

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΒΙΟΧΗΜΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**



### **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**"ΦΥΤΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ *Myrtus communis* L. και *Punica granatum* L."**

**ΧΡΗΣΤΟΣ ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ**

### **ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**Καθηγητής Καλογεράκης Νικόλαος (Επιβλέπων)**

**Επίκουρος Καθηγητής Παρανυχιανάκης Νικόλαος**

**Μεταδιδακτορική ερευνήτρια Μανουσάκη Ελένη**

**XANIA 2017**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την τριμελή εξεταστική επιτροπή και κυρίως τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Νικόλαο Καλογεράκη. Ακόμη, την κ. Μαργαρίτα Πετούση (υποψήφια διδάκτορα) για τη διαρκή επίβλεψη και καταλυτική βοήθεια στην εκπόνηση της εργασίας, την κ. Αριάδνη Παντίδου (ΕΤΕΠ) και τον διδάκτορα κ. Σταύρο Χριστοφιλόπουλο, όπως και τον φίλο Γαίθ, για τον ανά πάσα στιγμή διαθέσιμο χρόνο τους. Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στο εργαστήριο του καθηγητή κ. Νικολαΐδη και ειδικά στην κ. Στέλλα Βουτσαδάκη. Επίσης στην κ. Καπετανάκη για την τροφοδοσία των υγρών αποβλήτων από το ελαιοτριβείο της. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλο το προσωπικό του εργαστηρίου για το φιλικό κλίμα και την άψογη συνεργασία μας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παραγωγή ελαιολάδου στις μεσογειακές χώρες έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια με αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλων όγκων αποβλήτων τα οποία προσδίδουν ιδιαίτερα τοξικές συνέπειες σε κάθε πιθανό αποδέκτη. Ως σήμερα δεν έχει επιτευχθεί η εφαρμογή μιας τεχνολογίας εξυγίανσης των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου (ΥΑΕ) που να ισορροπεί νομικά, ενεργειακά και περιβαλλοντικά. Στην παρούσα εργασία μελετάται η μέθοδος της φυτοαποκατάστασης για αυτό το είδος αποβλήτων. Η φυτοαποκατάσταση θεωρείται ως μια χαμηλού κόστους εναλλακτική μέθοδος αποκατάστασης που προσφέρει μόνιμη λύση βελτιώνοντας παράλληλα την αισθητική της ρυπασμένης περιοχής.

Για τις ανάγκες του πειράματος φυτεύτηκαν στελέχη μυρτιάς (*Myrtus communis* L.) και ροδιάς (*Punica granatum* L.) σε δύο πανομοιότυπες πιλοτικές μονάδες προσομοίωσης του εδάφους. Μέσω αντλίας το ΥΑΕ προς εξυγίανση επανακυκλοφορούσε διαμέσου του εδαφικού στρώματος και της ριζόσφαιρας των φυτών, δίνοντας το χρόνο στα ίδια αλλά και στους μικροοργανισμούς που συμβιώνουν στις ρίζες τους, να αποδομήσουν το περιεχόμενο οργανικό φορτίο του αποβλήτου.

Για τον προσδιορισμό της απόδοσης των μονάδων ως προς την επεξεργασία των ΥΑΕ έγιναν χημικοί προσδιορισμοί και μετρήσεις στο υγρό απόβλητο προς επεξεργασία καθώς και σε δείγματα εδάφους της κάθε μονάδας (BOD<sub>5</sub>, COD, ολικές φαινόλες, ολική χλωροφύλλη, ολικό άζωτο, ολικός φώσφορος, ανάπτυξη μικροοργανισμών, ολικός οργανικός άνθρακας, υγρασία, αλατότητα, ολικά διαλυμένα στερεά, Ph, ηλεκτρική αγωγιμότητα, διαλυμένο οξυγόνο).

Και οι δύο μονάδες πέτυχαν αποδόμηση περισσότερο από 90-95% στην εφαρμογή χαμηλής οργανικής φόρτισης (COD < 6000mg/L) σε κάθε παράμετρο, ενώ στην περίπτωση μέτριας οργανικής φόρτισης (COD = 12500mg/L) είχαμε 40-75%

## ABSTRACT

The production of olive oil in the Mediterranean countries has increased significantly in recent years, resulting in the production of large volumes of waste which have a particularly toxic effect on any potential environmental recipient. So far, the implementation of an OMW treatment method, which could be balanced in legal, energy and environmental terms, has not been achieved. In the present study the method of phytoremediation for this kind of waste is studied. Phytoremediation is considered as a low-cost alternative treatment method that offers a lasting solution while improving the aesthetics of the contaminated area.

*Myrtus communis* L. and *Punica granatum* L. plants were planted for the purposes of the test in two identical pilot units. OMW was pumped and re-circulated through the soil layer and plant rhizosphere, while microorganisms that coexist in their roots biodegrade the content of organic waste load.

For the determination of the performance of the pilot units, chemical determinations and measurements were conducted in wastewater and soil samples of each unit (BOD<sub>5</sub>, COD, total phenols, total chlorophyll, TN, TP, bacterial growth, TOC, soil moisture, salinity, TDS, pH, EC, DO).

In the case of low OMW organic loading (COD < 6000mg/L) we had more than 90-95% degradation in each of the major wastewater parameters (BOD<sub>5</sub>, COD, TPh, TN,TP) in both units, while in the case of moderate OMW organic loading there was a degradation- 40-75% correspondingly.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	ii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ABSTRACT .....	iv
Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....	4
2.1 Σύστημα επεξεργασίας ελαιοκάρπου .....	4
2.2 Απόβλητα ελαιοτριβείου .....	5
2.2.1. Σύσταση των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου .....	7
2.2.2 Περιβαλλοντικές οχλήσεις των Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου.....	9
2.2.3 Συνήθεις τρόποι επεξεργασίας των Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου .....	12
2.2.4 Τοξικό φορτίο και ουσίες Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου .....	18
2.2.5 Νομοθετικά όρια και σχετικές διατάξεις για τα Υγρά Απόβλητα Ελαιοτριβείου .....	25
2.3 Φυτοαποκατάσταση.....	29
2.3.1 Μηχανισμός της φυτοαποκατάστασης.....	30
2.3.2 Εφαρμογή της φυτοαποκατάστασης σε οργανικούς ρύπους.....	32
2.3.3 Ριζοαποδόμηση .....	33
2.3.4 Εφαρμογές της φυτοαποκατάστασης .....	34
2.4 Επιλογή φυτών για φυτοαποκατάσταση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου .....	36
2.4.1 Κριτήρια επιλογής των υπό εξέταση φυτών .....	36
2.4.2 <i>Punica granatum</i> L.....	36
2.4.3 <i>Myrtus communis</i> L.....	38
2.5 Προσρόφηση οργανικού άνθρακα στο έδαφος.....	38
2.6 Προσδιορισμός συντελεστών κατανομής και ικανότητας κατακράτησης υγρού.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	41
3.1 Κατασκευή πειραματικών μονάδων φυτοαποκατάστασης.....	41
3.2 Πειραματικός σχεδιασμός .....	44
3.3 Χαρακτηριστικά Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου προς εξυγίανση.....	50
3.4 Υλικά και μέθοδοι .....	50
3.4.1 Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων.....	50
3.4.2 Φασματοφωτομετρικοί Προσδιορισμοί .....	53
3.4.3. Προσδιορισμοί σε δείγματα εδαφικού στρώματος.....	56
3.4.4. Εδαφική υγρασία.....	58

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 4 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	59
4.1 Φασματοφωτομετρικοί προσδιορισμοί.....	59
4.1.1 Χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (COD) .....	60
4.1.2 Ολικές φαινόλες .....	65
4.1.3 Ολικό άζωτο.....	70
4.1.4 Ολικός φώσφορος .....	74
4.2 BOD <sub>5</sub> .....	79
4.3 Ολική χλωροφύλλη.....	82
4.4 Αποτελέσματα αναλύσεων εδάφους.....	85
4.4.1. Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) .....	87
4.4.2 Ολικό άζωτο (TN) .....	88
4.4.3 Μέτρηση βακτηριακής βιομάζας .....	89
4.5 Αποτελέσματα μετρήσεων υγρασίας, TDS, EC, SAL, pH, DO .....	90
Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 5: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	91
5.1 Συμπεράσματα.....	91
5.2 Προτάσεις .....	92
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	93
• Ξένη βιβλιογραφία .....	93
• Ελληνική βιβλιογραφία .....	96
• Παραπομπές σε ιστότοπους.....	97

## Λίστα εικόνων

Εικόνα 1 Φάσεις ελαιοκάρπου ως την εξαγωγή ελαιολάδου(1/ελαιόκαρπος-2/ ελαιοζύμη-3/ ελαιόλαδο-4/ υγρά απόβλητα) .....	2
Εικόνα 2 Μέθοδοι εξαγωγής ελαιολάδου που ακολουθούνται στην Ευρώπη (IMPEL, 2003).....	5
Εικόνα 3 Υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου .....	6
Εικόνα 4 Διάθεση των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου(από τον αγωγό όμβριων υδάτων στα αριστερά της κοίτης του ποταμού Σέλα) .....	10
Εικόνα 5 Κρούστα που δημιουργείται στα λιμνάζοντα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου .....	11
Εικόνα 6 Χείμαρρος κατά την ελαιοκομική περίοδο .....	11
Εικόνα 7 Διαχείριση των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου σε δεξαμενές καθίζησης. ....	12
Εικόνα 8 Τυπική εξατμισοδεξαμενή Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου.....	13
Εικόνα 9 Άμεση διάθεση Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου στο έδαφος.....	14
Εικόνα 10 Μεταφορά οξυγόνου, νερού και ενώσεων σε ξυλώδεις φυτό (Πανταζίδου κ.α., 2006) .....	30

Εικόνα 11 Μηχανισμοί που ανήκουν στην φυτοαποκατάσταση .....	32
Εικόνα 12 <i>Punica granatum</i> L .....	37
Εικόνα 13 <i>Myrtus communis</i> L. ....	38
Εικόνα 14 δεξαμενή πολυαιθυλενίου και σχηματικό διάγραμμα τομής κάθε μονάδας(μέση τιμή όγκου αδρανών υλικών ανά στρώμα και χωρητικότητα αποβλήτου) .....	41
Εικόνα 15 Στάδια κατασκευής πειραματικών μονάδων φυτοαποκατάστασης ( 1 κροκαλοειδή, 2 μίγμα χώματος, 3 αλφαδολαστιχο, 4 <i>Myrtus communis</i> , 5 <i>punica granatum</i> , 6-7-8 κάτοψη μονάδας κατά την πλήρωση, 9 άποψη πειραματικών μονάδων φυτοαποκατάστασης) .....	42
Εικόνα 16 Περισταλτική δοσομετρική αντλία της εταιρίας BiOENGiNEERiNG τύπου ALITEA-X.....	44
Εικόνα 17 Επανακυκλοφορία Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου εντός της μονάδας φυτοαποκατάστασης.....	45
Εικόνα 18 Απεικόνιση μονάδας φυτοαποκατάστασης <i>Punica granatum</i> (1), <i>Myrtus Communis</i> (2), μονάδας μάρτυρα για κάθε φυτό (3).....	47
Εικόνα 19 απεικόνιση μονάδας φυτοαποκατάστασης <i>Myrtus Communis</i> (1) και μάρτυρας(2), και μονάδα φυτοαποκατάστασης <i>Punicagranatum</i> (3) και μάρτυρας (4).....	48
Εικόνα 20 απεικόνιση μονάδας φυτοαποκατάστασης <i>Myrtus Communis</i> (1) και μάρτυρας(2), και μονάδα φυτοαποκατάστασης <i>Punicagranatum</i> (3) και μάρτυρας (4).....	49
Εικόνα 21 απεικόνιση μονάδας φυτοαποκατάστασης <i>Myrtus communis</i> (1) και μάρτυρας(2), και μονάδα φυτοαποκατάστασης <i>Punica granatum</i> (3) και μάρτυρας (4).....	50
Εικόνα 22 Το φασματοφωτόμετρο (1) ο θερμοαντιδραστήρας (2) και τα έτοιμαφιαλίδια COD(3) που χρησιμοποιήθηκαν. ....	54
Εικόνα 23 Επεξεργασία εδαφικών δειγμάτων (1,3, ταξινόμηση εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με το αντίστοιχο βάθος, 2 δειγματολήπτης (τύπου καρτό).....	56
Εικόνα 24 Διαδικασία επιμόλυνσης τριβλίων petri για προσδιορισμό βακτηριακής βιομάζας σε δείγματα χώματος .....	58
Εικόνα 25 Μετρητής υγρασίαςεδάφους της εταιρίας Delta T devices .....	58
Εικόνα 26 Κάτοψη πειραματικών μονάδων φυτοαποκατάστασης και μονάδων μάρτυρες .....	86

## Λίστα διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 Συγκέντρωση COD υγρού αποβλήτου για την μονάδα <i>Punicagranatum</i> .....	60
Διάγραμμα 2 Συνολική μάζα COD στην μονάδα <i>Punicagranatum</i> για τον 1 <sup>ος</sup> πειραματικό κύκλο .....	61
Διάγραμμα 3 Ολική μάζα COD στην μονάδα <i>Punica granatum</i> για τον 2 <sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο .....	61
Διάγραμμα 4 Ολική μάζα COD στην μονάδα <i>Punica granatum</i> κατά τον 3 <sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο .....	62
Διάγραμμα 5 Συγκέντρωση COD σε mg/L υγρού αποβλήτου για την μονάδα <i>Myrtus communis</i> .....	62
Διάγραμμα 6 Ολική μάζα COD στην μονάδα <i>Myrtus communis</i> για τον 1 <sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο .....	63
Διάγραμμα 7 Ολική μάζα COD στην μονάδα <i>Myrtus communis</i> για τον 2 <sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο .....	63
Διάγραμμα 8 Ολική μάζα COD στην μονάδα <i>Myrtus communis</i> για τον 3 <sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο .....	64
Διάγραμμα 9 Συγκέντρωση ολικών φαινολών του αποβλήτου υπο εξυγίανση για την μονάδα <i>Punica granatum</i> .....	65
Διάγραμμα 10 Ολική μάζα ολικών Φαινολών στην μονάδα <i>Punica granatum</i> για τον 1 <sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο .....	66
Διάγραμμα 11 Ολική μάζα Ολικών Φαινολών στην μονάδα <i>Punica granatum</i> για τον 2 <sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο .....	66

