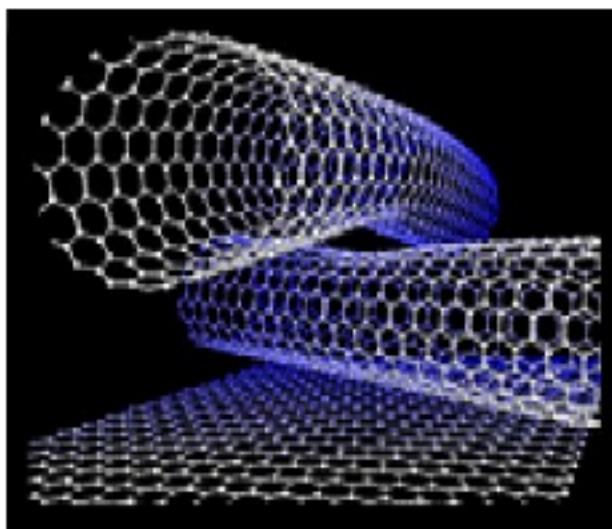




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ:
ΝΑΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:
ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ
ΜΕ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ



ΙΦΙΓΕΝΕΙΑ ΣΟΥΦΛΙΑ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΠΑΤΗΣ
ΑΘΗΝΑ 13/07/2015

Table of Contents

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	2
1.1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	2
1.1.1 Σύσταση και βασικά χαρακτηριστικά σκυροδέματος.....	2
1.1.2 Οπλισμένο Σκυρόδεμα.....	4
1.1.3 Σύνοψη βασικών χαρακτηριστικών σκυροδέματος.....	4
1.1.4 Μηχανική αστοχία οπλισμένου σκυροδέματος.....	5
1.2 ΔΙΑΒΡΩΣΗ.....	6
1.2.1 Θερμοδυναμική της διάβρωσης.....	6
1.2.2 Κινητική της διάβρωσης.....	8
1.2.3 Παράγοντας.....	10
1.2.4 Βασικές μορφές διάβρωσης.....	12
1.2.5 Διάβρωση οπλισμού σκυροδέματος (αιτίες – είδη διάβρωσης).....	13
1.2.5.1 Εναθράκωση.....	13
1.2.5.2 Δράση χλωριόντων.....	15
1.2.5.3 Αλκαλοπυριτική αντίδραση (ASR).....	21
1.2.5.4 Θεικά ιόντα.....	22
1.2.5.5 Αποτελέσματα διάβρωσης οπλισμού.....	22
1.3 Μέθοδοι προστασίας οπλισμού σκυροδέματος από διάβρωση.....	23
1.3.1 Τροποποίηση του μετάλλου.....	24
1.3.4 Τροποποίηση του περιβάλλοντος.....	25
1.3.4.1 Αναστολείς διάβρωσης.....	25
1.3.4.5 Επεμβάσεις στο σκυρόδεμα.....	27
1.3.4.6 Επεμβάσεις στον οπλισμό.....	28
1.3.4.7 Οργανικές Επικαλύψεις.....	31
1.4 ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΕΣ.....	32
1.4.1 Ορισμός νανοσωλήνες άνθρακα.....	32
1.4.2 Εφαρμογές.....	32
1.4.3 Εφαρμογές της νανοτεχνολογίας στα κατασκευαστικά υλικά του φερόντα οργανισμού κτιρίων.....	33
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	36
2.1 Σκοπός.....	36
2.2 Υλικά.....	36
2.3 Μέθοδοι.....	36

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....	36
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.....	36

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1.1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

1.1.1 Σύσταση και βασικά χαρακτηριστικά σκυροδέματος

Το σκυροδέμα είναι ένα μείγμα συγκεκριμένης αναλογίας τσιμέντου, νερού και διαβαθμισμένων αδρανών (βασικά άμμος, γαρμπίλι και σκύρα), με πρόσθετα και πρόσμικτα που τροποποιούν τις ιδιότητές του και υπόκεινται σε μία εξωθερμική χημική διαδικασία (ωρίμανση) και διέρχονται πήξη και σκλήρυνση σε μια ομογενοποιημένη συμπαγή μάζα¹.

Αδρανή υλικά ονομάζονται τα λίθινα υλικά που δεν επιφέρουν χημικές μεταβολές στις σύνθετες τεχνητές ύλες των οποίων αποτελούν συστατικά. Τα αδρανή προέρχονται συνήθως από την εξόρυξη κατάλληλων πετρωμάτων ή την ανάληψη τους από φυσικές εναποθέσεις των θραυσμάτων τους. Πρόσφατα χρησιμοποιούνται τεχνητά αδρανή που προέρχονται από επεξεργασία βιομηχανικών προϊόντων.² Τα αδρανή είναι συστατικά με χαμηλό κόστος αλλά έχουν ικανοποιητικές ιδιότητες όπως η μηχανική αντοχή, ανθεκτικότητα σε διάρκεια και περιβαλλοντικές επιδράσεις (χημικές ουσίες, υγρασία, κύκλους ζέστης και παγωνιάς, υψηλές θερμοκρασίες), σταθερότητα όγκου και υδατοστεγανότητα.

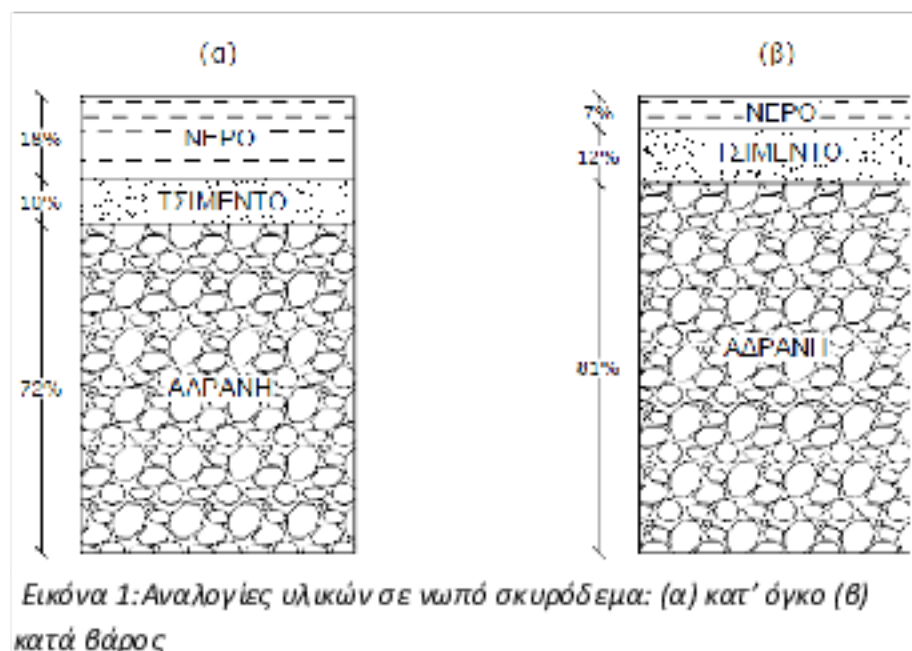
Το τσιμέντο είναι ένα υδραυλική συνδετική κονία. Είναι ένα ανόργανο υλικό σε μορφή σκόνης με μικρή κοκκομετρία, το οποίο όταν αναμειχθεί με νερό και υποστεί τη διαδικασία ενυδάτωσης, σχηματίζει μια πάστα (πολτό) η οποία σταδιακά πήζει και σκληραίνει, αποκτώντας εν τέλει σταθερότητα και τελικές αντοχές αρκετά ικανοποιητικές.

Τα βασικά συστατικά για παραγωγή τσιμέντου τύπου Portland (ο πιο συνήθης τύπος τσιμέντου) είναι ασβεστολιθικά και αργιλικά πετρώματα, τα οποία αφού αναμιχθούν σε προκαθορισμένες αναλογίες υποβάλλονται σε όπτηση στους 1450°C περίπου. Από τη διαδικασία αυτή παραλαμβάνεται το κλίνκερ, το οποίο ακολούθως αλέθεται ώστε να αποκτήσει την τελική γνωστή λεπτότητα του τσιμέντου.³

Ο τσιμεντοπολτός αποτελείται από τσιμέντο, νερό και (χημικά) πρόσμικτα ή πρόσθετα. Ενώ έχει σημαντικά υψηλότερο κόστος από τα αδρανή, στη σκληρυμένη του μορφή ο τσιμεντοπολτός δεν έχει εξίσου καλές βασικές ιδιότητες. Ο ρόλος του είναι να καλύπτει τα κενά μεταξύ των αδρανών και να συνδέει τα αδρανή, μετατρέποντας τα, από σύνολο ισχυρών αλλά ασύνδετων κόκκων σε τεχνητό πέτρωμα. Επιπλέον λειτουργεί σαν

λιπαντικό μεταξύ των κόκκων των αδρανών, έτσι ώστε το νωπό σκυρόδεμα να είναι μια ρευστή αλλά συνεκτική μάζα.^{iv}

Οι αναλογίες ανάμειξης των συστατικών του σκυροδέματος, του προσδίδουν πολλά από τα χαρακτηριστικά του. Προφανώς, το ποσοστό των αδρανών και του τσιμέντου είναι μεγαλύτερο όταν οι αναλογίες παρουσιάζονται κατά βάρος σε σχέση με τις αναλογίες κατ' όγκο, λόγω του μεγαλύτερου ειδικού βάρους του τσιμέντου και των αδρανών σε σχέση με το νερό. Οι ενδεικτικές αναλογίες φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα:



Η αντοχή του σκυροδέματος σε μηχανική καταπόνηση θεωρείται ως η πιο σημαντική ιδιότητά του και εκφράζει την ικανότητα του υλικού να αντεπεξέλθει στη μηχανική καταπόνηση που υπόκειται. Η ποσοτική της εκτίμηση δίνεται σε μονάδες φορτίου ανά επιφάνεια (N/mm^2 ή Mpa). Η αντοχή συνδέεται άμεσα με τη δομή της τσιμεντόπαστας και είναι μια αναντικατάστατη μεταβλητή στο σχεδιασμό των κατασκευών. Η αντοχή του σκυροδέματος, σε συγκεκριμένη ηλικία, συντήρηση και θερμοκρασία θεωρείται ότι εξαρτάται κυρίως από δύο παράγοντες: το λόγο νερού/τσιμέντο (W/C) και το βαθμό συμπύκνωσης.^v

1.1.2 Οπλισμένο Σκυρόδεμα

Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, f_c , αποτελεί το πιο χαρακτηριστικό μέγεθος του υλικού. Το άοπλο σκυρόδεμα παρουσιάζει αυξημένες αντοχές σε θλιπτικές τάσεις. Ωστόσο, δεν είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό σε εφελκυσμό και διατμητικές καταπονήσεις (που προκαλούνται

ενδεχομένως από άνεμο, τους σεισμικές δονήσεις κλπ), που το καθιστούν συνεπώς ακατάλληλο στις περισσότερες δομικές εφαρμογές. Για το λόγο αυτό ενισχυτικά στοιχεία (οπλισμός) σε μορφή ράβδων ή πλέγματος ενσωματώνονται στο σκυρόδεμα, ώστε τα δύο υλικά λειτουργούν από κοινού έναντι των τάσεων.

Το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι συνεπώς ένα σύνθετο υλικό στο οποίο η σχετικά χαμηλή αντοχή σε εφελκυσμό και η χαμηλή ολκιμότητα του σκυροδέματος αντισταθμίζονται από τα ενισχυτικά στοιχεία του οπλισμού που διαθέτουν μεγαλύτερη ολκιμότητα και υψηλότερη αντοχή σε εφελκυσμό. Ο οπλισμός συνήθως, αν και όχι απαραίτητα, αποτελείται από χαλύβδινα στοιχεία (ράβδους ή πλέγμα) τα οποία ενσωματώνονται στο σκυρόδεμα πριν την στερεοποίησή του. Τα ενισχυτικά στοιχεία σχεδιάζονται ώστε να αντιστέκονται στις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται σε συγκεκριμένες περιοχές του σκυροδέματος και οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν ρωγμές ή/και δομική αστοχία. Ο οπλισμός αντιμετωπίζει έτσι τις εφελκυστικές ή διασμητικές τάσεις, όπως και μέρος της θλιπτικής καταπόνησης ενώ το σκυρόδεμα απορροφά το μεγαλύτερο μέρος των θλιπτικών τάσεων.

1.1.3 Σύνοψη βασικών χαρακτηριστικών σκυροδέματος

Κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά του οπλισμένου σκυροδέματος, που αφορούν κυρίως την αλληλεπίδραση μεταξύ σκυροδέματος και οπλισμού, του προσδίδουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του και είναι συνοπτικά τα ακόλουθα:

- Ο συντελεστής θερμικής διαστολής του σκυροδέματος είναι παρόμοιος με αυτόν του χάλυβα, αποτρέποντας έτσι τη δημιουργία σημαντικών εσωτερικών τάσεων λόγω διαφορών στις θερμικές συστολοδιαστολές.
- Η συνοχή του ρευστού μίγματος τσιμέντου/αδρανών/νερού στις ιδιαιτερότητες της επιφάνειας του οπλισμού, πριν τη σκλήρυνση του σκυροδέματος, μέσω την οποίας επιτυγχάνεται η εξάλειψη ενδεχόμενων τάσεων μεταξύ των δύο υλικών. Προκειμένου να βελτιωθεί περαιτέρω η συνοχή μεταξύ των δύο υλικών, η επιφάνεια των χαλύβδινων ράβδων τραχύνεται ή μορφοποιείται με αυλακώσεις.
- Το υδατικό διάλυμα των πόρων του σκυροδέματος είναι έντονα αλκαλικό εξαιτίας της υδρασβέστου $[Ca(OH)_2]$, προϊόν της αντίδρασης της ενυδάτωσης (σκλήρυνσης) του τσιμέντου, με pH μεταξύ 12,5 και 13,9. Κάτω από αυτές τις συνθήκες ο χάλυβας καλύπτεται επιφανειακά από ένα παθητικό στρώμα οξειδίων σιδήρου

που παρεμποδίζει την διάβρωσή του. Η διάβρωση του χάλυβα περιορίζεται στην συντήρηση του παθητικού αυτού στρώματος, δράση εξαιρετικά αργή, που πρακτικά μπορεί να αγνοηθεί.

- Το σκυρόδεμα αποτελεί ένα φυσικό εμπόδιο στην επαφή του οπλισμού με τα διάφορα διαβρωτικά συστατικά του περιβάλλοντος (όπως οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα CO_2 , διοξείδιο του θείου SO_2 κ.λ.π.) και άλλες ουσίες που βοηθούν την διάβρωση (όπως χλωριόντα Cl^-).⁴⁶

1.1.4 Μηχανική αστοχία οπλισμένου σκυροδέματος

Το οπλισμένο σκυρόδεμα μπορεί να αστοχήσει λόγω μείωσης των αντοχών του η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μηχανική αστοχία. Πλήρης αστοχία που οδηγεί σε κατάρρευση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος μπορεί να προκληθεί σε περίπτωση επιβολής θλιπτικών τάσεων που υπερβαίνουν τις αντοχές του, από υποχώρηση ή αστοχία του οπλισμού, από επιβολή καμπτικών ή διασμητικών τάσεων που υπερβαίνουν τις αντοχές του οπλισμού ή απώλεια συνοχής μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος.

Η διάβρωση αλλά και οι έντονες αυξομειώσεις της θερμοκρασίας μπορούν να βλάψουν το οπλισμένο σκυρόδεμα. Όταν ο οπλισμός υποστεί διάβρωση, τα προϊόντα της οξειδωσης (σκουριά), έχοντας χαμηλότερη πυκνότητα από το μέταλλο, διαστέλλονται και διογκώνονται. Δημιουργούν έτσι εσωτερικές τάσεις στο σκυρόδεμα, οι οποίες με τη σειρά τους δημιουργούν ρωγμές στη μάζα του σκυροδέματος και απώλεια της συνοχής μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος. Όταν το φαινόμενο των τάσεων λόγω οξειδωσης του οπλισμού συμβαίνει κοντά στην εξωτερική επιφάνεια του σκυροδέματος μπορεί να προκληθεί το φαινόμενο της αποφλοιώσης / θρυμματισμού (spalling)

Η παρουσία ρωγμών που δημιουργούνται με αυτό τον τρόπο αποτελεί σημαντικό κίνδυνο για την ανθεκτικότητα του οπλισμένου σκυροδέματος και διότι μέσω αυτών η υγρασία μπορεί να εισχωρήσει και να διαβρώσει περαιτέρω τον οπλισμό.

Οι ρωγμές είναι κάποιες φορές αποτέλεσμα ανεπαρκούς ποσότητας οπλισμού ή τοποθέτησης των ράβδων σε πολύ μεγάλη απόσταση μεταξύ τους. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι ρωγμές δημιουργούνται είτε λόγω υπερβολικού φορτίου είτε λόγω εσωτερικών επιδράσεων όπως η πρόωρη θερμική συρρίκνωση κατά τη σκλήρυνση.

Οι ρωγμές στα δομικά στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι σχεδόν αδύνατο να αποφευχθούν πλήρως. Ωστόσο το μέγεθος και η θέση των ρωγμών αυτών μπορούν να ελεγχθούν και να περιοριστούν μέσω κατάλληλης ενίσχυσης, αρμών, βελτίωσης της διαδικασίας σκλήρυνσης και κατάλληλης σύνθεσης του μίγματος.

1.2 ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Με τον όρο «διάβρωση» εννοούμε την καταστροφή, φθορά ή και λειτουργική αχρήστευση ενός υλικού εξαιτίας χημικής ή ηλεκτροχημικής ή μηχανικής δράσης του υλικού με το περιβάλλον του. Ο όρος αναφέρεται τόσο στο φαινόμενο της δράσης όσο και στο αποτέλεσμα της.^{vi}

1.2.1 Θερμοδυναμική της διάβρωσης

Η μετατροπή των μετάλλων από την μορφή του ορυκτού και οξειδίου, στην οποία κατ'εξοχήν απαντώνται στη φύση, στη μορφή του στοιχειώδους μετάλλου, απαιτεί ένα συγκεκριμένο ποσό ενέργειας και δεν είναι μια αυθόρμητη διαδικασία. Έτσι, το μέταλλο στη στοιχειώδη του μορφή έχει μεγαλύτερη εσωτερική ενέργεια ΔU σε σχέση με το αρχικό ορυκτό, καθώς ένα μέρος της ενέργειας που λαμβάνει για τη μετατροπή του παραμένει σε αυτό με τη μορφή εντροπίας (ΔS) και ελεύθερης ενέργειας (ΔF). Η αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας ισούται με $\Delta U = \Delta F + T\Delta S$.

Σύμφωνα με το 2^ο νόμο της θερμοδυναμικής, τα μέταλλα τείνουν αυθόρμητα να μετατρέπονται σε μορφές με χαμηλότερη εσωτερική ενέργεια σχηματίζοντας ξανά τις αρχικές μορφές ενεργειακά χαμηλής στάθμης (οξείδια). Θερμοδυναμικά η αυθόρμητη μετατροπή από μια μορφή σε μια άλλη προαπαιτεί την απελευθέρωση ενέργειας κατά την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης δράσης ή αυτόσημα όσο αφορά τη μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας κατά Gibbs ΔG , (ή ελεύθερης ενθαλπίας) την ισχύ της σχέσης :

$$\Delta G_{\text{ολ}} < 0 \text{ vi}$$

Στις ηλεκτρικές και ηλεκτροχημικές διεργασίες το έργο ορίζεται ως το γινόμενο των μετακινούμενων φορτίων (Q) επί το δυναμικό (E) που προκαλεί τη μετακίνηση αυτή. Εάν αυτή η εργασία γίνεται σε ένα ηλεκτροχημικό κελί στο οποίο η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο ημι-κελιών είναι E , και κατά την αντίδραση μεταφέρονται η γραμμομόρια ηλεκτρόνια, τότε το ηλεκτρικό έργο ($-W$) που παράγεται από το κελί είναι

nE. Σε ένα ηλεκτροχημικό κελί σε ισορροπία δεν ρέει ρεύμα και η μεταβολή της ενέργειας που συμβαίνει κατά την αντίδραση εκφράζεται στην εξίσωση:

$$W = \Delta G = -nFE^{\text{oc}}$$

Υπό κανονικές συνθήκες, η τυπική ελεύθερη ενέργεια της αντίδρασης του κελιού (ΔG^0) συνδέεται άμεσα με την τυπική διαφορά δυναμικού του κελιού (E^0) ως εξής:

$$\Delta G^0 = -nFE^0$$

Τα δυναμικά των ηλεκτροδίων συνδυάζονται αλγεβρικά για να δώσουν το δυναμικό του κελιού.

$$E_{\text{cell}} = E_{\text{cathode}} - E_{\text{anode}}$$

Η μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας σε ένα γαλβανικό στοιχείο ή σε μία αυθόρμητη αντίδραση θα είναι αρνητική και η τάση θετική. Το αντίθετο ισχύει σε ένα ηλεκτρολυτικό κελί που απαιτεί εφαρμογή εξωτερικού δυναμικού να κατευθύνει την αντίδραση ηλεκτρόλυσης, στην οποία περίπτωση το E_{cell} θα είναι αρνητικό.

Άλλες θερμοδυναμικές τιμές μπορούν να εκληφθούν από ηλεκτροχημικές μετρήσεις. Για παράδειγμα η μεταβολή της εντροπίας (ΔS) δίνεται ως εξής: *

$$\Delta S = -\left(\frac{\partial \Delta G}{\partial T}\right)_p$$

$$\Delta S = nF\left(\frac{\partial E}{\partial T}\right)_p$$

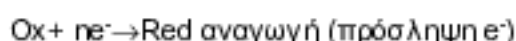
$$\Delta H = \Delta G + T\Delta S = nF\left[T\left(\frac{\partial E}{\partial T}\right)_p - E\right]$$

Όπου ΔH είναι η μεταβολή της ενθαλπίας και T η απόλυτη θερμοκρασία. Η σταθερά ισορροπίας (K_{eq}) για την ίδια αντίδραση λαμβάνεται από την εξίσωση:

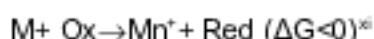
$$RT \ln K_{\text{eq}} = \Delta G^0 = -nFE^0$$

1.2.2 Κινητική της διάβρωσης

Οι αντιδράσεις που εμφανίζονται κατά τη διάβρωση είναι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις, δηλαδή εμπεριέχουν μεταφορά φορτίου στη διεπιφάνεια μεταξύ ενός ηλεκτρονικού αγωγού (μέταλλο) και ενός ιοντικού (στερεός ή υγρός ηλεκτρολύτης) και έχουν ως αποτέλεσμα την οξειδωση του μετάλλου (M) και την αναγωγή ενός οξειδωτικού O_x σύμφωνα με τα ακόλουθα:

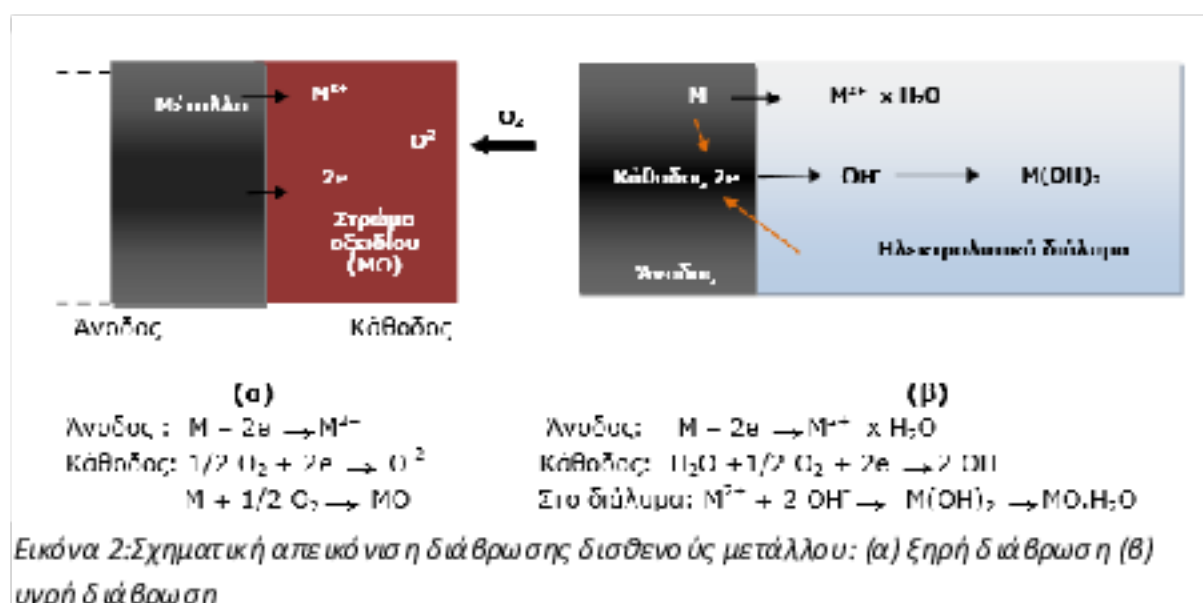


Συνολικά:



Ανάλογα με το διαβρωτικό περιβάλλον, η διάβρωση διακρίνεται σε:

- Υγρή ή ηλεκτροχημική διάβρωση, κατά την οποία το υλικό εκτίθεται σε υγρό περιβάλλον (π.χ υγρασία, υδατικά διαλύματα, κ.λ.π)
- Ξηρή ή χημική διάβρωση, κατά την οποία το υλικό εκτίθεται, απουσία νερού ή υδατικού περιβάλλοντος, σε οξειδωτικό αέριο (πχ. οξυγόνο, αλογόνα, ατμοί θείου κ.λ.π) σε θερμοκρασία δωματίου ή συνηθέστερα σε υψηλότερες θερμοκρασίες



Ο όρος «υγρή» περιλαμβάνει όλες τις δράσεις στο μηχανισμό των οποίων υπεισέρχεται υγρό περιβάλλον (π.χ υγρασία, υδατικά διαλύματα, έδαφος). Τα φαινόμενα υπέρτασης συνδέονται με συστήματα όπου δύο ή περισσότερες ηλεκτροχημικές δράσεις συμβαίνουν ταυτόχρονα στο ίδιο ηλεκτρόδιο. Η διάβρωση των μετάλλων σε υγρό περιβάλλον εκδηλώνεται με την εμφάνιση κελιών διάβρωσης που δημιουργούνται είτε από επαφή διαφορετικών μεταλλικών επιφανειών, είτε από μεταξύ δύο τμημάτων της ίδιας επιφάνειας που είναι σε ηλεκτρική ή ηλεκτρολυτική επαφή, αλλά το δυναμικό του καθενός απουσία σύνδεσης είναι διαφορετικό. Η προσβολή μιας μεταλλικής επιφάνειας λόγω διάβρωσης διακρίνεται σε ομοιόμορφη και εντοπισμένη, ανάλογα με την σχετική θέση μεταξύ των ανοδικών και καθοδικών περιοχών.

Η ομοιόμορφη διάβρωση εμφανίζεται όταν οι ανοδικές και καθοδικές δράσεις κατανέμονται κατά τυχαίο και όχι μεταξύ τους σαφώς διαφοροποιούμενο τρόπο πάνω στο σύνολο της μεταλλικής επιφάνειας κατά το φαινόμενο της διάβρωσης, οπότε οι ανοδικές και οι καθοδικές επιφάνειες είναι ίσες. Η εντοπισμένη διάβρωση εμφανίζεται σε μέταλλα τεχνικής καθαρότητας (άρα και χαμηλότερης σταθερότητας έναντι άλλων μετάλλων που περιέχουν προσμίξεις, ακαθαρσίες, ετερογένειες) όταν οι εμφανιζόμενες ανοδικές και καθοδικές περιοχές είναι διαχωρισμένες τοπικά

Στην ομοιόμορφη διάβρωση, στην απλούστερη περίπτωση της, όπου οι ηλεκτροχημικές δράσεις (ανοδική - οξειδωση και καθοδική - αναγωγή) είναι μη ανταγωνιστικές, δηλαδή μπορούν να συμβούν ταυτόχρονα και ανεξάρτητα η μία από την άλλη σε όλα τα σημεία της επιφάνειας του ηλεκτροδίου, η συνολική πυκνότητα ρεύματος, που διατρέχει το ηλεκτρόδιο ισούται με το άθροισμα των μερικών πυκνοτήτων ρεύματος i_{ox} και i_{red} που αντιστοιχούν στην ανοδική και καθοδική δράση αντίστοιχα. Συνεπώς $i = i_{ox} + i_{red}$

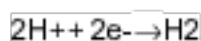
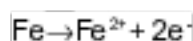
Από κινητικής άποψης, αναγκαία και ικανή συνθήκη για την εμφάνιση της διάβρωσης είναι το να συμβαίνουν ταυτόχρονα στην διεπιφάνεια μέταλλου-περιβάλλοντος η δράση της μεταλλικής διάλυσης και κάποια άλλη αναγωγική δράση, (θεωρία μικτών δυναμικών). Για να συμβούν ταυτόχρονα οι δύο αυτές δράσεις ικανή και απαραίτητη συνθήκη είναι το να εμφανίζεται διαφορά δυναμικού κατά μήκος της διεπιφάνειας (E_m), πιο θετική από το δυναμικό ισορροπίας της δράσης της οξειδωσης και πιο αρνητική από το δυναμικό ισορροπίας της αναγωγής.

Αντίθετα, στην εντοπισμένη διάβρωση οι ταυτόχρονες ηλεκτροχημικές δράσεις είναι ανταγωνιστικές (καθεμία πραγματοποιείται σε διαφορετική περιοχή της επιφάνειας του ηλεκτροδίου), οπότε οι μερικές πυκνότητες ρεύματος δεν είναι δυνατόν να αθροιστούν. Το τμήμα της επιφάνειας του

ηλεκτροδίου που αντιστοιχεί σε κάθε μία από αυτές τις δράσεις συχνά μεταβάλλεται και το ηλεκτρόδιο βρίσκεται σε μία ασταθή κατάσταση.

Αν το σύστημα δεν διαρρέεται από ρεύμα αποκτά το δυναμικό ανοικτού κυκλώματος ή δυναμικό διάβρωσης E_{corr} , και είναι το δυναμικό που το μέταλλο αποκτά αυθόρμητα όταν εκτεθεί στο διαβρωτικό περιβάλλον. Το δυναμικό αυτό προσδιορίζεται από τη συνθήκη ότι το ανοδικό ρεύμα, i_{ox} , και το καθοδικό ρεύμα, i_{red} , είναι ίσα και αντίθετα, δηλαδή $i_{ox} = -i_{red}$.

Για τον προσδιορισμό του δυναμικού και ρεύματος διάβρωσης θα εξεταστεί ως παράδειγμα η συμπεριφορά του σιδήρου σε ένα διάλυμα αραιού υδροχλωρικού οξέος. Σύμφωνα με την θεωρία των μικτών δυναμικών θα λάβουν χώρα οι δράσεις:



Κάνουμε την παραδοχή ότι οι δύο δράσεις δεν είναι ανταγωνιστικές και ότι η ταχύτητα τους ελέγχεται από μεταφορά φορτίου. Τότε ισχύει η εξίσωση Butler-Volmer για κάθε μια από τις δύο δράσεις

1.2.3 Παράγοντας

Στην εξέταση του μηχανισμού μιας χημικής αντίδρασης συνίσταται ο διαχωρισμός των παραγόντων που καθορίζουν την τάση ή την κινητήρια δύναμη προόδου της αντίδρασης από τους παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό της αντίδρασης που καθίσταται εφικτή από την ύπαρξη αυτής της τάσης. Αυτή η τάση εκφράζει το γεγονός ότι το σύστημα δεν βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας (ή δεν έχει εγγενή σταθερότητα) και μετράται από τη διαφορά ενέργειας μεταξύ της αρχικής και της τελικής κατάστασης του συστήματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο παρατηρηθείς ρυθμός καθορίζεται όχι μόνο από την τάση αυτή (σε απόλυτο μέγεθος), αλλά και από άλλους παράγοντες που εξαρτώνται κυρίως από το περιβάλλον.

Κατά την εξέταση της ομάδας των τριών τυπικών αντιδράσεων που εμπλέκονται στην διάβρωση, θα πρέπει να αναφέρονται ως πρωταρχικοί παράγοντες εκείνοι που καθορίζουν την τάση του μετάλλου να διαβρώνεται (και επηρεάζουν έτσι τον αρχικό ρυθμό του διαλύματος) και ως δευτερεύοντες παράγοντες εκείνους που επηρεάζουν το ρυθμό των μεταγενέστερων αντιδράσεων. Αυτό επ' ουδενί δεν σημαίνει ότι οι δευτερεύοντες παράγοντες έχουν μικρότερη σημασία. Στην πραγματικότητα, επηρεάζοντας τη φύση και την κατανομή των προϊόντων

διάβρωσης, συνήθως καθορίζουν τον τελικό ρυθμό διάβρωσης, και κατά συνέπεια την ωφέλιμη ζωή του μετάλλου, σε κάθε περιβάλλον.

Γενικά, ελάχιστοι από τους παράγοντες που εμπλέκονται, ασκούν εξαιρετικά σημαντική επίδραση στην τελική ταχύτητα διάβρωσης και ορίζονται ως παράγοντες ελέγχου ή κυρίαρχοι παράγοντες (controlling or dominant factors). Σε γενικές γραμμές, οι πρωτογενείς παράγοντες έχουν να κάνουν με το μέταλλο (ή το κράμα) και οι δευτερεύοντες παράγοντες μάλλον με το ιδιαίτερο περιβάλλον, αν και δεν μπορεί να γίνει αυστηρή διάκριση.

Σε αυτή τη βάση παρατίθενται κάποιοι από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο της διάβρωσης.

1. Παράγοντες που σχετίζονται κυρίως με το μέταλλο

Δυναμικό ηλεκτροδίου του μετάλλου σε διάλυμα

Υπέρταση υδρογόνου στο μέταλλο

Χημική και φυσική ομοιογένεια της μεταλλικής επιφάνειας

Εγγενής ικανότητα σχηματισμού αδιάλυτου προστατευτικού φιλμ στη μεταλλική επιφάνεια

2. Παράγοντες που σχετίζονται κυρίως με το περιβάλλον

Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου στο διάλυμα (pH)

Επίδραση του οξυγόνου στο διάλυμα σε επαφή με το μέταλλο

Συγκέντρωση και είδος άλλων ιόντων στο διάλυμα

Ρυθμός ροής διαλύματος σε επαφή με το μέταλλο

Ικανότητα του περιβάλλοντος για σχηματισμό προστατευτικών εναποθέσεων στην μεταλλική επιφάνεια

Θερμοκρασία

Κύκλοι φόρτισης (διάβρωση κόπωσης)

Επαφή μεταξύ διαφορετικών μετάλλων ή άλλων υλικών (τοπική διάβρωση)^{xii}

1.2.4 Βασικές μορφές διάβρωσης

Η διάβρωση εμφανίζεται σε πολλές μορφές και τύπους. Η διαδικασία για καθέναν από αυτούς επηρεάζεται όπως προαναφέρθηκε από μια σειρά παραγόντων των μετάλλων που υπόκεινται σε διάβρωση, του διαβρωτικού συστήματος κλπ. Οι πιο κοινοί και διακριτοί τύποι διάβρωσης που εντοπίζονται ωστόσο είναι οι εξής:

- Ομοιόμορφη / γενικευμένη διάβρωση
- Γαλβανική διάβρωση
- Διάβρωση με σχισμές
- Διάβρωση συγκέντρωσης στοιχείων
- Διάβρωση με βελονισμούς (Pitting)
- Περικρυσταλλική διάβρωση
- Εκλεκτική προσβολή / έκπλυση
- Διάβρωση εκτριβής
- Διάβρωση με μηχανική καταπόνηση
- Ευθραυστότητα από υδρογόνο
- Σπηλαιώδης διάβρωση
- Διάβρωση λόγω τριβής
- Ατμοσφαιρική διάβρωση
- Μικροβιακή διάβρωση
- Διάβρωση κόπωσης

1.2.5 Διάβρωση οπλισμού σκυροδέματος (αιτίες – είδη διάβρωσης)

Η διάβρωση του οπλισμού στο σκυρόδεμα είναι (και αυτή) μια ηλεκτροχημική δράση που λαμβάνει χώρα όταν το σκυρόδεμα έχει μια ηλεκτρική αγωγιμότητα λόγω της παρουσίας υγρασίας και ηλεκτρολυτών στους πόρους του. Πρέπει να υπάρχει συνεπώς άνοδος (όπου λαμβάνει χώρα η ανοδική δράση), κάθοδος (όπου συμβαίνει η καθοδική δράση) και ηλεκτρολύτης. Για να καταστεί δυνατή η διάβρωση του σιδηρού οπλισμού στο σκυρόδεμα θα πρέπει να εκπληρώνονται τρεις προϋποθέσεις:

1. Παρουσία οξυγόνου και ανοδική διάλυση του.
2. Ηλεκτρική αγωγιμότητα του σκυροδέματος μέσω του υγρού των πόρων.^{xiii}
3. Μείωση του pH του σκυροδέματος κάτω από 9,5 ή αυξημένη συγγέντρωση χλωριόντων

Κατά κανόνα, ο χάλυβας διατηρεί στην επιφάνειά του το προστατευτικό φιλμ σε pH υψηλότερο του 9,5 και αρχίζει να διαβρώνεται σε περιβάλλον με pH χαμηλότερο από 9. Το φαινόμενο επηρεάζεται βέβαια και από τα χαρακτηριστικά του χάλυβα και των τοπικών φυσικοχημικών συνθηκών.

Αναφέρουμε ακολούθως τις βασικές αιτίες αστοχίας του οπλισμού του σκυροδέματος:

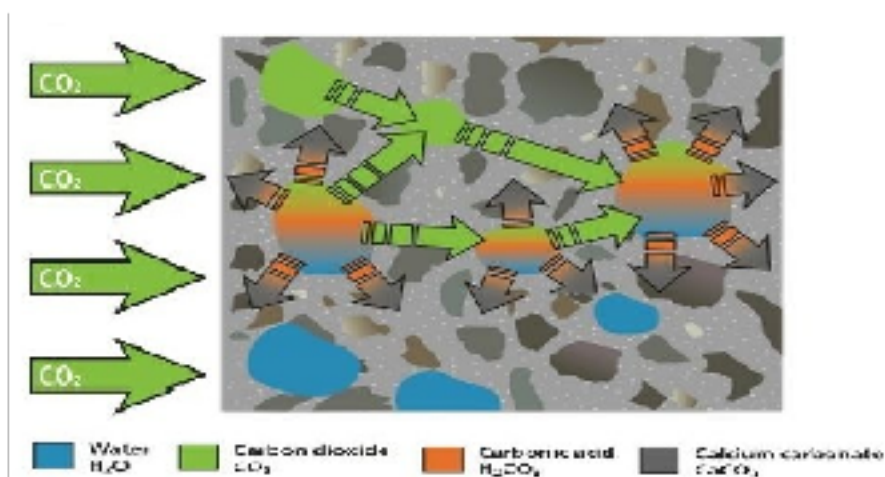
1.2.5.1 Ενανθράκωση

Η ενανθράκωση είναι μια χημική αντίδραση του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας με το υδροξείδιο του ασβεστίου (που παράγεται κατά την ενυδάτωση) στο σκυρόδεμα για το σχηματισμό ανθρακικού ασβεστίου.



