Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1ο κανάλι μετρήσεων.

Στην Εικόνα 4.109 και Εικόνα 4.110 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στα 25Hz σε διάστημα 8 ωρών για το δείγμα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο.

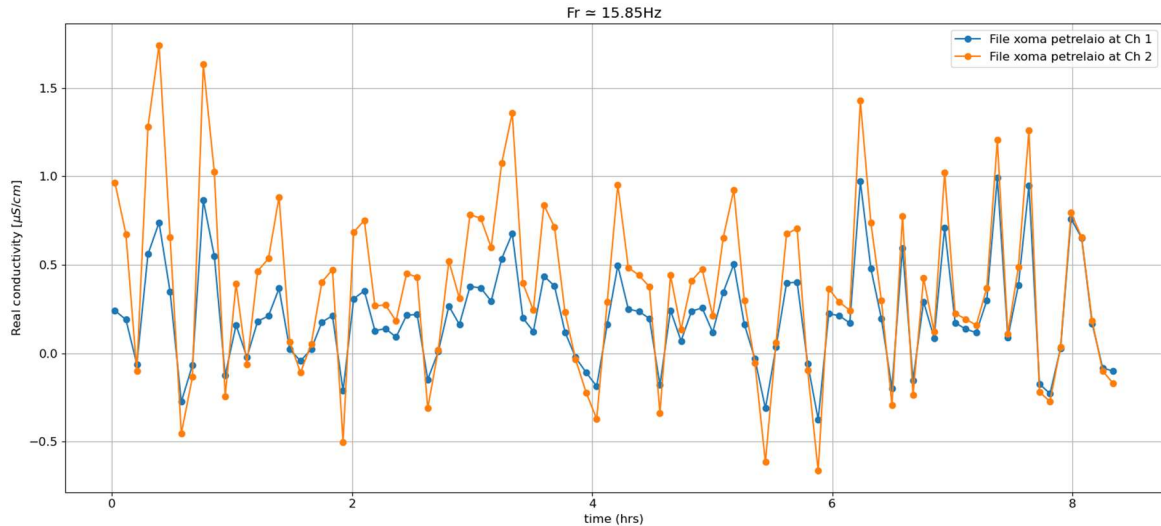


Εικόνα 4.109: Πραγματική αγωγιμότητα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 25Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2^ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

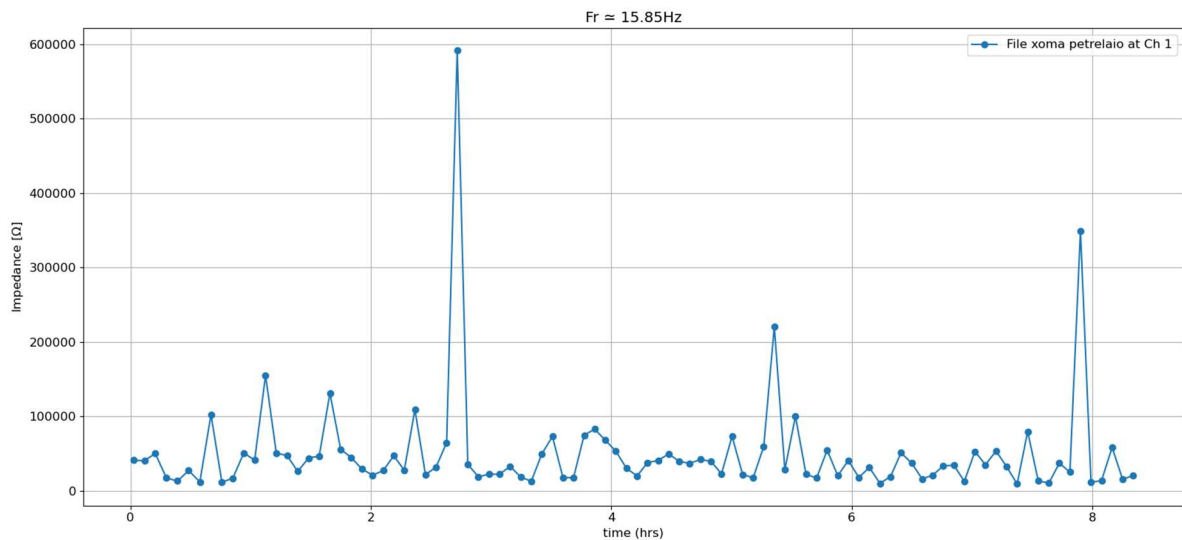


Εικόνα 4.110: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 25Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

Στην Εικόνα 4.111 και Εικόνα 4.112 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στα 15Hz σε διάστημα 8 ωρών για το δείγμα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο.

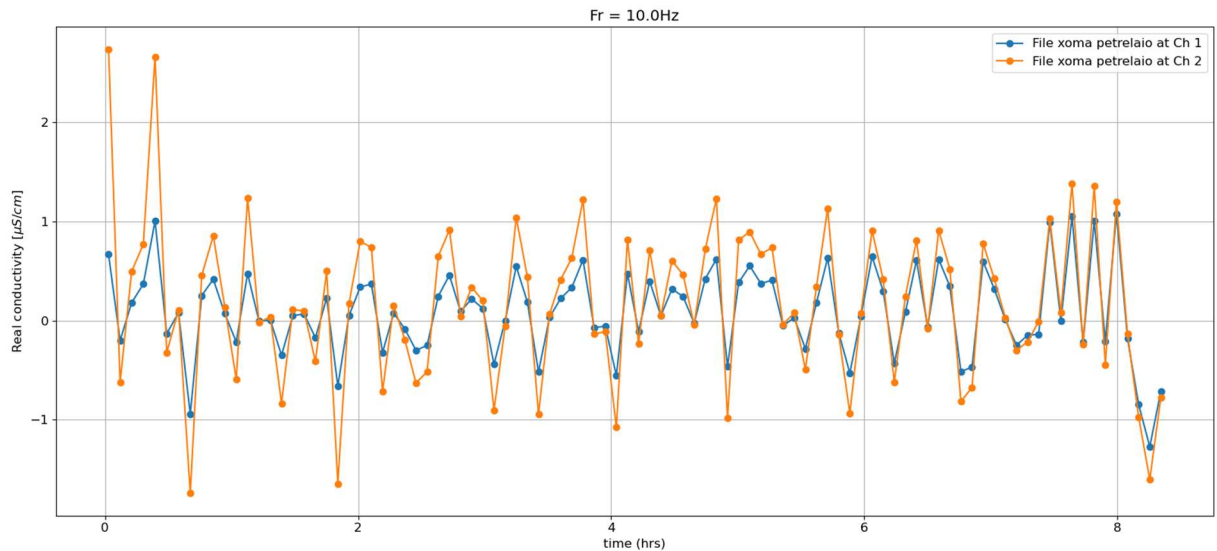


Εικόνα 4.111: Πραγματική αγωγιμότητα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 15Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2^ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