Διάγραμμα 12 Ολική μάζα Ολικών Φαινολών στην μονάδα <i>Punica granatum</i> για τον 3 <sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο .....	67
Διάγραμμα 13 Συγκέντρωση ολικών φαινολών του αποβλήτου υπο εξυγίανση ως προς το χρόνο για την μονάδα <i>Myrtus communis</i> .....	67
Διάγραμμα 14 Ολική μάζα Ολικών φαινολών στην μονάδα <i>Myrtus communis</i> για τον 1 <sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο .....	68
Διάγραμμα 15 Ολική μάζα Ολικών φαινολών στην μονάδα <i>Myrtus communis</i> για τον 2 <sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο .....	68
Διάγραμμα 16 Ολική μάζα Ολικών φαινολών στην μονάδα <i>Myrtus communis</i> για τον 3 <sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο .....	69
Διάγραμμα 17 Συγκέντρωση TN σε mg/g υγρού αποβλήτου για την μονάδα <i>Punica granatum</i> .....	70
Διάγραμμα 18 Ολική μάζα TN στην μονάδα <i>Punica granatum</i> για τον 1 <sup>ος</sup> πειραματικό κύκλο .....	70
Διάγραμμα 19 Ολική μάζα TN στην μονάδα <i>Punica granatum</i> για τον 2 <sup>ος</sup> πειραματικό κύκλο .....	71
διάγραμμα 20 Ολική μάζα TN στην μονάδα <i>Punica granatum</i> για τον 3ος πειραματικό κύκλο.....	71
διάγραμμα 21 Συγκέντρωση TN σε mg/L υγρού αποβλήτου για την μονάδα <i>Myrtus communis</i> .....	72
διάγραμμα 22 Ολική μάζα TN στην μονάδα <i>Myrtus communis</i> για τον 1ο πειραματικό κύκλο .....	73
διάγραμμα 23 Ολική μάζα TN στην μονάδα <i>Myrtus communis</i> για τον 2ο πειραματικό κύκλο .....	73
διάγραμμα 24 Ολική μάζα TN στην μονάδα <i>Myrtus communis</i> για τον 3ο πειραματικό κύκλο .....	73
διάγραμμα 25 Συγκέντρωση TP σε mg/L υγρού αποβλήτου για την μονάδα <i>Punica granatum</i> .....	74
διάγραμμα 26 Ολική μάζα TP στην μονάδα <i>Punicagranatum</i> για τον 1ος πειραματικό κύκλο .....	75
διάγραμμα 27 Ολική μάζα TP στην μονάδα <i>Punica granatum</i> για τον 2ος πειραματικό κύκλο .....	75
διάγραμμα 28 Ολική μάζα TP στην μονάδα <i>Punica granatum</i> για τον 3ος πειραματικό κύκλο .....	76
διάγραμμα 29 Συγκέντρωση TP σε mg/L υγρού αποβλήτου για την μονάδα <i>Myrtus communis</i> .....	77
διάγραμμα 30 Ολική μάζα TP στην μονάδα <i>Myrtus communis</i> για τον 1ο πειραματικό κύκλο.....	77
διάγραμμα 31 Ολική μάζα TP στην μονάδα <i>Myrtus communis</i> για τον 2ο πειραματικό κύκλο.....	78
διάγραμμα 32 Ολική μάζα TP στην μονάδα <i>Myrtus communis</i> για τον 3ο πειραματικό κύκλο.....	78
διάγραμμα 33 Συγκέντρωση BOD <sub>5</sub> σε mg/L υγρού αποβλήτου για την μονάδα <i>Punica granatum</i> .....	80
διάγραμμα 34 Συγκέντρωση BOD <sub>5</sub> σε mg/L υγρού αποβλήτου για την μονάδα <i>Myrtus communis</i> .....	81
διάγραμμα 35 Ολική χλωροφύλλη για την μονάδα φυτοεξυγίανσης <i>Punica granatum</i> για κάθε πειραματικό κύκλο .....	83
διάγραμμα 36 Ολική χλωροφύλλη μονάδας φυτοεξυγίανσης <i>Myrtus communis</i> για κάθε πειραματικό κύκλο .....	84
διάγραμμα 37 TOC εδαφικού στρώματος για την μονάδα <i>Punica granatum</i> ως προς το βάθος.....	87
διάγραμμα 38 TOC εδαφικού στρώματος για την μονάδα <i>Myrtus communis</i> ως προς το βάθος.....	87
διάγραμμα 39 TN εδαφικού στρώματος για την μονάδα <i>Punica granatum</i> ως προς το βάθος.....	88
διάγραμμα 40 TN εδαφικού στρώματος για την μονάδα <i>Myrtuscommunis</i> ως προς το βάθος .....	88
διάγραμμα 41 Συγκέντρωση CFUs στο εδαφικό στρώμα για την μονάδα <i>Punica granatum</i> σε διάφορα βάθη .....	89
διάγραμμα 42 Συγκέντρωση CFUs στο εδαφικό στρώμα για την μονάδα <i>Myrtus communis</i> σε διάφορα βάθη .....	89

## Λίστα πινάκων

Πίνακας 1 Μερική σύσταση Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου (Sierra et al., 2001) .....	7
Πίνακας 2 Φυσιολογικά χαρακτηριστικά Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου (FiestasetBorja 1993, HamdietEllouz 1992).....	9
Πίνακας 3 Συγκέντρωση φαινολικών συστατικών Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου ( Lasage-MeeseenL., 2001) .....	22
Πίνακας 4 Προεδρικό Διάταγμα 1180 για τις ανώτατες τιμές απορροής Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου σε υδάτινους αποδέκτες.....	27
Πίνακας 5 Κατηγοριοποίηση των κατάλληλων φυτών αναλόγως με τον υπό φυτοεξυγίανση ρύπο	31
Πίνακας 6 Οργανικές ουσίες που διασπώνται από βακτήρια στην περιοχή της ριζόσφαιρα (Ζαμπετάκης, 2005).....	34
Πίνακας 7 Συντελεστές κατανομής .....	40
Πίνακας 8 Δεδομένα μονάδων φυτοαποκατάστασης .....	41
Πίνακας 9 Τυπικές τιμές BOD5 διαφόρων βιομηχανιών Regional Activity Centre for Cleaner Production (RAC/CP) .....	52
Πίνακας 10 ρυθμοί και ποσοστά αποδόμησης οργανικής ύλης (μεταβολή COD).....	64
Πίνακας 11 Ρυθμοί και ποσοστά αποδόμησης Ολικών φαινολικών ενώσεων.....	69
Πίνακας 12 Ρυθμοί και ποσοστά αποδόμησης Ολικού αζώτου .....	74
Πίνακας 13 Ρυθμοί και ποσοστά αποδόμησης Ολικού φωσφόρου.....	79
Πίνακας 14 Ρυθμοί και ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης Βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου .....	81
Πίνακας 15 Εύρος αποτελεσμάτων TDS, EC, SAL, pH, DO για την μονάδα φυτοαποκατάστασης της <i>Punica granatum</i> .....	90
Πίνακας 16 εύρος αποτελεσμάτων TDS, EC, SAL, pH, DO για την μονάδα φυτοαποκατάστασης της <i>Myrtus communis</i> .....	90

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά την κατεργασία του ελαιοκάρπου στα ελαιουργεία, παράλληλα με το ελαιόλαδο παράγεται και μία σειρά αποβλήτων. Αυτά είναι, ο ελαιοπυρήνας, που αποτελείται από τα αλεσμένα στερεά συστατικά του καρπού (κυρίως του κουκουτσιού), τα ελαιόφυλλα που έχουν μεταφερθεί με τον ελαιοκαρπο και μια σημαντική σε όγκο και οργανικό φορτίο ποσότητα υγρών αποβλήτων (ΥΑΕ) που είναι γνωστά ως "λιοζούμι", "κατσίγαρος", "μούργα" ή διεθνώς Olive Mill Wastewater (OMWW).



*Εικόνα 1 Φάσεις ελαιοκάρπου ως την εξαγωγή ελαιολάδου(1/ελαιόκαρπος-2/ελαιοζύμη-3/ελαιόλαδο-4/υγρά απόβλητα)*

Τα ΥΑΕ συνίστανται από το υδαρές, φυτικό κλάσμα του χυμού του ελαιοκάρπου και από το νερό που χρησιμοποιείται στις διάφορες φάσεις παραγωγής του ελαιολάδου στο ελαιοτριβείο. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα υδατικό φυτικό εκχύλισμα, που περιέχει μία σειρά από ουσίες όπως σάκχαρα, αζωτούχες ενώσεις, οργανικά οξέα, πολυαλκοόλες, πολυφαινόλες και υπολείμματα ελαίου. Τα ΥΑΕ είναι από τα πιο δύσκολα στην επεξεργασία τους υγρά απόβλητα. Η δυσκολία αυτή πηγάζει από την βεβαρημένη σύσταση τους και την τοξικότητα που χαρακτηρίζει την εναπόθεσή τους στο περιβάλλον, όπου τα διάφορα συστατικά τους σε ανεξέλικτες συγκεντρώσεις βλάπτουν τα υγρά στερεά ακόμα και αέρια οικοσυστήματα.

Το υψηλό οργανικό φορτίο των ΥΑΕ σε συνάρτηση με την παρουσία των πολυφαινολών δεν επιτρέπει την απευθείας διάθεσή τους στο περιβάλλον, αλλά καθιστά αναγκαία την πρότερη επεξεργασία τους. Για την επεξεργασία και διάθεση των ΥΑΕ έχουν δοκιμαστεί διάφορες μέθοδοι σε εργαστηριακή αλλά και σε μεγαλύτερη κλίμακα. Παρόλα αυτά, μέχρι σήμερα δεν έχει προταθεί μία ολοκληρωμένη λύση, έχουν όμως εφαρμοστεί διάφορες τεχνικές κατά περίπτωση που

παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα τεχνικής ή οικονομικής φύσεως και δεν έχουν επιλύσει ικανοποιητικά το πρόβλημα.

Τα ΥΑΕ εκτός από τις φυτοτοξικές τους ιδιότητες και την οργανική, ρυπαντική τους δυναμική περιέχουν πλήθος ωφέλιμων, για το έδαφος και συνεπώς για την γεωργία, συστατικών όπως πρωτεΐνες, μεταλλικά άλατα, πολυσακχαρίτες και χουμικά οξέα, τα οποία προσδίδουν ιδιαίτερη θρεπτική αξία.

Από τις μέχρι σήμερα διαθέσιμες προτεινόμενες τεχνολογίες επεξεργασίας των ΥΑΕ καμία δεν συνδυάζει οικονομικά κριτήρια με περιβαλλοντικά όρια. Έτσι, στην Ελλάδα για το 90% των ελαιοτριβείων, κατά το 2017 η συνήθης τεχνική διαχείρισης υπό την κρατική αιγίδα είναι η εναπόθεση των υγρών αποβλήτων σε εξατμισοδεξαμενές με την μερική στεγάνωση τους αφού γίνει μια προεπεξεργασία με υδράσβεστο. Συνήθως ούτε αυτή η προεπεξεργασία, ούτε η καλή στεγάνωση λαμβάνει χώρα, ενώ έχει παρατηρηθεί και η υπερχειλίση των δεξαμενών με αρνητικές συνέπειες στα γύρω οικοσυστήματα (Paraskeva and Diamadopoulos, 2006 ; Oreopoulou and Russ, 2007 / Kavnadias et al., 2010).

Οι Μεσογειακές χώρες συγκεντρώνουν περισσότερο από το 95% της παγκόσμιας παραγωγής ελαιολάδου (Paraskeva et al., 2007). Οι χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή είναι η Ισπανία, η Ιταλία και η Ελλάδα. Η Ελλάδα δε, παραγωγεί περισσότερο από 10% μεταξύ των προηγούμενων χωρών (Elhag M and Bahrawi. J., 2015). Συγκεκριμένα, η παραγωγή της χώρας μας ανέρχεται στους 300 - 400 χιλιάδες τόνους (320.000 tn για το 2015 INTERNATIONAL OLIVE OIL COUNCIL (NOVEMBER 2016)). Τα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου ξεπερνούν τα 30 εκατομμύρια m<sup>3</sup> μόνο στην Μεσόγειο (Erguder T.H., et al. (2000)). Ακολουθούν η Τουρκία και η Τυνησία, ενώ με μικρότερη παραγωγή η Πορτογαλία, το Μαρόκο και η Αλγερία (Niaounakis, M. and Halvadakis, C.P. (2004)).

