



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

(Δ.Π.Μ.Σ.):

"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ
ΚΑΤΑΚΡΑΤΗΣΗΣ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ
ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ
ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΑΝΑΗΣ Γ. ΑΛΑΜΑΝΟΥ

Διπλωματούχου Χημικού Μηχανικού Ε.Μ.Π.

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Σ. ΤΣΙΜΑΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Α. ΜΟΥΤΣΑΤΣΟΥ, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Κ. ΤΣΑΚΑΛΑΚΗΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Ιούλιος 2012

Πρόλογος

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία διενεργήθηκε στη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. η διεξαγωγή των πειραματικών διαδικασιών που την απαρτίζουν έγινε στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Ε.Τ.Σ.) του Εργοστασίου περιοχής Καμαρίου της Α.Ε. Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ, στο εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, του Τομέα Χημικών Επιστημών και στο εργαστήριο Οργανικής Χημικής Τεχνολογίας, του Τομέα Σύνθεσης και Ανάπτυξης Βιομηχανικών Διαδικασιών της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π..

Το θέμα της Μεταπτυχιακής Εργασίας ορίστηκε τον Σεπτέμβριο του 2011 και η περάτωσή της πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 2012.

Από τη θέση αυτή θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Σταμάτη Τσίμα για την τιμή που μου έκανε να μου αναθέσει την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια κα Αγγελική Μουτσάτσου για τις χρησιμότερες συμβουλές της, που διαδραμάτισαν καταλυτικό ρόλο στην εξαγωγή συμπερασμάτων από τα ληφθέντα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας. Η κα Μουτσάτσου ήταν παρούσα σε όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου στη σχολή Χημικών Μηχανικών από το προπτυχιακό ακόμα τμήμα της αφού ήταν μέλος της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής και της διπλωματικής μου εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης, την Γεωργία Βαρδάκα, Υ.Δ. της σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. για την επίβλεψη της πειραματικής διαδικασίας και για τις χρήσιμες παρατηρήσεις της, που με κατεύθυναν και βοήθησαν στην επιτυχή ολοκλήρωσή της.

Ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω, στον υπεύθυνο του εργαστηρίου σκυροδέματος της διεύθυνσης έρευνας και ποιότητας της Α.Ε. Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ, Πολιτικό Μηχανικό κ. Χρήστο Λεπτοκαρίδη για την επιστημονική του συμβολή στο σχεδιασμό και στη διεξαγωγή των πειραμάτων.

Θα ήθελα επίσης με τον πιο ειλικρινή τρόπο, να ευχαριστήσω όλο το προσωπικό του εργαστηρίου τεχνολογίας σκυροδέματος και του εργαστηρίου κονιάματος της Α.Ε. Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ, τους κκ. Παντελή Αντωνιάδη, Γιώργο Κυπριώτη, Παναγιώτη Μπολοβίνο, και Θανάση Αγαθή για τις πολύτιμες τεχνικές συμβουλές κατά την πραγματοποίηση των πειραμάτων και τη συμβολή τους στις

διαδικασίες σκυροδέτησης, καθώς και για το ευχάριστο κλίμα που δημιούργησαν για την παραμονή μου στο χώρο εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης την Επικ. Καθηγήτρια κα Μάγδα Κροκίδα για τις κατευθυντήριες προτάσεις της σχετικά με την εξαγωγή του μοντέλου ρεολογικής συμπεριφοράς των υπό μελέτη συνθέσεων.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ Γεώργιο Μπόκαρη, Τεχνολόγο Ακτινολόγο του τμήματος Επεμβατικής Ακτινολογίας του Διαγνωστικού και Θεραπευτικού Κέντρου «Υγεία» και φίλο μου εδώ και πολλά χρόνια, για την πολύτιμη βοήθειά του στην απεικόνιση του πορώδους των υπό μελέτη συνθέσεων με αξονική τομογραφία. Τον ευχαριστώ πολύ για τη συνολική υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους φίλους και παλιούς μου συμφοιτητές Μανώλη Τσίμα και Γιώργο Ντόντο, οι οποίοι βοήθησαν ανιδιοτελώς στην επίτευξη των πειραματικών διαδικασιών που σχετίζονταν με τους οργανικούς ρύπους.

Τις θερμές μου ευχαριστίες, απευθύνω στην Βιομηχανία Λιπαντικών ELDON'S S.A. για την παροχή λιπαντικών μηχανής εσωτερικής καύσης σε συνεργασία με το εργαστήριο Λιπαντικών και Καυσίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για τις ανάγκες της πειραματικής διαδικασίας.

Ευχαριστώ ιδιαιτέρως, την κ. Χριστίνα-Αμαλία Δρόσου, τον κ. Ηλία Μασαβέτα υποψήφιους διδάκτορες της σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., και την Δρ. Χημικό Μηχανικό Όλγα Καρακάση για τη πολύτιμη βοήθειά τους στην πειραματική διαδικασία καθώς όλους τους συνεργάτες μου, στο Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας για το ευχάριστο περιβάλλον εργασίας.

Από καρδιάς, ευχαριστώ τον φίλο μου Χάρη Μπαϊράμη, για τη συμπαράσταση και τις ευχάριστες στιγμές της κοινής μας πορείας τους 10 αυτούς μήνες.

Δανάη, Ιούλιος 2012

*Στους γονείς και την αδελφή μου,
που με στηρίζουν σε κάθε μου προσπάθεια.*

Περίληψη

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία έχει ως στόχο τη διερεύνηση της δυνατότητας κατακράτησης ρύπων από εναλλακτικού τύπου σκυρόδεμα αντιπλημμυρικής προστασίας. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, σκυροδετήθηκαν κυλινδρικά δοκίμια από 7 διαφορετικές συνθέσεις πορώδους σκυροδέματος. Επιδιώχθηκε, στις συνθέσεις πορώδους σκυροδέματος που μελετήθηκαν να περιλαμβάνονται ως αδρανή, παράλληλα με τα ασβεστολιθικά αδρανή και υλικά που είτε είναι βιομηχανικά παραπροϊόντα όπως η σκωρία χάλυβα, είτε είναι οικοδομικά απόβλητα. Τα υλικά αυτά εξετάστηκαν σε διάφορα ποσοστά συμμετοχής. Οι 7 αυτές συνθέσεις πορώδους σκυροδέματος μελετήθηκαν ως προς την ικανότητα κατακράτησης ανόργανων και οργανικών ρύπων μετά από διέλευση από αυτά όξινων διαλυμάτων νιτρικών και θεικών ιόντων, ενώ έγινε και διερεύνηση του πορώδους και της ρεολογικής συμπεριφοράς που αυτές παρουσιάζουν κατά τη διέλευση μέσω αυτών, λιπαντικών μηχανής και diesel κίνησης. Τα εξαγόμενα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι υπό μελέτη συνθέσεις έχουν την τάση να κατακρατούν νιτρικά ιόντα σε ικανοποιητικά ποσοστά, ενώ δεν ισχύει το ίδιο για τα θειικά ιόντα. Τα όξινα διαλύματα δεν προκαλούν σημαντική αποσάθρωση των δοκιμίων, παρασύρουν μικρές συγκεντρώσεις μετάλλων όπως σίδηρο, ασβέστιο, νικέλιο, μαγγάνιο και ψευδάργυρο στο υπέδαφος επηρεάζοντας την περιεκτικότητά του σε αυτά. Το ποσοστό κατακράτησης οργανικών ρύπων δεν παρουσίασε εξάρτηση από το είδος ή τη σύσταση κάθε σύνθεσης. Η πειραματική διαδικασία διερεύνησης του πορώδους έδειξε, όπως ήταν αναμενόμενο, ότι οι συνθέσεις με λεπτόκοκκα αδρανή εμφανίζουν μικρότερο όγκο κενών σε σύγκριση με τις συνθέσεις με μεγαλύτερου μεγέθους αδρανή. Η μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς των 7 συνθέσεων, έδειξε ότι η ροή λιπαντικών μηχανής και diesel κίνησης – ιξωδών 3,06 έως 99 cSt (40°C), ακολουθεί κινητική πρώτης τάξης με πολύ καλή προσαρμογή των θεωρητικών τιμών στις πειραματικές και μικρές διαφοροποιήσεις στο συντελεστή ροής k , εξαρτώμενες από το πορώδες κάθε σύνθεσης.

Λέξεις-Κλειδιά: πορώδες σκυρόδεμα, πορώδες, κατακράτηση ρύπων, ανόργανοι ρύποι, οργανικοί ρύποι, ρεολογική συμπεριφορά, οικοδομικά απόβλητα, σκωρία χάλυβα.

Abstract

This postgraduate thesis aims to investigate the capability of pollutant retention of an alternative type of concrete that can be used for flood protection. In order to achieve this goal, cylindrical samples from 7 different compositions of pervious concrete were produced. The compositions of pervious concrete that were studied were sought to involve (in addition to conventional limestone aggregates), materials that were either industrial products (such as steel slag), or construction and demolition wastes. These pervious concrete compositions were studied in terms of retention capacity of inorganic and organic pollutants after the passage of acidic solutions of nitric ions and sulphates through their mass. The porosity and the rheological behavior of these porous samples were also examined. For that purpose engine lubricants and diesel fuel were passed through the mass of porous samples. The experimental results showed that the examined compositions tend to retain nitric ions at sufficient rates, while the same behavior does not occur for sulphate ions. Acidic solutions do not cause significant degradation of samples, but they lure metals like iron, calcium, nickel, manganese and zinc underground, influencing its content in them. The retention rate of did not depend on the type of each composition. The experimental procedure to determine porosity showed, as expected, that the compositions of the less coarse aggregates have a smaller volume of voids compared to the compositions of larger aggregates. The study of the rheological behavior of the 7 compositions showed that the flow of engine lubricants and diesel fuel – viscosity 3,06 to 99 cSt (40°C) - , follows first order kinetics with a very good fit of the theoretical values in experimental results with small variations in flow rate k , depending on the porosity of each composition.

Key words: pervious concrete, porosity, pollutant retention, inorganic pollutants, organic pollutants, rheological behavior, construction and demolition wastes, steel slag.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Κεφάλαιο 1.....	1
1.1. Η κλιματική αλλαγή	1
1.1.1. Κύρια Αίτια του φαινομένου	1
1.1.2. Συνέπειες της κλιματικής αλλαγής	1
1.1.2. Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC).....	3
1.2. Υδατικό Περιβάλλον – Στοιχεία Υδρολογικής Ανάλυσης.....	5
1.2.1. Υδρολογικός κύκλος.....	7
1.2.2. Υδρολογικές μεταβλητές	8
1.3. Πλημμύρες.....	10
1.3.1. Το Πλημμυρικό φαινόμενο.....	11
1.4. Ανάλυση δεδομένων βροχοπτώσεων στην Ελλάδα, σύγκριση με την αποστραγγιστική ικανότητα του εδάφους.....	18
1.5. Ρύποι που παρασύρονται από το νερό της βροχής	18
1.5.1. Αέριοι Ρύποι, Δημιουργία Όξινης Βροχής	18
1.6.2. Ρύποι Εδάφους	26
1.7. Μέθοδοι αντιμετώπισης πλημμυρικών φαινομένων	29
1.8. Μέτρα αντιμετώπισης πλημμυρικών φαινομένων	31
1.8.1. Αντιπλημμυρικά έργα	31
Κεφάλαιο 2.....	37
2.1. Εναλλακτικού τύπου Σκυρόδεμα Αντιπλημμυρικής Προστασίας (Πορώδες Σκυρόδεμα).....	39
2.1.1. Ορισμός του πορώδους σκυροδέματος	39
2.1.2. Σύσταση πορώδους σκυροδέματος.....	40
2.1.3. Μελέτη Σύνθεσης Πορώδους Σκυροδέματος.....	41
2.1.4. Ιδιότητες πορώδους σκυροδέματος.....	46
2.1.5. Εφαρμογές πορώδους σκυροδέματος	49
2.2. Περιβαλλοντικά Οφέλη - Φιλτράρισμα Ρύπων	51
2.3. Οικονομικά οφέλη	52
2.3.1. Εναλλακτική λύση σε δαπανηρές μεθόδους διαχείρισης όμβριων υδάτων.	52

2.3.2. Τέλη αντίκτυπου όμβριων υδάτων.....	52
2.3.3.Υποστήριξη τοπικών οικονομιών.....	53
2.3.4. Χαμηλού κόστους κύκλος ζωής	53
2.4. Τοποθέτηση πορώδους σκυροδέματος.....	53
2.5. Συντήρηση.....	56
Τοποθέτηση Θέματος	59
Κεφάλαιο 3	61
3.1. Συνοπτική Περιγραφή Συνολικής Πειραματικής Διαδικασίας	63
3.2. Παρασκευή Δοκιμών	64
3.2.1. Μορφοποίηση / κατασκευή μητρών.....	64
3.2.2. Πρώτες Ύλες / Χαρακτηρισμός Πρώτων Υλών.....	64
3.2.3. Υπό Μελέτη Συνθέσεις	66
3.2.4. Παρασκευή και Συντήρηση δοκιμών.....	73
3.3. Έλεγχος Κατακράτησης Ανόργανων Ρύπων που Παρασύρονται από το Νερό της Βροχής – Έλεγχος κατακράτησης θειικών ιόντων (SO _x)	78
3.3.1. Περιγραφή Πειραματικής Διαδικασίας	78
3.3.2. Έλεγχος περιεκτικότητας διαλύματος σε Θειικά Ιόντα (SO _x).....	79
3.3.3. Αποτελέσματα – Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	80
3.4 Έλεγχος Κατακράτησης Ανόργανων Ρύπων που Παρασύρονται από το Νερό της Βροχής - Έλεγχος κατακράτησης νιτρικών ιόντων (NO _x)	81
3.4.1. Περιγραφή Πειραματικής Διαδικασίας	81
3.4.2 Έλεγχος περιεκτικότητας διαλύματος σε Νιτρικά Ιόντα (NO _x)	82
3.4.3. Αποτελέσματα - Αξιολόγηση των Αποτελεσμάτων	85
3.5 Επίδραση διερχόμενων Όξινων Ρύπων στην Ανθεκτικότητα του Διαπερατού Σκυροδέματος – Λοιπά Παρασυρόμενα Βαρέα Μέταλλα.....	87
3.5.1. Συνοπτική Περιγραφή Πειραματικής Διαδικασίας	87
3.5.2. Αποτελέσματα - Συμπεράσματα.....	88
3.6. Έλεγχος Κατακράτησης Οργανικών Ρύπων	90
3.6.1. Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας.....	91

3.6.2. Αποτελέσματα ελέγχου κατακράτησης οργανικών ρύπων.....	93
3.6.3. Συμπεράσματα ελέγχου κατακράτησης οργανικών ρύπων.....	96
3.7. Μελέτη Ρεολογικής Συμπεριφοράς – Συσχέτιση με το Πορώδες.....	96
3.7.2. Διήθηση Λιπαντικών Μηχανής και Diesel κίνησης.....	98
3.7.3. Μελέτη Πορώδους.....	108
3.7.4. Δοκιμή Υδατοαπορροφητικότητας.....	128
3.7.5. Εξαγωγή μοντέλου ρεολογικής συμπεριφοράς - Συμπεράσματα.....	132
3.8. Συμπεράσματα.....	145
Κεφάλαιο 4.....	147
4.1 Σύνοψη Συμπερασμάτων.....	149
4.2. Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα.....	151
Βιβλιογραφία.....	153

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

1.1. Η κλιματική αλλαγή

Ο όρος «κλιματική αλλαγή», χρησιμοποιείται για αναφορές στη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα σε μεταβολές μετεωρολογικών συνθηκών μεγάλων χρονικών περιόδων. Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε φυσικά αίτια και διαδικασίες, καθώς και σε ανθρώπινες δραστηριότητες με επιπτώσεις στο κλίμα, όπως η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας. Σύμφωνα με τη Σύμβαση- Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (UNFCCC) ο ορισμός για την κλιματική αλλαγή είναι «η μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες», διαφοροποιώντας τον όρο από την κλιματική μεταβλητότητα η οποία οφείλεται σε φυσικά αίτια (Κυπριακή Δημοκρατία, Τμήμα Περιβάλλοντος, 2010 «Κλιματική Δράση», Πηγή: <<http://www.moa.gov.cy/moa/environment>>). Σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2007 διαθέσιμο <http://www.ipcc.ch/publications_and_data>) του ΟΗΕ, η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί 0.6 ± 0.2 °C από τα τέλη του 19ου αιώνα και η αύξηση αυτή οφείλεται σημαντικά στην ανθρώπινη δραστηριότητα των τελευταίων 50 ετών.

1.1.1. Κύρια Αίτια του φαινομένου

Οι κλιματολογικές παράμετροι μεταβάλλονται τόσο μέσα από φυσικές «εσωτερικές» διεργασίες, όσο και από εξωτερικές παρεμβάσεις, ανθρώπινες ή μη (όπως η ηλιακή δραστηριότητα ή η έκλυση αερίων από εκρήξεις ηφαιστειών).

Τη σπουδαιότερη αιτία της κλιματικής αλλαγής στον πλανήτη αποτελεί ο εμπλουτισμός της ατμόσφαιρας με αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄), οξείδια του αζώτου (N₂O) αλλά και χλωροφθοράνθρακες (μια ομάδα αερίων τα οποία περιέχουν κυρίως φθόριο, χλώριο ή βρώμιο). Τα παραπάνω αέρια είναι ευρέως γνωστά και ως αέρια του θερμοκηπίου. Η μεγάλη συγκέντρωσή τους στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας οφείλεται, κυρίως σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Εκλύονται σε μεγάλο βαθμό από εργοστάσια του τομέα της βαριάς βιομηχανίας.

1.1.2. Συνέπειες της κλιματικής αλλαγής

Οι προβλεπόμενες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής ποικίλουν και αφορούν σαφώς στο περιβάλλον, καθώς και στην ίδια την ανθρώπινη ζωή. Στις κυριότερες από αυτές συγκαταλέγονται, η αύξηση της

στάθμης των θαλασσών, καθώς και διάφορα ακραία καιρικά φαινόμενα όπως ξηρασία, χαμηλές ή έντονες βροχοπτώσεις, ισχυροί άνεμοι κ.α..

1.1.2.1. Κλίμα

Επιστήμονες ανά τον κόσμο, προβλέπουν μετακίνηση των ζωνών βροχόπτωσης από τον Ισημερινό προς το Βορρά με άμεσο αποτέλεσμα την ερημοποίηση του κάτω τμήματος της εύκρατης ζώνης. Αυτό συνεπάγεται αλλαγές στους διαφόρους τύπους βλάστησης, τόσο στις γεωργικές όσο και στις δασικές εκτάσεις. Αναμένονται, επιπλέον, συχνότερα ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως κύματα θερμότητας και ξηρασίες ή έντονες βροχοπτώσεις ανάλογα με την περιοχή (Μαλλιαρός, 2010).

1.1.2.2. Θάλασσες

Εάν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα από το σύνολο των παγκόσμιων κυβερνήσεων, θα οδηγηθούμε σε άνοδο της στάθμης των θαλασσών, μέσω της θερμικής διαστολής των υδάτων και την τήξη των πάγων. Μια αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1,5 έως 4,5°C εκτιμάται πως μπορεί να οδηγήσει σε άνοδο της στάθμης κατά 15 έως 95cm. Η άνοδος αυτή μπορεί να έχει καταστρεπτικές συνέπειες, προκαλώντας πλημμύρες σε περιοχές που βρίσκονται σε χαμηλό υψόμετρο και κοντά στο επίπεδο της θάλασσας. Από το 1900 μέχρι το 2001, έχει υπολογιστεί μια ετήσια άνοδος 1-2mm, ενώ σύμφωνα με μετρήσεις του δορυφόρου TOPEX/Poseidon από το 1992 μέχρι σήμερα, ο ρυθμός ανόδου της στάθμης των ωκεανών υπολογίζεται σε 3 περίπου mm ετησίως.

Πολύ πιθανή εκτιμάται επίσης, η δυσμενής επιρροή στην παγκόσμια ωκεάνια κυκλοφορία. Ειδικότερα αναμένεται επιβράδυνση του θερμού ρεύματος του Κόλπου του Μεξικού, γνωστό ως Golf Stream, ωθώντας το προς τα Νότια και προκαλώντας πτώση της θερμοκρασίας στις περιοχές από τις οποίες διέρχεται, όπως η Δυτική Ευρώπη και η Βόρεια Αμερική. Επιπλέον, λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα, οι ωκεανοί της Γης απορροφούν μεγαλύτερο ποσοστό του αερίου αυτού, γεγονός που οδηγεί στη μείωση του pH των υδάτων με καταστροφικές συνέπειες για τη βιωσιμότητα της θαλάσσιας χλωρίδας και πανίδας ανά την υφήλιο (Μαλλιαρός, 2010).

1.1.2.3. Υγεία

Η κλιματική αλλαγή και ειδικότερα η άνοδος της θερμοκρασίας εμφανίζει δύο αντικρουόμενα άμεσα αποτελέσματα σε σχέση με την ανθρώπινη θνησιμότητα: οδηγεί, από τη μία, σε αύξηση των θανάτων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ενώ, από την άλλη, σε μείωση των θανάτων κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Μία άλλη παράμετρος της παγκόσμιας θέρμανσης αφορά στην ενδεχόμενη εξάπλωση και άνθιση επιδημιών του παρελθόντος, καθώς οι μεγάλες θερμοκρασίες και η υγρασία αποτελούν κατάλληλο υπόβαθρο για την ανάπτυξη πολλών μικροβίων (Μαλλιαρός, 2010).

1.1.2.4. Ενδεχόμενες Θετικές Συνέπειες

Το φαινόμενο της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής μπορεί να συνοδευτεί, πιθανώς, και από ορισμένες θετικές επιδράσεις:

i. Η γεωργία στο μεγαλύτερο τμήμα της Ευρώπης και, ιδιαίτερα στα μέσα γεωγραφικά πλάτη και στη βόρεια Ευρώπη, θα μπορούσε ενδεχομένως να ωφεληθεί από μια συντηρητική άνοδο της θερμοκρασίας. Ωστόσο, περιοχές της νότιας Ευρώπης είναι πιθανό να απειληθούν από την έλλειψη νερού με τελικό αποτέλεσμα την εμφάνιση του φαινόμενο της ερημοποίησης. Ως ερημοποίηση ορίζεται η υποβάθμιση του εδάφους και του περιβάλλοντος στις ξηροθερμικές και ύφυγρες περιοχές (περιοχές με λόγο ετήσιων κατακρημνισμάτων προς τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή μεταξύ 0.05 και 0.65). Η υποβάθμιση που προκαλείται από την ερημοποίηση αφορά στη μείωση ή απώλεια της παραγωγικότητας των γεωργικών και δασικών εκτάσεων, κυρίως λόγω της διάβρωσης, που επιφέρει δραστική μείωση του βάθους και της γονιμότητας του εδάφους και της βλάστησης (<http://www.geo-info.gr>).

Επιπλέον, η πιθανή εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων (έντονες καταιγίδες/ξηρασία), με μεγαλύτερη συχνότητα σε σχέση με το παρελθόν, μπορεί να οδηγήσει σε περισσότερες κακές σοδειές. Σημαντική παράμετρο αποτελεί, γενικά, η ικανότητα της γεωργίας να προσαρμοστεί σε μελλοντικές κλιματικές μεταβολές.

ii. Η παγκόσμια θέρμανση θα οδηγήσει σε αύξηση του αριθμού των ημερών που θεωρούνται ιδανικές για την ανάπτυξη των φυτών.

1.1.2. Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC)

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) ιδρύθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (World Meteorological Organization - WMO) και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος (United Nations Environment Program - UNEP) του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών. Ο σκοπός της επιτροπής είναι η αξιολόγηση της επιστημονικής γνωστικής βάσης και των ερευνών που διεξάγονται για τη μελέτη των κλιματικών αλλαγών. Η επιτροπή αξιολογεί, επίσης, τις συνέπειες των κλιματικών μεταβολών που προέρχονται από ανθρώπινη δραστηριότητα, μελετώντας πιθανές πολιτικές και δράσεις για την αντιμετώπιση των ενδεχόμενων κινδύνων. Συντονίζει επιστήμονες από ολόκληρο τον κόσμο και μέχρι το 2007 είχε δημοσιεύσει τέσσερις εκθέσεις (1990, 1995, 2001 και 2007) σχετικά με τις κλιματικές αλλαγές που παρατηρούνται και τις πιθανές επιπτώσεις τους. Οι εκθέσεις της IPCC αποτελούν σημείο αναφοράς

για τα ζητήματα που άπτονται της παγκόσμιας θέρμανσης και βασίζονται σε επιστημονικές δημοσιεύσεις εξειδικευμένων ερευνητών.

Η επιτροπή είναι ένα διακυβερνητικό σώμα, ανοιχτό σε όλες τις χώρες μέλη της Παγκόσμιας Μετεωρολογικής Οργάνωσης και του Προγράμματος για το Περιβάλλον του ΟΗΕ. Συνέρχεται μία φορά ετησίως, προκειμένου να καθοριστούν η εσωτερική λειτουργία, οι αρχές και το πρόγραμμα εργασίας της, ή να εγκριθούν οι εκθέσεις της. Περιλαμβάνει τρεις ομάδες εργασίας για την αξιολόγηση των επιστημονικών παραμέτρων των κλιματικών μεταβολών, των κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεών τους, και των πιθανών πολιτικών που μπορούν να εφαρμοστούν για την αντιμετώπισή τους αντίστοιχα. Οι δραστηριότητες της επιτροπής χρηματοδοτούνται από εθελοντικές συνεισφορές των κυβερνήσεων, ενώ πρόσθετη οικονομική στήριξη παρέχουν η Παγκόσμια Μετεωρολογική Οργάνωση και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος του ΟΗΕ.

Οι εκθέσεις της επιτροπής γράφονται από ομάδες ανθρώπων, προερχόμενων από πανεπιστήμια, ερευνητικά κέντρα ή άλλους περιβαλλοντικούς και οικονομικούς οργανισμούς, η συμμετοχή των οποίων γίνεται στον ειδικό τομέα εξειδίκευσής τους. Για τη διασφάλιση της εγκυρότητας και της αξιοπιστίας τους, οι εκθέσεις περνούν από πολλαπλό επιστημονικό και κυβερνητικό έλεγχο. Η επιτροπή έχει δημοσιεύσει, μέχρι σήμερα, τέσσερις εκθέσεις, το 1990, 1995, 2001 και 2007 αντίστοιχα. Η επιτροπή δεν πραγματοποιεί έρευνα, ούτε συλλέγει δεδομένα, αλλά συνθέτει και αξιολογεί την ήδη υπάρχουσα επιστημονική γνώση για τα ζητήματα των κλιματικών αλλαγών.

Η έκθεση της τρίτης ομάδας εργασίας αναλύει τις δυνατότητες λήψης μέτρων περιορισμού της κλιματικής αλλαγής, προτείνοντας παράλληλα μελλοντικές βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες στρατηγικές για το μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Η σύνοψη της έκθεσης εκδόθηκε στις 4 Μαΐου 2007 κατά την 26η διάσκεψη της επιτροπής, ενώ η πλήρης έκθεση δημοσιεύτηκε το Σεπτέμβριο του 2007. Το προσχέδιό της μελετήθηκε με τη συμμετοχή περισσότερων από 400 επιστημόνων και ειδικών από περίπου 120 χώρες. Για την έγκριση της τελικής πλήρους έκθεσης συμμετείχαν περισσότεροι από 2000 εκπρόσωποι. Κεντρικό σημείο διαφωνιών υπήρξε μία πρόταση περιορισμού των συγκεντρώσεων των αερίων θερμοκηπίου σε 445-650 ppm για την αποφυγή «επικίνδυνης κλιματικής αλλαγής», ενώ αναπτυσσόμενες χώρες επιθυμούσαν την αύξηση του κατώτερου προτεινόμενου ορίου. Σύμφωνα με τα συμπεράσματα της ομάδας εργασίας, η σταθεροποίηση της συγκέντρωσης των αερίων θερμοκηπίου είναι δυνατή και εύλογου οικονομικού κόστους, καθώς η σταθεροποίησή τους στα επίπεδα των 445-535 ppm κοστίζει λιγότερο από το 3% του παγκόσμιου ΑΕΠ.

1.1.2.1.4. Δυνατότητες Μετριασμού της Κλιματικής Αλλαγής

Σύμφωνα με τη σύνοψη της έκθεσης, υπάρχει ευρεία συμφωνία και αρκετές ενδείξεις πως υπάρχουν οικονομικές προοπτικές για το μετριασμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τις επόμενες δεκαετίες, έτσι ώστε να μετριαστεί η αυξητική τους πορεία ή ακόμα και να μειωθούν κάτω από τα επίπεδα στα οποία κυμαίνονταν το 2007, λαμβάνοντας υπόψη οικονομικά και κοινωνικά πλεονεκτήματα. Στον τομέα της ενέργειας, η Διακυβερνητική Επιτροπή εκτιμά ότι οι ανανεώσιμες πηγές έχουν γενικά θετική συνεισφορά στην ενεργειακή ασφάλεια, στην απασχόληση και στην ποιότητα του αέρα. Μπορούν να παράσχουν το 30-35% της παραγωγής ενέργειας μέχρι το 2030 (σε σύγκριση με το ποσοστό του 18% το 2005), ενώ η πυρηνική ενέργεια μπορεί να ανέλθει από το 16% στο 18%. Ευρεία συμφωνία και ισχυρές ενδείξεις υπάρχουν, ακόμα, για τη δυνατότητα σταθεροποίησης της εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου, η οποία, σύμφωνα με την επιτροπή, μπορεί να επιτευχθεί μέχρι το 2050, με τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών και με την προϋπόθεση ότι θα δοθούν αποτελεσματικά κίνητρα για τη χρήση και ανάπτυξή τους. Τονίζεται ότι, η κυβερνητική χρηματοδότηση για την έρευνα στον τομέα της ενέργειας υπήρξε στάσιμη ή πτωτική από το 1987 μέχρι το 2007. Εκτιμάται ότι, καθυστερήσεις στη μείωση της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου είναι ικανές να οδηγήσουν στην αύξηση του κινδύνου σοβαρών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, καθώς θα αυξάνει η χρήση των τεχνολογιών υψηλής εκπομπής των αερίων (Μαλλιαρός, 2010).

1.2. Υδατικό Περιβάλλον – Στοιχεία Υδρολογικής Ανάλυσης.

Το νερό μαζί με τον αέρα και το έδαφος αποτελούν τις κύριες πηγές απ' όπου ο άνθρωπος μπορεί να αντλήσει πόρους και αγαθά για να βελτιώσει τη ζωή του. Οι υδατικοί πόροι λοιπόν είναι βασικό αγαθό για τη ζωή και το περιβάλλον στον πλανήτη μας, αλλά και ρυθμιστικός παράγοντας της οικονομικής, τεχνολογικής, κοινωνικής και πολιτισμικής ανάπτυξης των χωρών. Επίσης, είναι ένα διεθνές ζήτημα και πρόβλημα το οποίο απασχολεί την παγκόσμια κοινότητα και δημιουργεί διενέξεις - πολλοί πιστεύουν ότι μπορεί ν' αποτελέσει την αιτία ενός μελλοντικού πολέμου - ανάμεσα σε χώρες που μοιράζονται νερά από διασυνοριακά ποτάμια, λίμνες και υπόγειους υδροφορείς. Αν και το νερό φαίνεται να υπάρχει σε αφθονία στη γη, αφού το 70% της επιφάνειας της καλύπτεται απ' αυτό, η τελικά διαθέσιμη και κατάλληλη για χρήση ποσότητα είναι πολύ μικρή. Και αυτό γιατί το 98% του νερού της γης βρίσκεται στις θάλασσες, στους ωκεανούς και στους πάγους ενώ από το υπόλοιπο το μεγαλύτερο μέρος είναι τεχνικά μη εκμεταλλεύσιμο (π.χ. βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο των 800 m) ή είναι υφάλμυρο και άρα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο. Μόνο το 0.6% του νερού σε παγκόσμια κλίμακα θεωρείται κατάλληλο και διατίθεται για χρήση. Αυτή η ήδη περιορισμένη ποσότητα των διαθέσιμων υδατικών πόρων είναι ανομοιόμορφα κατανομημένη στο χώρο. Υπάρχουν χώρες οι οποίες έχουν αφθονία νερού και άλλες που έχουν μεγάλες ελλείψεις ή είναι έρημοι. Ακόμα

και στο εσωτερικό των χωρών οι υδατικοί πόροι δε διατίθενται ομοιόμορφα, γεγονός που προκαλεί σοβαρές τοπικές διενέξεις μεταξύ των χρηστών. Η διαθεσιμότητα στο χρόνο είναι επίσης άνιση αφού το νερό του χειμώνα (που συχνά είναι πλημμυρικό) χρειάζεται περισσότερο το καλοκαίρι για συγκεκριμένες χρήσεις (άρδευση, τουρισμός, κλπ). Η εξαιρετικά περιορισμένη διαθεσιμότητα του νερού, η άνιση χωροχρονική κατανομή του, αλλά και η συνεχώς επιδεινούμενη ποιότητα του, καθιστούν τους υδατικούς πόρους αγαθό σε ανεπάρκεια.

Για να αξιοποιηθούν σωστά οι υδατικοί πόροι και να αντιμετωπισθούν στο μέτρο του δυνατού αυτά τα αρνητικά για τον καταναλωτή χαρακτηριστικά τους, χρειάζεται να γίνουν έργα. Τα υδραυλικά έργα είναι αυτά που διασφαλίζουν την επάρκεια του νερού σε κάποια περιοχή ανάλογα με τη ζήτηση, που ρυθμίζουν κατάλληλα την ποσότητά του στο χρόνο (π.χ. ταμιευτήρες), που διανέμουν το νερό στο χώρο (π.χ. δίκτυα ύδρευσης), που προστατεύουν από την πλημμυρική δράση του (αντιπλημμυρικά έργα) και που διατηρούν την ποιότητά του (π.χ. βιολογικοί καθαρισμοί). Μέσα απ' αυτά τα έργα εξυπηρετείται κυρίως η ζήτηση για τις διάφορες χρήσεις του νερού (αγροτική, αστική, βιομηχανική, ενεργειακή). Οι υδατικοί πόροι, τα υδραυλικά έργα και οι χρήσεις νερού είναι συνιστώσες αλληλένδετες και επηρεαζόμενες που συγκροτούν τον συνολικό τομέα του νερού μιας χώρας και πρέπει να αντιμετωπίζονται με κοινή οπτική γωνία, τουλάχιστον όσον αφορά στον τομέα της πολιτικής, της διαχείρισης και των αποφάσεων.

Η ορθή εκτίμηση και πρόβλεψη των υδατικών πόρων, ο κατάλληλος σχεδιασμός των υδραυλικών έργων και η ορθολογική διαχείριση του συνολικού τομέα του νερού σε επίπεδο χώρας αλλά και σε τοπικό επίπεδο υδρολογικής λεκάνης ή περιφέρειας είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για την ανάπτυξη της κάθε χώρας. Στον τομέα της πολιτικής και της διαχείρισης σχετικά με το νερό ήδη συζητείται και μορφοποιείται σε Ευρωπαϊκό επίπεδο η Οδηγία - Πλαίσιο για τα Νερά που αφορά στην ανάπτυξη των συνθηκών και της γνώσης για την ορθολογική χρήση των υδατικών αποθεμάτων της κάθε χώρας. Τελικός στόχος της Οδηγίας είναι η διατήρηση της "καλής οικολογικής κατάστασης" των υδροφόρων μέσα από την μελέτη και εφαρμογή "σχεδίων διαχείρισης" για κάθε υδρολογική περιφέρεια. Η Οδηγία αντιμετωπίζει με ενιαίο τρόπο τον συνολικό τομέα του νερού και έχει υψηλές απαιτήσεις και προδιαγραφές για στοιχεία, αναλύσεις, μοντέλα κλπ που αφορούν ένα σύνολο πολλών επιμέρους συνιστωσών (π.χ. επιφανειακά, υπόγεια και θαλάσσια ύδατα, οικοσυστήματα κλπ). Είναι ένα είδος "καταστατικού χάρτη" για τα νερά με τον οποίο όλες οι Ευρωπαϊκές χώρες και φυσικά η Ελλάδα, είναι υποχρεωμένες να συμμορφωθούν στα επόμενα χρόνια (Μιμίκου, Φωτόπουλος, 2004).

1.2.1. Υδρολογικός κύκλος

Ο υδρολογικός κύκλος περιγράφει την αέναη κίνηση του νερού ανάμεσα στους ωκεανούς την ατμόσφαιρα και την ξηρά, που συνοδεύεται και από αλλαγές ανάμεσα στην υγρή, την αέρια και τη στερεή φάση του νερού (Μιμίκου, Φωτόπουλος, 2004). Στην εικόνα 1.1 δίνεται μια σχηματική περιγραφή του υδρολογικού κύκλου. Η αρχή του υδρολογικού κύκλου μπορεί θεωρητικά να τοποθετηθεί στην ατμόσφαιρα στην οποία συγκεντρώνονται οι υδρατμοί που προκύπτουν από την εξάτμιση του νερού από τη θάλασσα και την ξηρά, καθώς και από τη διαπνοή από τα δένδρα και τη βλάστηση. Οι υδρατμοί αυτοί μεταφέρονται υπό την επίδραση των ανέμων, κάτω από κατάλληλες συνθήκες συμπυκνώνονται σε νέφη και στη συνέχεια υπό την μορφή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (βροχή, χιόνι, χαλάζι) επανέρχονται στην επιφάνεια της γης. Από το νερό που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους ένα μέρος συγκρατείται από τη βλάστηση και εξατμίζεται ή διαπνέεται από τα φυτά, ένα άλλο μέρος διηθείται εντός του εδάφους και τέλος ένα τρίτο μέρος απορρέει επιφανειακό προς τα ρεύματα και τους ποταμούς καταλήγοντας στις λίμνες ή τις θάλασσες (Μιμίκου, Φωτόπουλος, 2004).



Εικόνα 1.1: Υδρολογικός κύκλος και παγκόσμιο υδρολογικό ισοζύγιο (US Geological Survey (USGS))

Πηγή: (<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle_greekhi.html>)

Από το νερό που διηθείται, ένα μέρος εξατμίζεται ή διαπνέεται μέσω των φυτών και το υπόλοιπο διηθείται σε βαθύτερα στρώματα επαναφορτίζοντας τους υπόγειους υδροφορείς βρίσκοντας αργότερα διέξοδο προς την επιφάνεια της γης σε χαμηλότερα υψόμετρα και καταλήγοντας τελικό στη θάλασσα. Από τη θάλασσα, μέσω της εξάτμισης το νερό επανέρχεται στην ατμόσφαιρα συμπληρώνοντας τον υδρολογικό κύκλο.

1.2.2. Υδρολογικές μεταβλητές

Οι βασικές υδρολογικές μεταβλητές είναι η απορροή (επιφανειακή και υπόγεια), η κατακρήμνιση, η εξάτμιση, η παρεμπόδιση, η κατακράτηση και η διήθηση. Η επιφανειακή απορροή δίνει τους σημαντικότερους υδατικούς πόρους αλλά και δημιουργεί τους υδρολογικούς κινδύνους. Επίσης η υπόγεια απορροή συνδέεται με την αξιοποίηση των υδατικών πόρων και αποτελεί σημαντικό αντικείμενο της Τεχνικής Υδρολογίας. Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα συνδέονται με την επιφανειακή και υπόγεια απορροή με τη μορφή αιτίου - αποτελέσματος. Η εξάτμιση και η διαπνοή, που αποδίδονται με το συνθετικό όρο εξατμισοδιαπνοή, αποτελούν τις αναγκαστικές υδρολογικές απώλειες, δηλαδή το τμήμα των κατακρημνισμάτων που δεν απορρέει και επομένως δεν είναι διαθέσιμο για εκμετάλλευση (Μιμίκου, Φωτόπουλος, 2004).

Συμπερασματικά, η απορροή (επιφανειακή και υπόγεια), οι κατακρημνίσεις και η εξατμισοδιαπνοή αποτελούν τις πιο χαρακτηριστικές διεργασίες του υδρολογικού κύκλου και τα μεγέθη τους ποσοτικοποιούν την εικόνα των υδατικών πόρων μιας περιοχής.

Στον Πίνακα 1.1. παρουσιάζονται οι σημαντικότερες μονάδες μέτρησης (στο μετρικό σύστημα) που χρησιμοποιούνται στην επιστήμη της Υδρολογίας, για κάθε μετρούμενο μέγεθος. Οι μονάδες αυτές καθορίζονται από την ακρίβεια των οργάνων μέτρησης αλλά και από τη φυσική σημασία του μετρούμενου μεγέθους. Η πιο συνηθισμένη μονάδα μέτρησης της απορροής είναι τα κυβικά μέτρα το δευτερόλεπτο (m^3/sec), ενώ συχνά χρησιμοποιείται και το ισοδύναμο ύψος νερού, ανηγμένο στην επιφάνεια της λεκάνης η οποία συνήθως μετριέται σε τετραγωνικά χιλιόμετρα (km^2). Το ύψος βροχόπτωσης εκφράζεται συχνότερα σε χιλιοστά (mm) ή εκατοστά (cm) του μέτρου. Είναι δε περιττό να εκφράζεται το συγκεκριμένο μέγεθος με ακρίβεια δεκαδικών του χιλιοστού, αφού, τα κοινά βροχόμετρα και βροχογράφοι που χρησιμοποιούνται δεν έχουν τόσο μεγάλη ακρίβεια. Σε κάθε περίπτωση, στη μέτρηση των μεγεθών και στην έκφραση των αποτελεσμάτων, υπεισέρχεται η κρίση του υδρολόγου μηχανικού (Μιμίκου, Φωτόπουλος, 2004).

Πίνακας 1.1: Οι σημαντικότερες μονάδες μέτρησης στην επιστήμη της υδρολογίας.

Μεταβλητή	Χαρακτηριστικά	Μονάδες μέτρησης
Κατακρήμνιση	Ύψος, Ένταση, Διάρκεια	Χιλιοστά (mm), Χιλιοστά ανά ώρα (mm/h), Ωρες (h)
Εξάτμιση	Ρυθμός, Ύψος	Χιλιοστά ανά μέρα, μήνα ή χρόνο (mm/day, mm/mo, mm/yr), Χιλιοστά (mm)
Εξάτμισο-διαπνοή	Ρυθμός, Ύψος	Χιλιοστά ανά μέρα, μήνα ή χρόνο (mm/day, mm/mo, mm/yr), Χιλιοστά (mm)
Διήθηση	Ρυθμός, Ύψος	Χιλιοστά ανά ώρα (mm/h), Χιλιοστά (mm)
Παρεμπόδιση	ισοδύναμο ύψος	Χιλιοστά ανά διάρκεια καταιγίδας (mm/time)
Κατακράτηση	ισοδύναμο ύψος	Χιλιοστά ανά διάρκεια καταιγίδας (mm/time)
Απορροή	Παροχή, όγκος, ισοδύναμο ύψος	Κυβικά μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m^3/sec), Κυβικά μέτρα (m^3), Ισοδύναμο χιλιοστά πάνω στη λεκάνη απορροής (mm)

1.2.2.1. Μέτρηση και εκτίμηση υδρολογικών μεταβλητών

1.2.2.1.1. Μέτρηση κατακρημισμάτων

Το μετεωρολογικό στοιχείο που πρώτο μετρήθηκε από τον άνθρωπο είναι κατά πάσα πιθανότητα η βροχή. Η παλαιότερη και μακρύτερη περίοδος καταγραφής αναφέρεται στην Αίγυπτο στον ποταμό Νείλο περίπου στα 980. Στην Ελλάδα, τα μακρύτερο μήκος καταγραφής βροχής αφορά στα δεδομένα του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών από το 1870 περίπου. Υπάρχουν αρκετά όργανα μέτρησης και εκτίμησης της βροχής, όπως τα τυπικά βροχόμετρα, βροχογράφοι, μετεωρολογικά ραντάρ και δορυφόροι. Σήμερα, υπάρχει σε χρήση ένας μεγάλος αριθμός τύπων οργάνων που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του μεγέθους των ατμοσφαιρικών κατακρημισμάτων. Οι περισσότερο χρησιμοποιούμενοι από τους τύπους αυτούς αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω.

Τα βροχόμετρα είναι όργανα σημειακής μέτρησης της βροχής, εγκατεστημένα σε κατάλληλες θέσεις, που συλλέγουν κυρίως τη βροχόπτωση, και βοηθητικά τη χιονόπτωση, δίνοντας την αντίστοιχη σημειακή μέτρηση. Δίνουν την ολική σημειακή βροχόπτωση και το ισοδύναμο ύψος νερού μιας χιονόπτωσης ανά ορισμένα χρονικά διαστήματα (συνήθως 8ωρο, 12ωρο ή 24ωρο), με την ανάγνωση της ένδειξης από έναν παρατηρητή.

Οι βροχογράφοι είναι όργανα σημειακής μέτρησης της βροχής, εγκατεστημένα σε κατάλληλες θέσεις, που συλλέγουν κυρίως τη βροχόπτωση, και βοηθητικά τη χιονόπτωση, καταγράφοντας με απλό ωρολογιακό μηχανισμό τη μεταβολή του ύψους βροχής στο χρόνο, περιγράφοντας έτσι τη χρονική κατανομή της σημειακής βροχόπτωσης.

Το ύψος χιονόπτωσης μετριέται συνήθως με χιονοτράπεζες. Αυτές είναι απλές οριζόντιες επιφάνειες όπου, αφού συσσωρευτεί το χιόνι, μετριέται το ύψος του με έναν κοινό πήχη. Μετά τη μέτρηση η τράπεζα καθαρίζεται από το χιόνι, ώστε να είναι έτοιμη για την επόμενη μέτρηση του ύψους χιονόπτωσης. Το ισοδύναμο ύψος νερού της χιονόπτωσης και η αντίστοιχη πυκνότητα μπορούν να μετρηθούν από τη χιονοτράπεζα, αν αυτή είναι εφοδιασμένη με ένα απλό σύστημα ζύγισης που μετρά το βάρος του χιονιού. Το ύψος χιονοκάλυψης μετριέται εύκολα με την έμπηξη ενός κοινού πήχη, ή την ανάγνωση σε μόνιμα εγκατεστημένα σταδία, της οποίας η μηδενική στάθμη συμπίπτει με την επιφάνεια του εδάφους. Το ισοδύναμο ύψος νερού της χιονοκάλυψης μετριέται με τη λήψη δείγματος χιονιού, μέσω της έμπηξης κατάλληλου κυλίνδρου-δειγματολήπτη χιονιού, και στη συνέχεια με τη ζύγιση του χιονιού που συλλέγεται. Για τη λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων ύψους χιονοκάλυψης και ισοδύναμου ύψους νερού, αποφεύγεται η μέτρηση σε ένα σημείο και προτιμάται η λήψη του μέσου όρου των μετρήσεων σε περίπου 6 σημεία κατά μήκος μιας προκαθορισμένης (μόνιμης) διαδρομής χιονομέτρησης με τυπικό μήκος 150-250 m.

1.3. Πλημμύρες

Οι πλημμύρες είναι η παροδική κατάκλιση μιας περιοχής από νερό. Οι πλημμυρικοί όγκοι νερού προέρχονται από την τοπική βροχόπτωση, την υπερχειλίση ποταμού, την εισροή της θάλασσας σε παράκτιες περιοχές ή από τη θραύση φράγματος. Μπορεί να συμβούν, επίσης, από υποχώρηση φραγμάτων και στην περίπτωση αυτή οι συνέπειες είναι πολύ σοβαρές. Οι πλημμύρες είναι πιο προβλέψιμες από τις υπόλοιπες φυσικές καταστροφές και αποτελούν τη δεύτερη πιο συχνή φυσική καταστροφή, μετά τις δασικές πυρκαγιές (Παπαχρήστου, 2008)

Οι πλημμύρες είναι φυσικά φαινόμενα (αφού συνήθως προέρχονται από μετεωρολογικές καταστάσεις), όμως συμβαίνουν όταν η χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης (φυσικού ή ανθρωπογενούς), δε μπορεί να διοχετεύσει τον όγκο νερού που παράγεται από τη βροχόπτωση. Τα φυσικά φαινόμενα που προκαλούν πλημμύρες δε μπορούν να ελεγχθούν, αλλά οι γεωλογικές, γεωμορφολογικές και εδαφολογικές συνθήκες της λεκάνης απορροής είναι δυνατόν να τροποποιηθούν με την ανθρώπινη παρέμβαση.

Ο κίνδυνος εμφάνισης πλημμύρων είναι συνάρτηση της πιθανότητας εμφάνισης του φυσικού φαινομένου και της επίδρασης που θα έχει στην ανθρώπινη κοινωνία. Σε μια δεδομένη βροχόπτωση οι ζημιές που θα προκληθούν λόγω πλημμύρας, εξαρτώνται από τρεις κύριους παράγοντες: (α) την παρουσία αντιπλημμυρικών έργων, (β) την αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του πλημμυρικού όγκου και τη μείωση του χρόνου συρροής των νερών και (γ) την ένταση της ανθρώπινης δραστηριότητας σε περιοχές που αποτελούν πεδία πλημμυρών με κάποια πιθανότητα.

1.3.1. Το Πλημμυρικό φαινόμενο

Οι πλημμύρες, ποικίλλουν σημαντικά ως προς το μέγεθος και τη διάρκειά τους. Σε αστικά κέντρα συμβαίνουν μετά από ξαφνική έντονη βροχόπτωση. Στην περίπτωση μεγάλων ποταμών, οι πλημμύρες μπορεί να εμφανιστούν αρκετό χρόνο μετά τη βροχόπτωση και να διαρκέσουν ημέρες, εβδομάδες ή ακόμη και μήνες. Σε μικρά ποτάμια είναι δυνατόν να εμφανιστούν στιγμιαίες πλημμύρες (flash floods) που συνήθως οφείλονται σε πολύ έντονη τοπική βροχόπτωση (Πάνου 2008). Αυτές είναι λιγότερο προβλέψιμες και μπορεί να προκαλέσουν εκτεταμένες καταστροφές, ιδίως όταν η έντονη βροχόπτωση προκαλεί κατολισθήσεις εδάφους και λύσος. Δεδομένου ότι συμβαίνουν ξαφνικά και με ελάχιστη προειδοποίηση είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες για τους ανθρώπους.

1.3.1.1. Το πλημμυρικό καθεστώς σε Ευρωπαϊκό επίπεδο

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει κάθε πτυχή του περιβάλλοντος αλλά και της κοινωνικής και οικονομικής δραστηριότητας. Η Ευρώπη βεβαίως δεν είναι εκτεθειμένη στους φονικούς τυφώνες που πλήττουν τακτικά άλλες περιοχές του πλανήτη. Ωστόσο δεν βρίσκεται εκτός κινδύνου από πλευράς καταστροφών μεγάλης κλίμακας. Η Βόρεια Ευρώπη πλήττεται από πλήθος καταιγίδων: συγκεκριμένα κάθε χρόνο εκατό κυκλώνες πλήττουν τα βρετανικά νησιά. Οι κακοκαιρίες αυτές συνοδεύονται από έντονες βροχοπτώσεις που προκαλούν σοβαρές πλημμύρες. Οι ακτές της Βόρειας Θάλασσας και της Βαλτικής Θάλασσας είναι ιδιαίτερα ευάλωτες όπως άλλωστε και ορισμένες ενδότερες ζώνες. Το 1953 έσπασαν στην Ολλανδία τα προστατευτικά φράγματα, με αποτέλεσμα να πλημμυρίσει μεγάλο μέρος της χώρας και να χαθούν 1800 άνθρωποι.

Ως αποτέλεσμα ασυνήθων σε διάρκεια και ύψος βροχοπτώσεων, έχει σημειωθεί θεαματική και καταστρεπτική άνοδος των υδάτων σε πολλές λεκάνες απορροής ποταμών της Ευρώπης (Πάνου, 2008). Χαρακτηριστική είναι η ακατάσχετη άνοδος της στάθμης των υδάτων τον χειμώνα του 1994-

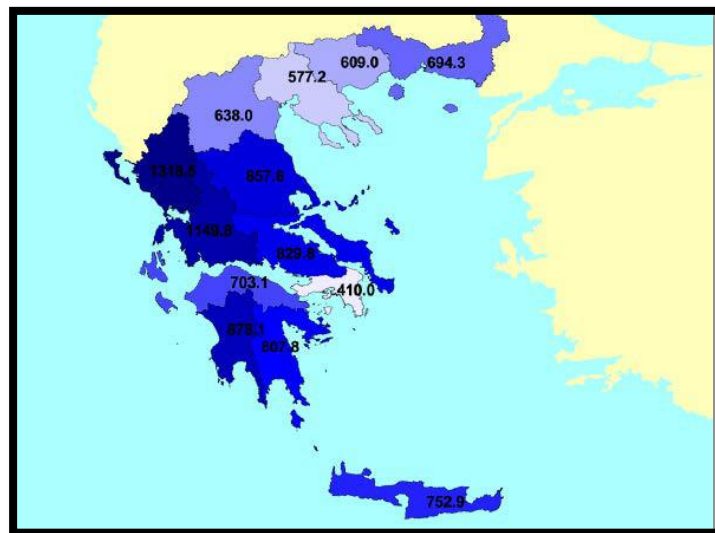
1995 η οποία έπληξε την Ιταλία, τη Γερμανία, το Βέλγιο και τις Κάτω Χώρες. Το καλοκαίρι του 1997, η υπερχειλίση του ποταμού Oder έπληξε πολύ σοβαρά την Κεντρική Ευρώπη.

1.3.1.2. Το Πλημμυρικό καθεστώς στην Ελλάδα.

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με έντονο ανάγλυφο (ορογραφία) και ανεπτυγμένη ακτογραμμή. Τα κλιματικά της στοιχεία που σχετίζονται με τις πλημμύρες παρουσιάζουν σημαντική γεωγραφική μεταβλητότητα εξαιτίας των προηγούμενων χαρακτηριστικών της.

Η Ελλάδα πλήττεται κατά κύριο λόγο από πλημμυρικά γεγονότα που προκύπτουν ως απόρροια της έντονης γεωγραφικής μεταβλητότητας των κλιματικών στοιχείων, λόγω της συνύπαρξης ανεπτυγμένης ακτογραμμής και ορογραφίας (Γκιόκας 2009). Έτσι, η οροσειρά της Πίνδου διαδραματίζει σημαίνοντα ρόλο αποτελώντας ένα "υδρολογικό σύνορο" μιας και η μέση ετήσια βροχόπτωση στη Δυτική Ελλάδα είναι της τάξης των 1800 mm ενώ στην Ανατολική το αντίστοιχο μέγεθος είναι περίπου 400 mm.

Όμως, η μείωση της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης καθώς προχωρούμε από τη Δυτική προς την Ανατολική Ελλάδα δεν είναι τόσο ραγδαία όσο η μέση ετήσια. Επιπλέον, στο επίπεδο της σύγκρισης των μέγιστων ωριαίων βροχοπτώσεων η διαφορά μεταξύ Δυτικής και Ανατολικής Ελλάδας σχεδόν εκλείπει (Γκιόγκας, 2009). Στην εικόνα που ακολουθεί, παρατίθενται οι μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις ανά υδατικό διαμέρισμα στην Ελλάδα για το διάστημα 1960-1990.



Εικόνα 1.2: Μέση ετήσια βροχόπτωση (σε mm) για την περίοδο 1960 – 1990 ανά υδατικό διαμέρισμα, Πηγή: (<http://ndbhmi.chi.civil.ntua.gr> ΕΤΥΜΠ).

Αυτό όμως δεν αποκλείει το γεγονός ότι τα εξαιρετικά γεγονότα πλημμύρων είναι σπάνια στο σχετικά ξηρό ανατολικό μέρος της Ελλάδας. Το μέγιστο 24ωρο ύψος βροχής περιόδου επαναφοράς πενήντα χρόνων (που θα μπορούσε να θεωρηθεί μια πολύ πρόχειρη εκτίμηση της σοβαρότητας μιας πλημμύρας) μπορεί να φτάσει τα 175mm στη δυτική Ελλάδα, μειώνεται στα 100mm ανατολικά της οροσειράς της Πίνδου και αυξάνεται ξανά στα 175mm για τα νησιά του ανατολικού Αιγαίου. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μείωση του μέγιστου ύψους βροχής 24ωρης διάρκειας που λαμβάνει χώρα από τα δυτικά προς τα ανατολικά της Ελλάδας δεν είναι τόσο έντονη όσο η αντίστοιχη μείωση που παρατηρείται στη μέση ετήσια βροχόπτωση και ελαχιστοποιείται αν θεωρήσουμε μικρότερες διάρκειες βροχής όπως ωριαίες. Αποτέλεσμα αυτού του κλιματικού καθεστώτος, σε συνδυασμό με τη γεωμορφολογία και την επιφανειακή βλάστηση, είναι ότι παρατηρούνται περισσότερες καταστροφικές πλημμύρες στην ανατολική Ελλάδα από ότι στην υγρή Δυτική Ελλάδα.

Οι πλημμύρες στην Ελλάδα, οφείλονται συνήθως στις έντονες βροχοπτώσεις οι οποίες παράγονται από το πέρασμα χαμηλών βαρομετρικών και που συνήθως συνοδεύονται από ψυχρά μέτωπα και καταφθάνουν από τα δυτικά, νοτιοδυτικά ή βορειοδυτικά (Πάνου, 2008).

Άλλοι παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο στη γένεση πλημμύρων είναι η πυκνή δόμηση σε συνδυασμό με την έλλειψη πρασίνου, η μείωση των δασικών εκτάσεων και η καταστροφική δύναμη των πλημμύρων. Είναι χαρακτηριστικό ότι στις αρχές του 19^{ου} αιώνα η δασική κάλυψη της χώρας αντιπροσώπευε περισσότερο από το 40% της συνολικής της έκτασης, ενώ σήμερα αντιπροσωπεύει μόλις το 18%. Σημαντικότερο λόγο της μείωσης αυτής αποτελούν οι πυρκαγιές. Ειδικά το θέμα των πυρκαγιών και των συνεπειών τους είναι ιδιαίτερα σοβαρό και εξελίσσεται σε καθοριστικό παράγοντα για την πλημμυρική τύχη πολλών αστικών κέντρων της χώρας και ιδιαίτερα της Αθήνας.

Άλλοι λόγοι που αξίζει να απαριθμηθούν είναι, το «ψαλίδισμα» των φυσικών υδατορευμάτων, λόγω της παράνομης δόμησης και της δημιουργίας νέων οδικών αξόνων, η ανεπαρκής διευθέτηση των υδατορευμάτων λόγω κάλυψης των ρευμάτων, η υποβάθμιση των αντιπλημμυρικών έργων αφού τα κονδύλια που παρέχονται δεν είναι ικανοποιητικά σε σχέση με αυτά που παρέχονται για τα οικοδομικά και οδικά έργα, καθώς και το γεγονός ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένο σχέδιο για τη συντήρηση και επιτήρηση των αντιπλημμυρικών έργων. Όμως ακόμα και όπου υπάρχει μέριμνα, τα κριτήρια σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται είναι ξεπερασμένα, ενώ παρατηρείται ανυπαρξία μετρητικής και ερευνητικής υποδομής με ελλείψεις σε υδρομετρικό δίκτυο και παροχή, καθώς και έλλειψη πειραματικών λεκανών και προγνωστικών μοντέλων (Μιμίκου, Φωτόπουλος, 2004).