Η διαδικασία της ενανθράκωσης απαιτεί την παρουσία υγρασίας προκειμένου το διοξείδιο του άνθρακα να διαλυθεί στο νερό σχηματίζοντας H_2CO_3 . Αν το σκυρόδεμα είναι πολύ ξηρό ($\text{RH} < 40\%$), το CO_2 δεν μπορεί να διαλυθεί και δεν παρουσιάζεται ενανθράκωση. Αν αντίθετα το σκυρόδεμα είναι πολύ υγρό ($\text{RH} > 90\%$), το CO_2 δεν μπορεί να εισχωρήσει σε αυτό με αποτέλεσμα το σκυρόδεμα να μην υποστεί ενανθράκωση. Οι βέλτιστες συνθήκες για την εμφάνιση ενανθράκωσης είναι σε $\text{RH} 50\%$ (εύρος 40-90%).

Ο μηχανισμός του φαινομένου της ενανθράκωσης φαίνεται απλοποιημένα στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα2. Σχηματική παρουσίαση της διαδικασίας ενανθράκωσης

Ο τσιμεντοπολιτός περιέχει 25-50% κ.β. υδροξείδιο του ασβεστίου ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), το οποίο σημαίνει ότι το pH του νωπού μείγματος είναι τουλάχιστον 12,5. Αντίστοιχα, το pH ενός πλήρως ενανθρακωμένου μείγματος είναι περίπου 7.^{xiv}

Όταν το υδροξείδιο του ασβεστίου έχει αφαιρεθεί από το ένυδρο CSH, απελευθερώνεται CaO , το οποίο επίσης θα υποστεί ενανθράκωση. Το ποσοστό της ενανθράκωσης εξαρτάται από το πορώδες και την περιεκτικότητα σε υγρασία του σκυροδέματος.

Αυτή η είναι ουσιαστικά η αντιστροφή της χημικής διαδικασίας πύρωσης της ασβέστου που λαμβάνει χώρα σε ένα κλίβανο τσιμέντου. Η ενανθράκωση είναι μια αργή και συνεχής διαδικασία που ξεκινά από την εξωτερική επιφάνεια του σκυροδέματος προς τα μέσα και επιβραδύνεται με την αύξηση του βάθους διάχυσης.

Τα προϊόντα της ενανθράκωσης προκαλούν μείωση του πορώδους το οποίο συνεπάγεται αύξηση της μηχανικής αντοχής του σκυροδέματος. Η ενανθράκωση είναι επομένως πλεονέκτημα για το μη οπλισμένο σκυρόδεμα. Ωστόσο, στην περίπτωση του οπλισμένου σκυροδέματος αποτελεί μειονέκτημα, καθώς μειώνει την αλκαλικότητά του. Το αλκαλικό περιβάλλον όπως προαναφέρθηκε, είναι απαραίτητο για την αποτροπή της διάβρωσης του χάλυβα του οπλισμού. Σε σκυρόδεμα που έχει υποστεί ενανθράκωση το pH μειώνεται σε περίπου 7, το οποίο είναι κάτω την τιμή 9,5(όριο παθητικοποίησης του χάλυβα). Έτσι διαλύεται το λεπτό φιλμ παθητικοποίησης στην επιφάνεια του χάλυβα και προωθείται η διάβρωση.

Σύμφωνα με τις απόψεις ορισμένων ερευνητών το σκυρόδεμα μπορεί να υποβάλλεται σε δύο διακριτούς τύπους / μορφές ενανθράκωσης.²⁰ Η πρώτη είναι η ατμοσφαιρική ενανθράκωση (weathering carbonation), η οποία αφορά την παρατεταμένη αντίδραση του ώριμου σκυροδέματος, μετά τη σκλήρυνση με το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα. Η δεύτερη μορφή είναι η πρώιμη ενανθράκωση (early age carbonation), όπου οι αντιδράσεις ενανθράκωσης συμβαίνουν παράλληλα με την πρώιμη ενυδάτωση του τσιμέντου μέσω μιας σκόπιμης έκθεσης του νωπού σκυροδέματος σε CO₂.

1.2.5.2 Δράση χλωριόντων

Πηγές χλωριόντων

Κατά κοινή ομολογία αρκετών ερευνητών, τα χλωριόντα αποτελούν μια από τις βασικές αιτίες διάβρωσης του οπλισμού του σκυροδέματος λόγω της ικανότητάς τους να διεισδύουν και να καταστρέφουν το προστατευτικό φιλμ οξειδίων του σιδήρου μέσω του οποίου επιτυγχάνεται η παθητικοποίηση του χάλυβα. Τα χλωριόντα μπορεί να προέρχονται είτε από εξωτερικές πηγές όπως θαλασσινό νερό ή άλατα είτε από την ίδια τη μάζα του σκυροδέματος εάν στο μίγμα έχουν χρησιμοποιηθεί αδρανή υλικά από παράκτιες περιοχές ή θαλασσινό νερό. Η διάβρωση λόγω χλωριόντων μάλιστα είναι πιο συνήθης σε περιοχές παράκτιες ή περιοχές που επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες και χρησιμοποιείται αλάτι για αποφυγή δημιουργίας πάγου στο οδόστρωμα. Η επιβλαβής επίδραση των χλωριόντων μπορεί να ξεκινήσει απλά από την παρουσία τους, αλλά μπορεί να ενισχυθεί σε συνδυασμό με την προαναφερθείσα διαδικασία ενανθράκωσης.

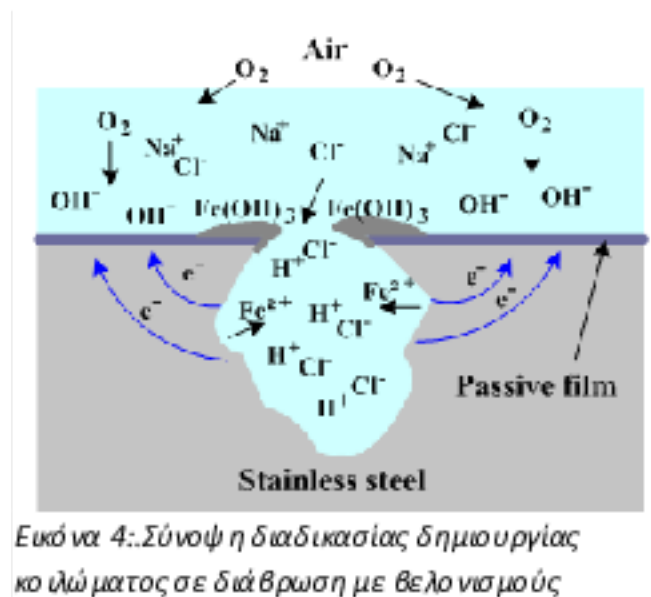
Στο παρελθόν η χρήση του χλωριούχου ασβεστίου ως πρόσμιξη ήταν συνήθης για την προώθηση της ταχείας πήξης του σκυροδέματος. Υπήρχε ταυτόχρονα η πεποίθηση ότι η χρήση του απέτρεπε τη δημιουργία πάγου. Η γενικότερη χρήση αλάτων αποπάγωσης, που χρησιμοποιούνται για τη μείωση του σημείου πήξης του νερού, είναι πιθανώς μια από τις κύριες αιτίες της πρόωρης αστοχίας του οπλισμένο ή προεντεταμένου σκυροδέματος σε γέφυρες, δρόμους και χώρους στάθμευσης. Ωστόσο, η πρακτική αυτή έχει περιοριστεί σημαντικά λόγω των επιβλαβών αποτελεσμάτων της παρουσίας των χλωριόντων. Εναλλακτικά, αξιοποιείται η χρήση ράβδων με επικάλυψη εποξειδικών ρητινών και η εφαρμογή καθοδικής προστασίας η οποία μετριάζει το πρόβλημα σε κάποιο βαθμό. Βρίσκει επίσης εφαρμογή η χρήση ράβδων ενισχυμένων με ίνες πολυμερούς (FRP rebar) που είναι λιγότερο επιρρεπείς σε χλωριόντα.

Μια άλλη σημαντική πηγή ιόντων χλωρίου είναι όπως προαναφέρθηκε το θαλασσινό νερό. Το νερό της θάλασσας περιέχει κατά βάρος περίπου 3,5% άλατα. Αυτά περιλαμβάνουν στο μεγαλύτερο ποσοστό χλωριούχο νάτριο, θειικό μαγνήσιο, θειικό ασβέστιο, και διττανθρακικά άλατα, τα οποία στο νερό διαλύονται σε ελεύθερα ιόντα (Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) και μεταφέρονται μέσω της υγρής φάσης από τις τριχοειδείς ρωγμές του σκυροδέματος στο εσωτερικό του.

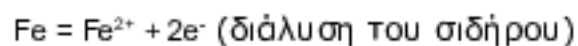
Πολύ δημοφιλής για οικιακές εφαρμογές κατά την περίοδο 1920-1940 αλλά και μέχρι τη δεκαετία 1970 ήταν η χρήση μαγνησίτη (οξυχλωριούχο μαγνησίου) ως υλικό επίστρωσης δαπέδων. Ο μαγνησίτης δημιουργείται από μίγμα πυρωμένου μαγνησίτη (ανθρακικό ορυκτό πλούσιο σε χλωριόντα) και διαλύματος χλωριούχου μαγνησίου με διάφορες ουσίες πλήρωσης (ξυλάλευρο, πριονίδι, αμίαντο κλπ).^{xvi} Η χρήση του υλικού αυτού γινόταν κυρίως για εξομάλυνση του δαπέδου και ηχοαπορροφητικότητα. Ωστόσο, σε επαφή με την υγρασία, το υλικό αυτό παρήγαγε ένα ασθενές διάλυμα υδροχλωρικού οξέος λόγω της παρουσίας χλωριδίων εντός του μαγνησίτη. Εντέλει, με την πάροδο ορισμένου χρονικού διαστήματος, το διάλυμα αποδείχτηκε ότι προκαλεί διάβρωση των ενσωματωμένων χαλύβδινων ράβδων, κυρίως σε περιοχές με αυξημένα επίπεδα υγρασίας. Η χρήση του σήμερα έχει περιοριστεί σημαντικά αν όχι εγκαταλειφθεί

Διάβρωση με βελονισμούς

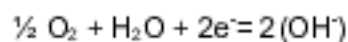
Η διάβρωση με βελονισμούς είναι μια ηλεκτροχημική οξειδο-αναγωγική διαδικασία η οποία λαμβάνει χώρα σε τοπικές κοιλότητες στην επιφάνεια των μετάλλων στα οποία έχει σχηματιστεί ένα επικαλυπτικό φιλμ παθητικοποίησης. Αυτό απαιτεί την ύπαρξη ανόδου, καθόδου και ηλεκτρολύτη μέσω του οποίου διακινούνται τα ιόντα. Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις πραγματοποιούνται στην διεπιφάνεια μετάλλου – ηλεκτρολύτη, μέσω του οποίου γίνεται και η μετακίνηση των ιόντων. Η ανοδική και η καθοδική ηλεκτροχημική αντίδραση συμβαίνουν ταυτόχρονα αλλά σε διαφορετικά σημεία του μεταλλικού στοιχείου, ενώ τα ηλεκτρόνια μετακινούνται στον όγκο του στοιχείου.^{xvii}



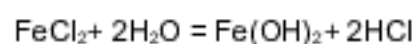
Ανοδική αντίδραση εντός της κοιλότητας:



Όσο το φιλμ παθητικοποίησης δεν έχει διαλυθεί, η ταχύτητα αυτής της αντίδρασης είναι αρκετά χαμηλή. Όταν όμως το pH πέσει κάτω από 9,5 ή καταστραφεί τοπικά από τη δράση των χλωριόντων, η ταχύτητα της αντίδρασης αυξάνεται. Τα ηλεκτρόνια που απελευθερώθηκαν στην άνοδο κινούνται προς την κάθοδο, όπου λαμβάνουν μέρος στην καθοδική αντίδραση:

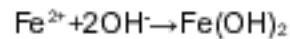


Ως αποτέλεσμα αυτών των αντιδράσεων, ο ηλεκτρολύτης εντός της κοιλότητας αποκτά θετικό ηλεκτρικό φορτίο, σε αντίθεση με τον ηλεκτρολύτη που περιβάλλει την κοιλότητα, στον οποίο τα ηλεκτρόνια προσδίδουν επιπλέον φορτίο καθιστώντας τον αρνητικά φορτισμένο. Η θετικά φορτισμένη πλέον κοιλότητα προσελκύει αρνητικά ιόντα χλωρίου Cl^- , αυξάνοντας την οξύτητα του ηλεκτρολύτη σύμφωνα με την αντίδραση:



Το pH του ηλεκτρολύτη (εντός της κοιλότητας) μειώνεται περαιτέρω από 6 σε 2-3, κάτι το οποίο προκαλεί περαιτέρω επιτάχυνση της διαδικασίας διάβρωσης.

Τα ιόντα του μετάλλου από την ανοδική αντίδραση και τα υδροξυλιόντα από την καθοδική μετακινούνται μέσα στον ηλεκτρολύτη και τελικά αντιδρούν προς σχηματισμό στερεών προϊόντων οξειδωσης.



Το σχηματιζόμενο υδροξείδιο του δισθενούς σιδήρου παρουσία οξυγόνου μετατρέπεται σε υδροξείδιο του τρισθενούς σιδήρου ($\text{Fe}(\text{OH})_3^{\text{xxviii}}$). Τα προϊόντα της διάβρωσης ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), αποθηκεύονται γύρω από την κοιλότητα, περαιτέρω αποκόπτοντας τον ηλεκτρολύτη.^{xxx}

Παράγοντες που επηρεάζουν τη δράση των χλωριόντων

Έχει αναγνωρισθεί ότι οι δύο κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την έναρξη της διάβρωσης είναι το η διεπιφάνεια μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα όπως και η κατάσταση της επιφάνειας του χάλυβα. Ειδικότερα, η επιφανειακή κατάσταση του χάλυβα και η παρουσία των κενών αέρα στη διεπιφάνεια σκυροδέματος χάλυβα αναγνωρίστηκαν ως σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη βαθμίδων δυναμικού κατά μήκος της επιφάνειας του χάλυβα. Οι διαφορές δυναμικού μεταξύ των πιο καθοδικών και ανοδικών περιοχών της επιφάνειας των ράβδων ευνοούν τη μετανάστευση χλωρίου κατά μήκος της διεπιφάνειας προς τις ανοδικές περιοχές. Όπου τα υψηλής συγκέντρωσης ιόντα χλωρίου διευκολύνουν τη διάλυση του φιλμ παθητικοποίησης του οπλισμού και τελικά εκκινούν τη διάβρωση με βελονισμούς (pitting corrosion).

Σε σχετικές έρευνες ανακαλύφθηκε ότι η διάβρωση ξεκινούσε σχεδόν αποκλειστικά σε ράβδους με ανομοιογενή mill-scale και κατά προτίμηση σε θέσεις κενών αέρος. Όσον αφορά στα κενά αέρος, οι διαφορές στην περιεκτικότητα οξυγόνου μεταξύ της επιφάνειας του χάλυβα που βρίσκονται τα κενά και των γειτονικών περιοχών που καλύπτονται με τα προϊόντα ενυδάτωσης, είναι πιθανόν να ευνοήσουν τη συγκέντρωση χλωριόντων και τη δημιουργία γαλβανικού στοιχείου στη ζώνη επαφής.

Η μικροδομή της διεπιφάνειας σκυροδέματος –χάλυβα παίζει σημαντικό ρόλο στα πρώτα στάδια της διάβρωσης με βελονισμούς:

Πριν την από-παθητικοποίηση του χάλυβα, επηρεάζει την κίνηση των χλωριόντων προς τις προτιμώμενες θέσεις συσσώρευσής τους και

αργότερα τη ρύθμιση της ροής των ιόντων μέσα και έξω από τα σημεία δημιουργίας βελονισμών.

Μετά την έναρξη της δημιουργίας βελονισμών, το ρεύμα διάβρωσης ρυθμίζεται κυρίως από την δυνατότητα των ιόντων υδροξειδίου που δημιουργούνται στις καθοδικές περιοχές να ρέουν προς την άνοδο (ωμικός έλεγχος) και των ιόντων να διαχέονται μέσα και έξω από τα σημεία των βελονισμών (ανοδικός έλεγχος).^{xx}

Καθώς η διάβρωση προχωρά, τα προϊόντα διάβρωσης συσσωρεύονται γύρω από το χαλύβδινο οπλισμό. Μετά την διάρρηξη του σκυροδέματος γύρω από το διαβρωμένο οπλισμό, παρατηρήθηκε ότι τα προϊόντα διάβρωσης περιείχαν υδροξείδιο του σιδήρου $Fe(OH)_2$, ένυδρο χλωριούχο σίδηρο ($FeCl_2 \cdot H_2O$) και μαύρο οξείδιο του σιδήρου (Fe_3O_4). Η ακριβής αναλογία των σχηματιζόμενων προϊόντων εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου, του νερού και των ιόντων χλωρίου, αλλά το αποτέλεσμα είναι ουσιαστικά το ίδιο. Αυτά τα προϊόντα διάβρωσης καταλαμβάνουν από 2 έως 14 φορές τον όγκο του αρχικού χάλυβα, δημιουργώντας τάσεις στο εσωτερικό του σκυροδέματος, επαρκείς ώστε να προκαλέσουν ρωγμές σε αυτό. Η διάδοση των ρωγμών οδηγεί περαιτέρω σε θρυμματισμό (spalling) και αποκόλληση (delamination) του σκυροδέματος^{xxi}.

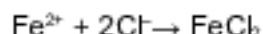
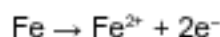
Μηχανισμός δράσης χλωριόντων

Η διείσδυση των χλωριόντων είναι μια διαδικασία που λαμβάνει χώρα στους πόρους του σκυροδέματος όταν υπάρχει παρουσία νερού. Τα χλωριόντα διεισδύουν στους πόρους του είτε μέσω διάχυσης είτε μέσω τριχοειδούς απορρόφησης του επιφανειακού νερού στο οποίο διαλύονται, είτε με συνδυασμό των δυο αυτών μηχανισμών.^{xxii}

Γενικά, τα χλωριόντα αντιδρούν με το αργιλικό ασβέστιο και τον αργιλιούχο ασβεστοφερρίτη $Ca_2(Al,Fe)_2O_5$ στο σκυρόδεμα για να σχηματίσουν αδιάλυτα χλωρο-αργιλικά και χλωρο-φερριτικά άλατα ασβεστίου, στα οποία τα χλωριόντα βρίσκονται δεσμευμένα σε μη δραστική μορφή. Ωστόσο, η αντίδραση σχηματισμού τους δεν είναι ποτέ πλήρης και ορισμένα ενεργά χλωριόντα παραμένουν σε διάλυμα στην υδατική φάση στο σκυρόδεμα. Όταν τα χλωριόντα στην υδατική φάση βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα, ο ρυθμός διάβρωσης είναι πολύ μικρός. Σε υψηλότερη συγκέντρωση όμως, η πιθανότητα σημαντικής διάβρωσης αυξάνει καθώς τα χλωριόντα σε διάλυμα έχουν τη δυνατότητα να προωθήσουν τη διάβρωση του χάλυβα.^{xxiii}

Ο ρυθμός εξέλιξης της διεργασίας της διάβρωσης εξαρτάται από την ύπαρξη οξυγόνου και νερού. Η τοπική οξειδωτικότητα της ανοδικής

πλευράς, λόγω υδρόλυσης του χλωριούχου σιδήρου εκκινεί τη διαδικασία διάβρωσης του χάλυβα. Όταν η συγκέντρωση χλωριόντων υπερβεί την κρίσιμη τιμή έναρξης της διάβρωσης ξεκινά η ανοδική αντίδραση, η οποία περιλαμβάνει τις ακόλουθες αντιδράσεις:



Τα ανιόντα χλωρίου προκαλούν τόσο τοπική διάβρωση με βελονισμούς (pitting corrosion) που τελικά εξελίσσεται σε γενικευμένη διάβρωση των οπλισμών χάλυβα.

Διαπερατότητα σκυροδέματος από τα χλωριόντα

Με βάση πειραματικά αποτελέσματα εντοπίστηκε ότι τα ακόλουθα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος επηρεάζουν τη διαπερατότητα των χλωριόντων μέσα σε αυτό^{xiv}:

1. Ο λόγος Νερού / Τσιμέντου:

- Ο λόγος Ν/Τ σχετίζεται με τη μεταβολή διαπερατότητας των χλωριόντων μέσα από το σκυροδέμα και μάλιστα όσο ο λόγος αυξάνεται, η διαπερατότητα των χλωριόντων αυξάνεται, αφού ισχύει η σχέση υψηλός Ν/Τ → υψηλό πορώδες.
- Η ηλικία του σκυροδέματος για τον ίδιο λόγο Ν/Τ σχετίζεται με τη μεταβολή της διαπερατότητας των χλωριόντων μέσα από το σκυροδέμα, κάτι το οποίο είναι λογικό αφού όσο μεγαλύτερη είναι η συντήρηση του σκυροδέματος σε νερό, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενυδάτωση του σκυροδέματος και επομένως έχουμε μεγαλύτερη μείωση του πορώδους. Έτσι όσο μεγαλύτερη η ηλικία του σκυροδέματος, τόσο μειώνεται η διαπερατότητα των χλωριόντων σε αυτό.
- Ο λόγος Ν/Τ σχετίζεται αντιστρόφως ανάλογα με την μεταβολή της αντοχής του σκυροδέματος σε θλίψη, αφού υψηλός Ν/Τ → υψηλό πορώδες και επομένως η θλίψη του σκυροδέματος είναι ευκολότερη.

2. Ηλικία σκυροδέματος

Η ηλικία του σκυροδέματος για τον ίδιο λόγο N/T σχετίζεται ανάλογα με τη μεταβολή της αντοχής σε θλίψη, αφού όσο μεγαλύτερη η ηλικία του σκυροδέματος, τόσο μικρότερο το πορώδες του και επομένως τόσο μεγαλύτερη η αντοχή του.

3. Τύπος τσιμέντου

Τα σύνθετα τσιμέντα CEMII 42.5 και CEMII 32.5 εξαιτίας της ποζολάνης που περιέχουν, παρουσιάζουν μείωση του πορώδους του σκυροδέματος σε μεγαλύτερο βαθμό από το CEMI 52.5 και μάλιστα όσο η ηλικία του σκυροδέματος μεγαλώνει, τόσο η ποζολάνη μειώνει το πορώδες του σκυροδέματος, κάτι που συνεπάγεται τη μείωση της διαπερατότητάς του.

4. Αντοχή σκυροδέματος

Αύξηση της αντοχής συνεπάγεται τη μείωση της διαπερατότητας. Αυτή η ιδιότητα του σκυροδέματος μπορεί να αποτελέσει κριτήριο για την εκτίμηση της διαπερατότητας του σκυροδέματος σε χλωριόντα καθώς και το βαθμό προστασίας του οπλισμού από το σκυρόδεμα.

1.2.5.3 Αλκαλοπυριτική αντίδραση (ASR)

Αυτή η αντίδραση λαμβάνει χώρα ανεξάρτητα από την παρουσία οπλισμού στο σκυρόδεμα. Είναι μία αντίδραση της άμορφης πυριτίας (οξειδίο πυριτίου υψηλής εσωτερικής ενέργειας που βρίσκεται π.χ. στον χαλκηδόνιο, τον πυριτόλιθο, τον πυριτικό ασβεστόλιθο κλπ) η οποία κάποιες φορές παρίσταται στα αδρανή, με τα ιόντα υδροξυλίου (OH^-) στο διάλυμα των πόρων του τσιμέντου. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του τσιμέντου Portland εξηγούν την παρουσία αλκαλίων στο τσιμέντο, που τυπικά κυμαίνονται από 0.2-1.5%, εκφρασμένα σε ισοδύναμο Na_2O . Ανάλογα με την περιεκτικότητα σε αλκάλια του τσιμέντου, το pH του νερού των πόρων στα κανονικά σκυροδέματα είναι 12.5-13.5.^{xv}

Το οξείδιο του πυριτίου χαμηλής κρυσταλλικότητας (SiO_2) διαλύεται και διασπάται σε υδάτινο περιβάλλον με υψηλό pH (12,5 - 13,5). Το διαλυτό πλέον πυριτικό οξύ αντιδρά στο νερό των πόρων με το υδροξείδιο του ασβεστίου (πορτλαντίτη) παρόντα στον τσιμεντοπολτό, σχηματίζοντας

διασταλτικό ένυδρο πυριτικό ασβέστιο (CSH). Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι ως εξής:



Η αλκαλοπυριτική αντίδραση προκαλεί εντοπισμένη διόγκωση, υπεύθυνη για τη δημιουργία εσωτερικών τάσεων και ρωγμών. Οι συνθήκες που θα πρέπει να εξασφαλίζονται προκειμένου να λάβει χώρα αυτή η αντίδραση είναι οι εξής:

(1) Τα αδρανή να περιλαμβάνουν συστατικά δραστικά σε αλκαλικό περιβάλλον (άμορφη πυριτία)

(2) Επαρκής ποσότητα ιόντων υδροξυλίου (OH⁻)

(3) Επαρκής υγρασία, πάνω από 75% σχετική υγρασία μέσα στο σκυρόδεμα.

1.2.5.4 Θειικά ιόντα

Όταν η συγκέντρωση των θειικών ιόντων (SO₄⁻) στο έδαφος ή στα υπόγεια ύδατα είναι επαρκής, αυτά μπορούν να αντιδράσουν με το τσιμέντο Portland στο σκυρόδεμα προκαλώντας το σχηματισμό μεγαλομοριακών προϊόντων που μπορεί να οδηγήσουν λόγω διόγκωσης σε πρόωρη αστοχία της δομής. Η πιο χαρακτηριστική διάβρωση αυτού του τύπου είναι σε πλάκες από σκυρόδεμα και στοιχεία θεμελίωσης όπου η συγκέντρωση των θειικών ιόντων, μέσω εναλλαγής ύγρανσης και ξήρανσης, αυξάνεται. Με την αύξηση της συγκέντρωσης, ξεκινά η αντίδρασή τους με το τσιμέντο Portland. Η αύξηση της συγκέντρωσης θειικών ιόντων είναι πολύ βραδύτερη στη μάζα του εδάφους και είναι εξαρτάται ιδιαίτερα από την αρχική ποσότητα των θειικών στο φυσικό έδαφος.

1.2.5.5 Αποτελέσματα διάβρωσης οπλισμού

Η μείωση της ενεργής διατομής του χάλυβα αποτελεί ένα από τα βασικά αποτελέσματα της διάβρωσης του οπλισμού. Η ελάττωση της μάζας του χάλυβα είναι ίση μ' αυτή που μετατρέπεται σε σκουριά. Η μείωση της διατομής του χάλυβα όπως είναι αναμενόμενο έχει αρνητικά αποτελέσματα στη στατική επάρκεια της κατασκευής, εγκυμονώντας περαιτέρω κινδύνους για της κατασκευή. Ταυτόχρονα με την μείωση της διατομής, ωστόσο, επέρχεται και δυσανάλογη μείωση της ολκιμότητας του υλικού.

Τα οξείδια του σιδήρου που αποτελούν τα βασικά προϊόντα διάβρωσης (Fe₃O₄, FeO, Fe₂O₃ κλπ) έχουν όγκο 2 έως 6 φορές μεγαλύτερο απ' αυτόν

του σιδήρου. Αυτό έχει ως συνέπεια η σκουριά που σχηματίζεται στην επιφάνεια της ράβδου να έχει μεγαλύτερο όγκο από το χάλυβα από τον οποίο έχει σχηματιστεί και να προκαλεί μεγάλες εσωτερικές τάσεις στο περιβάλλον σκυρόδεμα, προκαλώντας τελικά ρηγμάτωση σε αυτό. Αυτή μειώνει τη συνάφεια μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος και επιτρέπει περαιτέρω διάβρωση του οπλισμού. Επιπλέον, οι ρηγματώσεις αυξάνουν την διαπερατότητα του σκυροδέματος σε CO₂, με τα προαναφερθέντα αποτελέσματα στην ενανθράκωση και την επιτάχυνση της διάβρωσης του οπλισμού.

Συνεπώς, τα περισσότερα προβλήματα που προκύπτουν από τη διάβρωση του χάλυβα στο σκυρόδεμα δεν οφείλονται άμεσα στην απώλεια χάλυβα, αλλά στη δημιουργία οξειδίων / προϊόντων διάβρωσης τα οποία εν τέλει οδηγούν στη δημιουργία ρωγμών και θρυμματισμό του σκυροδέματος. Οι δομικές αστοχίες των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα λόγω διάβρωσης δεν είναι συχνές. Το πιο κοινό πρόβλημα που προκαλείται από τη διάβρωση είναι θρυμματισμός της επικάλυψης σκυροδέματος, που έχει προκαλέσει ορισμένα θανατηφόρα ατυχήματα στην πρόσφατη ιστορία. Έχει διατυπωθεί η θεωρητική άποψη ότι απώλεια μικρότερη των 100 μm διατομής χάλυβα επαρκεί για την εκκίνηση δημιουργίας ρωγμών και το θρυμματισμό του σκυροδέματος. Η πραγματική ποσότητα που απαιτείται, ωστόσο, εξαρτάται από τη γεωμετρία από την άποψη κάλυψης, εγγύτητας στις γωνίες, διάμετρο και απόσταση μεταξύ ράβδων αλλά και από το ρυθμός διάβρωσης.^{xxxvi}

1.3 Μέθοδοι προστασίας οπλισμού σκυροδέματος από διάβρωση

Προκειμένου να αποφευχθούν τα αρνητικά αποτελέσματα της διάβρωσης είναι απαραίτητο να γίνουν επεμβατικές ενέργειες στις κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος, οι οποίες έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές τόσο σε υπάρχουσες κατασκευές, όσο και κατά τη φάση του σχεδιασμού. Οι ενέργειες αυτές αφορούν σε επεμβάσεις στο περιβάλλον, στο σκυρόδεμα, στον οπλισμό ή συνδυαστικά.

Η εφαρμογή κατάλληλης ή συνδυασμού καταλλήλων μεθόδων προστασίας, ανάλογα με την κατασκευή, αποβλέπει στην ελάττωση της ταχύτητας διάβρωσης μέσω της μεταβολής των θερμοδυναμικών ή των κινητικών

στοιχείων της διαβρωτικής δράσης. Οι κυριότερες μέθοδοι προστασίας αφορούν σε :

- Τροποποιήσεις του μετάλλου
- Τροποποιήσεις του περιβάλλοντος
- Τροποποιήσεις του ηλεκτροδιακού δυναμικού μετάλλου-περιβάλλοντος
- Τροποποιήσεις της παραγωγικής διεργασίας^{xxvii}

1.3.1 Τροποποίηση του μετάλλου

Η αντίσταση σε διάβρωση σε συγκεκριμένο περιβάλλον που προβάλλει ένα μέταλλο, μπορεί να βελτιωθεί με συγκεκριμένες διεργασίες που έχουν ως αποτέλεσμα την αλλαγή της σύστασής του, της δομής ή των εσωτερικών τάσεων του υλικού κλπ.

Η επέμβαση στη σύσταση του υλικού (κραματοποίηση) αυξάνουν την αντίσταση σε διάβρωση και ανάλογα με το αποτέλεσμα κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Παθητικοποίησης του μετάλλου (π.χ. στους ανοξείδωτους και στους ανθεκτικούς σε οξέα χάλυβες)
- Καθοδικές δηλ. σε αυτές που διευκολύνουν την παθητικοποίηση
- Εξουδετέρωσης (πχ. Για σχηματισμό καρβιδίων στους ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες, εξουδετέρωση του S στους χάλυβες κλπ.)
- Σχηματισμού οξειδίων (π.χ. σε χάλυβες ανθεκτικούς σε θέρμανση, για βελτίωση της αντίστασής του σε οξείδωση)
- Βελτίωση οξειδίων μειώνοντας τις κρυσταλλικές στέλειες π.χ. Li σε Ni.
- Αναστολείς στον ορείχαλκο για να παρεμποδιστεί η αποψευδαργύρωση

Για βελτίωση των ιδιοτήτων έναντι της διάβρωσης στα μέταλλα εφαρμόζονται και διεργασίες καθαρισμού, θερμικές κατεργασίες, ανόπτηση για εξάλειψη των εφελκυστικών τάσεων ή εισαγωγή θλιπτικών τάσεων κλπ.

1.3.4 Τροποποίηση του περιβάλλοντος

Οι κυριότεροι τρόποι επέμβασης στο περιβάλλον για προστασία από διάβρωση είναι οι εξής (υπό την προϋπόθεση ότι το περιβάλλον είναι περιορισμένο):

- Απομάκρυνση του οξυγόνου ή των οξειδωτικών ουσιών από το νερό με κατεργασία υπό κενό, με κορεσμό με αδρανές αέριο ή με προσθήκη ουσιών που δεσμεύουν το οξυγόνο. Δεν συνίσταται στα παθητικά μέταλλα και κράματα
- Απομάκρυνση των οξέων με εξουδετέρωση (εκτός από τις περιπτώσεις οξέων αδρανών σε υψηλές συγκεντρώσεις)
- Ελάττωση της θερμοκρασίας (στην πλειοψηφία των περιπτώσεων μειώνει το ρυθμό διάβρωσης)
- Ελάττωση της ταχύτητας ροής εκτός γενικά από τα παθητικά μέταλλα
- Απομάκρυνση των στερεών σωματιδίων από το νερό ή τον αέρα
- Ελάττωση της σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντα αέρα
- Απομάκρυνση του νερού από τον αέρα με αφύγρανση
- Χρησιμοποίηση αναστολέων

1.3.4.1 Αναστολείς διάβρωσης

Οι αναστολείς διάβρωσης είναι χημικές ενώσεις, που όταν προστεθούν στο σκυρόδεμα σε μικρές συγκεντρώσεις, έχουν την ικανότητα να επιβραδύνουν ή να σταματούν το ρυθμό διάβρωσης των οπλισμών. Οι αναστολείς διάβρωσης μπορούν να επηρεάσουν είτε τις ανοδικές, είτε τις καθοδικές αντιδράσεις, είτε και τις δύο. Θα πρέπει ωστόσο να γίνεται σαφής διάκριση μεταξύ των αναστολέων διάβρωσης και άλλων προσθέτων του σκυροδέματος τα οποία βελτιώνουν την αντοχή σε διάβρωση του σκυροδέματος.

Ένας αναστολέας διάβρωσης παρατείνει τη διάρκεια ζωής της κατασκευής χάρη στην χημική / ηλεκτροχημική αλληλεπίδραση με τον οπλισμό. Ωστόσο, άλλες ουσίες που μπορεί να εμποδίζουν την έναρξη της διάβρωσης ή να μειώνουν το ρυθμό της εν εξελίξει διάβρωσης μέσω επιφανειακής δράσης (π.χ. υδροφοβίωσης) ή οι προσμίξεις που μειώνουν το πορώδες του σκυροδέματος (π.χ. ιπτάμενη τέφρα, πυριτική παιπάλη,

πρόσμικτα στεγανοποίησης κ.λπ.) δεν θεωρούνται αναστολείς της διάβρωσης.^{xxxviii}

Μια ταξινόμηση των αναστολέων που στηρίζεται στο είδος της πόλωσης που επηρεάζουν είναι ως εξής :

- **Ανοδικοί αναστολείς:** επιβραδύνουν την ανοδική δράση αυξάνοντας την ανοδική πόλωση
- **Καθοδικοί αναστολείς:** επιβραδύνουν τη δράση της αναγωγής των οξειδωτικών
- **Μικτοί αναστολείς:** επιβραδύνουν και την ανοδική και την καθοδική δράση προκαλώντας μικρή μόνο μεταβολή του δυναμικού.

Επίσης, οι αναστολείς μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με το μηχανισμό της δράσης σε τέσσερις τύπους :

- **Ρόφησης:** (ανοδικοί ή/και καθοδικοί). Ροφώνται στη μεταλλική επιφάνεια και παρεμποδίζουν την ανοδική και την καθοδική δράση, συνήθως όμως όχι ισόποσα.
- **Παθητικοποίησης;**(κλειστού κυκλώματος - ανοδικοί). Οξειδωτικές ουσίες που για τη δράση τους δεν είναι απαραίτητη η παρουσία οξειδωτικού. διευκολύνουν τη χημική παθητικοποίηση των παθητικών μετάλλων όπως ο σίδηρος και τα κράματά του και ο ανοξειδωτικός χάλυβας είτε φτιάχνοντας οξειδιά τους είτε/και μετατρέποντας τα παθητικά επιστρώματα σε άλλα λιγότερο διαλυτά και επομένως πιο προστατευτικά.
- **Κατακρήμνισης:** (και ανοικτού κυκλώματος) (ανοδικοί ή/και καθοδικοί)
- **Απομάκρυνσης;** (δέσμευσης) του οξειδωτικού (καθοδικοί)^{xxxix}

Μια επιπλέον ταξινόμηση η οποία συνδυάζει την επηρεαζόμενη (ανοδική ή καθοδική) δράση και τον μηχανισμό των αναστολέων διάβρωσης είναι στις εξής κατηγορίες:

- **Ανοδικοί αναστολείς:** Τα υλικά αυτά αναστέλλουν τη διάβρωση, σταθεροποιώντας το προστατευτικό φιλμ του οπλισμού και το οποίο έχει τη τάση να διασπάται όταν ανεβαίνει η περιεκτικότητα των χλωριόντων. Χαρακτηριστικό δείγμα τέτοιων αναστολέων είναι αυτοί που περιέχουν νιτρώδες ασβέστιο και οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε κονιάματα επισκευών. Το νιτρώδες ασβέστιο όμως έχει σαν παράπλευρη δράση την επιτάχυνση της πήξης και θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την αποφυγή φαινομένων «άμεσης πήξης (flash setting).

- **Καθοδικοί αναστολείς:** Αυτοί προσροφώνται από τον οπλισμό και σχηματίζουν στην επιφάνειά του ένα φράγμα στη μείωση οξυγόνου, που είναι η κύρια αιτία καθοδικής αντίδρασης του χάλυβα στο σκυρόδεμα. Όμως, οι πιο πολλοί καθοδικοί αναστολείς, όπως οι αμίνες και τα φωσφορικά, έχουν σαν αποτέλεσμα τη μεγάλη επιβράδυνση της πήξης του σκυροδέματος.
- **Οργανικοί αναστολείς:** Ονομάζονται επίσης και προσροφητικοί αναστολείς διάβρωσης και η δράση τους συνδυάζει ανοδική και καθοδική προστασία. Τυπικό είδος αυτών των αναστολέων είναι οι οργανικές αμίνες όπως π.χ. οι αμινοαιθανόλες.