**Σκοπός της εργασίας** είναι η μελέτη της μεθόδου της φυτοαποκατάστασης, ως η φιλικότερη προς το περιβάλλον λύση επεξεργασίας των αποβλήτων της ελιάς. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η συμπεριφορά των φυτών *Punica granatum* (Ροδιά) και *Myrtus communis* (Μυρτιά) και η απόδοση τους στην επεξεργασία ΥΑΕ. Για την ομαλή προσαρμογή των φυτών στις νέες συνθήκες άρδευσης, εφαρμόστηκαν ΥΑΕ σε τρεις διαφορετικές αραιώσεις με νερό. Η ιδέα ήταν να ελεγχτεί ο βαθμός αποδόμησης των ΥΑΕ στις πιλοτικές μονάδες φυτοαποκατάστασης.

## Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

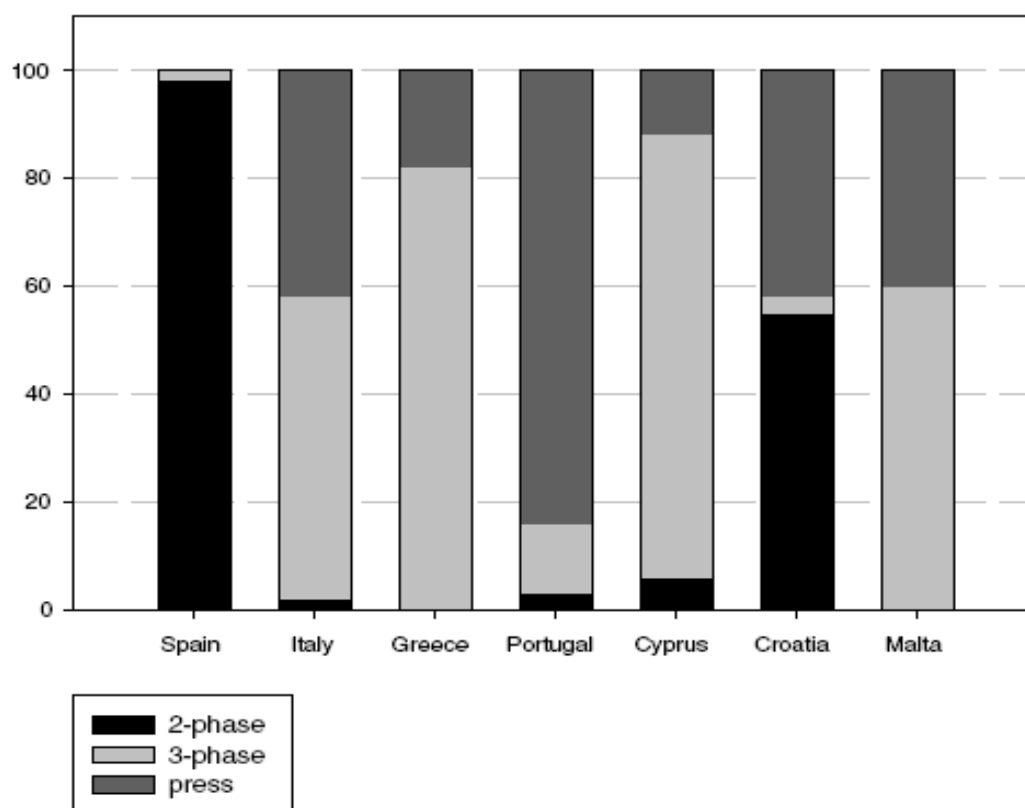
### 2.1 Σύστημα επεξεργασίας ελαιοκάρπου

Μόλις εισαχθεί ο ελαιοκάρπος στο ελαιοτριβείο, αφού πλυθεί και απομακρυνθούν φύλλα και ξένες ύλες, οδηγείται προς έκθλιψη όπου παράγεται η ελαιοζύμη. Το επόμενο στάδιο είναι η εισαγωγή της ελαιοζύμης στον μαλακτήρα όπου με ελάχιστη θέρμανση (τυπικά έως 30°C, πρακτικά έως και 40 °C) και προσθήκη νερού έως και 100% (αναλόγως με το μοντέλο επεξεργασίας), είτε σε διφασική, είτε σε τριφασική επεξεργασία θα αναμοχλευθεί για αρκετή ώρα (περίπου 40'), με σκοπό τα μικρά σταγονίδια ελαίου να συσσωματωθούν με άλλα, φτιάχνοντας μεγαλύτερες σταγόνες (<http://www.prosodol.gr/?q=el/node/470>). Ως εδώ η διαδικασία στα περισσότερα ελαιουργεία είναι πανομοιότυπη.

Το επόμενο και τελικό στάδιο της εξαγωγής του ελαιολάδου και αυτό που θα χαρακτηρίσει το ελαιοτριβείο ως διφασικό ή τριφασικό ή κλασσικό είναι η φυγοκέντριση της τελικής υδαρούς ελαιομάζας ή η πίεση. Είτε σε τριφασικό φυγοκεντρικό διαχωριστή (decanter) ή σε διφασικό, τα προϊόντα που θα διαχωριστούν είναι το ελαιόλαδο, τα απόνερα (YAE) και ο ελαιοπυρήνας. Στα μεν τριφασικά ελαιοτριβεία έχουμε τρία διαφορετικά ρεύματα εξόδου (ένα για κάθε συστατικό) ενώ στα διφασικά έχουμε δύο (τα YAE και ο ελαιοπυρήνας ενσωματώνονται - 2POMW ) (Mantala ioanna et. al). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την τριφασική μέθοδο ο διαχωρισμός γίνεται αρχικά μέσω μιας πρώτης φυγοκέντρισης, όπου ο κύριος όγκος του ελαιοπυρήνα απομακρύνεται από το μείγμα ελαιολάδου και των φυτικών υγρών, ενώ στην συνέχεια με μια δεύτερη φυγοκέντριση στο παραχθέν μείγμα εξάγεται το ελαιόλαδο. Παρόμοια ακολουθία ενεργειών λαμβάνει χώρα και σε παραδοσιακά ελαιουργεία όπου εδώ αντικαθίσταται ο μηχανικός σπαστήρας με πέτρινο ελαιόμυλο, η πρώτη φυγοκέντριση με ελαιοδιφράγματα στα οποία ασκείται υδραυλική πίεση ενώ επίσης διαφέρει και ο τελικός διαχωρισμός όπου αντί μια ακόμα φυγοκέντριση, πραγματοποιείται διαχωρισμός με παλλόμενα κόσκινα και καταβύθιση (agronews). Στα παραδοσιακά ελαιοτριβεία τα υγρά απόβλητα έχουν COD και ολικά στερεά υψηλότερα από τριφασικά και τα διφασικά ελαιοτριβεία. Ενώ η τιμή του pH των αποβλήτων είναι μεγαλύτερη στα διφασικά σε αντίθεση με τα τριφασικά και τα παραδοσιακά (Niaounakis, M. and Halvadakis, C.P. (2004)).

Σήμερα οι επικρατέστερες μέθοδοι επεξεργασίας της ελιάς για την εξαγωγή του ελαιολάδου είναι ο διαχωρισμός με πίεση (παλαιότερη και διατηρητέα μέθοδος), η φυγοκεντρική 2 ή 3 φάσεων (προτιμάται για την απόδοση της), και άλλες μέθοδοι παραγωγής ελαιόλαδου οι οποίες δεν έχουν ευρεία εφαρμογή όπως η ηλεκτροφόρηση, ο χημικός διαχωρισμός, η διεργασία αφαίρεσης του πυρήνα και η εκλεκτική διήθηση (αρχίζει να εδραιώνεται λόγω των καλών χαρακτηριστικών που επιτρέπει στο ελαιόλαδο να συγκρατεί) (Tzanakakis, V.E., 2007). Ανάλογα με την χώρα και την περιοχή οι μέθοδοι αυτές διαφέρουν, στην Ισπανία και γενικά στις νότιες χώρες όπου συγκεντρώνονται μεσαίου και μεγάλου μεγέθους συνεταιρισμοί. Η διφασική επεξεργασία της ελιάς φτάνει το 95% ενώ στην Ελλάδα και στην Ιταλία η πλειοψηφία είναι τριφασικά φυγοκεντρικά ελαιουργεία (publication RAC/CP (Regional Activity Centre for Cleaner Production , 2000, 'Pollution Prevention in olive oil production' ). Ακόμα σε χώρες όπως, η Πορτογαλία, η Κύπρος, η Μάλτα, το

Ισραήλ τα τριφασικά ελαιουργεία επικρατούν στην παραγωγή ελαιολάδου.



Εικόνα 2 Μέθοδοι εξαγωγής ελαιολάδου που ακολουθούνται στην Ευρώπη (IMPEL, 2003)

Στην Ελλάδα ανεπιτυχώς έγινε προσπάθεια καθιέρωσης διφασικών ελαιοτριβείων τα οποία μετέθεταν το πρόβλημα στα πυρηνελαιουργεία, χωρίς να δίνουν σφαιρική λύση αφού τα πυρηνελαιουργεία δε διέθεταν κατάλληλη τεχνολογία.

## 2.2 Απόβλητα ελαιοτριβείου

Τα απόβλητα ελαιοτριβείων, συγκαταλέγονται στα κατ' εξοχήν βεβαρημένα από πλευράς ρυπαντικού φορτίου βιομηχανικά απόβλητα. Συγκεκριμένα, ένα μεσαίου μεγέθους ελαιοτριβείο παράγει περίπου 1.000 τόνους απόβλητα ανά περίοδο συγκομιδής ελαιοκάρπου με οργανικό φορτίο το οποίο ισοδυναμεί με τα ετήσια απόβλητα μιας πόλης 30.000 κατοίκων. Τα ΥΑΕ παράγονται κυρίως από τριφασικά φυγοκεντρικά διυλιστήρια. Για την επεξεργασία του ελαιοκάρπου στα ελαιοτριβεία καταναλώνονται περίπου  $20 \cdot 10^6$  lt νερού ετησίως (Καποδιστριακό πανεπιστήμιο Αθηνών - Συνεισφορά LIFE). Σχετικά με τη σύσταση και την παραγωγή των ΥΑΕ έχουν γίνει μελέτες σε διαφορετικές περιοχές και συνθήκες λειτουργίας. Οι μελέτες αυτές συμφωνούν ως προς τα γενικά χαρακτηριστικά, όπως την υψηλή τοξικότητα και το οργανικό φορτίο, τις περιεχόμενες ουσίες και το μέγεθος της παραγωγής. Παρουσιάζουν όμως κάποιες όχι μεγάλες διαφορές στα ποσοτικά αποτελέσματα.

Μέρος των διαφορών αυτών οφείλεται στους εναλλακτικούς τρόπους επεξεργασίας του ελαιοκάρπου (π.χ. κλασσικό ή φυγοκεντρικό Ελαιοτριβείο). Επιπλέον, η σύσταση τους ποικίλει ανάλογα με τις εδαφοκλιματολογικές συνθήκες, την ποικιλία των ελαιοκάρπων, το στάδιο ωρίμανσης του καρπού, τη χρήση παρασιτοκτόνων και λιπασμάτων, τον τρόπο συγκομιδής και αποθήκευσης του (Cabrerera et al., 1996).



*Εικόνα 3 Υγ्रा απόβλητα ελαιοτριβείου*

Τα ΥΑΕ αντιπροσωπεύουν τα 2/3 των γενικών αποβλήτων από την παραγωγή του ελαιολάδου (Di Bene et al. 2013). Ένα ελαιοτριβείο ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του παράγει υγρά (ΥΑΕ ) και στερεά (ελαιοπυρήνα) απόβλητα σε διαφορετικές ποσότητες και σε διαφορετικές συγκεντρώσεις. Μια αντιπροσωπευτική σύσταση των ΥΑΕ είναι η εξής :

1. χυμός του καρπού της ελιάς με ελάχιστη μάζα ελαίου
2. νερό που προστέθηκε μέσα στο Ελαιοτριβείο για την διευκόλυνση της εξαγωγής του ελαίου
3. στερεά που περιλαμβάνουν κομμάτια από την σάρκα , διαλυμένη οργανική ύλη και διαλυμένα οργανικά άλατα .

([www.fiw.rwth-aachen.de](http://www.fiw.rwth-aachen.de))

Η διαφορά μεταξύ ΥΑΕ τριφασικής και διφασικής επεξεργασίας είναι πως ο ελαιοπυρήνας και τα υγρά απόβλητα που εξάγονται από τα τριφασικά ελαιουργεία (σε δύο φάσεις), ενσωματώνονται στον ελαιοπυρήνα των διφασικών (μια φάση), με αποτέλεσμα τα στερεά σωματίδια από 45% να αγγίζουν το 30% (λόγω αύξησης της υγρασίας). Αυτή η μείωση των στερεών απαιτεί τεράστια ποσά ενέργειας για να ξηρανθεί αυτή η νέα υδαρή μάζα, από τα υπάρχοντα ξηραντήρια των πυρηνελαιουργείων. Συνεπώς η προσθήκη των ΥΑΕ στην διφασική πυρήνα προσδίδει αρκετούς βαθμούς δυσκολίας στην ασφαλή και οικονομική εξυγίανση της, σε σχέση

με την τριφασική. Συγκεκριμένα δημιουργούνται καραμελώματα κατά την ξήρανση τα οποία επικάθονται στον ξηραντήρα μειώνοντας την απόδοση του αλλά και συσσωματώματα τα οποία παρεμποδίζουν την εξαγωγή του πυρηνελαίου, ενώ πιθανές είναι και οι μικροεκρήξεις κατά την ανάκτηση του Εξανίου(C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>).Για την αποφυγή αυτών των συνεπειών οι διαχειριστές πυρηνελαιουργείων αναμιγνύουν τη διφασική με την τριφασική πυρήνα (<http://www.agroenergy.gr/>).