Σύμφωνα με τους Κουτσογιάννης και συνεργάτες (2012), οι περιοχές που πλήττονται από πλημμύρες στην Ελλάδα μπορούν να διακριθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

1. Κλειστές υδρολογικές λεκάνες σε καρστικές περιοχές (Μπέλλος, 2006) που αποστραγγίζονται από καταβόθρες.
2. Πεδιάδες που αποστραγγίζονται από ποταμούς με μικρή παροχετευτικότητα.
3. Αστικές περιοχές όπου η ανθρώπινη δραστηριότητα αλλάζει τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά.

Επί παραδείγματι, κίνδυνο πλημμύρας παρουσιάζουν οι κατάντη περιοχές φραγμάτων, όπου το φυσικό περιβάλλον έχει τροποποιηθεί σημαντικά και νέες δραστηριότητες έχουν αναπτυχθεί σύμφωνα με την λανθασμένη αντίληψη ότι ο κίνδυνος πλημμύρας έχει επαλειφθεί πλήρως.

Είναι πολύ σημαντικό να σημειωθεί ότι, τα θύματα σε ανθρώπινες ζωές στην Ελλάδα που οφείλονται σε πλημμυρικά γεγονότα είναι πολύ περισσότερα σε σχέση με τα θύματα λόγω σεισμών, παρόλο που η Ελλάδα είναι μια από τις κατεχοχόν σεισμογενείς χώρες. Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει τις συνολικές απώλειες ανθρώπινων ζωών από πλημμύρες στην Ελλάδα.

Πίνακας 1.2: Απώλειες ανθρώπινων ζωών από πλημμύρες στην Ελλάδα την περίοδο 1887 – 2003 (Μαμάσης 2007).

Απώλειες σε ανθρώπινες ζωές τα τελευταία 120 χρόνια					
Ημερομηνία	Περιοχή	Νεκροί	Ημερομηνία	Περιοχή	Νεκροί
10/1887	Αθήνα	1	11/1979	Θεσσαλονίκη	4
11/1896	Αθήνα	21	11/1979	Πελοπόννησος	1
11/1896	Πειραιάς	40	10/1980	Αθήνα	1
11/1924	Καλαμάτα	15	11/1985	Λάρισα	2
11/1925	Αθήνα	8	10/1989	Αθήνα	7
10/1930	Αθήνα	2	8/1990	Εύβοια	5
10/1933	Αθήνα	1	10/1990	Πελοπόννησος	1
10/1933	Πειραιάς	2	1/1991	Αθήνα	1
11/1934	Πειραιάς	6	11/1992	Καβάλα	4
11/1936	Πειραιάς	2	10/1994	Ρόδος	4
10/1938	Αθήνα	1	11/1994	Αθήνα	9
11/1961	Αθήνα	40	12/2001	Πάτρα	2
11/1977	Αθήνα	21	2/2003	Πρέβεζα	2
11/1977	Πειραιάς	17			

Ιστορικά στοιχεία από το 1887 έως σήμερα (Νικολαΐδου, Χατζηχρήστου 1995, Newsroom ΔΟΛ, (Πηγή: <<http://news.in.gr/greece/article/?aid=402509>>), αναφέρουν περιστατικά καταστροφών από πλημμύρες, οι οποίες ήταν αποτέλεσμα πολύωρων βροχοπτώσεων και που έπληξαν τόσο πόλεις όσο

και επαρχιακές περιοχές. Μετά από παρατήρηση των ιστορικών αυτών γεγονότων συμπεραίνεται επίσης ότι τα φαινόμενα αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου (Νικολαΐδου, Χατζηχρήστου, 1995).



Εικόνα 1.3: Καταστροφές μετά από την πλημμύρα στις 06/02/2012 στην περιοχή της Ηλείας.
(Newsroom ΔΟΛ. Πηγή: <<http://news.in.gr/greece/article/?aid=1231148901>>).

Τα σημαντικότερα προβλήματα που εντοπίζονται σχετικά με το πλημμυρικό καθεστώς στην Ελλάδα είναι:

1. Η έλλειψη ορθολογικά οργανωμένου εθνικού δικτύου συλλογής πληροφοριών των φυσικών δεδομένων και ενιαίας βάσης για την καταχώρησή τους, με αποτέλεσμα την ατελή γνώση των διαφόρων συνιστωσών του υδρολογικού κύκλου, παρά το μεγάλο αριθμό των φορέων που ασχολούνται με τις μετρήσεις και το σημαντικό αριθμό σχετικών σταθμών. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί η Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας (ΕΤΥΜΠ), η οποία αποτέλεσε ένα σημαντικό βήμα προς αυτή την κατεύθυνση, η καθυστέρηση όμως της ενημέρωσής της με τα στοιχεία των τελευταίων ετών και η υστέρηση της επιχειρησιακής της λειτουργίας συντηρεί την αρνητική κατάσταση στον τομέα των υδατικών πόρων.
2. Η δυσκολία και έλλειψη συστηματικής καταγραφής και αξιολόγησης των φυσικών και τεχνητών υδατικών συστημάτων από ποσοτική και ποιοτική άποψη, καθώς και η έλλειψη επαρκών μετρήσεων υδρολογικών, μετεωρολογικών, υδρογεωλογικών και ποιοτικών παραμέτρων.

3. Η αλληλεπίδραση των παράκτιων υδάτων εξαιτίας παραπλήσιων ρεμάτων ή ποταμών που απορρέουν στη θάλασσα.
4. Η δυσκολία και έλλειψη καταγραφής των υφιστάμενων χρήσεων και μέτρησης των ποσοτήτων νερού που χρησιμοποιείται για κάθε χρήση.
5. Η δυσκολία συντονισμού μεταξύ των αρμόδιων φορέων σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο, όσον αφορά σε μελέτες και έρευνες υποδομής σχετικές με τους υδατικούς πόρους.
6. Η έλλειψη και δυσκολία οριοθέτησης, στο μέτρο του δυνατού, ανεξάρτητων υδρογεωλογικών λεκανών ανά υδατικό διαμέρισμα.
7. Η ευκαιριακή και ανεξέλεγκτη εκμετάλλευση μεμονωμένων υδατικών πόρων από παραπάνω του ενός υδατικά διαμερίσματα, χωρίς εμπειρισταωμένη γνώση των δυνατοτήτων του που οδηγεί στη βαθμιαία ποιοτική και ποσοτική υποβάθμισή του.
8. Η ανυπαρξία μηχανισμού μεταφοράς και ενοποίησης των, κατά υδατικό διαμέρισμα στόχων και πολιτικών σε ευρύτερες μονάδες χώρου (upscaling) για το σχεδιασμό και την εφαρμογή συνδυασμένης οικονομικής ανάπτυξης.
9. Η δυσκολία ή και η ανυπαρξία ολιστικής αντιμετώπισης των προβλημάτων σχεδιασμού και διαχείρισης υδατικών πόρων.
10. Η χαλαρή σύνδεση και εναρμόνιση των υφιστάμενων προγραμμάτων ανάπτυξης με τις ανάγκες διαχείρισης νερού, από άποψη ποσότητας και ποιότητας.
11. Η δυσκολία πραγματοποίησης μακροχρόνιων προβλέψεων μεγεθών ή τάσεων υδρολογικών, πληθυσμιακών, οικονομικών, τομέων παραγωγής κλπ, στα πλαίσια του αναπτυξιακού προγραμματισμού, που να επιτρέπουν αντίστοιχες προβλέψεις σε έργα αξιοποίησης.
12. Η ανάγκη εξασφάλισης ορθολογιστικής διαχείρισης των διασυνοριακών υδάτων και την από κοινού χρήση αυτών με βάση τις υδατικές ανάγκες των εμπλεκόμενων χωρών.
13. Η καθυστέρηση κάλυψης υποχρεώσεων που απορρέουν από την εφαρμογή κοινοτικών οδηγιών.

14. Η έλλειψη ενιαίου διαχειριστικού φορέα στον τομέα νερού.

1.3.1.3. Ανθρωπογενείς παράγοντες επιδείνωσης των πλημμυρικών φαινομένων.

Το φυσικό αίτιο μιας πλημμύρας είναι μια ισχυρή καταιγίδα, ιδιαίτερα σε περιόδους υγρές όπου το έδαφος έχει σχετικά μικρή διηθητική ικανότητα. Δυστυχώς όμως, η συχνότητα των πλημμυρών που δημιουργούν καταστροφές, ιδιαίτερα στα αστικά κέντρα, δε συμβαδίζει πάντα με αυτή των καταιγίδων που τις προκαλούν. Είναι δυνατόν ακόμα και σχετικά μικρές βροχοπτώσεις να μπορούν να επιφέρουν σημαντικές καταστροφές. Αυτό γίνεται γιατί υπάρχουν ανθρωπογενή και τεχνητά αίτια πλημμυρογένεσης.

Αναφερόμενοι κυρίως στις αστικές περιοχές, που ενδιαφέρουν περισσότερο από πλευράς προστασίας των κατοίκων (Στοιχεία Υδρολογίας Πλημμύρων, Πηγή: <<http://edu.chi.civil.ntua.gr/site-LESSONS>>), οι κύριοι παράγοντες που επιδεινώνουν την επικινδυνότητα και καταστροφικότητα των πλημμύρων είναι:

1. Η εξαφάνιση του υδρογραφικού δικτύου μέσα στις πόλεις όπου τα ρέματα έχουν καλυφθεί από δρόμους, σπίτια και πλατείες.
2. Η ανεπάρκεια των ρεμάτων που έχουν απομείνει να αναλάβουν την αυξημένη απορροή και μάλιστα με μειωμένη συνήθως διατομή, αφού τα περισσότερα είναι μπαζωμένα ή έχουν δομηθεί παράνομα. Το αποτέλεσμα είναι να πλημμυρίζουν δρόμοι και υπόγεια.
3. Η ολοένα αυξανόμενη αστικοποίηση και η μείωση του πρασίνου από πυρκαγιές και άλλες αιτίες, με άμεσο αποτέλεσμα τη σημαντική συντόμευση του χρόνου συρροής των νερών και τη μεγάλη αύξηση του συντελεστή απορροής, αφού το 90-95% της βροχής μετατρέπεται σε απορροή. Αυτό σημαίνει ότι μια συγκεκριμένη βροχόπτωση αποδίδει πολύ μεγαλύτερη ποσότητα απορροής τώρα απ' ότι στο παρελθόν.
4. Η ανεπαρκής συντήρηση των υπαρκτών δικτύων και ο ελλιπής καθαρισμός των φρεατίων από τα απορρίμματα και τα οικοδομικά απόβλητα. Οι μελέτες των αντιπλημμυρικών έργων που θα πρέπει να εκσυγχρονιστούν με βάση τις εξελίξεις της επιστήμης και όχι να βασίζονται σε πεπαλαιωμένες εμπειρικές μεθόδους. Η επικινδυνότητα της πλημμύρας σχεδιασμού των έργων (π.χ. περίοδος επαναφοράς της πλημμύρας) θα πρέπει να επιλέγεται με προσοχή για κάθε έργο ανάλογα με το χαρακτήρα του και τη σημαντικότητά του από πλευράς παροχής προστασίας αλλά και την ανάλυση κόστους-οφέλους από το έργο. Κάθε έργο πρέπει να σχεδιάζεται με βάση τις ιδιαιτερότητές του.

5. Η ανεπάρκεια των όμβριων δικτύων που είναι παλαιά και μελετημένα για άλλες συνθήκες. Αναφερόμαστε στο πρωτεύον δίκτυο, διότι σε πολλές περιοχές το δευτερεύον και ιδιαίτερα το τριτεύον δίκτυο είναι ανύπαρκτα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα με την παραμικρή βροχή να πλημμυρίζουν οι δρόμοι και να δίνουν οι πόλεις μια εικόνα πλήρους αποδιοργάνωσης.

6. Η έλλειψη συστηματικών παρατηρήσεων απορροής σε πολλές πλημμυροπαθείς περιοχές και κυρίως στις αστικές περιοχές. Όσο καλά μοντέλα και αν χρησιμοποιηθούν, αν δεν ανταποκρίνονται στις πραγματικές μετρήσεις, το μόνο που μπορεί να γίνει είναι υποθέσεις και επομένως εκτιμήσεις πλημμύρων και έργων μειωμένης αξιοπιστίας.

1.4. Ανάλυση δεδομένων βροχοπτώσεων στην Ελλάδα, σύγκριση με την αποστραγγιστική ικανότητα του εδάφους.

Τα τελευταία χρόνια, διατυπώνεται από διάφορους μελετητές, τόσο στο εξωτερικό, όσο και στη χώρα μας, η άποψη ότι το κλίμα σταδιακά αλλάζει. Όσον αφορά στη χώρα μας, η κυρίαρχη άποψη είναι ότι η ετήσια ποσότητα των κατακρημνισμάτων μειώνεται, ενώ η θερμοκρασία σημειώνει αύξηση. Επιπλέον, έχουν εκπονηθεί μελέτες όπου γίνεται προσπάθεια να προβλεφθούν μελλοντικά κλιματικά σενάρια και να προσδιοριστεί το κόστος αυτών των κλιματικών αλλαγών (Παπανικολάου, Διακάκης, 2011). Επίσης, έχει παρατηρηθεί σε ορισμένες περιοχές της Μεσογείου και της χώρας μας, η ετήσια βροχόπτωση να παραμένει σταθερή στη διάρκεια των χρόνων, ενώ καταγράφεται μείωση των ημερών βροχόπτωσης. Το παραπάνω γεγονός έχει ως αποτέλεσμα, τα κατακρημνίσματα να συγκεντρώνονται σε λιγότερο αριθμό ημερών, με συνέπεια να αυξάνονται οι μέγιστες βροχοπτώσεις 24ώρου και κατ' επέκταση να αυξάνεται η επικινδυνότητα εμφάνισης πλημμυρικών γεγονότων (Καστρίδης, Στάθης, n.d.)

1.5. Ρύποι που παρασύρονται από το νερό της βροχής

1.5.1. Αέριοι Ρύποι, Δημιουργία Όξινης Βροχής

Βροχή είναι, το νερό που πέφτει από την ατμόσφαιρα με μορφή υδροσταγόνων και προέρχονται από την υγροποίηση των υδρατμών που σχηματίζουν τα σύννεφα.

Το pH της βροχής σε συνήθεις συνθήκες είναι 5,5. Όμως σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές η τιμή του pH κυμαίνεται από 3,5 – 4,5. Από την καύση διαφόρων ουσιών και την κίνηση (καύση βενζίνης) παράγονται μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και διοξειδίου του θείου. Τα αέρια οξείδια αντιδρούν με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας και το νερό της βροχής. Συγκεκριμένα, Το διοξείδιο του θείου και του αζώτου, τα οποία εκλύονται στην ατμόσφαιρα, οξειδώνονται σε τριοξείδια, τα οποία στην συνέχεια με την παρουσία της υγρασίας της ατμόσφαιρας μετατρέπονται σε θειικό και νιτρικό οξύ. Έτσι η βροχή παρουσιάζει όξινο χαρακτήρα, δηλαδή έχει αυξημένες όξινες ιδιότητες με pH 5 ή και μικρότερο. Λόγω των οξέων που περιέχει, παίρνει και το όνομά της “όξινη βροχή”. Τα οξέα αυτά (κυρίως θείο και άζωτο) προέρχονται από την καύση φυσικών καυσίμων, όπως άνθρακα και πετρελαίου και γι’ αυτό παρουσιάζονται πιο έντονα στις βιομηχανικές περιοχές. Τα θειικά και νιτρικά οξέα φτάνουν στο έδαφος σε υγρή μορφή, μεταφερόμενα με τη βροχή (Βαρδάκα, Ζερή n.d.).

Ο όρος “όξινη βροχή” χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά τον 19 αιώνα για να περιγράψει τη μολυσμένη βροχή στο Μάντσεστερ της Βρετανίας στη διάρκεια της βιομηχανικής επανάστασης. Ο όρος αυτός, εξακολουθεί να χρησιμοποιείται, παρόλο που σωστότερος θεωρείται ο όρος “όξινη κατακρήμνιση”. Κοινώς, χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει μολυσμένη βροχόπτωση που συνδέεται με την καύση των φυσικών καυσίμων (άνθρακα, πετρελαίου κ.α.).

Η δραστηριότητα της όξινης βροχής μετριέται με την κλίμακα του pH. Όσο πιο χαμηλό είναι το pH, τόσο πιο όξινη είναι η βροχή και τόσο πιο καταστρεπτικές επιπτώσεις έχει στη χλωρίδα, στην πανίδα, καθώς και στα κτίρια και στα μνημεία.

1.5.1.1. Αίτια όξινης βροχής

Υπαίτιοι για τη δημιουργία της όξινης βροχής, διεθνώς, είναι οι μεγάλες βιομηχανίες και τα εργοστάσια. Από τα καυσαέρια που παράγονται από τα εργοστάσια, ακόμα και από τα αυτοκίνητα, στις μεγάλες αστικές περιοχές, η βροχή συνήθως γίνεται όξινη. Έτσι, τα κύρια αίτια για το σχηματισμό της όξινης βροχής είναι το διοξείδιο του θείου (SO₂), που εκλύεται από βιομηχανίες που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα όπως ο άνθρακας κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και τα οξείδια του αζώτου (NO_x), που περιέχονται κυρίως στα καυσαέρια των αυτοκινήτων (στις μηχανές εσωτερικής καύσης). Συγκεκριμένα, η όξινη βροχή είναι το αποτέλεσμα της καύσης του κάρβουνου και του πετρελαίου.

Από την καύση αυτή ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του θείου (SO₂) και οξείδια του αζώτου (NO_x). Η όξινη βροχή δημιουργείται όταν αυτά τα αέρια αντιδρούν στην

ατμόσφαιρα με νερό, οξυγόνο και άλλες χημικές ενώσεις, σχηματίζοντας διάφορες όξινες ενώσεις. Η ηλιακή ακτινοβολία δρα καταλυτικά αυξάνοντας το ποσοστό αυτών των αντιδράσεων.

Πιο συγκεκριμένα, το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου αντιδρούν με το οξυγόνο και τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας και σχηματίζουν αντίστοιχα θειικό (H_2SO_4) και νιτρικό οξύ (HNO_3), τα οποία στη συνέχεια, διαλυμένα στο νερό της βροχής ή στα σταγονίδια της ομίχλης κ.λπ., προσβάλλουν το έδαφος, το νερό, τα φυτά, τα ζώα και τα κτίσματα. Το SO_2 και τα NO_x μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις με τη βοήθεια των ανέμων και να δημιουργήσουν όξινη βροχή χιλιόμετρα μακριά από τον τόπο εκπομπής τους. Το σύνολο της διαδικασίας αναλύεται ακολούθως:

Το διοξείδιο του θείου και του αζώτου, τα οποία εκλύονται στην ατμόσφαιρα από κάποια χημικά σκευάσματα, οξειδώνονται σε τριοξείδια, τα οποία στην συνέχεια με την παρουσία της υγρασίας της ατμόσφαιρας μετατρέπονται σε θειικό και νιτρικό οξύ. Τα οξέα αυτά είναι δυνατόν να μεταφερθούν από τους ανέμους σε μεγάλες αποστάσεις και να πέσουν στην Γη υπό την μορφή όξινης βροχής.

Το νερό της βροχής φυσιολογικά έχει pH 6,5 έως 5,6. Το pH είναι το μέγεθος που δηλώνει αν ένα διάλυμα είναι ουδέτερο (pH=7), όξινο (pH μικρότερο του 7) ή αλκαλικό (pH μεγαλύτερο του 7). Το pH της όξινης βροχής κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 4,6 και 4, ενώ κατά καιρούς μετριοούνται και πιο ακραίες τιμές του pH (έως και 2,4). Σύμφωνα με έρευνες των επιστημόνων κατά τα τέλη της δεκαετίας του 1980, αποδείχτηκε ότι η ομίχλη, λόγω των πολλών μικρών σταγονιδίων από τα οποία αποτελείται, προσφέρει τελικά μεγαλύτερη επιφάνεια προσρόφησης στα SO_2 και NO_x και γι' αυτό περιέχει συνήθως πολλαπλάσιες ποσότητες θειικού και νιτρικού οξέος από ότι άλλες μορφές όξινης κατακρήμνισης.

Σε μορφή βημάτων για να σχηματιστεί η όξινη βροχή έχουμε:

1. Καύση καυσίμων που περιέχουν θείο.
2. Απελευθέρωση άχρωμου διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα
3. Οξείδωση του SO_2 σε SO_3 .
4. το SO_2 οξειδώνεται σε SO_3 το οποίο ενυδατώνεται (hydrated), (όταν η ατμόσφαιρα είναι αρκετά υγρή) σε H_2SO_4 στις σταγόνες των νεφών, διατηρώντας οξύτητα μακριά από την κανονική (pH = 5.6).
5. Σαν αποτέλεσμα πραγματοποιείται η όξινη βροχή κοντά σε βιομηχανικές περιοχές.

Στο φαινόμενο της όξινης βροχής εμπλέκονται και άλλα οξείδια, όπως αυτά του αζώτου.

Σε ο,τι αφορά στα αίτια της όξινης βροχής, έχει διατυπωθεί πως η καύση των απορριμμάτων οδηγεί στην δημιουργία της όξινης βροχής. Η άποψη αυτή είναι όμως λανθασμένη, γιατί π.χ. το ξύλο, το

χαρτί και τα διάφορα απορρίμματα τροφών δημιουργούν κατά την διάρκεια της καύσης τους υδροξείδιο του χλωρίου, το οποίο ενώνεται με τους υδρατμούς και δημιουργείται το υδροχλώριο. Στους κλίβανους όπου καίγονται τα σκουπίδια ουδετεροποιείται αυτό το υδροχλώριο. Η όξινη βροχή δημιουργείται κατά 98% από οξείδια θείου και αζώτου και όχι από το υδροχλώριο.

Συμπερασματικά, σύμφωνα με τους ειδικούς, τα αίτια της όξινης βροχής εντοπίζονται στη βαριά βιομηχανία και στις μεγάλες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Είναι έντονη στις βιομηχανικές περιοχές και έχει καταστρεπτικές συνέπειες στη χλωρίδα, στην πανίδα, οξειδώνει τα μέταλλα και δημιουργεί φθορά με την πάροδο του χρόνου στα κτίρια, στα αγάλματα και στα μαρμάρια μνημεία.

1.5.1.2. Επιπτώσεις όξινης βροχής

Η όξινη βροχή έχει διάφορες καταστρεπτικές συνέπειες στα δάση, τις λίμνες και τα ποτάμια, στους ζωντανούς οργανισμούς αλλά ακόμα και στα μνημεία και κτίρια. Τα δέντρα χάνουν τα φύλλα τους και αδυνατίζουν. Μερικά δέντρα πεθαίνουν, ενώ άλλα δεν μπορούν να αναπτυχθούν λόγω της αυξημένης οξύτητας του χώματος. Η όξινη βροχή έχει διαβρωτικές ικανότητες, αποτελώντας ένα σοβαρό κίνδυνο για τα κτίρια και άλλα υλικά. Αργά αλλά σταθερά «κατατρώει» τα υλικά, κάνοντας την πέτρα να διαλύεται, το μέταλλο να σκουριάζει, τα χρώματα να καταστρέφονται, το δέρμα να αδυνατίζει και το γυαλί να σχηματίζει κρούστα. Το πόσιμο νερό, το φαγητό και ο εισπνεόμενος αέρας, έχουν έρθει σε επαφή με αυτά τα οξέα. Τα προβλήματα που δημιουργούνται στην υγεία εντοπίζονται κυρίως στο αναπνευστικό σύστημα. Επίσης, επειδή η βροχή διαλύει κάποια μέταλλα όπως ο χαλκός, το αλουμίνιο και ο μόλυβδος η υγεία μπορεί να απειληθεί από τα αυξημένα επίπεδα αυτών των ουσιών στο πόσιμο νερό.

Αναλυτικότερα η επίδραση της όξινης βροχής στο περιβάλλον και στα υλικά:

- Τα φυτά κι η άγρια πανίδα στις λίμνες και στα ρεύματα βλάπτονται από την αυξανόμενη οξύτητα του νερού λόγω της όξινης βροχής. Το φαινόμενο αυτό έχει πάρει μεγάλες διαστάσεις στην Κεντρική Ευρώπη και στις Σκανδιναβικές χώρες, στις οποίες ολόκληρες λίμνες έχουν νεκρωθεί διότι η οξίνιση του νερού κατέστρεψε πληθυσμούς ψαριών σε χιλιάδες λίμνες και ρεύματα.
- Η όξινη βροχή και η ρύπανση γενικά, προκαλούν στα δασικά δένδρα ελάττωση της αύξησης τους λόγω της βλάβης που προκαλείται στα στομάτια των φύλλων και φυλλόπτωση, με αποτέλεσμα η ζωτικότητα των δένδρων να ελαττώνεται, ελαττώνεται επίσης η αύξηση τους και με τελικό αποτέλεσμα τη νέκρωση των δένδρων. Ακόμη, η ρύπανση του εδάφους προκαλεί έκπλυση των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους και μαζί με ξηρές χρονιές και φυλλόπτωση των δένδρων. Έχει

μάλιστα αποδειχθεί, ότι σε χρονιές με μεγάλη ρύπανση και με λιγότερη ίσως συμμετοχή της ξηρασίας, τα δένδρα κυρίως στο κατώτερο τμήμα τους, παύουν να δημιουργούν ετήσιους δακτυλίους.

- Η δράση της όξινης βροχής στα φυτά και τα δένδρα μπορεί να είναι άμεση, επιδρώντας δηλαδή στο υπέργειο τμήμα του φυτού και προκαλώντας την καταστροφή του, είναι όμως δυνατόν να επιδρά και έμμεσα περνώντας στο ριζικό σύστημα του φυτού μέσω του εδάφους.
- Όταν η όξινη βροχή πέφτει στους δασικούς τάπητες, αλλάζει τα συστατικά τους -το "επίπεδο pH"- του εδάφους. Τα δέντρα λαμβάνουν λιγότερα θρεπτικά συστατικά από τη γη γιατί είναι πολύ όξινη κι αυτό δημιουργεί δάση τα οποία είναι πιο ευαίσθητα στην ξηρασία, στις αρρώστιες και στην προσβολή από έντομα.
- Η όξινη βροχή εισέρχεται στο σύστημα των υπογείων υδάτων και αυξάνει την οξύτητα του πόσιμου νερού μας, το οποίο μπορεί να γίνει επικίνδυνο για την υγεία όλων μας.
- Η όξινη βροχή προσβάλλει κτίρια και μνημεία, διαβρώνοντας τα υλικά με τα οποία έχουν κατασκευαστεί. Επίσης προκαλεί χημική διάβρωση των χρωμάτων διαφόρων υλικών όπως φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν.



(α)



(β)

Εικόνες 1.4 (α),(β): Χημική Διάβρωση Υλικών

- Η όξινη βροχή επιδρά και επί άλλων στοιχείων όπως ο χαλκός, ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος, το χρώμιο, το μαγγάνιο, το βανάδιο. Όταν η βροχή πέφτει, αποθέτει ενώσεις αζώτου (NO_x και NH_3) στο έδαφος, βλάπτοντας τις χερσαίες πηγές οικοσυστημάτων.

Όσο η ποσότητα αζώτου στο έδαφος αυξάνεται, τα είδη των φυτών κι ο τρόπος που μεγαλώνουν τα δέντρα επίσης αλλάζει. Γι' αυτόν το λόγο οι δυναμικές ολόκληρου του οικοσυστήματος μπορούν να καταστραφούν. Στο έδαφος, μερικοί από τους ρύπους (π.χ. αμμωνία, οξείδια του αζώτου) μπορούν αργότερα να αντιδράσουν με το νερό στην επιφάνεια του εδάφους και να ξεκινήσουν μία διαδικασία

γνωστή ως ευτροφισμό. Άλλοι ρύποι (π.χ. λεπτά σωματίδια, όζον και βαρέα μέταλλα) συσσωρεύονται απλώς σε χαμηλά υψόμετρα και βλάπτουν την ανθρώπινη υγεία. Στον ακόλουθο πίνακα παρατίθενται κάποια παραδείγματα ρύπων, οι επιπτώσεις τους καθώς και η πηγή προέλευσής τους.

Πίνακας 1.3: Ρύποι όξινης βροχής, πηγή προέλευσής τους και επιπτώσεις.

ΡΥΠΟΙ	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	ΠΗΓΗ
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	Οξίνιση/Παραγωγή ενέργειας	Οδικές μεταφορές
Οξειδία του αζώτου (NO _x)	Οξίνιση/Ευτροφισμός	Βιομηχανία
Αμμωνία (NH ₃)	Υγεία	Γεωργικές δραστηριότητες
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	Υγεία	Καυσαέρια
Αιωρούμενα σωματίδια (SPM)	Υγεία	Διάφορες πηγές
Μόλυβδος (Pb)	Υγεία	Καυσαέρια
Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC)	Μείωση όζοντος	Καυσαέρια

Όπως προαναφέρθηκε, οι αντιδράσεις των δομικών υλικών με το περιβάλλον έχουν σαν αποτέλεσμα τη διάβρωση τους. Διάβρωση είναι η προσαρμογή σε μια κατάσταση ισορροπίας των ορυκτών και πετρωμάτων από το πρωταρχικό μέρος της δημιουργίας τους, δηλαδή κάτω από την επιφάνεια της γης στη σημερινή τους θέση, δηλαδή της επιφάνεια της.

Στην επιφάνεια της γης όλα τα υλικά και μεταξύ αυτών τα πορώδη όπως το μάρμαρο, “γερνούν” λόγω των διαβρωτικών επιπτώσεων της ατμόσφαιρας, βιόσφαιρας και υδρόσφαιρας. Καθένας απ’ αυτούς τους παράγοντες προκαλεί τον ένα ή και τους δύο τύπους διάβρωσης δηλαδή τον χημικό και μηχανικό. Η χημική διάβρωση είναι το αποτέλεσμα τριών χημικών αντιδράσεων, της διάλυσης, οξείδωσης και υδρόλυσης. Διάλυση ονομάζεται η επίδραση ενός δυνατού ή αδύνατου οργανικού ή ανόργανου οξέως στο υλικό με συνέπεια τη δημιουργία αλάτων ανάλογων της φύσης του οξέως. Η

οξειδωση αναφέρεται στο μετασχηματισμό ορισμένων οξειδίων του σιδήρου μέσα στο υλικό, σε άλλα διαφορετικής κρυσταλλικής δομής με συνέπεια την αλλαγή του χρώματος του.

Τέλος η υδρόλυση αφορά την μετατροπή ορισμένων ορυκτών που σχηματίζουν πετρώματα σε πηλούς. Η μηχανική διάβρωση χαρακτηρίζεται κυρίως από το σχηματισμό ρωγμών, που προκαλείται από την παρουσία εσωτερικών πιέσεων. Οι πιέσεις αυτές προέρχονται από την αύξηση του όγκου του νερού μέσα στην κρυσταλλική δομή της πέτρας και είναι απόρροια απότομων αλλαγών.

Η όξινη βροχή καταστρέφει κτίρια, μνημεία και αγάλματα κατασκευασμένα από ορυκτό υλικό, που είναι συνήθως ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), όπως ασβεστόλιθος, μάρμαρο κ.λπ. Ο μηχανισμός αλλοίωσης του υλικού λόγω ορισμένων ρυπαντών περιγράφεται ως εξής τα οξείδια του αζώτου, θείου και άνθρακα που έχουν διαλυθεί στη βροχή, εισχωρούν μέσα στο υλικό έως ένα ορισμένο βάθος.

Εκεί αντιδρούν με το ασβέστιο του μαρμάρου και σχηματίζουν άλατα τα οποία παραμένουν στην επιφάνεια. Εάν μέρος αυτού του σώματος των αλάτων είτε αφεθεί μηχανικά είτε διαλυθεί στο νερό της βροχής τότε μεταφέρει μαζί του και υγιές μάρμαρο, εκθέτοντας έτσι νέα επιφάνεια για περαιτέρω διάβρωση.

Ο μηχανισμός αυτός είναι ανάλογος αυτού που συμβαίνει στα μάρμαρα της Ακρόπολης και παρουσιάζεται με την χημική αντίδραση:



Όταν το θειικό οξύ αντιδράσει με το διττανθρακικό ασβέστιο ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) που έχει σχηματισθεί κατόπιν μιας φυσικής επίδρασης του CO_2 στο μάρμαρο, δηλαδή αφού έχει πρώτα σχηματισθεί ανθρακικό οξύ, δημιουργείται στρώμα γύψου ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) στην επιφάνεια του μαρμάρου το οποίο διατηρεί όλες τις λεπτομέρειες της κατασκευής του γλυπτού. Αν όμως το στρώμα αυτό βρεθεί εκτεθειμένο στο όξινο βρόχινο νερό τότε διαλύεται από αυτό με τα γνωστά αποτελέσματα, δηλαδή τα παραμορφωμένα πρόσωπα, κόμες και πτυχές των φορεμάτων των Καρυάτιδων. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται γυψοποίηση των μαρμάρων, βάσει λοιπόν αυτού του φαινομένου το ανθρακικό ασβέστιο μετατρέπεται σε γύψο, η οποία στη συνέχεια, ενώνεται με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας ή το νερό της βροχής, φουσκώνει και ρηγματώνεται επιφανειακά, με τελικό αποτέλεσμα τη διάβρωση ή την αποσάθρωση του υλικού. Καταστροφές μνημείων εξαιτίας της όξινης βροχής έχουν σημειωθεί σε πάρα πολλές χώρες σε όλο τον κόσμο.

Ακολουθούν διάφορες φωτογραφίες που καταδεικνύουν τις αλλοιώσεις που έχουν υποστεί διάφορα αρχαία ελληνικά μαρμάρινα μνημεία από την επίδραση της όξινης βροχής.



(α)

(β)

Εικόνες 1.5 (α), (β): Αλλοιώσεις μαρμάρου μνημείων

Τέλος το θειικό οξύ επιδρά και στις εξωτερικές υαλογραφίες των κτιρίων, καθώς αποχρωματίζει και θαμπώνει το γυαλί.

1.5.1.3. Τρόποι Αντιμετώπισης

Εκτός από την άμεση αντιμετώπιση του προβλήματος, όπου αυτό είναι δυνατόν, καταβάλλεται προσπάθεια αντιμετώπισης του αίτιου της όξινης βροχής, δηλαδή της ρύπανσης. Αναπτύσσονται αντιρρυπαντικές τεχνολογίες, χρησιμοποιούνται μη ρυπογόνες μορφές ενέργειας.

Επίσης καθίσταται αναγκαίος ο περιορισμός του διοξειδίου του θείου και των οξειδίων του αζώτου. Τα σημαντικότερα μέτρα προς την κατεύθυνση αυτή περιλαμβάνουν την αποθείωση των καυσαερίων των εργοστασίων και την εφαρμογή καταλύτη καυσαερίων στο αυτοκίνητο. Δηλαδή, με διάφορες προφυλάξεις όπως η χρήση απορροφητικών φίλτρων από τις βιομηχανίες, καθώς και η χρήση καταλυτικών αυτοκινήτων θα μπορούσε να μειωθεί η εκπομπή των επικίνδυνων αυτών καυσαερίων.

Πιο συγκεκριμένα, για να λυθεί το πρόβλημα της όξινης βροχής πρέπει να κατανοηθεί ο τρόπος με τον οποίο αυτή καταστρέφει το περιβάλλον. Πρέπει επίσης να κατανοηθούν οι αλλαγές που πρέπει να γίνουν στις εστίες μόλυνσης που προκαλούν το πρόβλημα.

Ο περισσότερος ηλεκτρισμός που δίνει ενέργεια στη μοντέρνα ζωή προέρχεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό του από την καύση ορυκτών καυσίμων (όπως ο άνθρακας), το φυσικό αέριο και το

πετρέλαιο. Όταν καίγονται οι παραπάνω καύσιμες ύλες, εκπέμπονται οι δύο βασικοί ρύποι που προκαλούν τις όξινες αποθέσεις, το διοξείδιο του θείου SO_2 και τα οξείδια του αζώτου NO_x .

Το θείο βρίσκεται μέσα στον άνθρακα ως ακαθαρσία και απελευθερώνεται ως SO_2 κατά την καύση του. Αντίθετα, τα οξείδια του αζώτου σχηματίζονται κατά την καύση οποιουδήποτε ορυκτού καυσίμου.

Μια από τις επιλογές για τη μείωση των εκπομπών είναι η χρήση άνθρακα που περιέχει μικρότερο ποσοστό θείου, μετά από αποθειώσή του με έκπλυση και η χρήση φίλτρων τα οποία απομακρύνουν χημικά το διοξείδιο του θείου από τα αέρια που εκλύονται από τις καπνοδόχους των βιομηχανιών. Επίσης, θα μπορούσε να γίνει αλλαγή του καυσίμου που χρησιμοποιεί για τις διαδικασίες της μία βιομηχανία. Χρησιμοποιώντας επί παραδείγματι φυσικό αέριο οι εκπομπές SO_2 μειώνονται σημαντικά (πηγή: <<http://www.scribd.com/doc/6991544/Εργασία-Όξινη-Βροχή>>).

Όσον αφορά στις περιπτώσεις ατομικής χρήσης καυσίμων η καλή συντήρηση των καταλυτικών μετατροπέων των οχημάτων ή καλύτερα η χρήση υβριδικών οχημάτων νέας τεχνολογίας βοηθά στη σημαντική μείωση του προβλήματος των εκπομπών που οδηγούν στις όξινες αποθέσεις.

Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται, με δυστυχώς πολύ αργούς για την Ελλάδα ρυθμούς, η χρήση και άλλων μορφών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική.

Συμπερασματικά, προοπτικές για τη μείωση των εκπομπών ρύπων υπάρχουν και αν δημιουργηθεί το σωστό θεσμικό πλαίσιο, μπορούν να εφαρμοστούν, συμβάλλοντας στη λύση του έντονου προβλήματος των όξινων αποθέσεων.

1.6.2. Ρύποι Εδάφους

Με τον όρο ρύπανση του εδάφους, εννοείται οποιαδήποτε ανεπιθύμητη αλλαγή στα φυσικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του εδάφους, η οποία μπορεί, υπό προϋποθέσεις, να γίνει ζημιογόνος για τον άνθρωπο και υπόλοιπους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς. Η ρύπανση του εδάφους, ακολουθείται από ρύπανση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα οδηγώντας σε σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας του πολυτιμότερου αγαθού του πλανήτη, του νερού.

Η ρύπανση του εδάφους δημιουργείται βασικά από τη χρήση ορισμένων τεχνικών μέσων της σύγχρονης γεωργίας, όπως τα χημικά λιπάσματα και φυτοφάρμακα, ενώ, μπορεί να συμβεί και από τα οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα.

Τα χημικά λιπάσματα αυξάνουν την παραγωγή σε μεγάλο βαθμό αλλά περιέχουν ίχνη από τοξικά μέταλλα και μεταλλοειδή που παραμένουν στο έδαφος, συσσωρεύονται στους επιφανειακούς ορίζοντες και έπειτα παρασύρονται από το νερό της βροχής και καταλήγουν στους υδάτινους αποδέκτες (Σφακιανάκη, Μαγάλιου, Μπότσαρης, 2008).

1.6.2.1. Ευτροφισμός

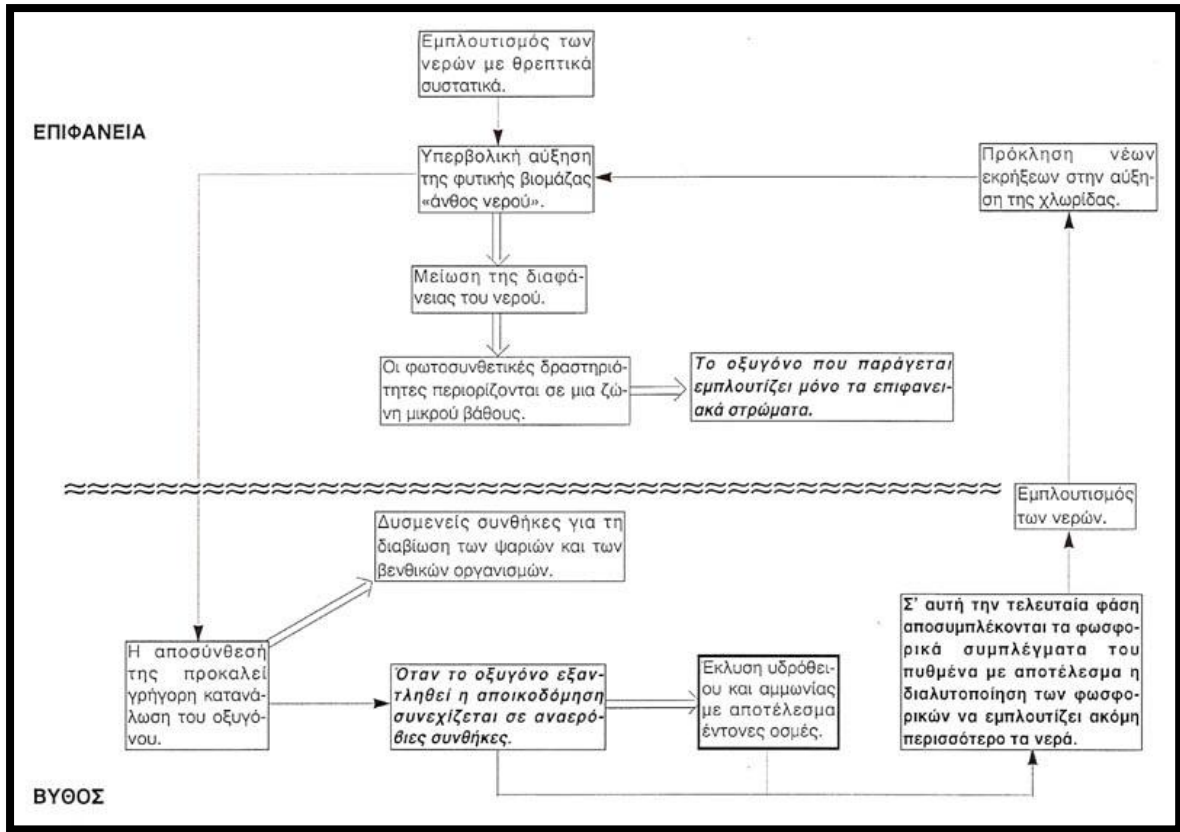
Μια από τις σημαντικότερες επιπτώσεις της ρύπανσης που προκαλείται από τους παρασυρόμενους ρύπους εδάφους στα ύδατα είναι ο ευτροφισμός (Κορδολαίμη, 2007).

Το άζωτο (N) και ο φώσφορος (P), αποτελούν στοιχεία απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών και των ζώων, γι' αυτό και αναφέρονται ως θρεπτικά. Η διαθεσιμότητα των στοιχείων αυτών αποτελεί προϋπόθεση για την ανάπτυξη των οργανισμών αυτών. Ένα αρκετά σύνθητες φαινόμενο που οφείλεται στον μη επαρκή έλεγχο των φορτίων P και N που εισέρχονται σε ένα αποδέκτη, είναι οι συγκεντρώσεις των στοιχείων αυτών, να υπερβαίνουν κάποια ανώτατα όρια. Σε αυτές τις περιπτώσεις έχουμε υπέρμετρη ανάπτυξη της υδρόβιας ζωής που οδηγεί σε συνθήκες ευτροφισμού. Έτσι, ο έλεγχος των φορτίων N και P που εισέρχονται στον αποδέκτη αποτελεί συχνά το βασικό στόχο των στρατηγικών διαχείρισης που αποβλέπουν στην πρόληψη του ευτροφισμού. Ιδιαίτερα στην περίπτωση επιφανειακών νερών, όπως λίμνες και αποστραγγιστικά κανάλια, συνήθως τα ολικά ετήσια φορτία P αποτελούν τον κρίσιμο και ως εκ τούτου τον περιοριστικό παράγοντα ευτροφισμού.

Από άποψη ρύπανσης σημαντικότερες είναι:

- Ενώσεις του αζώτου: οι οργανικές ενώσεις του, η αμμωνία, τα νιτρώδη, τα νιτρικά, η ουρία και το ανόργανο άζωτο
- Ενώσεις του φωσφόρου: οι ορθοφωσφορικές όπως PO_4^{-3} , HPO_4^{-2} , H_2PO_4 .

Ευτροφισμός είναι η διαδικασία εμπλουτισμού των νερών με τροφικά συστατικά, κυρίως άζωτο και φωσφόρο, η οποία ενισχύει την πρωτογενή παραγωγικότητα. Πιθανή πορεία των θρεπτικών συστατικών σε λιμναίο σύστημα περιγράφεται στο Σχήμα 1.1



Σχήμα 1.1: Κατάληξη θρεπτικών συστατικών σε λίμνιο σύστημα.

Η έντονη προσθήκη τροφικών υλικών έχει σαν αποτέλεσμα την υπερβολική ανάπτυξη της βιομάζας των φυτών (πλαγκτονικής μορφής και φυτά με ρίζες), σε επίπεδο που θεωρείται ότι λειτουργεί ανασταλτικά στις επιθυμητές χρήσεις του νερού και την διατάραξη της υπάρχουσας οικολογικής ισορροπίας. Όταν παρατηρηθεί απότομη αύξηση των φυτικών οργανισμών, τότε δημιουργούνται πολλά προβλήματα στη λίμνη, η υπέρμετρη αύξηση ορισμένων ανθεκτικών φυτών καταστρέφει άλλα πιο ευαίσθητα, το νερό αποκτά πράσινο χρώμα και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ψυχαγωγικούς σκοπούς. Η ανάπτυξη του φυτοπλαγκτόν, αφενός μειώνει σημαντικά την διοχέτευση του ηλιακού φωτός ακόμα και σε μεσαία βάθη, αφετέρου ευθύνεται για την υπέρμετρη κατανάλωση του οξυγόνου στα κατώτερα στρώματα οπότε παρατηρούνται αναερόβιες δράσεις με αποτέλεσμα να αναδίδονται δυσάρεστες οσμές και το νερό να αποκτά δυσάρεστη γεύση και να μην είναι κατάλληλο για πόση. Υπό τέτοιες συνθήκες, ελάχιστες μορφές ζωής μπορούν να επιβιώσουν. Η όψη των επιφανειακών υδάτων υπό συνθήκες ευτροφισμού φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 1.6: Όψη επιφανειακών υδάτων, λόγω ευτροφισμού σε ποτάμι.

Οι έντονες βροχοπτώσεις και οι πλημμύρες, εντείνουν το φαινόμενο της ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα, αφού αυξάνουν την ταχύτητά του και οδηγούν σε ακανόνιστη κατανομή μεγάλων όγκων νερού, οι οποίοι λόγω της μεγάλης δυναμικής τους ενέργειας παρασύρουν μεγάλες ποσότητες ρυπαντών. Στην προσπάθεια λοιπόν, για τη μείωση της ποσότητας των ρυπαντών που καταλήγουν να μολύνουν τα υπόγεια ύδατα, αποτελεί μεγάλη βοήθεια, η κατάστρωση μεθόδων και η κατασκευή έργων αντιπλημμυρικής προστασίας. Τα έργα αυτά, δεν βοηθούν μόνο στην καταπολέμηση των αποτελεσμάτων των, όλο και συχνότερα, εμφανιζόμενων φαινομένων έντονων κατακρημνίσεων, αλλά προσφέρουν και μια έμμεση, αλλά σημαντική, βοήθεια στην προστασία του υπεδάφους και κατ' επέκταση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα από την καταστρεπτική δράση των ρυπαντών.

1.7. Μέθοδοι αντιμετώπισης πλημμυρικών φαινομένων

Τα πλημμυρικά φαινόμενα μπορούν να αντιμετωπιστούν με:

- Πρόβλεψη σε περιοχές επιρρεπείς σε πλημμύρες με τη χρήση διαφόρων μεθόδων.
- Κατασκευή έργων υποδομής όπως φράγματα και διάφορα αντιπλημμυρικά έργα υποδομών και οικιστικών περιοχών σε μέρη που δεν κινδυνεύουν από πλημμύρες.
- Δημιουργία συστημάτων ειδοποίησης.
- Αναδάσωση.
- Βελτίωση της υδραυλικής χωρητικότητας των κοιτών των ποταμών.
- Ενημέρωση και εκπαίδευση του κοινού για την αντιμετώπιση των πλημμύρων (Shield 2004

Πηγή: <<http://www.learn-hazards.org/5.php?l=gr>>).

Η πρόβλεψη των πλημμύρων και η έγκαιρη προειδοποίηση είναι βασική προϋπόθεση για την ελαχιστοποίηση των καταστροφών που προκαλούνται από πλημμύρες. Τα συστήματα πρόβλεψης έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούν τις τελευταίες εξελίξεις στην παρακολούθηση, στην επικοινωνία και στην τεχνολογία των υπολογιστών. Βασίζονται κυρίως στις προβλέψεις των κατακρημνίσεων και σε μοντέλα των ποταμών, των κοιλάδων και της ροής του νερού. Οι πλημμύρες μπορούν να μειωθούν με συνδυασμένες βελτιώσεις στην πρόβλεψη και στην διαχείριση των ποτάμιων συστημάτων. Επιπρόσθετα, οι αρχές θα πρέπει να διαθέτουν τις απαραίτητες πληροφορίες και να προειδοποιούν για επικείμενες πλημμύρες (Shield 2004 Πηγή: <http://www.learn-hazards.org/5.php?l=qr>).

Τα προστατευτικά μέτρα σχεδιάζονται για να παρέχουν προστασία σε ένα επίπεδο πλημμύρας. Το επίπεδο προστασίας που επιλέγεται εξαρτάται κάθε φορά από το κόστος, την επιθυμία της κοινωνίας την εν δυνάμει ζημία, την επίδραση στο περιβάλλον και άλλους παράγοντες. Η προστασία από τις πλημμύρες δεν είναι ποτέ απόλυτη. Τα ερωτήματα που τίθενται είναι (α) ποία είναι η επιθυμητή ασφάλεια, (β) με τι κόστος, και (γ) τι αποδοχή έχει η κοινωνία για την πιθανότητα που απομένει (εμφάνιση ακραίων γεγονότων).

Η αντιμετώπιση των πλημμύρων γίνεται με μια σειρά μέτρων που διακρίνονται ανάλογα με:

- Την κατασκευή ή όχι τεχνικών έργων (κατασκευαστικά – μη κατασκευαστικά μέτρα)
- Το αν προστατεύουν συγκεκριμένες κατασκευές ή μεγαλύτερες περιοχές.
- Το αν έχουν σκοπό: (α) να διαφοροποιήσουν την πλημμύρα, (β) να μειώσουν την ευπάθεια σε πλημμύρα και γ να μειώσουν την επίδραση της πλημμύρας.

Η προστασία από τις πλημμύρες πρέπει να αντιμετωπίζεται κατά συνδυασμένο και συντονισμένο τρόπο σε όλη τη λεκάνη απορροής του ποταμού, δεδομένου ότι τα τοπικά μέτρα προστασίας που λαμβάνονται σε ένα μέρος μπορεί να έχουν έμμεσο αντίκτυπο στις ανάντη και κατάντη περιοχές. Το σημείο αυτό γίνεται σημαντικό στις περιπτώσεις ποταμών που διέρχονται από διάφορα κράτη, όπου θα πρέπει να υπάρχει συνεργασία και αλληλεγγύη στη διαχείριση των πλημμυρών. Η γενική στρατηγική έχει τρία κύρια βήματα: κατακράτηση, αποθήκευση και αποστράγγιση.

Οι βαθύτερες αιτίες των πλημμύρων (βροχόπτωση, στάθμη της θάλασσας) είναι φυσικά φαινόμενα τα οποία δε μπορούν κατ' ουσία να ελεγχθούν. Εντούτοις, το εάν μια δεδομένη βροχόπτωση, θα προκαλέσει ζημιές λόγω πλημμύρας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ανθρώπινες ενέργειες, όπως η αστικοποίηση, η αποδάσωση τμημάτων της λεκάνης απορροής, η ευθυγράμμιση του ρου των ποταμών, η εξάλειψη των φυσικών πεδίων κατάκλυσης, η ανεπαρκής αποστράγγιση και η οικοδόμηση κτιρίων και κατασκευών σε επικίνδυνα πεδία κατάκλυσης.

Ο πληθυσμός των περιοχών με υψηλό κίνδυνο πλημμυρών πρέπει να λαμβάνει προσωπικά μέτρα για τη διαφύλαξη της περιουσίας του. Ακόμη, πρέπει να υπάρχει μηχανισμός ασφαλειών ώστε να προβλέπονται αποζημιώσεις.

Η πλημμύρα παράκτιων περιοχών μπορεί να προκληθεί από καταιγίδες στη θάλασσα λόγω των ανέμων που κατακλύζουν την ξηρά με πλημμυρίδες. Σε πολλές περιοχές η ευπάθεια σε πλημμύρες έχει αυξηθεί λόγω της παράκτιας διάβρωσης. Όταν οι θαλάσσιες καταιγίδες συμπίπτουν με ανύψωση της στάθμης του νερού στις εκβολές ποταμών τότε είναι πιθανό να προκληθούν εκτεταμένες ζημιές.

Δύο σημεία υποδεικνύουν αύξηση του κινδύνου πλημμύρων στην Ευρώπη: (α) το μέγεθος και η συχνότητα των πλημμυρών που είναι πιθανόν να αυξηθούν στο μέλλον λόγω κλιματικών διακυμάνσεων (οι οποίες θα προκαλέσουν εντονότερη βροχόπτωση και ανύψωση της στάθμης της θάλασσας) και (β) αισθητή αύξηση του αριθμού των ατομικών και οικονομικών αγαθών που είναι εγκατεστημένα σε ζώνες που κινδυνεύουν από πλημμύρες.

Τα τελευταία χρόνια συνειδητοποιείται όλο και περισσότερο η επίδραση των πλημμυρών στην ανθρώπινη υγεία. Όταν τα πλημμυρικά νερά παρασύρουν ρύπους ή αναμειγνύονται με μολυσμένα νερά από αποστραγγίσεις και γεωργικές γαίες μπορεί να προκληθούν υγειονομικές συνέπειες.

1.8. Μέτρα αντιμετώπισης πλημμυρικών φαινομένων

1.8.1. Αντιπλημμυρικά έργα

Αντιπλημμυρικά έργα είναι τα έργα εκείνα που έχουν σκοπό την, όσο το δυνατόν, καλύτερη προστασία του ανθρώπου και του περιβάλλοντός του από τις δυσμενείς συνέπειες του φαινομένου της πλημμύρας. Απόλυτη προστασία από τις πλημμύρες δεν είναι δυνατή, διότι τα απαιτούμενα έργα θα είχαν τεράστιο οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος.

Τα μέτρα, στις περιοχές που είναι εκτεθειμένες στον κίνδυνο των πλημμύρων, αποσκοπούν στη μείωση των ζημιών και όχι την απόλυτη προστασία από αυτές διότι, το οικονομικό κόστος θα ήταν τεράστιο και εκτός αυτού τα απαιτούμενα έργα όπως αναχώματα και τοιχεία θα δημιουργούσαν περιβαλλοντικά προβλήματα. Για το λόγο αυτό, διεθνώς χρησιμοποιείται η έκφραση «μετρίαση πλημμύρων» (flood mitigation) και όχι η «προστασία από τις πλημμύρες» (flood prevention),(Μπέλλος, 2006).

Λόγω της έκτασης του θέματος των πλημμύρων και της μεγάλης σημασίας του για την Ευρώπη, η επιτροπή διαχείρισης υδάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης προετοιμάζει μετά από διασκέψεις το «έγγραφο σωστής πρακτικής» (“best practice document”) για την προστασία από τις πλημμύρες και τη μετριάσή τους. Στο έγγραφο αυτό – το οποίο αποτελείται από τρία τμήματα- περιγράφει τις βασικές αρχές και προσεγγίσεις που χαρακτηρίζουν το θέμα, ασχολείται με την ερμηνεία των αρχών και των προσεγγίσεων αυτών και τέλος δίνει τα συμπεράσματα που προέκυψαν από κάθε συνδιάσκεψη σχετικά με τη βέλτιστη διαχείριση του προβλήματος των πλημμύρων.

Τα σημαντικά θέματα που σχετίζονται με τη βιώσιμη πρόληψη των πλημμύρων και το μετριασμό της εμφάνισής τους είναι (Μπέλλος, 2006):

- Τα πλημμυρικά φαινόμενα είναι αναπόσπαστο κομμάτι της φυσικής δραστηριότητας. Υπήρχαν και θα συνεχίσουν να υπάρχουν. Όσο είναι εφικτό, η ανθρώπινη παρέμβαση στις διαδικασίες της φύσης πρέπει να είναι επιφυλακτική, αντισταθμιστική και στο μέλλον να αποφεύγεται.
- Η στρατηγική προστασίας πρέπει να καλύπτει ολόκληρες τις περιοχές ενδιαφέροντος και να προάγει τη συντονισμένη ανάπτυξη και διαχείριση των δράσεων, των σχετικών με το νερό, το έδαφος και τις συσχετιζόμενες με τα παραπάνω πηγές.
- Λαμβάνοντας υπόψη την εξέλιξη και τις τάσεις που επικρατούν, η προσέγγιση των φυσικών κινδύνων απαιτεί αλλαγή παραδείγματος. Από την αμυντική δράση έναντι των κινδύνων, η κοινωνία πρέπει να στραφεί στη διαχείριση των κινδύνων και της ζωής με πλημμύρες, λαμβάνοντας υπόψη ότι η πρόληψη των πλημμύρων δεν πρέπει να περιορίζεται σε μεμονωμένα πλημμυρικά γεγονότα, τα οποία συμβαίνουν συχνά. Πρέπει να συμπεριλαμβάνει και σπάνια εμφανιζόμενα γεγονότα. Οι διακρατικές προσπάθειες για την αποκατάσταση των πλημμυρικών ζωνών των ποταμών πρέπει να ενταθούν προκειμένου να επανενεργοποιηθεί η φυσική ικανότητα των υδροτόπων και των πλημμυρικών περιοχών να συγκρατούν το νερό και να ανακουφίζουν από τις συνέπειες των πλημμύρων.
- Η εκμετάλλευση των πλημμυρικών περιοχών πρέπει να προσαρμόζεται στους υπάρχοντες κινδύνους. Για όλα τα γεγονότα, όπως οι πλημμύρες, η αύξηση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, η διατάραξη του δικτύου αποχέτευσης, η εναπόθεση μάζας, οι κατολισθήσεις οι ροές πάγου κ.α., πρέπει να αναπτύσσονται σωστοί μηχανισμοί και να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα.
- Ο μετριασμός και τα μη κατασκευαστικά μέτρα τείνουν να είναι πιο αποδοτικά και πιο μακρόχρονα βιώσιμες λύσεις για τα σχετιζόμενα με το νερό προβλήματα και πρέπει να ενισχύονται πιο συγκεκριμένα, για τη μείωση της ευπάθειας ανθρώπων και αγαθών που εκτίθενται στον πλημμυρικό κίνδυνο.

- Τα κατασκευαστικά μέτρα παραμένουν σημαντικά και πρέπει να επικεντρώνονται στην προστασία της ανθρώπινης υγείας και ασφάλειας και των πολύτιμων αγαθών και ιδιοκτησιών. Πρέπει να διατηρείται βέβαια υπόψη ότι η προστασία από τις πλημμύρες δεν είναι ποτέ απόλυτη και μπορεί να δημιουργήσει την ψευδή αίσθηση ασφάλειας. Η έννοια του εναπομείναντος κινδύνου συμπεριλαμβανομένης της πιθανής αστοχίας ή αποτυχίας πρέπει να λαμβάνονται πάντα υπόψη.