Απ' τα παραπάνω είδη, αυτό που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις επισκευές οπλισμένου σκυροδέματος, είναι οι (οργανικοί ή ανόργανοι) αναστολείς διάβρωσης, που μπορούν να διεισδύουν στο σκληρυμένο σκυρόδεμα μέσω διάχυσης. Όταν ο αναστολέας αυτός έλθει σε επαφή με το χάλυβα οπλισμού, σχηματίζει ένα μονομοριακό προστατευτικό φιλμ, το οποίο μειώνει δραματικά τη διάβρωση, παρουσιάζοντας διπλή δράση, τόσο ανοδική όσο και καθοδική.^{xxx}

Ανάλογα με την δομή και την πυκνότητα του στρώματος ρόφησης στην επιφάνεια του μετάλλου, οι χημικοί αναστολείς μπορούν να διακριθούν σε:

Παθητικοποιητές, όταν το σχηματιζόμενο στρώμα είναι λεπτό, ομοιόμορφο και πυκνής δομής της τάξεως των 20nm (π.χ. νιτρικά, χρωμικά ανιόντα).

Επικαλυπτές, όταν το στρώμα είναι σχετικά παχύτερο, ανομοιόμορφο και μικρής πυκνότητας (π.χ. φωσφορικά, αρσενικά).

1.3.4.5 Επεμβάσεις στο σκυρόδεμα

Επαναλκαλοποίηση

Ο σκοπός της μεθόδου αυτής είναι η αύξηση του pH του σκυροδέματος, όταν αυτό έχει μειωθεί λόγω ενανθράκωσης ή άλλων αιτιών. Η επιφάνεια του σκυροδέματος επαλείφεται με διάλυμα υδροξειδίου του ασβεστίου.. Η διαδικασία της επαναλκαλοποίησης στηρίζεται στην ανοδική και καθοδική δράση όπου ως άνοδος λειτουργεί ένα ηλεκτρόδιο μολύβδου ή ανοξειδωτού χάλυβα και ως κάθοδος ο χάλυβας οπλισμού σκυροδέματος. Η εφαρμογή ενός εξωτερικού ηλεκτρικού δυναμικού, οδηγεί στη διάχυση του αλκαλικού υγρού στους πόρους του σκυροδέματος με αποτέλεσμα την αύξηση του pH του.

Αφαίρεση υγρασίας

Η μέθοδος αυτή, η οποία αναφέρεται και ως «ηλεκτρική» χρησιμοποιείται για την αφαίρεση υγρασίας από κονιάματα. Απαιτεί η περιεκτικότητα των αλάτων στο κονίαμα να είναι 2% - 5% και το pH του υλικό υψηλότερο του 8. Η διαδικασία προσομοιάζει με αυτήν της αφαίρεσης χλωριόντων. Με την εφαρμογή του δυναμικού, τα ιόντα των αλάτων κινούνται προς τα ηλεκτρόνια μεταφέροντας μαζί τους και νερό. Η μεταφορά των μορίων (νερού) από τα ιόντα ερμηνεύεται με (και επηρεάζεται από) διάφορες δράσεις (π.χ. διαφορετικός βαθμός ενυδάτωσης των ανιόντων και κατιόντων των αλάτων, τα ανιόντα συμπαρασύρουν κατά την κίνησή τους το υδατικό περίβλημα των πόρων, ανάπτυξη δράσεων απόθησης οι οποίες τρέπουν το νερό προς τους λεπτούς πόρους κλπ.). Η συγκεκριμένη διαδικασία, ωστόσο, αν και απλή και με χαμηλό κόστος, είναι πολύ βραδεία. ^{xxxix}

Σφράγισμα με ρητίνες

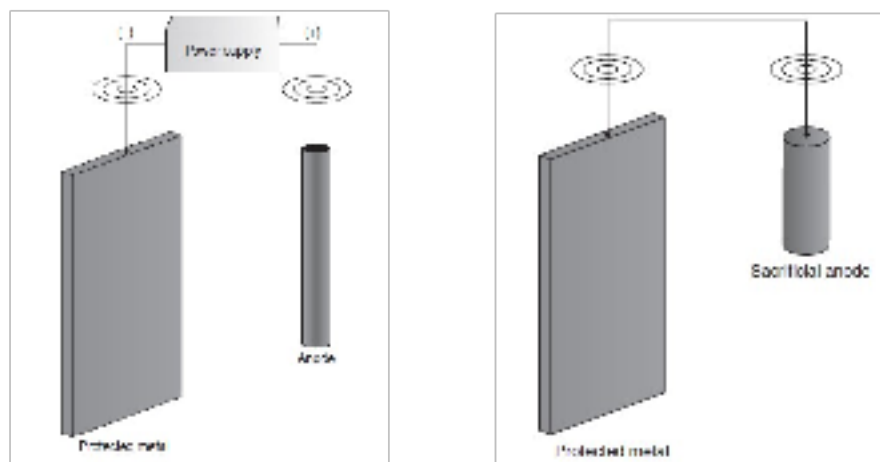
Αν και το σφράγισμα των ρωγμών στο σκυρόδεμα μπορεί να επιτευχθεί και με άλλα υλικά (π.χ. τσιμέντο), οι ρητίνες αποτελούν ένα υλικό που γεμίζει τα κενά των ρωγμών και επιτυγχάνει πλήρη συνέχεια του υλικού. Επιπλέον, εμποδίζουν την οξειδωτική διαδικασία καθώς λόγω της σύστασής τους δεν επιτρέπεται η διείσδυση του οξυγόνου και της υγρασίας, ενώ λόγω της αντοχής σε εφελκυσμό και της μεγάλης τους συνάφειας αποτρέπεται σε σημαντικό βαθμό η διεύρυνση των ρωγμών. ^{xxxxii}

1.3.4.6 Επεμβάσεις στον οπλισμό

Καθοδική προστασία

Η βασική αρχή όλων των τεχνικών καθοδικής προστασίας (Cathodic Protection - CP) έγκειται στο ότι οι ανεπιθύμητες ανοδικές αντιδράσεις διάβρωσης καταστέλλονται από την εφαρμογή ενός αντίθετου ρεύματος, αναγκάζοντας τις τοπικές ανόδους να πολωθούν στο δυναμικό των τοπικών καθόδων. Από θερμοδυναμικής άποψης, η εφαρμογή ενός ρεύματος καθοδικής προστασίας μειώνει το ρυθμό διάβρωσης μιας μεταλλικής δομής μειώνοντας το δυναμικό διάβρωσής του προς μια μη δραστική κατάσταση. Η καθοδική προστασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προστασία οπλισμένου σκυροδέματος είτε μέσω της επιβολής ρεύματος

καθοδικής προστασίας (ICCP - Impressed Current Cathodic Protection) είτε με θυσιαζόμενες ανόδους.



Εικόνα 5. Σχηματική απεικόνιση ενός συστήματος καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενη τάση (αριστερά) και με θυσιαζόμενες ανόδους (δεξιά)

1. Καθοδική προστασία με επιβαλλόμενη τάση

Η εφαρμογή της καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενη τάση βασίζεται στην ύπαρξη πηγής συνεχούς ρεύματος κοντά στην επιφάνεια του σκυροδέματος με την οποία συνδέεται ο οπλισμός των φερόντων στοιχείων της κατασκευής. Με την παροχή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος αναστέλλεται και αντιστρέφεται το δυναμικό διάβρωσης και έτσι ελαχιστοποιείται ο ρυθμός διάβρωσης. Τρεις είναι οι βασικές μέθοδοι ελέγχου του ρεύματος της πηγής:

- Λειτουργία σταθερού ρεύματος: Η πηγή παράγει ένα σταθερό ρεύμα εξόδου. Το δυναμικό του οπλισμού μπορεί να μετρηθεί μέσω ενός στοιχείου αναφοράς ως συνάρτηση το εφαρμοζόμενου ρεύματος.
- Λειτουργία σταθερής τάσης: Σε αυτή την περίπτωση η πηγή διατηρεί σταθερή της τάση εξόδου. Το εφαρμοζόμενο ρεύμα αλλάζει σύμφωνα με τις διακυμάνσεις στην αντίσταση του κυκλώματος. Η χαμηλή αντίσταση του σκυροδέματος, που συχνά συνδέεται με αυξημένο κίνδυνο διάβρωσης, μπορεί να οδηγήσει σε υψηλό ρεύμα εξόδου. Σε αυτή τη λειτουργία το δυναμικό των ράβδων δεν είναι απαραίτητα σταθερή και μπορεί επίσης να μετράται μέσω ενός στοιχείου αναφοράς.
- Λειτουργία σταθερού δυναμικού του οπλισμού: Σε αυτή τη λειτουργία το ρεύμα εξόδου ρυθμίζεται συνεχώς για να παρέχει ένα

σταθερό (προεπιλεγμένο) δυναμικό οπλισμού. Μια μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βυθισμένο σκυρόδεμα όπου το δυναμικό είναι σχετικά ομοιόμορφο και σταθερό, το δυναμικό οπλισμού, μετράται συνεχώς με ηλεκτρόδια αναφοράς και βάσει αυτού αναπροσαρμόζεται συνεχώς η πηγή ρεύματος.

II. Θυσιαζόμενες άνοδοι

Οι θυσιαζόμενες άνοδοι έχουν δυναμικό διάβρωσης μικρότερο από το μέταλλο που χρειάζεται προστασία. Είναι σχετικά φθηνές, εύκολες στην εγκατάσταση και σε αντίθεση με τα συστήματα επιβαλλόμενης τάσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς παροχή ρεύματος. Οι θυσιαζόμενες άνοδοι που χρησιμοποιούνται συνήθως για την προστασία του χαλύβδινου οπλισμού του σκυροδέματος κατασκευάζονται από ψευδάργυρο ή κράμα ψευδαργύρου. Οι εφαρμογές ποικίλουν ως εξής:

- Εφαρμογή θερμικά ψεκαζόμενου ψευδάργυρου πάχους μερικών εκατοντάδων μη απευθείας στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Συνήθως χρησιμοποιείται και κάποια υγροσκοπική ουσία για την αύξηση της υγρασίας και μείωση της αντίστασης του σκυροδέματος.
- Εφαρμογή λεπτών φύλλων ψευδαργύρου με αγώγιμο συγκολλητικό υπόστρωμα στην επιφάνεια του σκυροδέματος.
- Διογκωμένο πλέγμα ψευδαργύρου σε πλαστικά δοχεία ενισχυμένα με ύδραλο, τα οποία περιέχουν τσιμεντένεμα (ρευστοκονίαμα). Η μέθοδος εφαρμόζεται συνήθως σε πασσάλους εκτεθειμένους σε θαλάσσιο περιβάλλον, κυρίως στην ίσαλο γραμμή.
- Δίσκοι ψευδαργύρου σε ισχυρά αλκαλικό μανδύα κονιάματος ο οποίες ενσωματώνεται σε τοπικές επισκευές.
- Ράβδοι ψευδαργύρου σε κυλίνδρους κονιάματος υψηλής αλκαλικότητας για εγκατάσταση σε οπές στο σκυρόδεμα

Το βασικό κριτήριο για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της καθοδικής προστασίας των περισσότερων μετάλλων βασίζεται σε μέτρηση του δυναμικού του μετάλλου σε σχέση με ένα ημι-στοιχείο ή ηλεκτρόδιο αναφοράς. Υλικά κατάλληλα για γαλβανικές άνοδοι είναι το αλουμίνιο, το μαγνήσιο, ο ψευδάργυρος κλπ. Σύμφωνα με το νόμο του Faraday, η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να ληφθεί από μία γαλβανική άνοδο εξαρτάται από την ηλεκτροχημική ισοδύναμο του μετάλλου που χρησιμοποιείται και την αποτελεσματικότητα της ανόδου.

1.3.4.7 Οργανικές Επικαλύψεις

Μεταξύ των διάφορων συστημάτων προστασίας του χαλύβδινου οπλισμού, η πιο δημοφιλής και οικονομική μέθοδος είναι η χρήση οργανικών επικαλύψεων. Η προστατευτική δράση τους οφείλεται στον προκαλούμενο διαχωρισμό του υλικού από το διαβρωτικό του περιβάλλον, την αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης. Η προστατευτική τους επίδραση εξαρτάται από το πάχος τους και τις ιδιότητές τους όπως η πρόσφυση, η αντοχή και η διαπερατότητα.^{xxxiii} Τα οργανικά επιστρώματα μπορεί να είναι χρώματα, βερνίκια ή λάκες, που προκύπτουν ως μίγμα συνδετικού μέσου (ρητίνη), διαλύτη, πιγμέντου, πληρωτικών ουσιών και προσθέτων. Ανάλογα με το συνδετικό μέσο (ρητίνη), οι οργανικές επικαλύψεις διακρίνονται σε:

- Αλκυδικά χρώματα (πχ. ριπολίνες, αλκυδικές ρητίνες, αντισκωριακά αστάρια κλπ)
- Βινυλικά χρώματα (και βινυλικοί εστέρες)
- Χρώματα χλωριωμένου καουτσούκ
- Ακρυλικά χρώματα (ακρυλικές ρητίνες)
- Εποξειδικά χρώματα (και επόξυ-φαινολικά, λιθανθρακόπισσας, μαστίχες, χωρίς διαλύτες, υδατικά)
- Πολυουρεθάνης (ενός και δύο συστατικών)
- Πολυεστερικά
- Υδατικές διασπορές (πλαστικά, συμπολυμερή ΡVΑ, συμπολυμερή στυρενίου – ακρυλικών κλπ.)

Επίσης συχνή τώρα πλέον είναι η διάκριση σε «Επικαλύψεις που περιέχουν προϊόντα νανοτεχνολογίας^{xxxiv}» ή όχι.

1.4 ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΕΣ

1.4.1 Ορισμός νανοσωλήνες άνθρακα

Οι νανοσωλήνες άνθρακα είναι ομόκεντροι κύλινδροι γραφίτη κλειστοί σε κάθε άκρο με πενταμελείς δακτυλίους και ανακαλυφθήκαν το 1991 από τον Sumio Iijima. Οι νανοσωλήνες μπορεί να είναι πολυφλοιϊκοί με ένα κεντρικό σωλήνα να περιβάλλεται από ένα ή περισσότερα στρώματα γραφίτη ή μονοφλοιϊκοί όπου υπάρχει μόνο ένας σωλήνας και καθόλου επιπλέον στρώματα γραφίτη. Όταν νανοσωλήνες ομαδοποιούνται έχουμε τις λεγόμενες συστοιχίες νανοσωλήνων^{xxxx}.

1.4.2 Εφαρμογες

Οι νανοσωλήνες άνθρακα έχουν συγκεντρώσει το ενδιαφέρον των ερευνητών και των επενδυτών σε παγκόσμιο επίπεδο, λόγω των πολυάριθμων θεωρητικών εφαρμογών τους. Ενδεικτικά αναφέρονται οι κυριότερες πιθανές χρήσεις τους στο άμεσο μέλλον (στην προσεχή 20ετία):

- Τρανζίστορς, αντικατάσταση του πυριτίου, δίοδοι, νανοπυκνωτές
- Κβαντικοί υπολογιστές.
- Επίπεδες οργανικές οθόνες
- Βαφή εκτροπής της ακτινοβολίας ραντάρ
- Ενίσχυση σήματος σε κινητά τηλέφωνα (και όχι μόνο)
- Αντικατάσταση οπτικών ινών (αργότερα), ηλεκτρικών καλωδίων
- Νανοαισθητήρες εξαιρετικής ευαισθησίας
- Ενίσχυση υλικών: ισχυρότερα κράματα και πολυμερή, σε οχήματα (διαστημόπλοια, αεροπλάνα, αυτοκίνητα), σε αλεξίσφαιρα, εργαλεία, κ.ά.
- Διαστημικός ανελκυστήρας
- Κυψέλες αποθήκευσης υπερσυμπυκνωμένου υδρογόνου
- Τεχνητοί μύες

Οι προοπτικές εφαρμογών αυτού του επιπέδου είναι πολύ σημαντικές. Αυτή τη στιγμή κυριότερα εμπόδια στην προώθησή τους είναι η περιορισμένη στη μονάδα του χρόνου δυνατότητα παραγωγής των νανοσωλήνων, καθώς και η δυσκολία συνένωσής τους σε μακροδομές (νήματα) που θα διατηρούν τις ιδιότητές τους. Τελευταίες έρευνες και πειράματα δείχνουν πως αυτά τα εμπόδια είναι εφικτό να ξεπεραστούν^{xxxxi}.

1.4.3 Εφαρμογές της νανοτεχνολογίας στα κατασκευαστικά υλικά του φερόντα οργανισμού κτιρίων

Η νανοτεχνολογία έχει να κάνει με την ανάγκη για κατανόηση των φαινομένων στη νανοκλίμακα και με την ταυτόχρονη βελτίωση της ικανότητάς μας να ελέγξουμε τη νανοδομή των υλικών. Έτσι, οι ιδιότητες των υλικών μπορούν να βελτιωθούν ελέγχοντας τις διεργασίες και τις δομές της νανοκλίμακας.

Οι επιθυμητοί λοιπόν στόχοι που μπορούν να επιτευχθούν μέσω της νανοτεχνολογίας, όσον αφορά στις κατασκευές, είναι η ανάπτυξη υλικών υπερ-υψηλής επίδοσης για κατασκευαστικές εφαρμογές και η βελτίωση της γνώσης για τη συσχέτιση μεταξύ της νάνο/μίκρο-δομής των υλικών και των συνεπακόλουθων μακροσκοπικών ιδιοτήτων των υλικών.

Η νανοτεχνολογία λοιπόν μπορεί να φανεί χρήσιμη στην ανάπτυξη:

- Υλικών με αυξημένη ανθεκτικότητα και παρατεταμένη ή βελτιωμένη συμπεριφορά
- Πολυλειτουργικών υλικών με μηχανική απόδοση συνδυασμένη με ιδιότητες θερμικής, ηλεκτρική ή μαγνητικής αγωγιμότητας/μόνωσης
- Ενεργών προσαρμοστικών υλικών με προγραμματιζόμενα χαρακτηριστικά (αυτό-επισκευαζόμενα, με αισθητήρες, κ.τ.λ)
- Υβριδικών οργανικών-ανόργανων υλικών, που συνδυάζουν τις συγκεκριμένες ιδιότητες κάθε συνιστώσας, με αποτέλεσμα νέα, ή ανώτερη συμπεριφορά.

Η κατασκευαστική βιομηχανία αναπόφευκτα θα ωφεληθεί από την νανοτεχνολογία στην πραγματικότητα ήδη έχουμε πολύ ενθαρρυντικές εξελίξεις στους τομείς του σκυροδέματος, του χάλυβα και του γυαλιού. Το σκυρόδεμα γίνεται ισχυρότερο, πιο ανθεκτικό και διαστρώνεται ευκολότερα, ο χάλυβας σκληρότερος και το γυαλί αυτοκαθαρίζεται.

Πολλές όμως από τις προοπτικές της νανοτεχνολογίας στον κατασκευαστικό τομέα περιορίζονται από το κόστος και το σχετικά μικρό μέχρι τώρα αριθμό πρακτικών εφαρμογών. Πολλές από τις εφαρμογές αυτές βρίσκονται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο, βέβαια με πολύ ενθαρρυντικά ως τώρα αποτελέσματα, και άλλες έχουν κόστος απαγορευτικό για την μαζική παραγωγή και διάθεση τους.

Και αυτό γιατί η κατασκευή τείνει να είναι ένας συντηρητικός κλάδος, προσανατολισμένος σε χαμηλή ερευνητική δραστηριότητα, πράγμα που βαραίνει εναντίον της υιοθέτησης νέων τεχνολογιών, ειδικά αυτών που φαντάζουν απομακρυσμένες από τον πυρήνα της κατασκευαστικής βιομηχανίας. Τα υλικά όμως, είναι ο πυρήνας της κατασκευαστικής βιομηχανίας και οι προοπτικές για καινοτομίες στο όχι και τόσο μακρινό μέλλον είναι πολύ σημαντικές, ακόμα και ζωτικής σημασίας για την κατασκευαστική βιομηχανία. Ερευνητές που ερωτήθηκαν, προέβλεψαν ότι μεγάλη πρόοδος θα σημειωθεί ακόμα και μέσα στα επόμενα 5 χρόνια. Το μέγεθος και η έκταση της κατασκευαστικής βιομηχανίας προμηνύει ότι και το συνεπακόλουθο οικονομικό αντίκτυπο θα είναι τεράστιο.

Παρόλα αυτά, το σκυρόδεμα έχει διαφοροποιηθεί πολύ λίγο από την πρώτη του χρήση στην τρέχουσα μορφή του στην αρχή του 20ου αιώνα. Καθώς το προϊόν αντιμετωπίζει όλο και υψηλότερες απαιτήσεις απόδοσης, η κατασκευαστική βιομηχανία αναζητά τρόπους ανανέωσης του υλικού και βελτίωσης των "επιδόσεών" του.

Παρακάτω αναφέρονται μερικές από τις πιο υποσχόμενες εφαρμογές της Νανοτεχνολογίας σε σχέση με το σκυρόδεμα, που είναι σήμερα γνωστές. Πρέπει όμως να σημειωθεί, ότι οι περισσότερες εφαρμογές δεν έχουν ακόμα τελειοποιηθεί (η πλειονότητά τους και κυρίως οι πιο πολλά υποσχόμενες βρίσκονται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο ή δεν εφαρμόζονται ευρέως λόγω του απαγορευτικού τους κόστους).

Τα κυριότερα νανοσωματίδια που χρησιμοποιούνται σαν πρόσθετα στο κοινό σκυρόδεμα με θεαματικές επιδράσεις στις μηχανικές του ιδιότητες είναι τα εξής:

- Πυριτία SiO_2
- Διοξείδιο του Τιτανίου TiO_2
- Νανοσωλήνες άνθρακα
- Έξυπνα αδρανή
- Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα
- Ενίσχυση με ίνες

Συγκεκριμένα τώρα ένας τύπος νανοσωματιδίου, που έχει αξιοσημείωτες ιδιότητες, είναι ο νανοσωλήνας άνθρακα (CNT). Οι ευεργετικές επιδράσεις της προσθήκης νανοσωλήνων άνθρακα στο σκυρόδεμα αποτελούν θέμα εντατικής ερευνητικής δραστηριότητας, και τα πρώτα απολέσματα είναι πολύ ενθαρρυντικά.

Οι CNT's είναι μια μορφή άνθρακα που ανακαλύφθηκε αρχικά το 1952 στη Ρωσία και, κυρίως αγνοήθηκε, επανήλθε όμως στο προσκήνιο τη δεκαετία του 90 στην Ιαπωνία. Έχουν κυλινδρικό σχήμα και διάμετρο νανομέτρων (λόγω της διαμέτρου τους ονομάζονται και νανοσωλήνες). Μπορεί να έχουν μήκος αρκετών νανομέτρων και ένα ή περισσότερα από ένα τοιχώματα. Οι αξιοσημείωτες ιδιότητές τους (πενταπλάσιο μέτρο του Young και οκταπλάσια αντοχή από το χάλυβα, ενώ έχουν το 1/6 της πυκνότητάς του) έχουν γίνει η αιτία για έντονη ερευνητική δραστηριότητα σε όλο τον κόσμο για την διερεύνηση πιθανών εφαρμογών τους.



Η προσθήκη μικρής ποσότητας CNT's μπορεί να βελτιώσει τις μηχανικές ιδιότητες δειγμάτων που περιέχουν κύρια φάση τσιμέντου Portland και νερό. Οξειδωμένοι πολυτοιχωματικοί νανοσωλήνες (MWNT's) δείχνουν τη μεγαλύτερη βελτίωση και στην θλιπτική (+25 N/mm²) αλλά και στην εφελκυστική αντοχή (+8 N/mm²), σε σύγκριση με τα μη ενισχυμένα δείγματα αναφοράς.

Ωστόσο, με την προσθήκη νανοσωλήνων άνθρακα σε οποιοδήποτε υλικό προκύπτουν δύο προβλήματα: η συσσωμάτωση των νανοσωλήνων και η έλλειψη συνάφειας μεταξύ αυτών και του περιέχοντος μακροϋλικού. Λόγω της αλληλεπίδρασης μεταξύ των φύλλων γραφενίου των νανοσωλήνων, οι σωλήνες τείνουν να συναθροίζονται και να σχηματίζουν δέσμες ή «σχοινιά» τα οποία μπορεί ακόμα και να περιπλέκονται μεταξύ τους. Για να επιτευχθεί ομοιόμορφη διασπορά πρέπει να απεμπλακούν.

Επίσης, λόγω της γραφίτοειδούς φύσης τους, δεν υπάρχει κατάλληλη σύμφυση μεταξύ του νανοσωλήνα και του περιέχοντος μακροϋλικού, πράγμα που προκαλεί την επονομαζόμενη ολίσθηση. Απαιτείται δηλαδή επιπρόσθετη έρευνα για να καθοριστούν οι βέλτιστες τιμές των νανοσωλήνων άνθρακα και των παραγόντων διασποράς για το σχεδιασμό μίξης.

Το κόστος της προσθήκης CNT's στο σκυρόδεμα μπορεί να είναι απαγορευτικό προς το παρόν, όμως γίνεται προσπάθεια μείωσης της τιμής τους (που μπορεί να φτάνει και τα 1000€/gr αναλόγως με την ποιότητα) και, όταν αυτή η μείωση επιτευχθεί τότε τα οφέλη από την προσθήκη τους στο σκυρόδεμα θα αξιοποιηθούν αποτελεσματικότερα.^{xxviii}

- ¹ Δομική Μηχανική ΙΙΙ – Οπλισμένο Σκυρόδεμα, 2013, Χ. Ζέρης, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ
- ² Αδρανή υλικά στο σκυρόδεμα – Ν. Λπίνας, Πολ. Μηχ/κος ΕΜΠ, Υπεύθυνος Διαχείρισης Ποιότητας Τομέα Ελλάδος, TITAN A.E., <http://www.skyrodemanet.gr>
- ³ Εγχειρίδιο Τεχνολογίας Σκυροδέματος Sika
- ⁴ Μελέτη Σύνθεσης Σκυροδέματος - Π. Μιχάλης, Σ. Δημητρίου, Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης
- ⁵ Αξιοποίηση του βιομηχανικού παραπροϊόντος (CBPD) στην παραγωγική διαδικασία δομικών στοιχείων – σύνθεση, μηχανικές ιδιότητες και ανθεκτικότητα – Μ. Κοκκίνη, Σχολή Πολιτικών Μηχ/κών, Ε.Μ.Π.
- ⁶ Χρήση νέων υλικών για την αύξηση της ανθεκτικότητας των κατασκευών - Γ. Μπατής, Καθηγητής ΕΜΠ, Εισήγηση στην ημερίδα του ΤΕΕ «Ενίσχυση κτιρίων με σύγχρονα υλικά» 6 Νοεμβρίου 2007
- ⁷ Υλικά- Διάβρωση και Προστασία - Υφαντής Δ. (1995), Σημειώσεις ΕΜΠ.
- ⁸ Ανθεκτικότητα οργανικών επικαλύψεων που περιέχουν αναστολές διάβρωσης – Ε. Ντάφλου, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.
- ⁹ Corrosion Engineering: Principles and Practice - Pierre R Roberge McGraw-Hill Prof Med Tech 2008, ISBN-10-0071482431; ISBN-13-978-0071482431
- ¹⁰ <http://corrosion-doctors.org/Corrosion-Thermodynamics/Free-energy.htm>
- ¹¹ Βλ. [10] Ανθεκτικότητα οργανικών επικαλύψεων
- ¹² Frank Newman Speller - Corrosion, Causes and Prevention - an engineering problem, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1926
- ¹³ Φθορά και προστασία οπλισμένου σκυροδέματος - Γεώργιος Μπατής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
- ¹⁴ <http://www.concrete-experts.com> - Copyright © Concrete Experts International
- ¹⁵ Concrete Carbonation – A Guide to the Different Types, S. Monkman, <http://carboncure.com/2012/06/concrete-carbonation/>
- ¹⁶ Floors and Flooring - PYE, PW and HARRISON, HW, BRE, 2003
- ¹⁷ Χρήση νέων υλικών για την αύξηση της ανθεκτικότητας των κατασκευών, Γ. Μπατής, Εισήγηση στην ημερίδα ΤΕΕ «Ενίσχυση κτιρίων με σύγχρονα υλικά».
- ¹⁸ Η διάβρωση του χάλυβα στο σκυρόδεμα – πρόληψη – έλεγχοι και επεμβάσεις σε υφιστάμενες κατασκευές - τρωτότητα ενισχύσεων – Ν. Τσώνη, 16^ο Φοιτητικό συνέδριο Επισκευές Κατασκευών» Πάτρα, 2010
- ¹⁹ Corrosive Effects of Chlorides on Metals, Fong-Yuan Ma, Department of Marine Engineering, NTOU, Republic of China (Taiwan)
- ²⁰ Chloride Induced Corrosion of Reinforcement Steel in Concrete - Threshold Values and Ion Distributions at the Concrete - Steel Interface, NELSON SILVA, ISBN 978-91-7385-808-3, ©NELSON SILVA, 2013
- ²¹ Emerging Corrosion Control Technologies for Repair and Rehabilitation of Concrete Structures - Dr. Jianhai Qiu, School of Materials Engineering, Nanyang Technological University
- ²² Διερεύνηση της ανθεκτικότητας των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα και της επακόλουθης υποβάθμισης λόγω διάβρωσης οπλισμού από τη δράση χλωριόντων, Χ. Αποστολόπουλος, Ευ. Παπαδάκης, Σ. Δέμης, 16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-23/10/2009, Πάφος, Κύπρος
- ²³ Corrosion of Steel Reinforcements in Concrete, Neerav Verma (Y3193), Department of Materials and Metallurgical Eng. Indian Institute Of Technology
- ²⁴ Διαπερατότητα χλωριόντων στο σκυρόδεμα – Ελληνικοί τύποι τσιμέντου και ταχεία μέθοδος εκτίμησης αυτής – Α.Σ. Μαρίνος, Β.Ε. Καλοϊδής, Θ.Ε. Ματίκας, Εισήγηση στο 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 2008
- ²⁵ Βλ. [5] Αξιοποίηση του βιομηχανικού παραπροϊόντος (CBPD)...
- ²⁶ Corrosion of Steel in Concrete -- Broomfield JP. London, U.K.: E & FN Spon, 1997
- ²⁷ Διάβρωση και Προστασία (Σημειώσεις μαθήματος «Φθορά και προστασία υλικών» Σχολής Χημικών Μηχ/κών, ΕΜΠ) – Ν. Κουλουμπή, Αθήνα 2010
- ²⁸ Corrosion inhibitors for steel in concrete – an update on the ongoing discussion - Bernhard Elsener, ETH Zürich, Institut für Baustoffe, Zürich / CH, ISBN 978-3-935406-45-1
- ²⁹ Βιβλίο Κουλουμπή
- ³⁰ Αναστολές Διάβρωσης: Ένα αποτελεσματικό όπλο κατά της διάβρωσης, Θεολόγος Παναγιωτίδης, Πολιτικός Μηχανικός, άρθρο στο <http://e-archimedes.gr>
- ³¹ Ανθεκτικότητα Οπλισμένου Σκυροδέματος - Θ. Π. Τάσιος, Κ. Αλιγζάκη, Αθήνα 1993
- ³² Ενισχύσεις / επισκευές κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα - Σ. Η. Δρίτσος, Πάτρα 2005
- ³³ Reflections on corrosion control by organic coatings - Progress in Organic Coatings. - Bierwagen G.P 1996.
- Formulation and Characterization of Anticorrosive Paints / Pigment and Resin Technology - P. Molera, X.Oller, M. Del Valle, F. Gorzalez, 2004
- ³⁴ Διάβρωση οπλισμού τσιμεντοκονιάματος με οργανικές επικαλύψεις σε εναλλασσόμενο διαβρωτικό περιβάλλον (Μεταπτυχιακή εργασία) – Όλγα Ντήλια, Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π., 2013
- ³⁵ https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CF%83%CF%89%CE%B8%CE%AE%CE%BD%CE%B1%CF%82_%CE%AC%CE%BD%CE%B8%CF%81%CE%B1%CE%BA%CE%B1

^{***1}https://el.wikipedia.org/wiki/%C9%9D%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CF%83%CF%89%CE%BF%CE%AE%CE%BD%CE%B1%CF%82_%CE%A%CE%BD%CE%B8%CF%81%CE%B1%CE%BA%CE%B1

^{***2} Δυνατότητες εφαρμογών της νανοτεχνολογίας στις κατασκευές περιβαλλοντικά οφέλη-επιπτώσεις (Μεταπτυχιακή εργασία)-Μαργαρούδη Αικατερίνη,τμήμα μηχανικών περιβάλλοντος, πολυτεχνείο Κρήτης

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί αναλυτικά το πειραματικό μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η αναλυτική δηλαδή παρουσίαση της κατασκευής, ο τρόπος έκθεσης των δοκιμίων στο διαβρωτικό περιβάλλον, οι μετρήσεις για την παρακολούθηση της διάβρωσης του οπλισμού και τα μέχρι τώρα συμπεράσματα.

2.1 Σκοπός

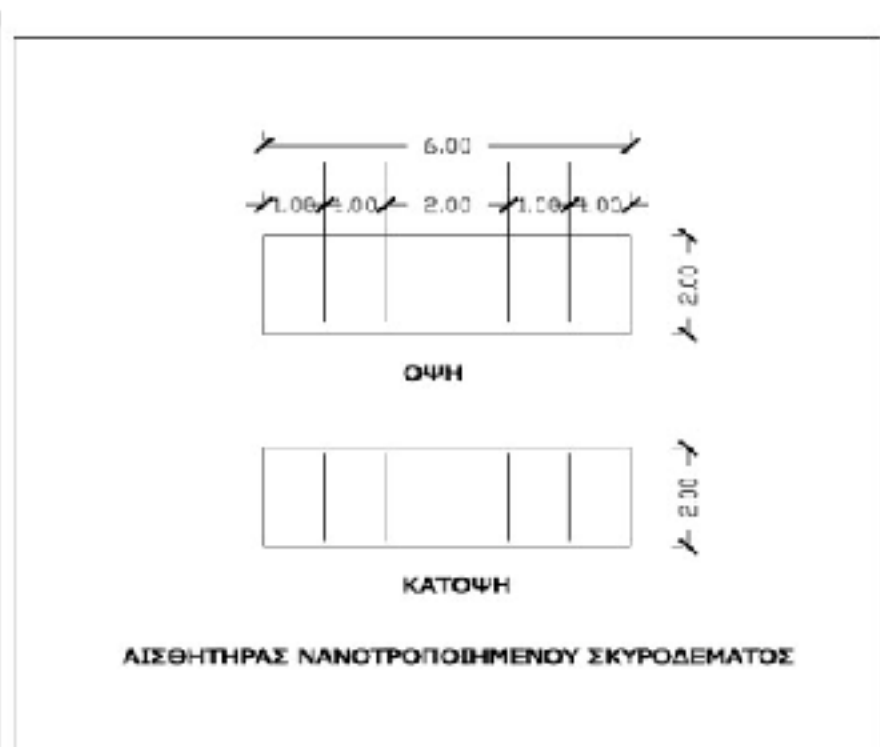
Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έχει ως απότερω στόχο την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για την διάβρωση του οπλισμού μιας συγκεκριμένης κατασκευής με την χρήση νανοσωλήνων σε διαβρωτικό περιβάλλον. Αναλυτικότερα, μέσω της μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης για συγκεκριμένες αποστάσεις και των τιμών αυτής επιδιώκεται η εξαγωγή συμπερασμάτων για την ύπαρξη ρωγμών λόγω διάβρωσης του οπλισμού. Από εργασίες που είχαν γίνει, από την ερευνητική ομάδα τις κ. Γδούτου και των συνεργατών της, έχει προκύψει ότι το νανοπλισμένο σκυρόδεμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση των μηχανικών τάσεων στο σκυρόδεμα. Στην παρούσα εργασία γίνεται μια πρώτη αντιμετώπιση του θέματος εάν το νανοπλισμένο σκυρόδεμα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την διαπίστωση ρωγμών που προέρχονται από την διάβρωση του οπλισμού και κατά συνέπεια την διογκωσή του.