Συνήθως η ποσότητα παραγόμενων αποβλήτων ισοδυναμεί με το 7.5 m<sup>3</sup> έως 8.2 m<sup>3</sup> ανά τόνο παραγόμενου ελαιολάδου σε ένα κλασικό τριφασικό φυγοκεντρικό Ελαιοτριβείο (Economidou, 1993, Μαρκαντωνάτος, 1990). Στην Ελλάδα ο όγκος των ΥΑΕ που παράγονται ανά τόνο ελαιολάδου κυμαίνεται από 3.25m<sup>3</sup> έως 5m<sup>3</sup> για πιεστικό (κλασσικό) και φυγοκεντρικό (τριφασικό) αντίστοιχα. Έχει βρεθεί ότι στην Ελλάδα παράγονται περισσότερα από 1.5 tn αποβλήτων Ελαιοτριβείου ετησίως (Moraetisetal., 2011; ElhagandBahrawi, 2015). Ενώ ανά κιλό ελαιοκάρπου κυμαίνεται από 0.5-11kg για πιεστικό (κλασσικό) και από 1.3-21 kg για φυγοκεντρικό (τριφασικό), (Cabrera etal.,(1996)). Παρόλο που η απευθείας διάθεση των Υ.Α.Ε. δεν επιτρέπεται εκτιμάται ότι στην Ελλάδα διατίθενται 1.5·10<sup>6</sup>tn ΥΑΕ σε παροδικούς χείμαρρους και ποτάμια (Kavadias et al., 2010). Η Ελλάδα παράγει σε ετήσια βάση το μεγαλύτερο όγκο ΥΑΕ ανά μονάδα επιφανείας στη Μεσόγειο 12.58m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> (Sierra J. etal. 2007). Στην Κρήτη η ετήσια παραγωγή αποβλήτων εκτινάσσεται στο 69.89 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> (Ι.Ε. Kapellakisetal. )

### 2.2.1. Σύσταση των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου

Η μέση σύσταση του ελαιοκάρπου είναι: 50% Νερό, 22% λάδι, 19% υδατάνθρακες, 1.6% πρωτεΐνες, καθώς και άλλα σημαντικά συστατικά όπως πηκτίνες, οργανικά οξέα, χρωστικές, πολυφαινόλες και ανόργανα συστατικά (Ποντίκης, Α.Κ., 2000).

Τα ΥΑΕ περιέχουν σάκχαρα (1-8 %), ενώσεις αζώτου (0.5-2.5), οργανικά οξέα (0.5-1.5%), λιπίδια (0.02-1%), φαινόλες και πηκτίνες (1-1.5%), χρωστικές, ίχνη ελαίου, καρποκύτταρα και άλλα (GrecoGetal.,1999 / MulinacciN.etal.,2001). Συγκρίνοντας το οργανικό κλάσμα των αποβλήτων τα ΥΑΕ περιέχουν σημαντικά ποσά Καλίου, Αζώτου, Μαγνησίου, Ασβεστίου, Φωσφόρου και Σιδήρου , συστατικά απαραίτητα για την γονιμότητα του εδάφους (ParedesC. etal.,1999).

**Πίνακας 1 Μερική σύσταση Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου (Sierra et al., 2001)**

Παράμετροι	Τιμή
ολικός οργανικός άνθρακας, (TOC,g/l)	22-64
πολυφαινόλες (g/l)	3-24
P (g/l)	0.3-1.1
K (g/l)	2.7-7.2
Ca (g/l)	0.12-0.75
Mg (g/l)	0.10-0.40
Na (g/l)	0.04-0.90
στερεά %	5.5-17.6

Ακόμη τα ΥΑΕ χαρακτηρίζονται από :

- έντονο σκούρο καφέ έως μαύρο χρώμα
- έντονη οσφρητική όχληση
- μεγάλη συγκέντρωση οργανικών ρυπαντών

(U.S. Enviromental Protection Agency "a quide Ahandbook to constructed wetlands , a quide to creating wetlandw" volume 2)

Από τα συστατικά των ΥΑΕ, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι φαινόλες, οι οποίες ως αντιοξειδωτικές ουσίες εμποδίζουν τη διάσπαση των γλυκεριδίων προς λιπαρά οξέα και βοηθούν στη διατήρηση του λαδιού (Tsimidou et al., 1992 Ryan and Robards et al.,1998). Στις φαινολικές ενώσεις που έχουν ανιχνευθεί θα πρέπει να προστεθούν επίσης πολυμερείς ουσίες καστανόμαυρου χρώματος που παράγονται δευτερογενώς μέσω ενζυμικών αντιδράσεων που αρχίζουν αμέσως μετά την έκθλιψη του ελαιοκάρπου (Saiz-Jimenez et al. 1986).

Τα ανόργανα συστατικά των αποβλήτων του ελαιοτριβείου όπως το Κάλιο, ο Φώσφορος, το Μαγνήσιο καθώς και πολλά ιχνοστοιχεία παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της μεγάλης λιπαντικής τους αξίας.

Γενικά οι οργανικές ουσίες των αποβλήτων του ελαιοτριβείου μπορούν να διαχωριστούν σε ενώσεις άμεσα διασπάσιμες (π.χ. σάκχαρα, οργανικά οξέα, αμινοξέα), βιοαποδομήσιμα πολυμερή (πρωτεΐνες, ημικυταρρίνες) και δύσκολα διασπώμενα συστατικά όπως μεγαλομοριακές λιπαρές ουσίες και φαινολικές ενώσεις (Οιχαλιώτης et Ζερβάκης, 2000). Οι Visioli etal. (1995) αναφέρουν ότι τα εκχυλίσματα των αποβλήτων ελαιοτριβείου διαθέτουν ισχυρή αντιοξειδωτική δράση και θα μπορούσαν να αποτελέσουν μια φθηνή πηγή φυσικών αντιοξειδωτικών. Παρά το ότι το πιο σημαντικό από ποσοτική άποψη τμήμα του οργανικού κλάσματος καταλαμβάνουν τα σάκχαρα από ποιοτική άποψη οι πολυφαινόλες και οι λιπαρές ουσίες είναι τα πιο σημαντικά συστατικά, διότι προσδίδουν στα απόβλητα ελαιοτριβείου ανεπιθύμητες ιδιότητες (χρώμα, φυτοτοξικότητα, εμμόνη στο περιβάλλον). Το οργανικό κλάσμα (σε μονάδες COD) των αποβλήτων του φυγοκεντρικού ελαιοτριβείου έχει μικρότερη τιμή από το κλασικό, λόγω της αραίωσης του με μεγαλύτερες ποσότητες νερού κατά την εξαγωγή του ελαιόλαδου (Rana,et al. 2003).

Μερικά ακόμα χαρακτηριστικά των ΥΑΕ ακολουθούν:

**Πίνακας 2** Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου (FiestasetBorja 1993, HamdietEllouz 1992)

Παράμετρος	Όρια τιμών
Νερό %	83-94
Οργανικά συστατικά %	4-16
Ανόργανα συστατικά %	1-2
Πυκνότητα (g/cm <sup>3</sup> )	1,024
Αγωγιμότητα (μS/ cm)	8.0000-160000
pH	4,5-6,5
Βιολογικά απαιτούμενα οξυγόνο (BOD <sub>5</sub> ) mg/l	14.000-110.0000
Χημικά απαιτούμενα οξυγόνο (COD) mg/l	41.400-130.000

(Στο νερό περιλαμβάνονται φυτικό νερό, νερό για επεξεργασίες, νερό πλύσης μηχανημάτων.)

Η συγκέντρωση μικροοργανισμών στα απόβλητα του ελαιοτριβείου είναι της τάξης των 10<sup>5</sup> cfu/ml και οι πιο κοινοί είναι βακτήρια του γένους *Pseudomonas* ή μικροοργανισμοί που χαρακτηρίζονται από την ικανότητα τους να μετασχηματίζουν δύσκολα διασπώμενα συστατικά, όπως μεγαλομοριακές λιπαρές ουσίες, και φαινολικά συστατικά. Επίσης συναντάμε ζύμες του γένους *Saccharomyces* και μύκητες *Penicillium* και *Aspegillus*. Άλλοι μικροοργανισμοί που έχουν απομονωθεί από ελαιόκαρπο είναι στελέχη μυκήτων και βακτηρίων από τα γένη *Aerobacter*, *Escherichia*, *Bacillus*, *Rhizopus*, *Alternaria*, *Fusarium* (Fiestas et Borja, 1992).

### 2.2.2 Περιβαλλοντικές οχλήσεις των Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου

Τα απόβλητα ελαιοτριβείων περιέχουν ρύπους και τοξικές για τα φυτά ύλες, με ισχυρή φυτοτοξική και αντιμικροβιακή δράση (Elhag και Bahrawi, 2015 / . Moraetis και al., 2011). Έτσι, μπορεί να υποβαθμιστεί το φυσικό περιβάλλον. Συγκεκριμένα εκτιμάται πως οι φαινόλες, οι τανίνες και οι χρωστικές αποτελούν τα κύρια τοξικά συστατικά ( Niaounakisetal. 2004).

Η διάθεση των ΥΑΕ είναι ένα πολύ μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα λόγω των τεράστιων όγκων που παράγονται και τις μικρής εποχικότητας τους (Chowdhury et al., 2015; Keren et al., 2015; Azbar et al., 2010). Οι κυριότερες επιπτώσεις εμφανίζονται με την ρύπανση των υδροφορέων και με την επακόλουθη ρύπανση του

αρδευτικού, ακόμα και του πόσιμου νερού.  
(<http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/123456789/409/1/297.pdf> ).



*Εικόνα 4 Διάθεση των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου(από τον αγωγό όμβριων υδάτων στα αριστερά της κοίτης του ποταμού Σέλα)*

Βασικοί αποδέκτες των ΥΑΕ είναι οι περιοδικοί χείμαρροι (53,8%), το έδαφος (19,8), τα ποτάμια (6%), οι θάλασσες (5,3%) και οι λίμνες (0,04%) (Βουτιράκης, 2003).

Λόγω της υψηλής οργανικής φόρτισης των ΥΑΕ, του χαμηλού τους pH, του υψηλού COD και BOD, μπορεί να δημιουργήσουν πλήθος σοβαρών οικολογικών προβλημάτων, όπως η ρύπανση των υδάτων και η φυτοτοξικότητα, ενώ κύριος συντελεστής είναι το φαινολικό περιεχόμενο και τα έλαια που περιέχουν τα ΥΑΕ (Dermeche et al., 2013).

Ένα ακόμα μειονέκτημα είναι ότι μειώνει τον συντελεστή πραγματικής διάχυσης του εδάφους, επειδή η οργανική ύλη των ΥΑΕ σχηματίζει μια επικάλυψη στο έδαφος και εμποδίζει την δραστηριότητα των στομάτων των πόρων (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410020766>).



*Εικόνα 5 Κρούστα που δημιουργείται στα λιμνάζοντα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου*

Σημαντική είναι και η παρεμπόδιση οξυγόνωσης στα ύδατα και η θρόμβωση των πόρων του εδάφους λόγω της περιεκτικότητας των ΥΑΕ σε λιπαρές ουσίες. (<http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/123456789/409/1/297.pdf> ).

Μια πολύ δυσάρεστη επίπτωση των ΥΑΕ είναι αυτή στις καλλιέργειες. Σύμφωνα με μελέτες ιδιαίτερες επιπτώσεις παρουσιάζονται σε νεαρά φυτά, κοντά στην περίοδο σποράς τους, αφού οι φαινόλες είναι περισσότερο τοξικές σε φυτώρια απ' ό τι σε ώριμη φυτεία. Επίσης η υψηλή αλατότητα των ΥΑΕ είναι ικανή να προκαλέσει οσμωτική πίεση, κλονίζοντας της ανάπτυξη των φυτών (Barberaetal., 2013).



*Εικόνα 6 Χείμαρρος κατά την ελαιοκομική περίοδο*

Επίσης σοβαρά προβλήματα λόγω της περιεχόμενης φαινόλης, των λιπιδίων, των σακχάρων και τον ανόργανων ενώσεων που περιέχουν τα ΥΑΕ δημιουργούνται στα υγρά οικοσυστήματα, όπου, παρεμποδίζεται το οξυγόνο να διέλθει από την επιφάνεια στα κατώτερα στρώματα, συντελούνται φαινόμενα ευτροφισμού, χρωματισμός των υδάτων ακόμα και μείωση της μικροβιακής αναπνοής (Dermecheetal., 2013).

Δεν μπορούμε να θεωρήσουμε αμελητέα την ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλεί η διάθεση ανεπεξέργαστων ΥΑΕ σε δεξαμενές εξάτμισης στο χώμα ή σε επιφανειακά ύδατα. Καθώς τα ΥΑΕ ζυμώνονται εκλύεται μεθάνιο και άλλα επικίνδυνα και δυσάρεστα αέρια όπως το υδρόθειο, με αποτέλεσμα, ιδιαίτερα στις χώρες της μεσογείου, να δημιουργούνται εκτός από περιβαλλοντικά ακόμα και οικονομικά προβλήματα ( λόγω μείωσης τουρισμού ) (Dermecheetal., 2013).

### **2.2.3 Συνήθεις τρόποι επεξεργασίας των Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου**

Κάθε μια από τις προτεινόμενες καθαρές τεχνολογίες για την αξιοποίηση των αποβλήτων, που προτείνονται θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις ειδικές ανάγκες των τοπικών περιοχών (Dermeche et al., 2013).

Για την αποτοξικοποίηση των ΥΑΕ έχουν προταθεί μηχανικές, χημικές, φυσικές, βιολογικές, θερμικές είτε σε συνδυασμό μέθοδοι, ακόμη αερόβια ή αναερόβια χώνευση. Το κόστος όμως μιας τέτοιας εγκατάστασης στην Ελλάδα καθίσταται απαγορευτικό (Moraetis et al., 2011).