Τα φυσικά φαινόμενα που προκαλούν τις πλημμύρες δεν μπορούν να ελεγχθούν αλλά σίγουρα η έκταση και οι συνέπειες των πλημμυρών μπορούν να ελεγχθούν με την ανθρώπινη παρέμβαση.

Ένας από τους πιο σημαντικούς τρόπους προστασίας απέναντι στις πλημμύρες είναι η κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων. Τα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας διακρίνονται σε κατασκευαστικά και μη κατασκευαστικά. Τα κατασκευαστικά μέτρα έχουν ως κύριο στόχο την αποθήκευση του νερού και την αύξηση της ικανότητας μεταφοράς του.

Παραδείγματα κατασκευαστικών έργων είναι (Μαμάσης, 2007):

- αντιπλημμυρικοί ταμιευτήρες στα ανάντη της λεκάνης
- αναχώματα και προστατευτικοί τοίχοι
- λεκάνες κατάκλυσης δίπλα στο ποτάμι και στις χαμηλές περιοχές
- δίκτυα ομβρίων υδάτων
- εκτροπές ποταμών
- παράκτια προστασία
- αύξηση της παροχετευτικότητας των ποταμών με καθαρισμό, εκβάθυνση και διάνοιξη των διατομών
- εισαγωγή πρόσθετων διαδρομών παράλληλα με το ποτάμι
- υπερχειλιστές σε ταμιευτήρες.

Δεδομένου ότι οι κατασκευές είναι τρωτές στις πλημμύρες, αφού έχουν σχεδιαστεί για κάποια πιθανότητα υπέρβασης, θα πρέπει να συνοδεύονται από άλλα μη κατασκευαστικά μέτρα.

Παραδείγματα μη κατασκευαστικών μέτρων είναι (Μαμάσης, 2007):

- διατήρηση και επέκταση των δασών στις ορεινές περιοχές της λεκάνης,
- διατήρηση των υγροτόπων και των πλημμυρικών πεδίων απο ανθρώπινες επεμβάσεις και χρήσεις ώστε οι φυσικές ζώνες πλημμυρών να καθυστερούν τη ροή,
- προσαρμογή των χρήσεων των πλημμυρικών πεδίων στη πιθανότητα καταστροφής και χωροθέτηση των σημαντικών εγκαταστάσεων σε ακίνδυνες περιοχές,

- διατήρηση των μαιάνδρων των ποταμών και των φυσικών συνδέσεων τους με τις πλημμυρικές περιοχές,
- έλεγχος και συντήρηση των αποχετευτικών συστημάτων στις αστικές περιοχές,
- χρήση ιστορικών πληροφοριών, ανάπτυξη συστημάτων πρόγνωσης καταιγίδων και μοντέλων βροχής- απορροής,
- συστήματα ειδοποίησης του κοινού,
- μηχανισμός διαρκούς ενημέρωσης του κοινού και αναίρεση της εσφαλμένης αντίληψης για απόλυτη προστασία,
- οργάνωση φορέων για πρόληψη και αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών.

Εκτός από τα παραπάνω υπάρχουν, όμως και κάποια ατομικά μέτρα που μπορούν να ληφθούν για την μείωση του κινδύνου πλημμύρας σε κατοικίες, όπως:

- ανύψωση κατασκευής,
- στεγανοποίηση κατασκευών,
- κατασκευή τοίχου ή αναχώματος γύρω από την κατοικία,
- διευκόλυνση μελλοντικών εκκενώσεων και ασφάλεια για πλημμύρες.

Στις εικόνες που ακολουθούν παρατίθενται μερικά κατασκευαστικά μέτρα για την αντιμετώπιση των πλημμύρων.



(α)



(β)

Εικόνες 1.7 (α), (β): κατασκευή προστατευτικών τοιχίων (πηγή: *Early Warning Systems in the Framework of the Cologne Flood Protection Scheme, Stadtentwässerungs-betriebe Köln, AoR*).



Εικόνα 1.8: Κατασκευή αναχωμάτων ποταμού (πηγή: *Early Warning Systems in the Framework of the Cologne Flood Protection Scheme, Stadtentwässerungs-betriebe Köln, AoR*).



Εικόνα 1.9: Θυροφράγματα για πλημμυρικά νερά (πηγή: *Early Warning Systems in the Framework of the Cologne Flood Protection Scheme, Stadtentwässerungs-betriebe Köln, AoR*).

Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά στο τμήμα της αντιπλημμυρικής προστασίας που αφορά στις κατασκευαστικές διαδικασίες. Η αυξανόμενη ανάγκη για κάλυψη όλο και μεγαλύτερου τμήματος του εδάφους με σκυρόδεμα, σε οποιαδήποτε μορφή μπορεί αυτό να υπάρξει – κτίρια, δρόμοι, παρκινγκ κ.α., εγείρει το ενδιαφέρον για μελέτες που σχετίζονται με την ικανότητα των κατασκευών αυτών για

κατεύθυνση της ροής του νερού, αποστράγγισης, κατακράτησης και μετριασμού με τον τρόπο αυτό των πλημμυρικών φαινομένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ -
ΠΟΡΩΔΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

2.1. Εναλλακτικού τύπου Σκυρόδεμα Αντιπλημμυρικής Προστασίας (Πορώδες Σκυρόδεμα).

2.1.1. Ορισμός του πορώδους σκυροδέματος

Το πορώδες σκυρόδεμα είναι ένα μίγμα χονδρόκοκκων κυρίως αδρανών, ελάχιστης άμμου, τσιμέντου, νερού, και ίσως και προσμίκτων. Είναι ένας τύπος σκυροδέματος όπου το πορώδες δε βρίσκεται μόνο στα αδρανή (σε αντίθεση με τα ελαφρο-σκυροδέματα) αλλά και μέσα στον ίδιο τον ιστό του σκυροδέματος (NRMCA, 2011). Ο όρος αυτός συνήθως περιγράφει ένα σκυρόδεμα «ανοικτού τύπου» και μηδενικής κάθισης (zero slump) (ACI Committee, 2006).

Το πορώδες σκυρόδεμα είναι ουσιαστικά ένα μακροπορώδες σκυρόδεμα με συνεχή κενά, τα οποία ενσωματώνονται σκοπίμως στο σκυρόδεμα (P. Chindaprasirt et al, 2006). Ο σχεδιασμός του, με τη χρήση συγκεκριμένης ποσότητας τσιμεντόπαστας με σκοπό την ελάχιστη-επιφανειακή επικάλυψη των χονδρόκοκκων αδρανών, διευκολύνει τη διαμόρφωση αυτού του διασυνδεδεμένου δικτύου πόρων στο υλικό, γεγονός που επιτρέπει τη διέλευση του νερού σε πολύ υψηλότερο ποσοστό από ότι τα συμβατικά σκυροδέματα (Neithalath, Weiss, Olek, 2006) Ανήκει σε μια εντελώς διαφορετική κατηγορία από τα τελευταία και ως εκ τούτου, τα φυσικά χαρακτηριστικά του διαφέρουν σημαντικά από εκείνα των γνωστών σκυροδεμάτων (P. Chindaprasirt et al, 2006).

Ο λόγος που ώθησε την παραγωγή του πορώδους σκυροδέματος είναι η ανάγκη της διαχείρισης των ομβρίων υδάτων, η αποφυγή των πλημμυρικών απορροών καθώς και η διαφύλαξη και αποφυγή της μόλυνσης των φυσικών υδάτινων πόρων (Λυκούδης, 2008). Η διαπερατότητα του πορώδους σκυροδέματος - που αποτελεί και την κυριότερη ιδιότητά του - επιτρέπει τη διήθηση μεγάλων ποσοτήτων νερού εντός του ιστού του, οδηγώντας το τελικά στο υπέδαφος και αναπληρώνοντας άμεσα τα διαθέσιμα αποθέματα του υδροφόρου ορίζοντα (Huffman, 2005).

Ουσιαστικά, το πορώδες σκυρόδεμα αποτελεί μία πολύ καλή και συνάμα εξαιρετικά χαμηλού κόστους λύση πράσινης ανάπτυξης, στην προσπάθεια διαχείρισης των όμβριων υδάτων, τον εμπλουτισμό των υδάτινων πόρων καθώς και της προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος.

2.1.2. Σύσταση πορώδους σκυροδέματος

Παρά το γεγονός ότι οι κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με την επιρροή του ποσοστού των κενών χώρων, του λόγου w/c , τα χαρακτηριστικά της τσιμεντόπαστας, την κατ' όγκο αναλογία και το μέγεθος των χονδρόκοκκων αδρανών καθώς και των αντοχών του πορώδους σκυροδέματος έχουν μελετηθεί αρκετά, οι ιδανικές συνθέσεις και η βέλτιστη αναλογία των υλικών για την παραγωγή καλής ποιότητας πορώδους σκυροδέματος δεν έχουν ακόμη παγιωθεί.

Η μελέτη της σύνθεσης, η μέθοδος ανάμιξης και η συμπύκνωση για την παραγωγή πορώδους σκυροδέματος με δυνητικά υψηλότερες αντοχές σε συγκεκριμένο λόγο κενών εξακολουθούν να χρειάζονται. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι το πορώδες σκυρόδεμα είναι ένα ειδικού τύπου σκυρόδεμα, που απαιτεί ειδική μελέτη σύνθεσης και συμπύκνωσης, έτσι ώστε να επιτραπεί κατά τη φάση της τοποθέτησης, η δημιουργία όσο το δυνατόν περισσότερων συνεχόμενων κενών χώρων (κανάλια), σε αναλογία πάντοτε με την καλή συμπεριφορά του σε αντοχή και θλίψη (P. Chindaprasirt et al, 2006). Υπάρχει δηλαδή, μία συνεχής πρόκληση στην αναζήτηση της χρυσής τομής στην εξισορρόπηση μεταξύ του ποσοστού των κενών (άρα και της διαπερατότητας) και των αντοχών, καθότι, ως μεγέθη, αυτά τα δύο είναι αντιστρόφως ανάλογα.

Μια τυπική μελέτη σύνθεσης σύμφωνα με την NRMCA (National Ready Mix Concrete Assosiation) (2004) είναι η ακόλουθη:

Πίνακας 2.1: Τυπική μελέτη σύνθεσης πορώδους σκυροδέματος κατά NRMCA

ΥΛΙΚΟ	ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ (kg/m ³)
Τσιμέντο	178 - 376
Χονδρόκοκκα Αδρανή	1426 - 1604
Λεπτόκοκκα Αδρανή	0
Λόγος Νερού προς Τσιμέντο (w/c)	0.27 - 0.43

Τα χονδρόκοκκα αδρανή μπορούν να είναι είτε ποταμίσια είτε θραυστά με μέγεθος κόκκων από το συγκρατούμενο στο Νο 4 μέχρι το κόσκινο $\frac{3}{4}$, με αδρανή 1 ίντσας να χρησιμοποιούνται σε κάποιες περιπτώσεις. Η ανοικτή δομή του σκυροδέματος αυξάνει την έκθεση της ειδικής επιφάνειας, γι' αυτό απαιτείται κάποιες φορές η χρήση επιβραδυντών για να αυξηθεί ο χρόνος εργασιμότητας και να διευκολυνθεί η διάστρωση. Ο λόγος νερού προς τσιμέντο κινείται σε χαμηλά πλαίσια (0.27 – 0.43) για να επιτευχθεί μια ουσιαστικά μηδενική κάθιση. Σε ψυχρό περιβάλλον, ενδείκνυται η χρήση

αερακτικών για να βελτιωθεί η ανθεκτικότητα σε ψύξη-απόψυξη, με τιμές αέρα που προτείνει η NRMCA 4-8%.

Σημειώνεται, ότι η εργασιμότητα είναι ένας κρίσιμος παράγοντας στο σχεδιασμό, γιατί περίσσεια νερού οδηγεί σε δραματική μείωση των κενών-άρα και της διαπερατότητας. Ακόμα και στο μηδενικής κάθισης πορώδες σκυρόδεμα είναι εμφανής η διαφορά του τελείως ύφυγρου από το εξαιρετικά υδαρές σκυρόδεμα (Λυκούδης, 2008).

2.1.3. Μελέτη Σύνθεσης Πορώδους Σκυροδέματος

Όπως προαναφέρθηκε, στο διαπερατό σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται τα ίδια υλικά όπως και στο συμβατικό, εκτός από το ότι υπάρχουν συνήθως λίγα έως καθόλου λεπτόκοκκα αδρανή. Η ποιότητα, οι αναλογίες και οι τεχνικές ανάμειξης επηρεάζουν πολλές από τις ιδιότητες του πορώδους σκυροδέματος, ιδίως τη δομή των κενών και την αντοχή. Λίγο μετά την ανάμειξη, το πορώδες σκυρόδεμα θα πρέπει να είναι εύπλαστο και να μπορεί να διαμορφωθεί σαν πλαστελίνη, όταν πιέζεται με το χέρι. Θα πρέπει να διατηρεί το σχήμα του, χωρίς να παρουσιάζει κάθιση (Somero Enterprises Inc., 2010)

2.1.3.1. Αδρανή

Το μέγεθος των χρησιμοποιούμενων χονδρόκοκκων αδρανών διατηρείται αρκετά ομοιόμορφο (πιο συνηθισμένο είναι το μέγεθος 89, ή 3/8 ίντσας) για την ελαχιστοποίηση της τραχύτητα της επιφάνειας και για μια καλύτερη αισθητική. Η χρήση του πορώδους σκυροδέματος θα υπαγορεύσει το μέγεθος των χρησιμοποιούμενων αδρανών, το οποίο μπορεί να διαφέρει από 6,35 χιλιοστά έως 12,7 χιλιοστά. Τα αδρανή μπορεί να είναι στρογγυλοποιημένα όπως το αμμοχάλικο ή γωνιακά όπως θραυστός ασβεστόλιθος. Η απόφαση για το καλύτερο αδρανές για κάθε εφαρμογή είναι συνήθως μια κοινή απόφαση μεταξύ του παραγωγού και του αναδόχου. Μέρος αυτής της λήψης απόφασης έχει να κάνει με τον εξοπλισμό συμπύκνωσης, τη διαθεσιμότητα των υλικών, τις παραγωγικές δυνατότητες και τα οικονομικά μεγέθη. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα στρογγυλεμένα αδρανή απαιτούν λιγότερη ενέργεια θραύσης από ότι τα γωνιώδη αδρανή, και μπορούν να οδηγήσουν σε μεγαλύτερες αντοχές στο πορώδες σκυρόδεμα (Somero Enterprises Inc., 2010).

2.1.3.2. Νερό

Το πόσιμο νερό είναι γενικά αποδεκτό για χρήση στο μείγμα. Τα χονδρόκοκκα αδρανή θα πρέπει να διατηρούνται υγρά πριν την ανάμειξη, ιδιαίτερα τις θερμές ημέρες με χαμηλή υγρασία, προκειμένου να εξασφαλιστεί η συνοχή και η ομοιογένεια, από παρτίδα σε παρτίδα, του πορώδους σκυροδέματος. Αν τα αδρανή είναι πολύ στεγνά πριν αναμειχθούν, το μίγμα δεν θα τοποθετείται ή δεν θα συμπυκνώνεται καλά. Όμως, τυχόν πλεονάζον νερό στα αδρανή επηρεάζει την συνολική ανάμειξη του δημιουργώντας ένα μείγμα ρευστής μορφής στο οποίο η πάστα εξέρχεται, και γεμίζει τα κενά. Οι αναλογίες νερού προς τσιμέντο θα πρέπει να είναι μεταξύ 0,27 και 0,30, συμπεριλαμβανομένων τυχόν χημικών προσμίξεων. Αναλογίες τόσο υψηλές όσο 0,34 έως 0,40 έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί με επιτυχία. Σε αντίθεση με τη σχέση μεταξύ αντοχών και λόγου νερού/τσιμέντο στο συμβατικό σκυρόδεμα, η σχέση για το πορώδες δεν είναι τόσο καλά καθορισμένη. Στο πορώδες σκυρόδεμα, η ολική περιεκτικότητα σε πάστα είναι μικρότερη από την περιεκτικότητα σε κενά μεταξύ των αδρανών υλικών, οπότε η αύξηση της αντοχής της πάστας δεν οδηγεί κατ' ανάγκη σε αύξηση της συνολικής αντοχής. Η περιεκτικότητα σε νερό πρέπει να ελέγχεται αυστηρά, έτσι ώστε το μείγμα να έχει γυαλάδα, χωρίς να είναι πολύ υδαρές και να ρέει από τα αδρανή. Μία βέλτιστη περιεκτικότητα σε νερό παράγει μια πάστα τσιμέντου με υψηλό ιξώδες, που καλύπτει πλήρως τα αδρανή και μπορεί να περιγραφεί ως κολλώδης (Somero Enterprises Inc., 2010).

2.1.3.3. Τσιμεντοειδή υλικά

Τσιμέντα Portland και σύμμεικτα τσιμέντα μπορεί να χρησιμοποιηθούν στο πορώδες σκυρόδεμα. Συμπληρωματικά Τσιμεντοειδή Υλικά (Supplementary Cementing Materials (SCM)), όπως ιπτάμενη τέφρα, ποζολάνες και σκωρία υψικαμίνων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν. Αυτά τα πρόσθετα υλικά τελικά θα επηρεάσουν την απόδοση, την αντοχή, το πορώδες και την διαπερατότητα του τελικού προϊόντος. Η συνολική αντοχή του πορώδους σκυροδέματος αυξάνεται με τη χρήση πυριτικής παιπάλης, ιπτάμενης τέφρας, και σκωρίας υψικαμίνου, λόγω της μείωσης της διαπερατότητας και των ρωγμών (Somero Enterprises Inc, 2010).

2.1.3.4. Πρόσμικτα

Μερικά από τα πρόσμικτα που χρησιμοποιούνται στο συμβατικό σκυρόδεμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στο πορώδες σκυρόδεμα. Πολλά από αυτά είναι επιβραδυντές, ή σταθεροποιητές ενυδάτωσης λόγω του σύντομου χρόνου σκλήρυνσης του πορώδους σκυροδέματος. Ορισμένα από αυτά περιλαμβάνουν προσμίξεις μείωσης του νερού (WRA), επιβραδυντές, προσμίξεις

σταθεροποίησης ενυδάτωσης (HSA), προσμίξεις τροποποίησης ιξώδους (VMA) και προσμίξεις εσωτερικής ωρίμανσης (ICA). Αερακτικά πρόσθετα μειώνουν τις βλάβες λόγω ψύξης - απόψυξης και χρησιμοποιούνται σε κλίματα με κρύους υγρούς χειμώνες.

Η Εθνική Εταιρεία Έτοιμου Σκυροδέματος (NRMCA) παρέχει τον ακόλουθο πίνακα για το τυπικό εύρος των αναλογιών των υλικών στο πορώδες σκυρόδεμα (Somero Enterprises Inc., 2010).

Πίνακας 2.2: Τύπος και εύρος αναλογιών των υλικών στο πορώδες σκυρόδεμα.

ΥΛΙΚΑ	ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ Kg/m³	ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ Lb/yd³
Τσιμεντοειδή υλικά	270 έως 415	450 έως 700
Αδρανή υλικά	1190 έως 1480	2000 έως 2500
Αναλογία νερό: τσιμέντο (μάζα)	0,27 έως 0,34	0,27 έως 0,34
Αναλογία αδρανή: τσιμέντο (μάζα)	4 έως 4,5:1	4 έως 4,5:1
Αναλογία λεπτόκοκκα: χονδρόκοκκα αδρανή (μαζα)	0 έως 1:1	0 έως 1:1

Ένα από τα ευδιάκριτα και πιο απαιτητικά χαρακτηριστικά των μειγμάτων πορώδους σκυροδέματος είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό που καθιστά πιο γρήγορη την σκλήρυνση από το συμβατικό σκυρόδεμα, το οποίο έχει και μεγαλύτερη κάθιση. Για το λόγο αυτό, η χρήση επιβραδυντών για την παράταση του χρόνου σκλήρυνσης και η επίτευξη μακροπρόθεσμων χρόνων παράδοσης και τοποθέτησης, είναι κρίσιμη για μια επιτυχημένη τοποθέτηση. Αποτελεί επίσης μια παράμετρο για την διευκόλυνση της εκφόρτωσης και την αποφυγή συσσωρεύσεων μειγμάτων πορώδους σκυροδέματος στα φορτηγά σκυροδέματος (Somero Enterprises Inc., 2010).

2.1.3.5. Μέθοδοι Παραγωγής

Το πορώδες σκυρόδεμα μπορεί να είναι αναμειγμένο σε φορτηγό ή να έχει αναμειχθεί στην μονάδα σκυροδέματος. Η παρασκευή του μείγματος στην μονάδα εξοικονομεί χρόνο όταν το

πρόγραμμα παράδοσης είναι απαιτητικό. Το πορώδες σκυρόδεμα, λόγω της πιο σκληρής ποιότητάς του, χρειάζεται περισσότερο χρόνο για την πλήρη αποβολή του από το φορτηγό. Ο χρόνος μεταξύ της πλήρωσης του κάθε φορτηγού (οκτώ κυβικά μέτρα / έξι κυβικά μέτρα) πρέπει να μελετάται προσεκτικά. Το πορώδες σκυρόδεμα δεν ρέει τόσο εύκολα κατά τη διάστρωσή του όσο το συμβατικό σκυρόδεμα, αλλά η τοποθέτηση από το φορτηγό και ο σχεδιασμός του μείγματος μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να αυξηθούν οι ιδιότητες ροής σε περίπου 15 λεπτά ανά φορτηγό. Το πορώδες σκυρόδεμα είναι ευπαθές από τη στιγμή της εφαρμογής, και πρέπει να τοποθετηθεί εντός 60 λεπτών (Somero Enterprises Inc., 2010).

Εργαλεία και εξοπλισμός

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση και τη συμπίεση του πορώδους σκυροδέματος είναι κρίσιμες για την συνολική λειτουργία της υδατοπερατότητας του πορώδους σκυροδέματος. Ο αντίκτυπος των κραδασμών πρέπει να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα για να αποφευχθεί το “βούλωμα” της επιφάνειας (Somero Enterprises Inc., 2010).

Εργασία μικρού βεληνεκούς

Μια μικρή εφαρμογή γίνεται συνήθως σε λιγότερο από ένα στρέμμα και μπορεί να περιλαμβάνει μικρές λωρίδες ενός οδοστρώματος για ένα δρόμο ή πεζοδρόμιο ή παρόδιες θέσεις στάθμευσης. Η διάστρωση μπορεί να γίνει είτε με το χέρι είτε με έναν μικρό κύλινδρο. Το νερό πρέπει να είναι σε ετοιμότητα για την αποκατάσταση της υγρασίας.

Εργασία μεγάλου βεληνεκούς

Μια μεγάλη εφαρμογή είναι αυτή που απαιτεί περισσότερες από μία ημέρες για να ολοκληρωθεί και περιλαμβάνει πολλαπλά περάσματα ή πολλές λωρίδες οδοστρώματος. Επειδή το πορώδες σκυρόδεμα είναι πολύ σκληρό για να αντληθεί, ο χρόνος διαχείρισης του νωπού σκυροδέματος μπορεί να είναι μεγαλύτερος και ο κατασκευαστής θα πρέπει να είναι σίγουρος πως αποφεύγει την πρόωρη σκλήρυνση/ξήρανση του σκυροδέματος.

Προετοιμασία της βάσης ή της υπόβασης

Για να αποστραγγίσει σωστά το πορώδες σκυρόδεμα, τα υλικά της βάσης και της υπόβασης θα πρέπει να είναι διαπερατά, ακόμα και εάν είναι πολύ καλά συμπιεσμένα. Είναι σημαντικό το

σκυρόδεμα και τα υλικά της βάσης να έχουν μεγαλύτερη διαπερατότητα από το υποκείμενο έδαφος. Το πάχος των υλικών της υπόβασης μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με την προβλεπόμενη χρήση του πορώδους οδοστρώματος. Οι χώροι στάθμευσης έχουν πάχος βάσης συνήθως 15,24 εκατοστά. Αν οι ανάγκες αποθήκευσης νερού το απαιτούν, τότε το πάχος βάσης μπορεί να είναι περισσότερο από 15 εκατοστά.

Ικανότητα χωρητικότητας όμβριων υδάτων

Ο καθορισμός της χωρητικότητας ενός πορώδους οδοστρώματος της απορροής των όμβριων υδάτων γίνεται με ευκολία. Η αποθήκευση όμβριων υδάτων υπολογίζεται από τα δύο στρώματα του οδοστρώματος: την βάση και το πορώδες σκυρόδεμα. Αν ένα πεζοδρόμιο έχει πάχος βάσης 15 εκατοστά (40% κενά) και 15 εκατοστά στρώμα πορώδους σκυροδέματος (20% κενά), η χωρητικότητα αποθήκευσης θα πρέπει να υπολογίζεται ως είναι 6 εκατοστά στη βάση (15cm X 0,40) και 3 εκατοστά στο πορώδες (15c X 0,20). Ο συνολικός όγκος του νερού που αποθηκεύεται σε περίπτωση καταιγίδας θα είναι 9 εκατοστά. Τα όμβρια ύδατα μπορούν να απομακρύνονται εντελώς εάν στο πορώδες οδοστρώμα σχεδιαστεί και κατασκευαστεί κατάλληλα ένα σύστημα άρδευσης (Somero Enterprises Inc., 2010).

Περιβάλλον

Θερμό περιβάλλον

Όπως και με το συμβατικό σκυρόδεμα, το πορώδες σκυρόδεμα μπορεί να τοποθετηθεί και να ωριμάσει σε όλα τα είδη των καιρικών συνθηκών, με τους ίδιους τύπους προφυλάξεων. Τεχνικές σκυροδέτησης ζεστού καιρού πρέπει να χρησιμοποιούνται εάν ο καιρός είναι ζεστός, όπως ένας μηχανοκίνητος ψεκαστήρας υγρασίας με ένα ακροφύσιο για να συγκρατεί την υγρασία και να σιγουρεύει πως το αδρανές υλικό είναι υγρό πριν την τοποθέτηση. Πρόσθετες ποσότητες επιβραδυντικών προσμίξεων είναι αναγκαίες για την καθυστέρηση του χρόνου σκλήρυνσης μέχρι να καλυφθεί όλη η περιοχή. Η προσθήκη κομματιών πάγου κατά την ανάμειξη στο σκυρόδεμα για να διατηρηθεί δροσερό μπορεί να γίνει, υπό την προϋπόθεση ότι το νερό που προστίθεται από το λιώσιμο των πάγων να προσμετρείται και αυτό στη συνολική ποσότητα του χρησιμοποιούμενου νερού (Somero Enterprises Inc., 2010).

Ψυχρό περιβάλλον

Σε αντίθεση με πολλές παρερμηνείες, περιοχές που βιώνουν ακραίους κύκλους ψύξης-απόψυξης μπορεί να έχουν επιτυχημένες εφαρμογές πορώδους σκυροδέματος. Το κρίσιμο στοιχείο για την επιτυχία αυτή είναι το πόσο καλά αποχετεύεται το υπόστρωμα πριν ή κατά τη διάρκεια του κύκλου ψύξης. Συνιστάται η χρήση θερμικής κουβέρτας για την κάλυψη του οδοστρώματος ώστε να επιτευχθεί προστασία από τον παγετό κατά τις τρεις έως επτά μέρες σκυροδέτησης. Οι ίδιες τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε ακραίες καιρικές συνθήκες στο συμβατικό σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται και στο πορώδες.

2.1.4. Ιδιότητες πορώδους σκυροδέματος

Όπως προαναφέρθηκε, η σύνθεση των παραπάνω υλικών παράγει ένα μίγμα με συγκεκριμένο πορώδες (διαστάσεων περίπου 2-8 mm), το οποίο επιτρέπει την εύκολη διέλευση του νερού. Στο πορώδες σκυρόδεμα, το ποσοστό των κενών είναι απευθείας ανάλογο με τη διαπερατότητα και κυμαίνεται περίπου από 15-50% , ενώ οι αντοχές - ανάλογα με τη χρήση – μπορούν να κυμανθούν από 2,8-28 MPa. Η διαπερατότητά του σύμφωνα με το κείμενο ACI 522R-06 κυμαίνεται από 80-730 lt/min/m². (Λυκούδης, 2008). Βέβαια οι τιμές αυτές είναι οι ακραίες δυνατές που έχουν αναφερθεί, ενώ σε ένα τυπικό παράδειγμα πορώδους σκυροδέματος με ικανοποιητικές αντοχές, το ποσοστό των κενών χώρων κυμαίνεται σε ποσοστό 15-25%, ενώ η διαπερατότητα περί τα 200 lt/min/m² (ACI Committee, 2008).

Ο σχεδιασμός του σκυροδέματος αυτού δεν γίνεται τόσο βάσει της αντοχής, αλλά κυρίως του όγκου κενών και της υδατοπερατότητας, καθότι η τελευταία αποτελεί και τη σημαντικότερη ιδιότητά του. Το ποσοστό κενών πρέπει να είναι μεγαλύτερο του 12% για να υπάρξει ικανοποιητική διήθηση του νερού εντός του ιστού των αδρανών και του συνδετικού μέσου.

Στον ακόλουθο πίνακα φαίνεται η κατηγοριοποίηση των εδαφών ανάλογα με την τιμή διαπερατότητας K.

Η επιθυμητή διαπερατότητα είναι της τάξης του 10⁻³ έως 10² cm/sec σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 2.3. (Λυκούδης, 2008).

Πίνακας 2.3.: Συγκριτική διαπερατότητα σε εδάφη

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ														
K (cm/s)	10 ²	10 ¹	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	
Σχετική διαπερατότητα	Περατό				Ημιπερατό				Αδιαπέρατο					
Υδροφορία	Καλή				Μέτρια				Καμία					
Ασυμπύκνωτη Άμμος και χαλίκι	Καλά διαβαθμισμένο χαλίκι		Καλά διαβαθμισμένη άμμος ή αμμοχάλικο			Πολύ λεπτή άμμος - ιλύς								
Ασυμπύκνωτη άργιλος-οργανικά					τύρφη		Στρωματώδης άργιλος			Μη αποσαρθρωμένη άργιλος				
Συνεκτικά πετρώματα	Υψηλός βαθμός διάρρηξης πετρωμάτων				Πετρώματα με ικανότητα αποθήκευσης πετρελαίου				Υγιής ψαμμίτης		Υγιής ασβεστόλιθος - δολομίτης		Υγιής γρανίτης	

2.1.4.1. Θλιπτικές αντοχές

Η αντοχή σε θλίψη του πορώδους σκυροδέματος επηρεάζεται έντονα από το λόγο w/c και τον τρόπο συμπύκνωσης του κατά την τοποθέτησή του.

Ο λόγος w/c στο πορώδες σκυρόδεμα είναι πολύ πιο σημαντική παράμετρος για την ανάπτυξη των θλιπτικών αντοχών του σε σχέση με τον αντίστοιχο λόγο σε ένα συμβατικού τύπου σκυρόδεμα. Ένας υψηλός λόγος w/c μπορεί να οδηγήσει σε πολύ ρευστή τσιμεντόπαστα που θα γεμίσει τα κενά της δομής του. Αντίθετα, ένας χαμηλός λόγος w/c οδηγεί σε μειωμένη εργασιμότητα και προβλήματα κατά την τοποθέτηση. Η εμπειρία έχει δείξει ότι ένας λόγος w/c από 0,26 έως 0,45 παρέχει καλή επικάλυψη των αδρανών και σταθερότητα στην επικόλληση της πάστας με τα τελευταία. Επίσης, η συνολική περιεκτικότητα σε τσιμέντο είναι εξίσου σημαντική για την ανάπτυξη των θλιπτικών αντοχών και των κενών χώρων. Η υψηλή περιεκτικότητα τσιμεντόπαστας οδηγεί σε ένα “γέμισμα” των κενών χώρων και, κατά συνέπεια, το ενεργό πορώδες μειώνεται, ενώ μία ανεπαρκής ποσότητα τσιμέντου μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της επικάλυψης των αδρανών με τσιμεντόπαστα και ως αποτέλεσμα, τις μειωμένες θλιπτικές αντοχές. Η βέλτιστη ποσότητα σε τσιμεντοειδές υλικό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κοκκομετρική διαβάθμιση και το μέγεθος των αδρανών (ACI Committee, 2006).

2.1.4.2. Ποσοστό κενών χώρων/ Ειδικό βάρος

Το ποσοστό των κενών χώρων σχετίζεται άμεσα με το ειδικό βάρος ενός δεδομένου μείγματος πορώδους σκυροδέματος. Το ποσοστό των κενών χώρων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από διάφορους παράγοντες: κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών, ποσότητα τσιμεντοειδούς υλικού, λόγο w/c και τρόπο συμπύκνωσης. Ο τρόπος συμπύκνωσης έχει μια επιρροή στο περιεχόμενο ποσοστό των κενών αέρα (και του ειδικού βάρους) μιας δεδομένης σύνθεσης. Σε μία σειρά εργαστηριακών δοκιμών (Meininger, 1988), μία συγκεκριμένη σύνθεση πορώδους σκυροδέματος, συμπυκνούμενο σε οκτώ διαφορετικά επίπεδα, παρήγαγε ειδικά βάρη που κυμαίνονταν από 1680 - 1920 kg/m³, (ACI Committee, 2006).

2.1.4.3. Ανθεκτικότητα Πορώδους Σκυροδέματος

Ο όρος ανθεκτικότητα αναφέρεται στο χρόνο ζωής του πορώδους σκυροδέματος υπό δεδομένες συνθήκες περιβάλλοντος. Τα φυσικά αίτια που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος αυτού, περιλαμβάνουν την έκθεση σε ακραίες θερμοκρασίες και σε χημικές ουσίες,

όπως θειικά και όξινα. Καμία έρευνα δεν έχει διεξαχθεί σχετικά με την ανθεκτικότητα του πορώδους σκυροδέματος στην επιθετική προσβολή των θεικών ή του όξινου νερού. Η ανθεκτικότητα του σε συνθήκες ψύξης-απόψυξης επίσης δεν είναι πλήρως τεκμηριωμένη. Περιορισμένες δοκιμές σε αυτόν τον τομέα υποδεικνύουν κακή ανθεκτικότητα, εάν ολόκληρος ο χώρος των κενών γεμίσει με νερό (NRMCA 2004). Άλλες δοκιμές, ωστόσο, έχουν δείξει πως το συγκεκριμένο γεγονός έχει μερική, αλλά όχι πλήρη, συσχέτιση με τα συνολικά αποτελέσματα. Μια αργή διαδικασία ψύξης (ένας κύκλος ανά ημέρα σε σύγκριση με πέντε ή έξι σύμφωνα με το ASTM C 666, διαδικασία A), μπορεί να επιτρέψει στο νερό να στραγγίξει από το πορώδες σκυρόδεμα, βελτιώνοντας την ανθεκτικότητα. Μικρό πεδίο δεδομένων επίσης υπάρχει για την μακροχρόνια αντοχή του σε χρήση σε βόρεια κλίματα. Προσοχή όμως πρέπει να δίνεται κατά τη χρήση του σε καταστάσεις όπου πλήρης κορεσμός σε νερό πριν από ένα έντονο παγετό μπορεί να συμβεί. Οι δοκιμές δείχνουν ότι παρεμβάλλοντας αέρα στην τσιμεντόπαστα - με τη χρήση αερακτικών - μπορεί να βελτιώσει την αντοχή σε συνθήκες ψύξης-απόψυξης, (ACI Committee, 2006).

2.1.4.4. Ηχομονωτικές Ιδιότητες Πορώδους Σκυροδέματος

Λόγω της παρουσίας μεγάλου όγκου κενών αλλά και ύπαρξης σημαντικού μεγέθους διασυνδεδεμένων πόρων στο υλικό, το πορώδες σκυρόδεμα εμφανίζει πολύ καλές ηχομονωτικές ιδιότητες. Η μείωση του θορύβου που παρατηρείται κατά τη χρήση του, οφείλεται στο συνδυασμό της μείωσης του παραγόμενου θορύβου και της καλύτερης απορρόφησης του ήχου. Τα οδοστρώματα με πορώδες σκυρόδεμα μεταβάλλουν την παραγωγή θορύβου, ελαχιστοποιώντας το τον ήχο του αέρα από την αλληλεπίδραση μεταξύ του ελαστικού και του οδοστρώματος. Επιπλέον, οι πόροι απορροφούν τον ήχο μέσω των εσωτερικών τριβών μεταξύ των κινούμενων μορίων του αέρα και των πορωδών τοίχων, (ACI Committee, 2006).

2.1.5. Εφαρμογές πορώδους σκυροδέματος

Το πορώδες σκυρόδεμα έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε χαμηλής κυκλοφορίας δρόμους, αυτοκινητόδρομους, πεζοδρόμια, υπαίθρια παρκινγκ, διαδρόμους γηπέδων γκολφ, τοίχους αντιστήριξης και αποχετευτικά συστήματα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια ποικιλία εφαρμογών οδοποιίας χωρίς ουσιαστικά να αλλάζει την υδρολογία του εδάφους (NRMCA, 2011).

Ενώ το πορώδες σκυρόδεμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έναν πολλαπλό αριθμό εφαρμογών, η κύρια χρήση του είναι στο οδόστρωμα (ACI Committee, 2008).

2.1.5.1. Εφαρμογές οδοποιίας

Τα πλεονεκτήματα των οδοστρωμάτων από πορώδες σκυρόδεμα σε σχέση με τα συμβατικού τύπου οδοστρώματα περιλαμβάνουν (ACI Committee, 2006):

- Έλεγχο της ρύπανσης των όμβριων υδάτων στην πηγή τους.
- Η αύξηση των χώρων στάθμευσης με ταυτόχρονη μείωση της ανάγκης ύπαρξης αντιπλημμυρικών μέτρων προστασίας
- Έλεγχο της απορροής των όμβριων υδάτων
- Μείωση της υδρολίσθησης των αυτοκινήτων στους δρόμους
- Δημιουργία πρόσθετης ανύψωσης στα αεροσκάφη κατά την απογείωση, λόγω του φαινομένου της ψύξης
- Μείωση της αντανάκλασης στο οδόστρωμα σε μεγάλο βαθμό, ιδιαίτερα όταν είναι βρεγμένο το βράδυ
- Μείωση του θορύβου από την αλληλεπίδραση μεταξύ του ελαστικού και του οδοστρώματος
- Εξάλειψη ή μείωση του μεγέθους του αποχετευτικού δικτύου και
- Ελευθερία στον αέρα και στο νερό να φτάσουν τις ρίζες των δέντρων, ακόμα και όταν το πορώδες σκυρόδεμα παρεμβάλλεται στη γραμμή ενστάλαξης.

Τέλος, σε σχέση με την ποιότητα του αέρα, η χρήση οποιουδήποτε οδοστρώματος με χρήση σκυροδέματος προσδίδει έναν πολύ υψηλότερο δείκτη ανάκλασης απ' ότι η πιο σκούρα επιφάνεια της ασφάλτου. Με αυτόν τον τρόπο εμφανίζονται χαμηλότερες θερμοκρασίες εδάφους και έτσι ο αντίκτυπος στη θέρμανση της ατμόσφαιρας (the Urban Heat Island Effect) είναι πολύ μικρότερος, μειώνοντας την πιθανότητα παραγωγής όζοντος. Αυτή η υψηλή ανακλαστικότητα καθιστά το οδόστρωμα από πορώδες σκυρόδεμα αισθητά πιο εύκολο να φωτιστεί κατά τις νυχτερινές ώρες, συνειφέροντας στην εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους φωτισμού (Sparkman, 2001).

Οι χρήσεις το πορώδους σκυροδέματος στο οδόστρωμα αναφέρονται ακολούθως (ACI Committee, 2006):

- Επιφάνεια κίνησης
- Διαπερατή βάση με επιπλέον χρήση του στην άκρη του οδοστρώματος για στράγγιση και
- Βοηθητικό οδόστρωμα δίπλα στο πρωτεύον.

2.1.5.2. Άλλες εφαρμογές

Αποχετευτικοί αγωγοί – Σταθμοί παραγωγής ρεύματος και ύδατος χρησιμοποιούν πορώδες σκυρόδεμα για την κατασκευή διαπερατών αποστραγγιστικών πλακών καθώς και αγωγών κάτω από

υδραυλικά έργα. Οι αγωγοί αυτοί ανακουφίζουν την ανύψωση της πίεσης και επιτρέπουν στα υπόγεια ύδατα να στραγγίζουν κάτω από τους σωλήνες αποχέτευσης.

Θερμοκήπια - Η χρήση του ως σύστημα θερμικής αποθήκευσης στους ορόφους του θερμοκηπίου έχει διερευνηθεί από ερευνητές (Monahan 1981, Herod 1981). Ο όροφος χρησίμευε ως αποθηκευτικός χώρος, όπως ένας εναλλάκτης θερμότητας για την ηλιακή θέρμανση του θερμοκηπίου. Το πορώδες σκυρόδεμα έχει επίσης χρησιμοποιηθεί ως πλακόστρωτο στους ορόφους του θερμοκηπίου για να αποτρέψει το νερό από το να λιμνάσει και να εξαλείψει την ανάπτυξη των ζιζανίων, καθώς παράλληλα παρέχει μια ανθεκτική, σκληρή επιφάνεια για τη μετακίνηση του εξοπλισμού.

Γήπεδα τένις – Πορώδες σκυρόδεμα έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την κατασκευή γηπέδων τένις στην Ευρώπη, καθώς επιτρέπει στο νερό να διεισδύσει και στη συνέχεια να αποστραγγιστεί μέσω μιας βάσης χαλικιού στις άκρες της πλάκας.

Φραγμοί θορύβου και οικοδομικά τείχη - Οι θόρυβοι από διάφορες πηγές κυκλοφορίας ή τους ενοίκους ενός κτιρίου μπορεί να καταστούν προβληματικοί. Ηχοπετάσματα από πορώδες σκυρόδεμα και εσωτερικοί τοίχοι μερικές φορές κατασκευάζονται έτσι ώστε να μειωθεί ο θόρυβος. Η ανοιχτού τύπου δομή του τείνει να απορροφήσει και να ελαττώσει τον ήχο στο υλικό του αντί να τον ανακλάσει αλλού (ACI Committee, 2006).

2.2. Περιβαλλοντικά Οφέλη - Φιλτράρισμα Ρύπων

Μία ακόμη πολύ σημαντική ιδιότητα του πορώδους σκυροδέματος είναι η ικανότητά του να φιλτράρει το νερό που διέρχεται από τη δομή του. Σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (US-EPA), η απορροή των όμβριων υδάτων μπορεί να στείλει έως και το 90% των ρύπων- όπως το πετρέλαιο, λάδια και άλλοι υγροί υδρογονάνθρακες που βρίσκονται στην επιφάνεια των παραδοσιακών χώρων στάθμευσης- άμεσα σε ποτάμια και ρέματα. Γι' αυτό το λόγο απαιτεί από κρατικές και τοπικές κυβερνήσεις να εφαρμόσουν μέτρα για τη μείωση και τη βελτίωση της συνολικής ποιότητας των όμβριων που απορρέουν, σε μια προσπάθεια για την αντιμετώπιση αυτού του σημαντικού προβλήματος ρύπανσης. Το πορώδες σκυρόδεμα έχει αναγνωριστεί από την EPA ως η βέλτιστη πρακτική διαχείρισης (BMP) για να αντιμετωπίσει αυτήν την περιβαλλοντική ανησυχία. Η ανοιχτή δομή του ιστού του πορώδους σκυροδέματος συγκρατεί αυτούς τους ρύπους και παρέχει ένα μέσο για τα αερόβια βακτήρια να διασπάσουν αυτά τα οργανικά κατάλοιπα που διαρρέουν από τα σταθμευμένα οχήματα (NRMCA, 2011).

Ο ήλιος επίσης εξατμίζει πτητικά συστατικά που έχουν συγκρατηθεί στην εσωτερική δομή του και ο άνθρακας που απομένει στη συνέχεια απορροφάται από το υπέδαφος, όπου αφομοιώνεται τελικά από φυτά, μύκητες ή μικροοργανισμούς.

Ακόμη, τα δέντρα σχεδόν πάντοτε ευδοκμούν με την παρουσία του πορώδους σκυροδέματος. Η φυσική διαδικασία διήθησης επιτρέπει τόσο στην υγρασία όσο και στο οξυγόνο να φτάσει στις ρίζες των δέντρων με τρόπο που συνήθως περιορίζεται από τα συμβατικά οδοστρώματα, γεγονός που μπορεί να αποδειχτεί ιδιαίτερος χρήσιμο σε ξηρές περιοχές όπου υπάρχει έντονη η επιθυμία για την καλύτερη αξιοποίηση του νερού λόγω λειψυδρίας (Huffman, 2001).

2.3. Οικονομικά οφέλη

2.3.1. Εναλλακτική λύση σε δαπανηρές μεθόδους διαχείρισης όμβριων υδάτων.

Ιδιοκτήτες χώρων στάθμευσης που χρησιμοποιούν πορώδες σκυρόδεμα δαπανούν μικρότερα χρηματικά ποσά για την εργασία, την κατασκευή και τη συντήρηση δεξαμενών κράτησης, αντλίες, σωλήνες αποχέτευσης, και άλλα συστήματα διαχείρισης όμβριων. Τα ακριβά αρδευτικά συστήματα μπορούν επίσης να ελαχιστοποιηθούν ή να εξαιρεθούν. Με τη μείωση των απορροών από τις πλακόστρωτες περιοχές, μειώνεται η ανάγκη για ξεχωριστές λίμνες διατήρησης όμβριων υδάτων και έτσι επιτρέπεται η χρήση μικρότερης χωρητικότητας αποχετευτικών αγωγών. Αυτό επιτρέπει στους ιδιοκτήτες ακινήτων να αναπτύξουν μια ευρύτερα διαθέσιμη ακίνητη περιοχή με χαμηλότερο κόστος.

2.3.2. Τέλη αντίκτυπου όμβριων υδάτων

Πολλοί κυβερνητικοί οργανισμοί εφαρμόζουν πλέον τέλη αντίκτυπου όμβριων υδάτων για όλες τις στεγανές περιοχές. Καθώς οι κανονισμοί για την απορροή όμβριων υδάτων γίνονται όλο και αυστηρότεροι, καθίσταται όλο και πιο ασύμφορο για τους ιδιώτες να αποκτήσουν ακίνητη περιουσία, λόγω του μεγέθους και των εξόδων των απαραίτητων συστημάτων αποχέτευσης. Το πορώδες σκυρόδεμα μπορεί να μειώσει τα έξοδα για τον ιδιοκτήτη του ακινήτου, συμβάλλοντας στην ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων για αποχετευτικά συστήματα.

2.3.3.Υποστήριξη τοπικών οικονομιών

Οι συνθέσεις του πορώδους σκυροδέματος είναι προσαρμόσιμες στις διάφορες περιοχές, καθώς μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα τοπικά διαθέσιμα υλικά (αδρανή και άλλα συστατικά). Το πορώδες σκυρόδεμα απαιτεί, επίσης, ένα σχετικά μικρό χρόνο μεταφοράς, προκειμένου να αποφευχθεί η στερεοποίηση. Ως εκ τούτου, η χρήση των τοπικών υλικών στην κατασκευή ελαχιστοποιεί το κόστος μεταφοράς και τη συναφή κατανάλωση ενέργειας. Με την επιλογή λοιπόν του πορώδους σκυροδέματος στηρίζονται οι τοπικές οικονομίες, καθώς χρησιμοποιούνται οι γύρω εταιρείες για την επιλογή των υλικών, τη μεταφορά και την τοποθέτηση.

2.3.4. Χαμηλού κόστους κύκλος ζωής

Τα οδοστρώματα από πορώδες σκυρόδεμα έχουν ένα σημαντικά χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής από τις εναλλακτικές λύσεις, όπως είναι η ασφάλτος. Αν και το αρχικό κόστος της εγκατάστασης πορώδους μπορεί να είναι ελαφρώς υψηλότερο, το σκυρόδεμα εξοικονομεί χρήματα μακροπρόθεσμα λόγω ανώτερης αντοχής και ανθεκτικότητας. Απαιτεί λιγότερες επισκευές από την ασφάλτο, και έχει επιπλέον μεγαλύτερη συνολική διάρκεια ζωής. Είναι επίσης οικονομικό, δεδομένου ότι ελαχιστοποιεί την ανάγκη για σταθεροποιητές των απορροών, μειώνοντας τελικά το κόστος ιδιοκτησίας. Χρειάζεται πολύ λίγη πλεονάζουσα παραγωγή αφού παράγεται απευθείας στο χώρο και ανάλογα με τις ανάγκες, και μπορεί να ανακυκλωθεί μόλις φτάσει στο τέλος του κύκλου ζωής του. Έτσι, το πορώδες σκυρόδεμα αναγνωρίζεται ευρέως ως η χαμηλότερου κόστους κύκλου ζωής επιλογή για πλακόστρωση (ACI Committee, 2008).

2.4. Τοποθέτηση πορώδους σκυροδέματος

Όπως προαναφέρθηκε, η κατασκευή ενός πορώδους οδοστρώματος είναι αρκετά διαφορετική από ό,τι με ένα σύνηθες σκυρόδεμα. Υπάρχουν τέσσερα βασικά στοιχεία για την επιτυχία ενός οδοστρώματος με πορώδη επιφάνεια (Offenberg, 2005):

1. **Προετοιμασία υποστρώματος** - η προετοιμασία του υποστρώματος θα πρέπει να είναι ομοιογενής και με κατάλληλη συμπύκνωση.
2. **Νερό ανάμιξης** - το μίγμα θα πρέπει να έχει τη σωστή αναλογία νερού προς τσιμέντο.
3. **Συμπύκνωση και φινίρισμα** - το σκυρόδεμα πρέπει να συμπυκνωθεί και να φινιριστεί χωρίς υπερβολική προσπάθεια.
4. **Επαρκής ωρίμανση** – η ωρίμανση θα πρέπει να πραγματοποιείται εγκαίρως και να είναι επαρκούς διάρκειας.

Ακριβώς όπως και σε κάθε άλλο σύστημα οδοστρώματος, η ομοιόμορφη συμπύκνωση του υποστρώματος (υπεδάφους) είναι κρίσιμης σημασίας για ένα επιτυχημένο πορώδες οδόστρωμα. Επιπλέον, όμως, είναι σημαντικό να μη συμπυκνώνεται το υπέδαφος πέραν κάποιου ορίου. Ένα βασικό χαρακτηριστικό του σχεδιασμού ενός τέτοιου πορώδους οδοστρώματος είναι η διαπερατότητά του και αυτή του υπεδάφους μειώνεται γραμμικά με την αύξηση της συμπύκνωσής του. Έτσι, αν το τελευταίο συμπυκνωθεί πέρα από τα όρια του σχεδιασμού του, τότε το ποσοστό διήθησης του εδάφους θα μειωθεί και το οδόστρωμα δεν θα στραγγίξει το επιθυμητό ποσό των απορροών. Σε περίπτωση πάλι που αυτό μπορεί να φαίνεται αρκετά μαλακό μετά από τις τυπικές προσπάθειες συμπύκνωσης, το κλειδί είναι η ομοιομορφία. Για πηλώδη ή αργιλώδη εδάφη, το επίπεδο της συμπύκνωσης θα εξαρτηθεί από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του σχεδιασμού του οδοστρώματος. Επιπλέον, προσοχή θα πρέπει να ληφθεί, ώστε να μην υπερσυμπυκνώνεται ένα έδαφος που έχει πιθανότητες διόγκωσης. Όπως και με κάθε οδόστρωμα το υπέδαφος θα πρέπει να υγρανθεί πριν τη σκυροδέτηση, και τα αυλάκια που δημιουργούνται από τους τροχούς των οχημάτων σκυροδέτησης θα πρέπει να καθαρίζονται και να συμπυκνώνονται ξανά.

Η πιο περίπλοκη δεξιότητα για έναν κατασκευαστή είναι η απόκτηση της εμπειρίας σχετικά με την κατάλληλη ποσότητα του νερού ανάμιξης στο φρέσκο πορώδες σκυρόδεμα. Το υλικό αυτό είναι ευαίσθητο σε μικρές αλλαγές στην περιεκτικότητα σε νερό, έτσι η προσαρμογή στον νωπό μίγμα είναι σχεδόν πάντοτε απαραίτητη. Η σωστή ποσότητα του νερού στο σκυρόδεμα είναι κρίσιμη, διότι η υψηλή ποσότητα νερού προκαλεί την κατάρρευση των πόρων, ενώ η έλλειψη της επαρκούς ποσότητας νερού αποτρέπει την σωστή σκλήρυνση του σκυροδέματος, η οποία θα οδηγήσει σε πρόωρη αποτυχία της επιφάνειας. Οι διορθωτικές ενέργειες για οποιοδήποτε από αυτά τα σενάρια είναι ουσιαστικά η αφαίρεση και αντικατάσταση του σκυροδέματος. Οι έμπειροι κατασκευαστές μαθαίνουν να εκτιμούν τη σωστή περιεκτικότητα σε νερό στο νωπό σκυρόδεμα με οπτικό έλεγχο. Βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να δίνεται προσοχή είναι η παρουσία ανοιχτών κενών χώρων στο συμπυκνωμένο σκυρόδεμα και μία ελαφριά γυαλάδα από το ελεύθερο νερό στο σκυρόδεμα.

Ένα πορώδες οδόστρωμα μπορεί να τοποθετηθεί είτε με χρήση καλουπιών είτε με ασφαλτοστρωτήρα. Παρ' όλα αυτά, η απλούστερη προσέγγιση για την τοποθέτηση του πορώδους σκυροδέματος είναι να πέσει σε καλούπια που έχουν μια μετώπη ανύψωσης στην κορυφή τους, έτσι ώστε η συσκευή διάστρωσης να είναι στην πραγματικότητα 10 έως 13 mm πάνω από το τελικό ύψος του οδοστρώματος. Καθώς το σκυρόδεμα αφήνει το φορτηγό, θα πρέπει να “χτενίζεται” σε ένα, κατά προσέγγιση, υψόμετρο. Η διάστρωση μπορεί στη συνέχεια να πραγματοποιηθεί με χρήση ρολού διάστρωσης, ή μπάρων διάστρωσης χειρός (για μικρές περιοχές). Μετά τη διάστρωση του σκυροδέματος, οι μετώπες ανύψωσης αφαιρούνται και το σκυρόδεμα συμπυκνώνεται με κύλινδρο στο σωστό υψόμετρο.

Η κυλιόμενη συμπύκνωση του νωπού σκυροδέματος παρέχει μία ισχυρή ζεύξη μεταξύ της πάστας και των αδρανών υλικών, δημιουργώντας μια λεία επιφάνεια στην οδήγηση. Προσοχή όμως πρέπει να επιδεικνύεται ώστε να αποφευχθεί η επιβολή μεγάλης δύναμης, η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει την κατάρρευση της υπάρχουσας πορώδους δομής.

Περιστασιακά, επιπλέον μέτρα είναι αναγκαία για να επιτευχθεί το επιθυμητό φινίρισμα στο πορώδες σκυρόδεμα. Καθώς η ποιότητα κύλισης είναι ένα σημαντικό θέμα, το νωπό σκυρόδεμα πρέπει να διαστρώνεται περνώντας ο κύλινδρος πολλές φορές, έτσι ώστε να εξομαλυνθούν τυχόν αποκλίσεις από την επίπεδη δομή. Επιπλέον, μπορεί να είναι απαραίτητο να διαστρωθούν οι άκρες του σκυροδέματος. Πολλές φορές οι κύλινδροι δεν ασκούν επαρκή συμπίεση στις άκρες, έτσι το σκυρόδεμα εκεί διαστρώνεται με το χέρι ώστε να διασφαλιστεί πλήρως η ποιότητα του.

Η σωστή ωρίμανση είναι απαραίτητη για τη δομική ακεραιότητα του πορώδους σκυροδέματος. Η ωρίμανση εξασφαλίζει επαρκή ενυδάτωση της τσιμεντόπαστας έτσι ώστε να παρέχει την απαραίτητη αντοχή στο οδόστρωμα. Η ωρίμανση θα πρέπει να αρχίσει μέσα σε 20 λεπτά από την τοποθέτηση του σκυροδέματος. Πλαστικά καλύμματα χρησιμοποιούνται συνήθως για να διατηρηθεί η υγρασία στη μάζα του οδοστρώματος για τη διαδικασία της σκλήρυνσης. Θα πρέπει να ασφαλιζονται με ενισχυτικά ή ξύλα, έτσι ώστε να παραμείνουν στη θέση τους για την πλήρη περίοδο ωρίμανσης 7-ημερών,(Μιχάλης, Δημητρίου, 2007) σε όλες τις καιρικές συνθήκες. Επίσης, η ανοιχτή δομή και η σχετικά ανώμαλη επιφάνεια του πορώδους σκυροδέματος εκθέτει μεγαλύτερη επιφάνεια της τσιμεντόπαστας στην εξάτμιση, κάνοντας την ωρίμανση, ακόμη πιο ουσιαστική σε σχέση με τα συμβατικά σκυροδέματα. Το νερό χρειάζεται για τις χημικές αντιδράσεις του τσιμέντου, και είναι ζωτικής σημασίας για το πορώδες σκυρόδεμα. Για το λόγο αυτό, το πορώδες σκυρόδεμα πρέπει προστατεύεται αμέσως με πλαστικά καλύμματα. Σε ορισμένες περιοχές, είναι σύνηθες να εφαρμόζονται επιβραδυντές εξάτμισης πριν τη συμπύκνωση για την ελαχιστοποίηση κάθε ενδεχομένου απώλειας των επιφανειακών υδάτων (ACI Committee, 2008).

Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνεται η διαδικασία τοποθέτησης πορώδους σκυροδέματος που ακολουθήθηκε κατά την πιλοτική εφαρμογή πορώδους σκυροδέματος στο Εργοστάσιο περιοχής Ελευσίνας της Α.Ε. Τσιμέντων TITAN κατά την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.



Εικόνα 2.1: Διάστρωση πορώδους σκυροδέματος.



Εικόνα 2.2: Ομαλοποίηση διαστρωμένης επιφάνειας.



Εικόνα 2.3: Ολοκλήρωση της ομαλοποίησης με προσοχή στην διατήρηση της πορώδους δομής.

2.5. Συντήρηση

Η πλειοψηφία των οδοστρωμάτων πορώδους σκυροδέματος λειτουργούν καλά με λίγη ή και καθόλου συντήρηση (ACI Committee, 2006). Οι δύο κοινά αποδεκτές μέθοδοι συντήρησης είναι το πλύσιμο με πίεση και το σκούπισμα με δυνατή ηλεκτρική σκούπα. Η πίεση της πλύσης σπρώχνει τους ρύπους προς την κάτω επιφάνεια του οδοστρώματος. Αυτό είναι αποτελεσματικό, αλλά πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε να μην χρησιμοποιείται πολύ μεγάλη πίεση, δεδομένου ότι αυτό θα βλάψει το πορώδες σκυρόδεμα. Ένα μικρό τμήμα του οδοστρώματος θα πρέπει να πλένεται με πίεση, χρησιμοποιώντας ποικίλες πιέσεις νερού για να καθοριστεί η κατάλληλη για το συγκεκριμένο οδόστρωμα.