2.2 Υλικά

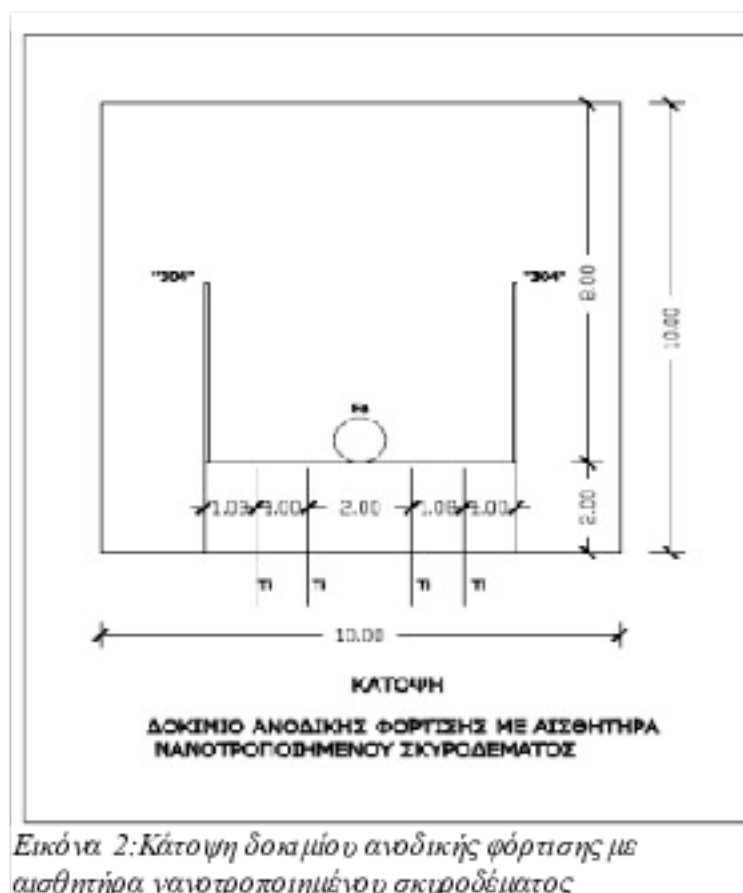
Τα δοκίμια κατασκευάστηκαν στο εργαστήριο της κας Γδούτου στο ΔΠΘ. Η αναλογία νερού /τσιμέντου /άμμου ήταν 0,5 / 1 / 3. Κατασκευάστηκαν οι ακόλουθες κατηγορίες δοκιμίων:

- Δοκίμια με CNTs 0,1 %
- Δοκίμια με CNTs 0,3 %
- Δοκίμια με CNTs 0,5 %

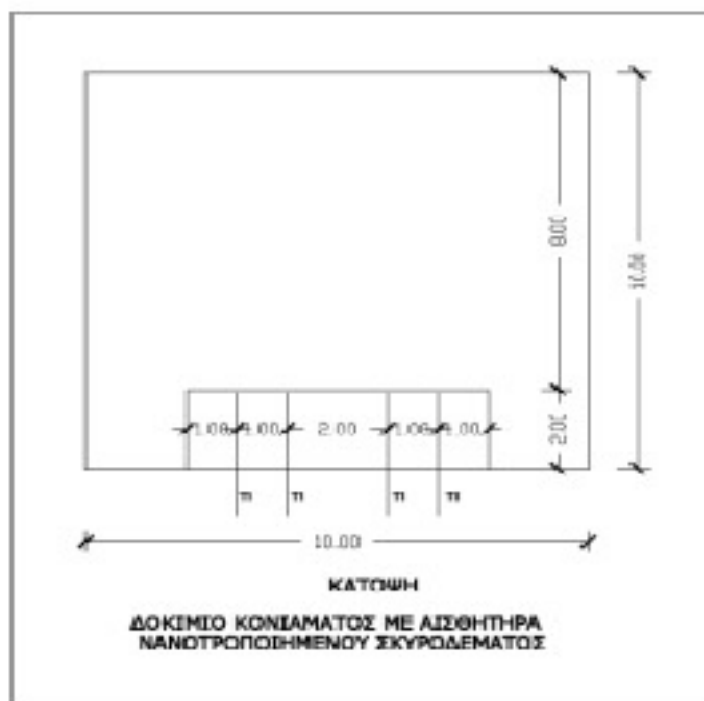
Στα δοκίμια CNTs ένα μέρος νερού αντικαταστάθηκε από κατάλληλο διάλυμα CNTs. Κάθε κατηγορία δοκιμίων είχε 2 δοκίμια. Τα δοκίμια αυτά είχαν τα ακόλουθα σχήματα:



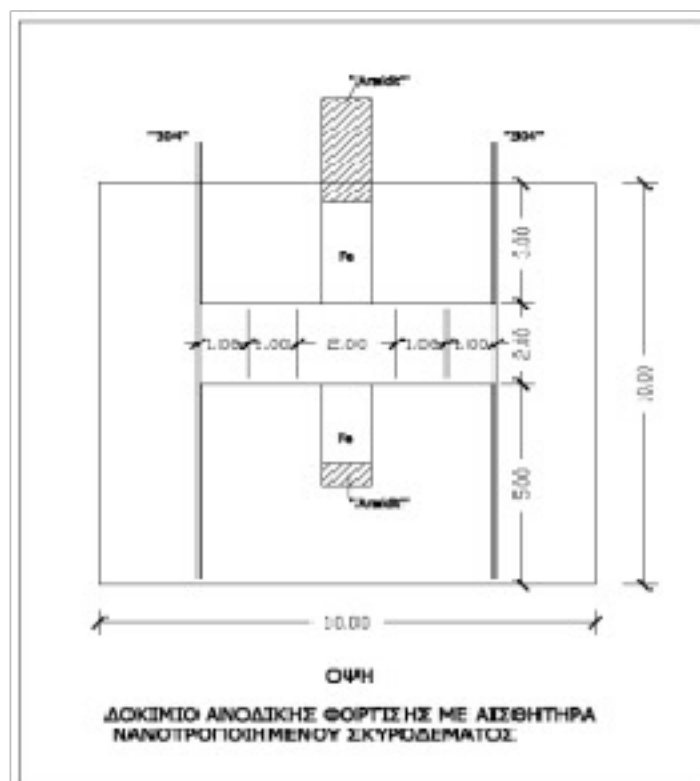
Εικόνα 1: Όψη, κάτοψη αισθητήρα νανοτροποποιημένου σκυροδέματος



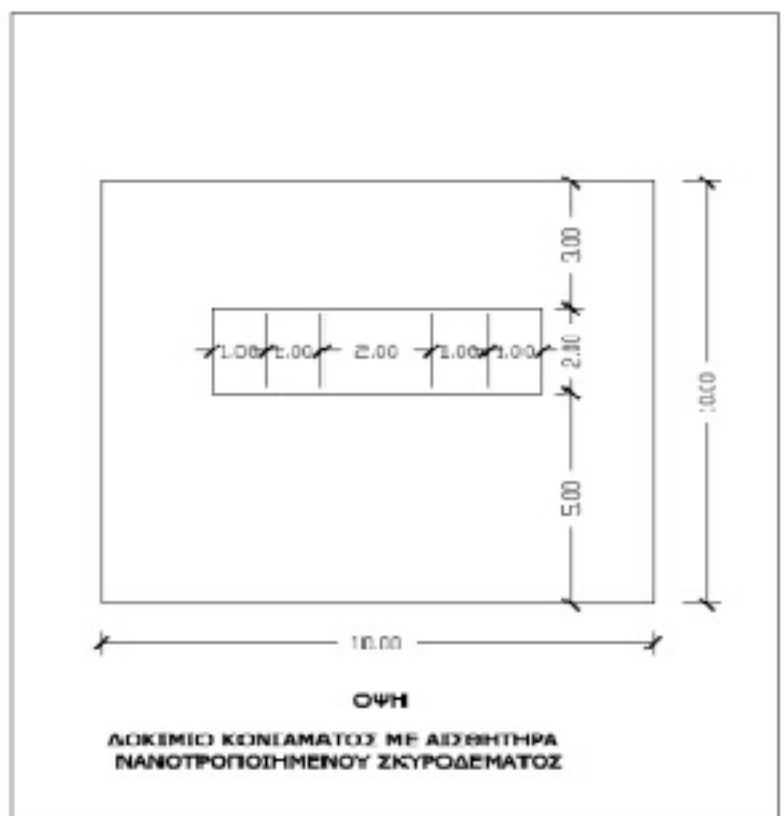
Εικόνα 2: Κάτοψη δοκιμίου ανοδικής φόρτισης με αισθητήρα νανοτροποποιημένου σκυροδέματος



Εικόνα 3: Κάτωψη δοκιμίου ανοδικής φόρτισης με αισθητήρα νανοτροποιημένου σκυροδέματος



Εικόνα 4: Οψη δοκιμίου ανοδικής φόρτισης με αισθητήρα νανοτροποιημένου σκυροδέματος



Εικόνα 5: Οψη δοκιμίου ανοδικής φόρτισης με αισθητήρα νανοτροποποιημένου σκυροδέματος

2.3 Μέθοδοι

Η παρακολούθηση της ηλεκτρικής αντίστασης των αισθητήρων πραγματοποιήθηκε με FLUKE Ground meter.

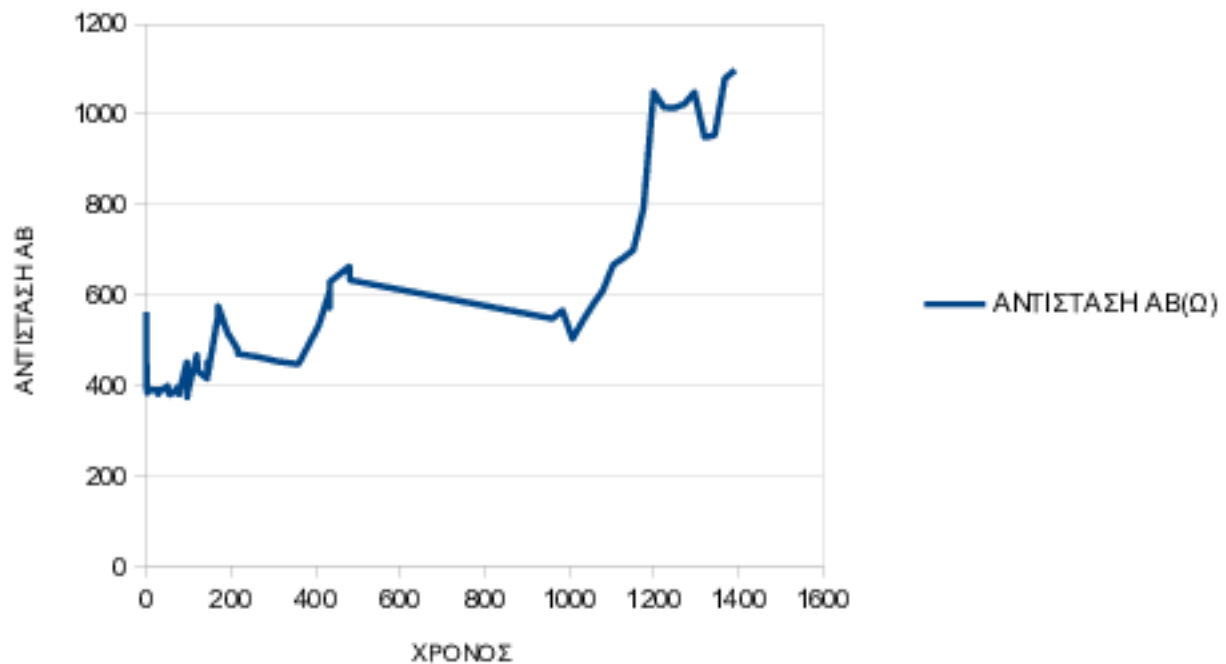
Η αρχή βάση της οποίας μετράει αυτό το όργανο είναι η μέθοδος wienner ή των τεσσάρων σημείων.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ειδικά διαμορφωμένο εργαστήριο στη σχολή Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η ημερομηνία εκκίνησης της πειραματικής διαδικασίας υπήρξε η 25/08/2014 ενώ η διαδικασία έλαβε τέλος την ημερομηνία 05/02/2015 όπου πραγματοποιήθηκε και η τελευταία μέτρηση. Η συλλογή των μετρήσεων έγινε σχεδόν καθημερινά, κάθε 1h και το σύνολο τους καθημερινά ήταν 3 μετρήσεις.

2.4 Μετρήσεις

- Για 0.1% νανοσωλήνες κατά βάρους τσιμέντου. Περιβάλλον 3.5% NaCl

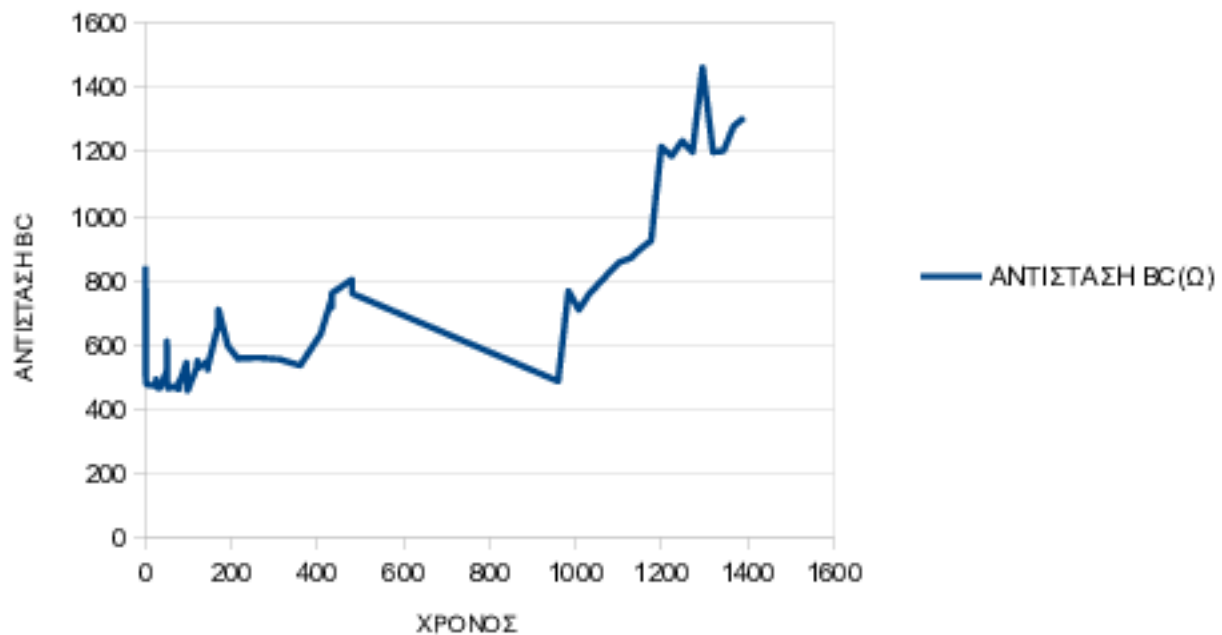
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1



Εικόνα 1: Μετρήσεις αντίστασης ΑΒ συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% CNTs σε περιβάλλον NaCl 3.5%

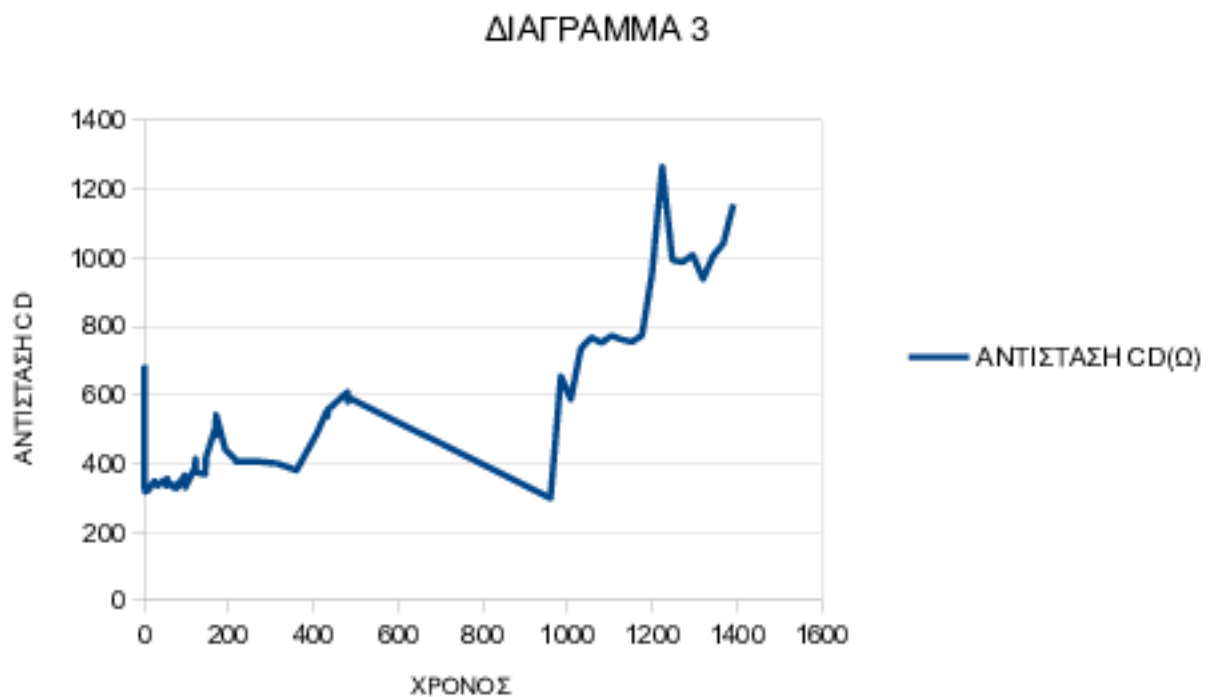
Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης ΑΒ συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον NaCl 3.5%. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-500h παρατηρούμε αυξομειώσεις της αντίστασης ενώ το χρονικό διάστημα 500h-1000h παρατηρούμε μια πιο ομαλή μείωση των τιμών ενώ αντίθετα στο χρονικό διάστημα μετά των 1000h παρατηρούμε μια απότομη αύξηση της αντίστασης.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2



Εικόνα 2: Μετρήσεις αντίστασης BC συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% CNTs σε περιβάλλον NaCl 3.5%

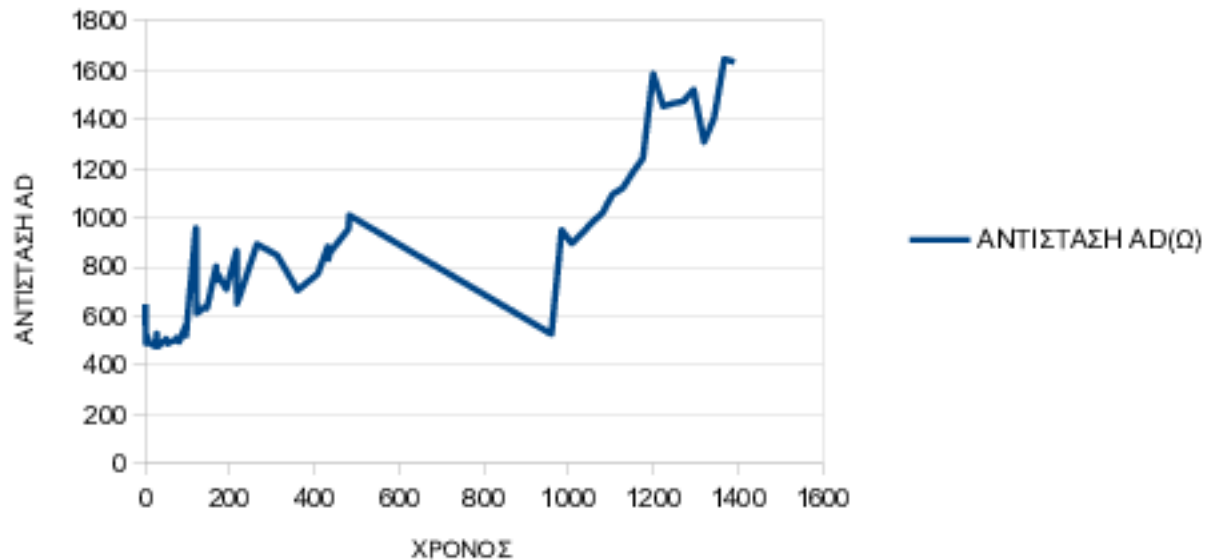
Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης BC συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον NaCl 3.5%. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-500h παρατηρούμε αυξομειώσεις της αντίστασης ενώ το χρονικό διάστημα 500h-1000h παρατηρούμε μια πιο ομαλή μείωση των τιμών μεγαλύτερη μείωση όμως σε σχέση με το αντίστοιχο χρονικό διάστημα της απόστασης AB. Αντίθετα στο χρονικό διάστημα μετά των 1000h παρατηρούμε μια απότομη αύξηση της αντίστασης που φτάνει ακόμα και στην τιμή των 1400(Ω).



Εικόνα 3: Μετρήσεις αντίστασης CD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% CNTs σε περιβάλλον NaCl 3.5%

Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης CD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον NaCl 3.5%. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-500h παρατηρούμε αυξομειώσεις της αντίστασης ενώ το χρονικό διάστημα 500h-1000h παρατηρούμε πάλι μια πιο ομαλή μείωση των τιμών μεγαλύτερη μείωση όμως σε σχέση με το αντίστοιχο χρονικό διάστημα της απόστασης AB, BC. Αντίθετα στο χρονικό διάστημα μετά των 1000h παρατηρούμε μια απότομη αύξηση της αντίστασης που φτάνει την τιμή των 1200(Ω).

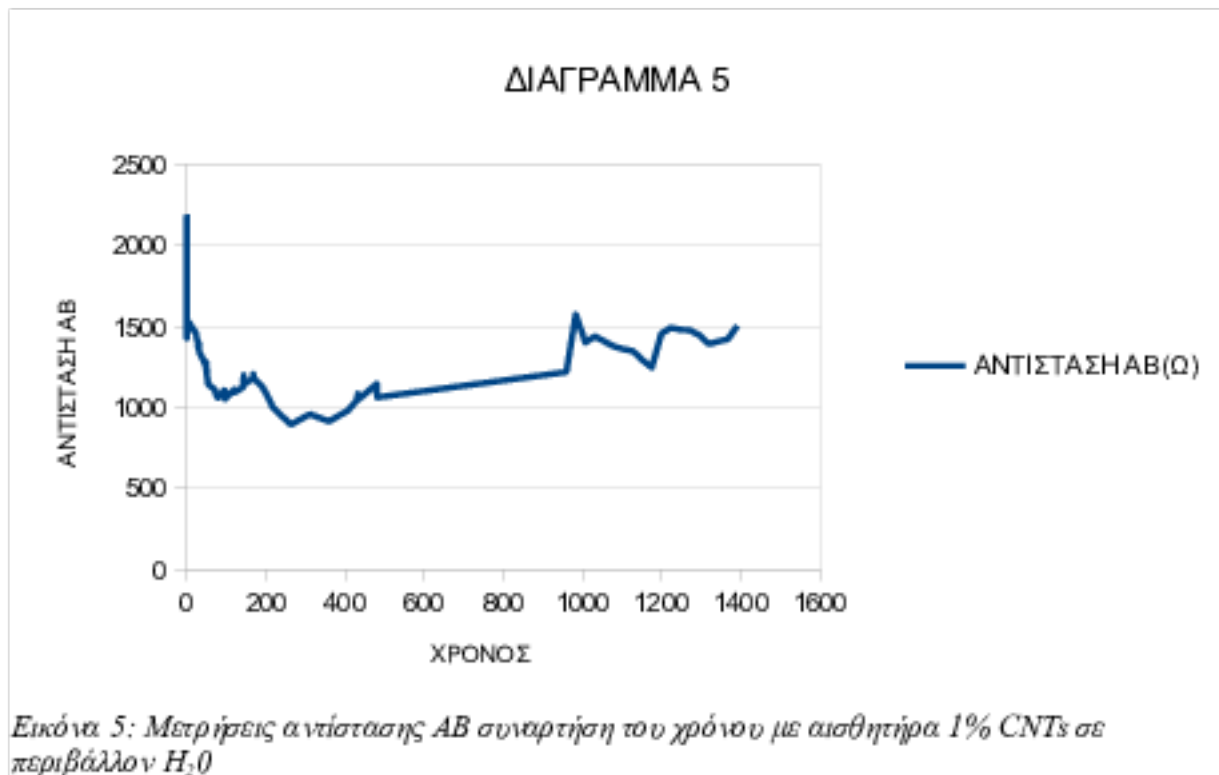
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4



Εικόνα 4: Μετρήσεις αντίστασης AD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% CNTs σε περιβάλλον NaCl 3.5%

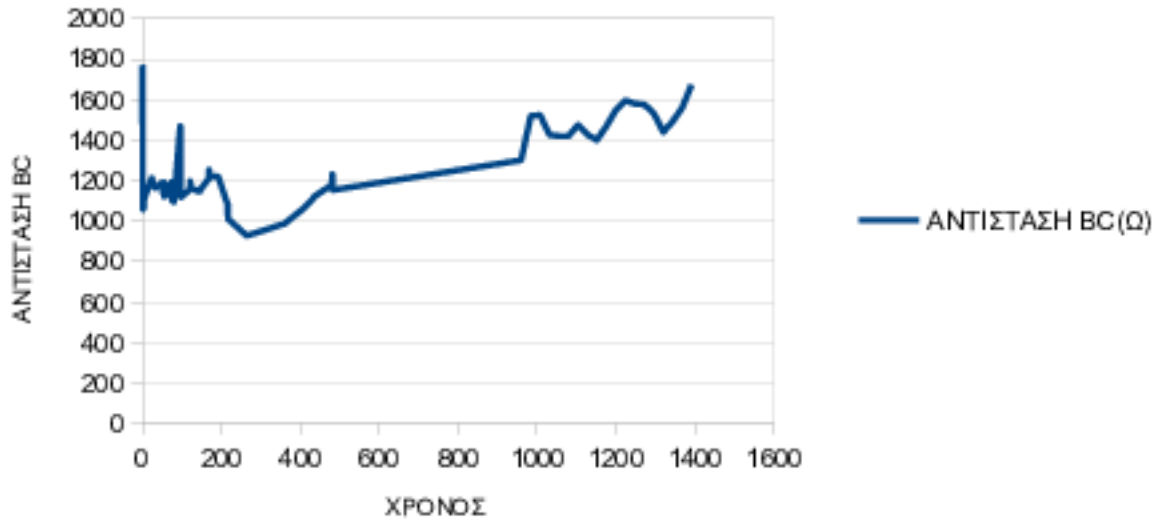
Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης AD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον NaCl 3.5%. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-500h παρατηρούμε αυξομειώσεις της αντίστασης, ενώ το χρονικό διάστημα 500h-1000h παρατηρούμε μια πιο ομαλή μείωση των τιμών μεγαλύτερη μείωση όμως σε σχέση με το αντίστοιχο χρονικό διάστημα της απόστασης AB, BC. Αντίθετα στο χρονικό διάστημα μετά των 1000h παρατηρούμε μια απότομη αύξηση της αντίστασης που φτάνει την τιμή των 1600(Ω).

- Για 0.1% νανοσωλήνες κατά βάρους τσιμέντου. Περιβάλλον H₂O



Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης AB συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον H₂O. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-500h παρατηρούμε μια μείωση της αντίστασης ενώ το χρονικό διάστημα 500h-1000h παρατηρούμε μια πιο ομαλή αύξηση. Αντίθετα στο χρονικό διάστημα μετά των 1000h παρατηρούμε αυξομειώσεις της αντίστασης.

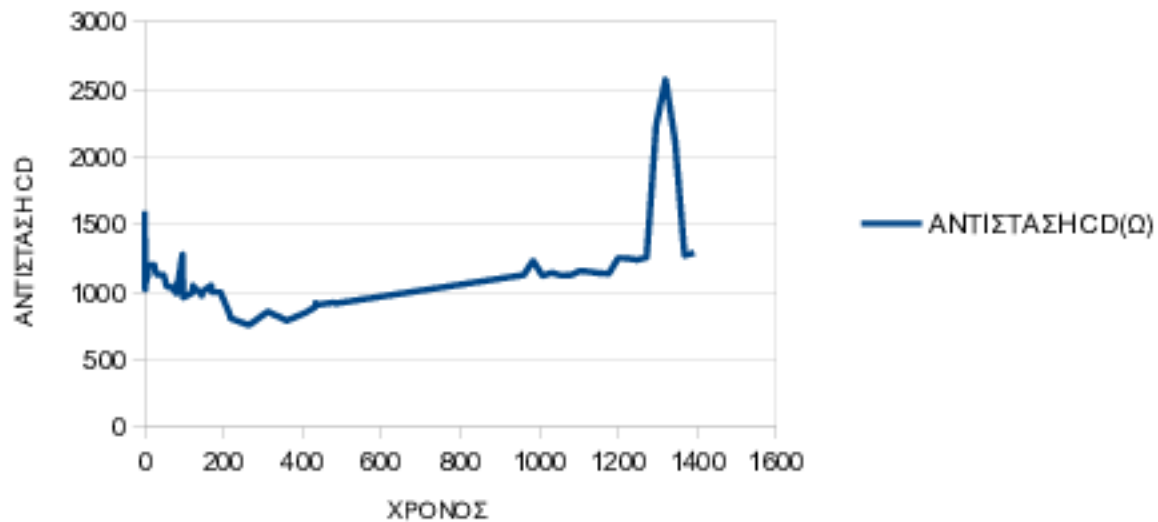
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6



Εικόνα 6: Μετρήσεις αντίστασης BC συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% CNTs σε περιβάλλον H₂O

Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης BC συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον H₂O. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-500h παρατηρούμε μια συνολική μείωση της αντίστασης μέσω έντονων αυξομειώσεων ενώ το χρονικό διάστημα 500h-1000h παρατηρούμε μια ομαλή αύξηση, όπως και στα προηγούμενα διάγραμμα. Αντίθετα στο χρονικό διάστημα μετά των 1000h παρατηρούμε αύξησης της αντίστασης που φτάνει την τιμή των 1600(Ω).

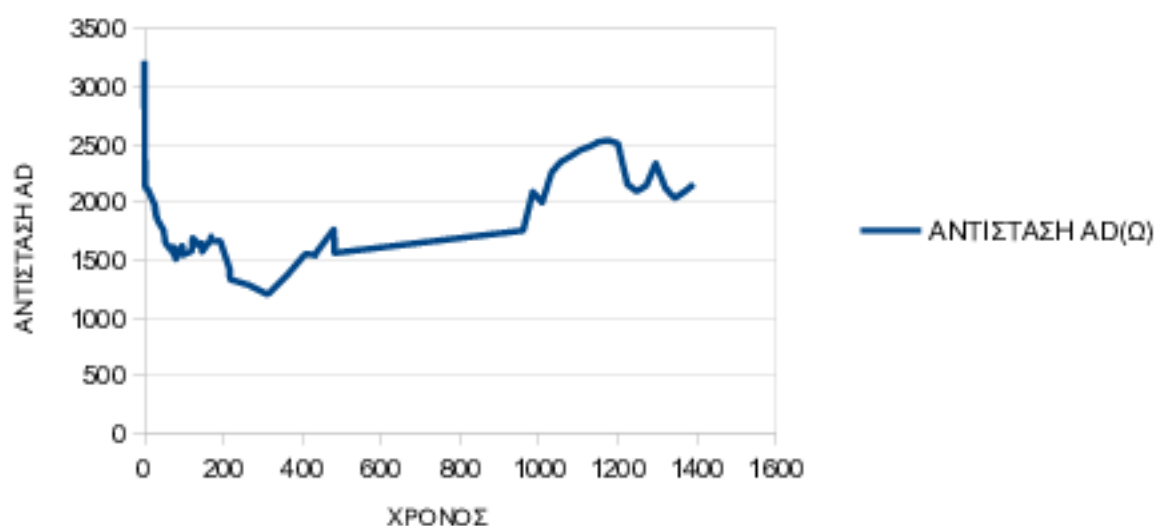
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7



Εικόνα 7: Μετρήσεις αντίστασης CD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% CNTs σε περιβάλλον H₂O

Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης CD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον H₂O. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-500h παρατηρούμε μια συνολική μείωση της αντίστασης μέσω έντονων αυξομειώσεων ενώ το χρονικό διάστημα 500h-1000h παρατηρούμε μια την πιο ήπια μορφή αύξησης. Αντίθετα στο χρονικό διάστημα μετά των 1000h παρατηρούμε μια απότομα μεγάλη αύξηση της αντίστασης που φτάνει την τιμή των 2500(Ω) και στη συνέχεια μια απότομη μείωση της αντίστασης που φτάνει την τιμή 1000(Ω).

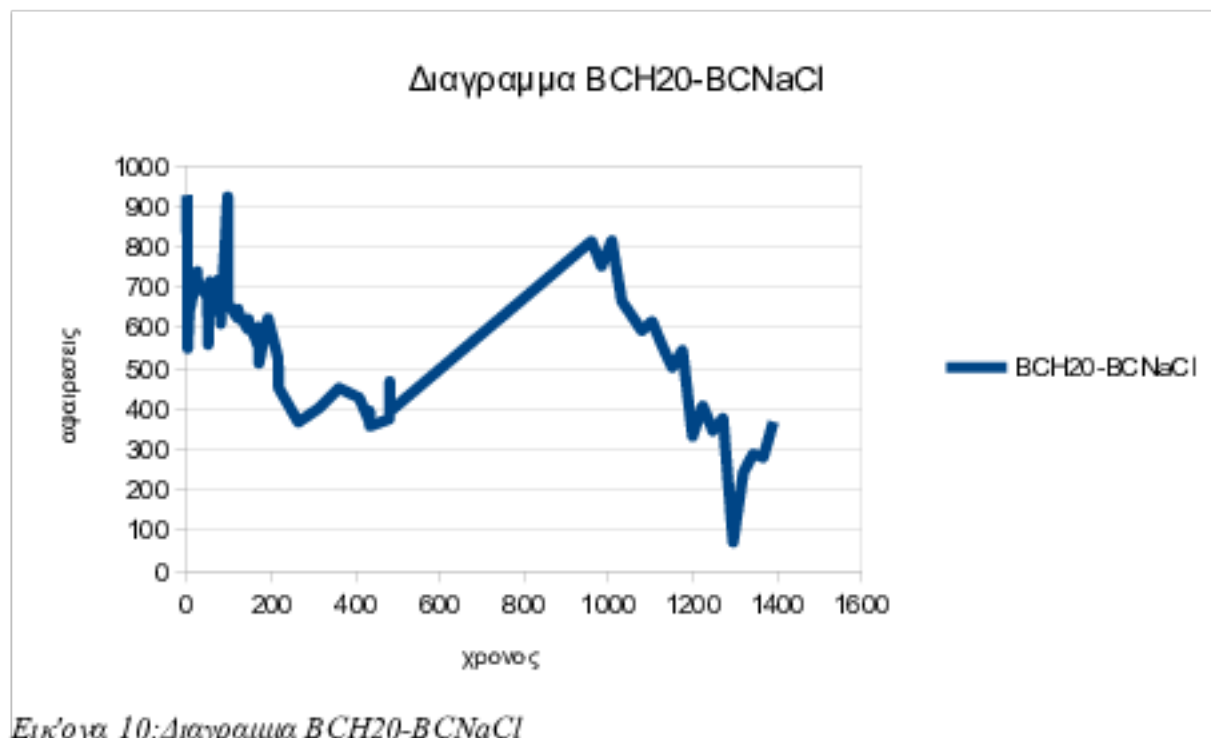
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8

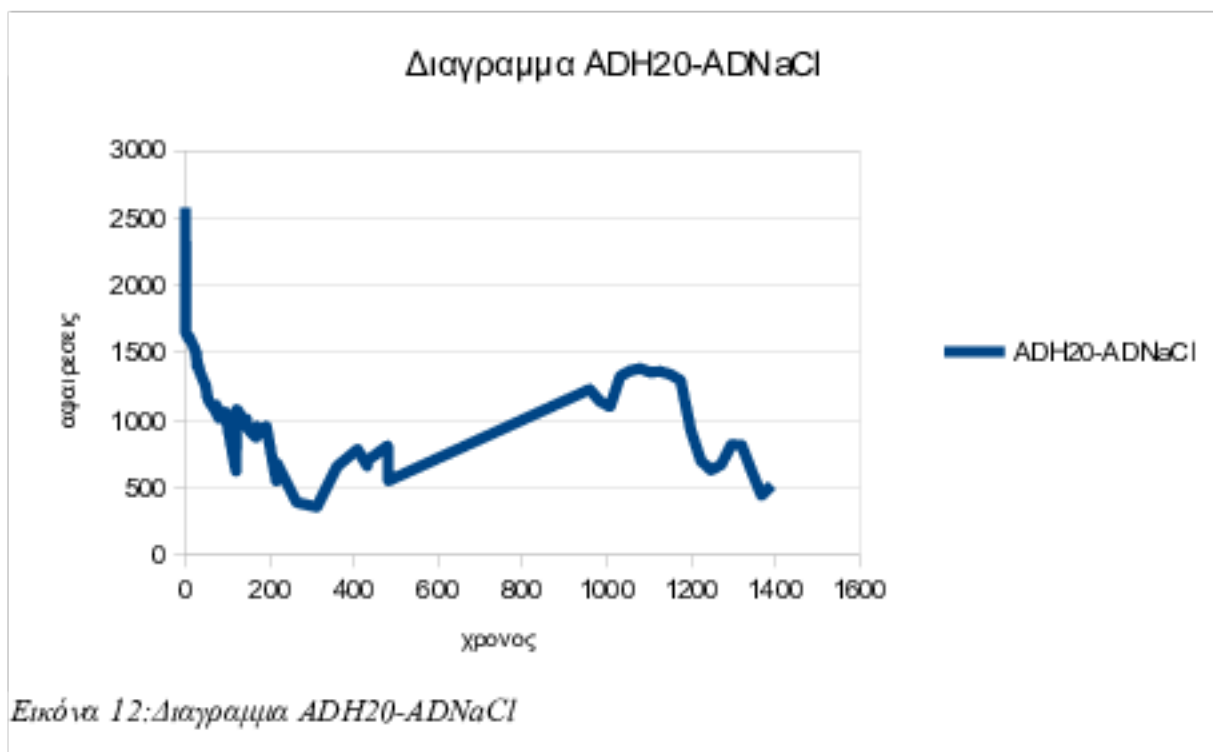
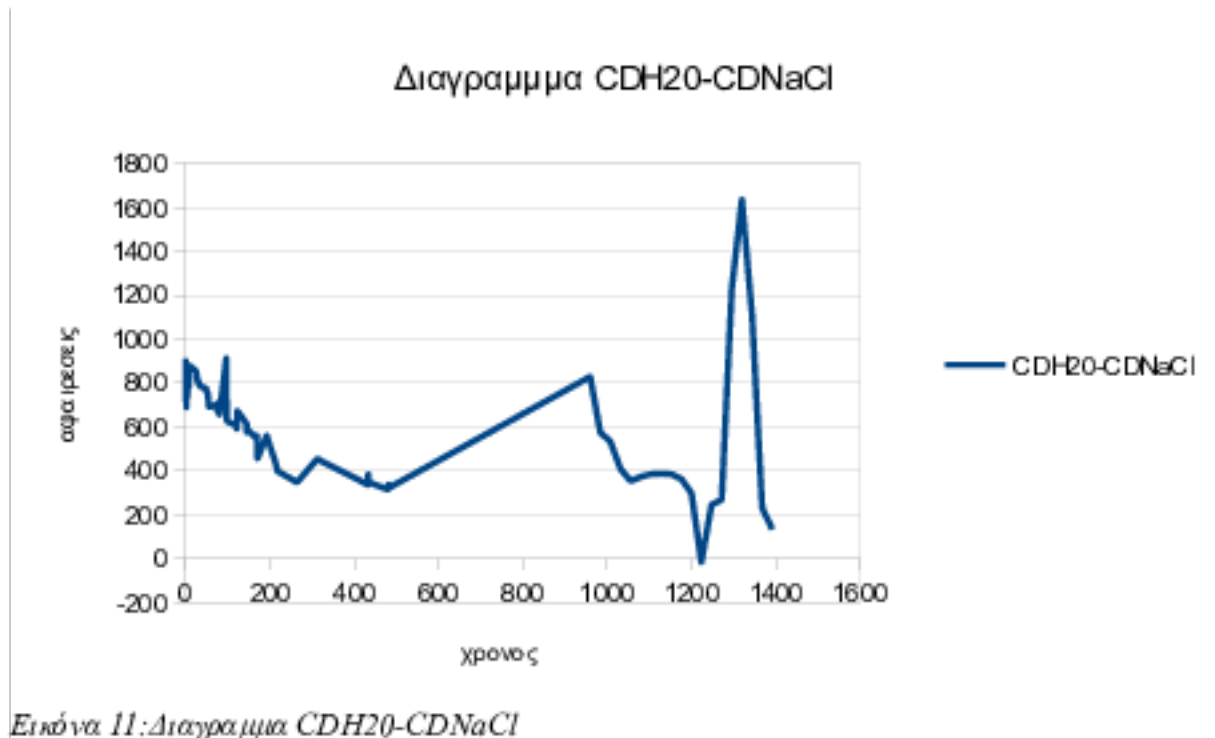


Εικόνα 8: Μετρήσεις αντίστασης AD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% CNTs σε περιβάλλον H₂O

Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης AD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον H₂O. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-500h παρατηρούμε μια συνολική μείωση της αντίστασης μέσω κάποιων αυξομειώσεων ενώ το χρονικό διάστημα 500h-1000h παρατηρούμε μια αύξηση. Αντίθετα στο χρονικό διάστημα μετά των 1000h παρατηρούμε μια αυξομείωση

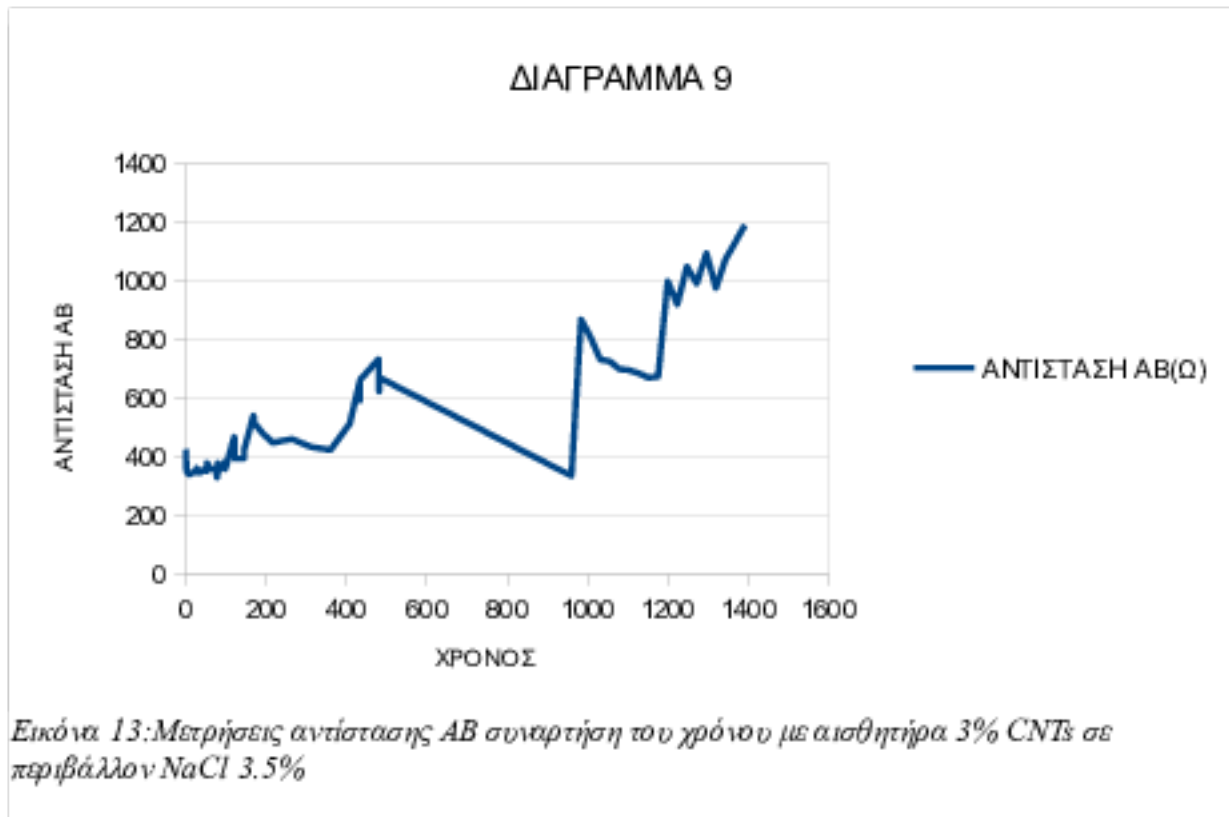
◦ αφαιρέσεις των αντιστάσεων H_2O και $NaCl$



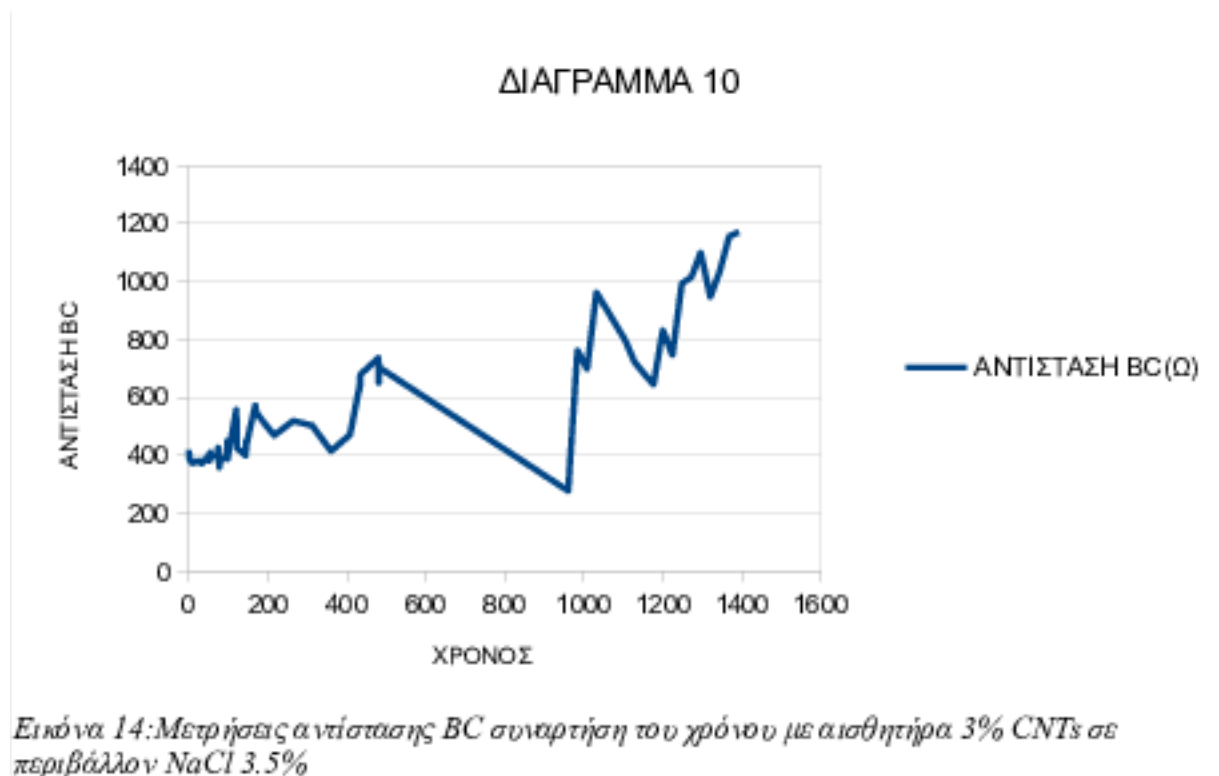


Γενικά όσο αναφορά τα παραπάνω διαγράμματα των αφαιρέσεων παρατηρούμε πώς ότι εμφανιζόταν στις μεταβολές των αντιστάσεων, εμφανίζεται και εδώ, αλλά οι μεταβολές είναι πιο χαρακτηριστικές.