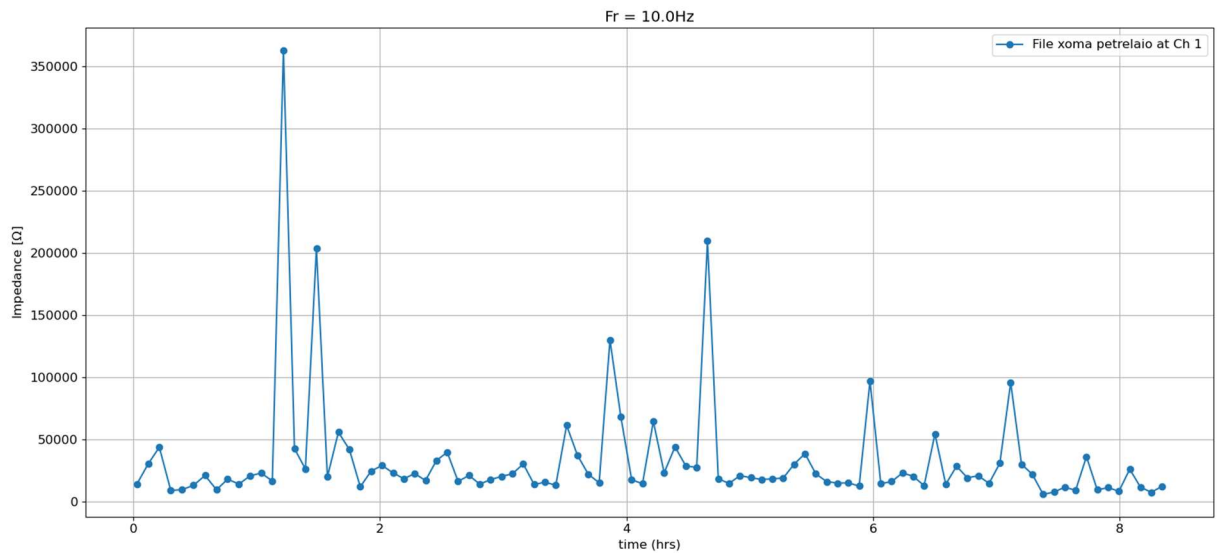


Εικόνα 4.112: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 15Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

Στην Εικόνα 4.113 και Εικόνα 4.114 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στα 10Hz σε διάστημα 8 ωρών για το δείγμα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο.

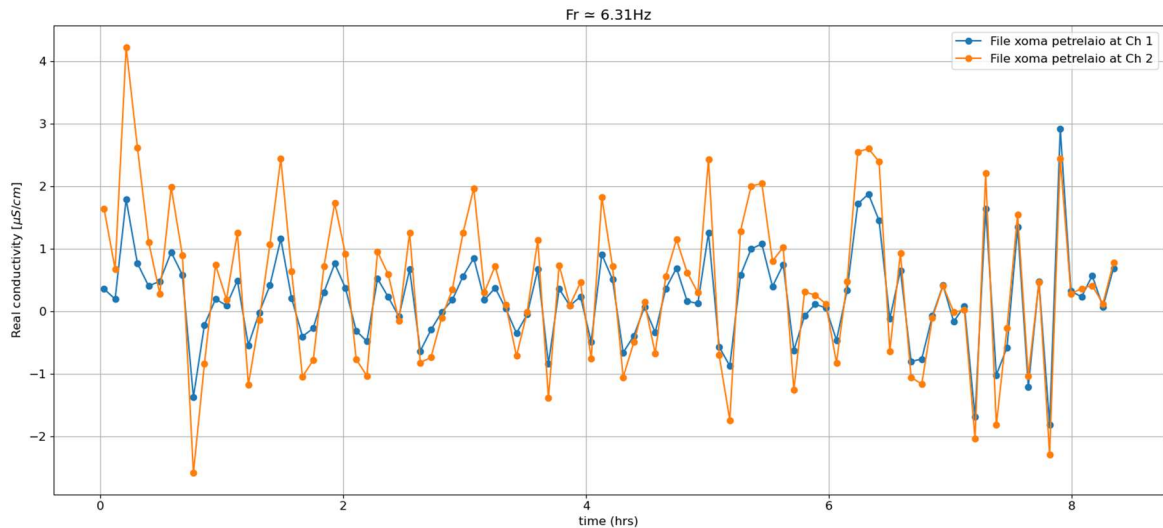


Εικόνα 4.113: Πραγματική αγωγιμότητα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 10Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2^ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

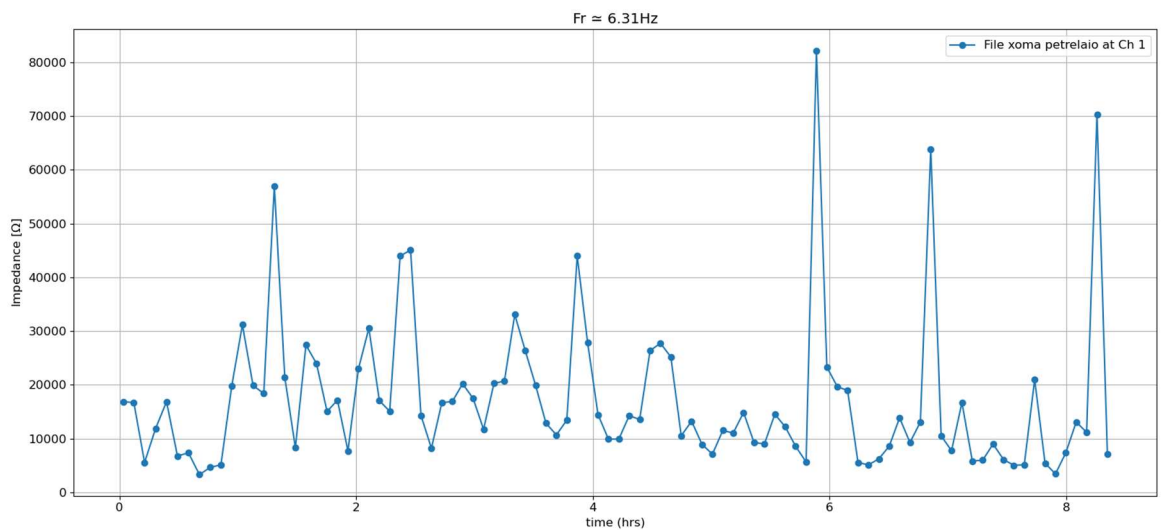


Εικόνα 4.114: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 10Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

Στην Εικόνα 4.115 και Εικόνα 4.116 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στα 6,3Hz σε διάστημα 8 ωρών για το δείγμα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο.