*Εικόνα 7 Διαχείριση των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου σε δεξαμενές καθίζησης.*

(Όπου πραγματοποιείται μεταφορά της υπερκείμενης λεπτόρρευστης φάσης από την πρώτη δεξαμενή καθίζησης στη δεύτερη όπου και θα προστεθεί ο ασβέστης.)

Οι πλέον προσφιλείς τρόποι αποτοξικοποίησης (έστω μερικής) των ΥΑΕ στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου είναι :η διάθεση τους σε ρηχές λίμνες εξάτμισης (lagoons), η διάθεση στο έδαφος, η αποτέφρωση ή η επαναχρησιμοποίηση για την παρασκευή προϊόντων ζύμωσης, έλαια-λίπη. Ακόμη, παρασκευή συντηρητικών (λόγω της περιεχόμενης φαινόλης) συνήθως μέσω κατακράτησης με μεμβράνες (Kavadias et al.,2010). Η τεχνολογία που καλείται να ακολουθήσει ο εκάστοτε ιδιοκτήτης ελαιοτριβείου έχει να κάνει πάντα με τις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή του (Dermeche et al., 2013).

Στην Ελλάδα η συνήθης διαθέσιμη τεχνική είναι η εξουδετέρωση με ασβέστη και η ύστερη διάθεση των ΥΑΕ σε λιμνοδεξαμενές εξάτμισης.



*Εικόνα 8 Τυπική εξατμισοδεξαμενή Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου*

Βέβαια οι κατασκευαστικές μελέτες και οι μελέτες συντήρησης για την ορθή παραμονή των αποβλήτων εντός της δεξαμενής εκλείπουν με αποτέλεσμα συχνά να παρατηρείται υπερχειλίση και συνεπώς άμεση επιρροή σε γειτονικά γεωργικά εδάφη, υπόγεια ή επιφανειακά ύδατα. Σε τέτοιες περιπτώσεις ο κίνδυνος ρύπανσης αλλά και μόλυνσης είναι υψηλός (Kavadias et al., 2010). Ο κυριότερος απαγορευτικός παράγοντας είναι συνήθως το οικονομικό κόστος. Για παράδειγμα η αναερόβια χώνευση έχει πολύ υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, έτσι καθίσταται απαγορευτική για την Ελλάδα όπου το μεγαλύτερο ποσοστό των ελαιοτριβείων είναι μικρές οικογενειακές επιχειρήσεις, διασκορπισμένες και συνήθως απομακρυσμένες. Δεν είναι λίγοι οι ιδιοκτήτες ελαιοτριβείων που επιλέγουν την ανεξέλεγκτη διάθεση των αποβλήτων τους σε ποτάμια και λίμνες, προκαλώντας την οικολογική και χημική φθορά των αποδεκτών (Moraetis et al., 2011).



*Εικόνα 9 Άμεση διάθεση Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου στο έδαφος*

Οι κυριότερες φυσικοχημικές μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί για την αποτοξικοποίηση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου είναι:

1. Εξουδετέρωση, καθίζηση: Προσθήκη χημικών με σκοπό τη δημιουργία στερεού κλάσματος. Με την αφαίρεσή του επιτυγχάνεται μείωση του Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου των λιπών και των αιωρούμενων στερεών (Tsagaraki et al., 2006).
2. Οξείδωση: Κυρίως με τη χρήση όζοντος και υπεροξειδίου του υδρογόνου, καθώς επιτυγχάνεται υψηλός βαθμός οξείδωσης σε ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία περιβάλλοντος (Paraskeva et Diamadopoulos, 2006).
3. Θερμικές μέθοδοι: Η εφαρμογή τους γίνεται είτε με τεχνητά μέσα, με σημαντικότερες μεθόδους την αεριοποίηση, τη καύση και τη πυρόλυση, είτε με φυσικό τρόπο (αέρα, ήλιο) σε λίμνες εξάτμισης (Paraskeva and Diamadopoulos, 2006).
4. Χρήση επιλεγμένων μεμβρανών: Ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται βάση του διαφορετικού ρυθμού ροής κάθε είδους μέσα από την μεμβράνη (Paraskeva et al., 2006).
5. Φυγοκέντριση: Διαχωρισμός σε φάσεις και ανάκτηση λαδιού (Mitrakas et al., 1996).
6. Φωτοκατάλυση: Δράση κυρίως υδροξυλίων που παράγονται κατά τη διεργασία, με αποτέλεσμα οξείδωση της οργανικής ύλης και την καταστροφή αιωρούμενων σωματιδίων (Azabou et al., 2007).

Σε μικρότερη κλίμακα αναφέρονται και άλλες μέθοδοι ( που είτε εφαρμόζονται είτε μελετώνται ) για την απενεργοποίηση των ΥΑΕ .

- Η παραγωγή βιοαερίου που, συνήθως, μπορεί να υλοποιηθεί μόνο από μεγάλες μονάδες ή μέσω κρατικής ενίσχυσης (Stamatakis, 2010) ,
- Μια εναλλακτική είναι και η άμεση παραγωγή ενέργειας που όμως αφορά κυρίως στερεά απόβλητα ελαιοτριβείου ή το προϊόν καθίζησης των ΥΑΕ (Christoforou and Fokaides, 2016).
- Επίσης η προεπεξεργασία με ασβέστη ο οποίος βρίσκεται εύκολα και φθηνά σε σχέση με άλλες χημικές ουσίες όπως το θειικό αργίλιο, το χλωριούχο

σίδηρο ή το θειικό μαγνήσιο (Stamatakis, 2010). Έχει βρεθεί ότι η επεξεργασία των ΥΑΕ με ασβέστη μειώνει την τιμή του COD ως και 46,2%(Stamatakis, 2010). Η προεπεξεργασία με ασβέστη είναι μια αποτελεσματική τακτική για την ελαχιστοποίηση των στερεών (πήξη/κροκίδωση), οργανικού φορτίου και επιβλαβών οσμών των ΥΑΕ πριν την απόθεση τους σε λιμνοδεξαμενές εξάτμισης (Moraetis et al., 2011).

- Μια ακόμη πρόταση είναι η αναπλήρωση του νερού στις βιομηχανίες παραγωγής τούβλων, όπου μέσω ελέγχων πιστοποιείται η διατήρηση της αντοχής του υλικού (Stamatakis, 2010).
- Η άρδευση με ΥΑΕ αποτελεί μια φιλική προς το περιβάλλον μέθοδο ιδιαίτερα χαμηλού κόστους, όχι μόνο αντισταθμίζει το έλλειμμα υδάτων στην περιοχή της μεσογείου αλλά προσθέτει και στο έδαφος θρεπτικά συστατικά όπως άζωτο, φώσφορο, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο και σίδηρο, ακόμα φαίνεται ότι αυξάνει την ποσότητα οργανικής ύλης στο έδαφος κάνοντας το γονιμότερο. Νέα τακτική αποτελεί η μίξη φρέσκου νερού με τα προεπεξεργασμένα με ασβέστη ΥΑΕ για την άρδευση καλλιεργειών. Με αυτόν τον τρόπο αποτρέπεται η φυτοτοξικότητα και δίνεται λύση στο πρόβλημα της μείωσης του νερού στον πλανήτη λόγω κλιματικών αλλαγών (Moraetis et al., 2011).
- Επίσης λόγω των θρεπτικών του συστατικών ο κατσίγαρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν λίπασμα (Di Bene et al., 2013).
- η κομματοποίηση των ΥΑΕ μαζί με ξηρούς παράγοντες αύξησης όγκου όπως άχυρα, φύλλα ελιάς, πριονίδι, κοπριά πουλερικών ή αιγοπροβάτων έχουν εφαρμοστεί, η χρήση αυτών των παρόντων μπορεί να βελτιώσει το πορώδες του κόμποστ και το περιεχόμενο οξυγόνου (Chowdhury et al., 2015, Lopes et al., 2014).

Τα υγρά (και στέρεα) απόβλητα ελαιοτριβείου θα πρέπει να θεωρηθούν ως οικονομική πηγή μετατρέποντας τις περιεχόμενες ενώσεις σε χρήσιμα προϊόντα. Εφικτές λύσεις καθαρισμού των ΥΑΕ θα πρέπει να βρεθούν για την εξασφάλιση της βιωσιμότητας (Azbar et al., 2010).

Έτσι προκειμένου να αντιμετωπιστεί το τεράστιο κόστος εισήχθησαν μέθοδοι επεξεργασίας, φιλικές προς το περιβάλλον, με πρωτοστάτη τα Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων τα οποία εκμεταλλεύονται τις ιδιαιτερότητες των μικροοργανισμών.

### **Εφαρμογή των ΥΑΕ στο έδαφος**

Σε γενικές γραμμές τα ΥΑΕ αυξάνουν το μικρο και μακρο πορώδες του εδάφους και τη συνολική σταθερότητα. Επειδή αυτό το γεγονός σχετίζεται με το οργανικό περιεχόμενο αυτού του αποβλήτου, το οποίο εύκολα απόδομείται, οι όποιες αρνητικές επιδράσεις διαρκούν μόνο μερικές εβδομάδες. Τα καλύτερα αποτελέσματα από την εφαρμογή ΥΑΕ στο έδαφος επιτυγχάνονται κατά τους μήνες της άνοιξης όπου επικρατούν βέλτιστες συνθήκες υγρασίας, θερμοκρασίας και βιολογικής ανάπτυξης. Στον αντίποδα η εφαρμογή ΥΑΕ σε πηλώδη (βαριά) εδάφη προκαλεί διαταραχές στη δομή δημιουργώντας ανησυχίες. Κύριος ένοχος είναι το περιεχόμενο των λυμάτων σε άλατα, γι' αυτό θα πρέπει να αναλυθεί η αντίστοιχη συμπεριφορά σε βάθος χρόνου, αφού θα μπορούσε να οδηγήσει σε κατάρρευση της δομής του εδάφους (Barbera et

al., 2013; Aharonov- Nadborny et al., 2016). Οι επιπτώσεις της εφαρμογής των ΥΑΕ στο έδαφος όσον αφορά τους μύκητες που αποικούν στις ρίζες των φυτών και γενικά τις χημικές παραμέτρους φαίνεται να είναι αρνητική, παρόλα αυτά καμία επίδραση δεν παρατηρήθηκε σε βιοχημικές ιδιότητες του εδάφους (Di Bene et al., 2013).

Στην Ισπανία είναι διαδεδομένη η άρδευση ελαιώνων με τα ΥΑΕ σε ξηροθερμικές περιοχές όπου υπάρχει έλλειψη αρδευτικού νερού, αφού πρώτα είχαν εξουδετερωθεί με ασβέστη (Μπαλατσούρας, 1997).

Οι Paredes et al. (1986) σε δοκιμές που μελέτησαν, ανέφεραν ότι μετά από προσθήκη ποσοτήτων ΥΑΕ στο έδαφος, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση των βακτηριακών πληθυσμών σε σχέση με το μάρτυρα, με παράλληλη μεταβολή της σύνθεσης τους. Σε επόμενη μελέτη (Paredes et al., 1987), οι ίδιοι ερευνητές ανέφεραν αύξηση της αγωγιμότητας, η οποία συσχετίστηκε με την αύξηση της τοξικότητας σε βλαστάνοντα σπέρματα, και η οποία εμφανίστηκε σε διάστημα έως 2 μήνες μετά την εφαρμογή των ΥΑΕ στο έδαφος. Σημαντική ήταν η αύξηση της συγκέντρωσης ιόντων  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$  (δημιουργώντας συνθήκες αντικατάστασης του  $Ca$ ), και της σχέσης C/N κατά 30-40%. Τα ΥΑΕ επιδρώντας στη μικροβιακή χλωρίδα του εδάφους, προκάλεσαν μια παροδική μείωση του πληθυσμού των σπορογόνων βακτηρίων ο οποίος αυξήθηκε στη συνέχεια, καθώς και αύξηση σε οξεόφιλους μικροοργανισμούς που εμπλέκονται στο κύκλο του αζώτου.

Οι Tomati et Galli (1992) αναφέρουν ότι αμέσως μετά την προσθήκη των ΥΑΕ στο έδαφος, το pH μειώθηκε και επανήρθε αργότερα στην αρχική του τιμή, ενώ καμία μεταβολή δεν παρατηρήθηκε σε βάθος κάτω από τα 40 cm της επιφάνειας.

Οι Bonari et al. (1993) σε τριετή πειράματα μελέτησαν την αλληλεπίδραση της δόσης των προστιθέμενων ΥΑΕ σε σχέση με καλλιεργούμενα φυτά (*Triticum aestivum* L., *Hordeum vulgare* L., *Helianthus annuus* L. κ.α.) και σε ζιζάνια (*Picris echinoides* L., *Sinapis anvensis* L., κ.α.). Οι ερευνητές ανέφεραν ότι η αρνητική αλληλεπίδραση των ΥΑΕ στα φυτά σχετίζεται με το χρόνο που μεσολαβεί από τη διάθεση του απόβλητου μέχρι την εγκατάσταση της καλλιέργειας. Συγκεκριμένα για φύτευση σε χρονικό διάστημα 60 ημερών, από την προσθήκη ΥΑΕ σε δόσεις 40-80 m<sup>3</sup>/ha, δεν παρατηρήθηκε φυτοτοξικότητα. Ενδιαφέρον εμφανίζουν δεδομένα για την δράση των ΥΑΕ σε ζιζάνια, όπου το *Rumex crispus* εμφάνισε την μεγαλύτερη ευαισθησία για δόσεις πάνω από 40 m<sup>3</sup>/ha.