- Για 0.3% νανοσωλήνες κατά βάρους τσιμέντου. Περιβάλλον 3.5% NaCl

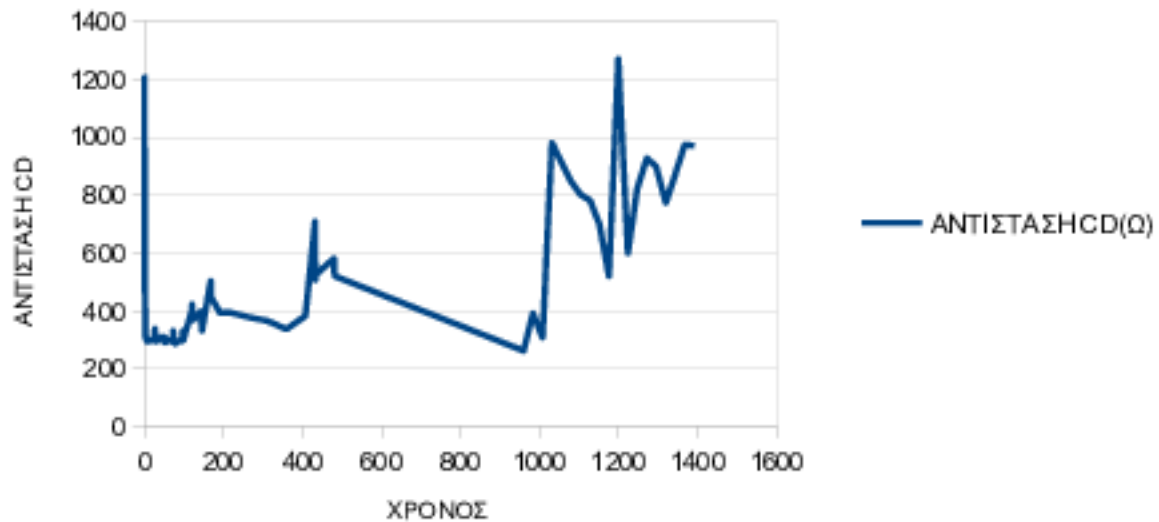


Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης ΑΒ συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 3% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον NaCl 3.5%. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-500h παρατηρούμε αυξομειώσεις της αντίστασης ενώ το χρονικό διάστημα 500h-1000h παρατηρούμε μια πιο ομαλή μείωση των τιμών ενώ αντίθετα στο χρονικό διάστημα μετά των 1000h παρατηρούμε μια απότομη αύξηση της αντίστασης.



Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης BC συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 3% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον NaCl 3.5%. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-500h παρατηρούμε αυξομειώσεις της αντίστασης ενώ το χρονικό διάστημα 500h-1000h παρατηρούμε μια πιο ομαλή μείωση των τιμών μεγαλύτερη μείωση όμως σε σχέση με το αντίστοιχο χρονικό διάστημα της απόστασης AB. Αντίθετα στο χρονικό διάστημα μετά των 1000h παρατηρούμε μια αύξηση της αντίστασης που φτάνει ακόμα και στην τιμή των 1200(Ω).

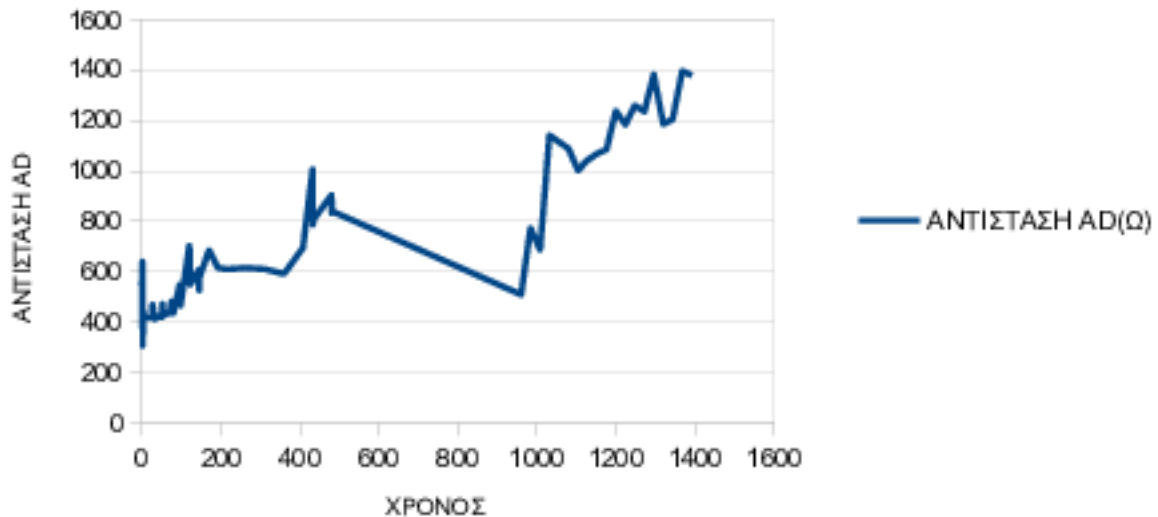
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11



Εικόνα 15: Μετρήσεις αντίστασης CD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 3% CNTs σε περιβάλλον NaCl 3.5%

Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης CD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 3% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον NaCl 3.5%. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-500h παρατηρούμε αυξομειώσεις της αντίστασης ενώ το χρονικό διάστημα 500h-1000h παρατηρούμε μια πιο ομαλή μείωση των τιμών . Αντίθετα στο χρονικό διάστημα μετά των 1000h παρατηρούμε μια μεγάλης κλίμακας αυξομειώσεις της αντίστασης και την τιμή ακόμα 1200(Ω).

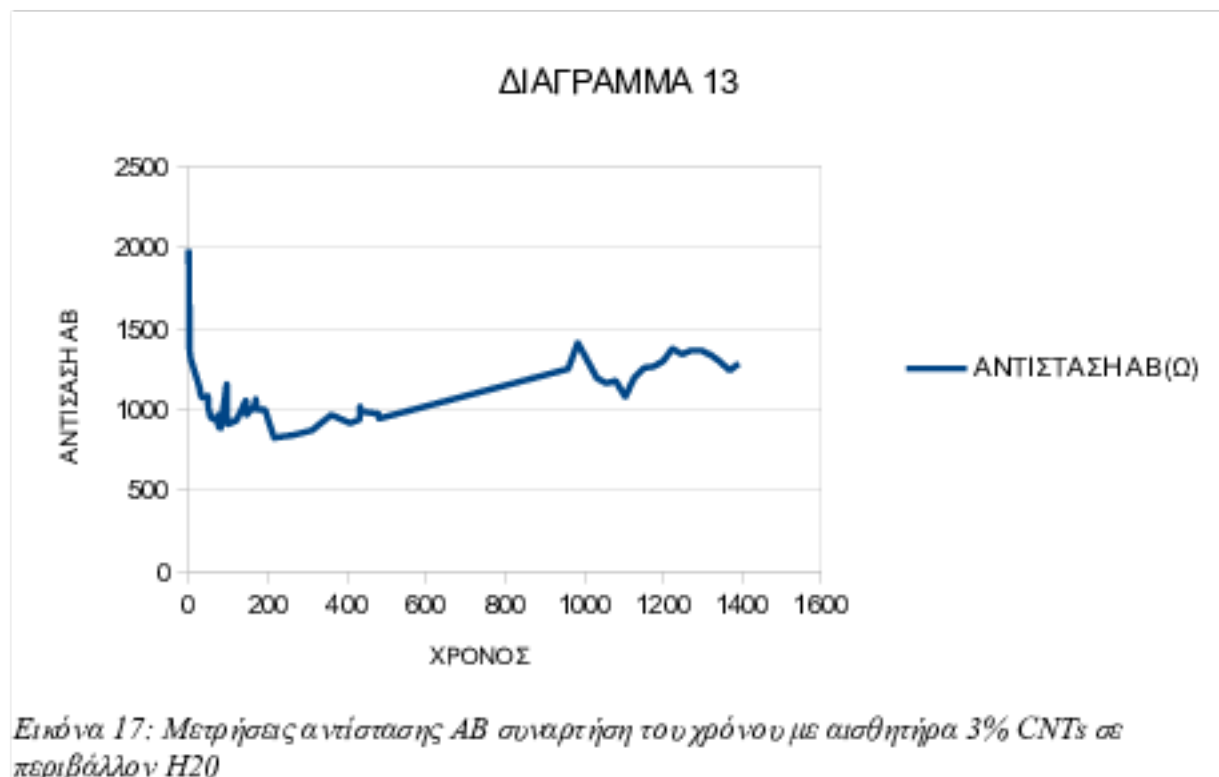
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12



Εικόνα 16: Μετρήσεις αντίστασης AD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 3% CNTs σε περιβάλλον NaCl 3.5%

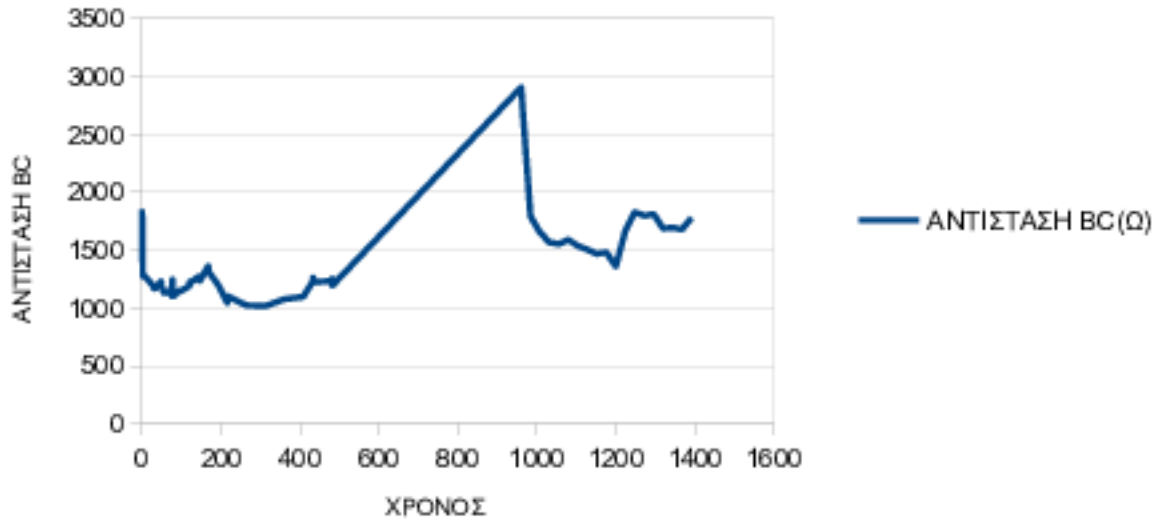
Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης AD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 3% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον NaCl 3.5%. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-500h παρατηρούμε αύξηση της αντίστασης ενώ το χρονικό διάστημα 500h-1000h παρατηρούμε μια πιο ομαλή μείωση των τιμών μεγαλύτερη μείωση. Αντίθετα στο χρονικό διάστημα μετά των 1000h παρατηρούμε μια απότομη αύξηση της αντίστασης που φτάνει την τιμή των 1400(Ω).

- Για 0.3% νανοσωλήνες κατά βάρους τσιμέντου. Περιβάλλον H₂O



Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης AB συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 3% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον H₂O. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-500h παρατηρούμε μια μείωση της αντίστασης ενώ το χρονικό διάστημα 500h-1000h παρατηρούμε μια πιο ομαλή αύξηση ειδικά σε σχέση με το αντίστοιχο δοκίμιο που είναι μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον NaCl. Αντίθετα στο χρονικό διάστημα μετά των 1000h παρατηρούμε αυξομειώσεις αρκετά πιο ομαλής έντασης της αντίστασης.

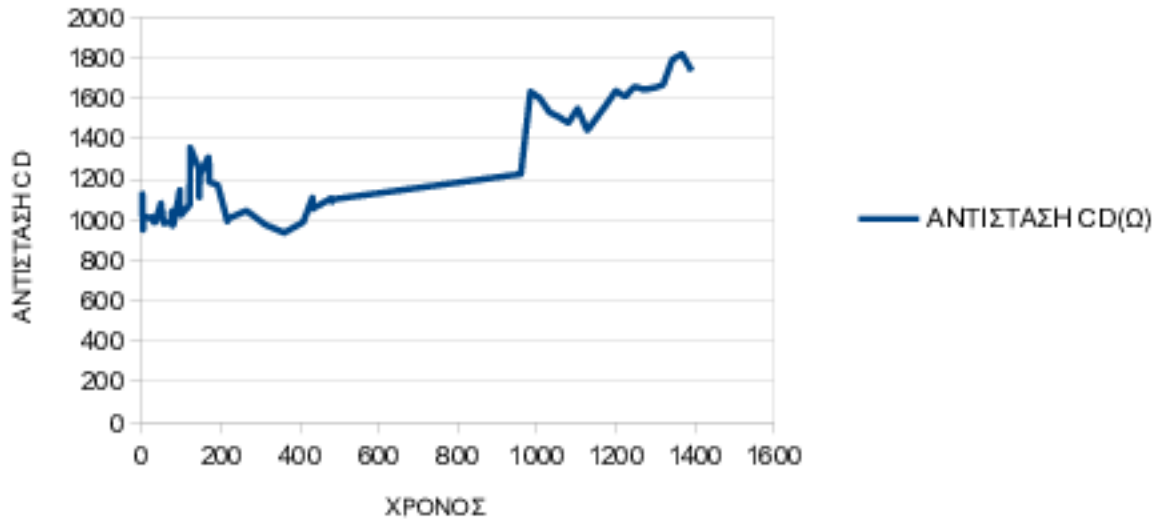
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14



Εικόνα 18: Μετρήσεις αντίστασης BC συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 3% CNTs σε περιβάλλον H₂O

Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης BC συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 3% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον H₂O. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-500h παρατηρούμε μια συνολική μείωση της αντίστασης μέσω αυξομειώσεων ενώ το χρονικό διάστημα 500h-1000h παρατηρούμε μια απότομη αύξηση που φτάνει την τιμή των 3000(Ω) και αμέσως μια σχεδόν κατακόρυφη πτώση της αντίστασης στις 1000h.

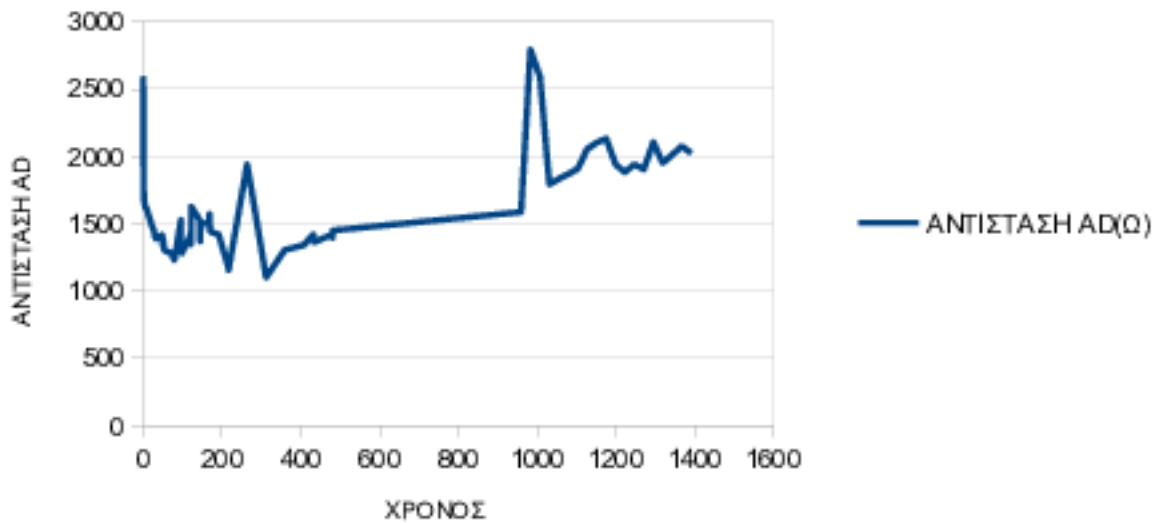
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15



Εικόνα 19: Μετρήσεις αντίστασης CD συναρτήσει του χρόνου με αισθητήρα 3% CNTs σε περιβάλλον H₂O

Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης CD συναρτήσει του χρόνου με αισθητήρα 1% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον H₂O. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-500h παρατηρούμε μια συνολική μείωση της αντίστασης μέσω έντονων αυξομειώσεων ενώ το χρονικό διάστημα 500h-1000h παρατηρούμε η πιο ήπια μορφή αύξησης. Αντίθετα στο χρονικό διάστημα μετά των 1000h παρατηρούμε μια απότομη αύξηση της αντίστασης που φτάνει την τιμή των 1800(Ω).

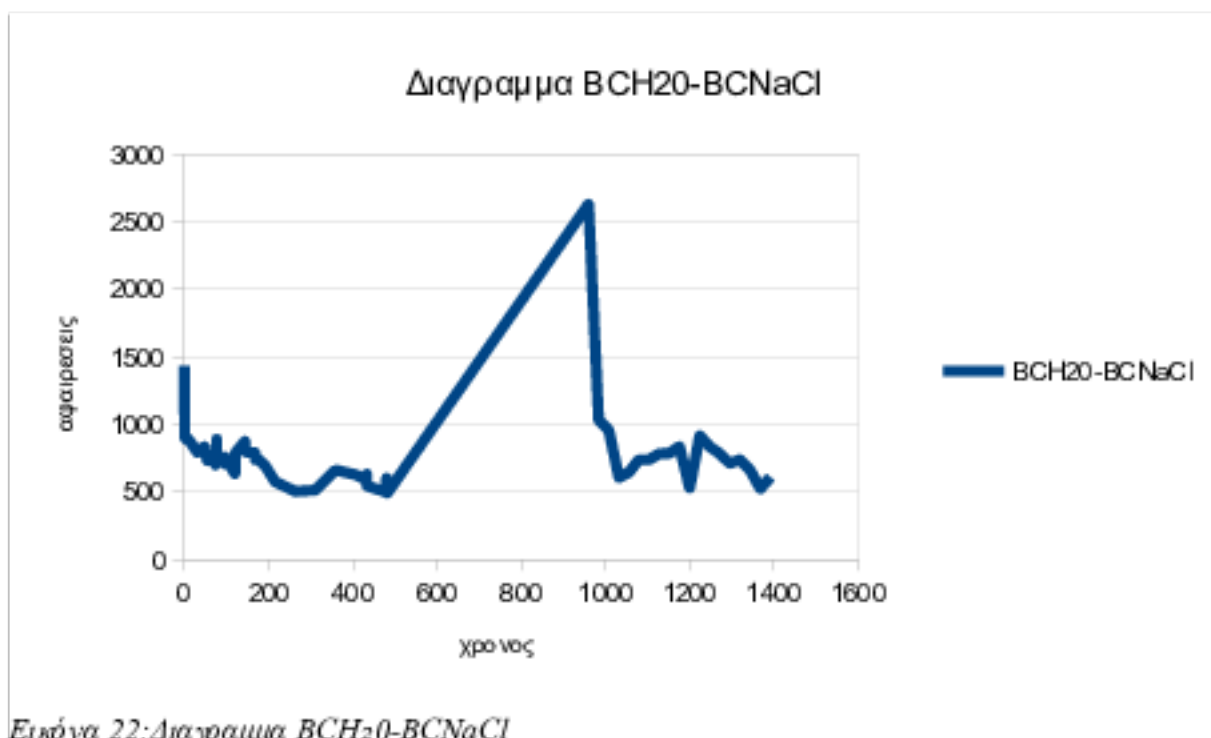
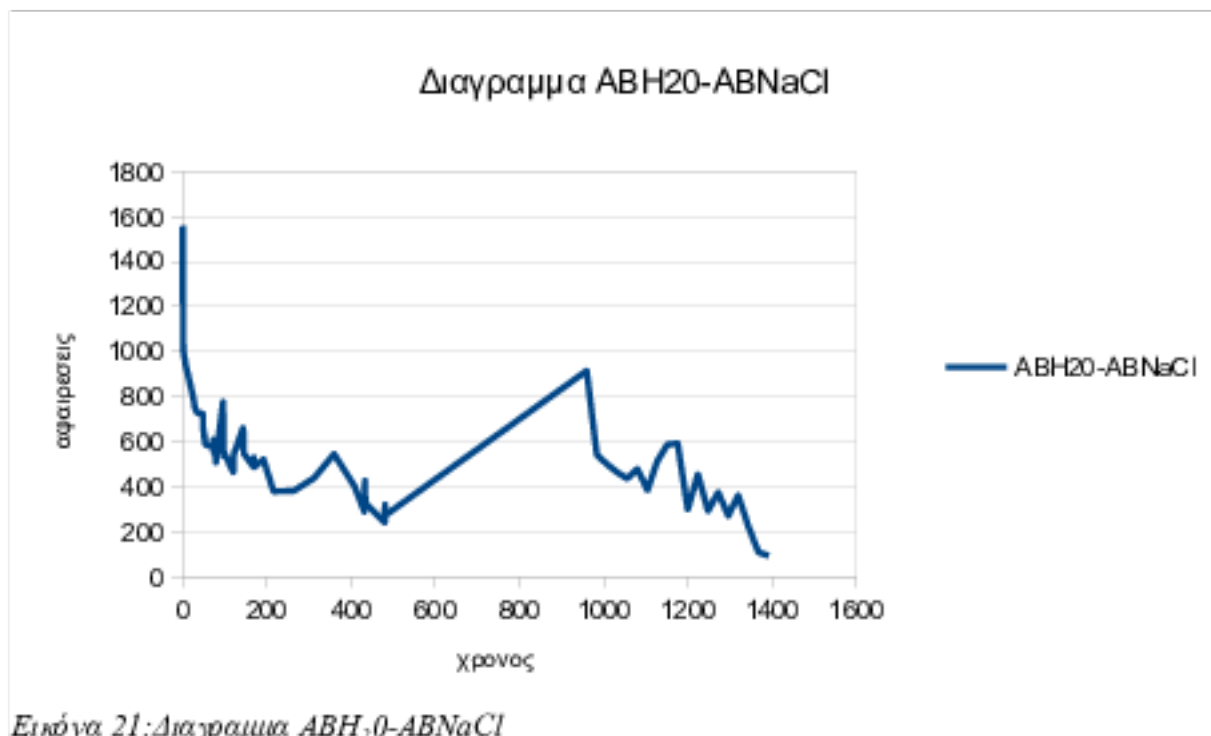
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16

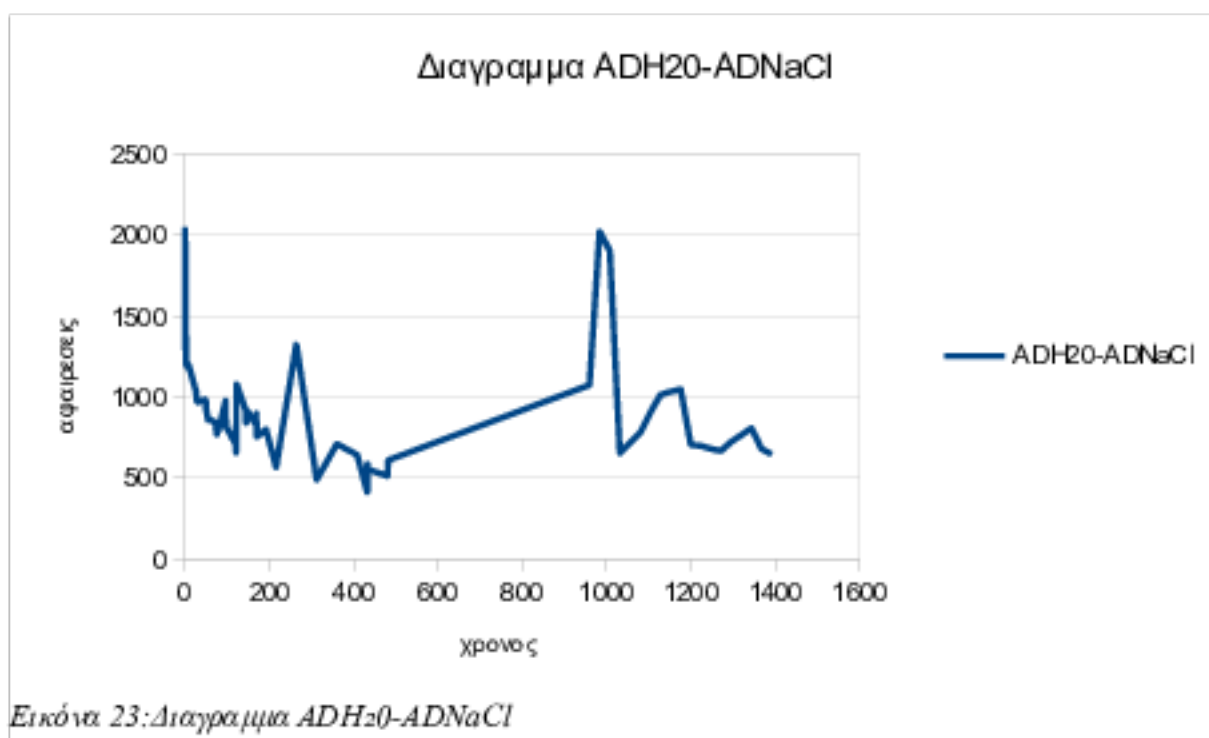
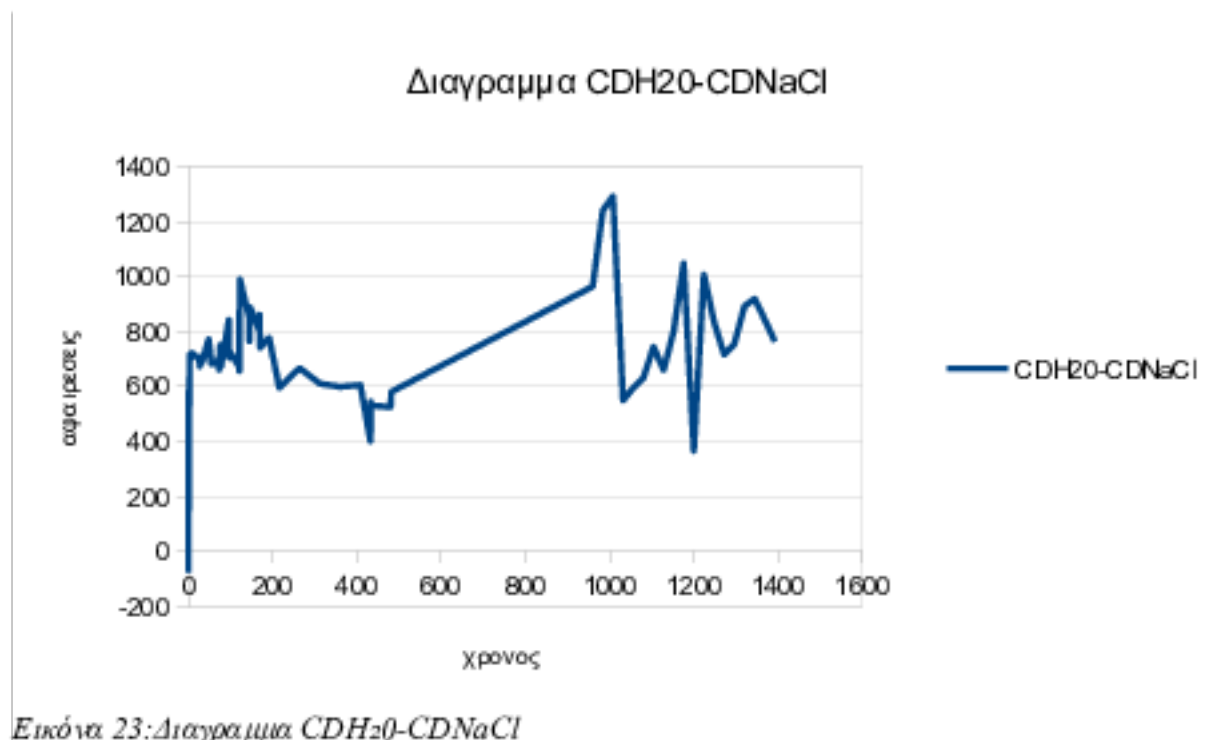


Εικόνα 20: Μετρήσεις αντίστασης AD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 3% CNTs σε περιβάλλον H₂O

Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης AD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον H₂O. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-500h παρατηρούμε μια συνολική μείωση της αντίστασης μέσω κάποιων αυξομειώσεων ενώ το χρονικό διάστημα 500h-1000h παρατηρούμε μια αύξηση. Αντίθετα στο χρονικό διάστημα μετά των 1000h παρατηρούμε αρχικά μια απότομη αύξηση και στην συνέχεια μια απότομη μείωση για να καταλήξουμε στην τιμή των 2000(Ω).

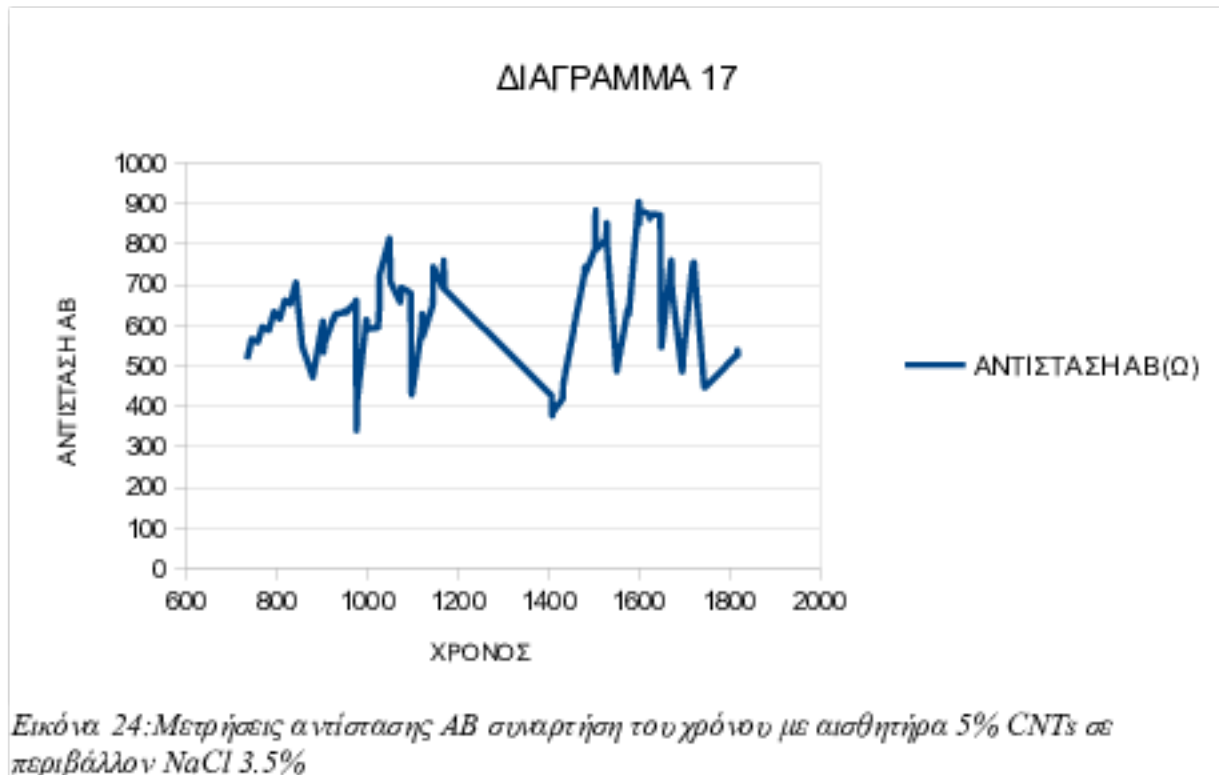
• αφαιρέσεις των αντιστάσεων H_2O και $NaCl$





Και σε αυτή την περίπτωση των αφαιρέσεων παρατηρούμε πώς ότι εμφανιζόταν στις μεταβολές των αντιστάσεων, εμφανίζεται και εδώ, αλλά οι μεταβολές είναι πιο χαρακτηριστικές.