Το πλύσιμο με πίεση ενός φραγμένου πορώδους οδοστρώματος μπορεί να αποκαταστήσει, σε ορισμένες περιπτώσεις, το 80% έως και το 90% της διαπερατότητας του (ACI Committee, 2008). Το σκούπισμα με δυνατή ηλεκτρική σκούπα αφαιρεί τους ρύπους εξάγοντάς τους από τα κενά του οδοστρώματος (Offenberg, 2005). Το σκούπισμα ετησίως ή πιο συχνά μπορεί να είναι απαραίτητο για να απομακρύνουν συντρίμμια από την επιφάνεια των οδοστρωμάτων (ACI Committee, 2008). Το πιο αποτελεσματικό σύστημα, όμως, είναι να συνδυαστούν οι δύο αυτές τεχνικές με τη δύναμη της απορρόφησης της σκούπας μετά το πλύσιμο με πίεση (ACI Committee, 2008). Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι πρακτικές συντήρησης των πορωδών οδοστρωμάτων από σκυρόδεμα εξακολουθούν να αναπτύσσονται (ACI Committee, 2008).

Επειδή, όπως προαναφέρθηκε, το νερό της βροχής παρασύρει αέριους και στερεούς ρυπαντές οι οποίοι εναποτίθενται στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και αποτελούν κίνδυνο για την υγεία υποβαθμίζοντας την ποιότητα του νερού, η πρόταση χρήσης ενός εναλλακτικού μέτρου αντιπλημμυρικής προστασίας – όπως το διαπερατό σκυρόδεμα επιβάλλει, εκτός από την τεχνική μελέτη του προϊόντος αυτού, όσον αφορά στα χαρακτηριστικά, στα μεγέθη αντοχών και την ικανότητα υδατοπερατότητας, την εξέταση του υλικού ως προς τη δυνατότητα κατακράτησης ανόργανων και οργανικών ρύπων οι οποίοι παρασυρόμενοι στην επιφάνειά του μπορεί να διαπεράσουν τη μάζα του καταλήγοντας στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και μολύνοντας τα υπόγεια ύδατα.

Τοποθέτηση Θέματος

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία έχει ως στόχο τη διερεύνηση κατακράτησης ρύπων από εναλλακτικού τύπου σκυρόδεμα αντιπλημμυρικής προστασίας. Οι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία ρύποι που παρασύρονται από το νερό της βροχής μολύνουν τον υδροφόρο ορίζοντα μειώνοντας την καταλληλότητα του νερού για ύδρευση και άρδευση. Τέτοιοι ρύποι είναι τα νιτρικά και θειικά ιόντα καθώς και οργανικά κατάλοιπα που προέρχονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα των συνεχώς αναπτυσσόμενων κοινωνιών.

Η ικανότητα του πορώδους σκυροδέματος να αποστραγγίζει κάθε υγρό που αποχύνεται στην επιφάνειά του, το κατατάσσει σε ένα πολύ καλό μέτρο αντιπλημμυρικής προστασίας με πολλές εφαρμογές (χώροι στάθμευσης οχημάτων, πρατήρια υγρών καυσίμων, ρείθρα οδικών αρτηριών πεζοδρόμια). Το υψηλό πορώδες του συγκεκριμένου υλικού που επιτρέπει στον αέρα να διαπερνά ιστό του, έχει βρεθεί ότι αυξάνει τις δυνατότητες εφαρμογής του σε σημεία (πάρκα, γύρω από βλάστηση) όπου το συμβατικού τύπου σκυρόδεμα δε θα μπορούσε να εφαρμοστεί.

Τα παραπάνω οικολογικά χαρακτηριστικά που διακρίνουν το πορώδες σκυρόδεμα δημιούργησαν την ανάγκη για μελέτη της δυνατότητας κατακράτησης ανόργανων και οργανικών ρύπων από τη μάζα του για την αποφυγή κατάληξης τους στα υπόγεια ύδατα. Όσον αφορά σε αυτή την εξεταζόμενη παράμετρο αναμένεται κατακράτηση ρύπων στο πορώδες του εξεταζόμενου υλικού.

Επίσης, δεδομένου ότι το εσωτερικό πορώδες του υπό μελέτη υλικού αποτελεί το βασικό χαρακτηριστικό του, δημιουργήθηκε η ανάγκη διερεύνησης του τρόπου σχηματισμού των διαδρόμων που το απαρτίζουν ώστε να γίνει μια συνολική εκτίμηση της ρεολογικής συμπεριφοράς που παρουσιάζει κατά τη διέλευση μέσω αυτού λιπαντικών μηχανής και diesel κίνησης, ρυπαντών που εμφανίζονται συχνά στα σημεία εφαρμογής του.

Τέλος, έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων ρεολογικής συμπεριφοράς για συνθέσεις πορώδους σκυροδέματος με διάφορες περιεκτικότητες σε αδρανή. Τα αδρανή που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οικοδομικά απόβλητα, σκωρία χάλυβα και ασβεστολιθικά αδρανή. Η σκωρία χάλυβα αποτελεί παραπροϊόν της χαλυβουργίας. Επομένως, η χρήση αυτής, όπως και των οικοδομικών αποβλήτων στο υπό μελέτη υλικό, μπορούν να αποτελέσουν μεθόδους ανακύκλωσης, γεγονός που ενισχύει τον οικολογικό χαρακτήρα του πορώδους σκυροδέματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1. Συνοπτική Περιγραφή Συνολικής Πειραματικής Διαδικασίας

Για τις ανάγκες των πειραμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας κατασκευάστηκαν δοκίμια πορώδους σκυροδέματος δύο διαφορετικών μεγεθών: κυλινδρικά, διαστάσεων 100mm (ύψος) x 100mm (διάμετρος) και κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 300mm (ύψος) x 150mm (διάμετρος). Στην εξέλιξη της διαδικασίας, και όπου ήταν αναγκαίο, αυτά κωδικοποιήθηκαν ως εξής: με “M” σημάνθηκαν τα δοκίμια διαστάσεων 300x150 και με “m” τα δοκίμια διαστάσεων 100x100. Οι προς μελέτη συνθέσεις διακρίθηκαν σε προκαταρκτικές και τελικές. Συνολικά, μελετήθηκαν 29 συνθέσεις πορώδους σκυροδέματος οι οποίες διέφεραν ως προς την περιεκτικότητα τους σε πρώτες ύλες και το είδος των χρησιμοποιούμενων αδρανών.

Για τον έλεγχο κατακράτησης ανόργανων ρύπων χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά δοκίμια “M”, τα οποία υποβλήθηκαν σε διέλευση από τον όγκο τους διαλυμάτων θειικού και νιτρικού οξέος και ακολούθως τα παραλαμβανόμενα διηθήματα οδηγήθηκαν για υπολογισμό των κατακρατούμενων ρύπων (SO_x, NO_x) με χημικές αναλύσεις.

Για τον έλεγχο κατακράτησης οργανικών ρύπων χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια “m”, τα οποία υποβλήθηκαν σε διέλευση από τον όγκο τους χρησιμοποιημένου λιπαντικού μηχανής και diesel κίνησης. Ακολούθως, έγινε έκπλυση τους με συγκεκριμένη ποσότητα απιονισμένου νερού και τα διηθήματα που παρελήφθησαν οδηγήθηκαν προς μέτρηση Ολικού Οργανικού Άνθρακα για τον υπολογισμό του ποσοστού οργανικού ρύπου που παρασύρθηκε από το διερχόμενο νερό.

Η ανάγκη για την κατανόηση της ρεολογικής συμπεριφοράς των υπό μελέτη συνθέσεων πορώδους σκυροδέματος κατά τη διέλευση από τον όγκο τους λιπαντικών μηχανής και diesel κίνησης – ρύπων που εμφανίζονται συχνά στα σημεία εφαρμογής του – οδήγησε στην πειραματική διαδικασία για τη μελέτη του εσωτερικού πορώδους των δοκιμίων που κατασκευάστηκαν. Δοκίμια “m” υποβλήθηκαν σε αξονική τομογραφία (CT-Scan), και σε διέλευση από τον όγκο τους λιπαντικών μηχανής με διακριτά διαφορετικά ιξώδη καθώς και diesel κίνησης, ενώ δοκίμια “M” και “m” υποβλήθηκαν σε μελέτη υδατοαπορροφητικότητας για τον υπολογισμό του συντελεστή υδατοαπορροφητικότητας των υπό μελέτη συνθέσεων. Τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας αξιοποιήθηκαν για την εξαγωγή μοντέλου ρεολογικής συμπεριφοράς σε λιπαντικά διαφορετικών ιξωδών.

3.2. Παρασκευή Δοκιμίων

3.2.1. Μορφοποίηση / κατασκευή μητρών

Σε αυτήν την ενότητα θα γίνει η περιγραφή των σταδίων της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε κατά την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας. Η ανάγκη παρασκευής πολλών δοκιμίων οδήγησε στην απαίτηση για μήτρες συγκεκριμένων διαστάσεων που δημιουργήθηκαν από τον ερευνητή. Συγκεκριμένα, μετά από την προμήθεια κυλινδρικών σωλήνων υλικού PVC διαμέτρου 100mm και μήκους 3m, ακολούθησε κοπή αυτών σε κυλινδρικές μήτρες ύψους περίπου 100mm με σκοπό την παρασκευή δοκιμίων ύψους 100mm και διαμέτρου 100mm. Στη συνέχεια έγινε εγκάρσια κοπή των μητρών, έτσι ώστε να είναι δυνατή η διαδικασία αφαίρεσης των σκληρυμένων δοκιμίων μετά το πέρας της φάσης σκλήρυνσης. Για την επίτευξη της σταθερής δομής και γεωμετρίας κάθε μήτρας εφαρμόστηκαν μεταλλικοί δακτύλιοι περιμετρικά τους. Η κατασκευή των μητρών ολοκληρώθηκε με την τοποθέτηση βάσεων έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η στεγανοποίηση της μήτρας από την κάτω έδρα. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης κατασκευάστηκαν επίσης κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 150mm (διάμετρος) επί 300mm (ύψος) τα οποία σκυροδετήθηκαν σε πρότυπες μεταλλικές κυλινδρικές μήτρες (150mm)x(300mm).

3.2.2. Πρώτες Ύλες / Χαρακτηρισμός Πρώτων Υλών

Τσιμέντο

Χρησιμοποιήθηκε βιομηχανικό κλίνκερ τσιμέντου Potrlant τύπου CEM II 42.5 και CEM II 32.5. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η χημική σύσταση του κλίνκερ (πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1: Χημική σύσταση του κλίνκερ

Χημική Σύσταση (%)	
SiO ₂	24,86
Al ₂ O ₃	5,13
Fe ₂ O ₃	3,32
CaO	55,38
MgO	3,19
K ₂ O	0,88
Na ₂ O	0,28
SO ₃	1,94
TiO ₂	0,21
P ₂ O ₆	0,11
Cr ₂ O ₃	-
Cl	0,01
LOI	3,90
TOTAL	99,20

Αδρανή

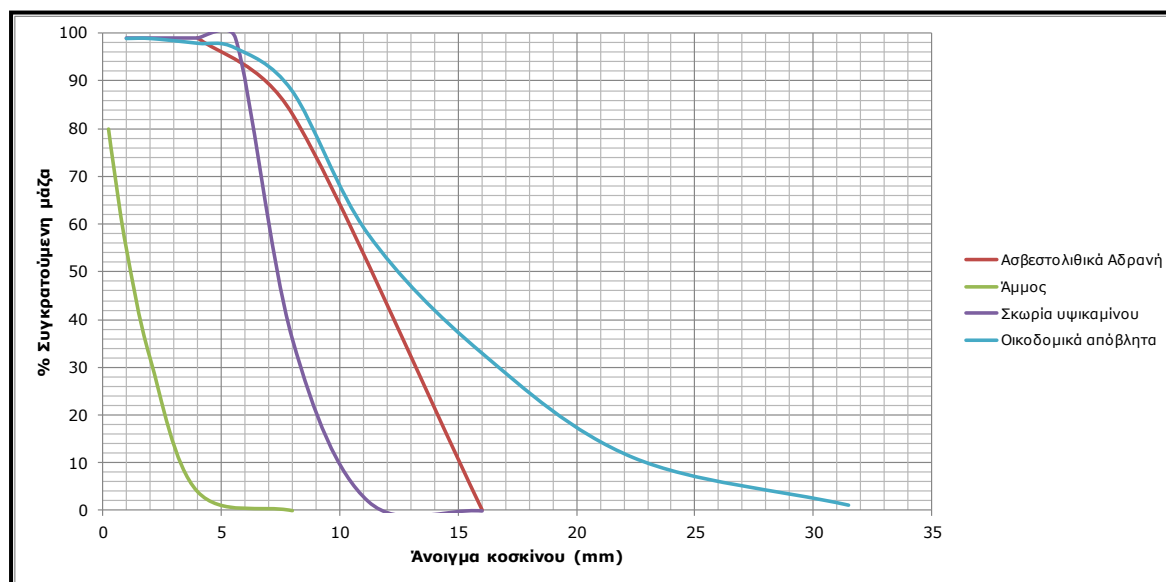
Για τη παρασκευή των συνθέσεων σκυροδέματος που μελετήθηκαν στην παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία χρησιμοποιήθηκαν ως αδρανή υλικά, γαρμπίλι ασβεστολιθικό, σκωρία χάλυβα, οικοδομικά απόβλητα και πυριτική άμμος. Τα χαρακτηριστικά των αδρανών παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν (Vardaka, Galbenis, Tsimas, 2010).

Πίνακας 3.2: Χημική σύσταση αδρανών

Ένωση	Λεπτόκοκκη Σκωρία Χάλυβα	Ασβεστολιθικά Αδρανή	Οικοδομικά απόβλητα
CaO	36,58	52,8	44,7
SiO ₂	12,75	1,16	20,1
Al ₂ O ₃	38,48	0,67	4,72
Fe ₂ O ₃	29,56	0,33	1,79
SO ₃	0,29	<0,01	0,04
MgO	2,4	0,89	0,69
K ₂ O	0,02	<0,01	0,5
Na ₂ O	0,10	-	0,4
Cl	0,01	<0,01	0,18
TiO ₂	0,39	<0,01	0,26
LOI	-	43,93	26,23

Πίνακας 3.3: Κοκκομετρική κατανομή αδρανών

Άνοιγμα κοσκίνου (mm)	% αθροιστικά συγκρατούμενη				
	Γαρμπίλι	Χαλίκι	Άμμος	Σκωρία	Οικοδομικά
31,5		0			1
22,4		0			11
16		88		0	33
11,2	0	99		2	58
8	83	99		36	88
5,6	99	99	0	99	97
4	99	99	4	99	98
2	99	99	32	99	99
1	99	99	55	99	99
0,5	99	99	71	99	99
0,25	99	99	80	99	99



Διάγραμμα 3.1: Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών.

Ποροσιμετρία N₂ Αδρανών

Στον Πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 3.4) παρουσιάζονται οι μετρήσεις ποροσιμετρίας N₂ των αδρανών με χρήση της συσκευής NOVA 2200e.

Πίνακας 3.4: Ειδική επιφάνεια και μέγεθος πόρων αδρανών

Χαρακτηριστικό	Σκωρία Χάλυβα	Ασβεστολιθικά Αδρανή	Οικοδομικά Απόβλητα
Ειδική Επιφάνεια S_{BET} (m ² /g)	0,724	0,406	4,850
Όγκος Κενών V_p (cm ³ /g)	0,003	0,001	0,013
Μέση Διάμετρος Πόρων d_p (Å)	103,356	98,522	107,216

Από τον Πίνακα 3.4 φαίνεται ότι τόσο τα οικοδομικά απόβλητα όσο και η σκωρία χάλυβα εμφανίζουν υψηλότερο πορώδες σε σχέση με τα συμβατικά ασβεστολιθικά αδρανή. Συγκεκριμένα τα οικοδομικά απόβλητα έχουν τον 13πλάσιο όγκο πόρων σε σχέση με τα ασβεστολιθικά ενώ αντίστοιχα η σκωρία εμφανίζει 3πλάσιο όγκο (Vardaka, Leptokaridis, Tsimas, 2011).

3.2.3. Υπό Μελέτη Συνθέσεις

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι συνθέσεις διαπερατού σκυροδέματος που μελετήθηκαν. Δίπλα από κάθε κωδικό σύνθεσης αναγράφεται η ποιοτική σύσταση αυτής στα βασικά αδρανή και σε υποκαταστάτη τσιμέντου (silica fume). Ακολουθώς, παρατίθεται η σύσταση καθώς και ο λόγος νερού προς τσιμέντο (w/c) κάθε μιας από τις μελετώμενες συνθέσεις (πίνακας 3.5).

Πίνακας 3.5: Υπό Μελέτη Συνθέσεις

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΑΔΡΑΝΗ
1607-23	100% ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ
1607-24	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ + 5% SILICA FUME
1607-25	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ + 10% SILICA FUME
1607-26	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ + 5% SILICA FUME
1607-27	100% ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ
1607-28	100% ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ
1607-29	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ + 10% SILICA FUME
1607-30	100% ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ
1607-31	100% ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ
1607-32	100% ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ
1607-33	100% ΣΚΩΡΙΑ
1607-34	50% ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ-50% ΣΚΩΡΙΑ
1607-35	50% ΣΚΩΡΙΑ-50% ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ
1607-36	ΤΡΙΜΕΡΕΣ (50% ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ/25% ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ/25% ΣΚΩΡΙΑ)
1607-37	100% ΣΚΩΡΙΑ ΜΕ ΔΙΟΡΘΩΣΗ
1607-38	100% ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ
1607-39	50% ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ-50%ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ
1607-40	100% ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ
1607-41	50% ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ – 50%ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΟΧΙ ΚΑΛΗ ΑΝΑΛΟΓΙΑ
1607-42	100%ΣΚΩΡΙΑ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΗ ΜΕ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΙΔΙΑ ΜΕ 1607-46
1607-43	ΤΡΙΜΕΡΕΣ (50% ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ/25% ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ/25% ΣΚΩΡΙΑ)
1607-44	50% ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ-50%ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ
1607-45	100% ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ
1607-46	100% ΣΚΩΡΙΑ ΧΑΛΥΒΑ
1607-48	50% ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ-50% ΣΚΩΡΙΑ
1607-49	50% ΣΚΩΡΙΑ-50% ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ
1607-50	50% ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ-50%ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ
1607-51	ΤΡΙΜΕΡΕΣ(50% ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΑ/25% ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ/25% ΣΚΩΡΙΑ)
1607-52	100% ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Τονίζονται οι συνθέσεις με κωδικούς 1607-45 έως 1607-52, αφού αυτές μελετώνται στο μεγαλύτερο τμήμα της πειραματικής διαδικασίας. Οι υπόλοιπες συνθέσεις χρησιμοποιούνται στις προκαταρκτικές μετρήσεις και αποτελούν αναπαραγωγή των τελικών 7 συνθέσεων.

Πίνακας 3.6: Ποσοτική σύσταση, αντοχές σε θλίψη, λόγος νερού προς τσιμέντο και συντελεστής υδατοπερατότητας των υπό μελέτη συνθέσεων.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	ΤΥΠΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ		ΑΜΜΟΣ	W/C	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ (MPa) 28d	K (cm/s)
	CEMII 42,5	CEMII 32.5				
1607-23	210		400	0,48	16,7	0,10
1607-24	180,5		410	0,47	9,9	0,10
1607-25	171		410	0,49	11,9	0,10
1607-26	190		390	0,47	11,4	0,10
1607-27		190	390	0,47	10,4	0,14
1607-28		180,5	390	0,50	10,1	0,10
1607-29		171	390	0,53	10,5	0,07
1607-30	190		350	0,47	14,3	0,10
1607-31		190	350	0,47	12,1	0,14
1607-32	190		350	0,47	7,9	0,13
1607-33	190		350	0,47	8,4	0,15
1607-34	190		350	0,47	9,7	0,15
1607-35	190		350	0,47	8,6	0,09
1607-36	190		350	0,47	9,8	0,14
1607-37	171		315	0,58	10,7	0,21
1607-38	190		350	0,47	6,8	0,15
1607-39	190		740	0,47	10,4	0,18
1607-40	171		315	0,67	11,15	0,12
1607-42	171		315	0,62	12,6	0,16
1607-43	171		315	0,63	13,1	0,15
1607-44	171		315	0,71	15,7	0,12
1607-45	171		315	0,47	7,9	0,13
1607-46	171		315	0,58	12,6	0,16
1607-48	171		315	0,53	9,7	0,15
1607-49	171		315	0,65	6,4	0,09
1607-50	171		315	0,44	10,4	0,18
1607-51	171		315	0,56	9,7	0,15
1607-52	171		315	0,41	9,5	0,12

Πίνακας 3.7: Κοκκομετρική κατανομή συνθέσεων

ΑΝΟΙΓΜΑ ΚΟΣΚΙΝΟΥ (mm)	1607-23	1607-24	1607-25	1607-26	1607-27	1607-28	1607-29	1607-30	1607-31	1607-32
31,5	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
22,4	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
16	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
11,2	41,667	41,849	41,849	40,984	40,984	40,984	40,984	39,344	39,344	40,984
8	35,444	35,647	35,647	34,689	34,689	34,689	34,689	32,874	32,874	34,689
5,6	29,000	29,219	29,219	28,180	28,180	28,180	28,180	26,213	26,213	28,180
4	22,111	22,342	22,342	21,246	21,246	21,246	21,246	19,169	19,169	21,246
2	15,889	16,052	16,052	15,279	15,279	15,279	15,279	13,814	13,814	15,279
1	10,000	10,110	10,110	9,590	9,590	9,590	9,590	8,607	8,607	9,590
0,5	6,444	6,515	6,515	6,180	6,180	6,180	6,180	5,546	5,546	6,180
0,25	4,444	4,493	4,493	4,262	4,262	4,262	4,262	3,825	3,825	4,262

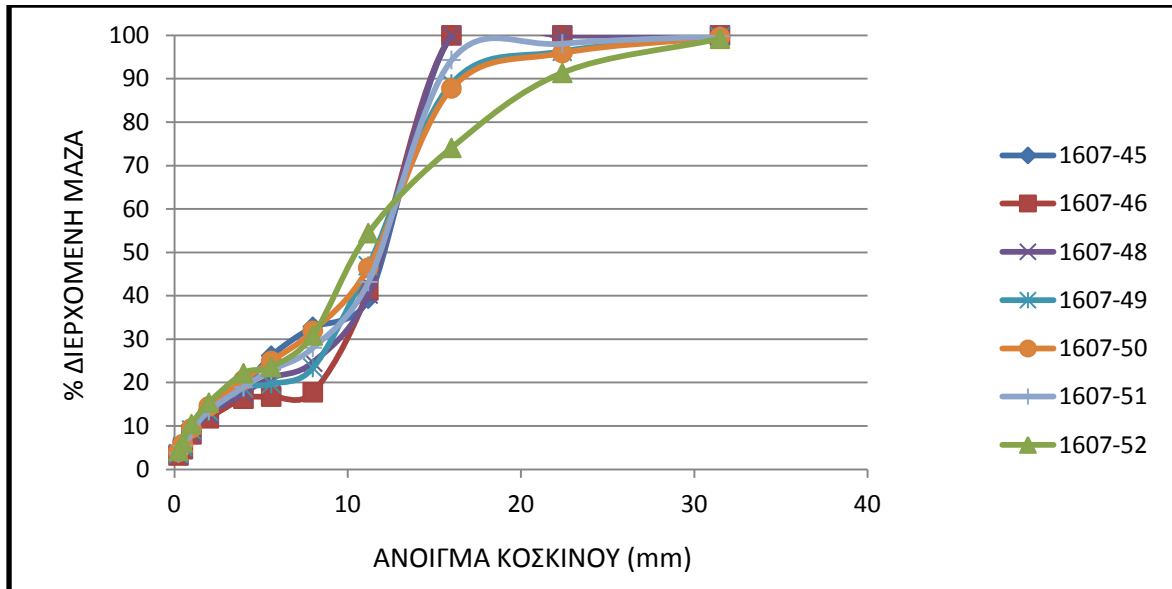
Συνέχεια πίνακα

ΑΝΟΙΓΜΑ ΚΟΣΚΙΝΟΥ (mm)	1607-33	1607-34	1607-35	1607-36	1607-37	1607-38	1607-39	1607-40	1607-42
31,5	100,000	100,000	99,596	99,798	100,000	99,191	99,596	99,215	100,000
22,4	100,000	100,000	99,596	99,798	100,000	99,191	99,596	99,215	100,000
16	100,000	100,000	99,596	99,798	100,000	99,191	99,596	99,215	100,000
11,2	98,383	68,863	98,787	69,066	98,322	99,191	69,268	99,215	98,322
8	70,885	51,880	84,634	58,754	69,800	98,383	65,628	98,429	69,800
5,6	19,743	22,978	58,563	42,388	16,789	97,383	61,798	97,429	16,789
4	19,169	19,169	54,350	36,760	16,306	89,530	54,350	89,717	16,306
2	13,814	13,814	36,863	25,339	11,795	59,913	36,863	60,146	11,795
1	9,415	9,011	22,355	15,481	8,089	35,295	21,951	35,575	8,089
0,5	6,355	5,951	10,399	7,973	5,511	14,443	9,995	14,862	5,511
0,25	4,634	4,230	4,634	4,230	4,061	4,634	4,230	5,077	4,061

Συνέχεια πίνακα

ΑΝΟΙΓΜΑ ΚΟΣΚΙΝΟΥ (mm)	1607-43	1607-44	1607-45	1607-46	1607-48	1607-49	1607-50	1607-51	1607-52
31,5	99,828	99,630	100,000	100,000	100,000	99,663	99,630	99,828	99,215
22,4	99,828	99,630	100,000	100,000	100,000	96,295	95,928	98,112	91,360
16	99,828	99,630	100,000	100,000	100,000	88,884	87,785	94,335	74,081
11,2	69,596	67,560	39,344	41,278	40,394	46,925	46,461	43,207	54,445
8	57,949	63,769	32,874	17,789	24,686	23,404	31,935	28,048	30,882
5,6	39,035	59,776	26,213	16,789	21,098	19,709	24,981	22,899	23,598
4	33,754	52,417	19,169	16,306	17,615	18,820	20,583	18,991	22,169
2	23,352	35,649	13,814	11,795	12,718	13,330	14,550	13,568	15,376
1	14,350	21,316	8,607	8,089	8,326	9,098	9,471	8,857	10,441
0,5	7,572	9,937	5,546	4,672	5,072	5,337	5,865	5,440	6,222
0,25	4,167	4,415	3,825	3,222	3,498	3,681	4,045	3,752	4,291

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η κοκκομετρική κατανομή των τελικών 7 υπό μελέτη συνθέσεων συγκεντρωτικά.



Διάγραμμα 3.2: Κοκκομετρική κατανομή μελετώμενων συνθέσεων.

Δοκιμή κάθισης

Κάθιση είναι ένα μέτρο εργασιμότητας που εκφράζεται με την απώλεια ύψους, σε cm, που παρουσιάζει μια κωνική στήλη νωπού σκυροδέματος, όταν ανασυρθεί η κωνική μήτρα (κώνος καθίσεως) με την οποία μορφώθηκε. Όλες οι μελετώμενες συνθέσεις πορώδους σκυροδέματος στην συγκεκριμένη Μεταπτυχιακή Εργασία παρουσίασαν μηδενική κάθιση (εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1: Δοκιμή κάθισης πορώδους σκυροδέματος

3.2.4. Παρασκευή και Συντήρηση δοκιμίων

Προετοιμασία μητρών

Πριν από την ανάμειξη των πρώτων υλών έγινε η προετοιμασία των μητρών ώστε να δεχθούν το νωπό σκυρόδεμα. Αρχικά έγινε επάλειψη της εσωτερικής επιφάνειάς τους με ορυκτέλαιο ώστε να είναι εύκολη η απομάκρυνση του σκληρυμένου σκυροδέματος. Στη συνέχεια ακολούθησε η σύσφιξη των μεταλλικών σφικτήρων και τέλος οι μήτρες τοποθετήθηκαν στις ειδικά διαμορφωμένες βάσεις από φελιζόλ.



Εικόνα 3.2: Μήτρες PVC για τη σκυροδέτηση κυλινδρικών δοκιμίων διαστάσεων (100mm)χ(100mm)

Ανάμειξη πρώτων υλών

Για την ανάμειξη των πρώτων υλών χρησιμοποιήθηκε ο ηλεκτροκίνητος αναμεικτήρας τύπου SCHWELM Ζυκλος χωρητικότητας 150 λίτρων του Εργαστηρίου Τεχνολογίας Σκυροδέματος του Εργοστασίου Περιοχής Καμαρίου της Εταιρίας TITAN A.E.(εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3: Ηλεκτροκίνητος αναμεικτήρας χωρητικότητας 150L.

Αρχικά, έγινε ανάδευση των αδρανών, για 30sec, με μέρος από το απαιτούμενο για την εκάστοτε σύνθεση νερό, έτσι ώστε να επιτευχθεί μερικός κορεσμός και να αποφευχθεί μεγάλη απορρόφηση νερού από τα τριχοειδή των αδρανών αργότερα. Στη συνέχεια έγινε η προσθήκη της άμμου και επαναλήφθηκε ανάδευση για μερικά δευτερόλεπτα επιπλέον. Στο τελικό στάδιο έγινε προσθήκη της απαιτούμενης για κάθε σύνθεση ποσότητας τσιμέντου και ανάμειξη για 2min με ταυτόχρονη προσθήκη του υπολειπόμενου νερού. Σύμφωνα με τον νέο Κ.Τ.Σ. ο χρόνος αναμείξεως μετριέται μετά την εισαγωγή όλων των υλικών στον αναμεικτήρα και πρέπει να είναι εκείνος που αναγράφεται στις προδιαγραφές του αναμεικτήρα. Οπωσδήποτε όμως δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 1min. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται το έτοιμο μείγμα νωπού σκυροδέματος.



Εικόνα 3.4: Μείγμα νωπού σκυροδέματος

Καλούπωμα

Μετά το πέρας της ανάμειξης ακολουθήθηκε η διαδικασία του καλουπώματος. Οι μήτρες τοποθετήθηκαν στη δονούμενη τράπεζα, γεμίστηκαν με δύο στρώματα σκυροδέματος ανά μήτρα και ακολούθησε δόνησή τους για 15sec με ταυτόχρονη επιβολή φορτίου. Τέλος, μετά τη μορφοποίηση της άνω πλευράς τους, τα καλουπωμένα δοκίμια νωπού σκυροδέματος τοποθετήθηκαν για σκλήρυνση. Η διαδικασία της σκλήρυνσης πρέπει να γίνει στη σκιά, μέσα στις μήτρες, χωρίς κτυπήματα, δονήσεις, ξήρανση τουλάχιστον 20 ώρες και όχι πάνω από 32 ώρες. (εικόνες 3.5 (α), (β)).



(α)



(β)

Εικόνα 3.5: Καλούπωμα δοκιμίων (α) γέμισμα μητρών και (β) δόνηση στη δονούμενη τράπεζα.



(α)



(β)

Εικόνα 3.6 (α), (β): Έτοιμα δοκίμια.

Στη συνέχεια, αφαιρέθηκαν τα δοκίμια από τις μήτρες και ακολούθησε σήμανση τους με τους κωδικούς της σύνθεσης. Τέλος, έγινε καθαρισμός των μητρών και προετοιμασία τους για την παρασκευή των δοκιμίων της επόμενης σύνθεσης.



(α)



(β)

Εικόνα 3.7 (α), (β): Ξεκαλούπωμα δοκιμίων.



(α)

(β)

Εικόνα 3.8 (α), (β): Σήμανση δοκιμίων.

Ωρίμανση

Η ωρίμανση των δοκιμίων πραγματοποιήθηκε σε θάλαμο συντήρησης για 28 μέρες. Η εισαγωγή στον θάλαμο συντήρησης (θερμοκρασία $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$) αποσκοπεί στη δημιουργία συνθηκών θερμοκρασίας και υγρασίας που θα επιτρέψουν να ενυδατωθεί το μεγαλύτερο ποσοστό τσιμέντου του μείγματος.



Εικόνα 3.9: Θάλαμος συντήρησης.

Μεταφορά

Μετά το πέρας των 28 ημερών της ωρίμανσης ακολούθησε η μεταφορά των δοκιμίων στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο για την πραγματοποίηση των πειραμάτων της παρούσης μεταπτυχιακής εργασίας.

3.3. Έλεγχος Κατακράτησης Ανόργανων Ρύπων που Παρασύρονται από το Νερό της Βροχής – Έλεγχος κατακράτησης θειικών ιόντων (SOx)

3.3.1. Περιγραφή Πειραματικής Διαδικασίας

Στόχος της διαδικασίας που ακολουθήθηκε είναι η μελέτη της κατακράτησης θειικών ιόντων (SOx) από το πορώδες σκυρόδεμα. Όπως προαναφέρθηκε, τα ιόντα θειικού οξέος είναι ένας αέριος ανόργανος ρύπος που παρασυρόμενος από το νερό της βροχής μπορεί να φτάσει στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και να προκαλέσει τη μόλυνσή του. Λαμβάνοντας υπόψη τη λειτουργία του πορώδους σκυροδέματος, κρίνεται αναγκαία η αξιολόγηση της δράσης του συγκεκριμένου τύπου ως προς την κατακράτηση ρύπων που παρασύρονται από το νερό της βροχής.

Για τις ανάγκες της παρούσης πειραματικής διαδικασίας κατασκευάστηκαν διαλύματα H₂SO₄, διαφορετικών συγκεντρώσεων, τα οποία διηθήθηκαν από κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 300mm (ύψος) επί 150mm (διάμετρος), συγκεκριμένων συνθέσεων με χρήση της συσκευής υδατοπερατότητας (εικόνα 3.10).



Εικόνα 3.10: Συσκευή υδατοπερατότητας.

Κάθε δοκίμιο περιβάλλεται από ειδικά διαμορφωμένα περιβλήματα κατασκευασμένα από καουτσούκ ώστε να εφαρμόζει υδατοστεγώς στο κάτω τμήμα κυλίνδρου κατασκευασμένου από plexiglass. Ο κύλινδρος μαζί με το δοκίμιο τοποθετούνται στη βάση της συσκευής υδατοπερατότητας. Αφού επιβεβαιωθεί ότι η βάννα στο κάτω τμήμα της συσκευής είναι κλειστή, προστίθεται το διάλυμα νιτρικού οξέος και μετά την ολοκλήρωση της προσθήκης ανοίγεται η βάννα ώστε το διάλυμα περνώντας από το δοκίμιο να καταλήξει στο δοχείο συλλογής. Το διήθημα συλλέγεται και οδηγείται

προς ανάλυση της περιεκτικότητάς του σε θειικά ιόντα και μέτρηση pH. Το διήθημα, συλλέχθηκε και οδηγήθηκε για μέτρηση SO_x, η οποία έγινε βάσει του προτύπου ASTM D516-68 (1974).

Στον πίνακα που ακολουθεί, γίνεται συγκεντρωτική απεικόνιση των συνθέσεων που χρησιμοποιήθηκαν και των συγκεντρώσεων H₂SO₄ που διηθήθηκε σε κάθε μία από αυτές.

Πίνακας 3.8: Συνθέσεις που μελετήθηκαν για κατακράτηση SO_x, συγκεντρώσεις διαλυμάτων H₂SO₄ που χρησιμοποιήθηκαν και pH διαλυμάτων και διηθημάτων.

Κωδικός Σύστασης	Περιεκτικότητα Διαλύματος H ₂ SO ₄ (mg/L)		
	3500	2000	900
1607-30	✓		
1607-31			✓
1607-34			✓
1607-32			✓
1607-35			✓
1607-38			✓
1607-42			✓
1607-43			✓
1607-44			✓
1607-29		✓	
1607-39		✓	

3.3.2. Έλεγχος περιεκτικότητας διαλύματος σε Θειικά ιόντα (SO_x)

Από το διάλυμα λαμβάνεται με σιφώνιο ποσότητα 50ml και προστίθεται σε ποτήρι ζέσεως το οποίο τοποθετείται σε υδατόλουτρο καλυμμένο με μεμβράνη – ώστε να μειωθούν οι απώλειες λόγω εξάτμισης – στους 60°C. Ταυτόχρονα τοποθετείται σε ποτήρι ζέσεως ικανή ποσότητα διαλύματος BaCl₂·2H₂O. Αφού το προς ανάλυση διάλυμα θερμανθεί ικανοποιητικά προστίθενται σε αυτό 5ml διαλύματος BaCl₂·2H₂O και το μείγμα αφήνεται στο υδατόλουτρο για χρονικό διάστημα 2 ωρών. Μετά το πέρας των 2 ωρών το μείγμα απομακρύνεται από το υδατόλουτρο και αφήνεται να προσεγγίσει θερμοκρασία περιβάλλοντος (1 ώρα). Ακολουθεί διήθηση με ηθμό μπλε ταινίας (ειδικός ηθμός με μηδενικό υπόλειμμα πύρωσης). Ο ηθμός τοποθετείται σε προζυγισμένο χωνευτήριο, στο οποίο επιβάλλεται έψηση σε εργαστηριακό φούρνο σε θερμοκρασία 950°C για 1 ώρα. Μετά την απομάκρυνση των χωνευτηρίων από το φούρνο και όταν αυτά έρθουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος – πάντοτε εβρισκόμενα σε ξηραντήρα – ακολουθεί ζύγιση. Το αποτέλεσμα της ζύγισης δίνει την περιεκτικότητα σε SO_x του προς ανάλυση διαλύματος.

Η σχέση της μεταβολής του βάρους του χωνευτηρίου πριν και μετά την έψηση με την τελική περιεκτικότητα του διαλύματος σε ppm (mg/L) σε θετικά δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$c = \Delta m * 1000 * \left(\frac{96}{233}\right) * 20$$

Όπου: c η τελική περιεκτικότητα σε ppm

Δm η μεταβολή της μάζας του χωνευτηρίου.

Τέλος, μετρήθηκε το pH κάθε διηθήματος που προέκυψε.

3.3.3. Αποτελέσματα – Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Οι συγκεντρώσεις των διαλυμάτων θειικού οξέος που επιλέχθηκαν για τη διεξαγωγή των πειραμάτων αντικατοπτρίζουν, την ακραία περίπτωση (περίπου 1M), επί παραδείγματι την απώλεια υγρών μπαταρίας αυτοκινήτου σε χώρο στάθμευσης διαστρωμένο με πορώδες σκυρόδεμα, μια ενδιάμεση περίπτωση (περίπου 0,1M) και μια περίπτωση προσβολής από μικρής συγκέντρωσης διάλυμα (περίπου 0,01M) το οποίο έχει αρκετά πυκνότερη σύσταση από αυτή της όξινης βροχής.

Τα αποτελέσματα που παρελήφθησαν μετά τη διαδικασία μέτρησης φαίνονται συγκεντρωτικά στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 3.9: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα από τις μετρήσεις ελέγχου κατακράτησης θειικών ιόντων από τις επιλεγμένες συνθέσεις.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ H ₂ SO ₄	pH	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ μετά διέλευση H ₂ SO ₄ (mg/L)
Blank	3500 mg/L	0,19	
1607-30		0,23	+97,24
Blank	2000 mg/L	1,24	
1607-29		1,24	-6,59
1607-39		1,28	-69,22
Blank	900 mg/L	1,84	
1607-32		2,47	-43,67
1607-35		2,69	-51,09
1607-38		2,76	-20,60
1607-42		2,64	-58,51
1607-43		2,26	-40,38
1607-44		2,15	-36,26
Blank	900 mg/L	1,69	
1607-31		1,59	+198,59
1607-34		2,54	-12,36

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.9, τα θειικά ιόντα δεν κατακρατούνται από συνθέσεις πορώδους σκυροδέματος που μελετήθηκαν. Η περίπτωση στην οποία φαίνεται μείωση στην περιεκτικότητα σε θειικά, αυτή εμπίπτει στο σφάλμα της διαδικασίας της μέτρησης και δεν αποτελεί σημείο ενδιαφέροντος. Η αύξηση επίσης της περιεκτικότητας σε θειικά ιόντα που υπολογίζεται στο διηθήματα σε σχέση με τα αρχικά διαλύματα θειικού οξέος είναι τέτοιας τάξεως που μπορεί επίσης να καταταγεί στο σφάλμα της μεθόδου.

3.4 Έλεγχος Κατακράτησης Ανόργανων Ρύπων που Παρασύρονται από το Νερό της Βροχής - Έλεγχος κατακράτησης νιτρικών ιόντων (NO_x)

3.4.1. Περιγραφή Πειραματικής Διαδικασίας

Για τη μελέτη της ικανότητας κατακράτησης νιτρικών ιόντων, κατασκευάστηκαν κυλινδρικά δοκίμια σκυροδέματος διαστάσεων 150mm (διάμετρος) x 300mm (ύψος). Η πειραματική διαδικασία έλαβε χώρα στο εργαστήριο τεχνολογίας σκυροδέματος του εργοστασίου περιοχής Καμαρίου της εταιρίας TITAN A.E.



Εικόνα 3.11: Δοκίμια σκυροδέματος διαστάσεων 15x30.

Για τη διεξαγωγή του πειράματος επιλέχθηκε η παρασκευή διαλυμάτων νιτρικού οξέος διαφόρων συγκεντρώσεων, τα οποία διηθήθηκαν από συνθέσεις διαπερατού σκυροδέματος με χρήση της συσκευής υδατοπερατότητας.



Εικόνα 3.12: Συσκευή υδατοπερατότητας.

Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι όμοια με αυτή της παραγράφου 3.3.1.

Τα διηθήματα που συλλέχθηκαν οδηγήθηκαν προς ανάλυση της περιεκτικότητάς τους σε νιτρικά ιόντα και μέτρηση pH.

3.4.2 Έλεγχος περιεκτικότητας διαλύματος σε Νιτρικά Ιόντα (NO_x)

Η μέτρηση νιτρικών ιόντων από τα διηθήματα που συλλέγονται γίνεται βάσει του προτύπου ASTM D922-71 (1978) σε φασματοφωτόμετρο και με αυτό τον τρόπο αξιολογείται εάν είναι δυνατό τα δοκίμια να κατακρατούν ποσοστό των ιόντων αυτών.

Τα φασματοφωτόμετρα χρησιμοποιούνται για μελέτη της απορρόφησης σε συνάρτηση με το μήκος κύματος. Οι διάφορες ενώσεις απορροφούν ακτινοβολία σε συγκεκριμένα μήκη κύματος και η

απορρόφηση είναι ανάλογη της συγκέντρωσης, σύμφωνα με το νόμο Lambert-Beer. Στο φασματοφωτόμετρο χρησιμοποιείται μία μικρού εύρους δέσμη κυμάτων (μονοχρωματική ακτινοβολία) που παράγεται από φίλτρα ή μονοχρωμάτορες (πρίσμα ή φράγμα). Το φασματοφωτόμετρο που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου DR/2010 της εταιρείας Hach και είναι απλής δέσμης. Μία δέσμη από την πηγή εισέρχεται στο μονοχρωμάτορα, οποίος είναι πρίσμα ή φράγμα, όπου και διαχωρίζεται. Η ακτινοβολία περνά κατόπιν από την κυψελίδα και εισέρχεται στον ανιχνευτή.



Εικόνα 3.13: Συσκευή HACH DR 2010

Πριν την επιλογή της συγκέντρωσης του διαλύματος νιτρικού οξέος που θα χρησιμοποιείτο για την τελική μελέτη, έγιναν προκαταρκτικές διηθήσεις διαλυμάτων διαφόρων συγκεντρώσεων από δοκίμια σκουροδέματος διαφόρων συνθέσεων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν διαλύματα συγκεντρώσεων όπως παρουσιάζονται παρακάτω. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι συνθέσεις που υποβλήθηκαν σε προκαταρκτική δοκιμή και η συγκέντρωση του διαλύματος που διηθήθηκε από αυτές.

Πίνακας 3.10. Προκαταρκτικές δοκιμές κατακράτησης νιτρικών ιόντων.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΝΙΤΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ (mg/L)					
	NO ₃ -N	NO ₃	NO ₃ -N	NO ₃	NO ₃ -N	NO ₃
	7000	30.000	700	3.500	60	250
1607-23					✓	
1607-36					✓	
1607-24			✓			
1607-25			✓			
1607-26	✓					
1607-28	✓					
1607-37					✓	
1607-40					✓	
1607-41			✓			
1607-39			✓			

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι από τα δοκίμια δύο συνθέσεων έγινε διήθηση διαλύματος δύο φορές. Τα πρώτα διηθήματα από τις συνθέσεις 1607-39 και 1607-41 οδηγήθηκαν για δεύτερη διήθηση ώστε να δοθεί μια ένδειξη για τη περιεκτικότητα σε νιτρικά διηθήματος που προέρχεται από επανάληψη διήθησης. Ακολούθως, τα δύο παραπάνω δοκίμια υποβλήθηκαν σε έκπλυση με απιονισμένο νερό ώστε να μελετηθεί η τάση συγκράτησης ή μη νιτρικών ιόντων από το μελετώμενο σκυρόδεμα.

Για τη μελέτη της κατακράτησης ιόντων NO_x από τις τελικές συνθέσεις επιλέχθηκε να διηθηθεί από αυτές διάλυμα νιτρικού οξέος συγκέντρωσης 3500 mg/L. Οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή της συγκεκριμένης συγκέντρωσης θα αναλυθούν στην επόμενη παράγραφο.

Πίνακας 3.11: Οι τελικές μελετώμενες συνθέσεις.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΝΙΤΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ (mg/L)	
	NO ₃	NO ₃ -N
	3500	700
1607-45		✓
1607-46		✓
1607-48		✓
1607-49		✓
1607-50		✓
1607-51		✓
1607-52		✓

3.4.3. Αποτελέσματα - Αξιολόγηση των Αποτελεσμάτων

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται συνολικά τα αποτελέσματα της μελέτης κατακράτησης νιτρικών ιόντων από τις προκαταρκτικές μετρήσεις.

Πίνακας 3.12: Αποτελέσματα προκαταρκτικής μελέτης κατακράτησης νιτρικών ιόντων.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	Αύξηση ή Μείωση (mg/L)					
	NO ₃ -N	NO ₃	NO ₃ -N	NO ₃	NO ₃ -N	NO ₃
	7000	30.000	700	3500	60	250
1607-23					-8,5	-38,5
1607-24			-95	-420		
1607-25			-175	-760		
1607-26	-1900	-8500				
1607-28	-1300	-5800				
1607-37					+4,5	+20,5
1607-40					+3,5	+16
1607-39 1 ^η δόση			-130	-590		
1607-39 2 ^η δόση**			-50	-220		
1607-41 1 ^η δόση			-215	-965		
1607-41 2 ^η δόση**			+20	+530		

Από τις προκαταρκτικές μετρήσεις συμπεραίνεται ότι γενικά υπάρχει τάση του πορώδους σκυροδέματος να συγκρατεί τα νιτρικά ιόντα, έναν ανόργανο ρύπο που παρασυρόμενος από το νερό της βροχής δύναται να φτάσει στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα προκαλώντας μόλυνση των υδάτων. Το ποσοστό κατακράτησης, διακυμαίνεται ανάλογα με τη σύσταση της χρησιμοποιούμενης σύνθεσης. Για πολύ μικρές συγκεντρώσεις νιτρικού οξέος, της τάξεως του 0,01M τα αποτελέσματα δείχνουν μικρή αύξηση. Η αύξηση της τάξεως αυτής όμως, θεωρείται ότι εμπίπτει στα όρια του πειραματικού σφάλματος, επομένως δε λαμβάνεται υπόψη. Η διήθηση, λοιπόν, διαλύματος τόσο μικρής συγκέντρωσης δε δύναται να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα.

Όπως προαναφέρθηκε, από τα δοκίμια των συνθέσεων με κωδικούς 1607-39 και 1607-41 έγινε εκ νέου διήθηση του πρώτου διηθήματος που παρελήφθη. Μετά από τη δεύτερη διήθηση δεν παρατηρήθηκε εκ νέου μείωση της περιεκτικότητας του πρώτου διηθήματος σε νιτρικά ιόντα. Τόσο το θετικό πρόσημο που παρατηρήθηκε στις μετρήσεις μετά τη δεύτερη διήθηση για το δοκίμιο 1607-41, όσο και το αρνητικό πρόσημο της τιμής για το δοκίμιο 1607-39 ακολουθούνται από τιμές που εμπίπτουν στο σφάλμα της μέτρησης (**πίνακα 3.12)

Από τα δοκίμια των τελικών συνθέσεων επιλέχθηκε να γίνει διήθηση διαλύματος νιτρικού οξέος συγκεντρώσεως 3550 mg/L. Οι προκαταρκτικές μετρήσεις με τη διήθηση διαλυμάτων συγκεντρώσεων 1M έδειξαν ότι συγκεντρώσεις αυτής της τάξεως προκαλούν διάλυση της τσιμεντόπαστας και αποσάθρωση του δοκιμίου, αφού αποτελούν ακραία περίπτωση. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα αποτελέσματα της κατακράτησης νιτρικών ιόντων ανά μελετώμενη σύνθεση μετά από διήθηση του επιλεγμένου διαλύματος νιτρικού οξέος από τις τελικές συνθέσεις.

Πίνακας 3.13: Ποσοστιαία μείωση νιτρικών ιόντων λόγω κατακράτησής τους από πορώδες σκυρόδεμα, μετά από διήθηση διαλύματος HNO_3 (3500 mg/L).

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ NO_x ΜΕΤΑ ΔΙΗΘΗΣΕΩΣ δ/τος HNO_3 (mg/L)	
	NO_3	$\text{NO}_3\text{-N}$
1607-45	-250	-1105
1607-46	-295	-1325
1607-48	-175	-790
1607-49	-405	-1805
1607-50	-330	-1460
1607-51	-360	-1595
1607-52	-350	-1555

Η κατακράτηση νιτρικών ιόντων είναι είτε φυσικής, είτε χημικής φύσεως. Σε περίπτωση φυσικής προσρόφησης, γίνεται προσρόφηση των NOx φυσικά λόγω των ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων που περιλαμβάνουν αλληλεπιδράσεις πόλωσης δίπολου. Λόγω της ιοντικής τους δομής τα νιτρικά ιόντα, καθώς περνούν από το πορώδες του σκυροδέματος και έρχονται σε επαφή με την εξωτερική επιφάνεια των αδρανών συγκρατούνται εκεί και ροφώνται φυσικά στους πόρους των αδρανών με δυνάμεις ηλεκτροστατικής φύσεως όταν βρεθούν κοντά σε θετικά τμήματα διπόλων. Η φυσική αυτή προσρόφηση, δεν περιλαμβάνει μεταφορά ηλεκτρονίων ούτε διάσπαση των προσροφημένων ουσιών. Στην περίπτωση χημικής κατακράτησης δύναται να σχηματιστεί κάποιο νιτρικό άλας από την αντίδραση του νιτρικού οξέος με τα συστατικά του σκυροδέματος. Όπως όμως είναι γνωστό, τα νιτρικά άλατα είναι ευδιάλυτα στο νερό και έτσι θα μπορούσαν να παρασυρθούν στο διήθημα. Παρόλα αυτά δεν είναι δυνατό να αποφανθούμε με βεβαιότητα για το είδος της κατακράτησης. Το ποσοστό των νιτρικών ιόντων που κατακρατήθηκε αποτελεί μέρος του διαλύματος που εγκλωβίστηκε στο δοκίμιο και μπορεί να έχει υποστεί είτε χημική είτε φυσική προσρόφηση.

Μετά το πέρας των παραπάνω δοκιμών ακολούθησε διήθηση απιονισμένου νερού από τα ήδη προσβεβλημένα με νιτρικό οξύ δοκίμια των συνθέσεων 1607-39 και 1607-41 παρατηρήθηκε ότι μια πολύ μικρή ποσότητα νιτρικών ιόντων εκπλένεται από αυτά. Η συμπεριφορά του πορώδους σκυροδέματος σε πολλαπλές εκπλύσεις αποτελεί ένα αρκετά ενδιαφέρον αντικείμενο για τη διερεύνηση των χρονικών ορίων που μεσολαβούν μέχρι τον κορεσμό του σε ρυπαντές και προτείνεται για μελλοντική έρευνα.

3.5 Επίδραση διερχόμενων Όξινων Ρύπων στην Ανθεκτικότητα του

Διαπερατού Σκυροδέματος – Λοιπά Παρασυρόμενα Βαρέα Μέταλλα.

3.5.1. Συνοπτική Περιγραφή Πειραματικής Διαδικασίας

Τα διηθήματα που παρελήφθησαν από τη διέλευση διαλυμάτων θειικών και νιτρικών ιόντων από τα δοκίμια των υπό μελέτη συνθέσεων πορώδους σκυροδέματος, υποβλήθηκαν σε ανάλυση με φασματομετρία ατομικής απορρόφησης για την εξακρίβωση της ποσότητας μετάλλων που παρασύρθηκαν από το υλικό στο διήθημα. Κάθε διήθημα εξετάστηκε για περιεκτικότητα σε Σίδηρο (Fe), Μαγγάνιο (Mn), Ασβέστιο (Ca), Νικέλιο (Ni), Χρώμιο (Cr) και Ψευδάργυρο (Zn).

Η σημασία της παραπάνω διερεύνησης είναι διττή. Αφενός, μελετήθηκε η πιθανότητα διάβρωσης του διαπερατού σκυροδέματος μετά από διέλευση από τη μάζα του ακραίων συγκεντρώσεων όξινων

διαλυμάτων και αφετέρου έγινε προσπάθεια καθορισμού της ποσότητας μετάλλων που παρασυρόμενα από τα όξινα διαλύματα θα μπορούσαν να καταλήξουν στα υπόγεια ύδατα.

Συνολικά, επιλέχθηκε να υποβληθούν σε φασματομετρία ατομικής απορρόφησης πέντε διηθήματα από συνθέσεις με ποσοστά σκωρίας και ασβεστολιθικών αδρανών από τα οποία είχε διέλθει διάλυμα θειικού οξέος και έξι διηθήματα με ποσοστά σκωρίας, ασβεστολιθικών αδρανών και οικοδομικών αποβλήτων από τα οποία είχαν διέλθει διαλύματα νιτρικού οξέος.

Τα διηθήματα των συνθέσεων που μελετήθηκαν φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 3.14: Διηθήματα που υποβλήθηκαν σε φασματομετρία ατομικής απορρόφησης.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	SO _x	NO _x
1607-33	✓	
1607-34	✓	
1607-35	✓	
1607-42	✓	
1607-43	✓	
1607-36		✓
1607-37		✓
1607-46		✓
1607-48		✓
1607-49		✓
1607-51		✓

3.5.2. Αποτελέσματα - Συμπεράσματα

Από την πειραματική διαδικασία της μέτρησης μετάλλων στα επιλεγμένα διηθήματα της παραπάνω παραγράφου εξήχθησαν τα ακόλουθα αποτελέσματα.

Πίνακας 3.15: Αποτελέσματα μετρήσεων φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΜΕΤΑΛΛΑ					
	Fe (mg/L)	Ca (mg/L)	Mn (mg/L)	Ni (mg/L)	Zn (mg/L)	Cr (mg/L)
blank	0,02	0,33	0,011	0,049	0	0,022
1607-33	108	912	1,98	0,122	200	0,472
1607-34	1,63	617	0,04	0,527	3,5	0,053
1607-35	1,75	681	0,03	0,262	1	0,03
1607-42	1,67	619	0,03	0,434	1,5	0,022
1607-43	2,05	2255	0,03	0,545	2,5	0,013
1607-36	1,38	540	0,04	0,526	0,3	<0,022
1607-37	1,3	545	0,04	14,25	5,5	<0,022
1607-46	1,06	3280	0,3	0,728	14	0,093
1607-48	9,72	3425	0,3	0,666	8,5	0,112
1607-49	12	2660	0,24	0,87	19,5	0,091
1607-51	11,77	1040	0,1845	1,048	16	0,065

Αν και οι ποσότητες των παρασυρόμενων μετάλλων σιδήρου και ασβεστίου φαίνονται σημαντικές, εντούτοις, δε μπορεί να ειπωθεί ότι υπάρχει αποσάθρωση- διάβρωση του υπό μελέτη πορώδους σκυροδέματος λόγω της διέλευσης από τον όγκο του όξινων διαλυμάτων, αφού η μέση περιεκτικότητα σε Fe για κάθε μελετώμενο δοκίμιο κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,2 kg ($20 \cdot 10^4$ mg) και 0,9kg ($90 \cdot 10^4$ mg) Fe, ενώ η μέση περιεκτικότητα σε Ca λόγω αδρανών και ποσοστού κλίνκερ ανέρχεται στα 2.9kg ($3 \cdot 10^6$ mg).

Εξετάζοντας την περιεκτικότητα των διηθημάτων στα υπόλοιπα επιλεγμένα μέταλλα, στον πίνακα που ακολουθεί, φαίνονται οι μέγιστες προτεινόμενες από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) περιεκτικότητες στα μετρούμενα μέταλλα σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου AAS.

Πίνακας 3.16: Σύγκριση μέγιστου και ελάχιστου αποτελέσματος περιεκτικότητας σε μέταλλα με τα προτεινόμενα όρια περιεκτικότητας από τον WHO.

	Fe (mg/L)		Ca (mg/L)		Mn (mg/L)		Ni (mg/L)		Cr (mg/L)		Zn (mg/L)	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Ακραίες τιμές	1,08	12	540	3425	0,034	1,975	0,122	14,25	0,03	0,472	0,3	200
Όρια WHO	όχι συγκεκριμένο όριο		~50		< 0.4		<0.07		<0.05		όχι συγκεκριμένο όριο	

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα τα παρασυρόμενα μέταλλα από τη διέλευση όξινων διαλυμάτων από τις υπό μελέτη συνθέσεις διαπερατού σκυροδέματος αγγίζουν τιμές οι οποίες ξεπερνούν τα προτεινόμενα από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας όρια περιεκτικότητας του νερού. Η διέλευση όξινων διαλυμάτων αν και δεν επιδρά σημαντικά στην ανθεκτικότητα του μελετώμενου υλικού, εντούτοις προκαλεί απώλεια βαρέων μετάλλων προς το υπέδαφος με πιθανότητα κατάληξής τους στα υπόγεια ύδατα.

3.6. Έλεγχος Κατακράτησης Οργανικών Ρύπων

Μετά τη μελέτη κατακράτησης ανόργανων ρυπαντών από το πορώδες σκυρόδεμα ακολούθησε η διερεύνηση της κατακράτησης οργανικών ρύπων. Η διάστρωση πορώδους σκυροδέματος σε χώρους στάθμευσης, πρατήρια υγρών καυσίμων, στα ρείθρα εθνικών οδών και γενικά σε σημεία όπου υπάρχει συχνή διέλευση οχημάτων καθιστά τη μελέτη κατακράτησης οργανικών ρύπων πολύ σημαντική αφού η πιθανότητα εμφάνισης τέτοιου τύπου ρυπαντών στους χώρους αυτούς είναι μεγάλη.

Ενδεικτική παράμετρος για τη μελέτη κατακράτησης οργανικών ρύπων αποτελεί ο Ολικός Οργανικός Άνθρακας (Total Organic Carbon – TOC) που συνιστά την άμεση μέτρηση του συνολικού οργανικού άνθρακα που περιέχεται στα ύδατα και τα απόβλητα, ανεξάρτητα από το είδος αυτών των ενώσεων. Ως εκ τούτου παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα και το επίπεδο ρύπανσης των υδάτων ως προς την παρουσία οργανικών καταλοίπων.

3.6.1. Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Για τη διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας κατασκευάστηκαν από τις μελετώμενες συνθέσεις κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 100mm (διάμετρος) επί 100mm (ύψος) και χρησιμοποιήθηκαν δύο δοκίμια ανά σύνθεση από τα οποία υποβλήθηκαν σε διέλευση από τον όγκο τους χρησιμοποιημένο λιπαντικό μηχανής και diesel κίνησης.