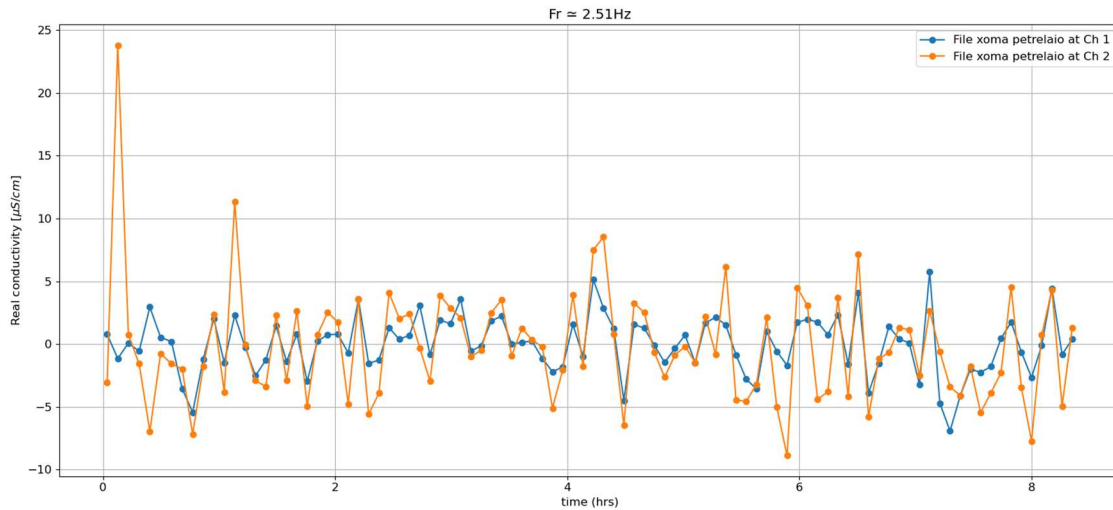


Εικόνα 4.115: Πραγματική αγωγιμότητα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 6,3Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2^ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

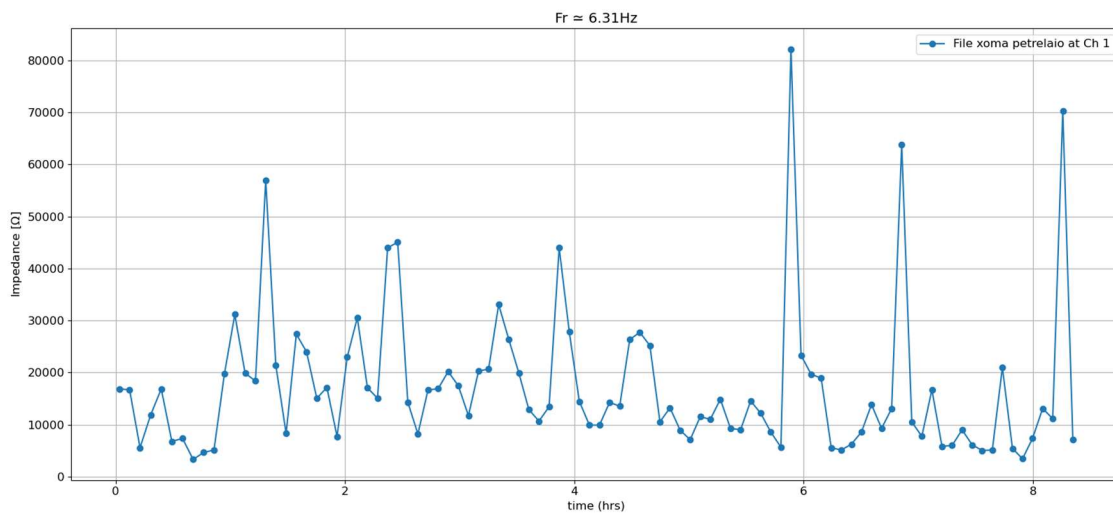


Εικόνα 4.116: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 6,3Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

Στην Εικόνα 4.117 και Εικόνα 4.118 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στα 2.51Hz σε διάστημα 8 ωρών για το δείγμα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο.

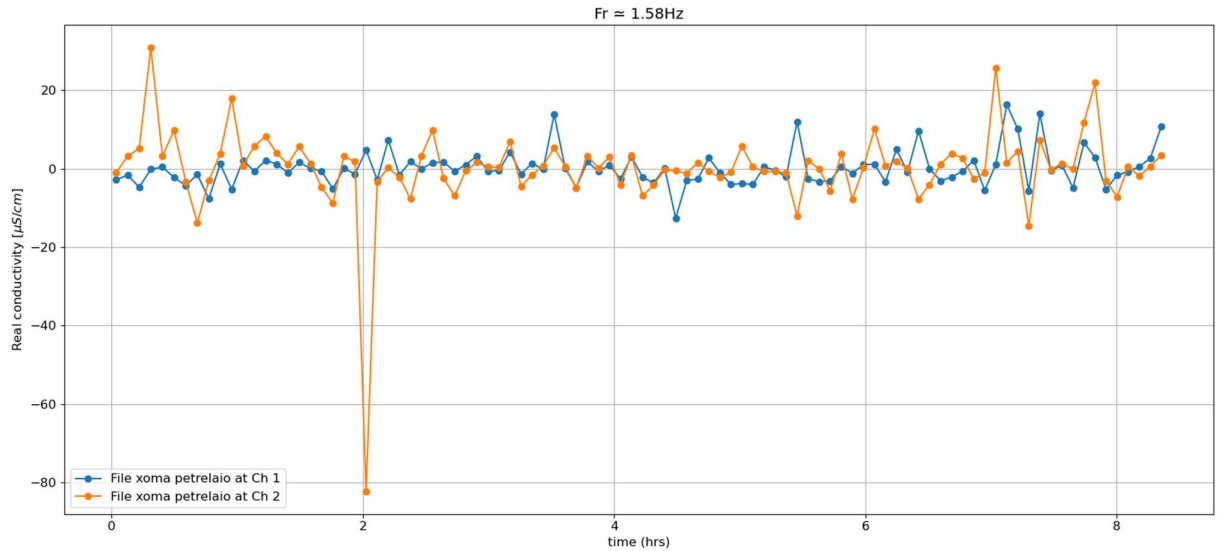


Εικόνα 4.117: Πραγματική αγωγιμότητα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 2.51Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2^ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

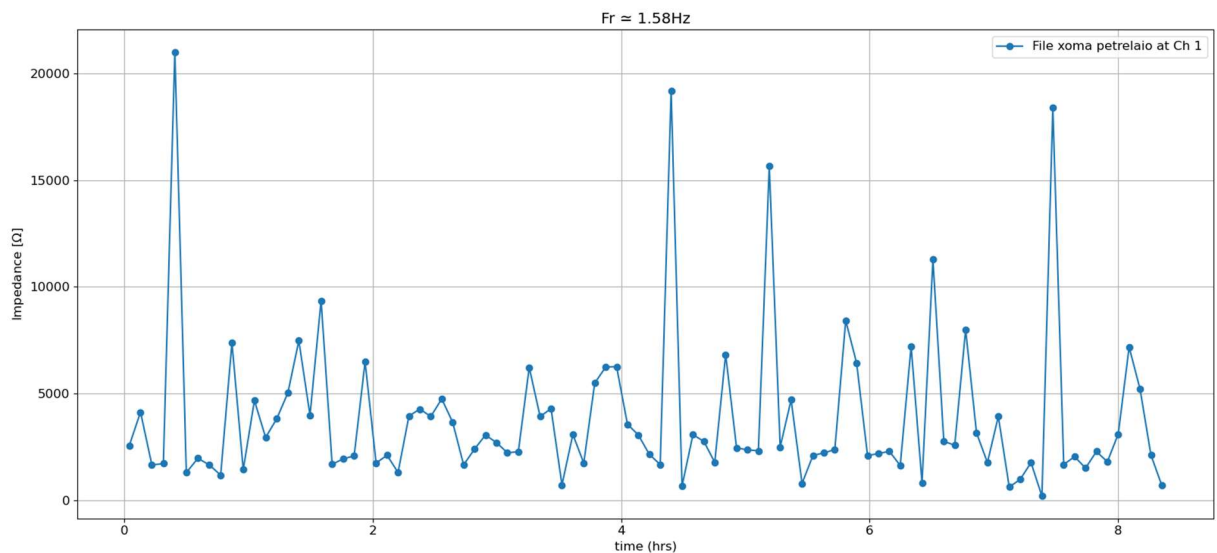


Εικόνα 4.118: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 2.51Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