- Για 0.5% νανοσωλήνες κατά βάρους τσιμέντου. Περιβάλλον 3.5% NaCl



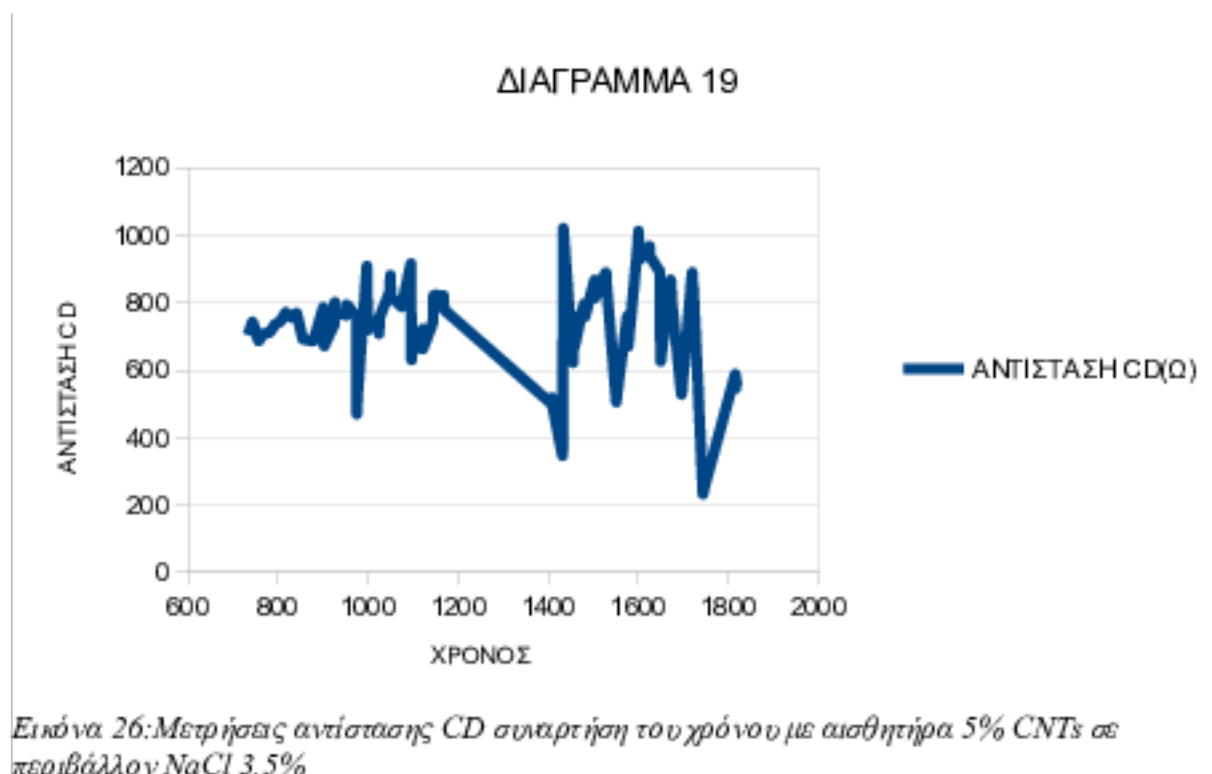
Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης AB συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 5% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον NaCl 3.5%. Πιο συγκεκριμένα στο διάγραμμα αυτό είναι εμφανής οι απότομες αυξομειώσεις καθ' όλη την διάρκεια των πειραμάτων.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18

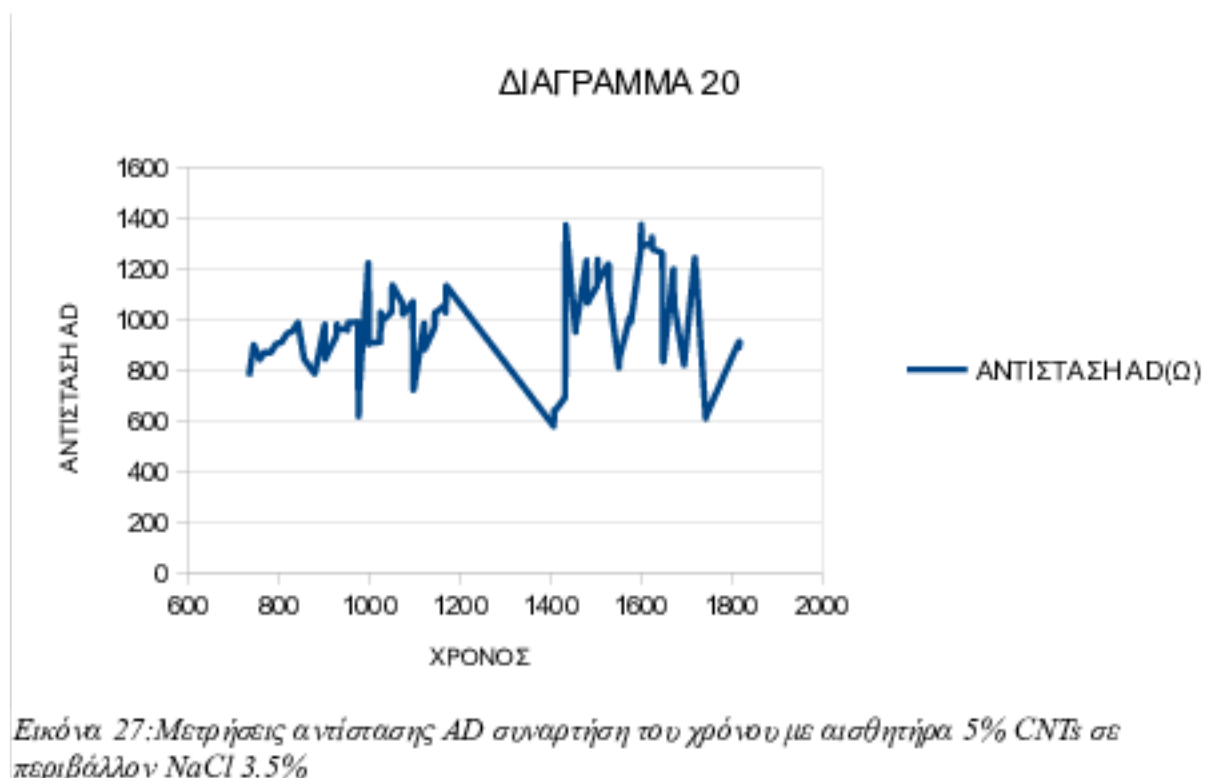


Εικόνα 25: Μετρήσεις αντίστασης BC συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 5% CNTs σε περιβάλλον NaCl 3.5%

Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης BC συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 5% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον NaCl 3.5%. Το ίδιο διαφαίνεται και σε αυτό το διάγραμμα όπως και στο διάγραμμα της αντίστασης για την απόσταση AB, δηλαδή απότομες αυξομειώσεις καθ' όλη την διάρκεια των πειραμάτων.

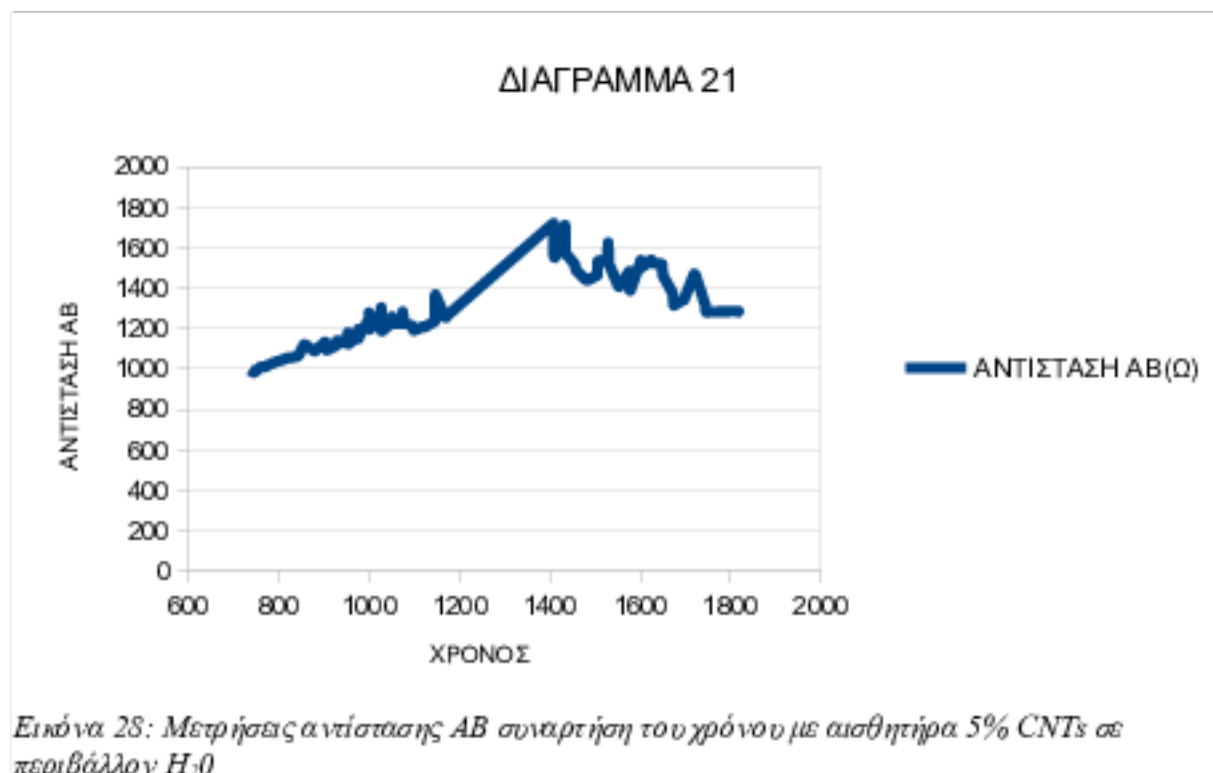


Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης CD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 5% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον NaCl 3.5%. Το ίδιο διαφαίνεται και σε αυτό το διάγραμμα όπως και στο διάγραμμα της αντίστασης για την απόσταση AB, BC δηλαδή απότομες αυξομειώσεις καθ' όλη την διάρκεια των πειραμάτων.

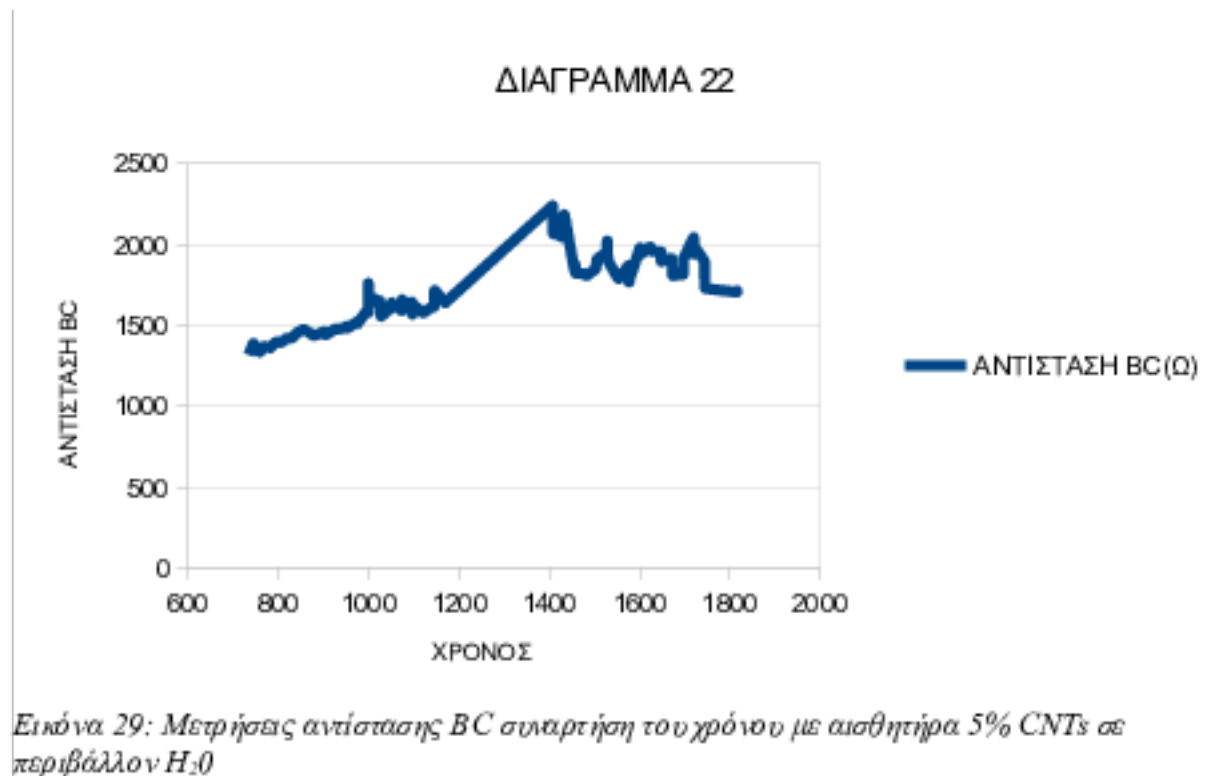


Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης AD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 5% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον NaCl 3.5%. Το ίδιο διαφαίνεται και σε αυτό το διάγραμμα όπως και στο διάγραμμα της αντίστασης για την απόσταση AB, BC, CD δηλαδή απότομες αυξομειώσεις καθ' όλη την διάρκεια των πειραμάτων.

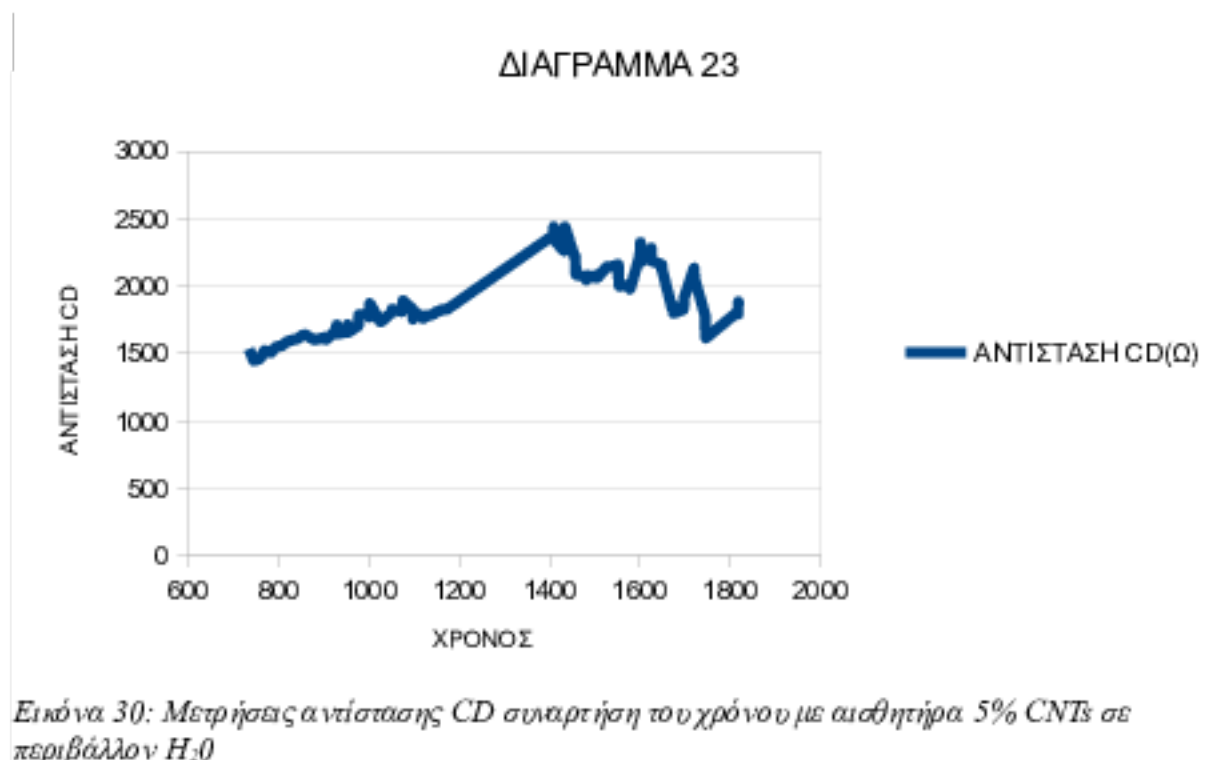
- Για 0.5% νανοσωλήνες κατά βάρους τσιμέντου. Περιβάλλον H₂O



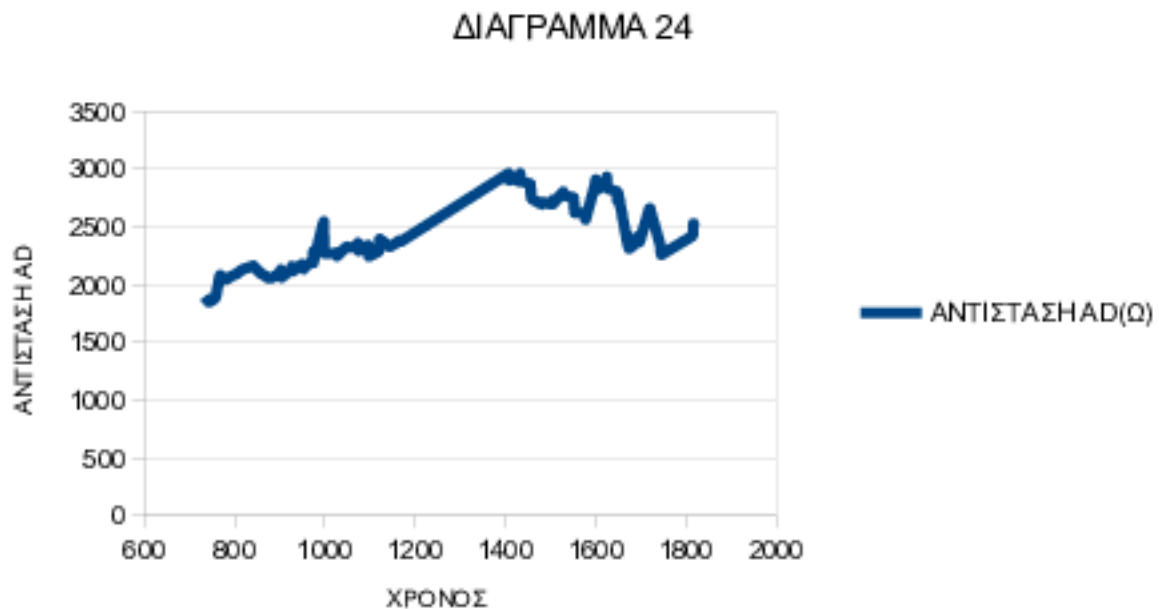
Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης ΑΒ συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 5% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον H₂O. Πιο συγκεκριμένα σε αυτή την περίπτωση που το δοκίμιο είναι μερικώς εμβαπτισμένο σε νερό βλέπουμε ήπιες αυξομειώσεις αλλά και την χρονική διάρκεια απο 1200h έως 1500h παρατηρούμε μια ομαλή αύξηση που στα παραπάνω διαγράμματα δεν υπήρχε.



Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης BC συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 5% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον H_2O . Πιο συγκεκριμένα σε αυτή την περίπτωση που το δοκίμιο είναι μερικώς εμβαπτισμένο σε νερό βλέπουμε ήπιες αυξομειώσεις αλλά και την χρονική διάρκεια απο 1200h έως 1500h παρατηρούμε μια ομαλή αύξηση που στα παραπάνω διαγράμματα του NaCl δεν υπήρχε.



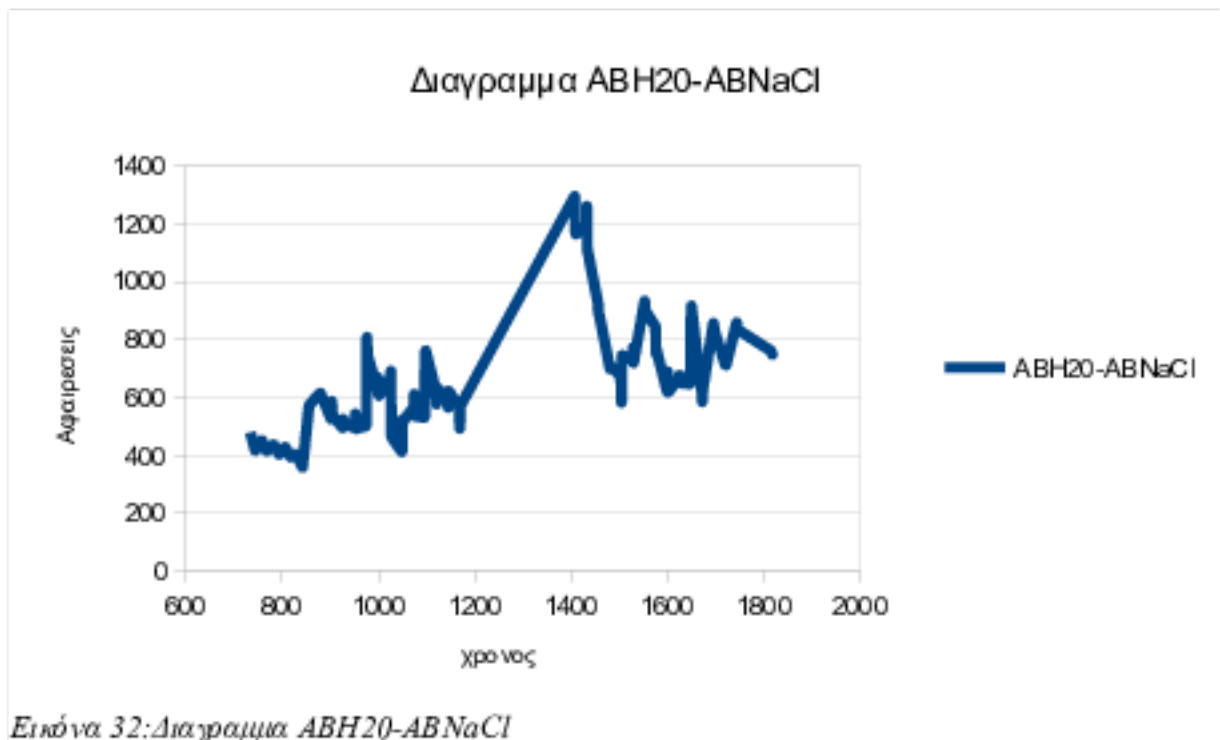
Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης CD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 5% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον H₂O. Πιο συγκεκριμένα σε αυτή την περίπτωση που το δοκίμιο είναι μερικώς εμβαπτισμένο σε νερό βλέπουμε ήπιες αυξομειώσεις αλλά και την χρονική διάρκεια απο 1200h έως 1500h παρατηρούμε μια ομαλή αύξηση που στα παραπάνω διαγράμματα του NaCl δεν υπήρχε.

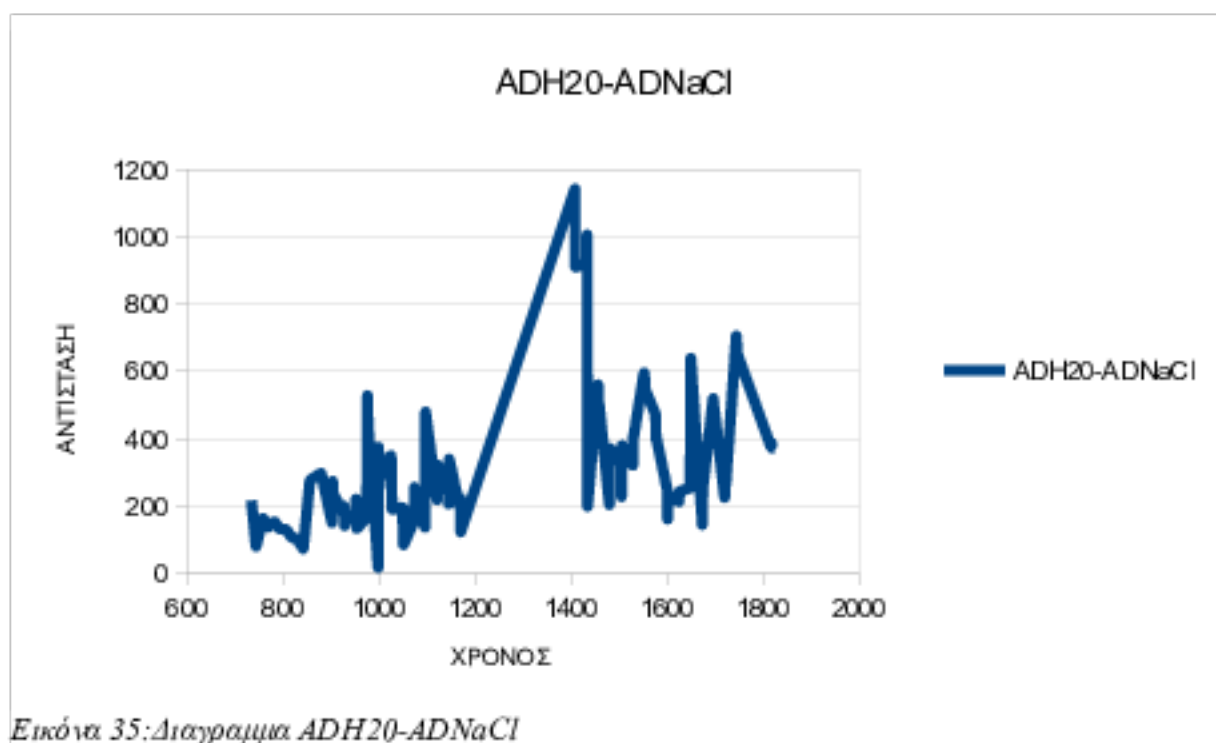
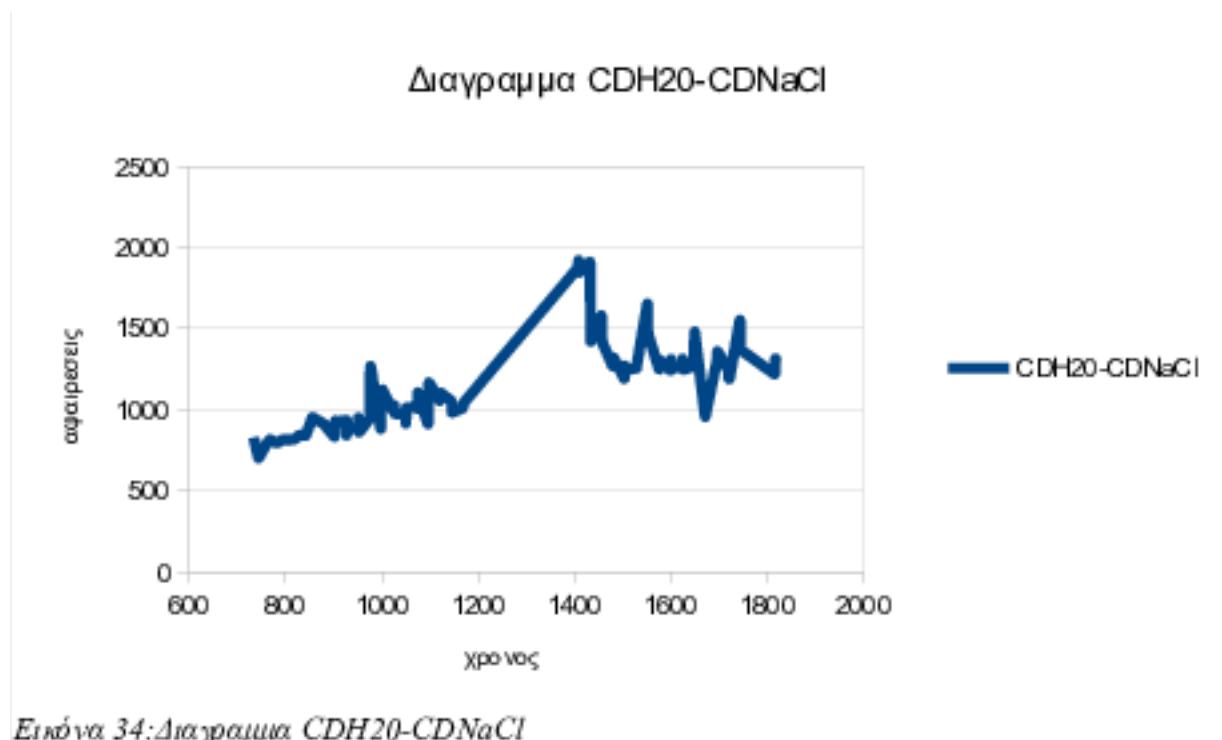


Εικόνα 31: Μετρήσεις αντίστασης AD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 5% CNTs σε περιβάλλον H₂O

Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης AD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 5% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον H₂O. Πιο συγκεκριμένα σε αυτή την περίπτωση που το δοκίμιο είναι μερικώς εμβαπτισμένο σε νερό βλέπουμε ήπιες αυξομειώσεις αλλά και την χρονική διάρκεια απο 1200h έως 1500h παρατηρούμε μια ομαλή αύξηση που στα παραπάνω διαγράμματα του NaCl δεν υπήρχε.

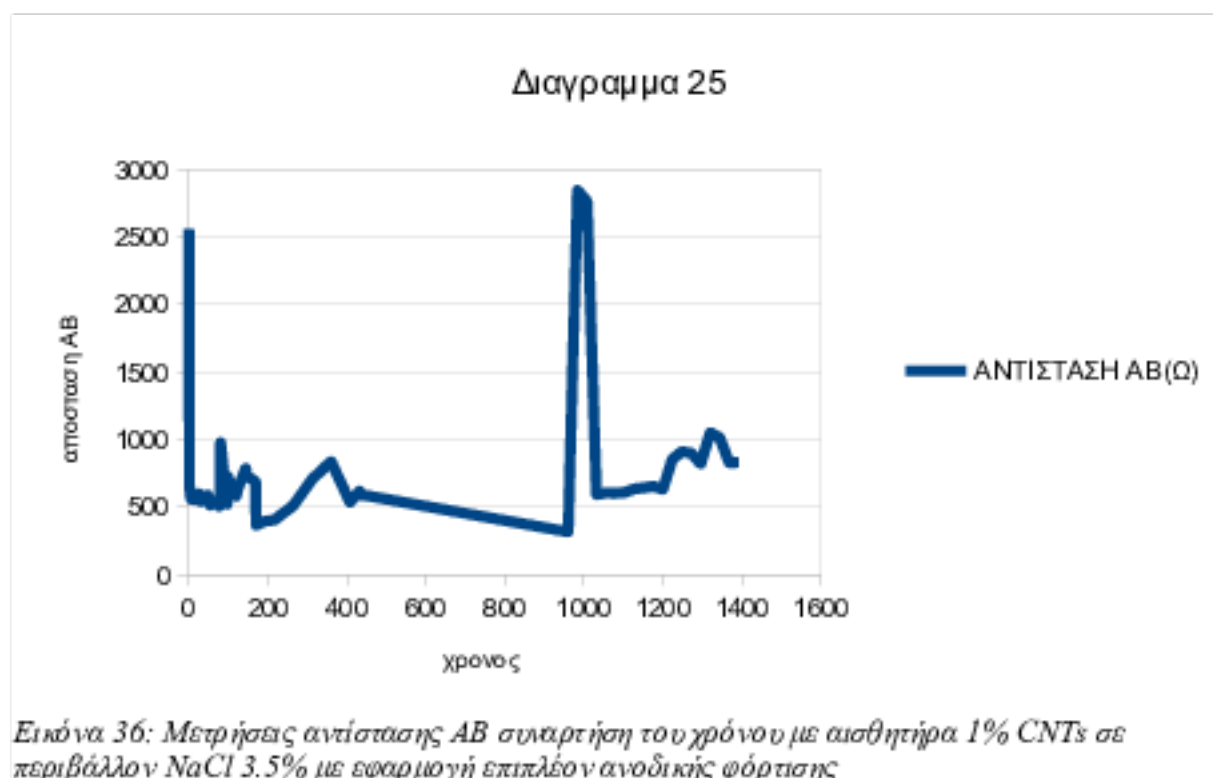
◦ αφαιρέσεις των αντιστάσεων H_2O και $NaCl$





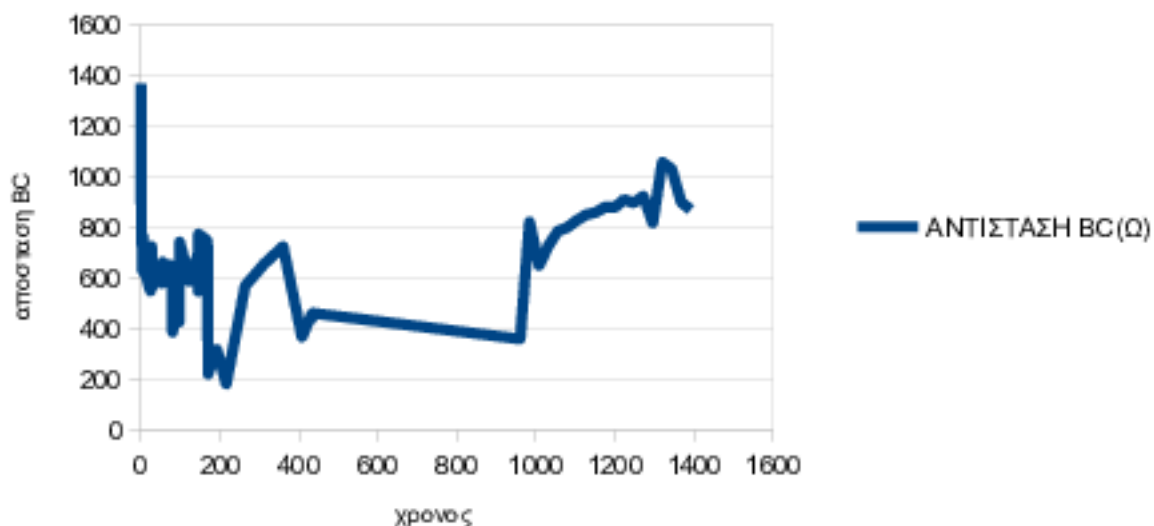
Στα παραπάνω διαγράμματα των αφαιρέσεων παρατηρούμε ότι η συμπεριφορά της αντίστασης ακολουθεί την ίδια μορφή των προηγούμενων διαγραμμάτων.

- **δοκιμιο με ανοδικη φορτιση 0.1**



Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης ΑΒ συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον NaCl 3.5% όταν έχει επιπλέον εφαρμοστεί ανοδική φόρτιση. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-500h παρατηρούμε αυξομειώσεις της αντίστασης ενώ το χρονικό διάστημα 500h-1000h παρατηρούμε μια απότομη αύξηση των τιμών και στη συνέχεια απότομη πτώση της αντίστασης φτάνοντας την τιμή των 800(Ω).

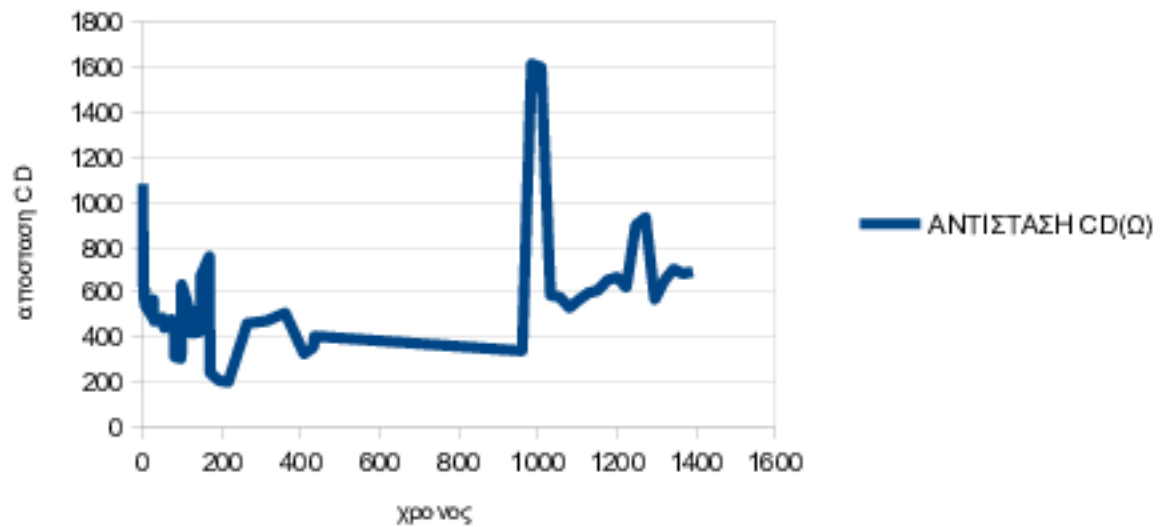
Διαγραμμα 26



Εικόνα 37: Μετρήσεις αντίστασης BC συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% CNTs σε περιβάλλον NaCl 3.5% με εφαρμογή επιπλέον ανοδικής φόρτισης

Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης BC συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον NaCl 3.5% όταν έχει επιπλέον εφαρμοστεί ανοδική φόρτιση. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-500h παρατηρούμε έντονες αυξομειώσεις της αντίστασης ενώ το χρονικό διάστημα 400h-1000h παρατηρούμε μια ομαλή μείωση των τιμών ενώ αντίθετα στο χρονικό διάστημα μετά των 1000h παρατηρούμε αύξηση της αντίστασης που φτάνει μέχρι και 1000(Ω).

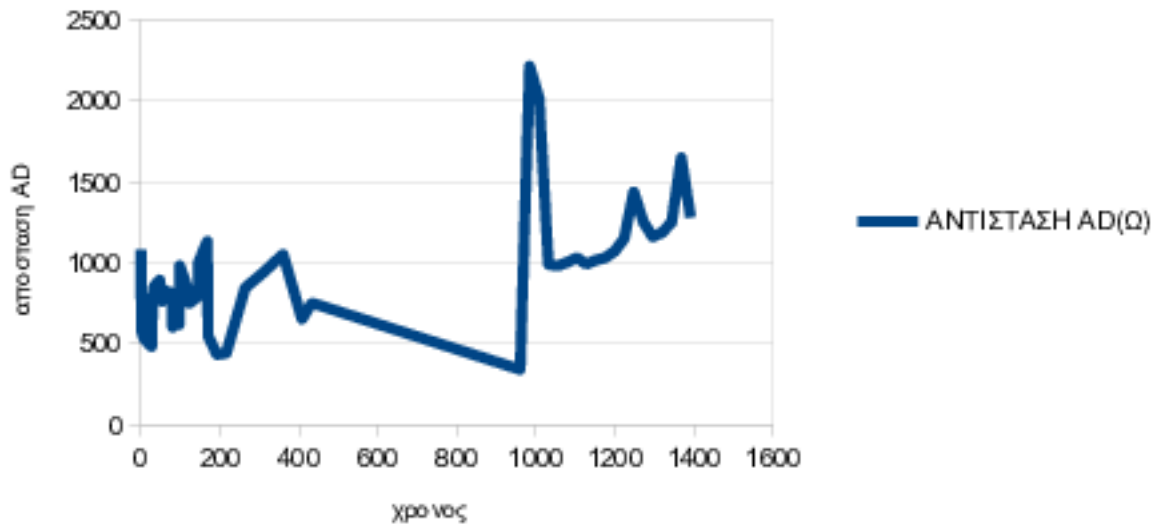
Διαγραμμα 27



Εικόνα 38: Μετρήσεις αντίστασης CD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% CNTs σε περιβάλλον NaCl 3.5% με εφαρμογή επιπλέον ανοδικής φόρτισης

Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης CD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον NaCl 3.5% όταν έχει επιπλέον εφαρμοστεί ανοδική φόρτιση. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-400h παρατηρούμε έντονες αυξομειώσεις της αντίστασης ενώ το χρονικό διάστημα 400h-1000h παρατηρείται μια ομαλή της αντίστασης που φτάνει μέχρι και τα 1600(Ω), ενώ στη συνέχεια παρατηρείται μια απότομη μείωση για να καταλήξει στην τιμή των 600(Ω).