Πραγματοποιήθηκε διέλευση ποσότητας χρησιμοποιημένου λιπαντικού μηχανής με σκοπό την προσομοίωση πραγματικών συνθηκών απώλειας λαδιών από όχημα σε χώρο διαστρωμένο με διαπερατό σκυρόδεμα. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υπό εξέταση οργανικών καταλοίπων (λιπαντικά και diesel) που προέκυψαν κατά την ανάλυση αυτών.

Πίνακας 3.17: Τεχνικά χαρακτηριστικά υλών

ΤΥΠΟΣ ΥΓΡΟΥ	ΙΞΩΔΕΣ (40 ^o C) (cSt)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (15 ^o C) (g/cm ³)	ΔΕΙΚΤΗΣ ΙΞΩΔΟΥΣ
Χρησιμοποιημένο λιπαντικό μηχανής (Elf evolution SXR 5W/30)	61.21	0,875	144
Diesel Κίνησης	3.06	0,845	-

Η ποσότητα λιπαντικού μηχανής και diesel κίνησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 25ml ανά δοκίμιο. Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί (εικόνα 3.14).



Εικόνα 3.14: πειραματική διάταξη για τη διέλευση οργανικών ρυπαντών.

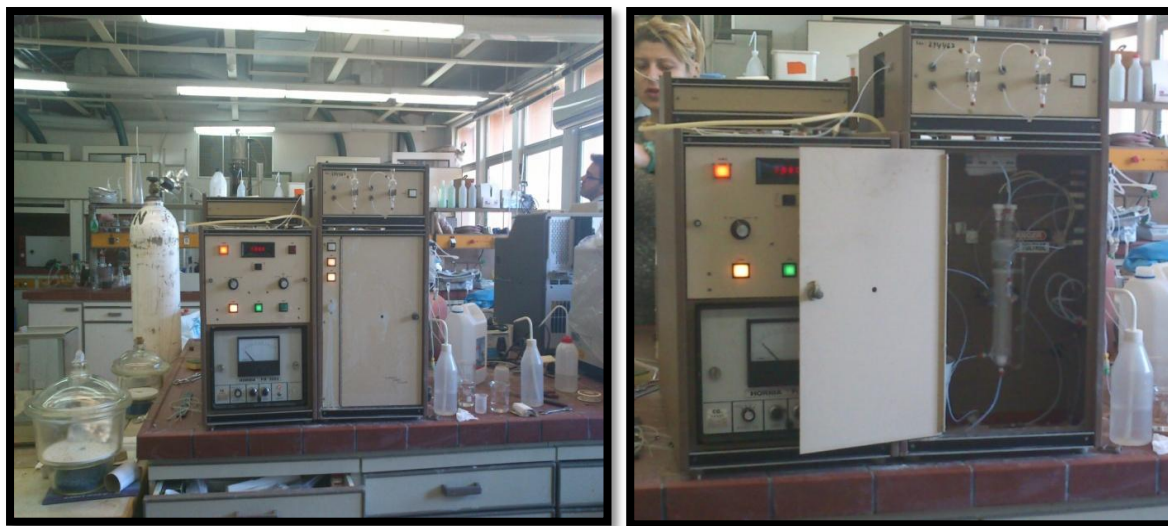
Αρχικά μετρήθηκαν οι μάζες των υπό εξέταση δοκιμίων. Μετά την έναρξη της απόχυσης λιπαντικού/diesel στην πάνω επιφάνεια κάθε δοκιμίου ακολουθούσε αναμονή περίπου 5 ωρών

χρόνος που κρίθηκε ως επαρκής για την διέλευση της ποσότητας των οργανικών καταλοίπων καθώς μετά το πέρας αυτού του χρόνου παρατηρήθηκε ότι έπαυε η εκροή λιπαντικού/diesel από τη βάση του. Η λήξη της διαδικασίας γινόταν μία ώρα μετά την τελευταία σταγόνα από τη βάση του δοκιμίου. Κατόπιν τα δοκίμια ζυγίζονταν εκ νέου για να διαπιστωθεί η ποσότητα των οργανικών καταλοίπων που παρέμειναν «εγκλωβισμένα» εσωτερικά στη δομή του πορώδους σκυροδέματος.

Έπειτα, ακολούθησε διέλευση 75ml απιονισμένου νερού από κάθε δοκίμιο και συλλογή και ογκομέτρηση του διηθήματος. Επίσης, επιλέχθηκαν δύο από τις συνολικά 7 μελετώμενες συνθέσεις – πιο συγκεκριμένα εκείνες που παρουσίασαν μεγαλύτερη κατακράτηση λιπαντικού μηχανής ή diesel κίνησης – και υποβλήθηκαν σε δύο ακόμα διελεύσεις 75ml απιονισμένου νερού από τη μάζα τους. Τα διηθήματα που συλλέχθηκαν, χωρίστηκαν σε τρία τμήματα και υποβλήθηκαν σε έλεγχο ολικού οργανικού άνθρακα TOC (*Total Organic Carbon*) με εφαρμογή τριών διαδικασιών. Τα πρώτο τμήμα, υποβλήθηκε σε φυγοκέντρηση για επίτευξη διαχωρισμού φάσεων νερού και οργανικού ρύπου. Στο δεύτερο τμήμα, έγινε εφαρμογή της διαδικασίας προσδιορισμού λιπών με εκχύλιση εξανίου. Στα διηθήματα του τμήματος αυτού προστέθηκε ποσότητα 450ml εξανίου και έγινε έντονη ανάδευση για 2 λεπτά. Ακολούθησε, επίτευξη κορεσμού του εξανίου σε λίπη (έλαια) και αφού έγινε διαχωρισμός των φάσεων, η ποσότητα κορεσμένου σε έλαια εξανίου οδηγήθηκε σε ξηραμένη και προζυγισμένη φιάλη περιστροφικού εξατμιστήρα (rotary evaporator) προς εξάτμιση. Μετά την εξάτμιση του εξανίου η φιάλη ξηράνθηκε σε πυριατήριο για 24 ώρες. Η ποσότητα λιπαντικού που παραλήφθηκε υπολογίζεται από τη σχέση

$$\frac{\text{g Λιπών}}{\text{L}} = \frac{(\text{Φιάλη Μετά} - \text{Φιάλη Πριν}) * 1000}{\text{mL Sample}}$$

Τα διηθήματα του τρίτου τμήματος, οδηγήθηκαν προς έλεγχο TOC με χρήση της συσκευής DOHRMANN CARBON ANALYSER (εικόνες 3.15 (α), (β)) του εργαστηρίου Οργανικής Χημικής Τεχνολογίας της Σχολής Χημικών Μηχανικών.



(α)

(β)

Εικόνα 3.15 (α), (β) Συσκευή μέτρησης TOC.

3.6.2. Αποτελέσματα ελέγχου κατακράτησης οργανικών ρύπων

Όπως προαναφέρθηκε, κάθε δοκίμιο ανάλογα με τη σύνθεση του συμπεριφέρεται διαφορετικά όσον αφορά στην κατακράτηση ποσοτήτων του υπό διήθηση υγρού. Στον ακόλουθο πίνακα παρατίθενται οι ποσότητες χρησιμοποιημένου λιπαντικού μηχανής και diesel κίνησης που κατακρατήθηκαν από κάθε μια από τις μελετώμενες συνθέσεις πορώδους σκυροδέματος. Είναι επίσης αναγκαίο να σημειωθεί, ότι κατά την παραμονή των δοκιμών σε κατάσταση αδράνειας μετά το πέρας της πειραματικής διαδικασίας και για περίπου 20 ημέρες παρατηρήθηκε μικρή απώλεια λιπαντικού από τη βάση τους η οποία ήταν ίση με 1,35g για τα δοκίμια από τα οποία είχε διηθηθεί λιπαντικό και εξάτμιση diesel η οποία αντιστοιχούσε με 2,53g για τα δοκίμια από τα οποία είχε διηθηθεί diesel κίνησης.

Στον ακόλουθο πίνακα φαίνεται η μεταβολή στη μάζα των δοκιμών λόγω συγκράτησης υγρού καθώς και η διορθωμένη μάζα των δοκιμών λαμβανομένων υπόψη των απωλειών μετά από 20 ημέρες.

Πίνακας 3.18: Ποσότητες υγρών (λιπαντικού μηχανής και diesel κίνησης) που εγκλωβίστηκαν σε κάθε δοκίμιο.

ΤΥΠΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΡΥΠΟΥ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	ΜΑΖΑ ΥΓΡΟΥ ΠΟΥ ΚΑΤΑΚΡΑΤΗΘΗΚΕ (g)	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΜΑΖΑ ΥΓΡΟΥ ΠΟΥ ΚΑΤΑΚΡΑΤΗΘΗΚΕ (g)	% ΚΑΤΑΚΡΑΤΗΣΗ ΥΓΡΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΙΘΕΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ
Χρησιμοποιημένο λιπαντικό μηχανής	1607-45	13,46	12,11	62,11
	1607-46	14,81	13,46	68,66
	1607-48	16,41	15,06	73,81
	1607-49	16,92	15,57	85,20
	1607-50	12,57	11,22	62,94
	1607-51	15,28	13,93	76,28
	1607-52	12,29	10,94	59,25
Diesel κίνησης	1607-45	11,29	9,94	51,64
	1607-46	11,38	10,03	51,34
	1607-48	11,99	10,64	55,36
	1607-49	15,66	14,31	74,32
	1607-50	12,18	10,83	56,10
	1607-51	11,79	10,44	53,72
	1607-52	9,19	7,84	41,12

Φυγοκέντρωση

Η υποβολή σε φυγοκέντρωση των δειγμάτων δεν είχε αποτέλεσμα αφού δεν παρατηρήθηκε ο διαχωρισμός του υπό εξέταση υγρού σε δύο διακριτές φάσεις (οργανική φάση και νερό).

Εκχύλιση με εξάνιο

Δεν παρατηρήθηκε υπόλειμμα μετά την εκχύλιση των δειγμάτων με εξάνιο και επιπροσθέτως δεν υπήρξε και μεταβολή στη μάζα της φιάλης του περιστροφικού εξατμιστήρα. Άρα στα υπό εξέταση διαλύματα δεν υπήρχαν λίπη τα οποία είχαν παρασυρθεί κατά τη διήθηση τους από τα δοκίμια διαπερατού σκυροδέματος.

Ανάλυση TOC

Από την ανάλυση TOC με τη συσκευή DOHRMANN CARBON ANALYSER προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν.

Πίνακας 3.19: Αποτελέσματα ανάλυσης TOC στα διηθήματα που προέκυψαν από διέλευση νερού από τη μάζα των προσβεβλημένων με χρησιμοποιημένο λιπαντικό μηχανής

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	% ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ ΠΟΥ ΠΑΡΑΣΥΡΘΗΚΑΝ
1607-45	0,078
1607-46	0,080
1607-48	0,102
1607-49	0,022
1607-50	0,070
1607-51	0,081
1607-52	0,052

Πίνακας 3.20: Αποτελέσματα ανάλυσης TOC στα διηθήματα που προέκυψαν από διέλευση νερού από τη μάζα των προσβεβλημένων με diesel κίνησης.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	% ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ ΠΟΥ ΠΑΡΑΣΥΡΘΗΚΑΝ
1607-45	0,107
1607-46	0,086
1607-48	0,080
1607-49	0,065
1607-50	0,054
1607-51	0,085
1607-52	0,051

Πίνακας 3.21: Αποτελέσματα ανάλυσης TOC στα διηθήματα που προέκυψαν από τη δεύτερη και τρίτη διέλευση νερού από τις επιλεγμένες συνθέσεις σκυροδέματος.

ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΡΥΠΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	% ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ ΠΟΥ ΠΑΡΑΣΥΡΩΗΚΑΝ
Λιπαντικό μηχανής	1607-48 2 ^η διέλευση	0,094
	1607-48 3 ^η διέλευση	0,543
	1607-49 2 ^η διέλευση	0,062
	1607-49 3 ^η διέλευση	0,183
Diesel κίνησης	1607-46 2 ^η διέλευση	0,026
	1607-46 3 ^η διέλευση	0,061
	1607-49 2 ^η διέλευση	0,027
	1607-49 3 ^η διέλευση	0,099

3.6.3. Συμπεράσματα ελέγχου κατακράτησης οργανικών ρύπων

Αξιολογώντας τα ανωτέρω εξαγόμενα αποτελέσματα, του ελέγχου της συμπεριφοράς των υπό εξέταση συνθέσεων πορώδους σκυροδέματος κατά τη διέλευση από τη μάζα τους χρησιμοποιημένου λιπαντικού μηχανής και diesel κίνησης, συμπεραίνεται ότι το πορώδες σκυρόδεμα έχει τη τάση να εγκλωβίζει στο εσωτερικό του πορώδους του οργανικούς ρύπους αποτρέποντας τους, πρακτικά, να διέλθουν από τη μάζα του ώστε να μην καταλήγουν στον υδροφόρο ορίζοντα. Η ποσότητα οργανικών ρυπαντών που εγκλωβίζεται στους πόρους του πορώδους σκυροδέματος, ακόμα και αν το σκυρόδεμα εκπλυθεί από νερό – επί παραδείγματι νερό βροχής -, παρασύρεται πολύ δύσκολα και σε πολύ μικρές ποσότητες σταδιακά μη ικανές να μολύνουν τον υδροφόρο ορίζοντα. Το ποσοστό οργανικού ρύπου που δεν παρασύρεται και παραμένει εσωτερικά εγκλωβισμένο στη δομή του πορώδους σκυροδέματος μπορεί να αποτελέσει τροφή για τους μικροοργανισμούς που, όπως έχει παρατηρηθεί από τη βιβλιογραφία, αναπτύσσονται στη διεπιφάνεια πορώδους σκυροδέματος και του υποστρώματος.

3.7. Μελέτη Ρεολογικής Συμπεριφοράς – Συσχέτιση με το Πορώδες

Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνεται η κάτω βάση των δοκιμίων μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας ελέγχου κατακράτησης οργανικών ρύπων.



Εικόνα 3.16: Κάτω βάση δοκιμίου μετά τη διέλευση λιπαντικού μηχανής.



Εικόνα 3.17: Κάτω βάση δοκιμίου μετά τη διέλευση λιπαντικού μηχανής

Το ενεργό πορώδες των δοκιμίων δημιουργεί διάφορους «διαδρομούς», τους οποίους ακολουθεί ένα οποιοδήποτε υγρό εισέλθει στη δομή του πορώδους σκυροδέματος, κάποιιοι από τους οποίους εν τέλει το οδηγούν στη βάση του.

Επειδή, οι οργανικοί ρύποι εμφανίζονται σε υγρά με διαφορετικά ιξώδη, για την απόκτηση μιας ολοκληρωμένης άποψης σχετικά με τη συμπεριφορά του πορώδους σκυροδέματος σε περιπτώσεις απόχυσης στην επιφάνειά του τέτοιων υγρών ακολούθησε διεξαγωγή μελέτης, σχετικά με τη ρεολογική συμπεριφορά που αυτό εμφανίζει κατά τη διέλευση από τη μάζα του λιπαντικών μηχανής με εμφανώς διαφορετικά ιξώδη και η εξαγωγή μοντέλου της ρεολογικής συμπεριφοράς. Τέλος, έγινε μελέτη υδατοαπορροφητικότητας και υπολογισμός του συντελεστή υδατοαπορροφητικότητας καθώς και σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά που προέκυψαν από ανάλυση του πορώδους μέσω φωτογραφιών του σκυροδέματος.

3.7.1. Σύνομη Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Για τη διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας κατασκευάστηκαν από τις υπό μελέτη συνθέσεις κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 100mm (διάμετρος) επί 100mm (ύψος) και κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 150mm (διάμετρος) επί 300mm (ύψος). Τα δοκίμια διαχωρίστηκαν σε τρία μέρη. Το πρώτο μέρος αποτελούμενο από 84 κυλινδρικά δοκίμια (διαστάσεων 100mm x 100mm) υποβλήθηκε σε διέλευση από τον όγκο του 4 λιπαντικών μηχανής εσωτερικής καύσης, διαφορετικών ιξωδών και diesel κίνησης. Κατά τη διαδικασία αυτή – ανάλυση της οποίας γίνεται ακολούθως – διηθήθηκαν συγκεκριμένες ποσότητες ελαίων μηχανής και diesel από κάθε δοκίμιο και ελήφθησαν τιμές βάρους των διηθημάτων ανά διαστήματα 3min με σκοπό της εξαγωγή μοντέλου της ρεολογικής

συμπεριφοράς των μελετώμενων συνθέσεων πορώδους σκυροδέματος σε λιπαντικά διαφορετικών ιξωδών.

Το δεύτερο μέρος αποτελείται από 8 κυλινδρικά δοκίμια (διαστάσεων 100mm x 100mm) υποβλήθηκε σε αξονική τομογραφία (CT-Scan) σε αγγειογράφο του τμήματος Επεμβατικής Ακτινολογίας του Διαγνωστικού και Θεραπευτικού Κέντρου “ΥΓΕΙΑ” του Ομίλου “ΥΓΕΙΑ”, έτσι ώστε να αποκτηθεί μια εικόνα για την εσωτερική διάταξη και κατανομή των πόρων.

Το τρίτο μέρος αποτελείται από 7 κυλινδρικά δοκίμια (διαστάσεων 150mm x 300mm) και από τα δοκίμια του δεύτερου μέρους, υποβλήθηκε σε δοκιμή υδατοαπορροφητικότητας με σκοπό την εξαγωγή του συντελεστή υδατοαπορροφητικότητας για κάθε μια από τις μελετώμενες συνθέσεις.

3.7.2. Διήθηση Λιπαντικών Μηχανής και Diesel κίνησης

3.7.2.1. Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Για τις ανάγκες της πειραματικής διαδικασίας έγινε προμήθεια λιπαντικών μηχανής μέσου σταδίου παραγωγικής διαδικασίας από την εταιρία ELDON'S S.A. σε συνεργασία με το Εργαστήριο Καυσίμων και Λιπαντικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών. Το κύριο χαρακτηριστικό των υλών αυτών ήταν τα εμφανώς διαφορετικά ιξώδη. Επίσης, έγινε διήθηση ποσότητας χρησιμοποιημένου λιπαντικού μηχανής για την επίτευξη προσομοίωσης πραγματικών συνθηκών απώλειας λαδιών από όχημα σε χώρο διαστρωμένο με διαπερατό σκυρόδεμα. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη των χρησιμοποιούμενων υλών (λιπαντικά και diesel) που προέκυψαν από ανάλυση αυτών.

Πίνακας 3.22: Τεχνικά χαρακτηριστικά υλών

ΤΥΠΟΣ ΥΓΡΟΥ	ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	ΙΞΩΔΕΣ (40°C) (cSt)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (15°C) (g/cm ³)	ΔΕΙΚΤΗΣ ΙΞΩΔΟΥΣ
Λιπαντικό Elona 10W/40	Λάδι1	99	0,877	145
Λιπαντικό ΒΟ5	Λάδι2	17	0,860	96
Λιπαντικό ΒΟ10	Λάδι3	30	0,870	96
Χρησιμοποιημένο λιπαντικό μηχανής (Elf evolution SXR 5W/30)	Λάδι4	61.21	0,875	144
Diesel Κίνησης	diesel	3.06	0,845	-

Όπως προαναφέρθηκε έγινε χρήση κυλινδρικών δοκιμίων (διαστάσεων 100mm x 100mm) σε ποσότητα δύο δοκιμίων ανά μελετώμενη σύνθεση. Η βασική αρχή της διαδικασίας ήταν η διήθηση 25ml λιπαντικού από δοκίμιο πορώδους σκυροδέματος και η ανά 3min μέτρηση του βάρους του διηθήματος, ώστε να ληφθούν τιμές βάρους συναρτήσει χρόνου και να μελετηθεί η κινητική της ροής αυτών στο υπό μελέτη σκυρόδεμα.

Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνεται η πειραματική διάταξη της μελέτης.



Εικόνα 3.18: Πειραματική Διάταξη

Τα δοκίμια ζυγίζονται, καλύπτονται με διαφανή μεμβράνη και τοποθετούνται στις μήτρες σκυροδέτησης όπου και συσφίγγονται. Με τον τρόπο αυτό περιορίζονται οι απώλειες υγρού από την πλευρική επιφάνεια του δοκιμίου στην οποία είναι πιθανό να καταλήγουν οι δημιουργούμενες από το πορώδες σύραγγες. Με χρήση συστήματος σφιγκτήρων και βάσεων στήριξης, τα δοκίμια τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να παραμένουν ελεύθερες οι δύο βάσεις του κυλίνδρου. Στην πάνω βάση γίνεται η απόχυση του λιπαντικού/diesel ενώ από την κάτω βάση συλλέγεται σε προζυγισμένο δοχείο το διήθημα. Ανά 3min γίνεται αντικατάσταση με νέο δοχείο και νέα ζύγιση του πρώτου.



(α)



(β)

Εικόνα 3.19 (α),(β): Τρόπος τοποθέτησης δοκιμίου και προζυγισμένο δοχείο συλλογής διηθήματος.

Σε προζυγισμένο ογκομετρικό κύλινδρο τοποθετούνται 25ml λιπαντικού/diesel. Το σύνολο ζυγίζεται. Ταυτόχρονα με την ολοκλήρωση της απόχυσης του υγρού στην πάνω επιφάνεια του δοκιμίου γίνεται έναρξη του χρονομέτρου. Σημειώνεται ο χρόνος “πρώτης σταγόνας” και έπειτα γίνεται έναρξη των τρίλεπτων μετρήσεων.



Εικόνα 3.20: Εξέλιξη πειραματικής διαδικασίας απόχυση λιπαντικού και έναρξη χρονομέτρησης.

Η λήξη του πειράματος γίνεται μετά το πέρας 20 μηδενικών μετρήσεων μάζας δοχείου συλλογής. Είναι αναγκαίο να σημειωθεί ότι οι απώλειες από την πλάγια επιφάνεια των δοκιμίων έχουν μέσο όρο της τάξεως του 1g και θεωρήθηκαν αμελητέες.

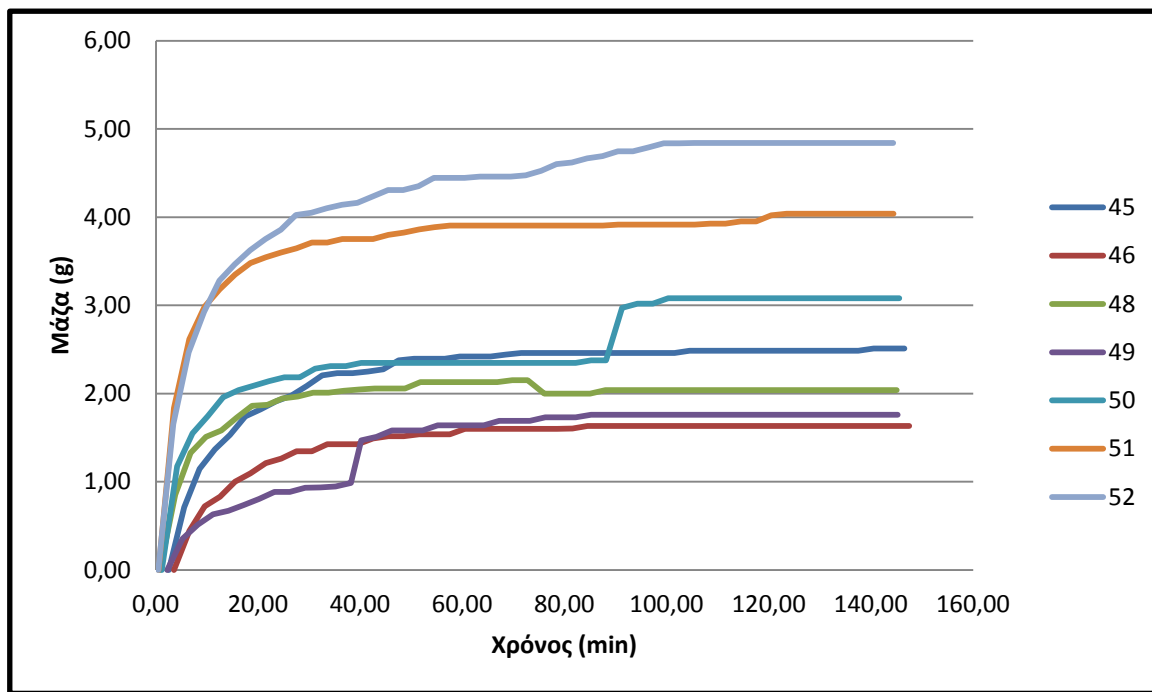
3.7.2.2. Αποτελέσματα διαδικασίας διήθησης ελαίων μηχανής και diesel κίνησης.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται οι μέσοι όροι των αποτελεσμάτων που ελήφθησαν από τη διήθηση των 5 ελαίων και του diesel κίνησης για κάθε μελετώμενη σύνθεση.

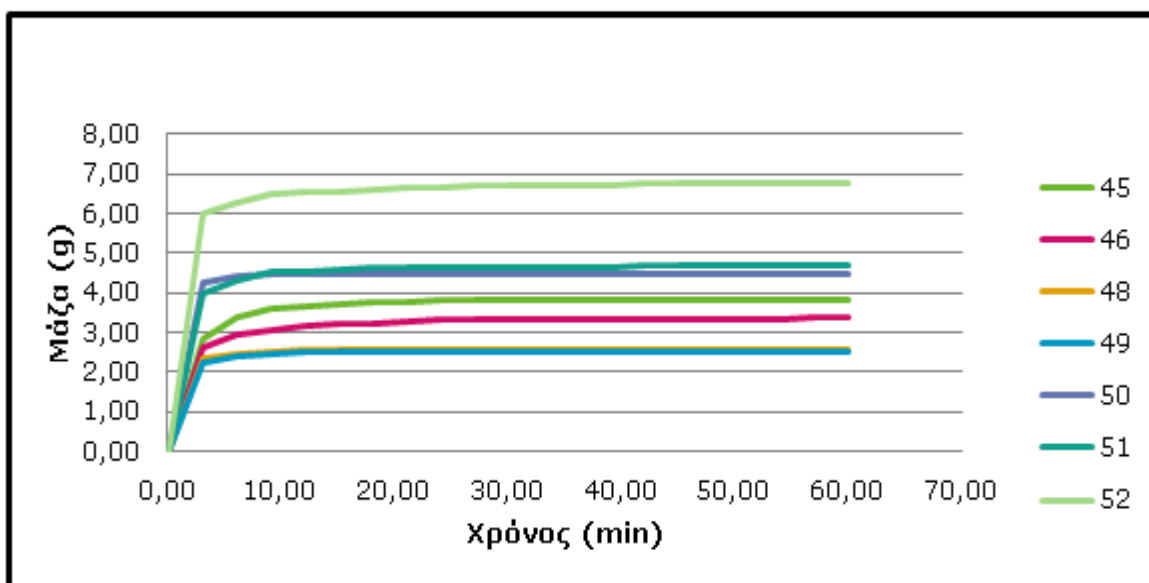
Πίνακας 3.23: Αποτελέσματα μετρήσεων βάρους διηθήματος από τις μελετώμενες συνθέσεις για το σύνολο των ελαίων μηχανής και το diesel.

Κωδικός Σύστασης	1607-45	1607-46	1607-48	1607-49	1607-50	1607-51	1607-52
Λάδι 1							
Χρόνος Πρώτης Σταγόνας (min)	2,53	3,53	0,80	2,20	1,17	0,52	0,43
ΔΜ δοκιμίου (g)	16,04	16,78	16,29	16,90	17,65	13,98	13,14
Λάδι 2							
Χρόνος Πρώτης Σταγόνας (min)	0,13	0,11	0,09	0,13	0,13	0,10	0,07
ΔΜ δοκιμίου (g)	15,74	16,69	16,62	17,61	14,96	15,08	12,93
Λάδι 3							
Χρόνος Πρώτης Σταγόνας (min)	0,19	0,18	0,16	0,62	0,19	0,28	0,12
ΔΜ δοκιμίου (g)	14,90	15,25	16,49	17,38	12,83	16,30	6,44
Λάδι 4							
Χρόνος Πρώτης Σταγόνας (min)	0,325	0,5	0,515	0,525	0,285	0,44	0,34
ΔΜ δοκιμίου (g)	13,46	14,81	16,41	16,92	12,57	15,28	12,29
Diesel							
Χρόνος Πρώτης Σταγόνας (min)	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
ΔΜ δοκιμίου (g)	12,47	12,56	13,17	16,84	13,36	12,97	10,37

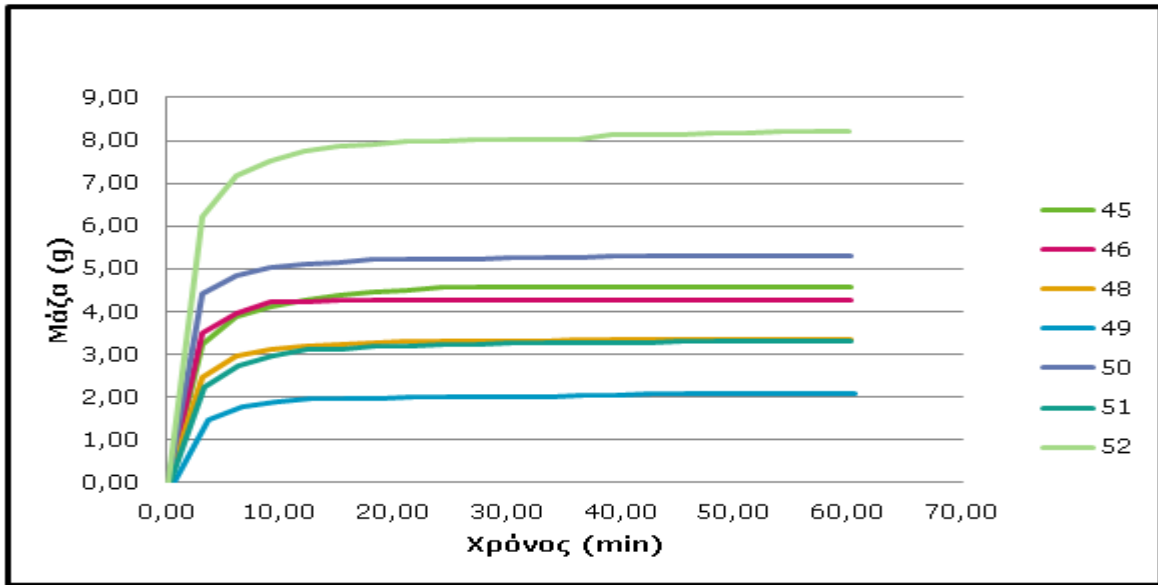
Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνεται η πορεία της μάζας του διηθήματος συναρτήσει του χρόνου διεξαγωγής της μέτρησης. Σκοπίμως παραλείπεται τμήμα του διαστήματος ισορροπίας (20 μετρήσεις = 1 ώρα), αλλά παρατίθεται μόνο η τελική μάζα ισορροπίας.



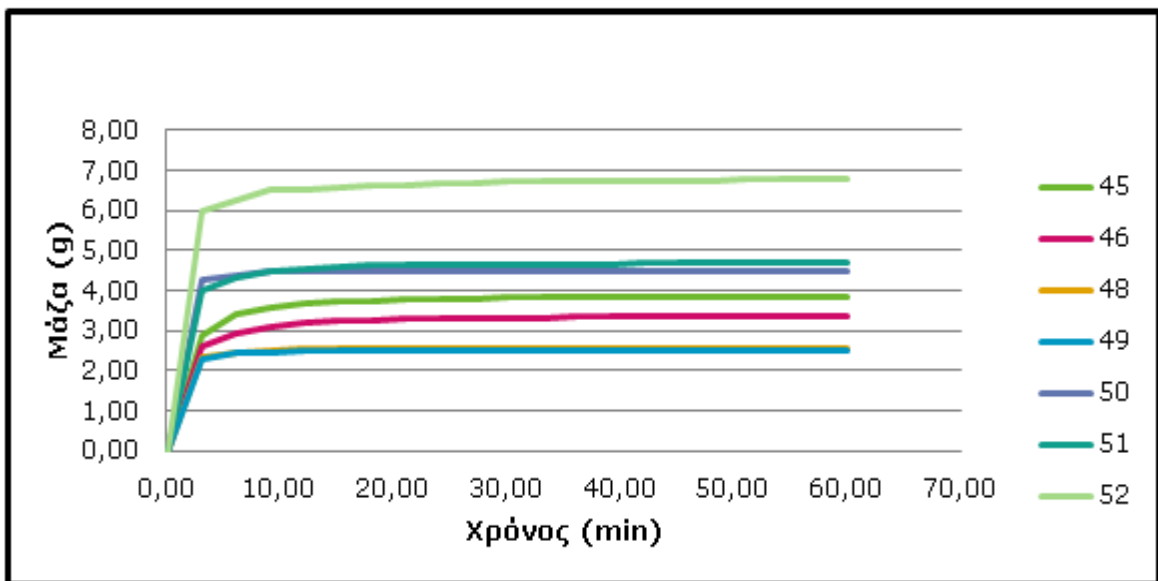
Διάγραμμα 3.3: Μεταβολή μάζας διηθήματος κατά τη διήθηση του λιπαντικού μηχανής – με κωδικό “λάδι 1” με το χρόνο για όλες τις συνθέσεις



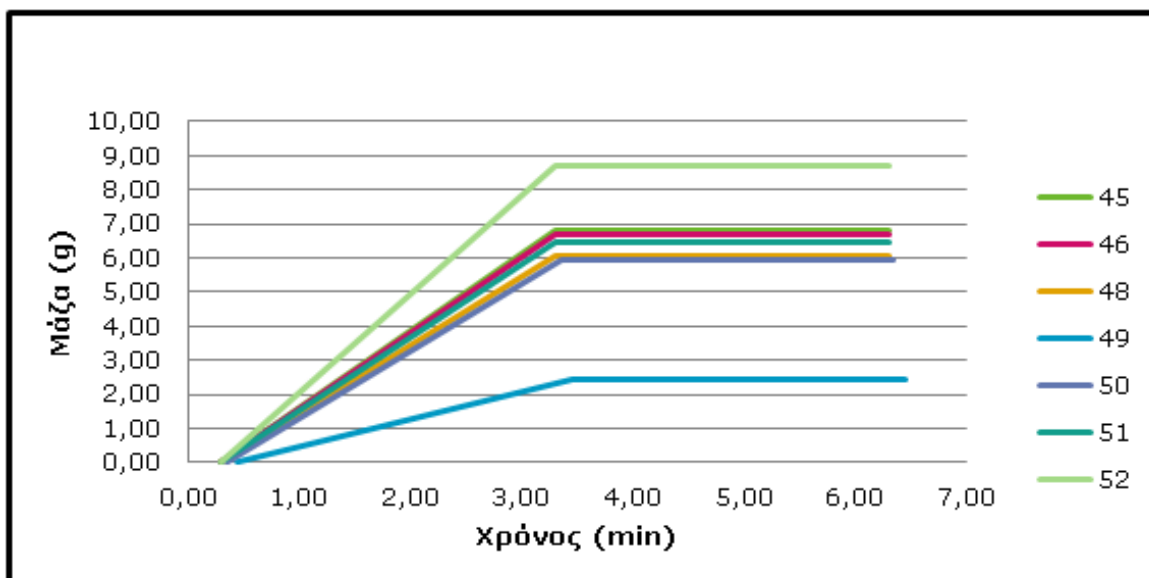
Διάγραμμα 3.4: Μεταβολή μάζας διηθήματος κατά τη διήθηση του λιπαντικού μηχανής – με κωδικό “λάδι 2” με το χρόνο για όλες τις συνθέσεις



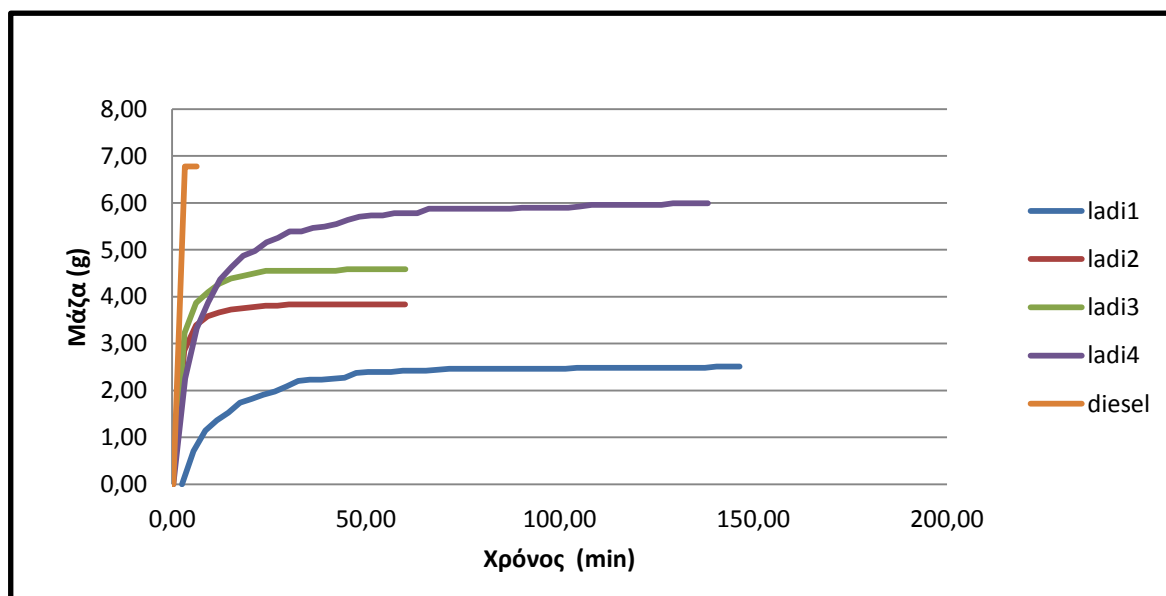
Διάγραμμα 3.5: Μεταβολή μάζας διηθήματος κατά τη διήθηση του λιπαντικού μηχανής – με κωδικό “λάδι 3” με το χρόνο για όλες τις συνθέσεις



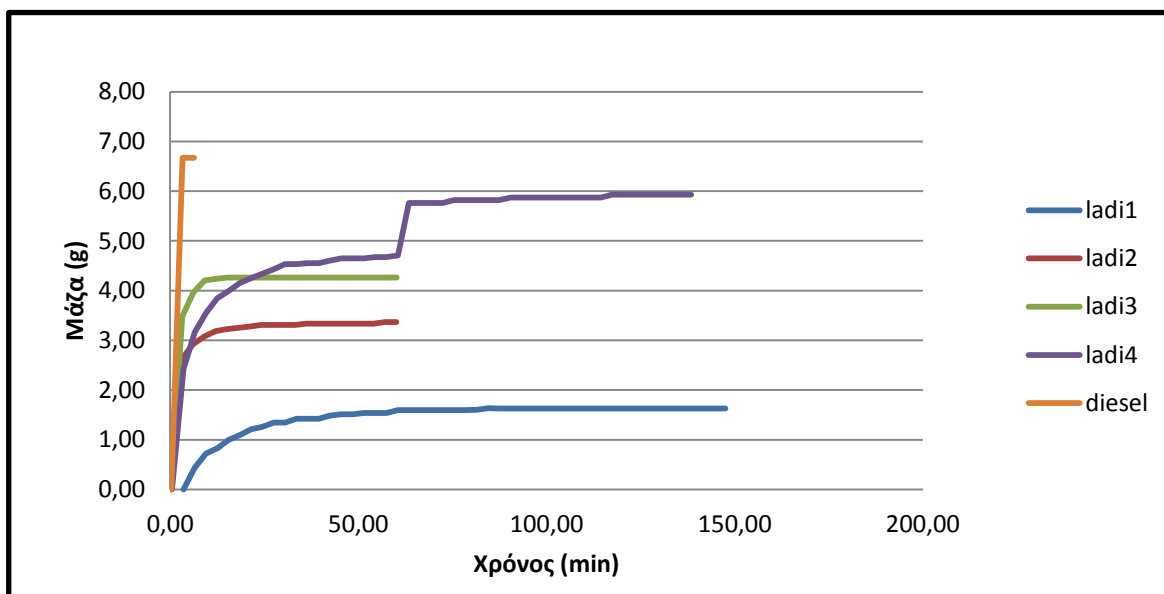
Διάγραμμα 3.6: Μεταβολή μάζας διηθήματος κατά τη διήθηση του λιπαντικού μηχανής – με κωδικό “λάδι 4” με το χρόνο για όλες τις συνθέσεις



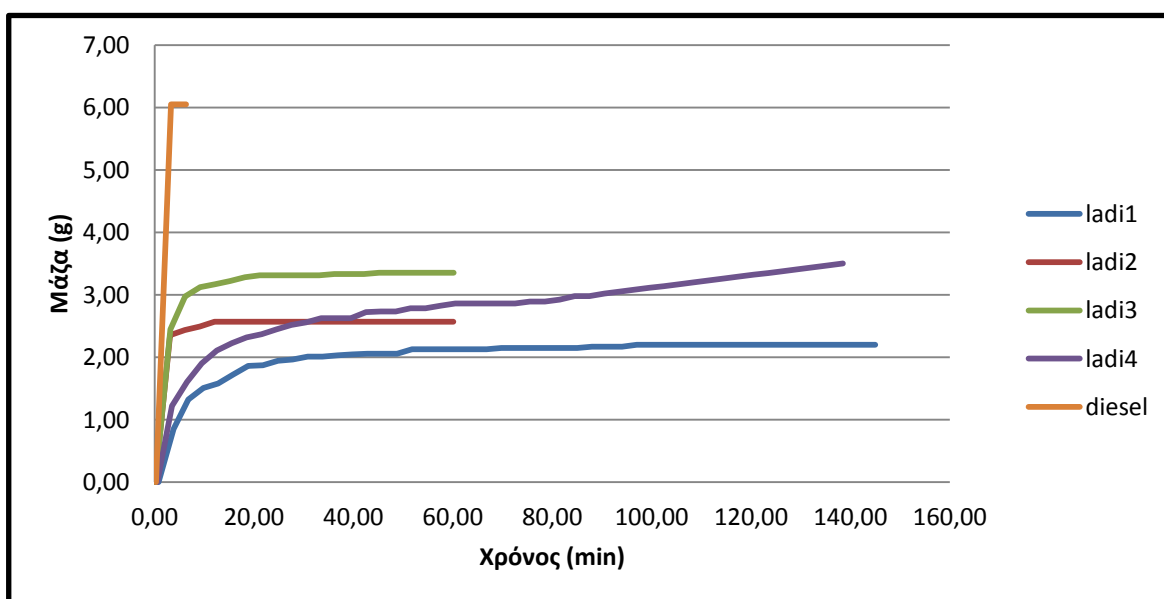
Διάγραμμα 3.8: Μεταβολή μάζας διηθήματος κατά τη διήθηση του diesel κίνησης – με κωδικό “diesel” με το χρόνο για όλες τις συνθέσεις.



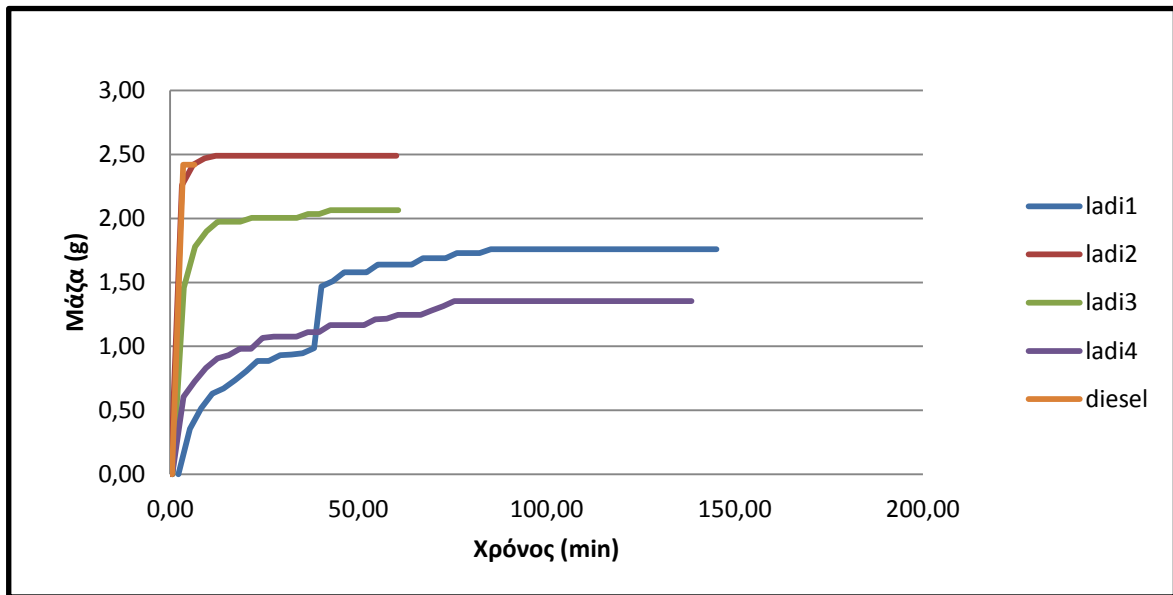
Διάγραμμα 3.9: Καμπύλες μάζας διηθήματος σύνθεσης 1607-45 με χρόνο για όλα τα λιπαντικά μηχανής



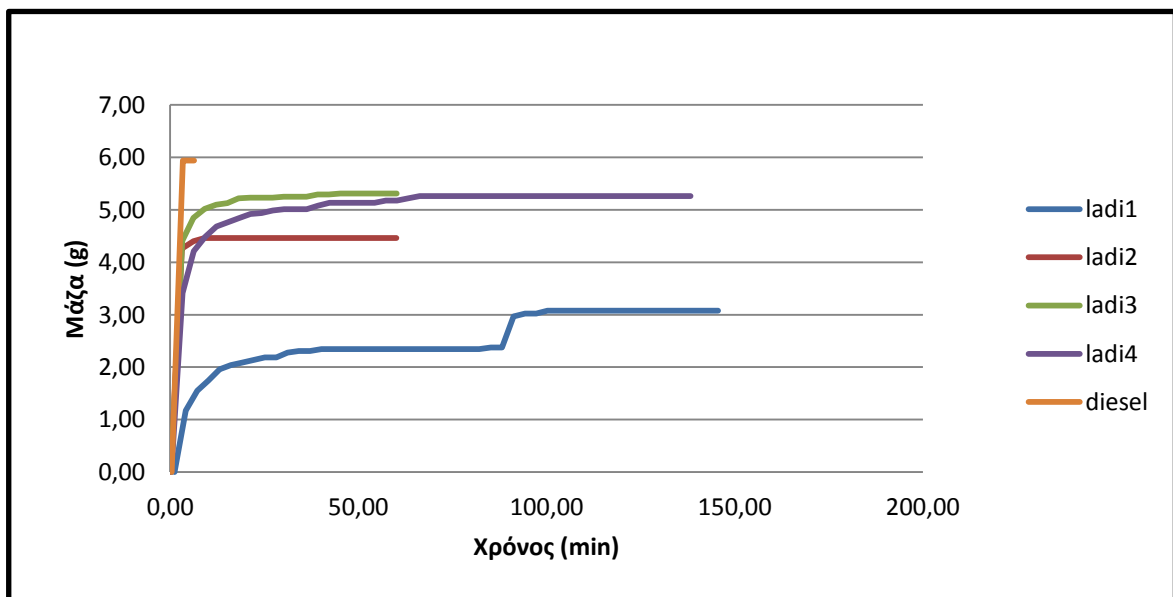
Διάγραμμα 3.10: Καμπύλες μάζας διηθήματος σύνθεσης 1607-46 με χρόνο για όλα τα λιπαντικά μηχανής



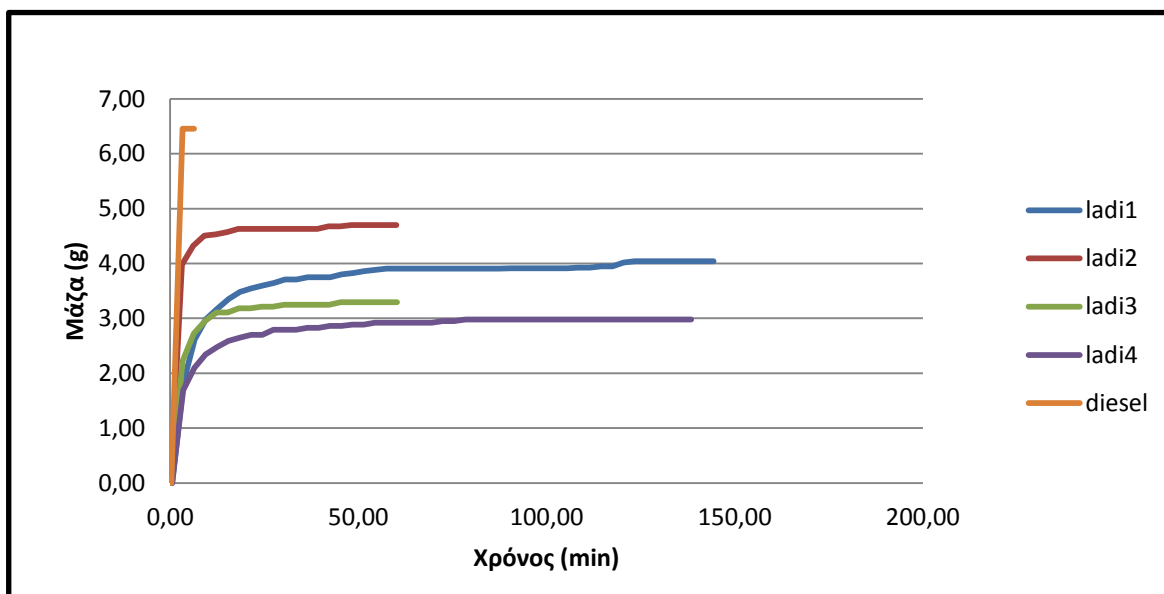
Διάγραμμα 3.11: Καμπύλες μάζας διηθήματος σύνθεσης 1607-48 με χρόνο για όλα τα λιπαντικά μηχανής



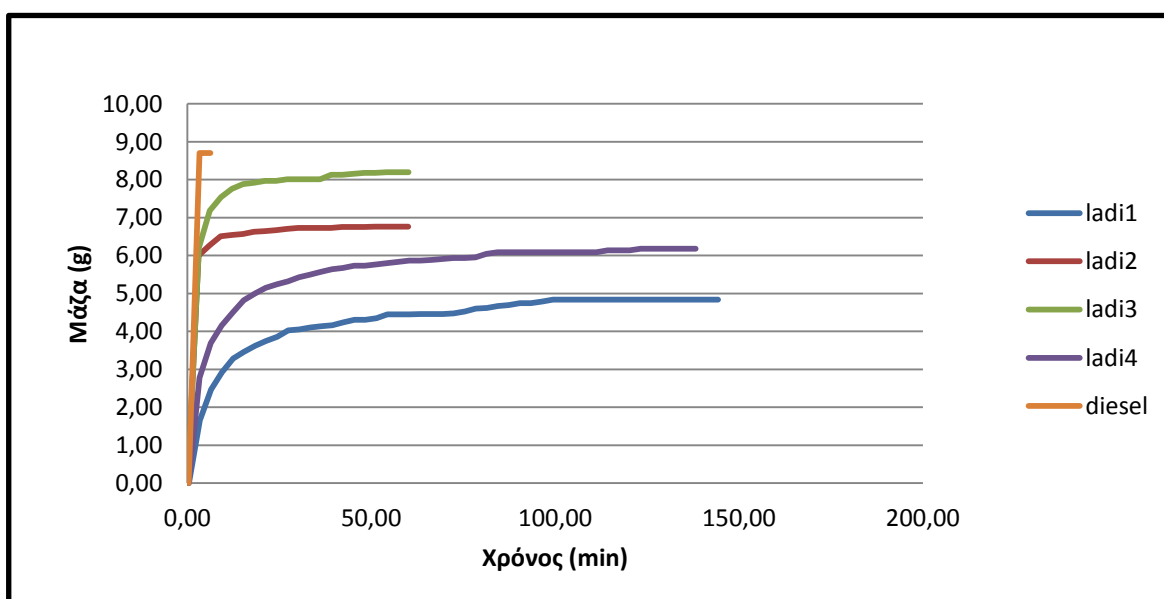
Διάγραμμα 3.12: Καμπύλες μάζας διηθήματος σύνθεσης 1607-49 με χρόνο για όλα τα λιπαντικά μηχανής



Διάγραμμα 3.13: Καμπύλες μάζας διηθήματος σύνθεσης 1607-50 με χρόνο για όλα τα λιπαντικά μηχανής



Διάγραμμα 3.14: Καμπύλες μάζας διηθήματος σύνθεσης 1607-51 με χρόνο για όλα τα λιπαντικά μηχανής



Διάγραμμα 3.15: Καμπύλες μάζας διηθήματος σύνθεσης 1607-52 με χρόνο για όλα τα λιπαντικά μηχανής

Τα παραπάνω αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή του μοντέλου ρεολογικής συμπεριφοράς των μελετώμενων συνθέσεων πορώδους σκυροδέματος για τα συγκεκριμένα λιπαντικά μηχανής και diesel κίνησης.

3.7.3. Μελέτη Πορώδους

3.7.3.1. Πειραματική διαδικασία αξονικής τομογραφίας

Όπως προαναφέρθηκε, 8 κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 10*10 ένα από κάθε μελετώμενη σύνθεση και 2 για τη σύνθεση 1607-46 υποβλήθηκαν σε αξονική τομογραφία σε αγγειογράφο του τμήματος Επεμβατικής Ακτινολογίας του Διαγνωστικού και Θεραπευτικού Κέντρου “ΥΓΕΙΑ” του Ομίλου “ΥΓΕΙΑ”, έτσι ώστε να αποκτηθεί μια εικόνα για την εσωτερική διάταξη και κατανομή των πόρων.



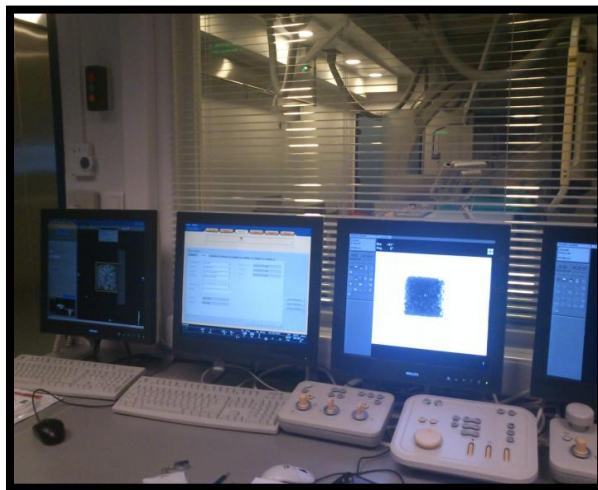
(α)



(β)



(γ)

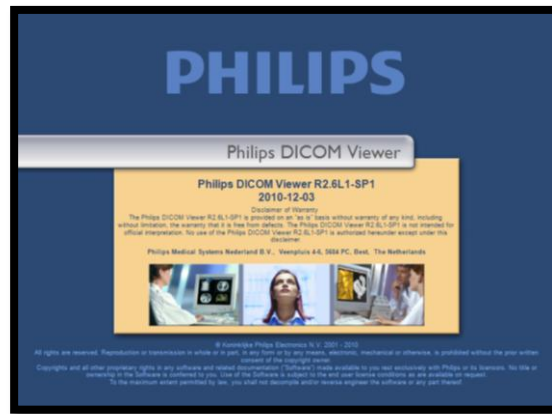


(δ)

Εικόνα 3.21: (α), (β), (γ), (δ): Τοποθέτηση του δοκίμιου στην τράπεζα λήψης φωτογραφιών, πίνακας ελέγχου οργάνου

3.7.3.2. Αποτελέσματα Αξονικής Τομογραφίας

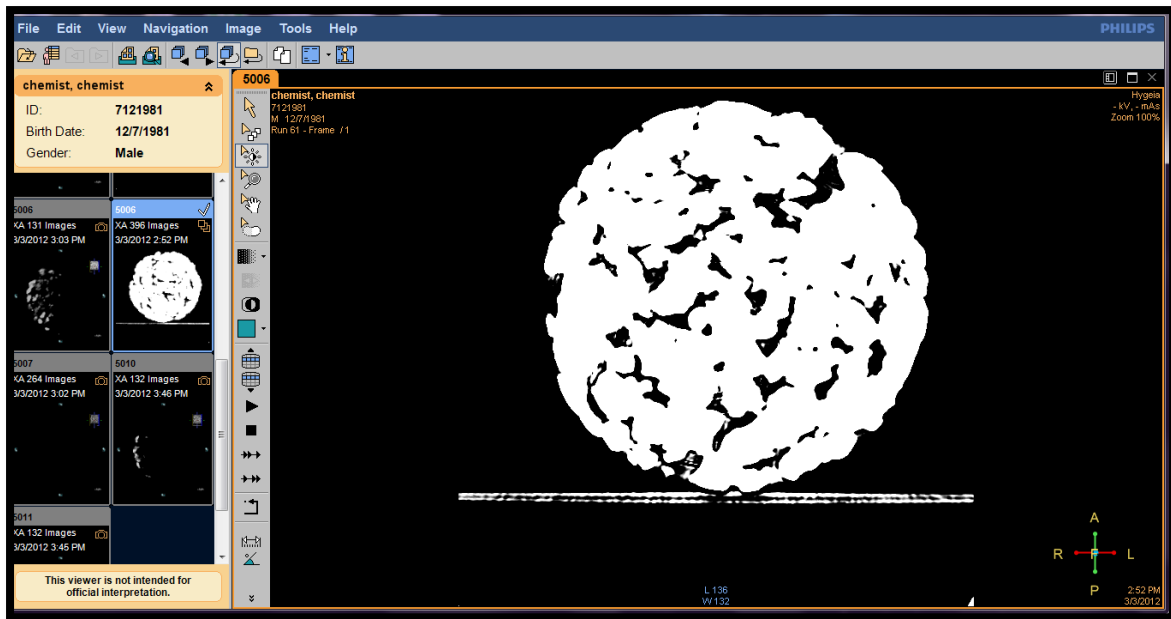
Οι εικόνες που ελήφθησαν από τον αγγειογράφο αποτελούσαν τομές των δοκιμίων ανά περίπου 5 χιλιοστά. Η προβολή και επεξεργασία των εικόνων έγινε με χρήση του προγράμματος DICOM Viewer, ενώ ο υπολογισμός του ενεργού πορώδους έγινε με χρήση του προγράμματος Image Analysis Pro. Στις εικόνες που ακολουθούν γίνεται μια ξενάγηση στο περιβάλλον του προγράμματος DICOM Viewer.