Τριετή πειραματικά δεδομένα σε αγρό αναφέρουν την ικανότητα εδαφική τομής 2 m να μειώνει σχεδόν ολοκληρωτικά τα οργανικά και ανόργανα συστατικά των ΥΑΕ, σε δόσεις πάνω από 6.000 m<sup>3</sup> / ha (Cabrerera et al. 1996).

Παράλληλα παρουσιάστηκε αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους, του αφομοιώσιμου P, του N, ενώ η ηλεκτρική αγωγιμότητα και ο Λόγος Προσρόφησης Νατρίου (SAR) αυξήθηκαν, αλλά σε ανεκτά όρια. 
$$SAR = \frac{Na^+}{Ca^{2+}} + \frac{Mg^{2+}}{2}$$
 (Μήτσιοις, 1996).

Σε παρόμοια συμπεράσματα είχαν καταλήξει και οι Levi-Minzi et al. (1992) όπου πειραματίστηκαν με προσθήκη δόσεων 80, 160, και 320 m<sup>3</sup>/ ha και πραγματοποίησαν μετρήσεις σε χρόνους 1, 15, 53 και 135 ημέρες από την εφαρμογή των ΥΑΕ στο έδαφος. Τελικά ανέφεραν ότι, η αρχική αύξηση της συγκέντρωσης των φαινολικών, των πτητικών οξέων και η μείωση του δείκτη βλαστικότητα (GI), εξαφανίζεται από το εδαφικό υπόστρωμα, μετά από παρέλευση 60 ημερών, ενώ ο GI εμφάνισε τιμές

μεγαλύτερες του μάρτυρα (έδαφος χωρίς YAE) στο χρόνο T3=135 ημέρες. Η διάθεση YAE στο έδαφος προκάλεσε αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας, εκφρασμένη ως αύξηση της αναπνευστικής δραστηριότητας (C-CO<sub>2</sub>) ή την αύξηση των μικροβιακών αποικιών ανά γραμμάριο εδάφους (Ehaliotis et al., 2003).

Από εδάφη στα οποία είχαν προστεθεί YAE υπό αερόβιες συνθήκες απομονώθηκαν ελεύθερα διαβιούντα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια του γένους *Azotobacter*. Η δραστηριότητα αυτών των μικροοργανισμών είναι ευεργετική για το έδαφος, υπό παρουσία πρόσφορων θρεπτικών πηγών, όπου μέσω του συστήματος της νιτρογενάσης δεσμεύουν μοριακό άζωτο και παράγουν μεγάλες ποσότητες πολυμερών ουσιών που συμβάλουν στη δημιουργία σταθερών εδαφικών συσσωματωμάτων (Balis, 1986).

Στελέχη μυκήτων των γενών *Azotobacter* και *Penicilium* που απομονώθηκαν από έδαφος με YAE χρησιμοποιήθηκαν στην συνέχεια επιτυχώς για την αερόβια βιοαποικοδόμηση των YAE (Ehaliotis et al. 1999, Robles et al., 2000).

Οι Di Giovacchino et al. (2002) μελέτησαν την επίδραση των YAE σε καλλιέργειες καλαμποκιού και αμπελιού. Δεκαετής διάθεση YAE σε αγροτεμάχια, με καλλιέργεια καλαμποκιού, δεν μείωσε την παραγωγικότητα του, αλλά αντιθέτως την αύξησε (προσθέτοντας ποσότητες 10-50 L / m<sup>2</sup>, YAE / χρόνο). Οι ίδιοι ερευνητές ανέφεραν αντίστοιχα συμπεράσματα και για την διάθεση YAE σε καλλιέργεια αμπελιού, όπου όπως συμπεραίνουν επιτεύχθηκε αύξηση της παραγωγής, χωρίς παράλληλα να δημιουργηθεί σημαντική διαφοροποίηση στα φυσικοχημικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του παραγόμενου γλεύκους των σταφυλιών.

Δοκιμές πάνω στην επίδραση των YAE και άλλων οργανικών βιομηχανικών αποβλήτων σε τριετή πειραματισμό σε καλλιέργεια εσπεριδοειδών (πορτοκάλια) στην Ν.Δ. Ισπανία (Mandejon et al. 2001) αναφέρουν ότι η επαναλαμβανόμενη προσθήκη στο έδαφος μετρίων ποσοτήτων οργανικών αποβλήτων έχουν θετική επίδραση στις χημικές και βιοχημικές ιδιότητες του εδάφους, αλλά και στην απόδοση των πορτοκαλεώνων.

Οι Hadrami et al. (2004) σε μελέτες που πραγματοποίησαν στη Τυνησία και το Μαρόκο συμπέραναν ότι, υψηλές δόσεις υδrolίπανσης με YAE, είχαν τοξικές επιδράσεις σε καλλιέργειες τομάτας, καλαμποκιού και σιταριού σε εδάφη με αυξημένη οργανική ουσία, ενώ κατά τη χρήση χαμηλών δόσεων επιδράσανε θετικά, ιδιαίτερα στη περίπτωση καλλιέργειας καλαμποκιού σε έδαφος φτωχό από οργανική ουσία.

Παράλληλα με την ευεργετική επίδραση των YAE στα παραγωγικά αποτελέσματα διαφόρων καλλιεργειών, υπάρχουν αρκετές αναφορές σχετικές με την συμβολή τους στην αύξηση της επισχετικής ικανότητας του εδάφους (Soil supresiveness) έναντι φυτοπαθογόνων όπως μύκητες του γένους *Pythium*, *Phytophthora* (Flouri et al. 1990, Balis et al., 1991) και *Rhizoctonia solani* (Kotsou et al. 2004). Δοκιμή σε καλλιέργειες σιταριού (*Triticum durum* Desf.) από τους Cereti et al. (2004) αναφέρει την αύξηση παραγωγής βιομάζας στις επεμβάσεις όπου εφαρμόστηκε υδrolίπανση με YAE όπου προηγούμενα επεξεργάστηκε σε βιοαντιδραστήρες με φωσφορίτη.

Συγκεντρωτικά η διάθεση των αποβλήτων ελαιοτριβείου στο έδαφος προτείνεται διότι: α) μεγάλο μέρος των αγροτικών εκτάσεων είναι ελλειμματικές σε οργανική ουσία, β) τα ελαιοτριβεία είναι μικρής δυναμικότητας και είναι διασκορπισμένα ανάμεσα στις

καλλιεργήσιμες εκτάσεις και πλησίον στους επιθυμητούς εδαφικούς αποδέκτες (ελαιοπερίβολα).

Τα κυριότερα μειονεκτήματα της μεθόδου διάθεσης των αποβλήτων στο έδαφος σχετίζονται: α) με τις υψηλές βροχοπτώσεις σε πολλές ελαιοπαραγωγικές περιοχές (δυτική Ελλάδα) οι οποίες δυσχεραίνουν το διασκορπισμό των αποβλήτων ελαιοτριβείου στα ελαιοπερίβολα, της επακόλουθης δημιουργίας ανεπιθύμητων αναερόβιων συνθηκών στους εδαφικούς αποδέκτες, στην ύπαρξη, σε πολλές περιπτώσεις, αγρών με υπέδαφος αποτελούμενο από ασβεστολιθικά πετρώματα, διαπερατό σε ρυπαντικά συστατικά, κάτω από ευνοϊκές συνθήκες, στους υδροφόρους ορίζοντες, και τέλος στην εκτεταμένη ημιορεινή μορφολογία του εδάφους στις κύριες ελαιοπαραγωγικές ζώνες πράγμα που επιδεινώνει την δυνατότητα μεταφοράς των αποβλήτων ελαιοτριβείου στους τελικούς αποδέκτες (Ehalotis et al., 2003).

## **2.2.4 Τοξικό φορτίο και ουσίες Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου**

### **2.3.4.1 Φυτοτοξικότητα**

Τα φυτά που αναπτύσσονται σε μια ρυπασμένη περιοχή εκτίθενται σε πολλούς αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης. Αρχικά, οι ρύποι για να αποδομηθούν δημιουργούν ένα χημικό παράγοντα καταπόνησης για το φυτό. Επιπλέον, δευτερογενείς παράγοντες όπως η καταπόνηση από την ξηρασία που προκαλείται από την υψηλή υδροφοβικότητα των ρύπων, η συμπύκνωση του εδάφους ή η έλλειψη θρεπτικών ουσιών που συχνά παρατηρείται σε ρυπασμένες περιοχές, συμβάλλουν στη δημιουργία συνθηκών καταπόνησης για το φυτό.

Το βιοδιαθέσιμο τμήμα ενός ρύπου είναι το μέρος του μορίου του το οποίο εύκολα διατίθεται (και ενδεχομένως αφομοιώνεται) σε ένα οργανισμό. Η βιοδιαθεσιμότητα ωστόσο επηρεάζεται έντονα από την αστάθεια του αντίστοιχου ρύπου, δηλαδή το κλάσμα που είναι διαλυτό ή μπορεί εύκολα να αποσπαστεί. Ο ρυθμός βιοαποικοδόμησης εξαρτάται από την υπάρχουσα ασταθή ποσότητα του ρύπου στην περιοχή, η αύξηση όμως της ποσότητας αυτής αυξάνει και την τοξικότητα στα φυτά. Η φυτοτοξικότητα εξαρτάται επομένως από την βιοδιαθεσιμότητα, είναι δηλαδή μια λειτουργία της ικανότητας πρόσληψης, της βιοχημικής αντιδραστικότητας και της δόσης έκθεσης (Tesar, 2002).

### **2.3.4.2 Φυτοτοξικότητα των Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου**

Οι βασικοί τρόποι που καταπονούνται οι φυτικοί οργανισμοί και η ορμονική λειτουργία τους με την παρουσία των ΥΑΕ είναι, να νεκρώνει τα νεαρά σποριόφυτα, να αποκόπτει τα φύλλα και τους καρπούς, να εμποδίζει την ανάπτυξη των σπόρων και των νέων φυτών και ιδιαίτερα τα ποώδη φυτά. Οι φυτοτοξικές ιδιότητες των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων οφείλονται σε φαινολικές ενώσεις, πτητικά, οργανικά οξέα (οξικό οξύ και φορμικό οξύ), πολυαλκοόλες και άλλα μόρια. Με την απευθείας εφαρμογή των ΥΑΕ στο έδαφος όλα τα προηγούμενα συστατικά βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις, έτσι επηρεάζουν αρνητικά ιδιαίτερα τα φυτά που βρίσκονται

σε βλαστικό στάδιο. Παρ όλα ταύτα η διάθεσή τους σε καλλιέργειες αγρωστωδών, υπό επεξεργασμένο και ελεγχόμενο τρόπο, δηλαδή σε χαμηλές συγκεντρώσεις, δεν προκαλούν κίνδυνο φυτοτοξικότητας, δεν υπάρχει αρνητική επίδραση στην βλαστικότητα και στη φυσιολογική πρόωμη ανάπτυξη των φυτών. Οι κατάλληλες δόσεις ΥΑΕ κυμαίνονται από 40 έως 80 m<sup>3</sup>/ha (D'Annibale et al., 2004; Bonari et al., 1993; Della Creca et al., 2001). Μία ακόμα αρνητική επίδραση των ΥΑΕ στα φυτά μετά από άρδευση, οφείλονται στην υψηλή αγωγιμότητα, το χαμηλό pH, και την τοξικότητα ορισμένων ιόντων που περιέχουν (Paredes, 1987). Έρευνα για δοκιμή φυτοτοξικότητας σε ντομάτα και κολοκυθιά, έδειξε ότι ΥΑΕ παρέμειναν φυτοτοξικά, ακόμη και μετά την ολική απομάκρυνση των πολυφαινολών τους. Συνεπώς προκύπτει ότι και άλλες οργανικές ή ανόργανες ενώσεις θα συμμετείχαν στην φυτοτοξικότητα των αποβλήτων στα φυτά (Capasso et al., 1992).

#### **2.3.4.3 Τοξικότητα των Υγρών Αποβλήτων Ελαιολιτριβείου στους μικροοργανισμούς**

Η τοξικότητα σε μικροοργανισμούς οφείλεται στην παρουσία υψηλού οργανικού φορτίου ενώ οι υψηλές συγκεντρώσεις σε φαινόλες και τανίνες και η υψηλή περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά είναι υπεύθυνα για την καταπόνηση των μικροοργανισμών. Οι τανίνες μπορεί να είναι πολύ τοξικές αλλά μπορούν να αποικοδομηθούν βιολογικά, ενώ οι πολυφαινόλες έχουν αντιμικροβιακή δραστηριότητα. Οπότε επηρεάζουν αρνητικά τις βιολογικές διαδικασίες επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, αφού είναι δύσκολα βιοαποικοδομήσιμες αν και έχουν μικρή τοξικότητα. Δοκιμές σε έκθεση τριών υδρόβιων οργανισμών (*Vibrio fischeri*, *Thamnocephalus platyurus*, *Daphnia magna*) οδήγησε σε υψηλές τιμές οξείας τοξικότητας (Paixao et al., 1999). Η εφαρμογή των ΥΑΕ προκάλεσε παρεμποδιστική δράση στην ανάπτυξη παθογόνων μυκήτων του γένους *Phytophthora* και *Fusarium*, *in vitro* και σε πειράματα με φυτά (Argeiti et al., 2001). Ακόμη τα ΥΑΕ έχουν ισχυρή παρεμποδιστική δράση σε πολλά είδη εδαφογενών βακτηρίων και μυκήτων (*Lactobacillus*, *Bacillus*, *Chaetomium*, *Geotrichum*, *Rhizoctonia*) λόγω της υψηλής περιεκτικότητας του σε φαινολικά συστατικά. Όμως αρκετοί ερευνητές αναφέρουν την ύπαρξη μικροοργανισμών (ζύμης *Torulopsis utilis*, *Saccharomyces* και *Candida*) όπου μπορούν να παράγουν αποικίες στα υγρά απόβλητα με δυνατότητα αποτοξικοποίησής τους (Paixao et al., 1999). Έρευνα έδειξε ότι η διάθεση των ΥΑΕ στο έδαφος, αύξησε τον πληθυσμό των βακτηρίων συγκριτικά με τον αρχικό πληθυσμό του φυσικού εδάφους. Τα είδη των βακτηρίων που επωφελήθηκαν ήταν τα μη σπορογόνα gram θετικών ακτινομύκητων, σε αντίθεση με τα σπορογόνα βακίλων (Paredes, M. J. 1986).