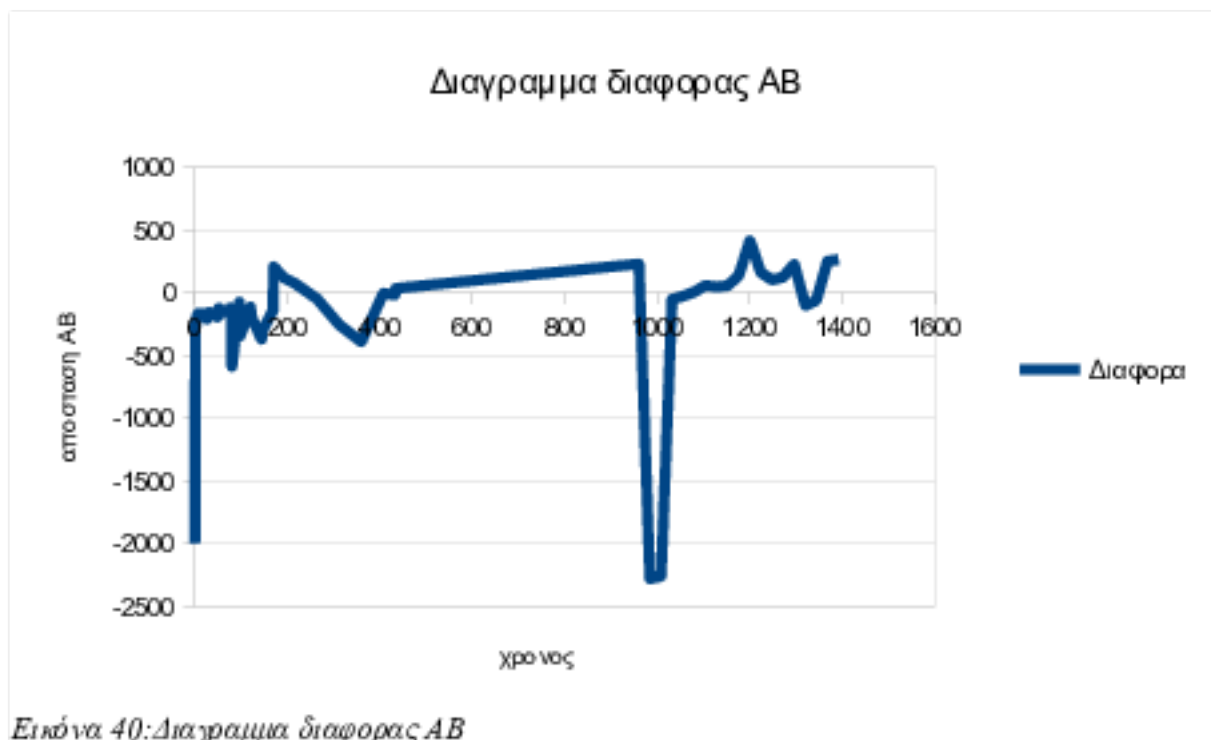
Διαγραμμα 28



Εικόνα 39: Μετρήσεις αντίστασης AD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% CNTs σε περιβάλλον NaCl 3.5% με εφαρμογή επιπλέον ανοδικής φόρτισης

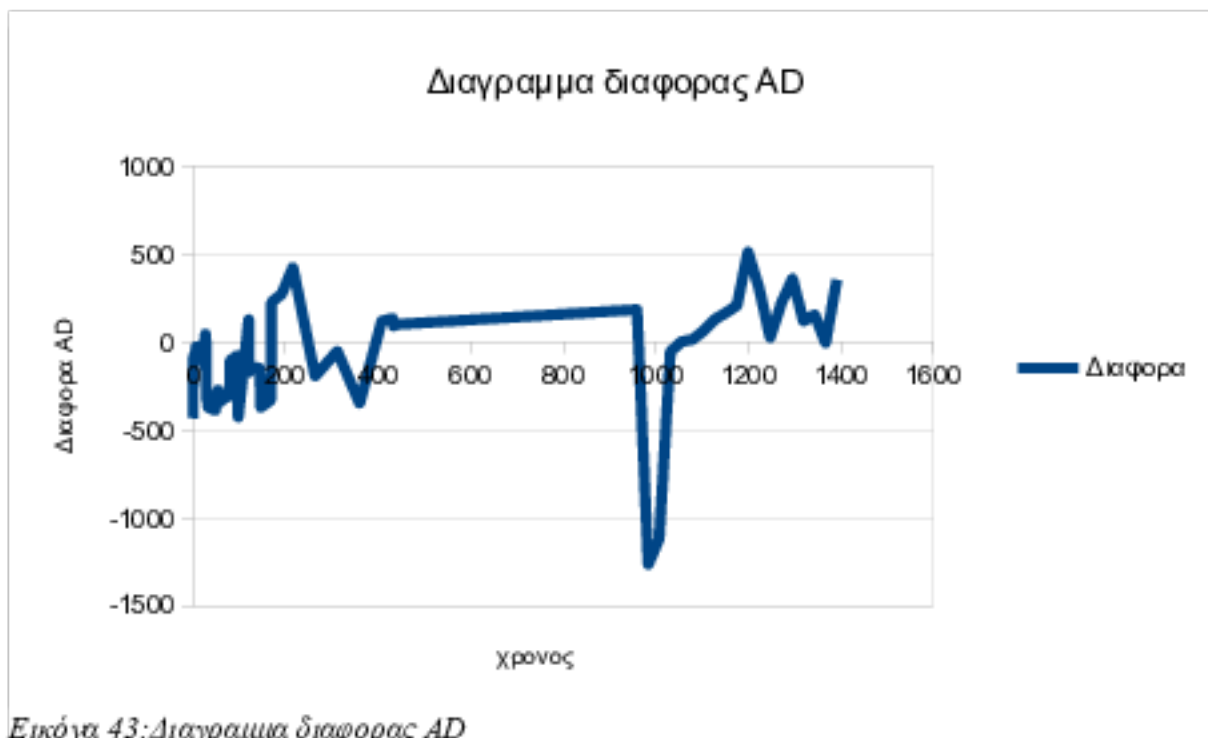
Στο παραπάνω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι μετρήσεις της αντίστασης AD συναρτήση του χρόνου με αισθητήρα 1% μερικώς εμβαπτισμένο σε περιβάλλον NaCl 3.5% όταν έχει επιπλέον εφαρμοστεί ανοδική φόρτιση. Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 0h-400h παρατηρούμε έντονες αυξομειώσεις της αντίστασης ενώ το χρονικό διάστημα 400h-1000h παρατηρείται μια πιο σταθερή μείωση, στην συνέχεια λαμβάνει χώρα απότομη αύξηση της αντίστασης και απότομη μείωση φτάνοντας στην τελική τιμή των 1300(Ω).

◦ αφαιρέσεις των αντιστάσεων H_2O και $NaCl$





Εικόνα 42: Διαγραμμα διαφοράς CD



Εικόνα 43: Διαγραμμα διαφοράς AD

Συνολικά παρατηρούμε ότι τα διαγράμματα της διαφοράς των αντιστάσεων εμφανίζει αξιόλογες μεταβολές στο χρονικό διάστημα 900h-1200h. Σε χρόνο λίγο μεγαλύτερο από 1200h, το δοκίμιο με ανοδική φόρτιση σχημάτισε ρωγμή.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα των τιμών των αντιστάσεων με αισθητήρα 0.5% σε νερό προκύπτει ότι οι μεταβολές σ'όλες τις αντιστάσεις(AB, BC, CD,AD) είναι ποιοτικά ίδιες. Επίσης ποσοτικά ελάχιστα διαφέρουν. Το ίδιο συμβαίνει για τα δοκίμια με αισθητήρα 0.5% σε χλωριούχο νάτριο. Εδώ παρατηρούμε ότι οι μεταβολές που παρουσιάζονται και στο χλωριούχο νάτριο, αλλά με μεγαλύτερο πλάτος.

Επίσης στα δοκίμια με αισθητήρα 0.3% παρατηρούνται τα ίδια φαινόμενα όπως και στα δοκίμια με αισθητήρα 0.5%, εκτός της μεταβολής που πραγματοποιείται μεταξύ 1000h και 1100h.

Στο νερό η αντίσταση αυξάνει σχηματίζοντας μια σημαντική κορυφή. Αυτό συμβαίνει και στο χλωριούχο νάτριο, απλά η καμπύλη στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω (μείωση της αντίστασης) ενώ στο νερό τα στρέφει προς τα πάνω προς τα πάνω (αύξηση της αντίστασης).

Στα δοκίμια 0.1% ισχύει το γεγονός ότι όλα τα είδη των αντιστάσεων AB, BC, CD, AD έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά. Όμως εδώ παρατηρείται μια σημαντική διαφορά μεταξύ των δοκιμιών που είναι μερικώς εμβαπτισμένα στο νερό και στο χλωριούχο νάτριο

Πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα από 400h-1000h τα μεν δοκίμια που είναι σε νερό έχουν τιμές από 1500-2000 με σχετικά ομαλή αύξηση.

Αντιθέτως τα δοκίμια σε χλωριούχο νάτριο παρουσιάζουν μια μείωση τιμής από 400h που έχουν τιμή 1000, ενώ στις 1000h στην τιμή 500.

Εάν πάρουμε την διαφορά των αντιστάσεων από νερό-χλωριούχο νάτριο παρατηρούμε πώς ότι εμφανιζόταν στις μεταβολές των αντιστάσεων, εμφανίζεται και εδώ, αλλά οι μεταβολές είναι πιο χαρακτηριστικές.

Στην περίπτωση 0.1% όμως η διαφορά εμφανίζεται μεγαλύτερη ομαλότητα απ' ότι στις άλλες δύο κατηγορίες.

Από τις μετρήσεις αυτές προκύπτει ότι η συγκέντρωση 0.1% κατά βάρους ταιμέντου είναι η προτιμότερη προκειμένου να κατασκευαστεί ένας αισθητήρας ευαίσθητος στις μεταβολές της μηχανικής τάσης που προκαλεί η διάβρωση του οπλισμού.

Στην ανοδική φόρτιση, όταν έχουμε δοκίμια στα οποία επιπλέον έχει εφαρμοστεί ανοδική φόρτιση τότε παρατηρούμε ότι η διαφορά μεταξύ του δοκιμίου που έχει ανοδική φόρτιση και αυτού που δεν είχε (και τα δύο μερικώς εμβαπτισμένα σε χλωριούχο νάτριο) το διάγραμμα της διαφοράς π.χ της αντίστασης AD εμφανίζει αξιόλογες μεταβολές στο χρονικό διάστημα 900h-1200h. Σε χρόνο λίγο μεγαλύτερο από 1200h, το δοκίμιο με ανοδική φόρτιση σχημάτισε ρωγμή. Το γεγονός αυτό μας επιτρέπει να προτείνουμε ότι σε οπλισμένα δοκίμια όπου ο αισθητήρας μας βρίσκεται σε επαφή με το χάλυβα (μπετόβεργα) μεγάλες διασπαράξεις της αντίστασης προοιωνίζουν την θραύση του δοκιμίου.

Προτάσεις για την συνέχιση της έρευνας. Η παρούσα εργασία αποτελεί την πρώτη προσπάθεια να διαπιστώσει ότι οι αισθητήρες που περιέχουν νανοσωλήνες άνθρακα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόληψη της θραύσης του σκυροδέματος από διάβρωση του οπλισμού.

Πιο συγκεκριμένα, οι έρευνες οι οποίες είχαν πραγματοποιηθεί στο Δημόκριτο Πανεπιστημίου Θράκης είχαν αποδείξει ότι η αντίσταση των αισθητήρων μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα από την εφαρμοζόμενη μηχανική τάση. Οι δοκιμές αυτές είχαν πραγματοποιηθεί στα σκυροδέματα τα οποία ήταν απολύτως στεγνά από νερό (παραμονή σε πυριστήριο) στους 105 °C για 24h.

Στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια να ανιχνευθεί αν οι μηχανικές τάσεις που επηρεάζουν την αντίσταση του αισθητήρα παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά όταν οι μηχανικές τάσεις προέρχονται από την διάβρωση του οπλισμού.

Είναι γνωστό ότι τα προϊόντα διάβρωσης του σιδήρου έχουν πενταπλάσιο μοριακό όγκο απ' ότι ο σίδηρος. Λόγω της διόγκωσης από τα προϊόντα της διάβρωσης, το σκυρόδεμα σχηματίζει ρωγμές και τελικά σπάει.

Μελετώντας τη διαφορά των αντιστάσεων σε δοκίμια άοπλα, μερικώς εμβαπτισμένα σε χλωριούχο νάτριο και δοκιμίων με αισθητήρα, με μπετόβεργα σε επαφή με τον αισθητήρα και σε ανοδική φόρτιση, έδειξαν ότι η μέτρηση της αντίστασης του αισθητήρα μπορεί καταρχήν να χρησιμοποιηθεί για την διαπίστωση έντονης διάβρωσης του οπλισμού.

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής καλό θα ήταν να επαναληφθούν ακόμα μια φορά. Στη συνέχεια εφόσον πράγματι η συγκέντρωση 0.1% είναι προτιμότερη η έρευνα θα πρέπει να συγκεντρωθεί σε αυτή την περιεκτικότητα νανοσωλήνα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΤΑΞΗ ΑΒ(Ω)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΤΑΞΗ ΒΓ(Ω)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΤΑΞΗ CD(Ω)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΤΑΞΗ ΑD(Ω)
10/11/14	10:30:00 AM	0	501	0	344	0	650	0	647
	11:30:00 AM	1	394	1	511	1	379	1	575
	12:30:00 PM	2	387	2	482	2	318	2	490
	01:30:00 PM	3	382	3	479	3	318	3	488
	02:30:00 PM	4	384	4	477	4	321	4	495
	03:30:00 PM	5	389	5	478	5	319	5	491
	04:30:00 PM	6	388	6	478	6	336	6	514
	05:30:00 PM	7	393	7	477	7	323	7	496
11/11/14	06:30:00 PM	8	388	8	476	8	319	8	493
	08:30:00 AM	24	390	24	474	24	348	24	477
	09:30:00 AM	25	390	25	494	25	342	25	500
	10:30:00 AM	26	389	26	474	26	340	26	482
	11:30:00 AM	27	389	27	471	27	338	27	529
	12:30:00 PM	28	380	28	470	28	339	28	487
	01:30:00 PM	29	386	29	469	29	338	29	479
	02:30:00 PM	30	387	30	466	30	337	30	475
12/11/14	03:30:00 PM	31	387	31	469	31	335	31	480
	04:30:00 PM	32	390	32	468	32	335	32	479
	05:30:00 PM	33	387	33	466	33	339	33	482
	10:30:00 AM	40	396	40	512	40	351	40	504
	11:30:00 AM	49	397	49	470	49	344	49	507
	12:30:00 PM	50	391	50	512	50	339	50	502
	01:30:00 PM	51	398	51	485	51	336	51	497
	02:30:00 PM	52	384	52	471	52	338	52	493
13/11/2014	03:30:00 PM	53	392	53	465	53	334	53	493
	04:30:00 PM	54	385	54	476	54	350	54	487
	05:30:00 PM	55	379	55	466	55	350	55	491
	06:30:00 AM	72	388	72	473	72	327	72	502
	10:30:00 AM	73	394	73	471	73	328	73	500
	11:30:00 AM	74	388	74	475	74	334	74	511
	12:30:00 PM	75	389	75	483	75	334	75	507
	01:30:00 PM	76	384	76	463	76	327	76	504
18/11/2014	02:30:00 PM	77	380	77	462	77	328	77	497
	03:30:00 PM	78	389	78	474	78	334	78	510
	04:30:00 PM	79	380	79	488	79	343	79	497
	05:30:00 PM	80	389	80	483	80	332	80	495
	01:00:00 PM	96	450	96	545	96	356	96	561
	02:00:00 PM	97	373	97	460	97	329	97	521
	03:00:00 PM	98	384	98	459	98	333	98	555

	03:00:00 PM	98	384	98	469	98	333	98	556
20/11/2014	02:30:00 PM	120	467	120	537	120	387	120	857
	03:30:00 PM	121	448	121	551	121	413	121	868
	04:30:00 PM	122	431	122	528	122	374	122	811
24/11/2014	03:00:00 PM	144	474	144	549	144	368	144	879
	04:00:00 PM	145	451	145	523	145	395	145	835
	05:00:00 PM	146	425	146	538	146	415	146	830
25/11/2014	03:00:00 PM	168	544	168	652	168	507	168	887
	04:00:00 PM	169	538	169	651	169	481	169	745
	05:00:00 PM	170	575	170	710	170	542	170	775
01/12/14	01:00:00 PM	192	516	192	587	192	440	192	788
02/12/14	11:00:00 AM	218	479	218	558	218	411	218	868
	12:00:00 PM	217	489	217	569	217	405	217	850
05/12/14	12:30:00 PM	264	462	264	560	264	406	264	891
08/12/14	12:30:00 PM	312	452	312	555	312	400	312	846
11/12/14	02:30:00 PM	360	446	360	536	360	388	360	784
15/12/2014	04:00:00 PM	408	531	408	634	408	487	408	771
16/12/2014	11:00:00 AM	432	601	432	738	432	553	432	883
	12:00:00 PM	433	571	433	716	433	536	433	831
	04:00:00 PM	434	620	434	761	434	558	434	851
19/12/2014	10:30:00 AM	480	662	480	803	480	608	480	953
	11:30:00 AM	481	647	481	784	481	680	481	972
	12:30:00 PM	482	637	482	758	482	597	482	1008
09/01/15	03:00:00 PM	960	547	960	487	960	298.1	960	528
13/01/2015	02:00:00 PM	984	565	984	767	984	654	984	848
14/01/2015	02:00:00 PM	1008	587	1008	789	1008	587	1008	895
15/01/2015	02:00:00 PM	1032	542	1032	759	1032	735	1032	834
16/01/2015	12:30:00 PM	1056	578	1056	792	1056	767	1056	982
19/01/2015	02:00:00 PM	1080	609	1080	827	1080	752	1080	1017
20/01/2015	01:00:00 PM	1104	666	1104	859	1104	772	1104	1094
21/01/2015	11:30:00 AM	1128	681	1128	869	1128	761	1128	1119
22/01/2015	01:00:00 PM	1152	695	1152	898	1152	754	1152	1183
23/01/2015	08:00:00 AM	1176	791	1176	924	1176	773	1176	1248
26/01/2015	12:30:00 PM	1200	1040	1200	1216	1200	954	1200	1584
27/01/2015	12:30:00 PM	1224	1015	1224	1187	1224	1264	1224	1452
28/01/2015	12:30:00 PM	1248	1013	1248	1234	1248	993	1248	1464
29/01/2015	12:30:00 PM	1272	1022	1272	1199	1272	987	1272	1472
30/01/2015	12:30:00 PM	1296	1048	1296	1467	1296	1088	1296	1518
02/02/15	01:30:00 PM	1320	949	1320	1199	1320	938	1320	1388
03/02/15	01:30:00 PM	1344	853	1344	1203	1344	1086	1344	1486
04/02/15	01:30:00 PM	1368	1079	1368	1280	1368	1041	1368	1644
05/02/15	01:30:00 PM	1392	1097	1392	1306	1392	1155	1392	1632

GLA H20

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΒ(°)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΒΓ(°)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΓΔ(°)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΔΕ(°)
10/11/14	10:30:00 AM	0	2°30	0	1771	0	1597	0	3220
	11:30:00 AM	1	1426	1	1060	1	1018	1	2217
	12:30:00 PM	2	1465	2	1057	2	1060	2	2142
	01:30:00 PM	3	1484	3	1070	3	1060	3	2119
	02:30:00 PM	4	1505	4	1107	4	1003	4	2127
	03:30:00 PM	5	1617	5	1112	5	1100	5	2116
	04:30:00 PM	6	1528	6	1129	6	1113	6	2120
	05:30:00 PM	7	1575	7	1130	7	1111	7	2118
11/11/14	06:30:00 PM	8	1513	8	1129	8	1198	8	2114
	08:30:00 AM	24	1466	24	1214	24	1201	24	1991
	09:30:00 AM	25	1449	25	1196	25	1184	25	1974
	10:30:00 AM	26	1423	26	1187	26	1163	26	1985
	11:30:00 AM	27	1413	27	1179	27	1154	27	1929
	12:30:00 PM	28	1414	28	1172	28	1147	28	1930
	01:30:00 PM	29	1395	29	1176	29	1139	29	1897
	02:30:00 PM	30	1367	30	1170	30	1147	30	1876
12/11/14	03:30:00 PM	31	1395	31	1169	31	1130	31	1882
	04:30:00 PM	32	1348	32	1166	32	1129	32	1866
	05:30:00 PM	33	1339	33	1164	33	1125	33	1849
	10:30:00 AM	48	1262	48	1189	48	1126	48	1760
	11:30:00 AM	49	1235	49	1174	49	1104	49	1742
	12:30:00 PM	50	1279	50	1170	50	1103	50	1717
	01:30:00 PM	51	1224	51	1171	51	1092	51	1702
	02:30:00 PM	52	1188	52	1147	52	1085	52	1671
13/11/2014	03:30:00 PM	53	1172	53	1135	53	1067	53	1682
	04:30:00 PM	54	1160	54	1191	54	1056	54	1646
	05:30:00 PM	55	1142	55	1120	55	1041	55	1638
	09:30:00 AM	72	1108	72	1191	72	1026	72	1569
	10:30:00 AM	73	1097	73	1123	73	1031	73	1614
	11:30:00 AM	74	1092	74	1114	74	1033	74	1554
	12:30:00 PM	75	1077	75	1107	75	1007	75	1547
	01:30:00 PM	76	1077	76	1100	76	1005	76	1540
18/11/2014	02:30:00 PM	77	1070	77	1090	77	999	77	1537
	03:30:00 PM	78	1071	78	1104	78	1010	78	1598
	04:30:00 PM	79	1061	79	1150	79	1056	79	1523
	05:30:00 PM	80	1057	80	1093	80	988	80	1509
	01:00:00 PM	96	1105	96	1469	96	1278	96	1624
	02:00:00 PM	97	1089	97	1117	97	966	97	1557
	03:00:00 PM	98	1052	98	1118	98	958	98	1546

20/11/2014	02:30:00 PM	120	1108	120	1156	120	992	120	1580
	03:30:00 PM	121	1111	121	1107	121	1004	121	1597
	04:30:00 PM	122	1092	122	1104	122	1040	122	1692
24/11/2014	03:00:00 PM	144	1126	144	1145	144	981	144	1610
	04:00:00 PM	145	1200	145	1145	145	970	145	1646
	05:00:00 PM	146	1146	146	1153	146	1001	146	1573
25/11/2014	03:00:00 PM	168	1177	168	1210	168	1048	168	1677
	04:00:00 PM	169	1206	169	1213	169	1041	169	1707
	05:00:00 PM	170	1176	170	1222	170	998	170	1663
01/12/14	01:00:00 PM	192	1129	192	1220	192	999	192	1665
02/12/14	11:00:00 AM	216	1012	216	1091	216	928	216	1417
	12:00:00 PM	217	1002	217	1011	217	904	217	1333
05/12/14	12:30:00 PM	264	993	264	927	264	753	264	1204
08/12/14	12:30:00 PM	312	957	312	956	312	854	312	1295
11/12/14	02:30:00 PM	360	913	360	997	360	786	360	1363
15/12/2014	04:00:00 PM	408	981	408	1057	408	847	408	1556
16/12/2014	11:00:00 AM	432	1047	432	1109	432	889	432	1544
	12:00:00 PM	433	1084	433	1111	433	919	433	1539
	01:00:00 PM	434	1047	434	1118	434	903	434	1557
19/12/2014	10:30:00 AM	480	1143	480	1178	480	922	480	1764
	11:30:00 AM	481	1146	481	1202	481	917	481	1679
	12:30:00 PM	482	1062	482	1153	482	913	482	1562
09/01/15	03:00:00 PM	960	1217	960	1301	960	1126	960	1755
13/01/2015	02:00:00 PM	984	1073	984	1019	984	1229	984	2090
14/01/2015	02:00:00 PM	1008	1401	1008	1524	1008	1119	1008	1997
15/01/2015	02:00:00 PM	1032	1438	1032	1474	1032	1143	1032	2260
16/01/2015	12:30:00 PM	1056	1407	1056	1421	1056	1120	1056	2350
19/01/2015	02:00:00 PM	1080	1375	1080	1420	1080	1125	1080	2400
20/01/2015	01:00:00 PM	1104	1359	1104	1475	1104	1107	1104	2450
21/01/2015	11:30:00 AM	1128	1347	1128	1426	1128	1148	1128	2481
22/01/2015	01:00:00 PM	1152	1291	1152	1401	1152	1139	1152	2524
23/01/2015	08:00:00 AM	1176	1246	1176	1459	1176	1138	1176	2535
26/01/2015	12:30:00 PM	1200	1455	1200	1548	1200	1251	1200	2510
27/01/2015	12:30:00 PM	1224	1491	1224	1595	1224	1240	1224	2153
28/01/2015	12:30:00 PM	1248	1480	1248	1590	1248	1238	1248	2095
29/01/2015	12:30:00 PM	1272	1477	1272	1576	1272	1255	1272	2144
30/01/2015	12:30:00 PM	1296	1446	1296	1593	1296	1236	1296	2337
02/02/15	01:30:00 PM	1320	1390	1320	1441	1320	2673	1320	2123
03/02/15	01:30:00 PM	1344	1407	1344	1497	1344	2113	1344	2034
04/02/15	01:30:00 PM	1368	1421	1368	1560	1368	1271	1368	2089
05/02/15	01:30:00 PM	1392	1602	1392	1674	1392	1288	1392	2163

0.3
ΓΙΑ NaCl

ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΒ(Ω)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΒΓ(Ω)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ CD(Ω)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΔD(Ω)
0	427	0	417	0	1215	0	546
1	370	1	393	1	474	1	641
2	351	2	381	2	436	2	309
3	348	3	381	3	312	3	432
4	345	4	381	4	302	4	429
5	346	5	382	5	309	5	441
6	348	6	379	6	302	6	427
7	344	7	374	7	298	7	422
8	341	8	371	8	293	8	419
24	352	24	380	24	304	24	419
25	356	25	378	25	301	25	419
26	353	26	379	26	304	26	419
27	363	27	380	27	338	27	471
28	358	28	379	28	298	28	454
29	348	29	373	29	294	29	432
30	347	30	371	30	293	30	418
31	348	31	380	31	303	31	438
32	347	32	375	32	295	32	415
33	345	33	371	33	300	33	414
48	361	48	394	48	310	48	429
49	356	49	383	49	295	49	425
50	353	50	381	50	292	50	422
51	352	51	379	51	294	51	421
52	380	52	402	52	305	52	473
53	355	53	384	53	290	53	433
54	378	54	409	54	307	54	446
55	364	55	401	55	300	55	431
72	359	72	395	72	292	72	438
73	358	73	397	73	330	73	474
74	355	74	426	74	296	74	443
75	354	75	382	75	293	75	484
76	345	76	374	76	290	76	470
77	331	77	367	77	288	77	443
78	352	78	387	78	296	78	436

79	380	79	385	79	385	79	438
80	350	80	380	80	287	80	437
96	380	96	401	96	303	96	549
97	384	97	449	97	329	97	479
98	359	98	386	98	296	98	467
120	469	120	557	120	319	120	713
121	419	121	517	121	422	121	688
122	396	122	425	122	367	122	549
144	396	144	390	144	390	144	600
145	425	145	460	145	346	145	627
146	425	146	438	146	330	146	578
168	542	168	571	168	503	168	678
169	537	169	571	169	439	169	671
170	515	170	547	170	444	170	605
192	480	192	508	192	382	192	616
216	440	216	468	216	304	216	611
264	462	264	518	264	377	264	616
312	436	312	502	312	364	312	610
360	475	360	414	360	316	360	597
408	515	408	470	408	382	408	695
432	652	432	638	432	708	432	1005
433	593	433	630	433	506	433	787
434	664	434	678	434	626	434	807
480	734	480	735	480	580	480	904
481	624	481	650	481	532	481	832
482	671	482	702	482	520	482	839
960	336	960	276	960	260 9	960	510
984	670	984	761	984	391	984	773
1008	600	1008	600	1008	306	1008	687
1032	733	1032	961	1032	981	1032	1139
1056	727	1056	907	1056	912	1056	1113
1080	701	1080	852	1080	848	1080	1007
1104	697	1104	798	1104	802	1104	1002
1128	686	1128	722	1128	781	1128	1041
1152	671	1152	682	1152	696	1152	1067
1176	675	1176	644	1176	518	1176	1084
1200	1000	1200	831	1200	1270	1200	1235
1224	922	1224	746	1224	696	1224	1182
1248	1050	1248	933	1248	822	1248	1258
1272	993	1272	1015	1272	827	1272	1233
1296	1036	1296	1100	1296	897	1296	1380
1320	977	1320	947	1320	773	1320	1184
1344	1075	1344	1034	1344	870	1344	1203
1368	1133	1368	1156	1368	973	1368	1364
1392	1192	1392	1171	1392	870	1392	1377

ΓΙΑ Η20

ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΒ(0)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΒΣ(0)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΔ(0)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΔ(0)
0	1085	0	1851	0	1138	0	2504
1	1411	1	1340	1	1059	1	1847
2	1356	2	1286	2	949	2	1604
3	1335	3	1272	3	951	3	1652
4	1324	4	1273	4	1018	4	1646
5	1311	5	1274	5	1011	5	1625
6	1300	6	1275	6	1014	6	1615
7	1286	7	1270	7	1017	7	1618
8	1285	8	1268	8	1015	8	1616
24	1158	24	1206	24	1006	24	1470
25	1151	25	1197	25	1009	25	1467
26	1141	26	1203	26	1013	26	1459
27	1134	27	1198	27	1011	27	1448
28	1125	28	1189	28	1005	28	1431
29	1098	29	1174	29	939	29	1428
30	1091	30	1167	30	987	30	1402
31	1090	31	1170	31	985	31	1406
32	1084	32	1173	32	1000	32	1398
33	1074	33	1168	33	987	33	1365
48	1084	48	1229	48	1062	48	1415
49	1012	49	1187	49	1059	49	1394
50	999	50	1172	50	1016	50	1346
51	996	51	1169	51	1025	51	1329
52	986	52	1160	52	1039	52	1370
53	978	53	1151	53	995	53	1314
54	964	54	1150	54	937	54	1304
55	952	55	1131	55	981	55	1298
72	932	72	1137	72	988	72	1261
73	966	73	1169	73	931	73	1272
74	912	74	1126	74	1001	74	1281
75	907	75	1114	75	1073	75	1254
76	895	76	1100	76	1041	76	1250
77	890	77	1247	77	990	77	1264
78	898	78	1111	78	969	78	1243

79	887	79	1113	79	970	79	1229
80	895	80	1102	80	961	80	1236
96	1156	96	1152	96	1146	96	1529
97	919	97	1154	97	1033	97	1232
98	911	98	1144	98	1022	98	1280
120	932	120	1191	120	1072	120	1412
121	946	121	1220	121	1070	121	1346
122	942	122	1216	122	1357	122	1628
144	1056	144	1272	144	1250	144	1523
145	972	145	1250	145	1110	145	1368
146	968	146	1231	146	1219	146	1496
168	1071	168	1367	168	1308	168	1577
169	1065	169	1307	169	1300	169	1571
170	1002	170	1303	170	1186	170	1441
192	1000	192	1202	192	1159	192	1418
216	826	216	1043	216	990	216	1179
264	847	264	1071	264	1044	264	1340
312	872	312	1015	312	975	312	1100
360	968	360	1076	360	935	360	1303
408	916	408	1095	408	968	408	1339
432	939	432	1226	432	1109	432	1419
433	1079	433	1261	433	1052	433	1374
434	969	434	1223	434	1056	434	1361
480	974	480	1233	480	1105	480	1418
481	944	481	1253	481	1008	481	1394
482	943	482	1192	482	1100	482	1450
960	1250	960	2906	960	1225	960	1565
984	1411	984	1792	984	1632	984	2793
1008	1307	1008	1654	1008	1589	1008	2591
1032	1196	1032	1967	1032	1570	1032	1792
1056	1162	1056	1651	1056	1507	1056	1831
1080	1178	1080	1589	1080	1478	1080	1856
1104	1060	1104	1536	1104	1547	1104	1907
1128	1199	1128	1503	1128	1441	1128	2054
1152	1257	1152	1467	1152	1502	1152	2100
1176	1268	1176	1480	1176	1568	1176	2132
1200	1298	1200	1360	1200	1636	1200	1940
1224	1376	1224	1661	1224	1607	1224	1882
1248	1341	1248	1628	1248	1657	1248	1940
1272	1366	1272	1797	1272	1643	1272	1902
1296	1365	1296	1810	1296	1651	1296	2105
1320	1337	1320	1885	1320	1665	1320	1950
1344	1297	1344	1893	1344	1790	1344	2011
1368	1240	1368	1878	1368	1817	1368	2075
1392	1284	1392	1778	1392	1734	1392	2024

0.5%
GIA NaCl

ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ AB(Ω)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ BC(Ω)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ CD(Ω)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ AD(Ω)
734	516	734	867	734	704	734	777
744	526	744	889	744	744	744	900
758	558	758	901	758	686	758	843
768	595	768	902	768	707	768	871
782	597	782	936	782	711	782	869
794	633	794	939	794	736	794	903
806	615	806	962	806	744	806	910
818	661	818	972	818	771	818	946
830	652	830	1002	830	755	830	952
842	715	842	1019	842	781	842	988
856	649	856	868	856	691	856	844
879	471	879	771	879	686	879	796
902	609	902	867	902	786	902	981
903	533	903	866	903	673	903	814
904	544	904	865	904	671	904	878
905	553	905	874	905	678	905	855
926	619	926	914	926	736	926	931
927	615	927	947	927	801	927	938
928	624	928	967	928	779	928	982
929	627	929	900	929	799	929	908
950	631	950	979	950	763	950	966
951	635	951	965	951	778	951	966
952	636	952	982	952	767	952	967
953	630	953	978	953	794	953	987
974	656	974	1002	974	760	974	981
975	661	975	985	975	756	975	934
976	340	976	643	976	469	976	618
977	413	977	650	977	518	977	715
998	614	998	960	998	909	998	1223
999	610	999	925	999	718	999	902
1000	598	1000	933	1000	726	1000	911
1001	590	1001	916	1001	748	1001	909
1024	594	1024	993	1024	743	1024	910
1025	630	1025	973	1025	707	1025	1028

1146	744	1146	1027	1146	822	1146	1025
1168	690	1168	1044	1168	821	1168	1058
1169	760	1169	1120	1169	784	1169	1027
1170	889	1170	1034	1170	778	1170	1134
1408	425	1408	746	1408	500	1408	579
1409	375	1409	696	1409	518	1409	643
1410	385	1410	721	1410	494	1410	639
1432	418	1432	549	1432	345	1432	691
1433	451	1433	639	1433	371	1433	705
1434	461	1434	675	1434	1020	1434	1373
1456	586	1456	886	1456	622	1456	950
1457	598	1457	895	1457	761	1457	1044
1458	599	1458	909	1458	667	1458	982
1480	728	1480	1072	1480	796	1480	1233
1481	743	1481	1037	1481	774	1481	1091
1482	728	1482	1041	1482	768	1482	1066
1504	789	1504	1122	1504	868	1504	1134
1505	884	1505	1145	1505	814	1505	1237
1506	786	1506	1116	1506	820	1506	1150
1528	812	1528	1184	1528	888	1528	1218
1529	852	1529	1229	1529	887	1529	1216
1530	802	1530	1142	1530	854	1530	1118
1552	486	1552	707	1552	505	1552	810
1553	497	1553	724	1553	528	1553	847
1554	504	1554	739	1554	539	1554	855
1576	639	1576	926	1576	760	1576	1010
1577	637	1577	923	1577	690	1577	990
1578	626	1578	907	1578	670	1578	988
1600	904	1600	1216	1600	982	1600	1273
1601	049	1601	1205	1601	1012	1601	1375
1602	883	1602	1241	1602	925	1602	1299
1624	873	1624	1244	1624	958	1624	1302
1625	862	1625	1236	1625	967	1625	1305
1626	873	1626	1237	1626	938	1626	1278
1648	872	1648	1122	1648	891	1648	1253

1649	647	1649	957	1649	740	1649	845
1650	545	1650	842	1650	626	1650	834
1672	750	1672	1118	1672	868	1672	1196
1673	750	1673	1103	1673	862	1673	1199
1674	687	1674	995	1674	811	1674	1061
1696	485	1696	707	1696	528	1696	821
1697	495	1697	710	1697	537	1697	842
1698	517	1698	737	1698	549	1698	856
1720	752	1720	1085	1720	890	1720	1243
1721	746	1721	1087	1721	844	1721	1185
1722	755	1722	1091	1722	854	1722	1202
1744	457	1744	603	1744	232	1744	609
1745	448	1745	513	1745	243	1745	630
1746	445	1746	520	1746	246	1746	625
1816	525	1816	741	1816	588	1816	907
1817	524	1817	750	1817	546	1817	889
1818	538	1818	760	1818	569	1818	917
1819	521	1819	751	1819	555	1819	902

για H2O

ΩΡΑ	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΒ(Ω)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΒΣ(Ω)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΔ(Ω)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΛΔ(Ω)	
09:30:00 AM		734	994	734	1319	734	1532	734	1897
05:00:00 PM		744	981	744	1330	744	1444	744	1848
09:00:00 AM		758	1008	758	1335	758	1460	758	1855
05:00:00 PM		768	1009	768	1371	768	1522	768	2055
09:00:00 AM		782	1024	782	1382	782	1504	782	2045
05:00:00 PM		794	1035	794	1399	794	1549	794	2077
09:00:00 AM		806	1042	806	1394	806	1556	806	2057
05:00:00 PM		818	1050	818	1420	818	1500	818	2131
09:00:00 AM		830	1055	830	1422	830	1598	830	2148
05:00:00 PM		842	1062	842	1457	842	1600	842	2155
11:00:00 AM		856	1121	856	1477	856	1643	856	2126
01:00:00 PM		879	1085	879	1435	879	1598	879	2052
11:30:00 AM		902	1139	902	1463	902	1619	902	2101
12:30:00 PM		903	1119	903	1443	903	1602	903	2131
01:30:00 PM		904	1096	904	1442	904	1603	904	2064
02:30:00 PM		905	1091	905	1443	905	1602	905	2064
11:30:00 AM		926	1113	926	1480	926	1670	926	2135
12:30:00 PM		927	1139	927	1475	927	1643	927	2131
01:30:00 PM		928	1124	928	1475	928	1711	928	2162
02:30:00 PM		929	1140	929	1477	929	1645	929	2117
11:30:00 AM		950	1124	950	1495	950	1656	950	2179
12:30:00 PM		951	1138	951	1496	951	1660	951	2180
01:30:00 PM		952	1179	952	1498	952	1713	952	2144
02:30:00 PM		953	1121	953	1494	953	1654	953	2135
11:30:00 AM		974	1156	974	1523	974	1701	974	2214
12:30:00 PM		975	1197	975	1515	975	1699	975	2187
01:30:00 PM		976	1147	976	1512	976	1702	976	2254
02:30:00 PM		977	1168	977	1519	977	1787	977	2221
12:00:00 PM		998	1241	998	1539	998	1790	998	2547
01:00:00 PM		999	1278	999	1763	999	1779	999	2313
02:00:00 PM		1000	1238	1000	1681	1000	1766	1000	2282
03:00:00 PM		1001	1194	1001	1679	1001	1872	1001	2273
12:00:00 PM		1024	1261	1024	1648	1024	1733	1024	2272
01:00:00 PM		1025	1283	1025	1654	1025	1737	1025	2259