Εικόνα 3.22: Οθόνη έναρξης Dicom Viewer



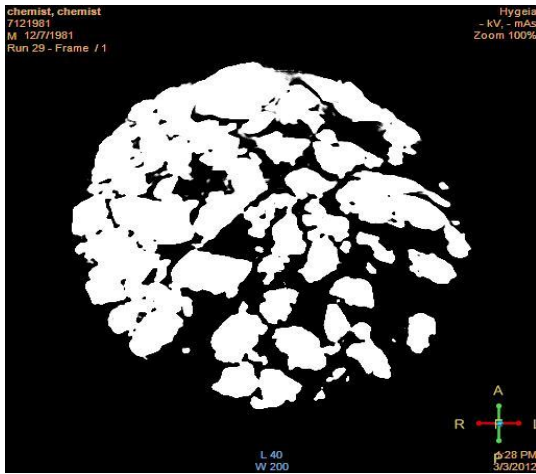
Εικόνα 3.23: Εμφάνιση αποθηκευμένων εικόνων αξονικής τομογραφίας



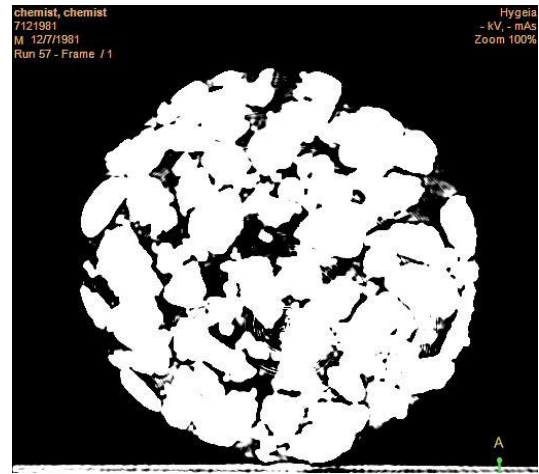
Εικόνα 3.24: Επιλεγμένη εικόνα για επεξεργασία

Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται τομές που έλαβε ο αξονικός τομογράφος από τα δοκίμια των υπό μελέτη συνθέσεων. Το ποσοστό των κενών χώρων υπολογίστηκε, όπως προαναφέρθηκε, με χρήση του προγράμματος *“Image Analysis Pro”* και αναφέρεται για κάθε εικόνα ξεχωριστά.

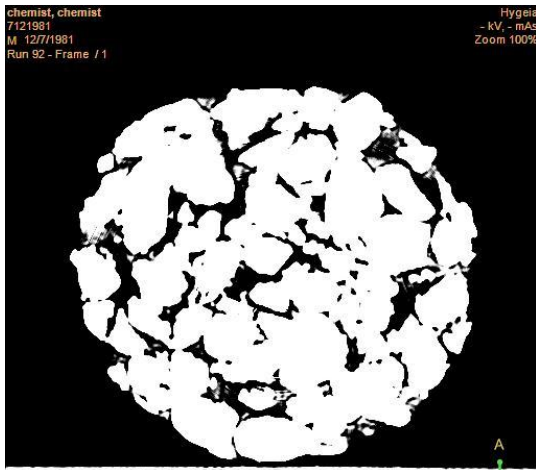
Δοκίμιο 1607-45



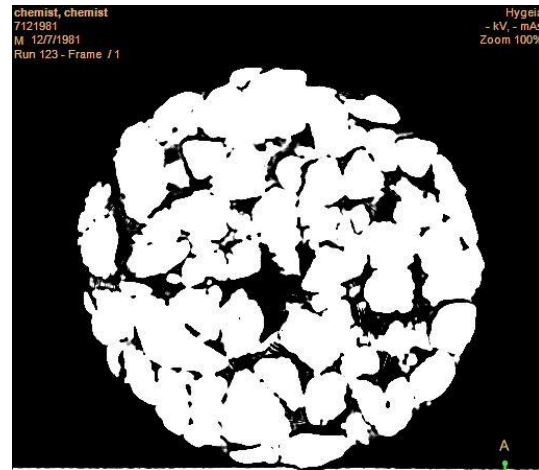
Εικόνα 3.25: 45-1 (Πορώδες: 42,13%)



Εικόνα 3.26: 45-2 (Πορώδες: 23,12%)



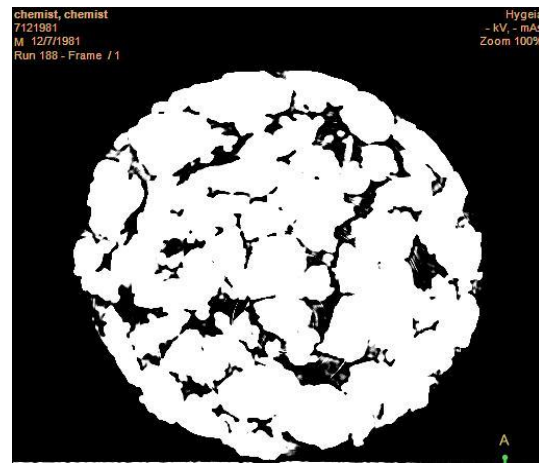
Εικόνα 3.27: 45-3 (Πορώδες: 23,23%)



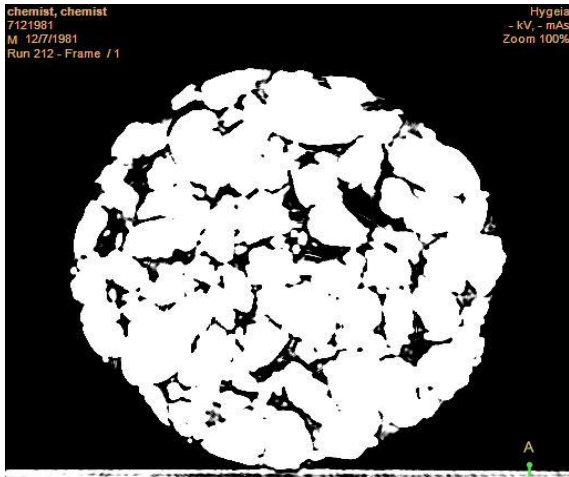
Εικόνα 3.28: 45-4 (Πορώδες: 24,25%)



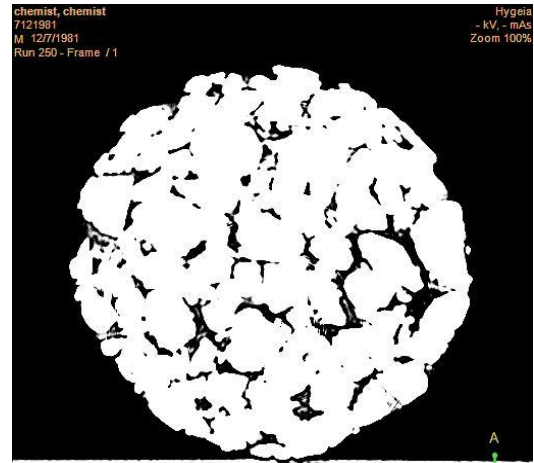
Εικόνα 3.29: 45-5 (Πορώδες: 25,26 %)



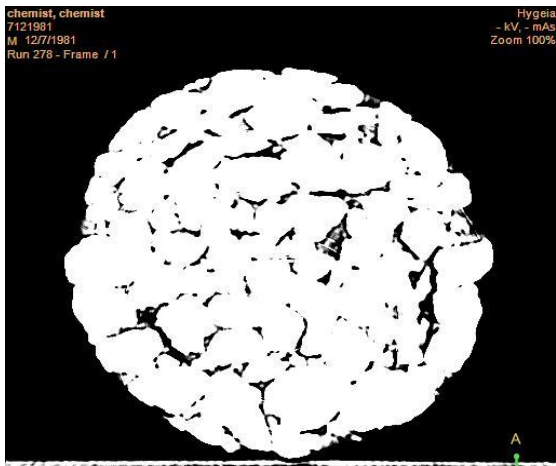
Εικόνα 3.30: 45-6 (Πορώδες: 19,16%)



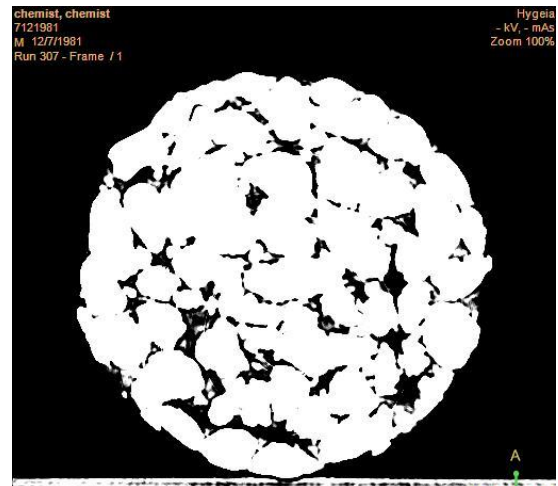
Εικόνα 3.31: 45-7 (Πορώδες: 19,03%)



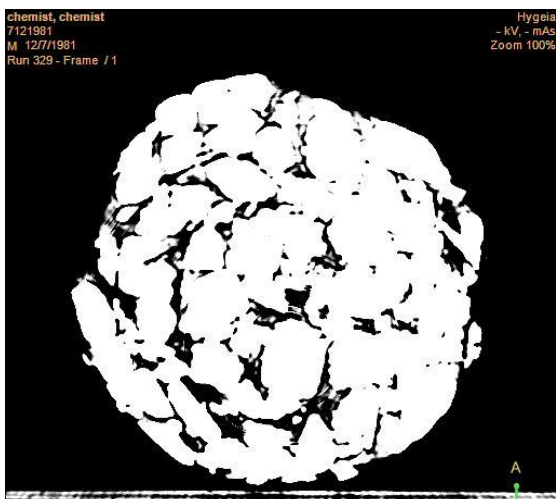
Εικόνα 3.32: 45-8 (Πορώδες: 17,02%)



Εικόνα 3.33: 45-9 (Πορώδες: 12,85 %)

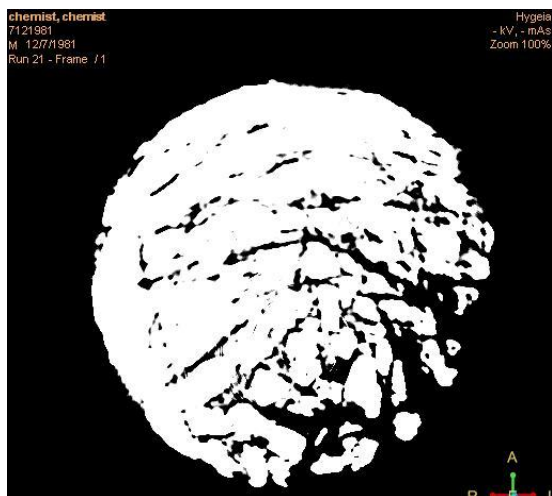


Εικόνα 3.34: 45-10 (Πορώδες: 18,19%)

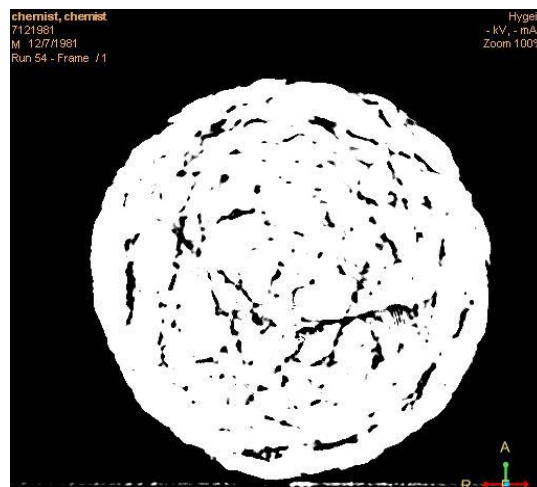


Εικόνα 3.35: 45-11 (Πορώδες: 22,01%)

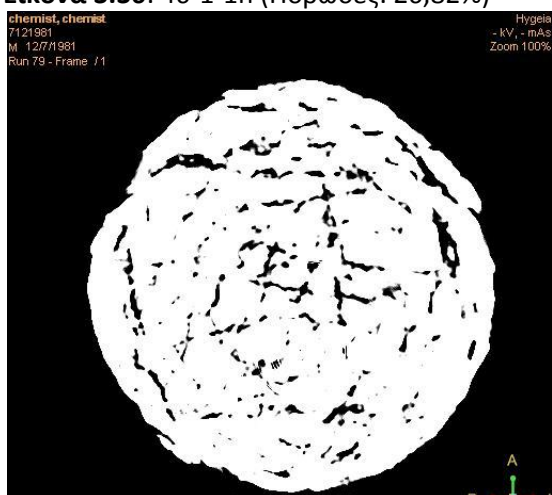
Δοκίμιο 1607-46-1



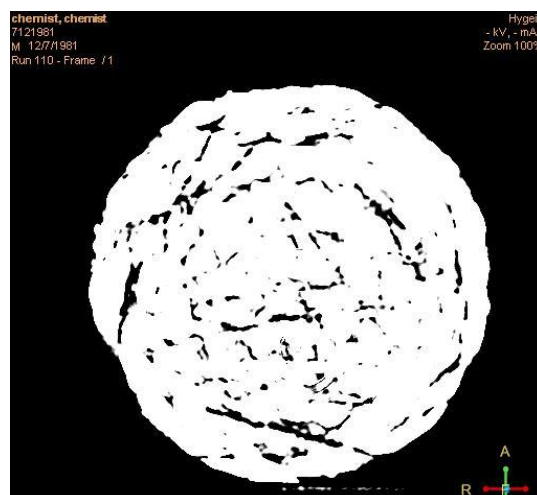
Εικόνα 3.36: 46-1-1n (Πορώδες: 26,82%)



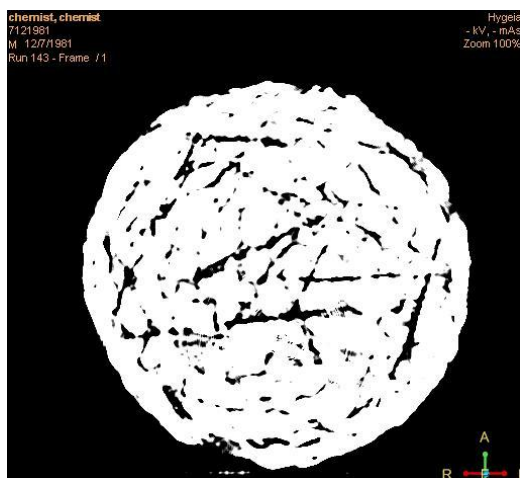
Εικόνα 3.37: 46-1-2n (Πορώδες: 10,98%)



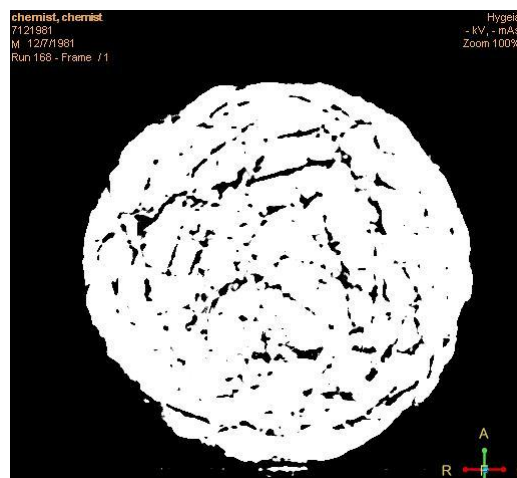
Εικόνα 3.38: 46-1-3n (Πορώδες: 11,35%)



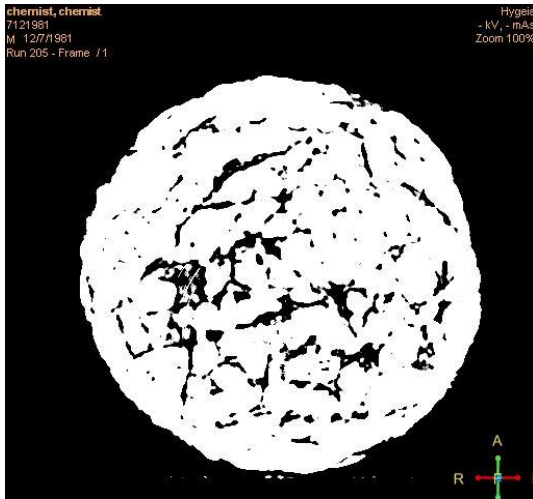
Εικόνα 3.39: 46-1-4n (Πορώδες: 10,40%)



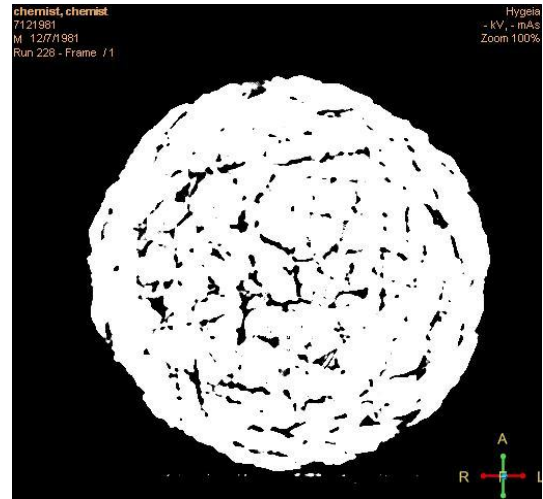
Εικόνα 3.40: 46-1-5n (Πορώδες: 12,94%)



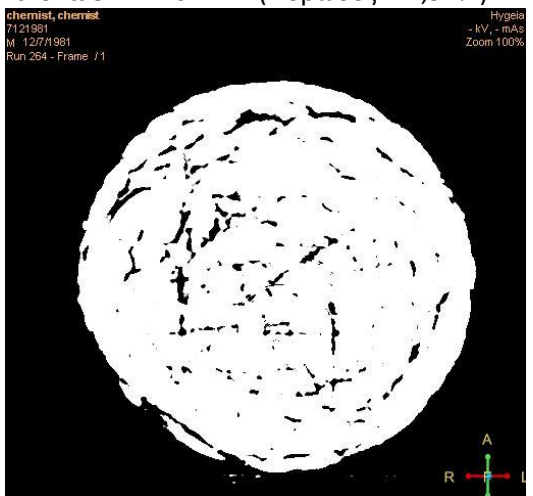
Εικόνα 3.41: 46-1-6n (Πορώδες: 12,37%)



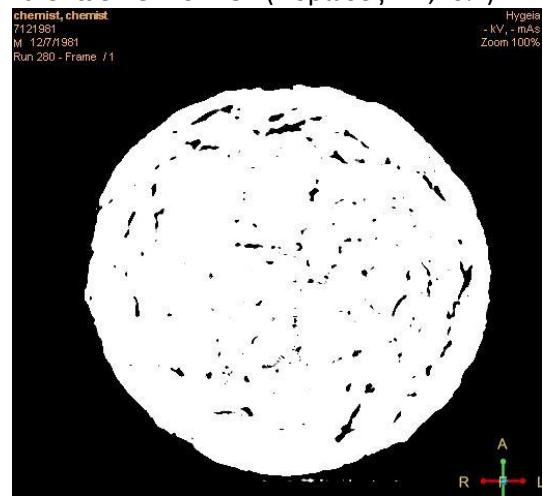
Εικόνα 3.42: 46-1-7n (Πορώδες: 14,91%)



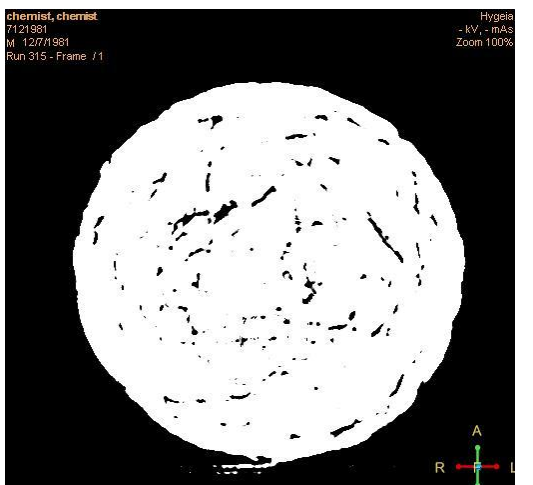
Εικόνα 3.43: 46-1-8n (Πορώδες: 12,16%)



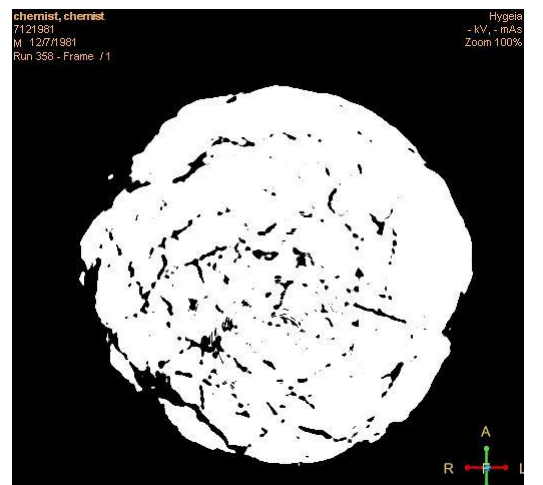
Εικόνα 3.44: 46-1-9n (Πορώδες: 8,77%)



Εικόνα 3.45: 46-1-10n (Πορώδες: 5,75%)

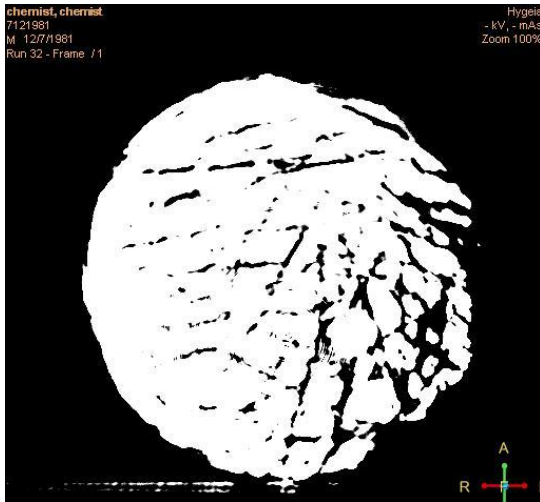


Εικόνα 3.46: 46-1-11n (Πορώδες: 5,12%)

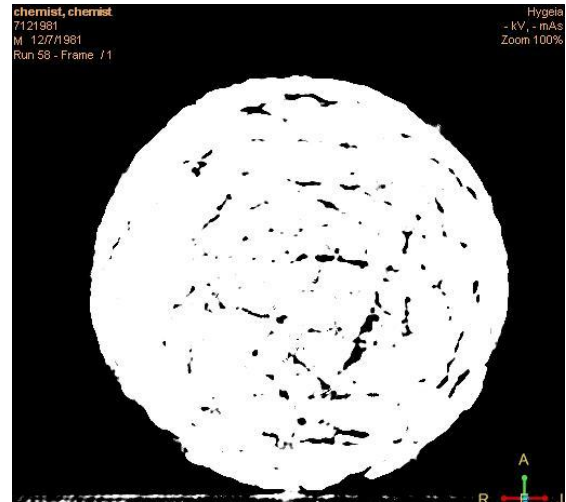


Εικόνα 3.47: 46-1-12n (Πορώδες: 13,54%)

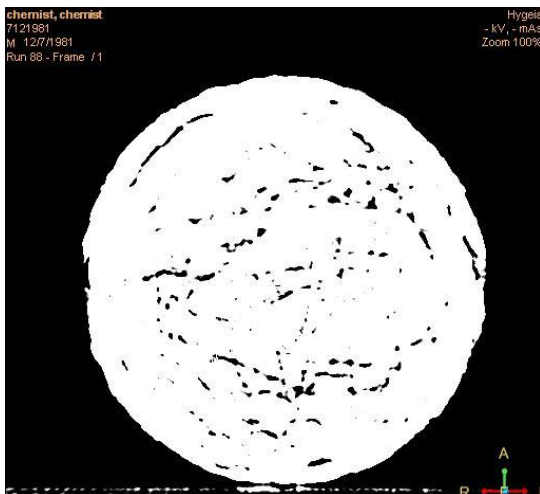
Δοκίμιο 1607-46-2



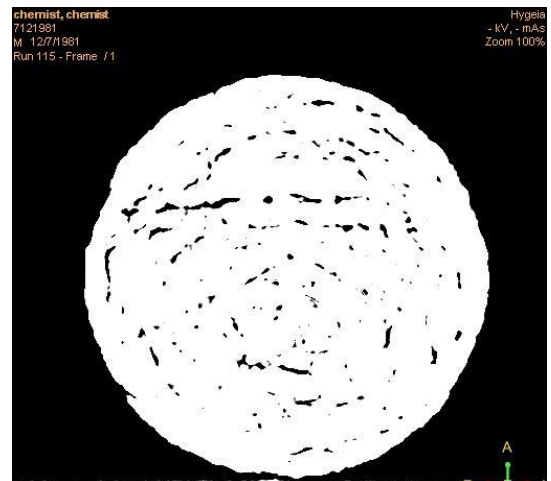
Εικόνα 3.48: 46-2-1n (Πορώδες: 18,09%)



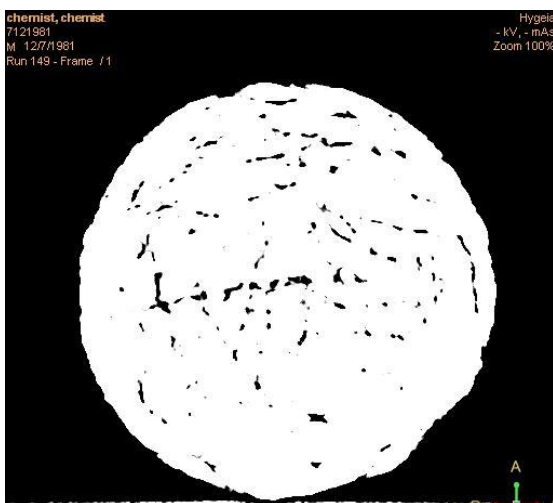
Εικόνα 3.49: 46-2-2n (Πορώδες: 5,47%)



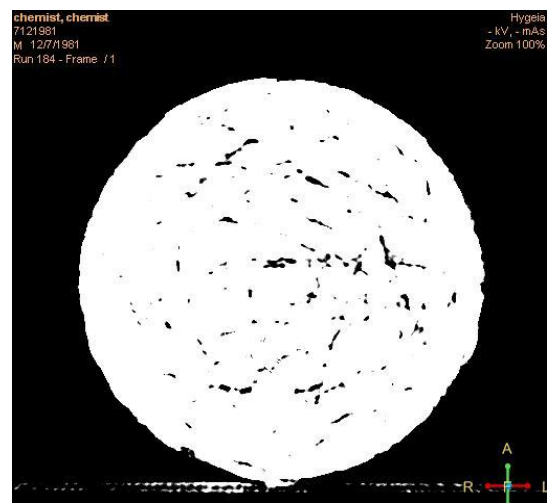
Εικόνα 3.50: 46-2-3n (Πορώδες: 5,84%)



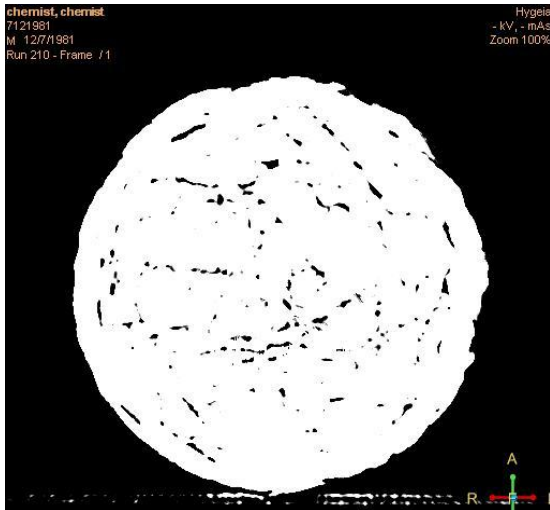
Εικόνα 3.51: 46-2-4n (Πορώδες: 5,15%)



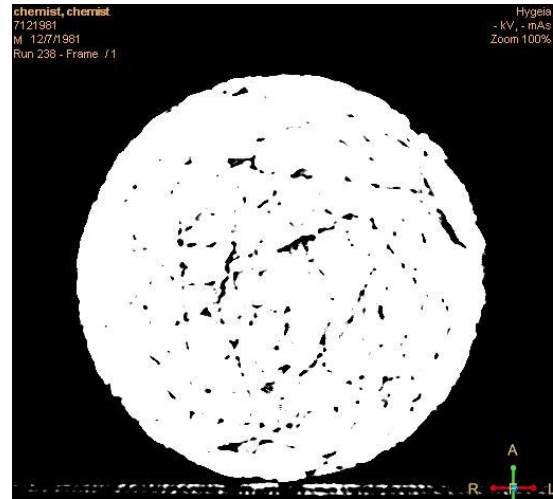
Εικόνα 3.52: 46-2-5n (Πορώδες: 5,34%)



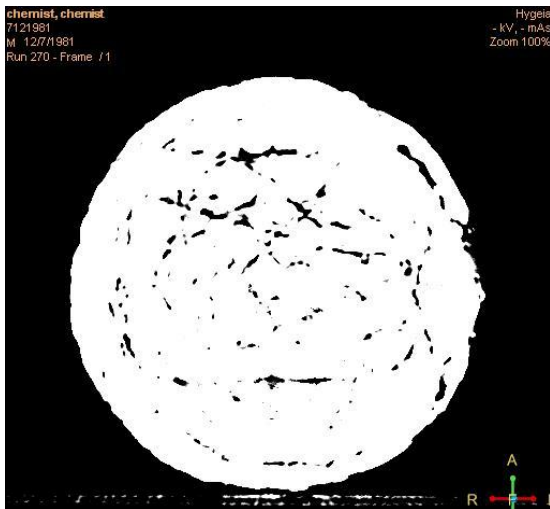
Εικόνα 3.53: 46-2-6n (Πορώδες: 4,57%)



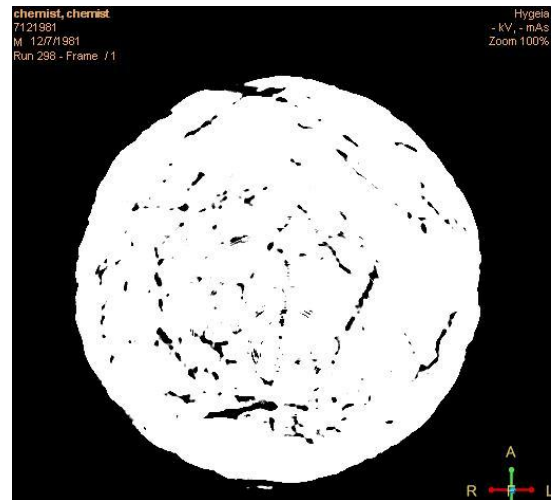
Εικόνα 3.54: 46-2-7n (Πορώδες: 5,99%)



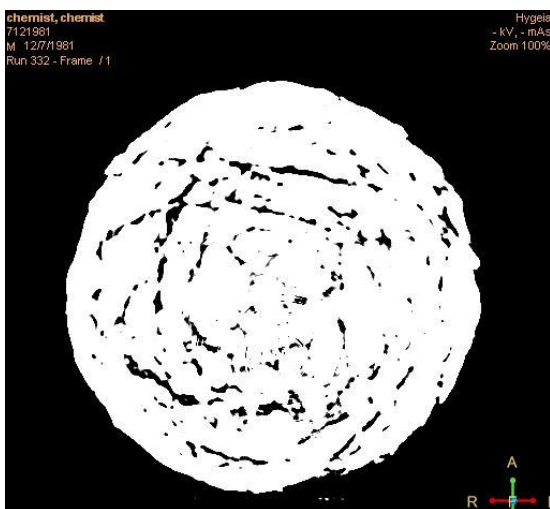
Εικόνα 3.55: 46-2-8n (Πορώδες: 4,83%)



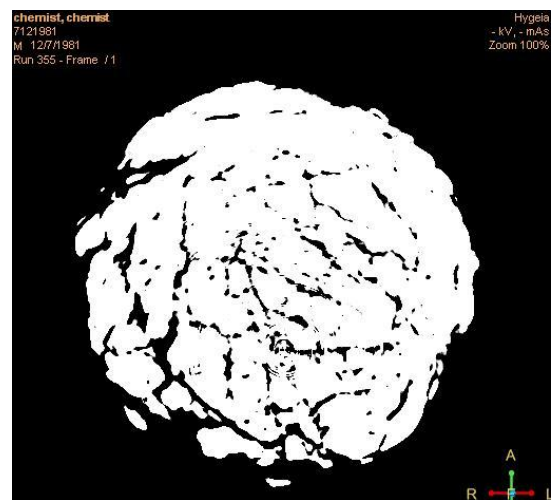
Εικόνα 3.56: 46-2-9n (Πορώδες: 6,26%)



Εικόνα 3.57: 46-2-10n (Πορώδες: 6,33%)

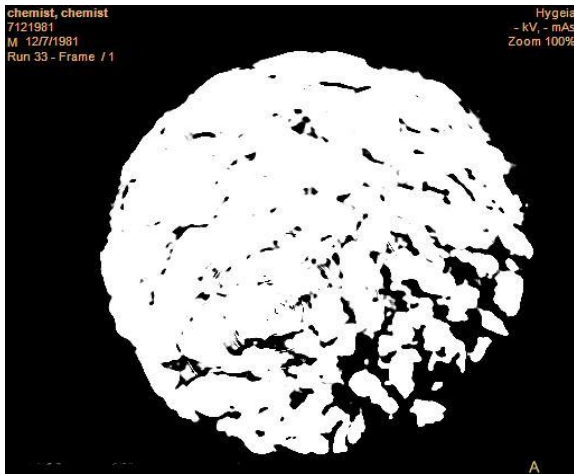


Εικόνα 3.58: 46-2-11n (Πορώδες: 10,93%)

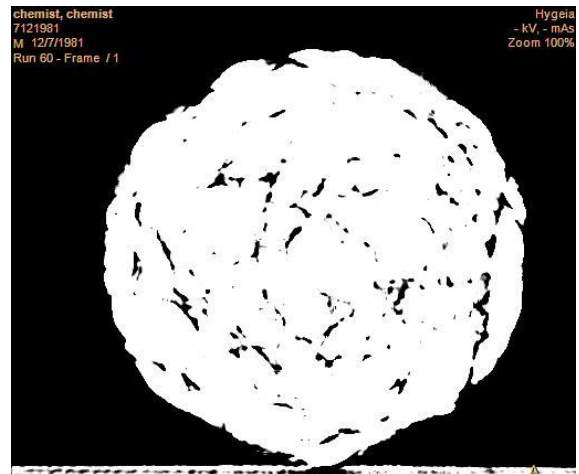


Εικόνα 3.59: 46-2-12n (Πορώδες: 21,57%)

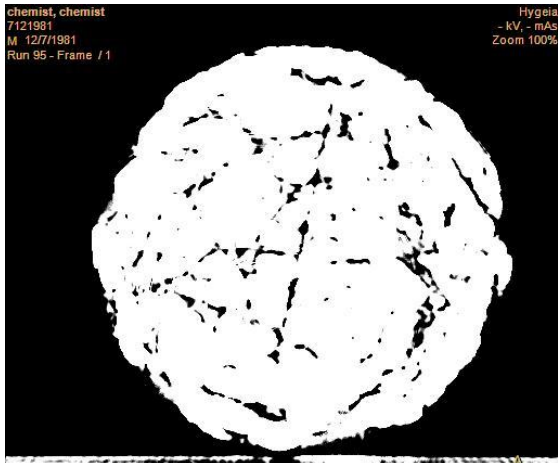
Δοκίμιο 1607-48



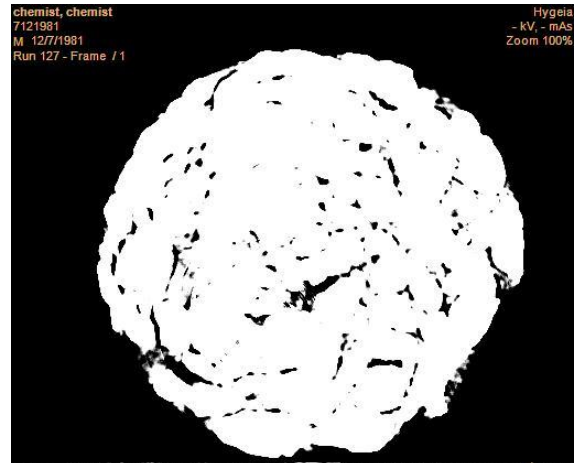
Εικόνα 3.60: 48-1 (Πορώδες: 19,30%)



Εικόνα 3.61: 48-2 (Πορώδες: 8,51%)



Εικόνα 3.62: 48-3 (Πορώδες: 10,96%)



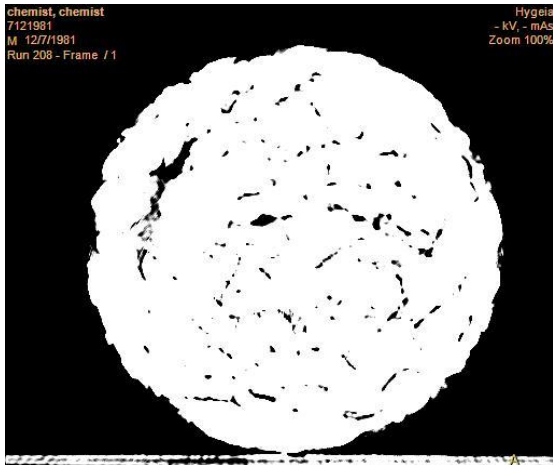
Εικόνα 3.63: 48-4 (Πορώδες: 11,40%)



Εικόνα 3.64: 48-5 (Πορώδες: 13,12%)



Εικόνα 3.65: 48-6 (Πορώδες: 11,00%)



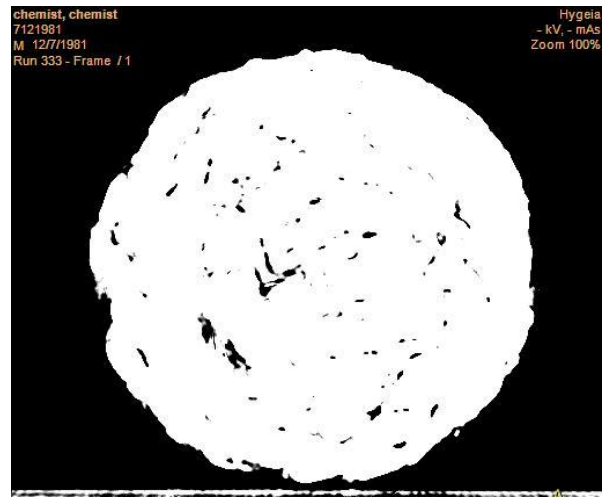
Εικόνα 3.66: 48-7 (Πορώδες: 6,59%)



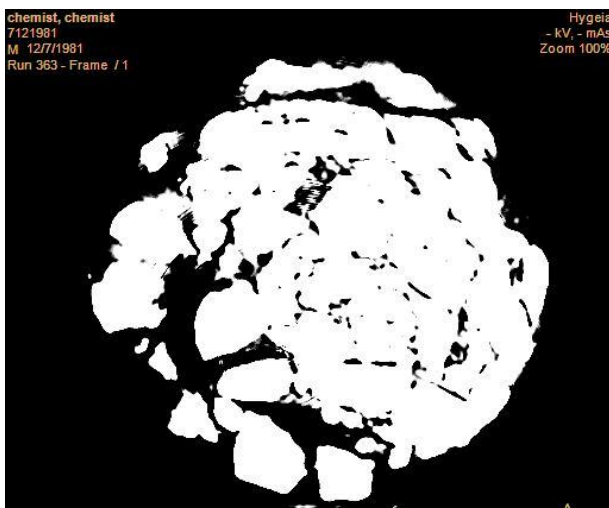
Εικόνα 3.67: 48-8 (Πορώδες: 5,33%)



Εικόνα 3.68: 48-9 (Πορώδες: 3,84%)

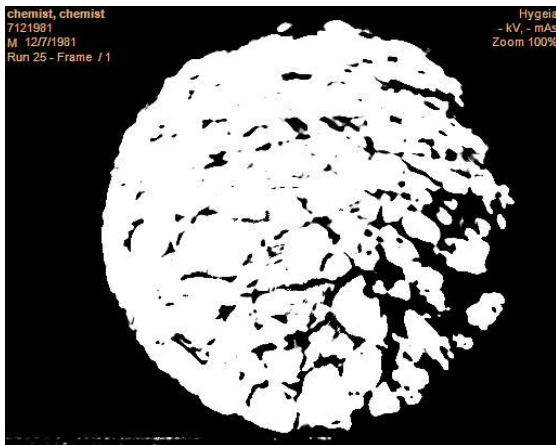


Εικόνα 3.69: 48-10 (Πορώδες: 5,67%)

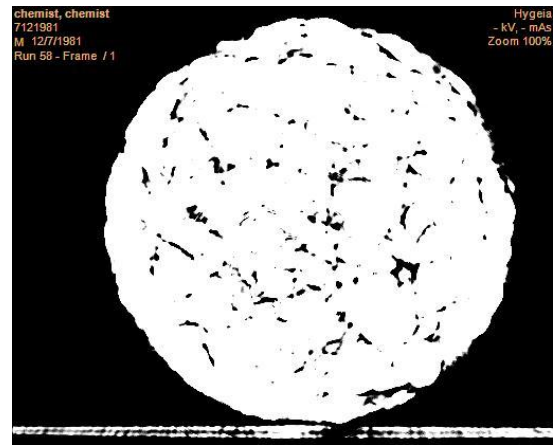


Εικόνα 3.70: 48-11 (Πορώδες: 27,13%)

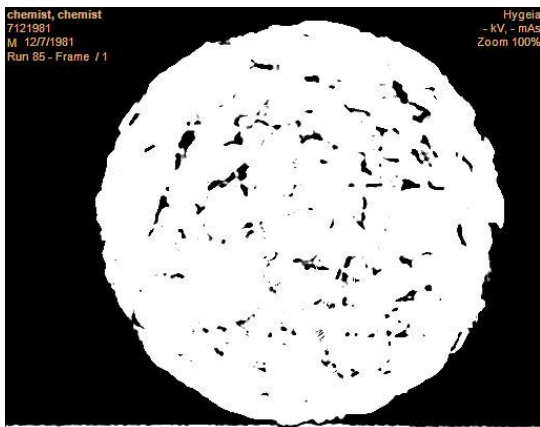
Δοκίμιο 1607-49



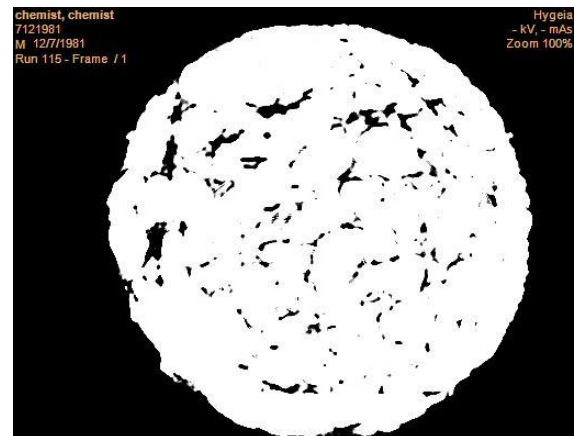
Εικόνα 3.71: 49-1 (Πορώδες: 22,04%)



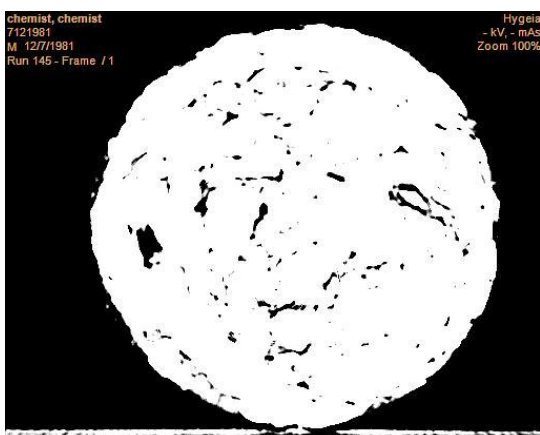
Εικόνα 3.72: 49-2 (Πορώδες: 7,25%)



Εικόνα 3.73: 49-3 (Πορώδες: 6,37%)



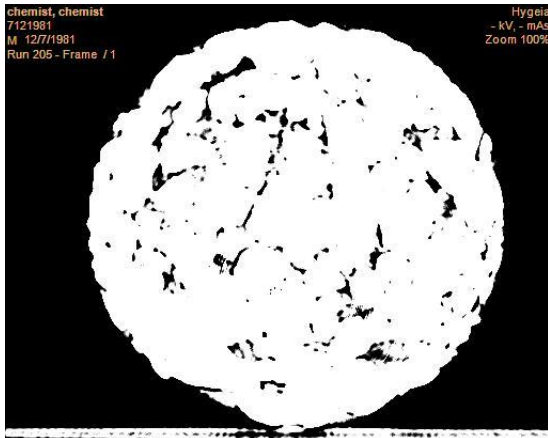
Εικόνα 3.74: 49-4 (Πορώδες: 8,54%)



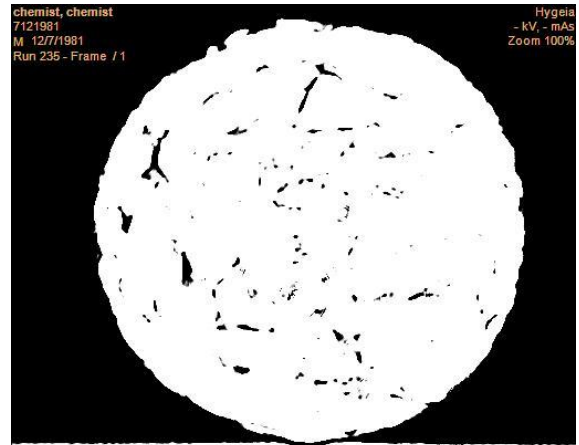
Εικόνα 3.75: 49-5 (Πορώδες: 6,27%)



Εικόνα 3.76: 49-6 (Πορώδες: 11,02%)



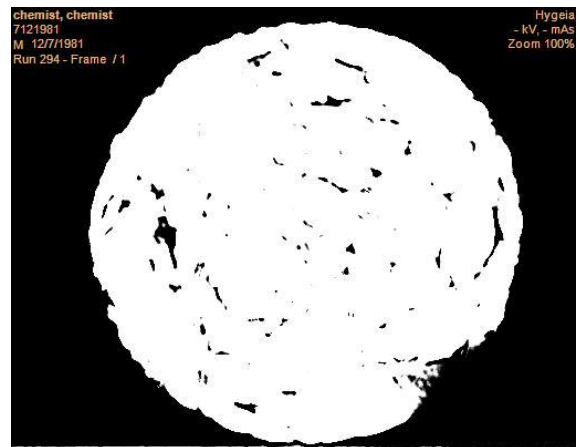
Εικόνα 3.77: 49-7 (Πορώδες: 8,24%)



Εικόνα 3.78: 49-8 (Πορώδες: 4,06%)



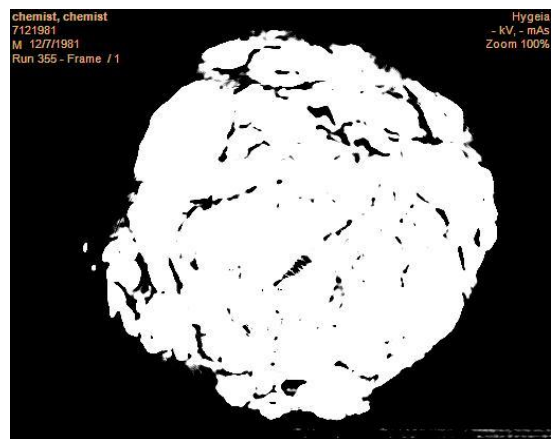
Εικόνα 3.79: 49-9 (Πορώδες: 6,89%)



Εικόνα 3.80: 49-10 (Πορώδες: 5,78%)

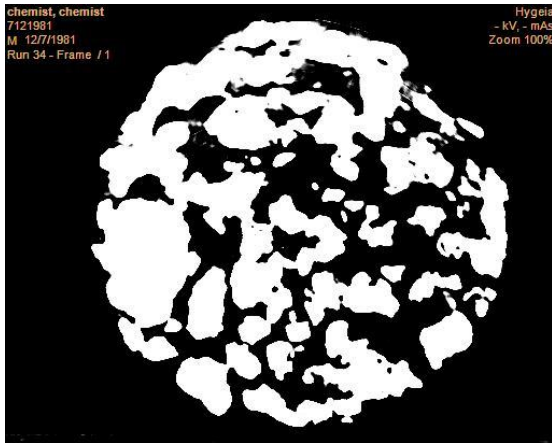


Εικόνα 3.81: 49-11 (Πορώδες: 5,04%)



Εικόνα 3.82: 49-12 (Πορώδες: 18,98%)

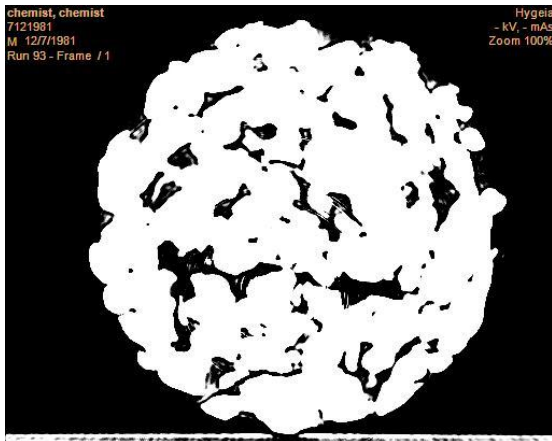
Δοκίμιο 1607-50



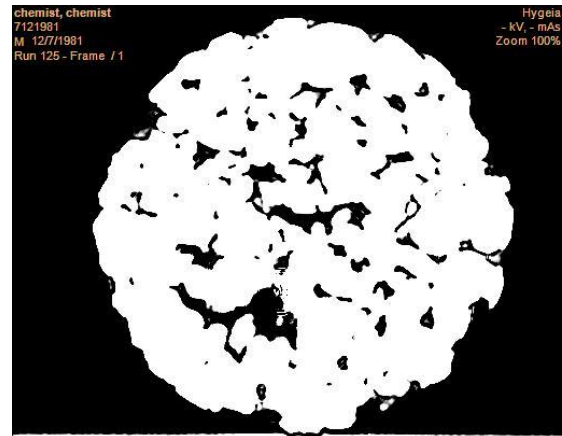
Εικόνα 3.83: 50-1 (Πορώδες: 43,59%)



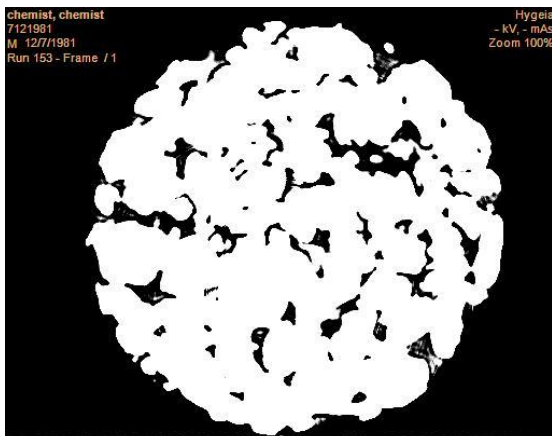
Εικόνα 3.84: 50-2 (Πορώδες: 16,10%)



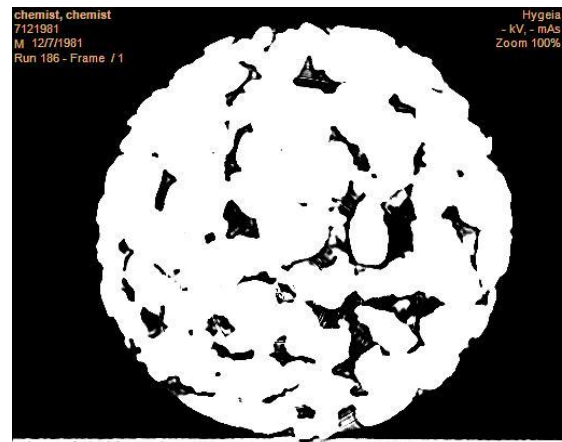
Εικόνα 3.85: 50-3 (Πορώδες: 18,99%)



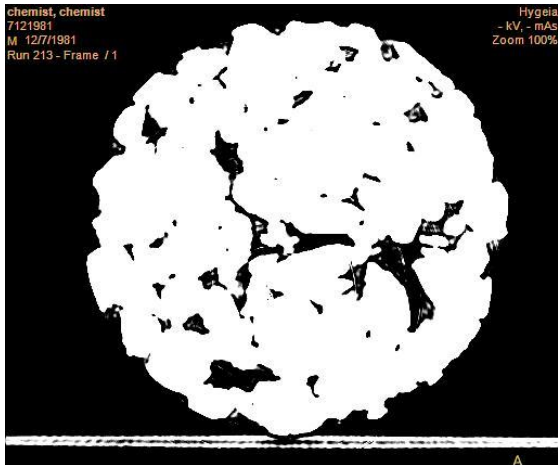
Εικόνα 3.86: 50-4 (Πορώδες: 16,21%)



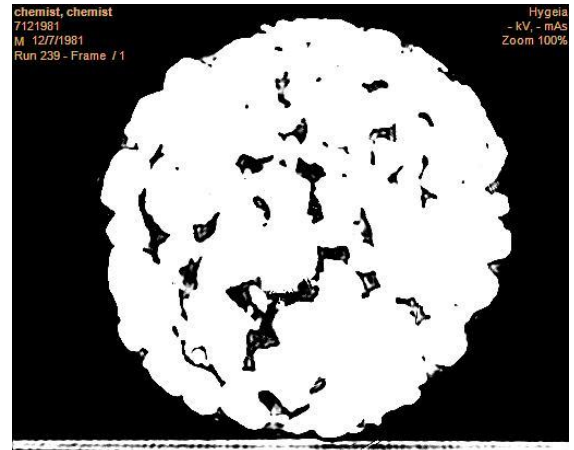
Εικόνα 3.87: 50-5 (Πορώδες: 16,54%)



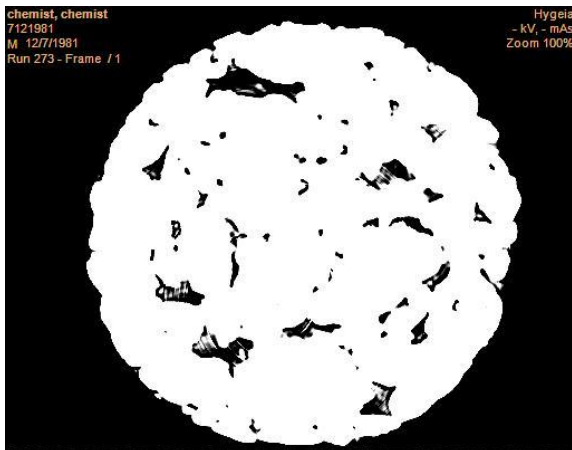
Εικόνα 3.88: 50-6 (Πορώδες: 15,01%)



Εικόνα 3.89: 50-7 (Πορώδες: 14,62%)



Εικόνα 3.90: 50-8 (Πορώδες: 14,48%)



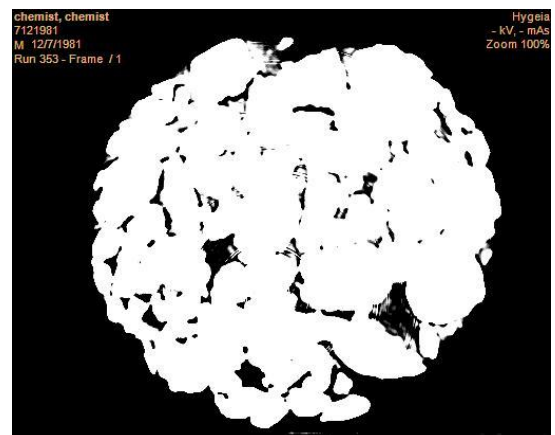
Εικόνα 3.91: 50-9 (Πορώδες: 10,30%)



Εικόνα 3.92: 50-10 (Πορώδες: 8,56%)

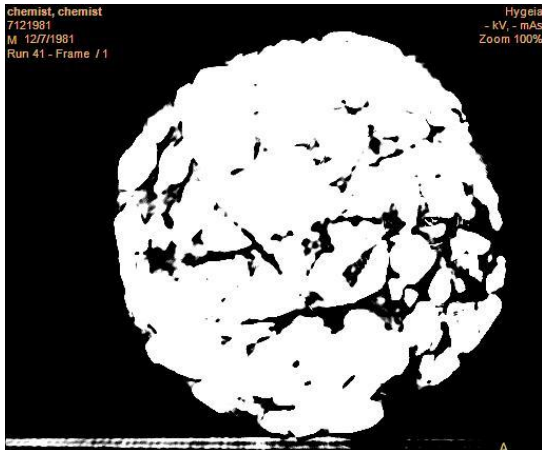


Εικόνα 3.93: 50-11 (Πορώδες: 9,06%)



Εικόνα 3.94: 50-12 (Πορώδες: 16,20%)

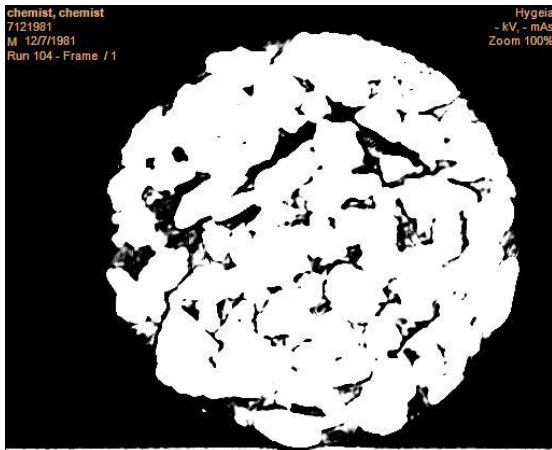
Δοκίμιο 1607-51



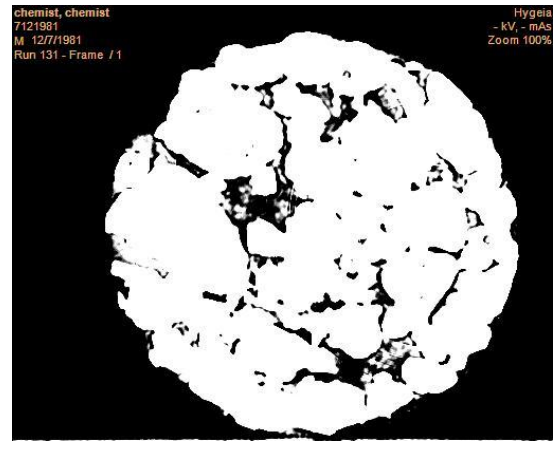
Εικόνα 3.95: 51-1 (Πορώδες: 20,06%)



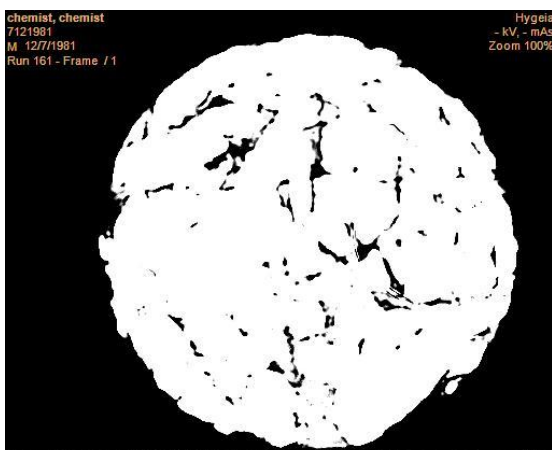
Εικόνα 3.96: 51-2 (Πορώδες: 11,69%)