#### 2.3.4.4 Πολυφαινόλες

Με τον όρο πολυφαινόλες χαρακτηρίζεται μια μεγάλη ετερογενής ομάδα ενώσεων με κοινό χαρακτηριστικό ότι φέρουν ένα ή περισσότερα υδροξύλια συνδεδεμένα απευθείας σε ένα ή περισσότερους αρωματικούς ή και ετεροκυκλικούς πυρήνες. Η ελαιοζύμη περιέχει 2-5 % φαινολικές ουσίες. Από αυτές 1-4 g/l περνούν στα φυτικά υγρά και ποσότητα 70-900 mg/l (ppm) κατακρατούνται από το ελαιόλαδο ανάλογα με τις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν ([www.olitecn.gr](http://www.olitecn.gr)- Χημικές Αναλύσεις, Εργαστηριακές Έρευνες). Σήμερα είναι γνωστές περισσότερες από 8.000 πολυφαινόλες. Οι πολυφαινόλες παράγονται ως προϊόντα δευτερογενούς μεταβολισμού των φυτών. Συνήθως συναντώνται στη φύση συνδεδεμένες με υδατάνθρακες μέσω των υδροξυλίων τους. Τα συζευγμένα σάκχαρα μπορεί να είναι μονοσακχαρίτες, δισακχαρίτες ή και ολιγοσακχαρίτες. Το πιο κοινό σάκχαρο που απαντάται είναι η γλυκόζη. Άλλα σάκχαρα είναι: γαλακτόζη, ξυλόζη, ραμνόζη, αραβινόζη, γλυκουρονικά οξέα κ.α.. Οι φαινόλες είναι γνωστές στη βιβλιογραφία και σαν πολυφαινόλες ή πολυφαινολικές ενώσεις. Είναι ένα από τα κύρια συστατικά των ΥΑΕ και ενοχοποιούνται για τη δύσκολη επεξεργασία τους, αφού είναι συστατικά αποικοδομούνται αργά, αφού παρουσιάζοντας αντιμικροβιακές και φυτοτοξικές ιδιότητες (Σπαρτάλη Ν. 2005). Αναλυτικότερα φαινολικές ενώσεις ονομάζονται οι ουσίες οι οποίες αποτελούνται από ένα βενζολικό δακτύλιο ο οποίος περιέχει απευθείας ενωμένες μία ή περισσότερες υδροξυλομάδες. Στα φυτά έχουν βρεθεί περισσότερες από 4.000 διαφορετικές φαινολικές ενώσεις (Χριστοφορίδου Σ. 2001). Οι φαινόλες που υπάρχουν στο ελαιόλαδο προέρχονται από τον καρπό και τα φύλλα της ελιάς και ανήκουν στο πολικό τμήμα του ελαιολάδου. Η ποσότητα τους στο ελαιόλαδο ποικίλει και εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες όπως το υψόμετρο της περιοχής καλλιέργειας του ελαιόδεντρου, τις κλιματολογικές συνθήκες (ύψος βροχοπτώσεων, θερμοκρασία), τις εργασίες κατά την καλλιέργεια, το βαθμό ωριμότητας του ελαιόκαρπου και τον τύπο του Ελαιοτριβείου που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή του ελαιολάδου (Ryan D and K. Robards, 1998). Η διάλυση των κολλοειδών ουσιών (πρωτεϊνών και πολυσακχαριτών) οι οποίες είναι υδατοδιαλυτές και συνυπάρχουν με τις φαινολικές συντελεί και στη μερική διάλυση των φαινολικών ουσιών κατά την επεξεργασία του ελαιόκαρπου στο Ελαιοτριβείο. Η διάλυση αυτή έχει σαν συνέπεια ένα μεγάλο μέρος των φαινολικών ενώσεων που περιέχονται στη σάρκα του καρπού, να απομακρύνονται με τα απόνερα. Οι φαινολικές ενώσεις στο λάδι δεν περιέχουν στο μόριο τους περισσότερες από 1-2 υδροξυλομάδες. Οι φαινολικές ενώσεις, ελεύθερες ή εστεροποιημένες, περιέχονται στο πολικό μέρος του ελαιολάδου, το οποίο λαμβάνεται με εκχύλιση με μείγμα μεθανόλης-νερού (Tsimidou M., Papadopoulos G., Boskou D., 1992). Στους διάφορους τύπους ελαιολάδου έχουν βρεθεί περισσότερες από 20 πολυφαινόλες. Σε μεγάλες ποσότητες βρίσκονται η τυροσόλη και η υδρόξυ-τυροσόλη. Επίσης υπάρχουν παράγωγα του κινναμικού οξέος (ο-κουμαρικό οξύ, p-κουμαρικό οξύ, φερουλικό οξύ, καφεϊκό οξύ, συναπικό οξύ, 3-υδροξυ-4-μεθοξυκινναμικό οξύ), παράγωγα του βενζοϊκού οξέος (p-υδροξυβενζοϊκό οξύ, βανιλλικό οξύ, πρωτοκατεχικό οξύ, γαλλικό οξύ, συριγγικό οξύ, γεντιστικό οξύ),

φαινολικές αλκοόλες (τυροσόλη, υδροξυτυροσόλη), σικιμικό οξύ, παράγωγα του φαινολικού οξέος (p-φαινυλοξικό), και οι ενώσεις θυμόλη, καρβακρόλη και οι φλαβονοειδείς ενώσεις καμφερόλη, απιγενίνη και κερκετίνη (Χριστοφορίδου Σ., 2001). Οι φαινόλες είναι ευαίσθητες στο φως και την υψηλή θερμοκρασία, ενώ έχουν αντιοξειδωτική δράση, λόγω του φαινολικού τους δακτύλιου. Έτσι το ελαιόλαδο, πλούσιο σε πολυφαινόλες, παρουσιάζει μεγαλύτερη αντίσταση στην οξείδωση. Αν και η παρουσία των φαινολικών ενώσεων έχει συνδεθεί με τη μεγάλη διάρκεια ζωής του ελαιόλαδου, δεν γνωρίζεται πλήρως ποια συστατικά είναι υπεύθυνα για την αντιοξειδωτική του ικανότητα. Εκτός από την τυροσόλη και την υδροξυτυροσόλη που βρίσκονται σε μεγάλο βαθμό στο ελαιόλαδο, περιέχεται και ένα πλήθος από άλλα φαινολικά συστατικά, κάποια από αυτά σε πολύ μικρές ποσότητες, που είναι πιθανόν να επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την αντιοξειδωτική ικανότητα του ελαιόλαδου. (Tsimidou., Papadopoulos., Boskou., 1992). Η αντιοξειδωτική ικανότητα των φαινολών εκτός των άλλων προσδίδει και προστατευτικές ιδιότητες έναντι ασθενειών που πλήττουν τον άνθρωπο. Από επιδημιολογικές μελέτες γνωρίζουμε ότι η Μεσογειακή δίαιτα, πλούσια σε κατανάλωση λαδιού συμβάλλει στη μείωση καρδιαγγειακών παθήσεων και την εμφάνιση συγκεκριμένων μορφών καρκίνου οι οποίες είναι αυξημένες στις βόρειες Ευρωπαϊκές χώρες σε σχέση με τις νότιες Μεσογειακές (Briante., Febbraio., Nucci., 2003). Πέρα από τις προστατευτικές ιδιότητες των φαινολών μπορούν να δημιουργήσουν και σοβαρά προβλήματα στην υγεία. Μετά από κατάποση έχουν αναφερθεί παθήσεις όπως γαστροεντερικές ενοχλήσεις, προβλήματα στο συκώτι και τα νεφρά, νευρικοί σπασμοί, αρρυθμίες στην καρδιά, καρδιαγγειακό κλονισμό ακόμα και θάνατο. Η χαμηλότερη αναφερόμενη δόση με συνέπεια το θάνατο ήταν 4,8 g από κατάποση μέσα σε 10 λεπτά. Έχουν γίνει μελέτες ακόμη για καρκινογένεση σε ποντίκια αλλά αποτελέσματα για τους ανθρώπους δεν υπάρχουν μέχρι στιγμής. Προβλήματα μπορούν να δημιουργηθούν ακόμη και όταν έρθει σε επαφή με το δέρμα όπως ερεθισμός, εγκαύματα ακόμη και νέκρωση ιστών. Όρια για δερμική έκθεση δεν υπάρχουν. [Environmental health criteria forphenol, [www.inhem.org/documents/ehc/ehc/ehc161.htm](http://www.inhem.org/documents/ehc/ehc/ehc161.htm)]. Οι φαινολικές ενώσεις που υπάρχουν στα απόβλητα ελαιοτριβείου διακρίνονται, α) στις απλές φαινολικές ενώσεις, που περιλαμβάνουν τανίνες μικρού μοριακού βάρους και φλαβονοειδή και β) στις πολυφαινόλες οι οποίες περιλαμβάνουν σκούρου χρώματος πολυμερή και προκύπτουν σαν αποτέλεσμα του πολυμερισμού και της οξείδωσης των απλών φαινολικών ενώσεων (Hamdi, 1992). Στα απόβλητα ελαιοτριβείου έχουν ανιχνευτεί πάνω από τριάντα φαινολικές ενώσεις.

Η παρουσία των φαινολικών ενώσεων στα απόβλητα ελαιοτριβείου είναι ίσως το σημαντικότερο εμπόδιο για την αποτοξικοποίηση του αποβλήτου. Ωστόσο πολλές επιστημονικές εργασίες αποδεικνύουν την χρησιμότητα αυτών των ενώσεων στην ανθρώπινη υγεία, αφού παρουσιάζουν αντιοξειδωτική, αντικαρκινική και καρδιοπροστατευτική δράση και θα μπορούσαν κάλλιστα να χρησιμοποιηθούν στις βιομηχανίες τροφίμων, φαρμάκων και καλλυντικών (Vermerris and Nickolson, 2006), (Shahidi and Naczsk, 2004).

Εκτός από την διατήρηση της ποιότητας του ελαιόλαδου η αντιοξειδωτική δράση των φαινολών προκαλεί θεραπευτικές ιδιότητες στον άνθρωπο (μείωση καρδιοαγγειακών παθήσεων), (Briante et al., 2003 ).

Η μείωση της συγκέντρωσης των φαινολικών ενώσεων αποδίδεται στην μικροβιακή αποδόμηση, στον πολυμερισμό σε ανθεκτικές πολυφαινολικές ενώσεις μεγάλης μοριακής μάζας και στην ακόλουθη απορρόφησή τους από τα σωματίδια του εδάφους, καθώς επίσης και στην ενσωμάτωσή τους στην οργανική ύλη του εδάφους (Constantina Rousidou et al. 2009; K. Chartzoulakis, G. Psarras et al. 2010). Εδάφη με μεγάλα ποσοστά αργίλου, χαρακτηρίζονται από υψηλό δυναμικό απομάκρυνσης φαινολικών ενώσεων. Η μείωση αυτή αποδίδεται κυρίως σε διεργασίες απορρόφησης-οξειδωσης και σχετίζονται με το περιεχόμενο του εδάφους σε άργιλο και τα οξείδια μετάλλων που βρίσκονται σε αυτό ( Constantina Rousidou et al. 2009).

**Πίνακας 3 Συγκέντρωση φαινολικών συστατικών Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου ( Lasage-MeeseenL., 2001)**

Φαινολικά Συστατικά	Εύρος Τιμών (mg/L)
tyrosol	5 – 100
hydroxytyrosol	35 – 130
Caffeic acid	4 – 12
Elenolic acid	17 – 1430
luteolin	2 – 623
Cinnamic acid	1 - 118

#### 2.3.4.5 Άζωτο

#### ΟΛΙΚΟ ΑΖΩΤΟ

Οι κυριότερες μορφές αζώτου στα νερά είναι:

- μοριακό άζωτο ( $N_2$ )
- νιτρικά ιόντα ( $NO_3^-$ )
- νιτρώδη ιόντα ( $NO_2^-$ )
- αμμωνιακά ιόντα ( $NH_4^+$ )
- οργανικό άζωτο

Ως δείκτες αζωτούχου ρύπανσης χρησιμοποιούνται οι ανόργανες μορφές αζώτου

- Αμμωνία- αμμωνιακά ιόντα

-Βρίσκεται με τη μορφή  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$  και  $\text{NH}_3$  (σε χαμηλές συγκεντρώσεις στα επιφανειακά ύδατα- σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα αστικά λύματα και σε απόβλητα βιομηχανικών κλάδων-στα υπόγεια νερά η συγκέντρωσή της είναι μικρή)

-Αποτελεί ένδειξη πρόσφατης ρύπανσης από οργανικές ενώσεις (προϊόν αποδομήσεως οργανικών αζωτούχων ενώσεων (πρωτεϊνών και αμινοξέων) και παρουσίας μικροοργανισμών που καθιστούν το νερό ακατάλληλο προς πόση.

-Η αναλογία  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$  καθορίζεται κυρίως από το pH.