Στην Εικόνα 4.119 και Εικόνα 4.120 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στα 1.58Hz σε διάστημα 8 ωρών για το δείγμα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο.

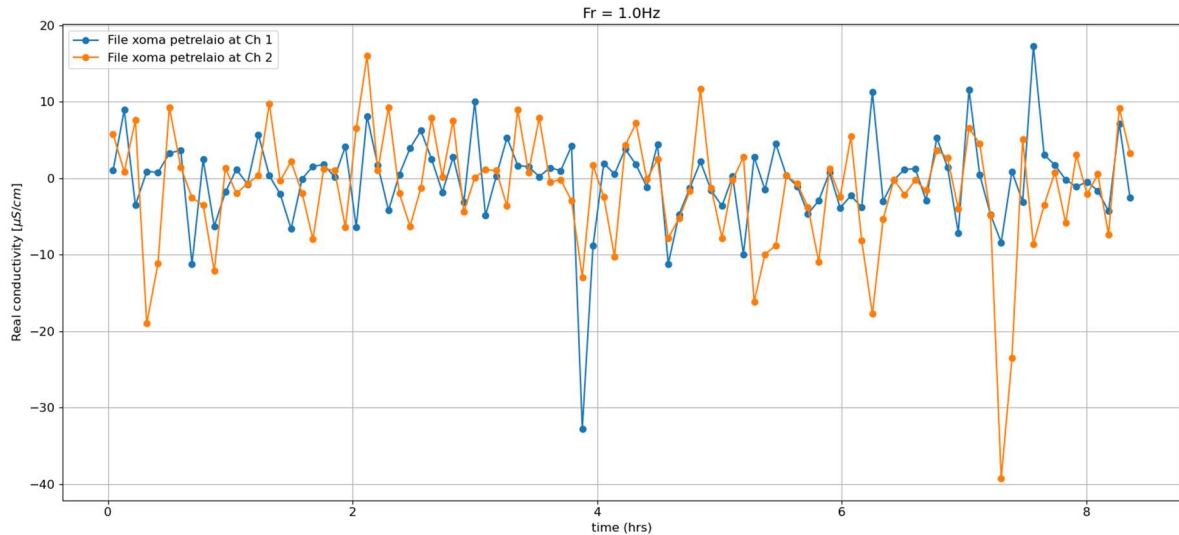


Εικόνα 4.119: Πραγματική αγωγιμότητα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 1.58Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1ο κανάλι μετρήσεων.

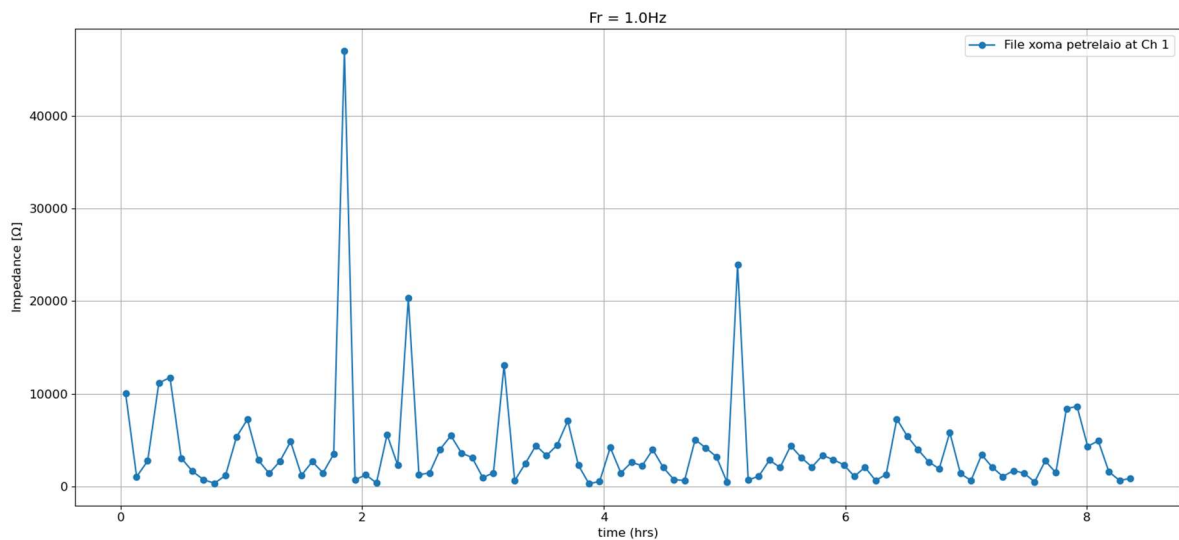


Εικόνα 4.120: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 1,58Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1ο κανάλι μετρήσεων.

Στην Εικόνα 4.121 και Εικόνα 4.122 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στο 1Hz σε διάστημα 8 ωρών για το δείγμα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο.

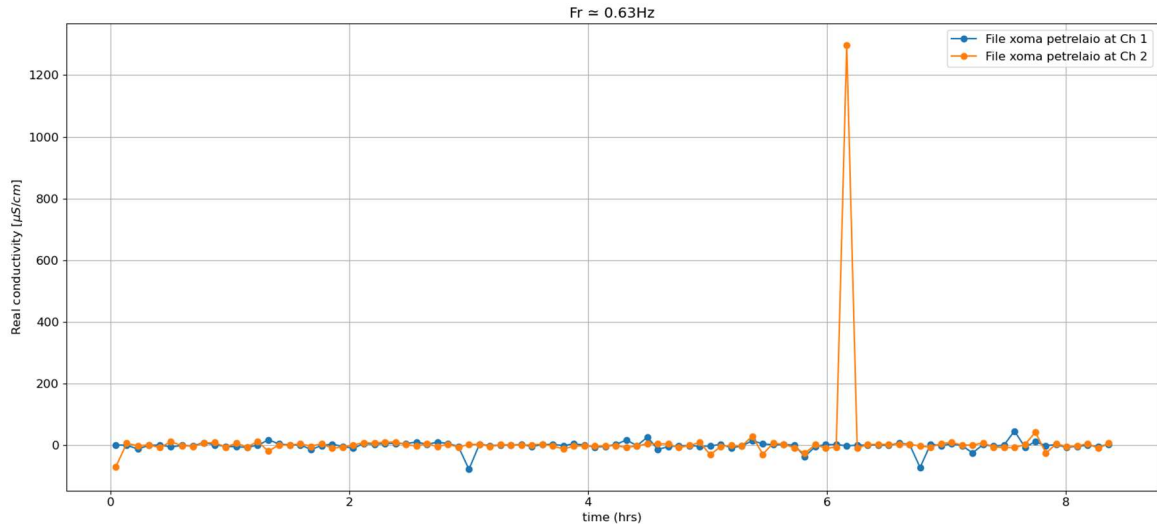


Εικόνα 4.121: Πραγματική αγωγιμότητα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στο 1Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2^ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