02:00:00 PM	1026	1303	1026	1636	1026	1762	1026	2279
03:00:00 PM	1027	1184	1027	1596	1027	1736	1027	2247
01:00:00 PM	1049	1225	1049	1609	1049	1801	1049	2330
02:00:00 PM	1050	1269	1050	1607	1050	1796	1050	2328
03:00:00 PM	1051	1222	1051	1641	1051	1829	1051	2321
01:30:00 PM	1073	1222	1073	1591	1073	1808	1073	2328
02:30:00 PM	1074	1282	1074	1661	1074	1807	1074	2363
03:30:00 PM	1075	1238	1075	1624	1075	1892	1075	2294
12:30:00 PM	1096	1209	1096	1645	1096	1827	1096	2344
01:30:00 PM	1097	1203	1097	1568	1097	1751	1097	2262
02:30:00 PM	1098	1189	1098	1629	1098	1817	1098	2245
01:00:00 PM	1120	1208	1120	1580	1120	1757	1120	2292
02:00:00 PM	1121	1204	1121	1577	1121	1762	1121	2364
03:00:00 PM	1122	1204	1122	1579	1122	1766	1122	2398
01:00:00 PM	1144	1233	1144	1622	1144	1793	1144	2329
02:00:00 PM	1145	1235	1145	1616	1145	1798	1145	2334
03:00:00 PM	1146	1366	1146	1717	1146	1803	1146	2330
01:00:00 PM	1168	1255	1168	1645	1168	1830	1168	2386
02:00:00 PM	1169	1252	1169	1638	1169	1823	1169	2371
03:00:00 PM	1170	1258	1170	1642	1170	1820	1170	2376
12:30:00 PM	1408	1720	1408	2242	1408	2375	1408	2964
01:30:00 PM	1409	1556	1409	2065	1409	2439	1409	2903
02:30:00 PM	1410	1548	1410	2073	1410	2340	1410	2927
12:30:00 PM	1432	1613	1432	2045	1432	2257	1432	2894
01:30:00 PM	1433	1711	1433	2167	1433	2272	1433	2965
02:30:00 PM	1434	1573	1434	2178	1434	2440	1434	2895
12:30:00 PM	1456	1511	1456	1842	1456	2203	1456	2872
01:30:00 PM	1457	1488	1457	1879	1457	2218	1457	2812
02:30:00 PM	1458	1488	1458	1824	1458	2084	1458	2746
12:30:00 PM	1480	1438	1480	1819	1480	2065	1480	2599
01:30:00 PM	1481	1440	1481	1820	1481	2041	1481	2595
02:30:00 PM	1482	1437	1482	1806	1482	2077	1482	2717
12:30:00 PM	1504	1460	1504	1851	1504	2059	1504	2595

01:30:00 PM	1505	1465	1505	1836	1505	2086	1505	2735
02:30:00 PM	1506	1531	1506	1913	1506	2062	1506	2697
12:00:00 PM	1528	1540	1528	1952	1528	2145	1528	2800
01:00:00 PM	1529	1624	1529	2025	1529	2142	1529	2805
02:00:00 PM	1530	1521	1530	1903	1530	2136	1530	2772
12:30:00 PM	1552	1406	1552	1733	1552	2159	1552	2755
01:30:00 PM	1553	1429	1553	1801	1553	2012	1553	2665
02:30:00 PM	1554	1404	1554	1799	1554	1996	1554	2620
09:30:00 AM	1576	1482	1576	1872	1576	2009	1576	2621
10:30:00 AM	1577	1386	1577	1767	1577	1986	1577	2590
11:30:00 AM	1578	1387	1578	1735	1578	1975	1578	2565
12:30:00 PM	1600	1522	1600	1968	1600	2224	1600	2873
01:30:00 PM	1601	1537	1601	1981	1601	2323	1601	2911
02:30:00 PM	1602	1499	1602	1909	1602	2176	1602	2010
12:30:00 PM	1624	1538	1624	1987	1624	2229	1624	2885
01:30:00 PM	1625	1538	1625	1964	1625	2282	1625	2936
02:30:00 PM	1626	1522	1626	1981	1626	2184	1626	2833
01:00:00 PM	1648	1518	1648	1957	1648	2158	1648	2805
02:00:00 PM	1649	1485	1649	1835	1649	2112	1649	2723
03:00:00 PM	1650	1461	1650	1837	1650	2107	1650	2797
11:00:00 AM	1672	1373	1672	1915	1672	1824	1672	2347
12:00:00 PM	1673	1344	1673	1822	1673	1858	1673	2423
01:00:00 PM	1674	1313	1674	1806	1674	1796	1674	2313
10:00:00 AM	1696	1341	1696	1818	1696	1824	1696	2379
11:00:00 AM	1697	1339	1697	1815	1697	1845	1697	2426
12:00:00 PM	1698	1345	1698	1912	1698	1910	1698	2370
12:30:00 PM	1720	1469	1720	2045	1720	2133	1720	2658
01:30:00 PM	1721	1458	1721	1940	1721	2039	1721	2664
02:30:00 PM	1722	1465	1722	1936	1722	2042	1722	2638
12:30:00 PM	1744	1316	1744	1839	1744	1785	1744	2342
01:30:00 PM	1745	1294	1745	1744	1745	1633	1745	2287
02:30:00 PM	1746	1279	1746	1729	1746	1614	1746	2260
02:30:00 PM	1816	1285	1816	1707	1816	1806	1816	2424
03:30:00 PM	1817	1278	1817	1715	1817	1789	1817	2532
04:30:00 PM	1818	1285	1818	1707	1818	1884	1818	2511
05:30:00 PM	1819	1276	1819	1700	1819	1854	1819	2501

ANODIKI FORTISI
 GIA O.1%
 NaCl

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΒ(Ω)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΒC(Ω)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ CD(Ω)	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑD(Ω)
2557	0	1369	0	1081	0	1081
631	1	733	1	670	1	670
660	2	772	2	674	2	674
620	3	719	3	583	3	583
573	4	631	4	555	4	555
565	5	766	5	610	5	610
561	6	621	6	642	6	642
554	7	638	7	636	7	636
552	8	636	8	535	8	535
669	24	660	24	489	24	489
561	25	576	25	494	25	494
597	26	633	26	569	26	569
543	27	728	27	483	27	483
555	28	593	28	492	28	492
530	29	571	29	471	29	003
543	30	570	30	472	30	804
560	31	573	31	471	31	803
569	32	590	32	470	32	779
544	33	590	33	472	33	854
690	48	629	48	474	48	895
554	49	594	49	488	49	810
563	50	595	50	483	50	003
520	51	696	51	475	51	790
569	52	625	52	458	52	787
513	53	593	53	455	53	782
510	54	581	54	442	54	761
624	55	666	55	466	55	837
531	72	617	72	481	72	814
551	73	655	73	461	73	804
660	74	633	74	464	74	820
532	75	625	75	450	75	817
502	76	573	76	469	76	814
648	77	621	77	448	77	793
515	78	805	78	450	78	787

513	79	587	79	441	79	735
977	80	387	80	314	80	631
523	96	545	96	305	96	638
519	97	427	97	329	97	619
727	98	744	98	635	98	983
579	120	615	120	508	120	830
590	121	617	121	409	121	841
620	122	589	122	418	122	750
785	144	603	144	424	144	730
744	145	548	145	539	145	854
731	146	776	146	669	146	1002
688	168	749	168	769	168	1133
687	169	735	169	632	169	1000
365	170	221.5	170	241.9	170	549
395	192	320	192	208	192	434
403	216	183	216	201	216	442
509	264	570	264	462	264	845
705	312	657	312	472	312	945
836	360	776	360	508	360	1053
534	408	368	408	327	408	653
618	432	459	432	357	432	750
583	433	441	433	371	433	741
593	434	463	434	405	434	752
315	960	361	960	340	960	342
2044	984	823	984	1615	984	2215
2761	1008	651	1008	1039	1008	2016
593	1032	729	1032	587	1032	930
604	1056	787	1056	578	1056	981
601	1080	801	1080	632	1080	1003
607	1104	829	1104	667	1104	1031
633	1128	852	1128	697	1128	991
642	1152	861	1152	609	1152	1017
653	1176	882	1176	653	1176	1032

630	1200	880	1200	667	1200	1072
851	1224	912	1224	623	1224	1149
910	1248	898	1248	898	1248	1438
897	1272	925	1272	932	1272	1252
819	1296	819	1296	563	1296	1159
1050	1320	1059	1320	652	1320	1107
1013	1344	1032	1344	703	1344	1250
827	1368	901	1368	682	1368	1648
831	1392	872	1392	692	1392	1279

Afaireseis 0.1%

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΒ(Ω)I20	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΒ(Ω)NaCl	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΒI20-ΑΒNaCl
2190	561	0	1629
2191	394	1	1797
2192	397	2	1805
2193	382	3	1811
2194	384	4	1810
1517	389	5	1128
1526	388	6	1138
1522	393	7	1129
1518	388	8	1130
1456	390	24	1066
1449	390	25	1059
1423	309	26	1034
1413	389	27	1024
1414	390	28	1034
1395	386	29	1010
1362	387	30	975
1395	387	31	1008
1348	390	32	958
1339	387	33	952
1262	396	48	866
1235	397	49	838
1278	391	50	887
1224	398	51	826
1188	384	52	804
1172	392	53	780
1160	385	54	775
1142	379	55	763
1108	388	72	720
1097	394	73	703
1092	386	74	706
1077	389	75	688
1077	384	76	688
1070	380	77	690
1071	389	78	682
1061	380	79	681
1057	389	80	668
1106	450	96	656
1099	373	97	726
1052	384	98	668
1092	431	122	661
1126	414	144	712
1200	451	145	749
1146	425	146	721
1177	544	168	633
1206	538	169	668
1179	575	170	604
1129	516	192	613
1012	479	216	533
1002	469	217	533
893	462	264	431
957	452	312	505
913	446	360	467
981	531	408	450
1047	601	432	446
1084	571	433	513

1047	528	434	419
1143	562	480	481
1146	547	481	499
1062	532	482	430
1217	547	960	670
1573	565	984	1008
1401	502	1008	999
1438	542	1032	896
1407	578	1056	829
1375	509	1080	766
1359	566	1104	693
1347	581	1128	666
1291	599	1152	592
1246	791	1176	455
1455	1049	1200	406
1491	1015	1224	476
1480	1013	1248	467
1477	1022	1272	455
1446	1048	1296	398
1390	949	1320	441
1407	953	1344	454
1421	1079	1368	342
1502	1097	1392	405
ANTISTASH RC(O)H2O	ANTISTASH RC(O)NaCl	XPONOF	RC.H2O-RCNaCl
1771	844	0	327
1060	511	1	549
1057	482	2	575
1070	479	3	591
1107	477	4	530
1112	478	5	534
1129	478	6	551
1137	477	7	555
1129	476	8	553
1214	474	24	740
1196	494	25	702
1107	474	26	710
1179	471	27	708
1172	470	28	702
1178	469	29	707
1170	466	30	704
1169	469	31	700
1166	468	32	598
1164	466	33	598
1109	512	40	577
1174	478	49	595
1170	612	50	559
1171	485	51	598
1147	471	52	575
1135	465	53	570
1191	476	54	715
1120	466	55	554
1191	470	72	710
1123	471	73	552
1114	475	74	539
1107	463	75	544
1100	463	76	537
1098	462	77	538
1104	474	78	530
1150	488	79	552
1093	400	80	510
1469	545	96	324
1117	460	97	557
1118	459	98	559

1164	528	122	636
1145	549	144	596
1145	523	145	622
1153	538	146	615
1210	652	168	558
1253	651	169	602
1222	710	170	512
1220	597	192	623
1081	555	216	525
1011	559	217	452
927	560	264	367
956	555	312	401
987	535	360	451
1062	634	408	428
1109	738	432	371
1111	715	433	395
1118	761	434	357
1178	803	480	375
1232	764	481	468
1153	759	482	394
1301	487	960	814
1519	767	984	752
1524	709	1008	815
1424	759	1032	665
1421	792	1056	629
1420	827	1080	593
1475	859	1104	616
1425	869	1128	556
1401	899	1152	502
1469	924	1176	545
1548	1215	1200	332
1595	1187	1224	408
1580	1234	1248	346
1576	1199	1272	377
1533	1462	1296	71
1441	1199	1320	242
1492	1203	1344	289
1560	1280	1368	280
1674	1305	1392	368

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ CD(Ω)H ₂ O	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ CD(Ω)NaCl	ΧΡΟΝΟΣ	CDH ₂ O-CDNaCl
1597	686	0	911
1018	329	1	689
1060	318	2	742
1060	318	3	742
1083	321	4	762
1100	319	5	781
1113	336	6	777
1111	323	7	788
1198	319	8	879
1201	348	24	853
1184	342	25	842
1163	340	26	823
1154	338	27	816
1147	339	28	808
1139	338	29	801
1142	337	30	805
1130	335	31	795
1129	335	32	794
1125	339	33	786
1126	351	48	775
1104	344	49	760
1103	339	50	764

1092	336	51	756
1085	338	52	747
1067	334	53	733
1056	356	54	700
1041	350	55	691
1026	327	72	699
1031	328	73	703
1033	334	74	699
1007	334	75	673
1005	327	76	678
999	328	77	671
1010	334	78	676
1056	343	79	713
988	332	80	656
1278	366	96	912
966	329	97	637
958	333	98	625
992	387	120	605
1004	413	121	591
1046	374	122	672
981	368	144	613
970	395	145	575
1001	415	146	586
1048	502	168	546
1041	481	169	560
998	542	170	456
999	440	192	559
828	411	216	417
804	405	217	399
753	406	264	347
854	400	312	454
786	380	360	406
847	487	408	360
889	553	432	336
919	536	433	383
903	556	434	347
922	608	480	314
917	580	481	337
913	592	482	321
1126	298.1	960	827.9

1229	654	934	575
1119	587	1008	532
1143	735	1032	408
1120	767	1056	353
1125	752	1080	373
1157	772	1104	365
1148	761	1128	387
1139	754	1152	365
1136	773	1176	363
1251	954	1200	297
1248	1264	1224	-16
1238	993	1248	245
1255	987	1272	268
2236	1008	1296	1228
2573	938	1320	1635
2113	1005	1344	1108
1271	1041	1368	230
1288	1155	1392	133

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ AD(O)H ₂ O	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ AD(O)NaCl	ΧΡΟΝΟΣ	ADH ₂ O-ADNaCl	
3220	647		0	2573
2217	575		1	1642
2142	490		2	1652
2119	488		3	1631
2127	495		4	1632
2115	491		5	1624
2120	514		6	1636
2118	496		7	1622
2114	493		8	1621
1991	477		24	1514
1974	500		25	1474
1985	482		26	1533
1929	529		27	1400
1930	487		28	1443
1897	479		29	1418
1876	475		30	1431
1882	480		31	1402
1865	478		32	1397
1849	482		33	1357
1760	504		48	1256
1742	507		49	1235
1717	502		50	1215
1702	497		51	1235
1671	499		52	1172
1662	493		53	1159
1646	487		54	1159
1638	491		55	1147
1569	502		72	1057
1614	500		73	1114
1554	511		74	1043
1547	507		75	1045
1540	504		76	1036
1537	497		77	1040
1590	510		78	1030
1523	497		79	1026
1509	495		80	1014
1624	561		96	1053
1557	521		97	1036
1546	555		98	991
1580	957		120	623
1597	668		121	929
1692	611		122	1081
1610	639		144	971
1646	635		145	1011
1573	630		146	943
1677	802		168	875
1702	745		169	957
1663	775		170	888
1665	708		192	957
1417	866		216	551
1333	650		217	683
1284	891		264	393
1205	846		312	359
1363	704		360	659
1556	771		408	785
1544	883		432	661

1539	831	433	708
1557	851	434	706
1764	953	480	811
1679	972	481	707
1562	1009	482	553
1755	525	960	1229
2090	949	984	1141
1997	895	1008	1102
2260	934	1032	1326
2350	982	1056	1368
2400	1017	1080	1383
2450	1094	1104	1356
2481	1119	1128	1362
2524	1183	1152	1341
2535	1240	1176	1295
2510	1584	1200	926
2153	1452	1224	701
2095	1464	1248	631
2144	1472	1272	672
2337	1519	1296	818
2123	1306	1320	817
2034	1405	1344	629
2089	1644	1368	445
2153	1632	1392	521

afaireseis gia 0.3%

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ AB(Ω)H ₂ O	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ AB(Ω)NaCl	ΧΡΟΝΟΣ	ABH ₂ O-ABNaCl	
1985	427		0	1558
1411	370		1	1041
1356	351		2	1005
1335	348		3	967
1324	345		4	979
1311	346		5	965
1300	348		6	952
1286	344		7	942
1285	341		8	944
1158	352		24	806
1151	356		25	795
1141	353		26	788
1134	363		27	771
1125	358		28	767
1098	348		29	750
1091	347		30	744
1090	348		31	742
1084	347		32	737
1074	345		33	729
1084	361		48	723
1012	356		49	656
999	353		50	646
996	352		51	644
986	380		52	606
976	355		53	621
964	378		54	586
952	364		55	588
932	359		72	573
966	358		73	608
912	355		74	557
902	354		75	548
895	345		76	550
890	331		77	559
898	352		78	546
887	380		79	507
885	350		80	535
1156	380		96	776
919	384		97	535
911	369		98	552
932	463		120	463
946	419		121	527
942	396		122	546
1056	396		144	660
972	425		145	547
968	425		146	543
1031	542		168	489
1065	537		169	528
1002	516		170	486
1000	480		192	520
826	449		216	377
842	402		264	380
872	436		312	437

968	425	360	543
916	515	408	401
939	652	432	287
1019	593	433	426
989	664	434	325
974	734	480	240
944	624	481	320
943	671	482	272
1250	336	960	914
1411	870	984	541
1307	809	1008	498
1196	733	1032	463
1162	727	1056	435
1178	701	1080	477
1080	697	1104	383
1199	686	1128	513
1257	671	1152	586
1266	675	1176	591
1298	1000	1200	298
1376	922	1224	454
1341	1050	1248	291
1366	993	1272	373
1365	1096	1296	269
1337	977	1320	360
1297	1075	1344	222
1240	1133	1368	107
1264	1192	1392	92
ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΒC(O)H₂O	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΒC(O)NaCl	ΧΡΟΝΟΣ	ΒCΗ₂O ΒCNaCl
1851	417	0	1434
1340	393	1	947
1286	381	2	905
1272	381	3	891
1273	381	4	892
1274	382	5	892
1275	379	6	895
1270	374	7	895
1260	371	8	897
1205	380	24	825
1197	378	25	819
1203	379	26	824
1198	380	27	818
1189	379	28	810
1174	373	29	801
1167	371	30	795
1170	380	31	793
1173	375	32	798
1168	371	33	797
1229	394	48	835
1187	383	49	804
1172	381	50	791

1169	379	51	790
1160	402	52	758
1151	384	53	767
1150	409	54	741
1131	401	55	730
1137	395	72	742
1169	397	73	772
1125	426	74	699
1114	382	75	732
1100	374	76	726
1247	357	77	890
1111	387	78	724
1113	386	79	727
1102	380	80	722
1152	401	96	751
1154	449	97	705
1144	386	98	758
1191	557	120	634
1278	517	121	711
1216	425	122	791
1272	398	144	874
1250	450	145	800
1231	438	146	793
1362	571	168	791
1307	571	169	736
1303	547	170	756
1202	500	192	694
1043	460	216	575
1021	510	264	503
1015	502	312	513
1076	414	360	662
1095	470	408	625
1226	638	432	588
1261	630	433	631
1223	678	434	545
1233	735	480	498
1253	650	481	603
1192	702	482	490
2906	276	960	2630
1792	761	984	1031
1651	699	1008	955
1667	961	1032	606
1651	907	1056	644
1689	862	1080	737
1536	798	1104	738
1503	722	1128	781
1467	682	1152	785
1480	644	1176	836
1360	831	1200	529
1661	746	1224	915
1020	993	1248	035
1797	1015	1272	782
1810	1100	1296	710
1685	947	1320	738
1693	1034	1344	659
1679	1166	1368	623
1779	1171	1392	608

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ CD(Ω)H ₂ O	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ CD(Ω)NaCl	ΧΡΟΝΟΣ	CDH ₂ O-CDNaCl
1138	1215	0	-77
1059	474	1	585
949	435	2	514
961	312	3	649
1018	302	4	716
1011	309	5	702
1014	302	6	712
1017	298	7	719
1015	293	8	722
1005	304	24	701
1009	301	25	708
1013	304	26	709
1011	338	27	673
1005	290	28	707
999	294	29	705
987	293	30	694
995	303	31	692
1000	295	32	705
987	300	33	687
1082	310	48	772
1059	295	49	764
1016	292	50	724
1025	294	51	731
1039	305	52	734
995	290	53	705
997	307	54	690
981	300	55	681
900	292	72	696
991	330	73	661
1001	296	74	705
1023	293	75	730
1041	290	76	751
990	293	77	702
969	296	78	673
970	285	79	685
981	287	80	694
1146	303	96	843
1033	329	97	704
1072	296	98	776
1072	399	120	673
1078	422	121	666
1357	367	122	990
1250	398	144	852
1110	345	145	765
1219	330	146	889
1308	503	168	805
1300	439	169	861
1186	444	170	742
1169	392	192	777
990	394	216	596

1044	377	264	667
975	364	312	611
935	336	360	599
988	382	408	606
1109	708	432	401
1052	606	433	646
1056	525	434	531
1105	680	480	625
1088	532	481	556
1100	520	482	580
1225	260.9	960	964.1
1632	391	984	1241
1598	306	1008	1293
1530	981	1032	549
1507	912	1056	595
1478	848	1080	630
1547	802	1104	745
1441	781	1128	660
1502	699	1152	803
1568	519	1176	1049
1636	1270	1200	366
1607	599	1224	1008
1657	822	1248	835
1643	927	1272	716
1651	897	1296	754
1665	773	1320	892
1790	870	1344	920
1817	973	1368	844
1734	970	1392	764

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ AD(Ω)H ₂ O	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ AD(Ω)NaCl	ΧΡΟΝΟΣ	ADH ₂ O-ADNaCl
2534	546	0	2048
1847	541	1	1206
1684	309	2	1375
1652	432	3	1220
1648	429	4	1217
1625	441	5	1184
1615	427	6	1188
1618	422	7	1196
1615	419	8	1197
1470	419	24	1051
1462	419	25	1043
1459	419	26	1040
1448	471	27	977
1431	454	28	977
1428	432	29	996
1402	416	30	984
1405	436	31	968
1398	415	32	983
1385	414	33	971
1415	429	48	986
1394	425	49	969
1346	422	50	924
1329	421	51	908
1370	473	52	897
1314	433	53	881
1304	446	54	858
1298	431	55	867
1281	436	72	843
1272	474	73	798
1261	443	74	838
1254	484	75	770
1250	470	76	780

1243	436	78	807
1229	438	79	791
1236	437	80	799
1529	549	96	980
1282	479	97	813
1280	467	98	813
1412	703	120	709
1346	688	121	653
1628	549	122	1079
1523	608	144	915
1368	527	145	841
1496	578	146	913
1507	678	168	829
1671	671	169	900
1441	685	170	756
1418	616	192	802
1179	611	216	663
1940	616	264	1324
1100	610	312	490
1303	592	360	711
1339	696	408	644
1419	1005	432	414
1374	787	433	687
1361	807	434	554
1418	904	480	514
1394	832	481	562
1460	839	482	611
1685	510	960	1075
2793	773	984	2020
2691	687	1008	1904
1792	1139	1032	653
1831	1113	1056	713
1866	1087	1080	779
1907	1002	1104	905
2054	1041	1128	1013

2100	1067	1152	1033
2132	1084	1176	1048
1940	1235	1200	705
1882	1182	1224	700
1940	1258	1248	682
1902	1233	1272	669
2105	1380	1296	725
1950	1184	1320	766
2011	1203	1344	808
2075	1394	1368	681
2024	1377	1392	647

afaireseis gia 0.5%

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΒ(Ω)Η20	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΒ(Ω)ΝαCl	ΧΡΟΝΟΣ	ΑΒΗ20-ΑΒΝαCl
994	516	734	470
981	566	744	415
1008	558	758	490
1009	595	768	414
1024	587	782	437
1036	633	794	402
1042	615	806	427
1053	661	818	392
1066	662	830	403
1062	705	842	357
1121	549	856	572
1085	471	879	614
1133	609	902	524
1119	533	903	586
1096	544	904	552
1091	553	905	538
1113	619	926	494
1139	615	927	524
1124	624	928	500
1140	677	929	513
1124	631	950	493
1138	636	951	603
1179	636	952	543
1121	630	953	491
1166	666	971	600
1197	661	975	536
1147	340	976	607
1168	413	977	746
1241	614	998	627
1278	610	999	668
1238	698	1000	640
1194	590	1001	604
1261	594	1024	667
1283	630	1025	653
1303	612	1026	691
1184	722	1027	462
1226	614	1049	411
1269	736	1050	624
1222	707	1051	616
1222	656	1073	566
1202	671	1074	611
1228	693	1075	535
1209	679	1096	530
1203	452	1097	751
1189	428	1098	761
1208	589	1120	619
1204	628	1121	676
1204	670	1122	634
1233	647	1144	586
1236	671	1145	564
1366	744	1146	622
1255	690	1168	565
1252	760	1169	492
1268	689	1170	589
1730	476	1408	1794
1566	376	1409	1180
1648	385	1410	1163
1613	418	1432	1195
1711	451	1433	1260
1673	461	1434	1112

1511	586	1456	925
1488	598	1457	890
1488	599	1458	889
1438	728	1480	710
1440	743	1481	697
1437	728	1482	709
1460	789	1504	671
1465	884	1505	581
1531	786	1506	745
1540	812	1528	728
1624	852	1529	772
1521	802	1530	719
1406	486	1552	920
1429	497	1553	932
1404	504	1554	900
1482	639	1576	843
1386	637	1577	749
1387	626	1578	761
1522	904	1600	618
1537	849	1601	688
1499	883	1602	616
1538	873	1624	665
1538	862	1625	676
1522	873	1626	649
1518	872	1648	646
1485	647	1649	838
1461	545	1650	916
1373	760	1672	613
1344	760	1673	584
1313	687	1674	626
1341	485	1696	856
1339	495	1697	844
1345	517	1698	828
1469	752	1720	717

1465	755	1722	710
1315	457	1744	858
1294	448	1745	846
1279	445	1746	834
1285	525	1816	760
1278	524	1817	754
1285	538	1818	747
1276	521	1819	755

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ BC(Ω)H₂O	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ BC(Ω)NaCl	ΧΡΟΝΟΣ	BC_{H2O}-BC_{NaCl}
1319	887	734	432
1390	889	744	501
1335	901	758	434
1371	902	768	469
1362	936	782	426
1399	939	794	460
1394	962	806	432
1420	972	818	448
1422	1002	830	420
1457	1009	842	448
1477	868	856	609
1435	771	879	664
1463	867	902	596
1443	856	903	587
1442	865	904	577
1443	874	905	569
1480	944	926	536
1475	947	927	528
1475	957	928	518
1477	960	929	517
1485	979	950	506
1496	985	951	511
1488	982	952	506
1484	978	953	506

1515	985	975	530
1512	543	976	969
1519	660	977	869
1529	960	998	639
1763	926	999	838
1581	933	1000	648
1679	916	1001	763
1648	993	1024	655
1654	973	1025	601
1636	917	1026	689
1556	1013	1027	543
1609	1060	1049	549
1607	1100	1050	507
1641	1075	1051	566
1591	1015	1073	576
1661	1076	1074	675
1624	1024	1075	600
1645	1055	1096	590
1568	869	1097	709
1629	846	1098	783
1580	913	1120	667
1577	937	1121	640
1579	888	1122	691
1622	979	1144	643
1616	1000	1145	600
1717	1027	1146	690
1645	1044	1168	601
1638	1120	1169	518
1642	1034	1170	608
2242	746	1408	1496
2065	698	1409	1367
2073	771	1410	1352
2045	519	1432	1496
2187	639	1433	1548
2178	675	1434	1503
1842	886	1456	956
1879	895	1457	984
1824	909	1458	915
1819	1072	1480	747
1820	1097	1481	723
1806	1041	1482	765
1851	1122	1504	729
1886	1145	1505	741
1913	1116	1506	797
1952	1184	1528	768
2025	1229	1529	796
1903	1142	1530	761
1790	707	1552	1006
1801	721	1553	1077
1789	739	1554	1050
1872	926	1576	946
1767	923	1577	844
1766	907	1578	878
1968	1216	1600	752
1981	1705	1601	776
1939	1241	1602	698
1987	1244	1624	743
1984	1236	1625	748
1961	1237	1626	724
1957	1177	1648	835
1806	957	1649	938
1897	842	1650	1055
1915	1118	1672	797
1822	1103	1673	719
1806	995	1674	811
1818	707	1696	1111
1815	716	1697	1099

1912	737	1698	1175
2045	1085	1720	960
1940	1087	1721	853
1986	1091	1722	895
1899	503	1744	1396
1744	519	1745	1225
1729	520	1746	1209
1707	741	1816	966
1715	750	1817	965
1707	760	1818	947
1700	751	1819	949

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ CD(O)H ₂ O	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ CD(O)NaCl	ΧΡΟΝΟΣ	CDH ₂ O-CDNaCl
1532	704	734	828
1444	744	744	700
1460	686	758	774
1622	707	768	816
1504	711	782	793
1549	735	794	814
1556	744	806	812
1588	771	818	817
1598	755	830	843
1609	769	842	840
1643	691	856	952
1598	686	879	912
1619	786	902	833
1602	673	903	929
1603	671	904	932
1602	678	905	924
1670	736	926	934
1643	601	927	842
1711	779	928	932
1645	769	929	876
1658	763	950	893
1660	778	951	882
1713	762	952	951
1654	794	953	860
1701	760	974	941
1699	756	975	943
1702	469	976	1233
1787	518	977	1269
1790	909	998	881
1779	718	999	1061
1768	728	1000	1040
1872	748	1001	1124

1737	707	1025	1030
1762	739	1026	1023
1736	760	1027	976
1801	833	1049	968
1796	881	1050	915
1829	817	1051	1012
1808	791	1073	1017
1807	802	1074	1005
1092	787	1075	1105
1827	916	1096	911
1751	630	1097	1121
1817	649	1098	1168
1757	702	1120	1055
1782	722	1121	1060
1766	662	1122	1104
1793	738	1144	1055
1798	753	1145	1045
1803	822	1146	981
1830	821	1168	1009
1823	784	1169	1039

1820	778	1170	1042
2375	500	1408	1675
2439	518	1409	1821
2340	494	1410	1846
2257	346	1432	1911
2272	371	1433	1901
2440	1020	1434	1420
2203	622	1456	1681
2218	761	1457	1457
2084	667	1458	1417
2065	796	1480	1269
2041	774	1481	1267
2077	758	1482	1319
2059	868	1504	1191
2086	814	1505	1272
2062	820	1506	1242
2145	888	1528	1257
2142	887	1529	1255
2136	854	1530	1282
2159	505	1552	1654
2012	628	1553	1484
1986	539	1554	1457
2009	760	1576	1249
1986	690	1577	1296
1975	670	1578	1305
2224	982	1600	1242
2323	1012	1601	1311
2176	925	1602	1251
2229	958	1624	1271
2202	967	1625	1315
2184	938	1626	1248
2158	891	1648	1267
2112	740	1649	1372

2107	676	1650	1481
1824	868	1672	956
1858	862	1673	996
1796	811	1674	966
1824	528	1696	1296
1845	537	1697	1308
1910	549	1698	1361
2133	890	1720	1243
2039	844	1721	1196
2042	854	1722	1188
1785	232	1744	1553
1633	243	1745	1380
1614	246	1746	1368
1806	688	1816	1218
1789	546	1817	1243
1004	569	1818	1315
1054	555	1819	1299

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑD(O)H ₂ O	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑD(O)NaCl	ΧΡΟΝΟΣ	ADH ₂ O-ADNaCl
1897	777	734	217
1848	900	744	81
1885	843	758	165
2085	871	768	138
2045	869	782	155
2077	903	794	132
2097	910	806	132
2131	945	818	108
2148	957	830	103
2165	988	842	74
2106	844	856	277
2052	796	879	299
2101	981	907	157
2131	844	903	275
2064	878	904	218
2064	855	905	236
2135	931	926	182
2131	938	927	201
2162	982	928	142
2117	958	929	182
2179	966	950	158
2160	966	951	172
2144	967	952	222
2135	987	953	134
2214	991	974	166
2187	934	975	283
2294	618	976	529
2221	715	977	443
2547	1223	990	10
2313	902	999	376
2282	911	1000	327
2273	909	1001	286

2272	910	1024	361
2259	1028	1025	255
2279	961	1026	342
2247	993	1027	191
2300	1020	1049	197
2326	1110	1050	149
2321	1136	1051	86
2328	1065	1073	157
2363	1025	1074	257
2294	1071	1075	707
2344	1071	1096	138
2260	722	1097	481
2245	725	1098	464
2290	974	1120	234
2364	985	1121	219
2398	881	1122	323
2329	969	1144	264
2334	1028	1145	207
2330	1025	1146	341
2388	1058	1168	197
2371	1027	1169	226
2378	1134	1170	124
2964	579	1408	1141
2903	643	1409	913
2927	639	1410	909
2894	691	1432	922

2965	705	1433	1006
2896	1373	1434	200
2872	950	1456	561
2810	1044	1457	444
2748	982	1458	508
2699	1233	1480	205
2696	1081	1481	359
2717	1066	1482	372
2696	1134	1504	326
2735	1237	1505	229
2697	1160	1506	381
2800	1218	1528	322
2805	1716	1529	400
2772	1118	1530	403
2755	810	1552	596
2665	847	1553	582
2620	866	1554	649
2621	1010	1576	472
2590	990	1577	396
2666	988	1578	399
2873	1273	1600	249
2911	1375	1601	182
2818	1289	1602	210
2885	1302	1624	236
2935	1325	1625	213
2833	1278	1626	244
2805	1263	1648	255
2723	845	1649	640
2797	834	1650	627
2347	1196	1672	177
2423	1199	1673	145
2313	1061	1674	252
2379	821	1696	520
2426	842	1697	497

2370	855	1698	489
2658	1243	1720	226
2664	1185	1721	273
2636	1202	1722	263
2342	609	1744	706
2287	630	1745	664
2260	625	1746	653
2424	907	1816	378
2532	889	1817	389
2511	912	1818	373
2501	902	1819	374

dokimio me anodiki fortish
afaireseis gia 0.1%

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ AB(Ω)NaCl	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ AB(Ω)NaCl(a)	ΧΡΟΝΟΣ	Διαφορά	
561	2557		0	-1996
394	631		1	-237
387	650		2	-263
382	620		3	-238
384	573		4	-189
389	666		5	-177
388	561		6	-173
393	554		7	-161
388	552		8	-164
390	559		24	-169
390	561		25	-171
389	537		26	-208
389	549		27	-160
380	555		28	-175
385	530		29	-153
387	543		30	-156
387	560		31	-173
390	569		32	-179
387	544		33	-157
396	590		48	-194
397	554		49	-157
391	563		50	-172
398	520		51	-122
384	669		52	-185
392	513		53	-121
385	510		54	-125
379	524		55	-145
388	531		72	-143
394	661		73	-167
386	550		74	-164
389	532		75	-143
384	502		76	-118
380	548		77	-168
389	515		78	-126

434	575	25	-62
474	533	26	-159
471	728	27	-257
470	593	28	-123
469	571	29	-102
466	570	30	-104
469	573	31	-104
468	590	32	-122
466	590	33	-124
512	529	48	-117
478	534	49	-116
612	535	50	17
485	535	51	-111
471	525	52	-154
465	593	53	-128
475	581	54	-105
466	555	55	-199
473	517	72	-144
471	555	73	-184
475	533	74	-158
463	525	75	-162

453	573	76	-110
452	621	77	-159
474	605	78	-131
438	587	79	-99
493	387	80	96
545	545	96	0
450	427	97	33
459	744	98	-285
532	615	120	83
551	617	121	66
528	589	122	-61
549	653	144	-144
523	548	145	-25
538	776	146	-238
852	749	168	-97
651	735	169	-84
710	221.5	170	488.5
537	320	192	277
556	183	216	373
559	570	254	-11
550	657	317	-97
536	726	360	-190
534	368	408	266
738	459	432	279
716	441	433	275
751	463	434	298
487	361	950	125
757	623	984	-55
709	651	1008	58
759	729	1032	30
792	787	1056	5
827	801	1080	26
859	829	1104	30
859	852	1128	17
899	851	1152	38

924	882	1176	42
1216	880	1200	336
1187	912	1224	275
1234	898	1248	338
1199	925	1272	274
1462	819	1296	643
1199	1059	1320	140
1203	1032	1344	171
1280	901	1368	379
1306	872	1392	434
ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ CD(0)NaCl	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ CD(0)NaCl(α)	ΧΡΟΝΟΣ	Διαφορά
686	1081	0	-395
329	670	1	-341
318	574	2	-256
318	583	3	-265
321	556	4	-235
319	610	5	-291
336	542	6	-206
323	536	7	-213
319	535	8	-216
348	489	24	-141

342	494	25	-152
340	569	26	-229
338	483	27	-145
339	492	28	-153
338	471	29	-133
337	472	30	-135
335	471	31	-136
335	470	32	-135
339	472	33	-133
351	474	48	-123
344	488	49	-144
339	483	50	-144
336	475	51	-139
338	458	52	-120
334	455	53	-121
356	442	54	-86
350	456	55	-106
377	481	77	-154
328	461	73	-133
334	454	74	-120
334	450	75	-116
327	468	76	-141
328	448	77	-120
334	450	78	-116
343	441	79	-98
332	314	80	16
366	306	96	61
329	329	97	0
333	635	98	-302
387	508	120	121
413	489	121	-26
371	418	122	-44
368	424	144	-56
395	539	145	-144

482	854	33	-372
504	895	48	-391
507	810	49	-303
502	808	50	-306
497	790	51	-293
499	787	52	-288
493	782	53	-289
487	761	54	-274
491	837	55	-346
507	814	77	-317
500	804	73	-304
511	020	74	-309
502	817	75	-315
504	814	76	-310
497	793	77	-296
510	787	78	-277
497	795	79	-298
495	601	80	-106
561	638	96	-77
521	613	97	-98
555	983	98	-428

957	830	120	127
668	841	121	173
611	750	122	-138
639	790	144	-151
635	054	145	-219
630	1002	146	-372
802	1133	168	-331
745	1000	169	-255
775	549	170	226
706	434	197	274
866	442	216	424
650	845	264	-195
891	945	312	-54
704	1053	360	-349
771	653	408	116
863	760	432	133
831	741	433	90
851	752	434	99
526	342	960	184
949	2215	984	-1266
895	2016	1008	-1121
934	990	1032	-56
962	981	1056	1
1017	1003	1080	14
1094	1031	1104	63
1119	991	1128	126
1163	1017	1152	166
1240	1032	1176	208
1564	1072	1200	512
1462	1149	1224	303
1464	1438	1248	26
1472	1252	1272	220
1519	1159	1296	360

1306	1187	1320	119
1405	1250	1344	155
1644	1648	1368	-4
1632	1279	1392	353