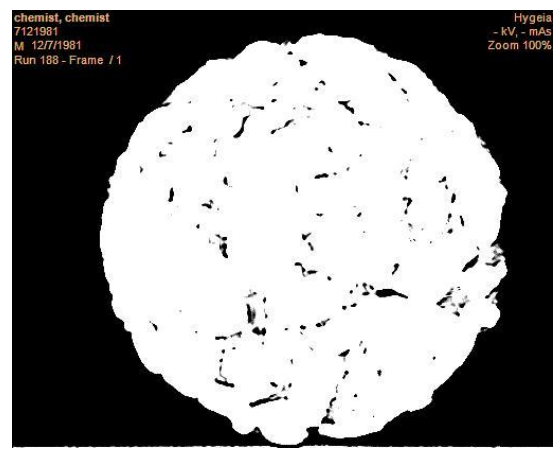
Εικόνα 3.97: 51-3 (Πορώδες: 16,72%)



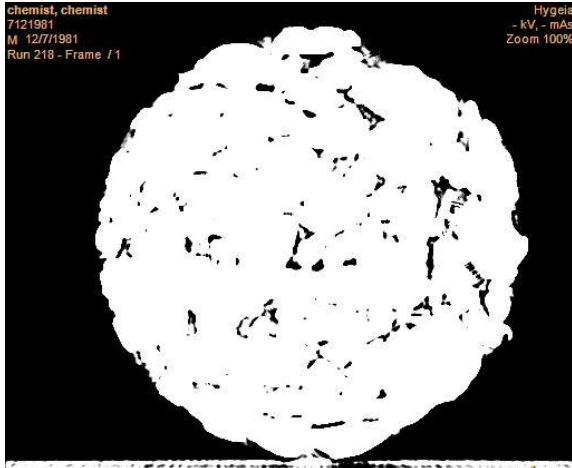
Εικόνα 3.98: 51-4 (Πορώδες: 14,13%)



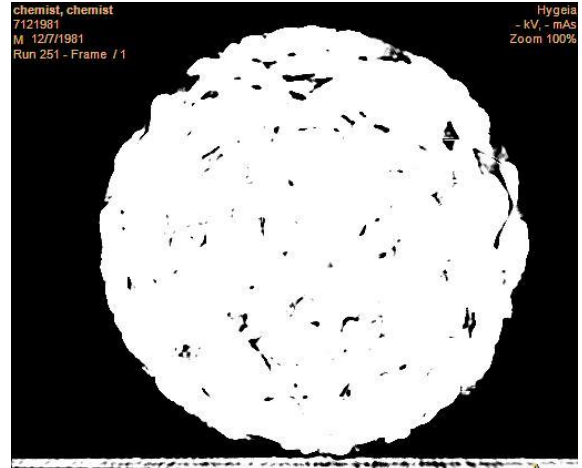
Εικόνα 3.99: 51-5 (Πορώδες: 8,38%)



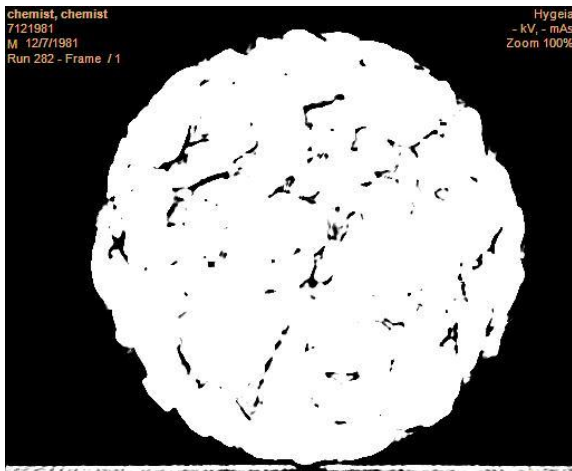
Εικόνα 3.100: 51-6 (Πορώδες: 6,58%)



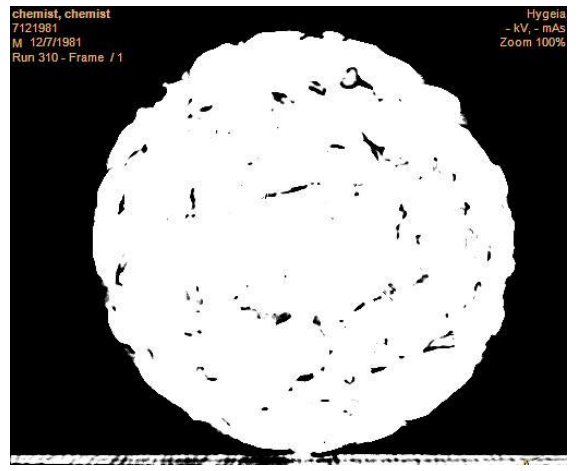
Εικόνα 3.101: 51-7 (Πορώδες: 8,20%)



Εικόνα 3.102: 51-8 (Πορώδες: 5,77%)



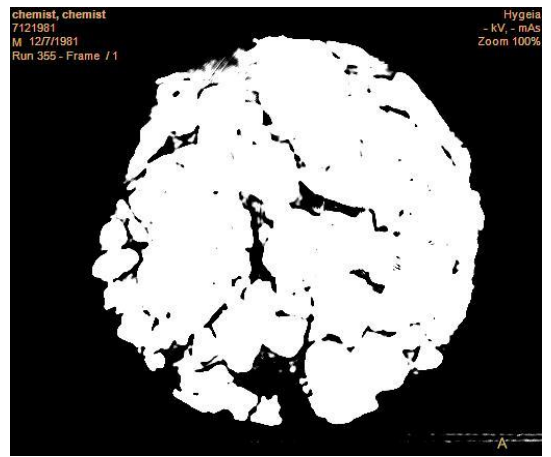
Εικόνα 3.103: 51-9 (Πορώδες: 6,66%)



Εικόνα 3.104: 51-10 (Πορώδες: 5,06%)

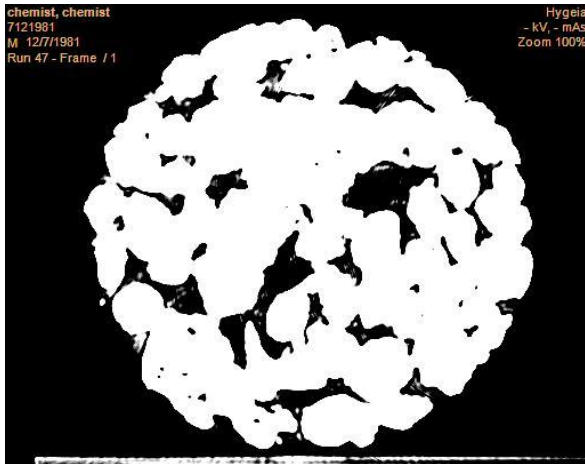


Εικόνα 3.105: 51-11 (Πορώδες: 7,99%)

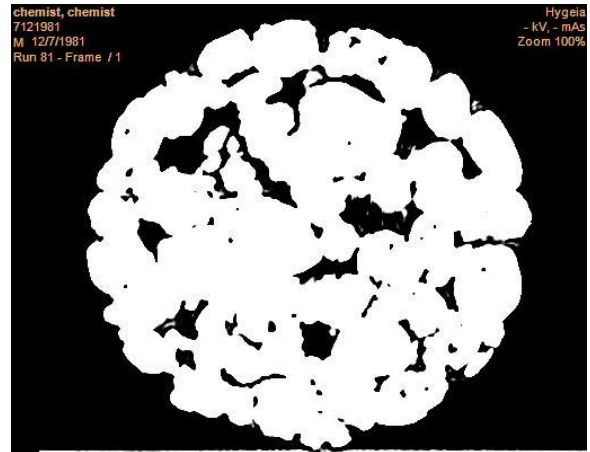


Εικόνα 3.106: 51-12 (Πορώδες: 17,43%)

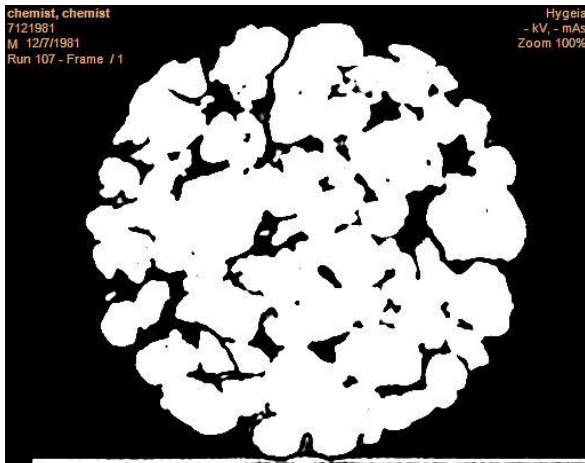
Δοκίμιο 1607-52



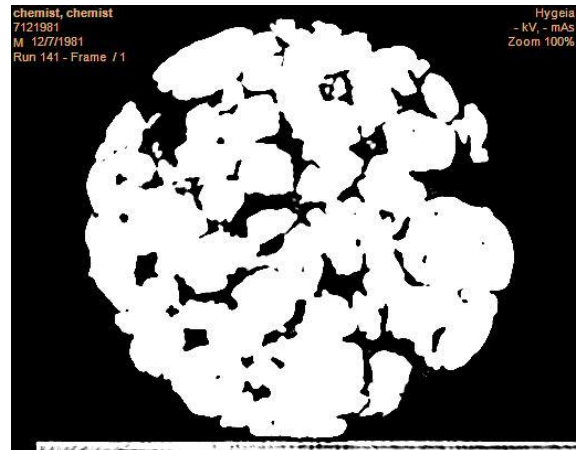
Εικόνα 3.107: 52-1 (Πορώδες: 18,43%)



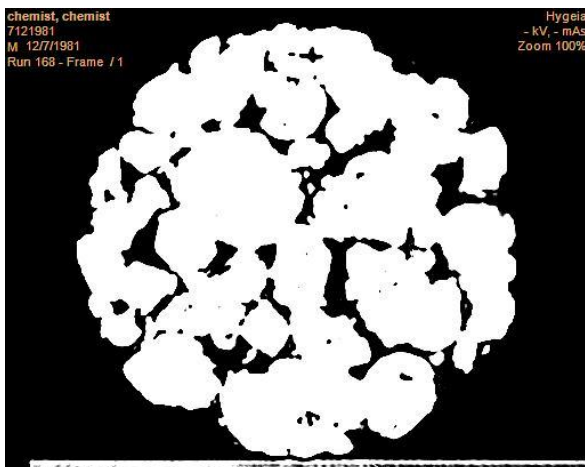
Εικόνα 3.108: 52-2 (Πορώδες: 17,02%)



Εικόνα 3.109: 52-3 (Πορώδες: 20,32%)



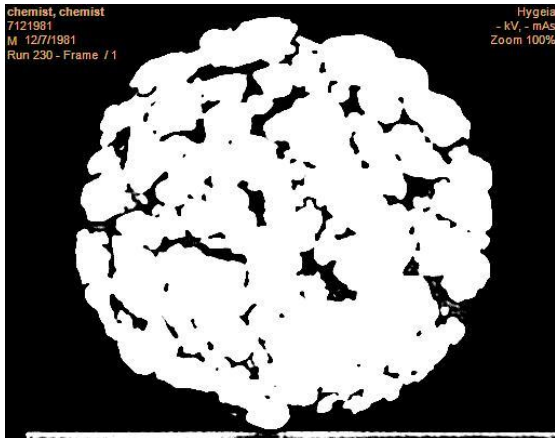
Εικόνα 3.110: 52-4 (Πορώδες: 21,14%)



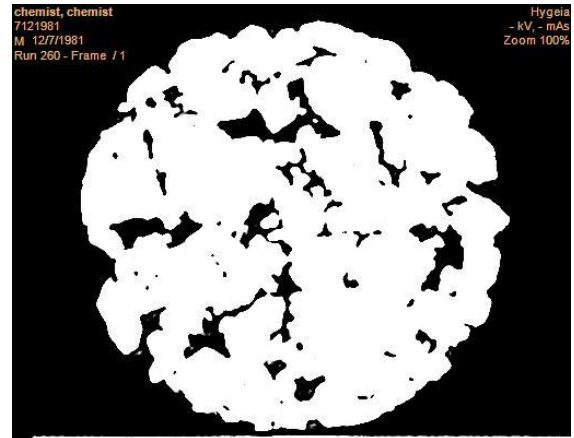
Εικόνα 3.111: 52-5 (Πορώδες: 21,45%)



Εικόνα 3.112: 52-6 (Πορώδες: 17,18%)



Εικόνα 3.113: 52-7 (Πορώδες: 16,82%)



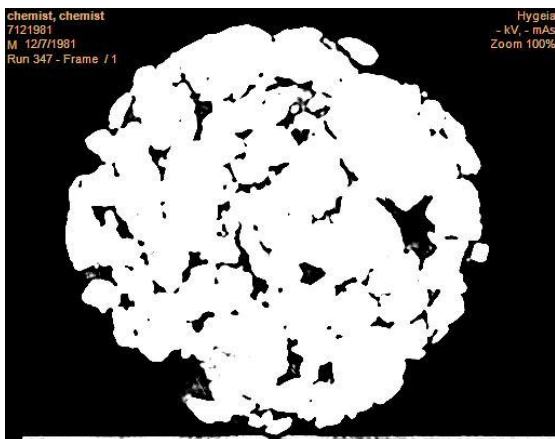
Εικόνα 3.114: 52-8 (Πορώδες: 16,07%)



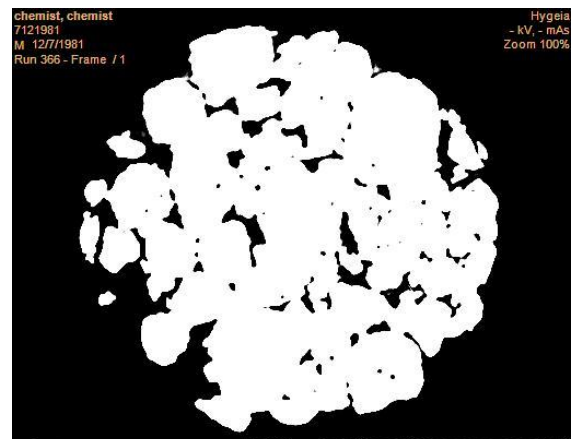
Εικόνα 3.115: 52-9 (Πορώδες: 12,25%)



Εικόνα 3.116: 52-10 (Πορώδες: 14,59%)



Εικόνα 3.117: 52-11 (Πορώδες: 18,50%)



Εικόνα 3.118: 52-12 (Πορώδες: 22,30%)

Οι παραπάνω εικόνες αποτελούν επιλογή από τα τρία βασικά τμήματα κάθε δοκιμίου, την ανώτερη περιοχή, το μέσο τμήμα και την κατώτερη περιοχή. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι μέσοι όροι που προέκυψαν για το πορώδες κάθε μίας από τις υπό μελέτη συνθέσεις καθώς και μέσοι όροι

για τα τμήματα κάθε δοκιμίου. Ο διαχωρισμός έγινε για τις ανάγκες εξαγωγής του μοντέλου ρεολογικής συμπεριφοράς.

Πίνακας 3.24: Μέσο Πορώδες υπό μελέτη συνθέσεων

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	ΜΕΣΟ ΠΟΡΩΔΕΣ (%)
1607-45	22,39
1607-46	10,23
1607-48	11,17
1607-49	9,21
1607-50	16,64
1607-51	10,72
1607-52	18,01

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα η τάση για μεγαλύτερο πορώδες ακολουθεί δοκίμια με μεγαλύτερο μέγεθος αδρανών και μεγαλύτερη - πιο ευρεία - κοκκομετρική κατανομή. Οι συνθέσεις με οικοδομικά απόβλητα και ασβεστολιθικά αδρανή παρουσιάζουν μεγαλύτερους πόρους, αλλά λόγω της έλλειψης ομοιομορφίας οι πόροι αυτοί είναι ακανόνιστοι και δημιουργούν δαιδαλώδεις διαδρόμους. Αντίθετα, οι συνθέσεις με μικρότερη κοκκομετρική κατανομή αδρανών και μικρότερα μεγέθη αυτών, εμφανίζουν κατά τη σκυροδέτηση καλύτερη κατανομή των αδρανών στον όγκο του δοκιμίου και περισσότερο κανονικοποιημένη διάταξη με αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρότερου ολικού πορώδους αλλά με λιγότερες ασυνέχειες και ανομοιομορφίες.

Πίνακας 3.25: Μέσο Πορώδες υπό μελέτη συνθέσεων ανά περιοχή όγκου.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	ΑΝΩΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (%)	ΜΕΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (%)	ΚΑΤΩΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (%)
1607-45	24,79	22,39	19,98
1607-46	12,57	9,34	8,78
1607-48	12,99	11,89	8,62
1607-49	10,12	9,12	8,4
1607-50	19,72	16,54	13,67
1607-51	13,97	10,08	8,12
1607-52	19,47	18,45	16,12

Κατά τη μετακίνηση προς την κατώτερη επιφάνεια των δοκιμίων παρατηρείται γενικά μείωση του ποσοστού των κενών χώρων. Αυτό οφείλεται στον τρόπο με τον οποίο αυτά σκυροδετήθηκαν. Ο ανθρώπινος παράγοντας διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη σκυροδέτηση του πορώδους σκυροδέματος και πρέπει πάντοτε να λαμβάνεται υπόψη. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από την

υποβολή των δοκιμών των υπό μελέτη συνθέσεων έδωσαν πληροφορίες οι οποίες βοήθησαν στον καθορισμό της ρεολογικής συμπεριφοράς τους.

3.7.4. Δοκιμή Υδατοαπορροφητικότητας

Ο όγκος του πορώδους του σκυροδέματος, ως χαρακτηριστικό της ευκολίας με την οποία ένα υγρό διεισδύει σε αυτό μετريέται με την απορρόφηση. Η απορρόφηση μετريέται συνήθως με ξήρανση των δοκιμών σε μια σταθερή μάζα, την κατάλληλη τοποθέτηση τους σε νερό και τη μέτρηση της αύξησης της μάζας ως ποσοστό της ξηρής μάζας. Η υδατοαπορροφητικότητα δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο της ποιότητας του σκυροδέματος, αλλά έχει βρεθεί ότι τα καλά συμβατικά σκυροδέματα έχουν υδατοαπορροφητικότητα μικρότερη από το 10% της μάζας δοκιμίου (πηγή: <<http://www.skyrodemanet.gr>>).

Οι δοκιμές υδατοαπορροφητικότητας χρησιμοποιούνται συχνά εκτός από τον τακτικό έλεγχο ποιότητας σε προκατασκευασμένες πλάκες πεζοδρομίου, τεμάχια ή κράσπεδα. Καθορίζεται η υδατοαπορροφητικότητα μικρών πριονισμένων δοκιμών τα οποία έχουν ξηρανθεί στους 105°C για 72 ώρες και έπειτα βυθίζονται σε νερό για 30 λεπτά.

Στην παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία γίνεται μελέτη της υδατοαπορροφητικότητας των υπό μελέτη συνθέσεων πορώδους σκυροδέματος με σκοπό την συσχέτιση των αποτελεσμάτων, με το υπολογιζόμενο από την διαδικασία της αξονικής τομογραφία, πορώδες των δοκιμών .

3.7.4.1. Πειραματική Διαδικασία Υδατοαπορροφητικότητας

Για τη διεξαγωγή της δοκιμής υδατοαπορροφητικότητας των μελετώμενων συνθέσεων πορώδους σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκαν 7 κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων δοκίμια (διαστάσεων 150mm x 300mm) και 8 κυλινδρικά δοκίμια (διαστάσεων 100mm x 100mm)(2 από τα οποία προέρχονταν από την ίδια σύνθεση 1607-46).

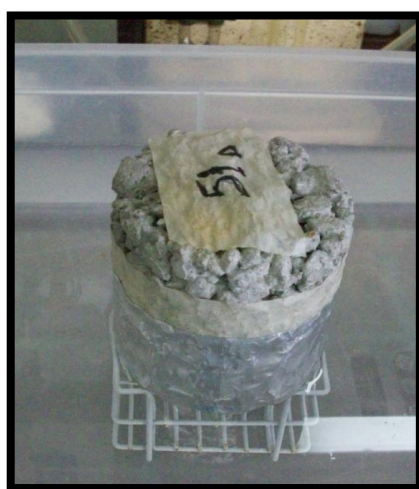
Η πορεία της πειραματικής διαδικασίας είναι η εξής: κάθε δοκίμιο περιτυλίγεται στη βάση του με υδατοστεγή ταινία πάνω στην οποία σημειώνεται ύψος 5mm από τη βάση. Τα δοκίμια ζυγίζονται και τοποθετούνται σε μεγάλα δοχεία όπου προστίθεται νερό μέχρι τη χαραγή των δοκιμών. Η τοποθέτηση των δοκιμών στο νερό γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η κάτω επιφάνειά τους να είναι ελεύθερη για την απορρόφηση νερού. Ανά 5min και για χρονικό διάστημα 6 ωρών τα δοκίμια ζυγίζονται και καταγράφοντας τη μεταβολή της μάζας τους γίνεται εκτίμηση του συντελεστή υδατοαπορροφητικότητας κάθε σύνθεσης. Η πειραματική διάταξη φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν.



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 3.119, (α), (β), (γ): Τοποθέτηση δοκιμών για τη μελέτη υδατοαπορροφητικότητας.

Ο ζυγός που χρησιμοποιήθηκε για την πειραματική διαδικασία φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι λόγω του γεγονότος ότι κατά την απομάκρυνση των δοκιμών από το νερό συνέβαινε συνεχόμενη απώλεια νερού επιλέχθηκε η στράγγισή τους με παλινδρομική κίνηση (5 κύτοι) και η εναπόθεσή τους σε απορροφητικό ύφασμα, για 3sec, διαδικασία η οποία είχε επαναληψιμότητα για όλα τα δοκίμια και όλους τους χρόνους μέτρησης.



Εικόνα 3.120: Ζυγός μετρήσεων και απορροφητικό ύφασμα.

3.7.4.2. Αποτελέσματα δοκιμής υδατοαπορροφητικότητας

Ο υπολογισμός της τιμής υδατοαπορροφητικότητας κάθε σύνθεσης υπολογίστηκε με εφαρμογή των ακόλουθων εξισώσεων:

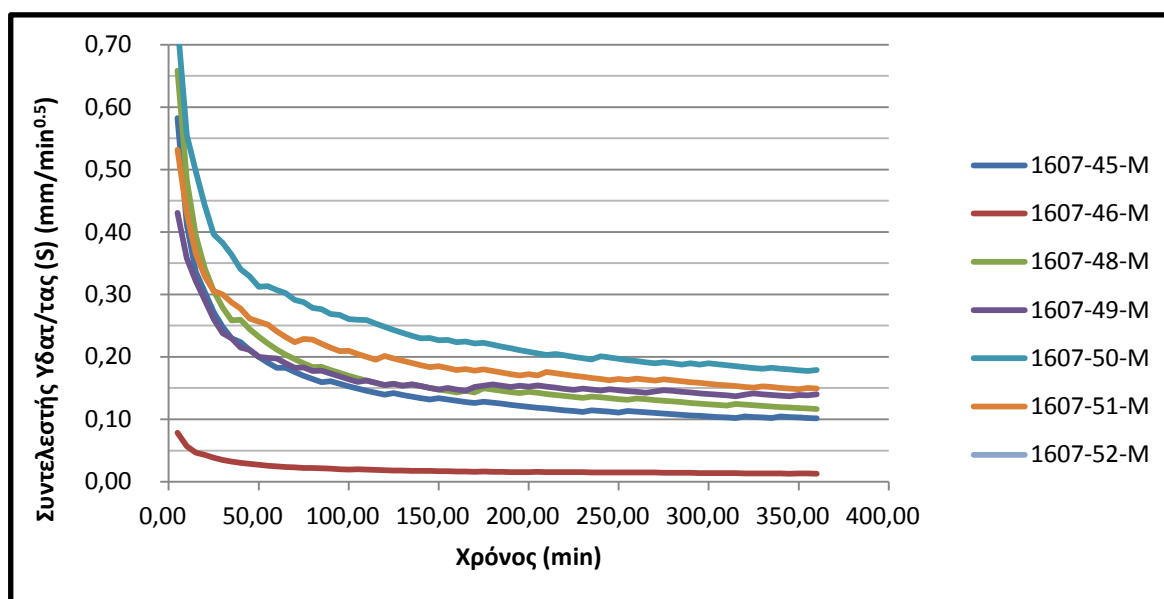
$$i = S * t^{0.5}$$

Όπου i η μεταβολή της μάζας του δοκιμίου σε mm,

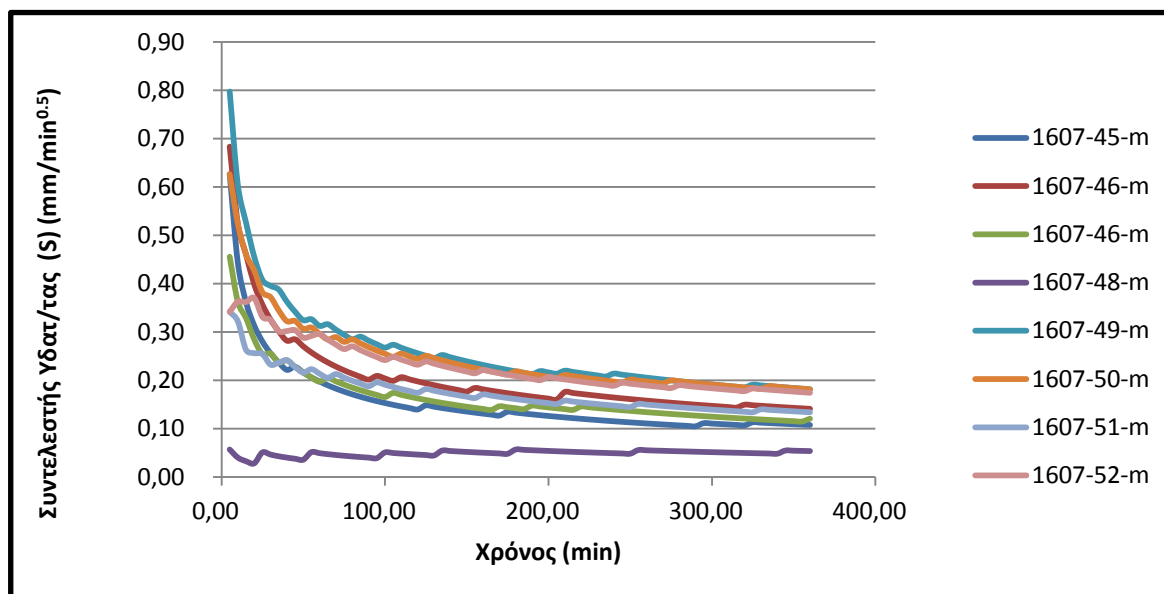
S ο συντελεστής υδατοαπορροφητικότητας μετρημένος σε $\text{mm}/\text{min}^{0.5}$ και

t ο χρόνος των πειραματικών μετρήσεων σε min.

Με χρήση Microsoft Office Excel 2007 υπολογίστηκε ο μέσος συντελεστής υδατοαπορροφητικότητας για κάθε δοκίμιο και κάθε σύνθεση. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρατίθενται τα αποτελέσματα από της μελέτης υδατοαπορροφητικότητας για τα κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 15*30 (κωδικοί 1607-X-M), καθώς και για τα κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 10*10 (κωδικοί 1607-X-m).



Διάγραμμα 3.16: Αποτελέσματα υδατοαπορροφητικότητας για τα κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 15*30 και όλες τις συνθέσεις



Διάγραμμα 3.17: Αποτελέσματα υδατοαπορροφητικότητας για τα κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 10×10 και όλες τις συνθέσεις

Οι μέσες τιμές του συντελεστή υδατοαπορροφητικότητας που υπολογίστηκαν από τη δοκιμή υδατοαπορροφητικότητας για τις μελετώμενες συνθέσεις παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 3.26: Μέσες τιμές συντελεστή υδατοαπορροφητικότητας S ($\text{mm}/\text{min}^{0,5}$)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	Δοκίμιο "Μ"	Δοκίμιο "m"
1607-45	0,15	0,16
1607-46	0,18	0,19
1607-48	0,17	0,20
1607-49	0,17	0,26
1607-50	0,25	0,25
1607-51	0,20	0,18
1607-52	0,20	0,23

Είναι αναγκαίο να αναφερθεί ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε να γίνει δοκιμή υδατοαπορροφητικότητας τόσο σε μικρά ("m") όσο και σε μεγάλα ("Μ") δοκίμια. Η εξέλιξη της διαδικασίας υδατοαπορροφητικότητας εξαρτάται κατά μεγάλο ποσοστό από τις διαστάσεις του υπό μελέτη δοκιμίου. Ο χρόνος που μεσολαβεί μέχρι την επίτευξη της ισορροπίας μεταβάλλεται

σημαντικά εξαρτώμενος από το ύψος του δοκιμίου. Επειδή, λοιπόν, τα εξεταζόμενα δοκίμια είναι δύο διαφορετικών μεγεθών, επιλέχθηκε η εξαγωγή συντελεστή υδατοαπορροφητικότητας για δύο μεγέθη και η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Τα δοκίμια διαστάσεων 10x10 παρουσίασαν γενικά μεγαλύτερο συντελεστή υδατοαπορροφητικότητας, είχαν δηλαδή την τάση να απορροφούν περισσότερο νερό με την πάροδο του χρόνου. Η λήξη της πειραματικής διαδικασίας έγινε μετά το πέρας 6 ωρών. Αξίζει να σημειωθεί δε, ότι τα δοκίμια παρέμειναν στην πειραματική διάταξη για 8 επιπλέον ημέρες όπου και μετρούνταν η μάζα τους δύο φορές ανά ημέρα, χωρίς όμως να παρατηρηθεί επίτευξη ισορροπίας. Αυτό οφείλεται τόσο στη φύση του υλικού όσο και στο μέγεθος των δοκιμίων. Ποσότητα νερού κατά τη μεταφορά των δοκιμίων για ζύγιση εξέρχονταν από το πορώδες και το ύψος των δοκιμίων δεν ήταν αρκετό για να αναιρέσει λόγω διαφοράς πίεσης τη συμπεριφορά αυτή.

Τα παρεμφερή αποτελέσματα για το συντελεστή υδατοαπορροφητικότητας που παρελήφθησαν από τη δοκιμή οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο συντελεστής υδατοαπορροφητικότητας για το διαπερατό σκυρόδεμα κυμαίνεται από 0,15 έως 0,25 (mm/min^{0.5}) παρουσιάζοντας μεγαλύτερες τιμές για διαπερατά σκυροδέματα με μεγάλα μεγέθη αδρανών (όπως οικοδομικά απόβλητα) καθώς και με μεγάλες κοκκομετρικές διαβαθμίσεις (όπως συνδυασμός οικοδομικών αποβλήτων με ασβεστολιθικά αδρανή).

3.7.5. Εξαγωγή μοντέλου ρεολογικής συμπεριφοράς - Συμπεράσματα

Η εξαγωγή του μοντέλου ρεολογικής συμπεριφοράς βασίστηκε στην υπόθεση ότι το πορώδες των δοκιμίων των μελετώμενων συνθέσεων επιτρέπει τη διέλευση λιπαντικών μηχανής διαφορετικού ιξώδους από τον όγκο του ακολουθώντας κινητική με χαρακτηριστικά πρώτης τάξεως. Εφαρμόζοντας, λοιπόν το μοντέλο κινητικής πρώτης τάξεως στα πειραματικά δεδομένα υπολογίστηκαν οι μεταβλητές που βελτιστοποιούσαν την εξίσωση προσαρμόζοντας τις υπολογιζόμενες από το μοντέλο τιμές στα πειραματικά δεδομένα. Η εξίσωση του μοντέλου κινητικής πρώτης τάξεως που επιλέχθηκε είναι:

$$m_{cal} = m_e - (m_e - m_o) * e^{-kt}$$

Όπου, m_{cal} η υπολογιζόμενη από το μοντέλο μάζα λιπαντικού/diesel που διέρχεται από τη βάση του δοκιμίου με την πάροδο του χρόνου,

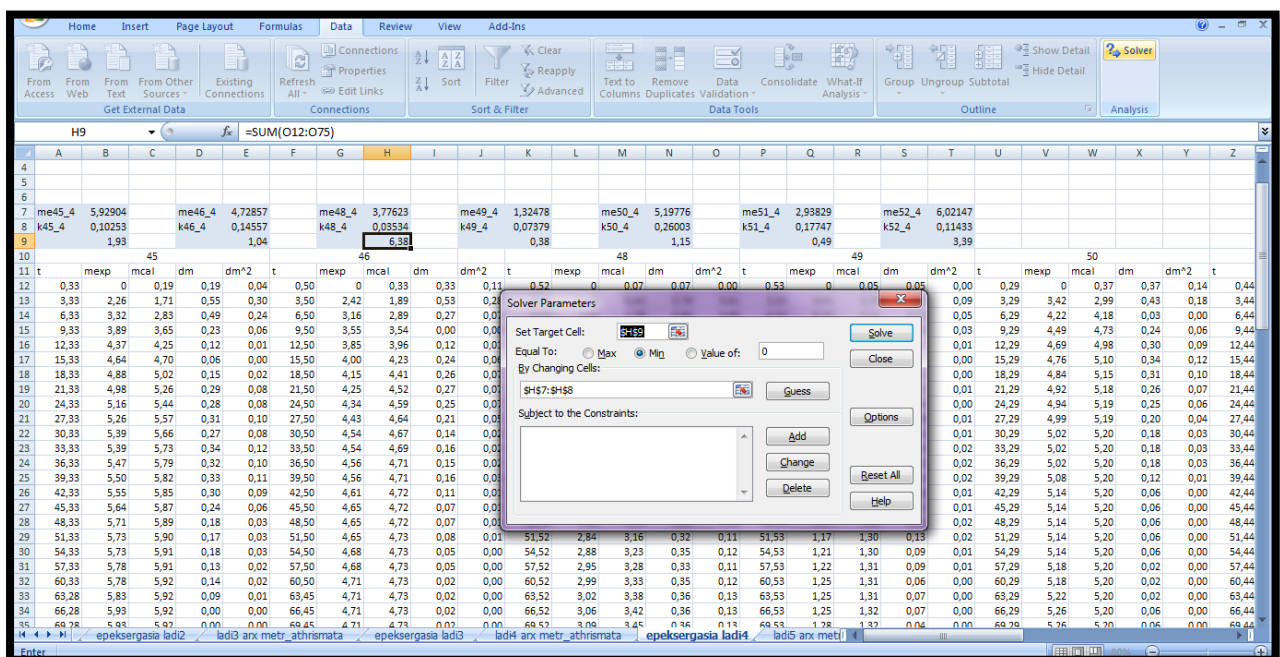
m_e η υπολογιζόμενη από το μοντέλο μάζα ισορροπίας (η τιμή μάζας, μετά την οποία δεν εμφανίζεται περαιτέρω απώλεια λιπαντικού/diesel από την κάτω επιφάνεια του δοκιμίου,

m_0 η αρχική μάζα λιπαντικού/diesel στο χρόνο t_0 ,

k η σταθερά ισορροπίας που εξαρτάται από τον τύπο του λιπαντικού/diesel και τον τύπο της μελετώμενης σύνθεσης και

τ τα χρονικά διαστήματα εκτέλεσης της πειραματικής διαδικασίας.

Η βελτιστοποίηση της εξίσωσης του μοντέλου κινητικής πρώτης τάξης έγινε με χρήση της εντολής SOLVER του προγράμματος EXCEL 2007 σε περιβάλλον WINDOWS 7. Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνεται η διαδικασία ελαχιστοποίησης της τυπικής απόκλισης με αλλαγή των κελίων που αντιστοιχούν στη μάζα ισορροπίας και στον συντελεστή ροής χρησιμοποιώντας την παραπάνω εντολή.

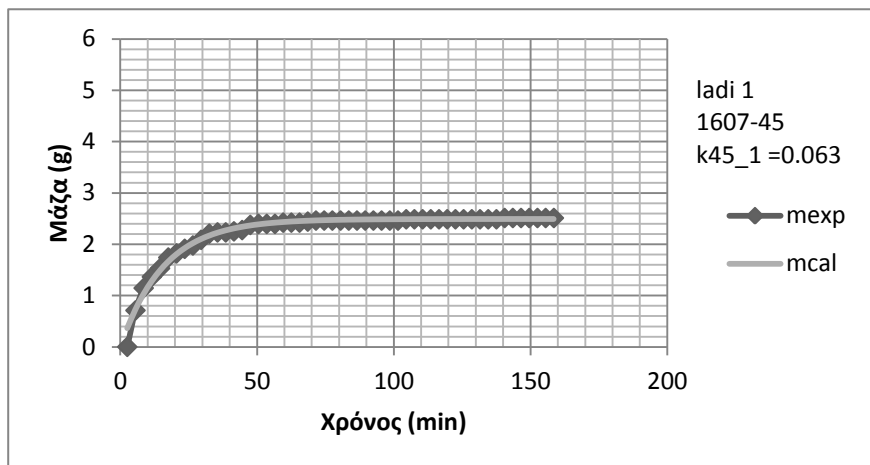


Εικόνα 3.121: Χρήση της εντολής SOLVER του EXCEL για τη μοντελοποίηση της ρεολογικής συμπεριφοράς των υπό μελέτη συνθέσεων.

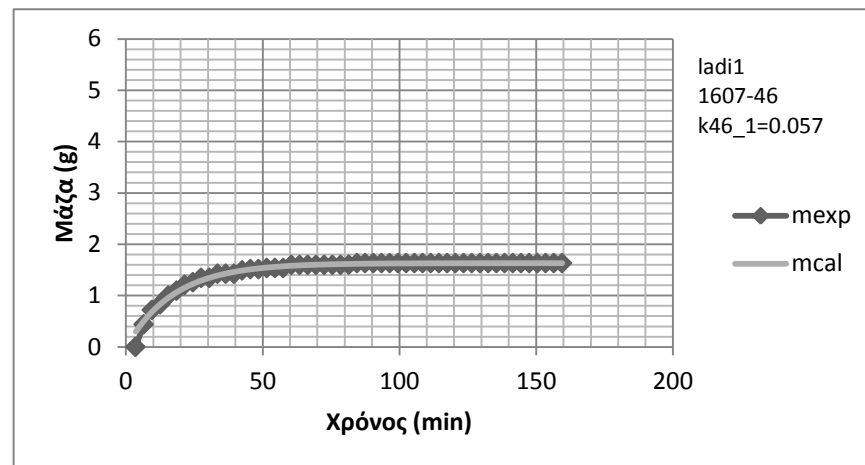
Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται ο υπολογισμός του συντελεστή ροής k για τη συμπεριφορά της σύνθεσης 1607-48 κατά τη διέλευση από τον όγκο του δοκιμίου λιπαντικού μηχανής με κωδικό "Iadi4". Όμοια διαδικασία ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των συντελεστών k που περιγράφουν τη συμπεριφορά όλων των υπό μελέτη συνθέσεων στη ροή λιπαντικών διαφορετικού ιξώδους και diesel κίνησης.

Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση, εξάγεται η συσχέτιση μεταξύ πειραματικά μετρούμενης μάζας και μάζας που υπολογίζεται από το μοντέλο. Έτσι, για κάθε λιπαντικό μηχανής/diesel που διέρχεται

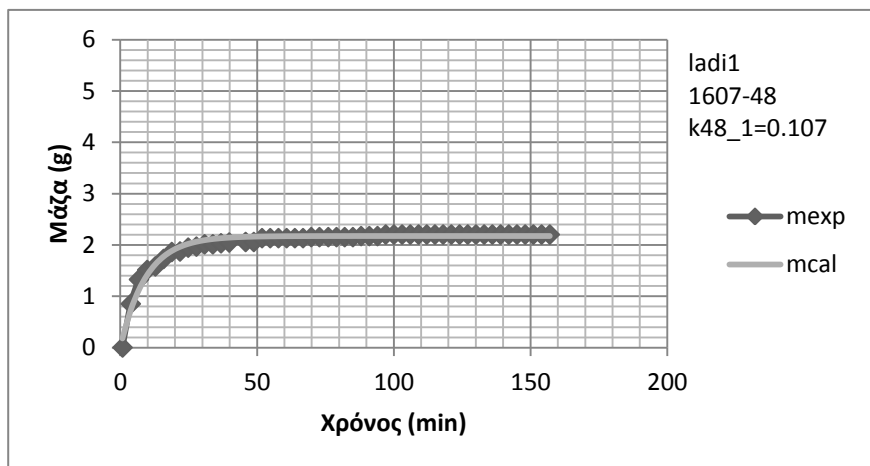
από κάθε σύνθεση εξάγεται διάγραμμα συσχέτισης για τη μελέτη της συμβατότητας του μοντέλου με το πείραμα. Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνεται η προαναφερόμενη συσχέτιση.



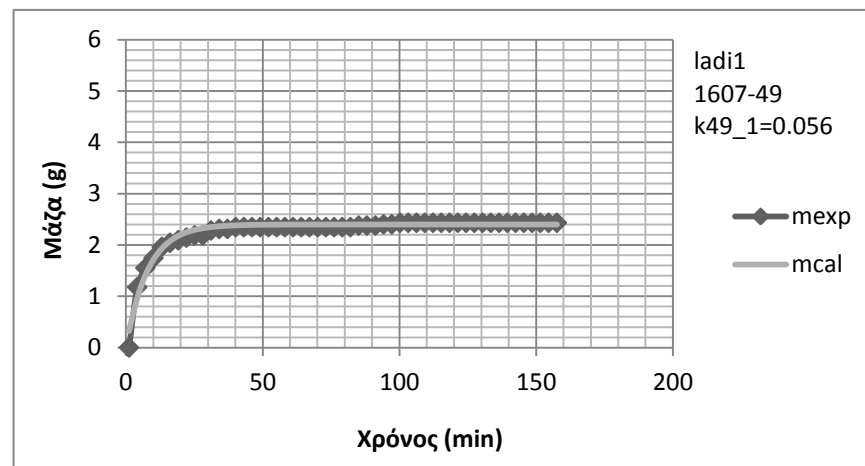
Διάγραμμα 3.18: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-45, «λάδι 1»



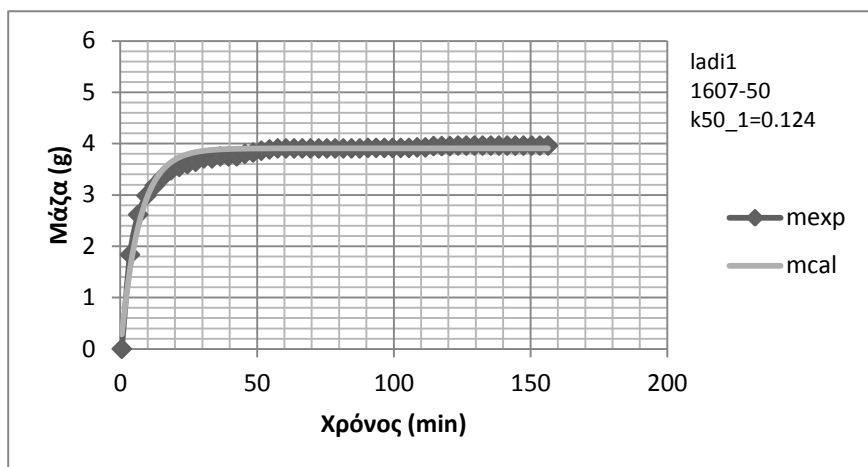
Διάγραμμα 3.19: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-46, «λάδι 1»



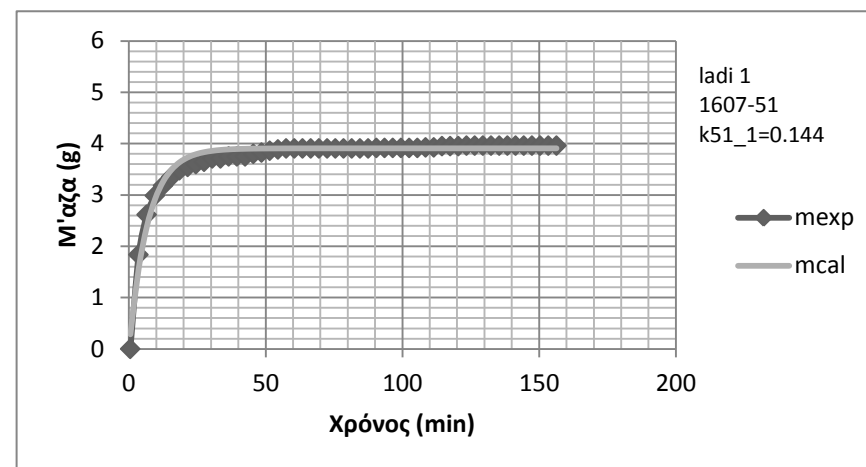
Διάγραμμα 3.20: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-48, «λάδι 1»



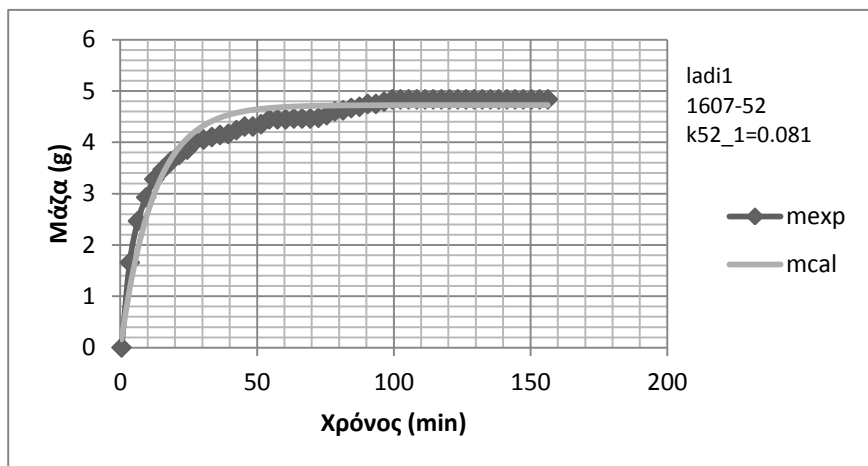
Διάγραμμα 3.21: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-49, «λάδι 1»



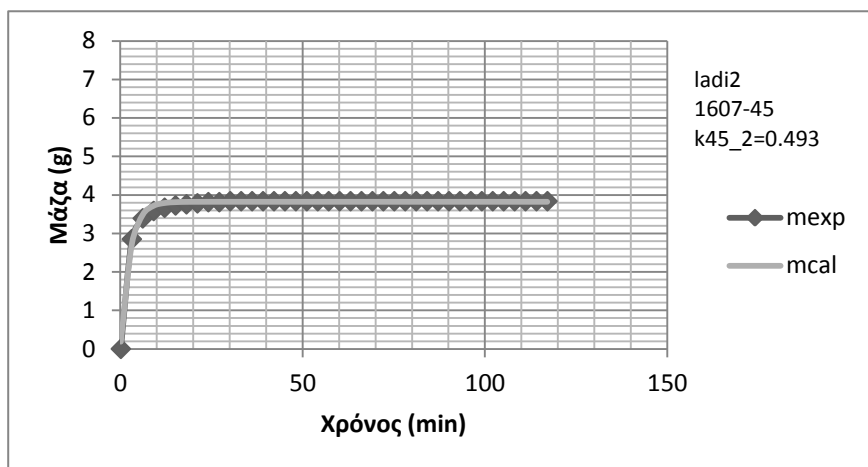
Διάγραμμα 3.22: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-50, «λάδι 1»



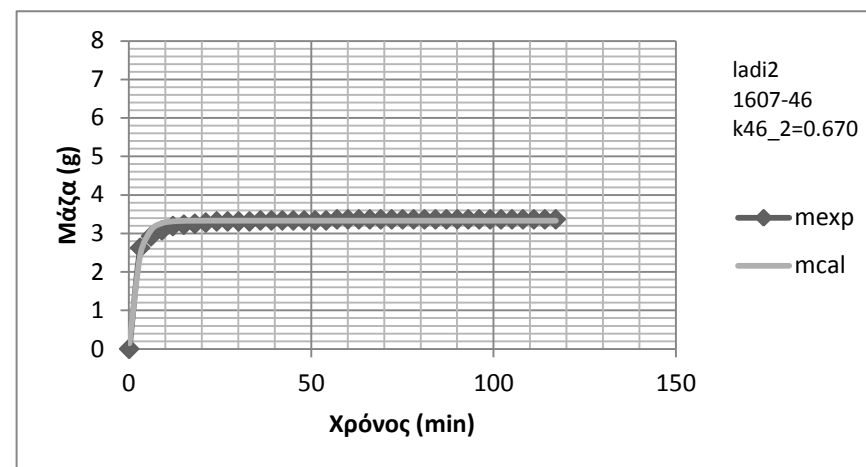
Διάγραμμα 3.23: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-51, «λάδι 1»



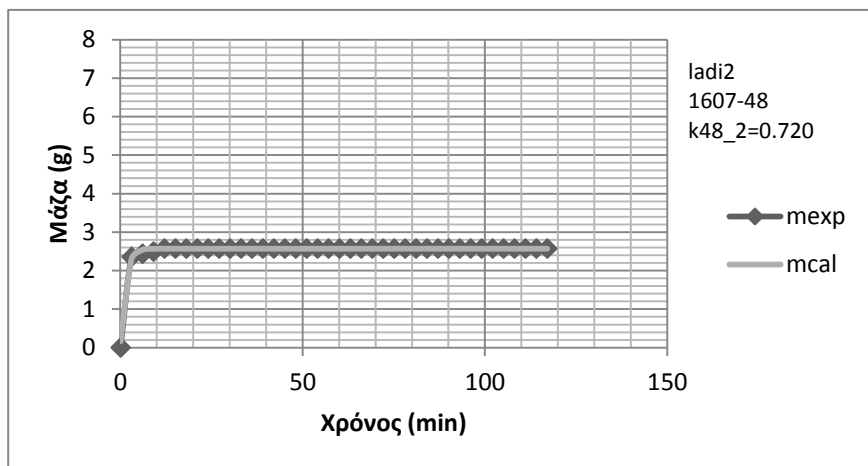
Διάγραμμα 3.24: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-52, «λάδι 1»



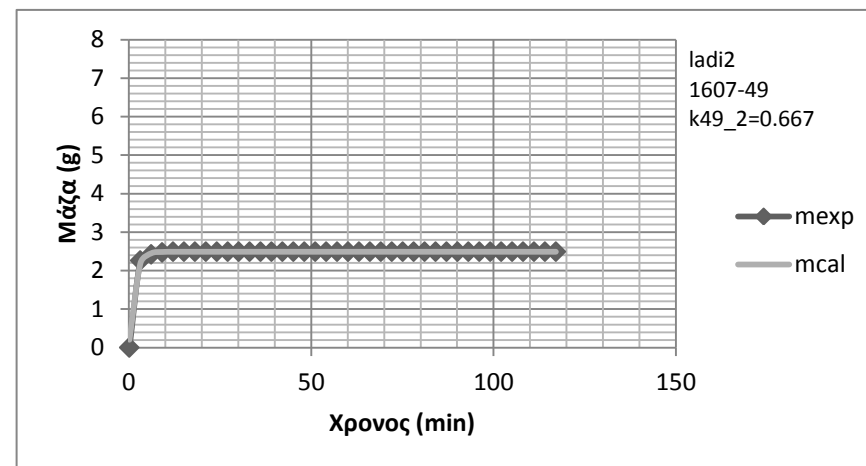
Διάγραμμα 3.25: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-45, «λάδι 2»



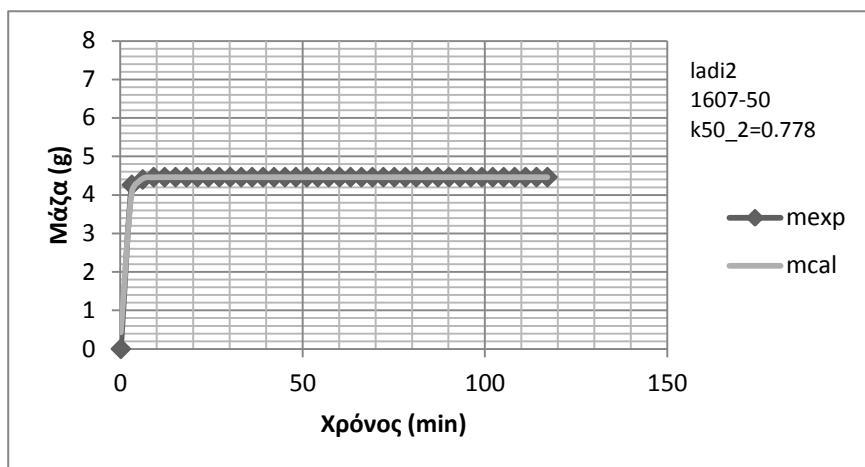
Διάγραμμα 3.26: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-46, «λάδι 2»



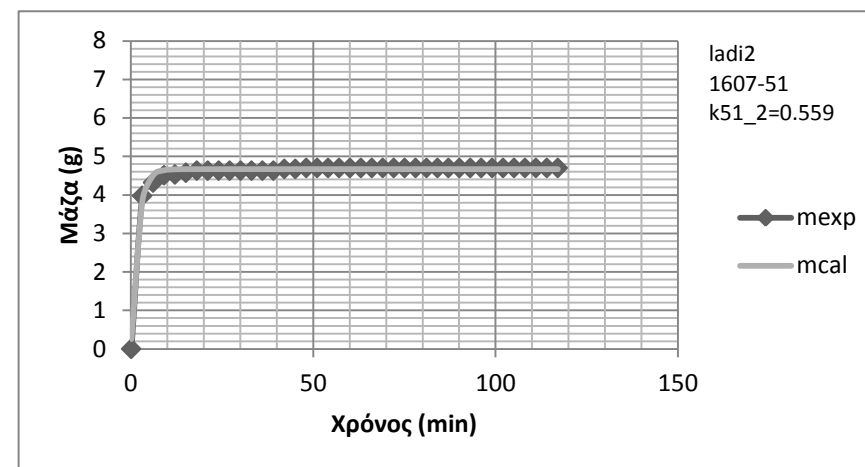
Διάγραμμα 3.27: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-48, «λάδι 2»



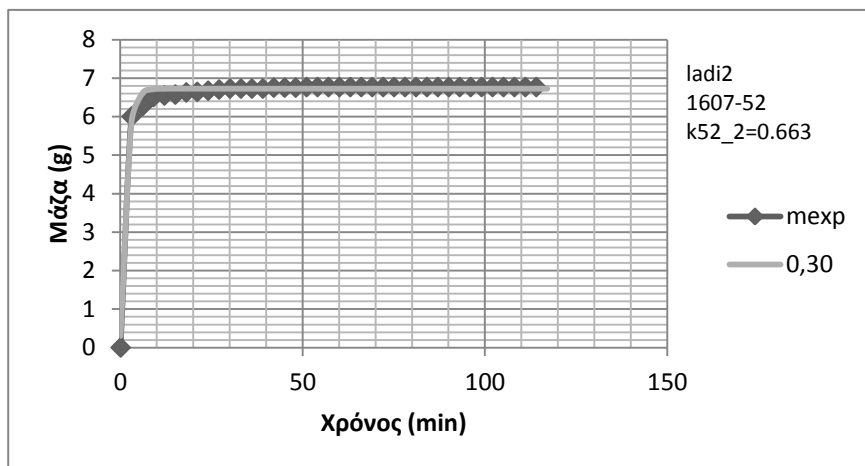
Διάγραμμα 3.28: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-49, «λάδι 2»



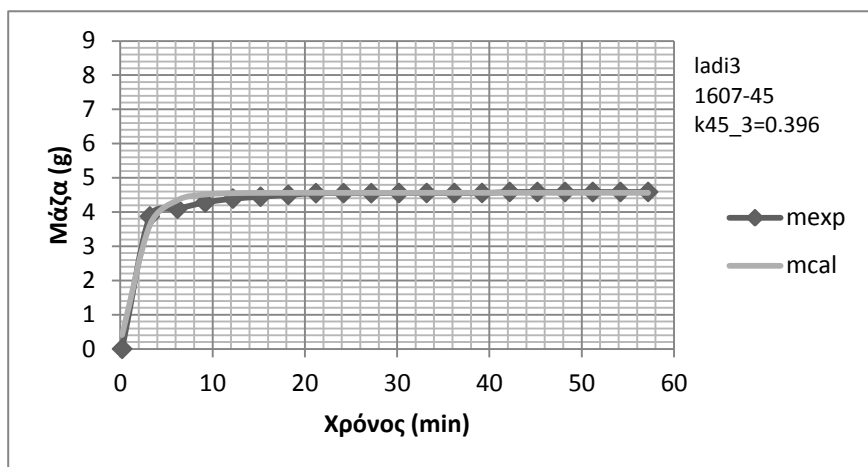
Διάγραμμα 3.29: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-50, «λάδι 2»



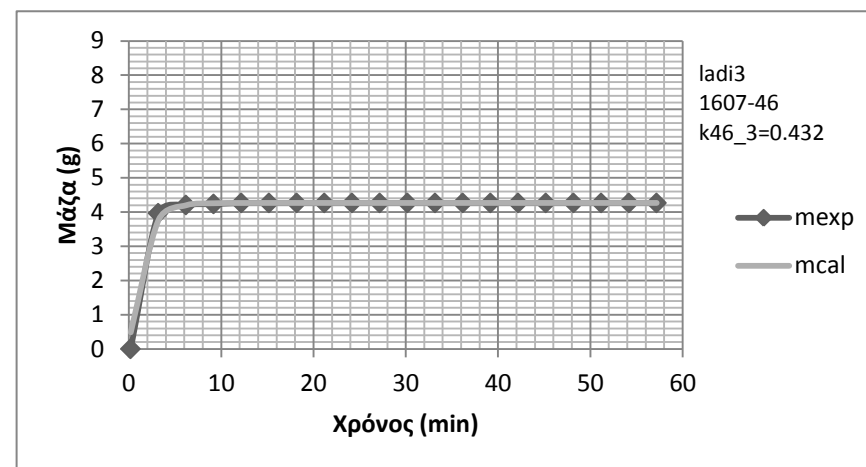
Διάγραμμα 3.30: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-51, «λάδι 2»



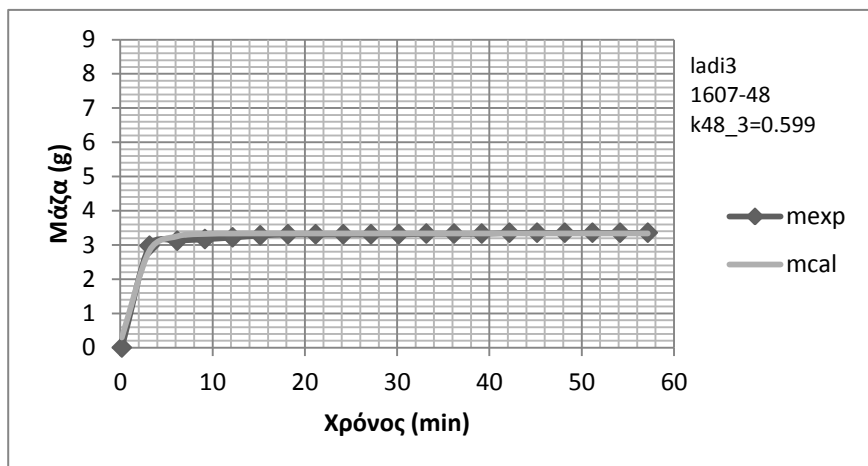
Διάγραμμα 3.31: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-52, «λάδι 2»