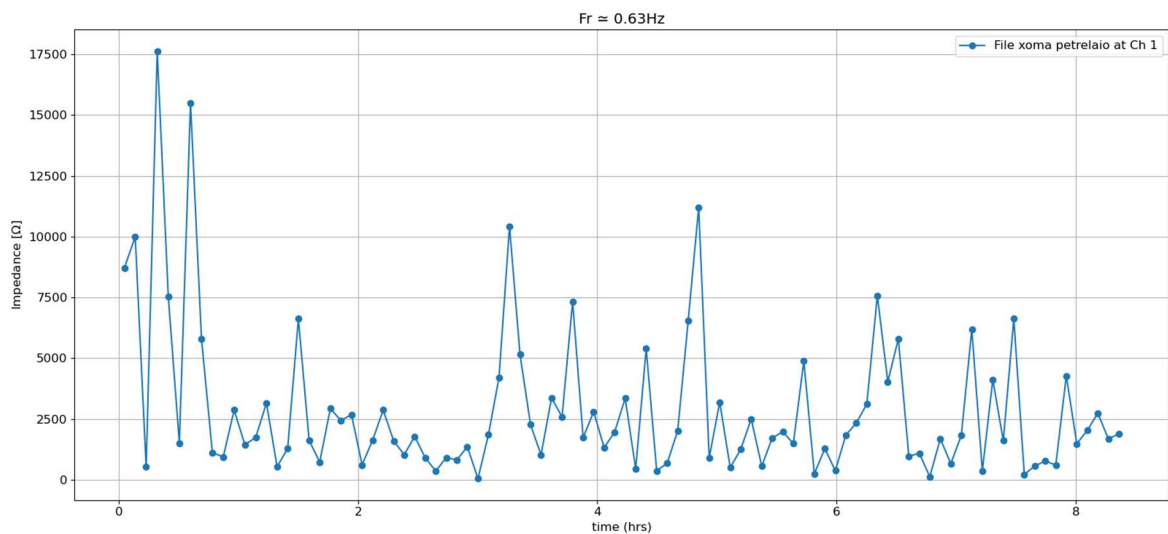


Εικόνα 4.122: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στο 1Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

Στην Εικόνα 4.123 και Εικόνα 4.124 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στα 0,6Hz σε διάστημα 8 ωρών για το δείγμα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο.

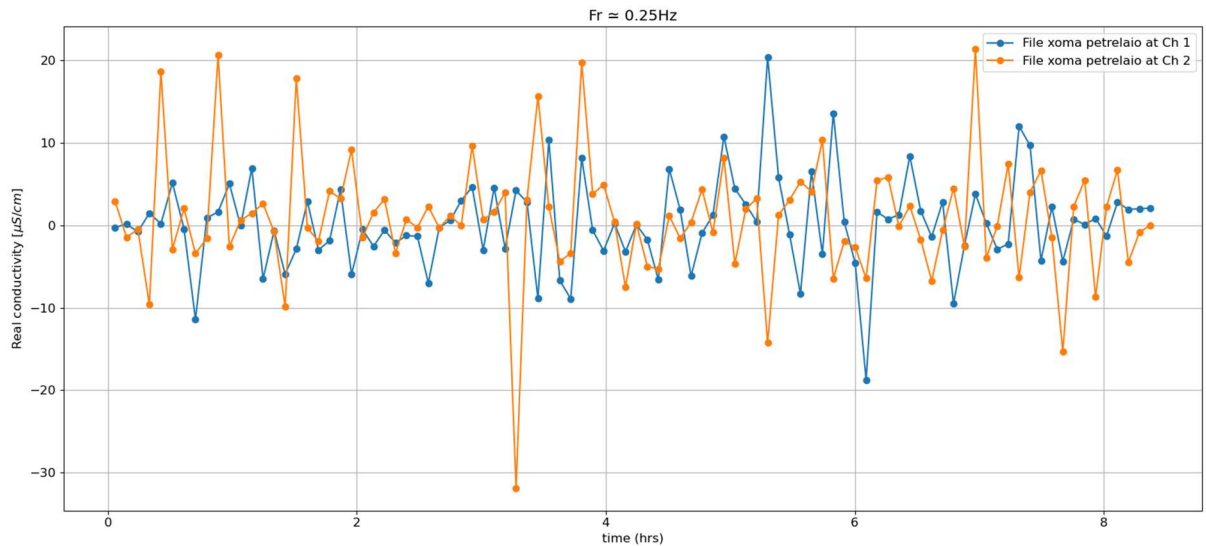


Εικόνα 4.123: Πραγματική αγωγιμότητα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 0.6Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2^ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1ο κανάλι μετρήσεων.

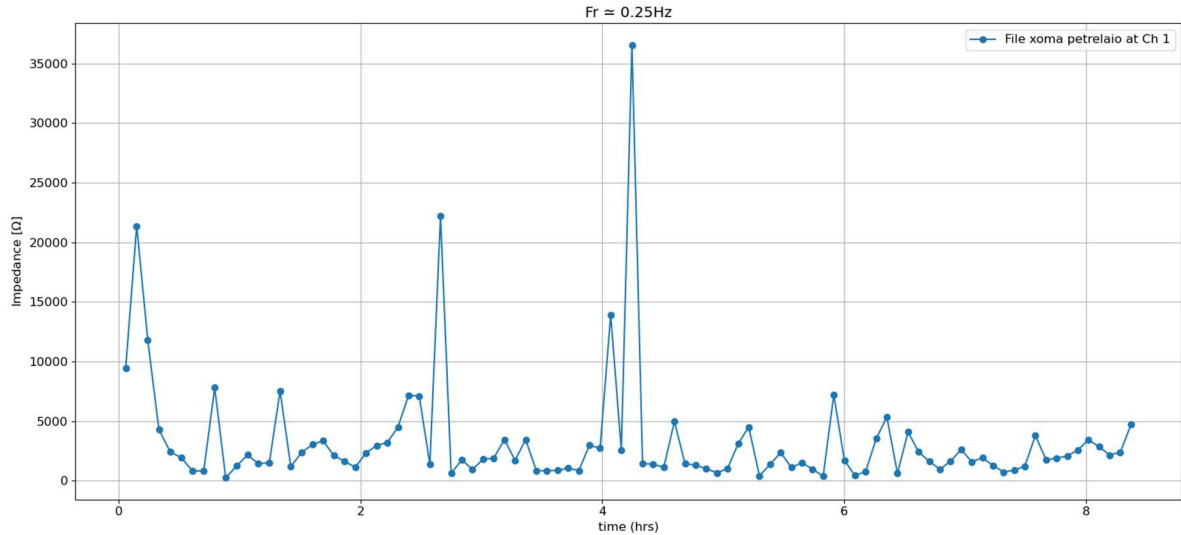


Εικόνα 4.124: Ηλεκτρική αντίσταση χώματος μολυσμένου με πετρέλαιο στα 0,6Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1ο κανάλι μετρήσεων.