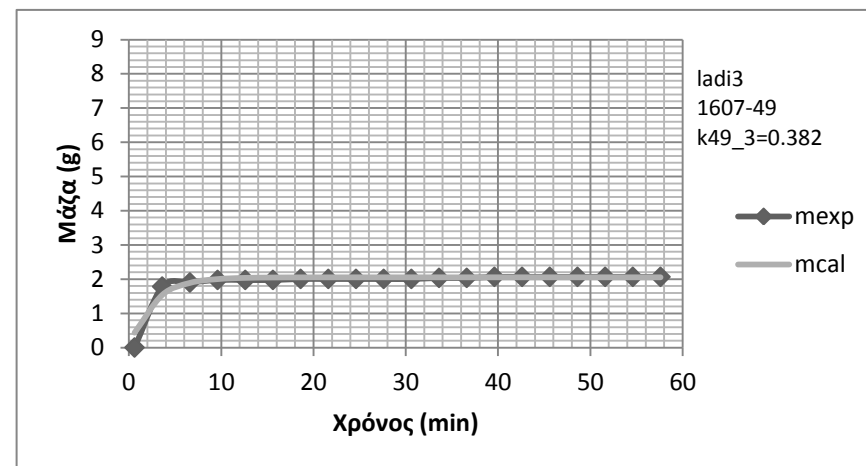
Διάγραμμα 3.32: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-45, «λάδι 3»



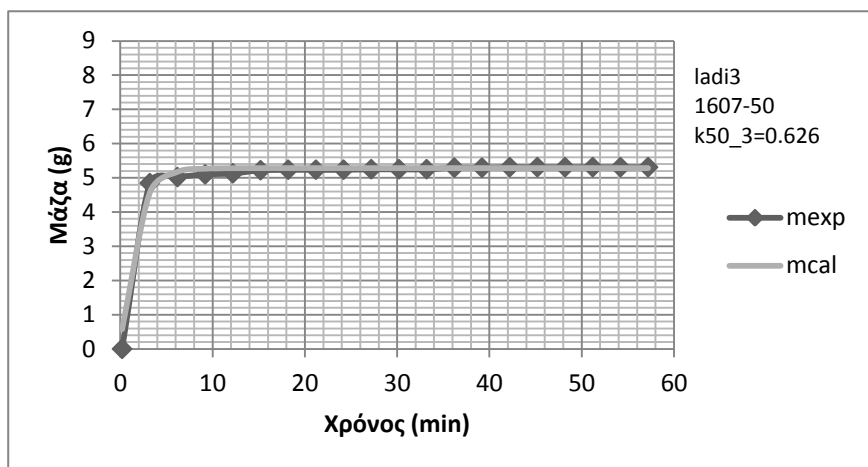
Διάγραμμα 3.33: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-46, «λάδι 3»



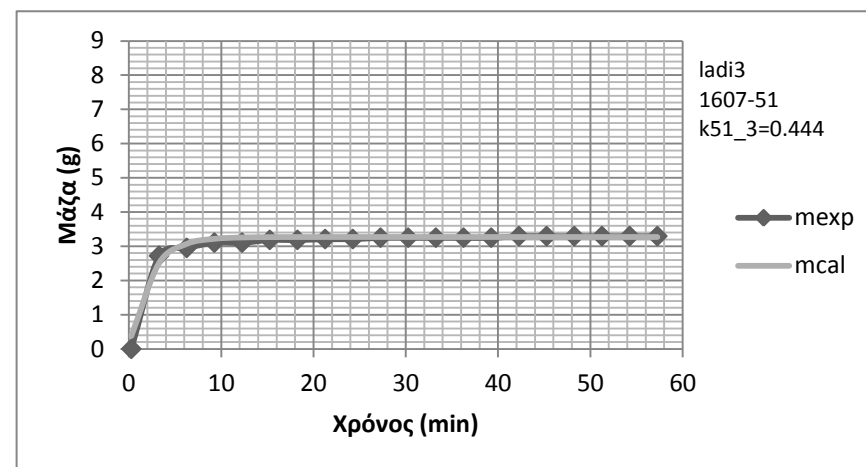
Διάγραμμα 3.34: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-48, «λάδι 3»



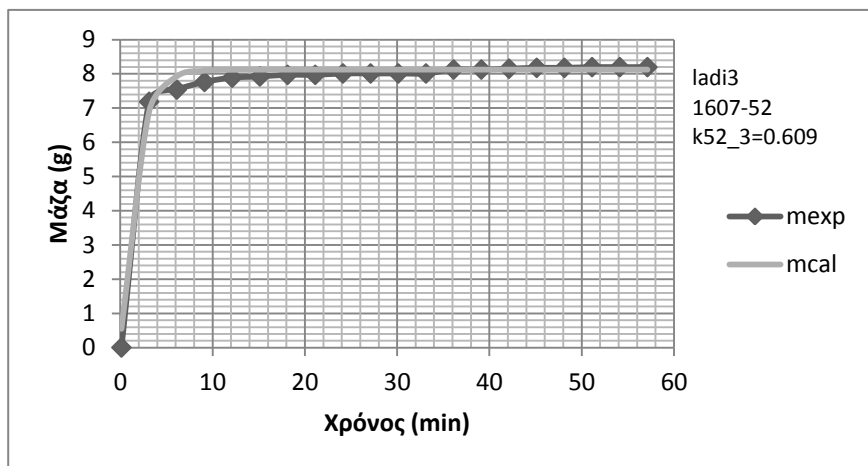
Διάγραμμα 3.35: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-49, «λάδι 3»



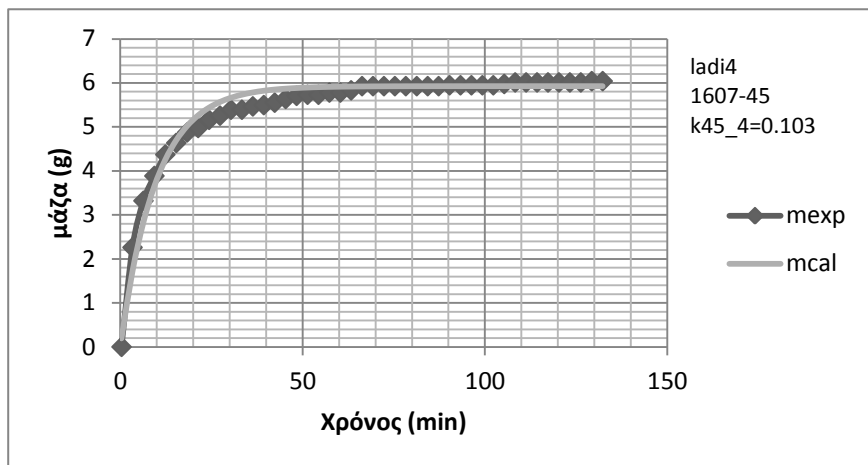
Διάγραμμα 3.36: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-50, «λάδι 3»



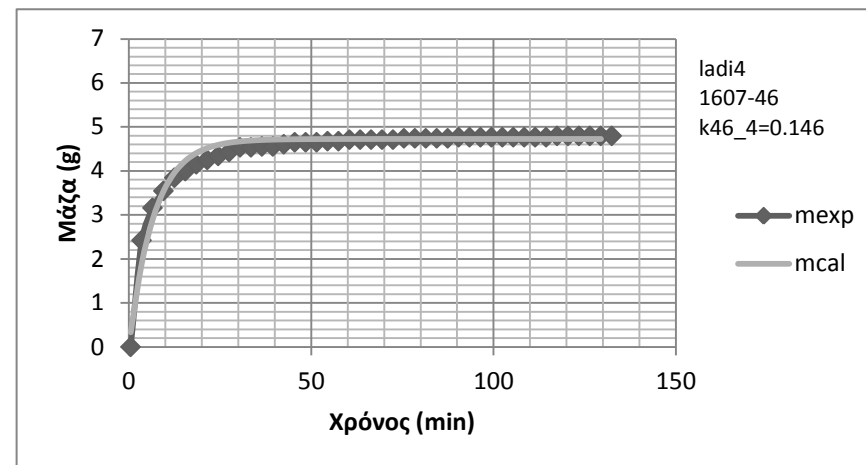
Διάγραμμα 3.37: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-51, «λάδι 3»



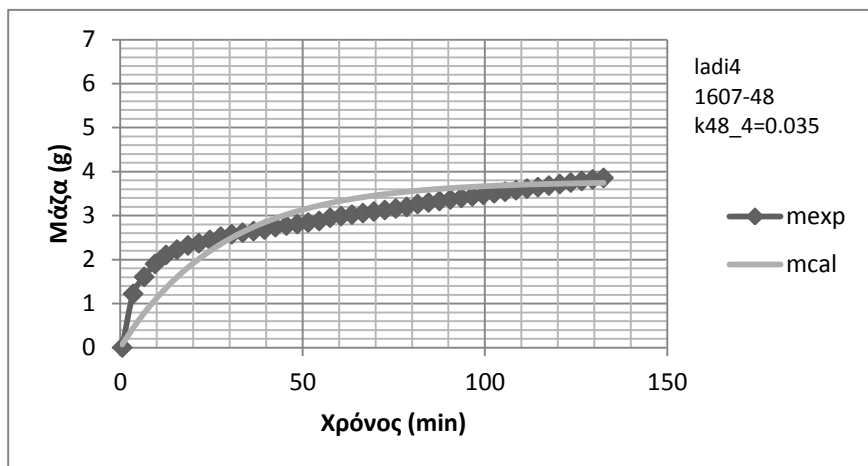
Διάγραμμα 3.38: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-52, «λάδι 3»



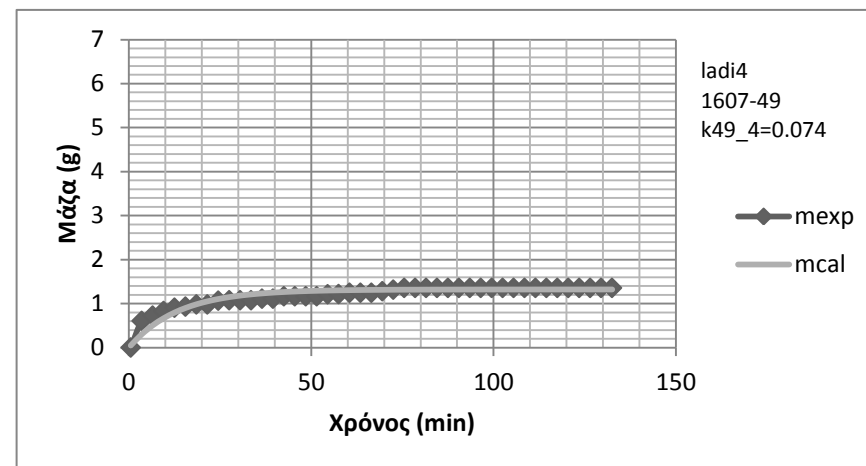
Διάγραμμα 3.39: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-45, «λάδι 4»



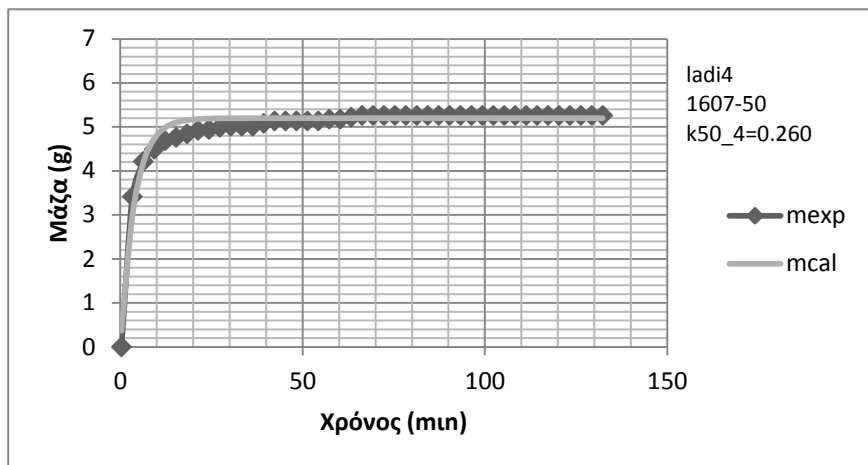
Διάγραμμα 3.40: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-46, «λάδι 4»



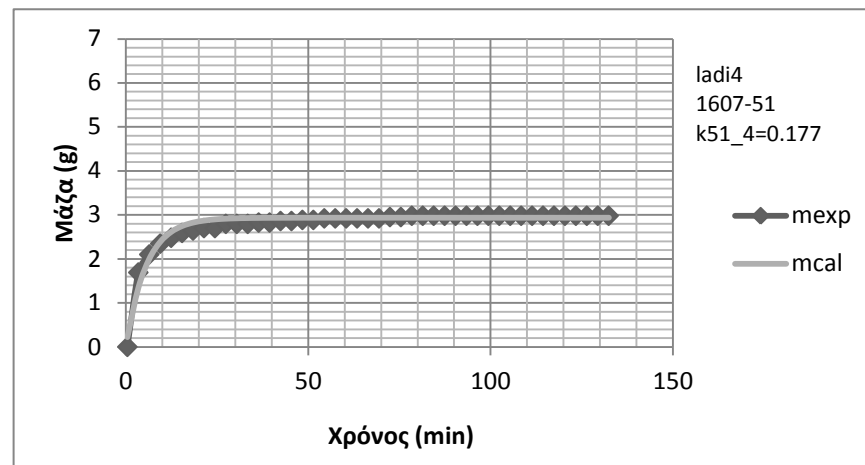
Διάγραμμα 3.41: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-48, «λάδι 4»



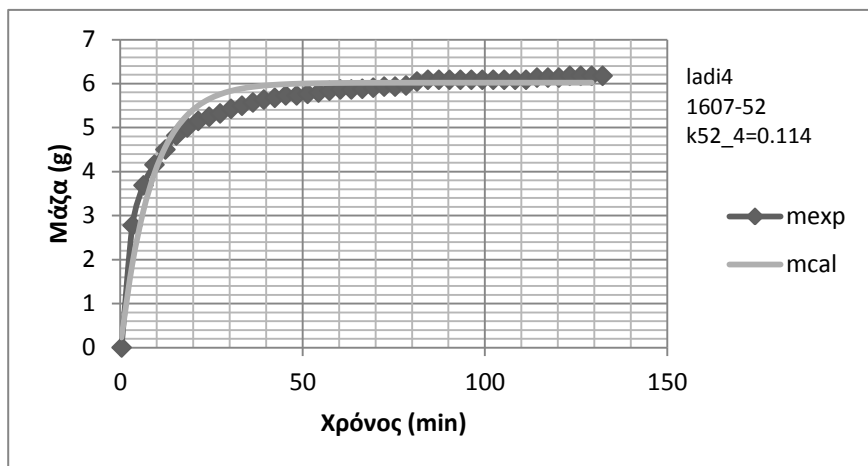
Διάγραμμα 3.42: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-49, «λάδι 4»



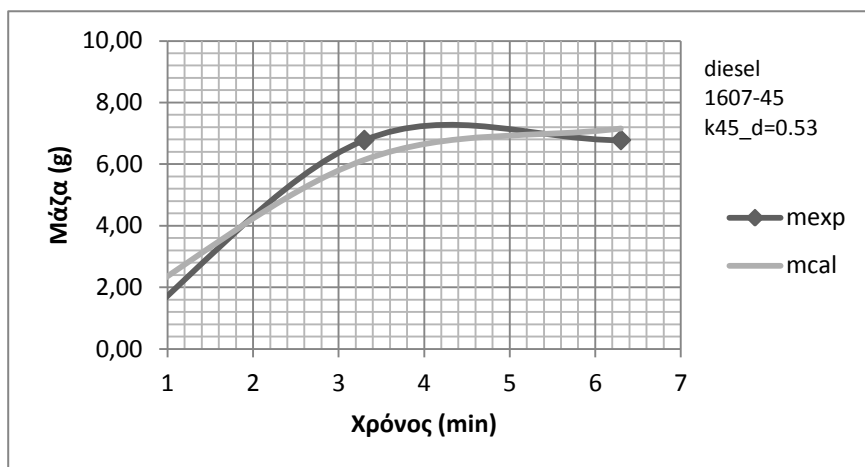
Διάγραμμα 3.43: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-50, «λάδι 4»



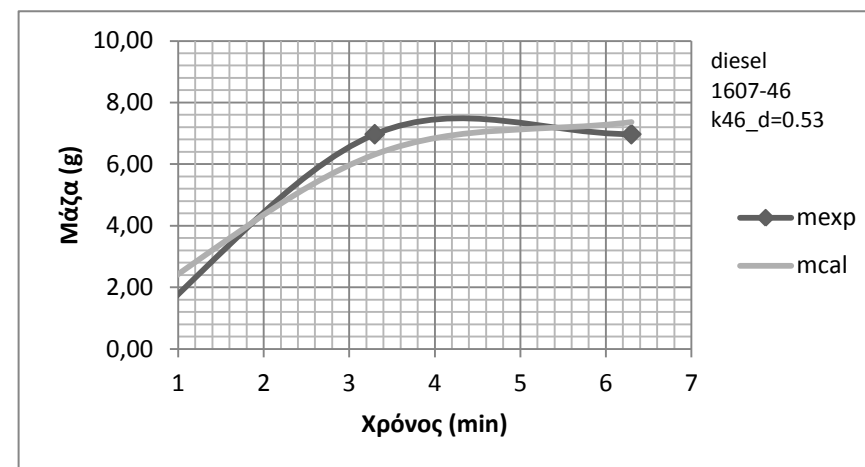
Διάγραμμα 3.44: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-51, «λάδι 4»



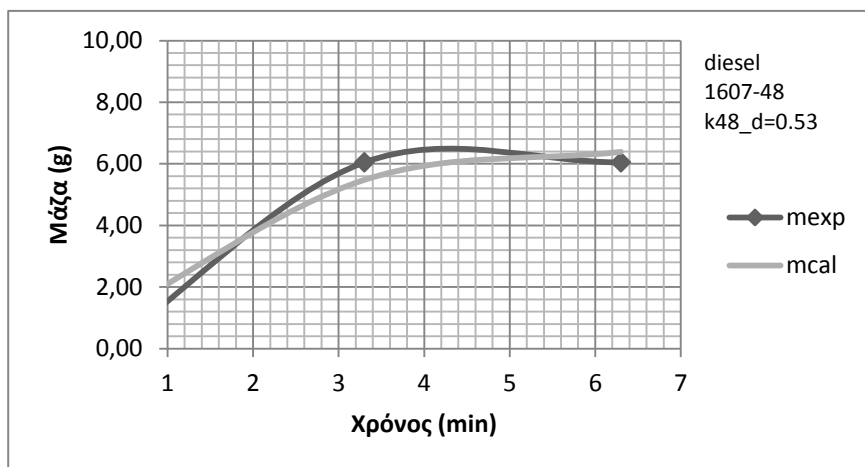
Διάγραμμα 3.45: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-52, «λάδι 4»



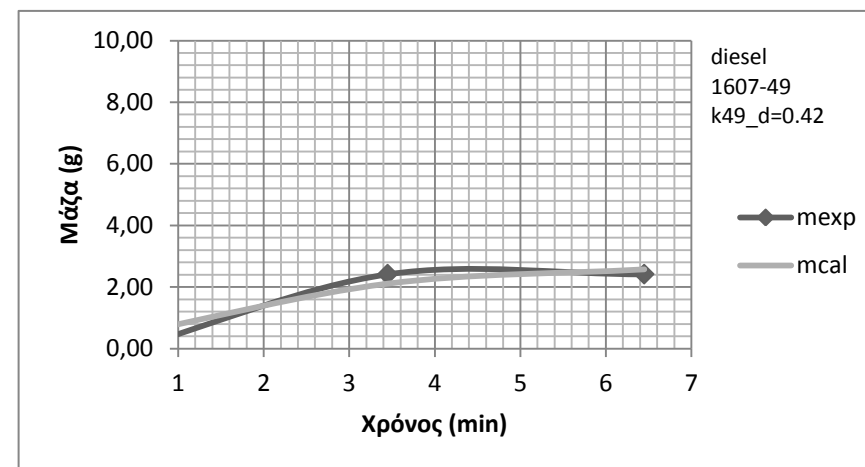
Διάγραμμα 3.46: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-45, «diesel»



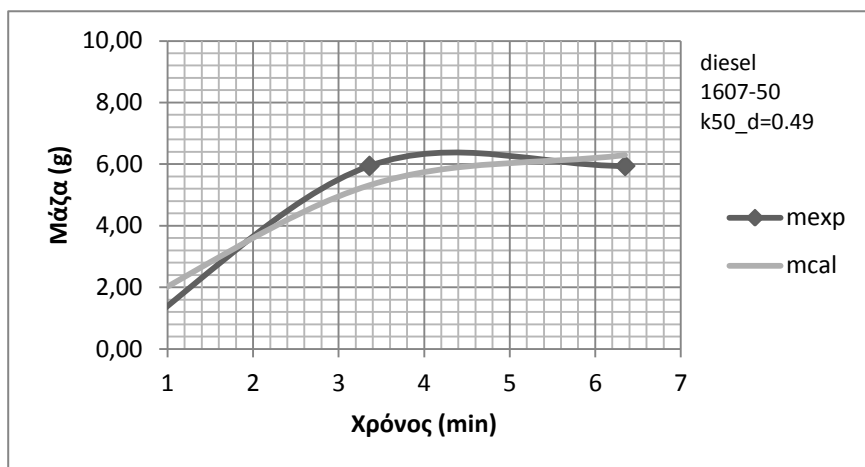
Διάγραμμα 3.47: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-46, «diesel»



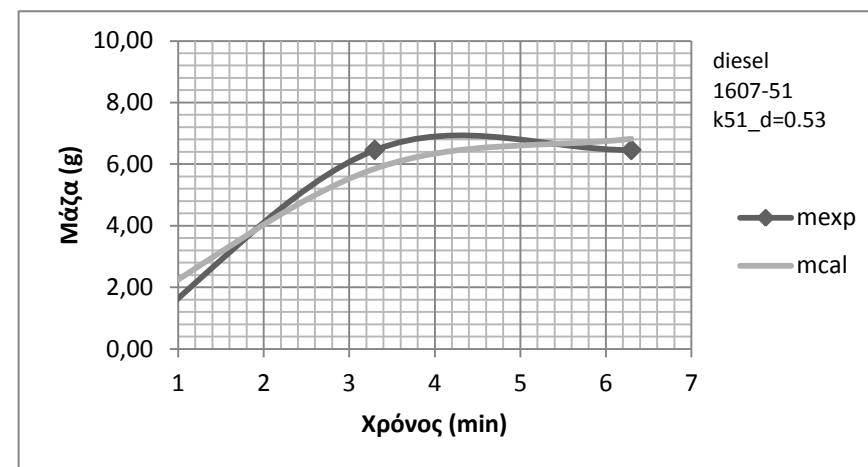
Διάγραμμα 3.48: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-48, «diesel»



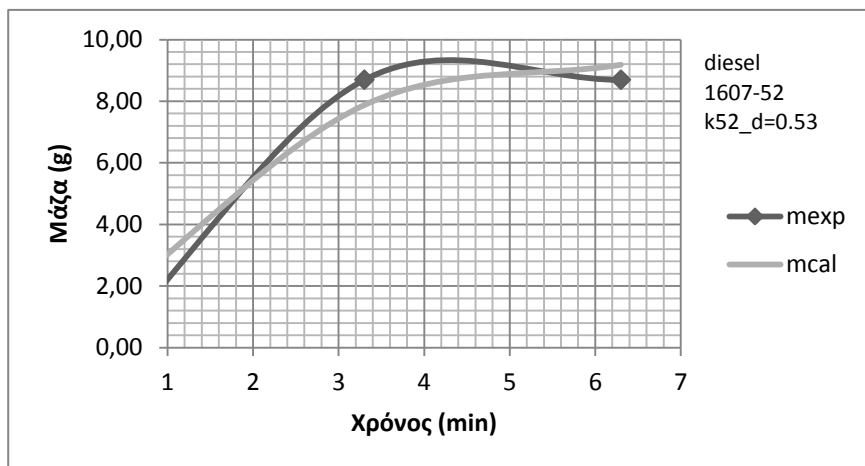
Διάγραμμα 3.49: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-49, «diesel»



Διάγραμμα 3.50: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-50, «diesel»



Διάγραμμα 3.51: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-51, «diesel»



Διάγραμμα 3.52: Προσαρμογή θεωρητικών τιμών (m_{cal}) στις πειραματικές τιμές (m_{exp}), σύνθεση 1607-52, «diesel»

Το επιλεγμένο μοντέλο κινητικής πρώτης τάξεως για τη διερεύνηση της ρεολογικής συμπεριφοράς των μελετώμενων συνθέσεων πορώδους σκυροδέματος αντιπλημμυρικής προστασίας παρουσιάζει πολύ καλή προσαρμογή για τα λιπαντικά μηχανής 1 έως 4 καθώς και για το diesel κίνησης. Η πορεία του υγρού μέσα από το ενεργό πορώδες των δοκιμών είναι ένα φυσικό φαινόμενο που ακολουθεί κινητική πρώτης τάξης. Παρατηρείται ότι η σταθερά k της εξίσωσης του μοντέλου αυξάνεται με την αύξηση του ιξώδους του διερχόμενου υγρού.

3.8. Συμπεράσματα

Στα μικρότερα ιξώδη οι συνθέσεις με ασβεστολιθικά αδρανή παρουσιάζουν μεγαλύτερο συντελεστή ροής και η συμπεριφορά τους σε λιπαντικά μεγαλύτερου ιξώδους είναι καλύτερη από τις συνθέσεις με σκωρία γιατί οι ανομοιόμορφοι μεν εσωτερικοί πόροι της δομής των δοκιμών έχουν μεγαλύτερο μέγεθος και διευκολύνουν έτσι τη ροή.

Οι συνθέσεις με σκωρία παρουσιάζουν την χειρότερη τάση ροής σε μεγαλύτερα ιξώδη και την καλύτερη τάση ροής σε μικρότερα ιξώδη, αφού το εσωτερικό πορώδες των δοκιμών είναι ομοιόμορφο και δεν είναι τόσο μεγάλο λόγω υψηλού packing των αδρανών κατά την συμπύκνωση. Αυτό εξηγείται και από τα αποτελέσματα του πορώδους από το CT όπου φαίνεται ότι το πορώδες μειώνεται καθώς οδηγούμαστε στα κατώτερα στρώματα του δοκιμίου.

Επίσης η ευκολία με την οποία μπορεί να αλλάξει πορεία ένα λάδι χαμηλού ιξώδους φαίνεται από τα αποτελέσματα για τις συνθέσεις 1607-45 και 1607-51 όπου συμβαίνει - λόγω της φύσης και της αναλογίας των αδρανών - δημιουργία δαιδαλωδών διαδρόμων ενεργού πορώδους με αποτέλεσμα την αλλαγή της πορείας του υγρού και την αύξηση του χρόνου αποκατάστασης της ισορροπίας.

Σημαντικός όμως παράγοντας που επηρεάζει τα αποτελέσματα και δεν πρέπει να παραβλέπεται, είναι ότι η χύτευση του πορώδους σκυροδέματος αποτελεί σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει για το τελικό εσωτερικό πορώδες της κατασκευής των δοκιμών, αφού εξαρτάται άμεσα από την πίεση που ασκείται κατά τη διάρκειά της καθώς και από την καλή και συχνή ανάμειξη του νωπού σκυροδέματος, ώστε σε κάθε δοκίμιο να υπάρχει όσο το δυνατό σωστότερη αναλογία πρώτων υλών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1 Σύνοψη Συμπερασμάτων

Επειδή, όπως προαναφέρθηκε, το νερό της βροχής παρασύρει αέριους και στερεούς ρυπαντές οι οποίοι εναποτίθενται στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και αποτελούν κίνδυνο για την υγεία υποβαθμίζοντας την ποιότητα του νερού, η πρόταση χρήσης ενός εναλλακτικού μέτρου αντιπλημμυρικής προστασίας το οποίο εφαρμόζεται σε χώρους στάθμευσης, πρατήρια υγρών καυσίμων, στα ρείθρα μεγάλων οδικών αρτηριών, κ.α., επέβαλε την εξέταση του υλικού ως προς τη δυνατότητα κατακράτησης ανόργανων και οργανικών ρύπων οι οποίοι παρασυρόμενοι στην επιφάνειά του μπορεί να διαπεράσουν τη μάζα του καταλήγοντας στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα μολύνοντας τα υπόγεια ύδατα.

Τα αποτελέσματα από τη διερεύνηση κατακράτησης ανόργανων ρύπων από το υπό μελέτη εναλλακτικού τύπου, σκυρόδεμα αντιπλημμυρικής προστασίας δείχνουν ότι υπάρχει δυνατότητα κατακράτησης από τη μάζα του νιτρικών ιόντων με χημική ή φυσική προσρόφηση στο πορώδες των αδρανών, ενώ δεν εμφανίζεται η ίδια συμπεριφορά για τα θειικά ιόντα. Παρατηρήθηκε ότι τα θειικά ιόντα δεν κατακρατούνται από τις υπό μελέτη συνθέσεις. Μετά το πέρας των παραπάνω δοκιμών ακολούθησε διήθηση απιονισμένου νερού από τα ήδη προσβεβλημένα με νιτρικό οξύ δοκίμια των συνθέσεων 1607-39 και 1607-41 (50% ασβεστολιθικά – 50% οικοδομικά απόβλητα) παρατηρήθηκε ότι μια πολύ μικρή ποσότητα νιτρικών ιόντων εκπλένεται από αυτά. Η κατακράτηση νιτρικών ιόντων για μικρές συγκεντρώσεις εμφανίζεται μικρότερη από αυτήν για μεγάλες συγκεντρώσεις. Το αποτέλεσμα αυτό πιθανώς οφείλεται στο μικρό χρόνο διέλευσης του διαλύματος ρυπαντή από το δοκίμιο. Όσον αφορά στην εξέταση της περίπτωσης χημικής κατακράτησης, λόγω της υψηλής ταχύτητας της διήθησης του διαλύματος, πιθανότατα δεν δίνεται ο απαραίτητος χρόνος για τη διεξαγωγή χημικής αντίδρασης. Επίσης, εξετάζοντας την περίπτωση φυσικής ρόφησης, ο αυξημένος ρυθμός ροής εμποδίζει την κατακράτηση των ιόντων του ρυπαντή. Η κατακράτηση νιτρικών ιόντων ήταν έντονη για μεγάλες συγκεντρώσεις ρυπαντή. Τέτοιες συγκεντρώσεις χαρακτηρίζονται ακραίες για το λόγο ότι η όξινη βροχή έχει πολύ μικρότερη περιεκτικότητα σε νιτρικά ιόντα.

Συμπερασματικά, οι συνθέσεις που φαίνεται ότι συγκρατούν μεγαλύτερο ποσοστό ανόργανων ρυπαντών είναι εκείνες που περιέχουν ως αδρανή σκωρία χάλυβα και οικοδομικά απόβλητα, αδρανή με μεγαλύτερο πορώδες από αυτό των γενικά χρησιμοποιούμενων ασβεστολιθικών αδρανών. Οι ανόργανοι ρύποι εγκλωβίζονται στο εσωτερικό πορώδες των αδρανών ροφώμενοι είτε φυσικά είτε χημικά και δύσκολα αποσπώνται μετά από δεύτερη και τρίτη διέλευση καθαρού νερού.

Μετά την υποβολή σε φασματομετρία ατομικής απορρόφησης, επιλεγμένων διηθημάτων που παρελήφθησαν από την μελέτη κατακράτησης ανόργανων ρυπαντών και αντιπροσώπευαν κυρίως συνθέσεις με σκωρία χάλυβα και ασβεστολιθικά ως αδρανή, ενώ και οικοδομικά απόβλητα σε μικρότερο ποσοστό, βρέθηκε ότι η διέλευση όξινων διαλυμάτων διαμέσου του υπό μελέτη υλικού δεν επιδρά σημαντικά στην ανθεκτικότητά του αφού η απομείωση των χαρακτηριστικών κάθε σύνθεσης μετάλλων Fe και Ca δεν ήταν σημαντική. Η απώλεια όμως άλλων μετάλλων από τον όγκο των δοκιμών, όπως Μαγγάνιο, Νικέλιο και Χρώμιο ακολουθεί τιμές οι οποίες υπερβαίνουν τα όρια καταλληλότητας πόσιμου νερού που έχουν προταθεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας έως και 14 φορές εντείνοντας έτσι την πιθανότητα μόλυνσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

Όσον αφορά στη διερεύνηση κατακράτησης οργανικών ρύπων από τις υπό μελέτη συνθέσεις διαπερατού σκυροδέματος, τα αποτελέσματα των μετρήσεων Ολικού Οργανικού Άνθρακα που ελήφθησαν από την εξέταση των διηθημάτων που προέκυψαν από διέλευση νερού από δοκίμια από τα οποία είχε πρότερα διέλθει λιπαντικό μηχανής και diesel κίνησης, έδειξαν ότι η εφαρμογή πορώδους σκυροδέματος αποτελεί έναν πολύ καλό τρόπο προστασίας του υπεδάφους από τη μόλυνση από οργανικούς ρυπαντές. Τα ποσοστά οργανικών ρύπων που παρασύρθηκαν κυμαίνονται από 0,05 έως 0,1% και όπως προαναφέρθηκε, η βιβλιογραφία έχει δείξει ότι αποτελούν τροφή για τους αναπτυσσόμενους στη διεπιφάνεια σκυροδέματος – εδάφους μικροοργανισμούς, μην καταλήγοντας έτσι να μολύνουν τα υπόγεια ύδατα.

Κατά τη διερεύνηση της ικανότητας των υπό μελέτη συνθέσεων πορώδους σκυροδέματος για κατακράτηση ανόργανων και οργανικών ρύπων, δημιουργήθηκε η ανάγκη για τη μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς των υπό μελέτη συνθέσεων πορώδους σκυροδέματος σε λιπαντικά διαφορετικού ιξώδους και έγινε προσπάθεια να εξαγωγής μοντέλου ρεολογικής συμπεριφοράς για κάθε μια από τις μελετώμενες συνθέσεις ώστε να συσχετιστεί το υπολογισμένο ενεργό πορώδες με τη συνολική συμπεριφορά κάθε σύνθεσης σε κάθε λιπαντικό διαφορετικού ιξώδους.

Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έδειξαν ότι, στα μικρότερα ιξώδη οι συνθέσεις με ασβεστολιθικά αδρανή παρουσιάζουν μεγαλύτερο συντελεστή ροής και η συμπεριφορά τους σε λιπαντικά μεγαλύτερου ιξώδους είναι καλύτερη από τις συνθέσεις με σκωρία, γιατί οι ανομοιόμορφοι μεν εσωτερικοί πόροι της δομής των δοκιμών έχουν μεγαλύτερο μέγεθος και διευκολύνουν έτσι τη ροή.

Οι συνθέσεις με σκωρία παρουσιάζουν την χειρότερη τάση ροής σε μεγαλύτερα ιξώδη και την καλύτερη τάση ροής σε μικρότερα ιξώδη, αφού το εσωτερικό πορώδες των δοκιμών είναι ομοιόμορφο και δεν είναι τόσο μεγάλο λόγω υψηλού packing των αδρανών κατά την συμπύκνωση.

Αυτό εξηγείται και από τα αποτελέσματα του πορώδους από το CT όπου φαίνεται ότι το πορώδες μειώνεται καθώς οδηγούμαστε στα κατώτερα στρώματα του δοκιμίου.

Επίσης, η ευκολία με την οποία μπορεί να αλλάξει πορεία ένα λιπαντικό χαμηλού ιξώδους φαίνεται από τα αποτελέσματα για τις συνθέσεις 1607-45 και 1607-51 - με ποσοστό ασβεστολιθικών αδρανών 100% και ασβεστολιθικών 50%, οικοδομικών αποβλήτων 25%, σκωρίας χάλυβα 25% αντίστοιχα- όπου έχουμε, λόγω της φύσης και της αναλογίας των αδρανών, δημιουργία δαιδαλωδών διαδρόμων ενεργού πορώδους με αποτέλεσμα τη συνεχόμενη αλλαγή της πορείας του υγρού και την αύξηση του χρόνου αποκατάστασης της ισορροπίας.

Σημαντικό όμως δεδομένο που επηρεάζει τα αποτελέσματα και δεν πρέπει να παραβλέπεται είναι ότι η χύτευση του πορώδους σκυροδέματος αποτελεί σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει το τελικό εσωτερικό πορώδες της κατασκευής των δοκιμίων, αφού εξαρτάται άμεσα από την πίεση που ασκείται κατά τη διάρκειά της, καθώς και από την καλή και συχνή ανάμειξη του νωπού σκυροδέματος, ώστε σε κάθε δοκίμιο να υπάρχει όσο το δυνατό σωστότερη αναλογία πρώτων υλών.

4.2. Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Το πορώδες σκυρόδεμα αποτελεί ένα υλικό με μεγάλο ενδιαφέρον, βρίσκει πολλές εφαρμογές και διακρίνεται για τα οικολογικά του χαρακτηριστικά. Το υλικό αυτό μπορεί να παρέχει λύση εφαρμοζόμενο σε σημεία όπου δεν υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις αντοχών και η εφαρμογή συμβατικού σκυροδέματος δεν ενδείκνυται. Οι δυνατότητες εκτεταμένης εφαρμογής του πορώδους σκυροδέματος ως μέσο αντιπλημμυρικής προστασίας δημιουργούν την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο το υλικό αυτό συμπεριφέρεται κατά τη ροή από τη μάζα του υγρών, διαφόρων τύπων, ή η προσπάθεια για ανάπτυξη μεθόδων παραγωγής, με σκοπό την όσο το δυνατό καλύτερη πρόβλεψη της κατανομής του ενεργού πορώδους του τελικού προϊόντος.

Ως επέκταση της παρούσας ερευνητικής εργασίας θα μπορούσε να προταθεί περαιτέρω μελέτη κατακράτησης ανόργανων και οργανικών ρύπων με προσομοίωση περισσότερων πηγών μόλυνσης, εκτός του νερού της βροχής και των ατυχημάτων απώλειας λιπαντικών και καυσίμων από οχήματα, καθώς και η διερεύνηση της συμπεριφοράς διαφόρων συνθέσεων πορώδους σκυροδέματος με κατακρατημένους ρύπους σε πλέον των δύο εκπλύσεων με νερό, ώστε να εξακριβωθεί η συμπεριφορά του υλικού μετά από έντονες βροχοπτώσεις μεγάλης διάρκειας.

Προτείνεται επίσης, η μελέτη του ποσοστού κορεσμού του πορώδους από στερεούς και υγρούς ρύπους, γεγονός που οδηγεί πιθανόν σε μείωση του ποσοστού των κενών και αναστολή της βασικής του λειτουργίας.

Τέλος, εκμεταλλευόμενοι το υψηλό ποσοστό κενών στον ιστό του πορώδους σκυροδέματος και από μία καλλιτεχνική, αλλά ταυτόχρονα λειτουργικής σημασίας οπτική, προτείνεται να αναζητηθούν τρόποι εφαρμογής υλικών μέσα στον χώρο των κενών που να συσσωρεύουν και να ανακλούν το ηλιακό φως. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να δημιουργηθούν κατασκευές όπως τοιχία ή δάπεδα με λειτουργικό αλλά και διακοσμητικό ρόλο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ACI Committee (2006). 522R-06: “*Pervious Concrete*” Technical Documents.

ACI Committee (2008). 522.1-08: “Specification for Pervious Concrete Pavement.” Technical Documents.

Alan Sparkman, (2001). “Why Pervious Concrete?.” In: “*Tennessee Concrete*” Magazine.

Chindaprasirt P., Hatanaka S., Chareerat T., Mishima N., Yuasa Y., (2006). “*Cement paste characteristics and porous concrete properties*”, Department of Civil Engineering, Khon Kaen University, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Mie University, Industrial Research Division, Mie Prefecture Science and Technology Promotion Center.

Dan Huffman, (2005). “*Precast Bridges, the Innovation Gap*”, In: *The Construction Specifier magazine*, , December 2005 pp.42-49.

G.Vardaka, C-T. Galbenis, S. Tsimas, (2010). “ *Evaluation of Construction and Demolition Wastes as Aggregates in Pervious Concrete*”, Proceedings of Special Technical Sessions, Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Ancona, Italy, p.221-225.

Georgia Vardaka, Christos Leptokaridis, Stamatis Tsimas, (2011). “*Use of steel slag as coarse aggregate for the production of pervious concrete*”, 6th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Dubrovnik, Croatia

Herod, S., (1981). “*Porous concrete market blooms in greenhouse*”, Modern Concrete January: 40-44.

Koutsoyiannis, D., N. Mamassis, A. Efstathiadis, N. Zarkadoulas, and Y. Markonis, (2012). “*Floods in Greece*”, *Changes of Flood Risk in Europe*, edited by Z. W. Kundzewicz, Chapter 12, 238–256, IAHS Press, Wallingford – International Association of Hydrological Sciences.

Meininger R.,C. (1988). “No-Fines Pervious Concrete for Paving”, Concrete International, Vol 10, No 8.

Monahan. A., (1981). “*Porous Portland cement concrete; the state of art*”, USA.

Narayanan Neithalath, Milani S. Sumanasooriya, Omkar Deo, (n.d). “*Characterizing pore volume, sizes, and connectivity in pervious concretes for permeability prediction*”, Department of Civil and Environmental Engineering, Clarkson University, Potsdam, NY 13699, USA.

National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) (2011). *“Pervious Concrete –When it rains it drains”* (πηγή:<http://www.nrmca.org/aboutconcrete/when-it-rains-it-drains.pdf>)

National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) (2004b). *“What, Why, and How? Pervious Concrete”*, Concrete in Practice Series, CIP 38, Silver Spring, Maryland, 2 pages.

Neithalath N., Weiss W.J., Olek J. (2006). *“Predicting the permeability of pervious concrete from non-destructive electrical measurements”*, proceedings of the 2006 Concrete Technology Forum on Pervious Concrete (in CD-ROM).

Offenberg M. (2005). *“Hints for the engineer, contractor on replacement of pervious concrete”* In: *Concrete International Magazine*, Vol. 27, No. 3.

Offenberg M. (2005). *“Producing Pervious Pavements, Hints for the engineer, contractor on placement of pervious concrete”*, In: *Concrete International magazine*.

Shield (2004). *“A scientific Journey to Natural Hazards and Disasters”*, πηγή: <http://www.learn-hazards.org/5.php?l=gr>

Signorini S.R. and Co-Authors (2012). *“Update Knowledge of Geoscientific Models”* Vertical News Global Warming via www.VerticalNews.com.

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (n.d.). *“Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”* (eds.) [Cambridge University Press](http://www.cambridge.org/9780521464601), p:996.

Somero Enterprises, Inc. (2010). *“The Practical Application and Economic and Environmental Benefits of Pervious Concrete”*, Πηγή: <http://www.somero.com>.

Stadtentwässerungs-betriebe Köln, AoR (2005). *“Early Warning Systems in the Framework of the Cologne Flood Protection Scheme”*

World Health Organization (WHO) (2011). *“Guidelines for drinking-water quality fourth edition”*, Πηγή:http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/index.html.

Βαρδάκα Γ., Ζερή Ε. (n.d.). «Διάβρωση Υλικών από την Όξινη Βροχή», Ε.Μ.Π., Πηγή: http://www.chemeng.ntua.gr/courses/dpm/pdf-files/14-vardaka-OKSINH_BROXH-2005-6.pdf.

Καστρίδης Α. Στάθης Δ. (n.d.). «Τα Χαρακτηριστικά των Κατακρημισμάτων της Ορεινής Χαλκιδικής», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος.

Λυκούδης Σ. (2008). «Διαπερατό Σκυρόδεμα», περιοδικό: «Εργοταξιακά Θέματα», pp.26-30.

Μαλλιάρης Αναστάσιος (2010). Διπλωματική Εργασία, «Διαχείριση Υδατικών Αποθεμάτων Ταμιευτήρων σε Συνθήκες Κλιματικής Αλλαγής – Εφαρμογή στους Ταμιευτήρες Πλαστήρα και Σμοκόβου Θεσσαλίας», Ε.Μ.Π..

Μ.Α. Μιμίκου, Φ.Σ. Φωτόπουλος (2004). «Σημειώσεις στο Μεταπτυχιακό μάθημα Υδατικό Περιβάλλον και Ανάπτυξη», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Διεπιστημονικό - Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (Δ.Π.Μ.Σ.) "Περιβάλλον και Ανάπτυξη".

Μιχάλης Π., Δημητρίου Σ. (2007). Πτυχιακή Εργασία, «Μελέτη Σύνθεσης Σκυροδέματος», ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Τομέας Τεχνικών Έργων.

Μπέλλος Κ.Β. (2006). «Σημειώσεις Μαθήματος Υδρολογίας, Κεφάλαιο 7, Αντιπλημμυρικά Έργα», Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πηγή: (<http://utopia.duth.gr/~kbellos/>).

Παπαχρήστου Σ. (2008). Διπλωματική Εργασία, «Φυσικοί Κίνδυνοι – Διαχείριση Φυσικών Κινδύνων, Εφαρμογή Εκτίμησης Κατολισθητικής Επικινδυνότητας» Θεσσαλονίκη, pp:59.

Πάνου Ε. (n.d.). «Το πλημμυρικό καθεστώς στην Ελλάδα - διαχείριση πλημμυρών στα πλαίσια της οδηγίας πλαίσιο 2000/60: η περίπτωση του Πηνειού Θεσσαλίας», Μεταπτυχιακή Εργασία - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Διεπιστημονικό - Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (Δ.Π.Μ.Σ.) "Περιβάλλον και Ανάπτυξη".

Σφακιανάκη Μ., Μαγάλιου Κ, Μπότσαρης Ι. (n.d.). «Έδαφος: Ρύπανση, Διάβρωση, Ερημοποίηση», Προγράμματα Ανοικτών Περιβαλλοντικών Τάξεων «ΚΑΛΛΙΣΤΩ», Πρόγραμμα Προστασίας Περιβάλλοντος και Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης, ΕΠΕΑΕΚ II.

[WWW]: <http://www.ipcc.ch/>

[WWW]: <http://global-warming.verticalnews.com>

[WWW]: <http://climatechange.gr.wordpress.com/>

[WWW]: <http://www.gscp.gr/ggpp/site/home/ws/promote/fisikes/plimires.csp;jsessionid=1430cf38ef>

[WWW]: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreekhi.html>

[WWW]: <http://www.learn-hazards.org/5.php?l=gr>

[WWW]: http://utopia.duth.gr/~kbellos/SHMEIOSEIS_MATHIMATON/YDROLOGIA/ (Μπέλλος, 2006)

[WWW]: <http://itia.ntua.gr/nikos/floods/antipl.pdf>

[WWW]: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm

[WWW]: <http://www.geo-info.gr>

ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Δανάη Γ. Αλαμάνου
Χημικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Διεύθυνση Κατοικίας: Μαγνησίας 21, 17122 Ν. Σμύρνη
Τηλέφωνα : 693-4506739, 2109354165
Διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου: danai.alamanou@gmail.com
Ημερομηνία Γέννησης: 18 Ιανουαρίου 1982
Οικογενειακή Κατάσταση: Άγαμος
Άδεια Οδήγησης : Κάτοχος Άδειας Οδήγησης Β' Κατηγορίας

Επαγγελματική Εμπειρία

04/2010- 08/2010: εξυπηρέτηση πελατών, τομέας τηλεπικοινωνιών

- Υποκατάστημα ΟΤΕ-COSMOTE Νέας Σμύρνης.

07/2008 - 12/2009: Πωλήσεις, τομέας τηλεπικοινωνιών

- Υποκατάστημα κινητής τηλεφωνίας WIND συνεργάτη, Νέα Σμύρνη, Αθήνα, Ιδιοκτησία Ε. Σαββόπουλος – Α. Μούγιος
- Υπεύθυνη Πωλήσεων υποκαταστήματος κινητής τηλεφωνίας WIND συνεργάτη, Ληξούρι Κεφαλονιάς, Ιδιοκτησία Κ.Φραγκιάς - Κ. Παππαδάτου.

03/2007 – 06/2008: Γραμματειακή Υποστήριξη – Study Coordinator

- Απασχόληση στον Όμιλο Ευρωκλινικής σε θέση “**Study Coordinator**” όλων των Ερευνητικών Πρωτοκόλλων της Β΄ Παθολογικής Κλινικής, με επί κεφαλής Ερευνητή την Καθηγήτρια **Φ.Ν. Σκοπούλη – Μουτσοπούλου**.

07/2004 – 08/2004: Πρακτική Άσκηση

- Απασχόληση στις εργοστασιακές εγκαταστάσεις της εταιρίας “**Νικ. & Μεν.Πετζετάκης Α.Ε.**”, στα πλαίσια πρακτικής άσκησης

Σπουδές

10/2010 – σήμερα

Δ.Π.Μ.Σ. «Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών», Σχολή Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

10/2000 – 07/2006

Δίπλωμα Χημικού Μηχανικού, Σχολής Χημικών Μηχανικών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας:

“Εκθεση Ομάδων Πληθυσμού σε Ατμοσφαιρικούς Ρύπους στην Περιοχή της Αθήνας”.

Ξένες Γλώσσες:

Αγγλικά, First Certificate in English, Cambridge University, επίπεδο γνώσης πολύ καλό.

Συμμετοχή σε Συνέδρια- Σεμινάρια - Ημερίδες

7/5/2011

Σεμινάριο Logistics Management, Kariera Business Seminars.

9-26/6/2009

“Βασική Εκπαίδευση και Τεχνικές Πωλήσεων” Wind Ελλάς Τηλεπικοινωνίες Α.Ε.Β.Ε.

3-7/7/ 2006

Διεθνές Συνέδριο “Protection and Restoration of the Environment VIII”, Χανιά Κρήτης.

14/10/2004

Ημερίδα με θέμα: “Τεχνολογίες Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων”, Αθήνα.

23/11/2003

Ημερίδα με θέμα: “Αξιοποίηση Αποβλήτων προς Όφελος του Ανθρώπου”, Αθήνα.

Ερευνητικό Έργο

A. Δημοσιεύσεις σε διεθνή περιοδικά με κριτές

“Mass and Number PM Concentrations In-Vehicle and Near Major Roads in the Athens Area”- APCT_17 (E. Diapouli, D. Alamanou, G. Grivas, V.Kanouta, A. Chaloulakou, N. Spyrellis).

B. Παρουσιάσεις σε διεθνή συνέδρια

Παρουσίαση στην Αγγλική γλώσσα της εργασίας με θέμα: “Mass and Number PM Concentrations In-Vehicle and Near Major Roads in the Athens Area”- APCT_17 (E. Diapouli, D. Alamanou, G. Grivas, V.Kanouta, A. Chaloulakou, N. Spyrellis) στο Διεθνές Συνέδριο “Protection and Restoration of the Environment VIII”, που διεξήχθη στα Χανιά Κρήτης.

Γνώσεις Η/Υ

- 1.Χρήση Η/Υ σε περιβάλλον WINDOWS 98, ME, 2000, NT, XP, VISTA
- 2.MS Office Suite (WORD, EXCEL, POWERPOINT, OUTLOOK)
- 3.Χρήση στατιστικών πακέτων (MINITAB)
- 4.Εξοικείωση με την εφαρμογή SAP και τη φιλοσοφία λειτουργίας του συστήματος

Ειδικές Γνώσεις

1. Εμπειρία στις μεθόδους χημικής ανάλυσης και ικανότητα χειρισμού οργάνων διεξαγωγής ποσοτικών και ποιοτικών χημικών αναλύσεων, αποκτηθείσα κατά τη φοίτησή μου στη σχολή Χημικών Μηχανικών.
2. Εμπειρία στον χειρισμό ηλεκτρονικών και σταθμικών οργάνων μέτρησης ατμοσφαιρικών ρύπων στα πλαίσια εκπόνησης πρωτοκόλλων δειγματοληψιών.
3. Συμπλήρωση CRF (Case Report Forms) και e-CRF, GCP Training, κάτοχος “Certificate of Shipping the Roche Way”.
4. Συμμετοχή σε Κλινικές Μελέτες, μερικές εκ των οποίων είναι:
 - WA17823 (Tocilizumab), WA20494 Stage (Ocrelizumab), Launch (Mabthera) για λογαριασμό της ROCHE.
 - August 27298 (Atacicept) για ασθενείς με Ρευματοειδή Αρθρίτιδα, April SLE 27646 (Atacicept) για ασθενείς με Συστηματικό Ερυθηματώδη Λύκο, για λογαριασμό της MERCK SERONO.

Μέλος επιστημονικών Επιτροπών και Οργανισμών

- Μέλος Πανελληνίου Συνδέσμου Χημικών Μηχανικών (Π.Σ.Χ.Μ.)
- Μέλος Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.)

Συστάσεις

- Δρ. Χαλουλάκου Αρχοντούλα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Ε.Μ.Π.
 - Δρ. Σκοπούλη Φωτεινή, Παθολόγος- Ανοσολόγος, Δ/ντρια Β΄ Παθολογικής Κλινικής «Ευρωκλινική Αθηνών», Καθηγήτρια Χαροκοπίου Πανεπιστημίου
-

Γεννήθηκα στις 18/01/1982 στην Αθήνα και διαμένω με την οικογένειά μου στη Νέα Σμύρνη. Αποφοίτησα από το 1^ο Λύκειο Νέας Σμύρνης.

Το ακαδημαϊκό έτος 1999-2000 πέτυχα την εισαγωγή μου στη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. Κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στη σχολή παρέδίδα ιδιαίτερα μαθήματα χημείας, φυσικής και μαθηματικών σε μαθητές Γυμνασίου και Λυκείου.

Στο τρίτο έτος των σπουδών επέλεξα την κατεύθυνση των «*Ανόργανων Βιομηχανιών*». Στο ίδιο έτος, στα πλαίσια του μαθήματος της «*Μεταλλογνωσίας*» συμμετείχα σε εργασία σχετική με τη χρήση των μετάλλων στη γλυπτική όπου μου δόθηκε η ευκαιρία να αναγνωρίσω την άρρηκτη σχέση μεταξύ επιστήμης και τέχνης.

Κατά τη διάρκεια του τέταρτου έτους σπουδών συμμετείχα σε *ερευνητικό πρόγραμμα του Τομέα Ανάλυσης, Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων* της Σχολής το οποίο αφορούσε μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων ατμοσφαιρικών ρύπων. Στα πλαίσια αυτού του προγράμματος έκανα δειγματοληψίες ατμοσφαιρικών ρύπων στην περιοχή του κέντρου της Αθήνας και συμμετείχα στη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Το ίδιο ακαδημαϊκό έτος απασχολήθηκα στα πλαίσια πρακτικής άσκησης στην εταιρία *ΠΕΤΖΕΤΑΚΗΣ ΝΙΚ. & ΜΕΝ. Α.Ε.* (αφρώδη πλαστικά και ελαστικά). Συμμετείχα στην παραγωγή αφρολέξ και στον ποιοτικό έλεγχο.

Στο πέμπτο έτος, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας πραγματοποίησα δειγματοληψίες ατμοσφαιρικών ρύπων σε τέσσερις σταθερούς «σταθμούς» μετρήσεων στην περιοχή της Αθήνας. Επίσης συνέταξα πρωτόκολλο δειγματοληψιών, το οποίο αφορούσε προσομοίωση διαδρομής υποκειμένου στους δρόμους της πόλης. *Αυτή η πρωτοποριακή μέθοδος δειγματοληψίας έγινε για πρώτη φορά στην Ελλάδα.*

Η εργασία έλαβε χώρα τους μήνες 06/2005 έως 06/2006. Η διπλωματική εργασία είχε τίτλο «*Εκθεση ομάδων πληθυσμού σε ατμοσφαιρικούς ρύπους στην περιοχή της Αθήνας*». Την εποπτεία της διπλωματικής εργασίας είχε η *Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ε.Μ.Π. κα. Χαλουλάκου Αρχοντούλα*. Ο απώτερος σκοπός της μελέτης αυτής είναι η εξακρίβωση της επίδρασης στον πληθυσμό, του μεγέθους της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε πολυσύχναστους δρόμους της Αθήνας και η σύγκρισή του με τις τιμές ρύπων σε ήπιας κυκλοφορίας δρόμους, λαμβάνοντας βέβαια υπόψη τους μετεωρολογικούς παράγοντες και τις εποχές του χρόνου. Απώτερος σκοπός της μελέτης αυτής είναι η επίτευξη της αύξησης της χρήσης εναλλακτικών μορφών ενέργειας και η καθιέρωση «πράσινων» τεχνολογιών σε όλους τους τομείς της ζωής. Η παρουσίαση της διπλωματικής εργασίας έγινε στην Σχολή Χημικών Μηχανικών ενώπιον τριμελούς επιτροπής και αξιολογήθηκε με *άριστα (10)*.

Έπειτα από την πενταετή μου φοίτηση στο Ε.Μ.Π. και την ολοκλήρωση των προπτυχιακών μου υποχρεώσεων ξεκίνησα να εργάζομαι στο ιδιωτικό θεραπευτήριο «*Ευρωκλινική Αθηνών Α.Ε.*». Στα δύο χρόνια της ενασχόλησής μου στο Νοσοκομείο, απασχολήθηκα στην *Β΄ Παθολογική Κλινική ως γραμματέας της Διεθύντριας κας Σκοπούλη Φωτεινής*. Ως γραμματέας ήμουν υπεύθυνη για τη διεξαγωγή του προγράμματος της κλινικής, και για την τήρηση και αρχειοθέτηση των φακέλων των ασθενών. Στους δύο μήνες της παραμονής μου στη θέση αυτή μου ανατέθηκε το *study coordinating μελετητικών πρωτοκόλλων*. Ως study coordinator ήμουν ο contact person για μεγάλες εταιρίες φαρμάκων του εξωτερικού (Roche, Novartis, Aspreva, Bristol Mayers Squibb, Merck Serono). Στις αρμοδιότητές μου συμπεριλαμβάνονταν η οργάνωση των επισκέψεων των ασθενών, οι αποστολές

εργαστηριακών δειγμάτων στο εξωτερικό, οι παραγγελίες αναλώσιμου υλικού καθώς και η συγκέντρωση και στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Κατά την παραμονή μου στην «Ευρωκλινική Αθηνών» **συμμετείχα επίσης ενεργά στην μετάφραση βιβλίου με τίτλο «Διατροφή και Ανοσολογία»,** κάνοντας μεταφράσεις και διορθώσεις κειμένων και επιμελούμενη τα γραφικά των εικόνων.

Από τον Ιούλιο του 2008 μέχρι και το Δεκέμβριο του απασχολήθηκα στον **τομέα των πωλήσεων**, εργαζόμενη στις τηλεπικοινωνίες και συγκεκριμένα στην εταιρία τηλεπικοινωνιών **WIND HELLAS**. Μετά την εκπαίδευσή μου στις **τεχνικές πωλήσεων**, κατείχα τη θέση πωλητή (εσωτερικού και εξωτερικού), ενώ, ήμουν επίσης αρμόδια για την τήρηση και αποστολή των συμβολαίων στο κεντρικό τμήμα. Τέλος, για τέσσερις μήνες συμμετείχα στο project της εταιρίας **COSMOTE** για την ταυτοποίηση πελατών καρτοκινητής εργαζόμενη σε κατάστημα ΟΤΕ.

Από τον Οκτώβριο του 2010 μέχρι και σήμερα παρακολουθώ τα μαθήματα του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ με τίτλο «Επιστήμη και Τεχνολογία των Υλικών» έχοντας ολοκληρώσει επιτυχώς το πρώτο έτος σπουδών.

Από το 2007 είμαι μέλος του Τ.Ε.Ε. (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος) και του Π.Σ.Χ.Μ. (Πανελληνίου Συλλόγου Χημικών Μηχανικών).