Στην Εικόνα 4.125 και Εικόνα 4.126 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στα 0,25Hz σε διάστημα 8 ωρών για το δείγμα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο.

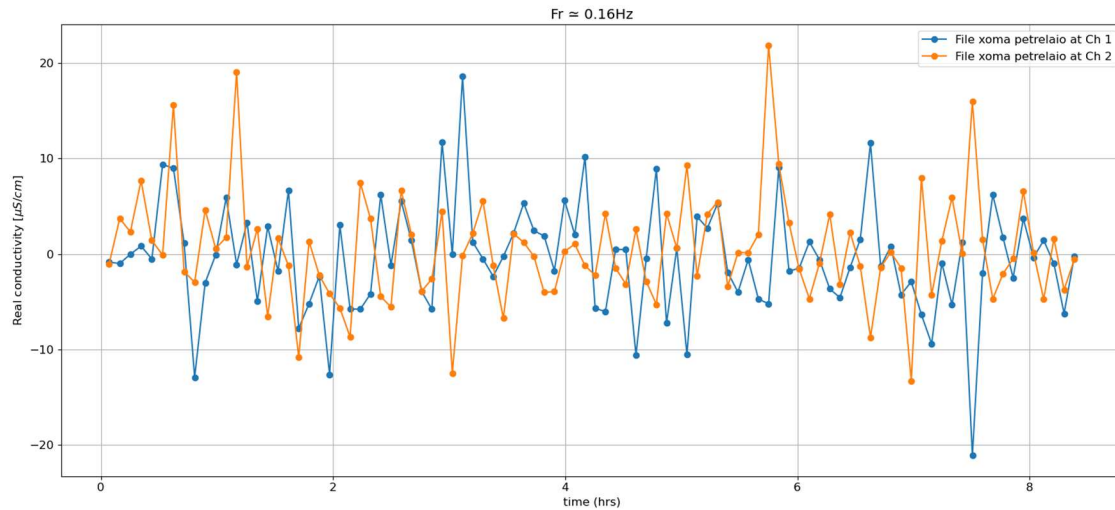


Εικόνα 4.125: Πραγματική αγωγιμότητα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 0.25Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2^ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

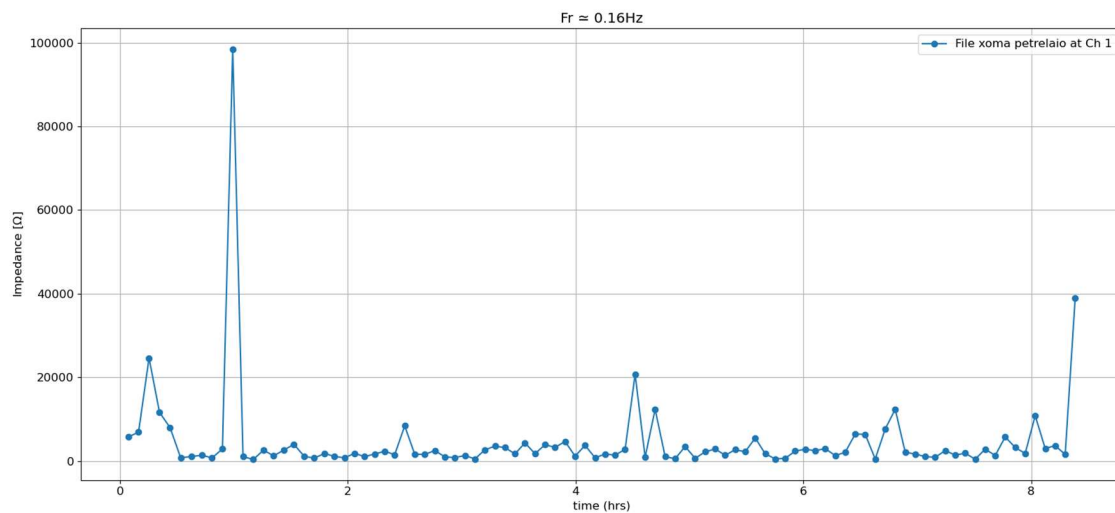


Εικόνα 4.126: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 0,25Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

Στην Εικόνα 4.127 και Εικόνα 4.128 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στα 0,16Hz σε διάστημα 8 ωρών για το δείγμα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο.

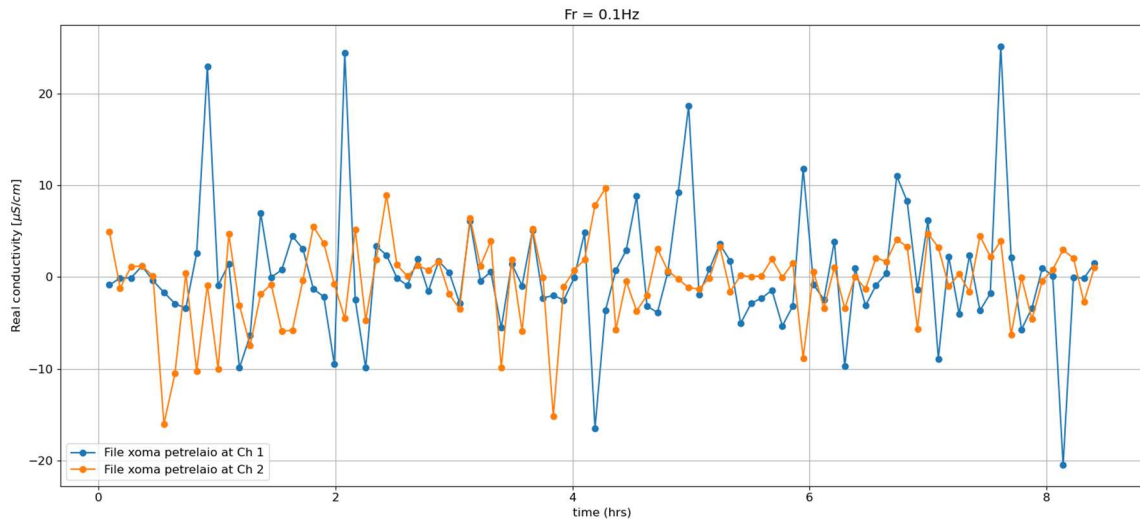


Εικόνα 4.127: Πραγματική αγωγιμότητα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 0.16Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2^ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

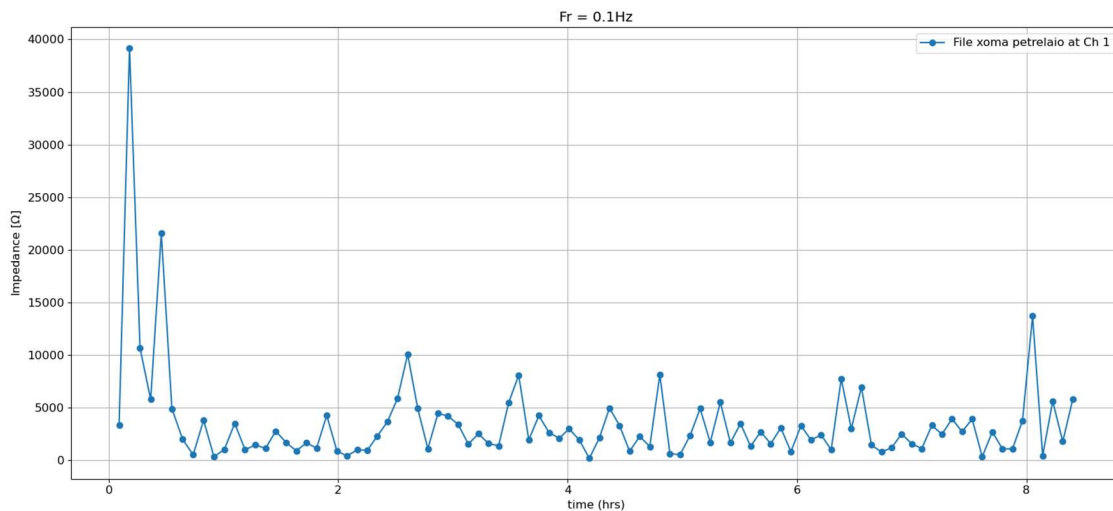


Εικόνα 4.128: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 0,16Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

Τέλος στην Εικόνα 4.129 και Εικόνα 4.130 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πραγματικής αγωγιμότητας και ηλεκτρικής αντίστασης στα 0,1Hz σε διάστημα 8 ωρών για το δείγμα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο.



Εικόνα 4.129: Πραγματική αγωγιμότητα εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 0.1Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η πορτοκαλί γραμμή αντιστοιχεί στο 2^ο κανάλι μετρήσεων ενώ η μπλε στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.



Εικόνα 4.130: Ηλεκτρική αντίσταση εδάφους ρυπασμένο από πετρέλαιο στα 0,16Hz σε διάστημα 8 ωρών. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 1^ο κανάλι μετρήσεων.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ξεκινώντας με τις μετρήσεις του νερού αποδείχθηκε πειραματικά ότι το νερό της βρύσης είχε αγωγιμότητα $460\mu\text{S}/\text{cm}$ και η ηλεκτρική του αντίσταση ήταν ίση με $0,45\ \text{Ohms}$. Ακόμη η ηλεκτρική αγωγιμότητα επιβεβαιώνεται και από τις χημικές αναλύσεις του δήμου Ηρακλείου για την περιοχή του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου (<https://www.deyah.gr/roiota-nerou/>).

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά τη χρήση του *PSIP Unit* συμπεραίνουμε ότι ο Αλμυρός ποταμός του δήμου Γαζίου παρουσιάζει υψηλή πραγματική αγωγιμότητα και χαμηλή αντίσταση. Αυτό είναι αποτέλεσμα της αλατότητας του νερού και της ιδιαίτερης φύσης των πετρωμάτων. (Μυλωνάς et al., 2000). Σε σύγκριση με τον Αλμυρό ποταμό, το ποτάμι του φαραγγιού του Καρτερού παρουσιάζει πολύ μικρότερη αγωγιμότητα. Η μέγιστη τιμή αγωγιμότητας του νερού του Αλμυρού (εκβολή) είναι $0,2 \cdot 10^7\mu\text{S}/\text{cm}$, ενώ η μέγιστη τιμή αγωγιμότητας του νερού του Καρτερού είναι $61\mu\text{S}/\text{cm}$.

Με την προσθήκη πετρελαίου στο θαλασσινό νερό παρατηρούμε άμεση αλλαγή στην αγωγιμότητα και κατά συνέπεια στην αντίσταση του νερού. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι στην αρχή της μέτρησης στα 1000Hz η αγωγιμότητα ήταν ίση με $200\mu\text{S}/\text{cm}$, πολύ μεγάλη πτώση από την αρχική μέτρηση του θαλασσινού νερού που ήταν ίση με $10^7\mu\text{S}/\text{cm}$. Μετά το πέρας της μιας ώρας μετρήσεων φαίνεται ότι πλέον η αγωγιμότητα είναι κοντά στα $0\mu\text{S}/\text{cm}$. Αντίστοιχα αποτελέσματα παρατηρούνται και στην ηλεκτρική αντίσταση του νερού με αρχική αντίσταση του θαλασσινού νερού να είναι ίση με $0,5\ \text{Ohms}$. Μετά την προσθήκη πετρελαίου η τιμή αυξήθηκε στα $41,7\ \text{Ohms}$. Μετά το πέρας της μιας ώρας η αντίσταση του νερού είχε φτάσει στα $45,5\ \text{Ohms}$.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των εδαφικών δειγμάτων με προσθήκη εδαφοβελτιωτικού φαίνεται πως η προσθήκη του εδαφοβελτιωτικού γενικά αυξάνει την αγωγιμότητα και των τεσσάρων δειγμάτων που μελετήθηκαν. Τη μεγαλύτερη αύξηση στην αγωγιμότητα παρουσιάζει ο συνδυασμός 50% έδαφος- 50% εδαφοβελτιωτικό. Εντυπωσιακά παραδείγματα αποτελούν το δείγμα 2 και το δείγμα 4. Για το πρώτο η αρχική πραγματική αγωγιμότητα ήταν ίση με $355\mu\text{S}/\text{cm}$ και μετά τη προσθήκη 50% εδαφοβελτιωτικού, η αγωγιμότητα έφτασε τα $895\mu\text{S}/\text{cm}$. Ενώ στο 2^ο χωρίς εδαφοβελτιωτικό η αγωγιμότητα του ήταν $365\mu\text{S}/\text{cm}$ και μετά την προσθήκη 50% εδαφοβελτιωτικό η πραγματική του αγωγιμότητα έφτασε τα $1000\mu\text{S}/\text{cm}$.

Τέλος για την ολοκλήρωση του πειράματος έγινε προσθήκη πετρελαίου σε δείγμα εδάφους και αφέθηκε για 8 ώρες κατά τις οποίες το *PSIP Unit* χρησιμοποιήθηκε για την λήψη μετρήσεων. Από τις μετρήσεις αυτές συμπεραίνουμε ότι όπως και στο θαλασσινό νερό έτσι και σε αυτήν την περίπτωση παρατηρείται μείωση της αγωγιμότητας και αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης. Αναλυτικότερα φαίνεται ότι στην αρχή των μετρήσεων η ανώτερη τιμή της αγωγιμότητας είναι κατά προσέγγιση ίση με 20μS/cm και μέχρι την ολοκλήρωση των μετρήσεων 8 ώρες αργότερα η τιμή έχει φτάσει στο 0μS/cm. Οι μετρήσεις της αντίστασης έχουν εξαιρετικά μεγάλη τιμή σημειώνοντας μέγιστη τιμή κοντά στα 200 χιλιάδες ohm. Στο διάστημα των 8 ωρών και καθώς το δείγμα χώματος έχει πλέον κορεστεί φαίνεται πως η ηλεκτρική αντίσταση σταθεροποιείται κοντά 5000 Ohms. Εν κατακλείδι, η προσθήκη του πετρελαίου προκαλεί δραματική μείωση της πραγματικής αγωγιμότητας ενώ αυξάνει εκθετικά του εκάστοτε δείγματος.

Η μεθοδολογία που παρουσιάστηκε αποτελεί ένα γρήγορο, χαμηλού κόστους και ακριβή τρόπο εντοπισμού ρύπανσης τόσο από φυσικά αίτια (π.χ. διάλυση πετρωμάτων λόγω της δράσης του νερού) όσο και ανθρωπογενούς ρύπανσης (π.χ. διαφυγή πετρελαίου).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Attwa, M., & Günther, T. (2013). Spectral induced polarization measurements for predicting the hydraulic conductivity in sandy aquifers. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(10), 4079–4094. <https://doi.org/10.5194/hess-17-4079-2013>
- Bates, R. G., & Macaskill, J. B. (1954). INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY ANALYTICAL CHEMISTRY DIVISION COMMISSION ON ELECTROANALYTICAL CHEMISTRY STANDARD POTENTIAL OF THE SILVER-SILVER CHLORIDE ELECTRODE Prepared for publication by PERGAMON PRESS OXFORD NEW YORK PARIS • FRANKFURT. In *Pure & Appl. Chem* (Vol. 50).
- BORNER, F., GRUHNE, M., & SCHON, J. (1993). CONTAMINATION INDICATIONS DERIVED FROM ELECTRICAL PROPERTIES IN THE LOW FREQUENCY RANGE¹. *Geophysical Prospecting*, 41(1), 83–98. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1993.tb00566.x>
- Brown, S. R., Sorenson, J. R., & Brown, T. I. (2004). A Laboratory Study of the Complex Electrical Resistivity Response of Soils. *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 2004*, 528–539. <https://doi.org/10.4133/1.2923366>
- Cassiani, G., Kemna, A., Villa, A., & Zimmermann, E. (2009). Spectral induced polarization for the characterization of free-phase hydrocarbon contamination of sediments with low clay content. *Near Surface Geophysics*, 7(5–6), 547–562. <https://doi.org/10.3997/1873-0604.2009028>
- Chen, Y., & Or, D. (2006). Effects of Maxwell-Wagner polarization on soil complex dielectric permittivity under variable temperature and electrical conductivity. *Water Resources Research*, 42(6). <https://doi.org/10.1029/2005WR004590>
- Gerodimou, K. (n.d.). *Use of Spectral Induced Polarization in environmental applications* Chania 2017.
- Hördt, A., & Milde, S. (2012). Studies with gel-filled sandstone samples with implications for the origin of induced polarization. *Near Surface Geophysics*, 10(6), 469–478. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2006.08.001>
- Kemna, A., Binley, A., Cassiani, G., Niederleithinger, E., Revil, A., Slater, L., Williams, K. H., Orozco, A. F., Haegel, F. H., Hördt, A., Kruschwitz, S., Leroux, V., Titov, K., &

- Zimmermann, E. (2012). An overview of the spectral induced polarization method for near-surface applications. *Near Surface Geophysics*, 10(6), 453–468.
<https://doi.org/10.3997/1873-0604.2012027>
- Kemna, A., Binley, A., Cassiani, G., Niederleithinger, E., Revil, A., Slater, L., Williams, K. H., Orozco, A. F., Haegel, F. H., Hördt, A., Kruschwitz, S., Leroux, V., Titov, K., & Zimmermann, E. (2012). An overview of the spectral induced polarization method for near-surface applications. *Near Surface Geophysics*, 10(6), 453–468.
<https://doi.org/10.3997/1873-0604.2012027>
- Leahy, J. G., & Colwell, R. R. (1990). Microbial Degradation of Hydrocarbons in the Environment. In *MICROBIOLOGICAL REVIEWS* (Vol. 54, Issue 3).
<https://journals.asm.org/journal/mr>
- McCormick, D. A. (2014). Membrane Potential and Action Potential. In *From Molecules to Networks* (pp. 351–376). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397179-1.00012-9>
- Mishra, S., Chauhan, G., Verma, S., & Singh, U. (2022). The emergence of nanotechnology in mitigating petroleum oil spills. *Marine Pollution Bulletin*, 178, 113609. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113609>
- Mitter, E. K., Germida, J. J., & de Freitas, J. R. (2021). Impact of diesel and biodiesel contamination on soil microbial community activity and structure. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89637-y>
- Mnif, I., Sahnoun, R., Ellouz-Chaabouni, S., & Ghribi, D. (2017). Application of bacterial biosurfactants for enhanced removal and biodegradation of diesel oil in soil using a newly isolated consortium. *Process Safety and Environmental Protection*, 109, 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.02.002>
- Ntarlagiannis, D., Robinson, J., Soupios, P., & Slater, L. (2016). Field-scale electrical geophysics over an olive oil mill waste deposition site: Evaluating the information content of resistivity versus induced polarization (IP) images for delineating the spatial extent of organic contamination. *Journal of Applied Geophysics*, 135, 418–426. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2016.01.017>

- Ntarlagiannis, D., Yee, N., & Slater, L. (2005). On the low-frequency electrical polarization of bacterial cells in sands. *Geophysical Research Letters*, 32(24), L24402. <https://doi.org/10.1029/2005GL024751>
- Ntarlagiannis, D., & Ferguson, A. (2009). SIP response of artificial biofilms. *GEOPHYSICS*, 74(1), A1–A5. <https://doi.org/10.1190/1.3031514>
- Raji, W. O., Obadare, I. G., Odukoya, M. A., & Johnson, L. M. (2018). Electrical resistivity mapping of oil spills in a coastal environment of Lagos, Nigeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(7). <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3470-1>
- Revil, A., & Florsch, N. (2010). Determination of permeability from spectral induced polarization in granular media. *Geophysical Journal International*, 181(3), 1480–1498. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04573.x>
- Schmutz, M., Revil, A., Vaudelet, P., Batzle, M., Viñao, P. F., & Werkema, D. D. (2010). Influence of oil saturation upon spectral induced polarization of oil-bearing sands. *Geophysical Journal International*, 183(1), 211–224. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04751.x>
- Slater, L., & Lesmes, D. P. (2002). Electrical-hydraulic relationships observed for unconsolidated sediments. *Water Resources Research*, 38(10), 31-1-31–13. <https://doi.org/10.1029/2001wr001075>
- Stephen Lee, & John Kruse. (2008). Analog Devices : Biopotential Electrode Sensors in ECG/EEG/EMG Systems. www.analog.com/MedicalICs