- Νιτρώδη

-είναι μία σχετικά ασταθής ενδιάμεση οξειδωμένη μορφή αζώτου που μπορεί να σχηματιστεί σε αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες.

- προέρχονται τόσο από την οξείδωση της αμμωνίας (σε αερόβιες) από μικροοργανισμούς (nitrosomonas) όσο και από την αναγωγή των νιτρικών (σε αναερόβιες).

- Τα νιτρώδη στο νερό σχηματίζονται από ατελή βακτηριακή οξείδωση του οργανικού αζώτου που απελευθερώνεται από φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς που αποσυντίθενται. Μπορεί επίσης να σχηματιστούν από την μικροβιακή αναγωγή νιτρικών σε περιβάλλον που υπάρχει έλλειψη οξυγόνου.

-Στα φυσικά νερά η συγκέντρωσή τους είναι μικρή, κάτω από 0,1 ppm  $\text{NO}_2^-$ -N. Αυξημένες συγκεντρώσεις ένδειξη αναγωγικού περιβάλλοντος.

-Θεωρούνται επικίνδυνα για τους οργανισμούς - σε όξινο περιβάλλον, αντιδρούν με τις δευτεροταγείς αμίνες σχηματίζοντας νιτροζαμίνες που είναι δυνητικά καρκινογόνες.

- Νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ )

-Τα νιτρώδη οξειδώνονται βιολογικά (nitrobacter) προς νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ )

-Η συγκέντρωση τους είναι μικρή στα φυσικά νερά, ενώ σε ορισμένα υπόγεια παρουσιάζεται αυξημένη.

-Η κύρια πηγή νιτρικών στα νερά είναι τα εκπλύματα καλλιεργούμενων εδαφών (από τα λιπάσματα)- η νιτρορρύπανση είναι παγκόσμιο πρόβλημα.

-Επίσης σχηματίζονται και ανεξάρτητα από ανθρώπινη δραστηριότητα (ατμόσφαιρα, αποσύνθεση).

-Αποτελούν φυσιολογικό συστατικό τροφών (λαχανικά, παστά).

-Η τοξικότητα των νιτρικών για τον άνθρωπο οφείλεται κυρίως στην μετατροπή τους σε νιτρώδη (κάτω από ορισμένες συνθήκες) τα οποία οξειδώνουν την φυσική αιμογλοβίνη του αίματος σε μεθαιμογλοβίνη η οποία δεν μπορεί να μεταφέρει οξυγόνο στους ιστούς και εκδηλώνεται η κατάσταση μεθαιμογλοβιναιμίας, ασθένεια η οποία μπορεί να οδηγήσει (κυρίως βρέφη) στο θάνατο (κλινική εκδήλωση-κυάνωση βρεφών).

- Οργανικό άζωτο

-Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί μετατρέπουν το ανόργανο άζωτο σε αμίνες και αμινοξέα, δομικά συστατικά των πρωτεϊνών και των νουκλεϊκών οξέων. Μετά το θάνατο το άζωτο απελευθερώνεται με τη μορφή διαλυτών και αδιάλυτων οργανικών ενώσεων και διάφοροι μικροοργανισμοί το μετατρέπουν σε  $\text{NO}_2^-$  και  $\text{NO}_3^-$ .

- Αυξημένες συγκεντρώσεις οργανικού αζώτου υποδηλώνουν ρύπανση από αστικά λύματα, ή βιομηχανικά απόβλητα.

(Ι. Χαραλάμπους, Καθηγήτρια ΕΜΠ Περιβαλλοντική Επιστήμη ΥΔΑΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Μέρος 6ο).

#### 2.3.4.6 Φώσφορος

### ΟΛΙΚΟΣ ΦΩΣΦΟΡΟΣ

Δεν απαντάται ελεύθερος στο περιβάλλον και στα νερά βρίσκεται με διάφορες μορφές ανόργανων και οργανικών φωσφορικών ενώσεων. Οι ανόργανες φωσφορικές ενώσεις είναι κυρίως τα ορθοφωσφορικά ιόντα  $\text{PO}_4^{3-}$  και τα πολυφωσφορικά ιόντα  $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ ,  $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$ ,  $\text{P}_3\text{O}_9^{3-}$  και άλλες πολυφωσφορικές ενώσεις, οι οποίες μπορεί να είναι διαλυτές ή αδιάλυτες στα αιωρούμενα στερεά – προέρχονται από ανθρωπογενή ρύπανση.

Ως οργανικός φώσφορος βρίσκεται σε οργανικά μόρια του πρωτοπλάσματος οργανισμών όπως στις αδεσινο δι- και τρι- φωσφορικές ενώσεις (ATP) και σε διαλυμένα οργανικά μόρια που σχηματίζονται από την αποσύνθεση ζώντων οργανισμών.

Κύρια πηγή φωσφορικών στα νερά είναι τα συνθετικά απορρυπαντικά, στα οποία συνήθως προστίθενται μεγάλες ποσότητες τριφωσφορικού νατρίου ( $\text{STP-Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ).

Το τριφωσφορικό νάτριο σχηματίζει ευδιάλυτα σύμπλοκα με τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου του νερού. Με τον τρόπο αυτό δεσμεύονται τα ιόντα  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  που αναστέλλουν την απορρυπαντική δράση και δημιουργείται αλκαλικό περιβάλλον που χρειάζεται για πιο αποτελεσματικό καθαρίσμα. Τα νερά έκπλυσης, που καταλήγουν

σε φυσικούς αποδέκτες, περιέχουν έτσι μεγάλες ποσότητες τριφωσφορικού νατρίου, το οποίο μετατρέπεται σε φωσφορικά ιόντα. Άλλες πηγές φωσφορικών είναι τα λιπάσματα, απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων και υγρά βιομηχανικά απόβλητα (Ι. Χαραλάμπους).

### **2.2.5 Νομοθετικά όρια και σχετικές διατάξεις για τα Υγρά Απόβλητα Ελαιοτριβείου**

Η νομοθεσία που αφορά τα ελαιουργικά απόβλητα δε διέπεται από συγκεκριμένες νομοθετικές οδηγίες της ευρωπαϊκής ένωσης, εξαιτίας του γεγονότος ότι τα εν λόγω απόβλητα παράγονται κυρίως σε Μεσογειακές χώρες. Όμως οι διατάξεις και οι οδηγίες σχετικά με τα επικίνδυνα ή συμβατικά απόβλητα καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα. Παρατίθενται οι όποιες σχετικές διατάξεις ευρέθησαν :

- Η Κοινοτική Οδηγία 91/271/EEC με θέμα «Επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων» αφορά μόνο στην προστασία του περιβάλλοντος από τις επιβλαβείς επιπτώσεις λόγω διάθεσης αστικών και αγροτικών υγρών αποβλήτων. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητη η κατάλληλη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων πριν την διάθεσή τους σε υδατικούς αποδέκτες και μόνο σε περίπτωση προ-επεξεργασίας υπάρχει δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης τους.
- Οι βασικές αρχές διαχείρισης των ελαιουργικών αποβλήτων βασίζονται στο νόμο 1650/86 «περί προστασίας του περιβάλλοντος» σύμφωνα με τον οποίο οι ιδιοκτήτες ελαιοτριβείων είναι υποχρεωμένοι να καταθέτουν Μελέτη Περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Κοινή Υπουργική Απόφαση Υ2/2600/2001( - ΦΕΚ-892 Β'/11-7-01) (Διορθ. σφαλμ. στο ΦΕΚ 1082 Β'/14-8-01) σε συμμόρφωση με την οδηγία 98/83/ΕΚ: «Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης», σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998 , προκύπτει η ανώτερη συγκέντρωση φαινολικών ενώσεων (πλην πενταχλωροφαινόλης ) που επιτρέπεται στο πόσιμο νερό να είναι 0,50 µg/L , στο φώσφορο (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) στα 5 µg/L και στο κάλιο στα 12 µg/L ενώ στα νιτρικά και στα νιτρώδη στα 50 , 0,5 αντίστοιχα και τέλος η αγωγιμότητα στα 2500µs/cm .
- ΟΔΗΓΙΑ 2006/44/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 6ης Σεπτεμβρίου 2006 περί της ποιότητας των γλυκών υδάτων που έχουν ανάγκη προστασίας ή βελτιώσεως για τη διατήρηση της ζωής των ιχθύων ( ύδατα σαλμονιδίων και ύδατα κυπρινιδίων).
- Κοινή Υπουργική Απόφαση 127402/2487/Φ15 (πρόταση Ινστιτούτου ελιάς και Υποτροπικών Φυτών ) μετά από προεπεξεργασία (προσθήκη υδράρβεστου, λιποσυλογή, καθίζηση ) τα ΥΑΕ μπορούν να διατεθούν για υδρολίπανση στους ελαιώνες με μέγιστο όγκο ετήσιας εφαρμογής τα 8m<sup>3</sup>/ανάστρέμμα/ανά χρόνο, ενώ αν υπάρξουν οχλήσεις οσμής , ύστερα και από την ανάδευση της δεξαμενής, θα πρέπει να προστεθεί υπεροξείδιο του υδρογόνου. Για να μπορέσουν να εξατμιστούν τα λύματα το καλοκαίρι θα

πρέπει οι δεξαμενές να έχουν βάθος έως 1,5m και μια έκταση από 2 έως 5 στρέμματα, κάτι το οποίο συνήθως δεν συμβαίνει.

- ΝΟΜΟΣ ΥΠ. ΑΡΙΘΜ. 2516/97: Ίδρυση και λειτουργία βιομηχανικών και βιοτεχνικών εγκαταστάσεων και άλλες διατάξεις (ΦΕΚ 159/Α/8-8-97). Σύμφωνα με το άρθρο 1 και με βάση την κινητήρια εγκατεστημένη ισχύ που είναι πάνω από 16 HP, τα ελαιοτριβεία νοούνται ως Βιομηχανία ή Βιοτεχνία.
- Κοινή Υπουργική Απόφαση 10537/93 : Καθορισμός αντιστοιχίας της κατάταξης των βιομηχανικών – βιοτεχνικών δραστηριοτήτων της ΚΥΑ 69269/90 με την αναφερόμενη στις πολεοδομικές ή άλλες διατάξεις διάκριση των δραστηριοτήτων σε χαμηλή, μέση και υψηλή όχληση (ΦΕΚ 139Β/11-3-93). Σύμφωνα με το άρθρο 1, τα ελαιοτριβεία κατατάσσονται στις δραστηριότητες χαμηλής όχλησης.
- ΚΥΑ Ε1β/221/65 : Περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων (ΦΕΚ 138/Β/24-12-1965). Εδώ παρουσιάζονται τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχουν τα επιφανειακά και τα θαλάσσια νερά ανάλογα με τις χρήσεις τους, συγκεκριμένα :
  - οσμή μικρότερη του οριακού αριθμού 8 (threshold number)
  - φαινολικές ενώσεις < 0,005mg
  - Ph 6,5 έως 8,5
  - διαλυμένο οξυγόνο τουλάχιστον 5 mg/l
  - κατά τη διάθεση των λυμάτων και των βιομηχανικών αποβλήτων στο έδαφος και στο υπέδαφος θα πρέπει να απέχει τουλάχιστον 30 μέτρα κάποια πηγή ή φρεάτιο υδροληψίας, ενώ η κλίση του εδάφους θα πρέπει να είναι ομαλή.
- Π.Δ. 51/2007, καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2000/60/ΕΚ «για την θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων» του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000.
- Μια σημαντική οδηγία εφαρμογής της Υ.Δ. Ε1β/221 που κοινοποιήθηκε με την εγκύκλιο του ΥΚΥ με αριθμό Α5/4690/ΕΓΚ.62/26-4-80, αναφέρει τους όρους για τη χορήγηση άδειας διαθέσεως λυμάτων ή βιομηχανικών αποβλήτων, τον τρόπο ανανέωσης προσωρινής άδειας διαθέσεως τους και στοιχεία για τον έλεγχο αποδόσεως των εγκαταστάσεων επεξεργασίας. Στο παράρτημα 1 της Οδηγίας υπάρχει ενδεικτικός πίνακας με τα προτεινόμενα χαρακτηριστικά ποιοτικών παραμέτρων, για τον έλεγχο των βιομηχανικών αποβλήτων κατά κλάδο και είδος βιομηχανίας. Έτσι στην κατηγορία Βρώσιμα Λίπη και Έλαια του κλάδου Τροφών και Ποτών, οι τακτικοί ποιοτικοί 39 παράμετροι που πρέπει να εξετάζονται είναι το BOD<sub>5</sub>, και το COD, τα αιωρούμενα στερεά, τα διαλυμένα στερεά, τα λίπη, τα έλαια και το pH ενώ οι συμπληρωματικοί παράμετροι είναι το N, ο P, τα θειικά και τα θειούχα κατά περίπτωση.

Το πιο σημαντικό βήμα που έχει γίνει μέχρι σήμερα στην ελληνική νομοθεσία για τα Απόβλητα των Ελαιοτριβείων, αποτελεί η εγκύκλιος του ΥΥΠΕΚΑ με αρ. ΥΜ/5784/23-1-1992 και αρ. 4419/23-10-1992. Αυτή η εγκύκλιος αναφέρει αναλυτικά: «Έχοντας υπόψη τα προβλήματα που δημιουργούνται στο περιβάλλον από τη διάθεση των αποβλήτων των ελαιοτριβείων», σας γνωρίζουμε τα εξής: 1) Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων των ελαιοτριβείων με χημική μέθοδο (εξουδετέρωση με υδράσβεστο και χημική κροκίδωση) αποτελεί μια μέθοδο μείωσης του οργανικού και χημικού ρυπαντικού φορτίου, για χαμηλά όμως ποσοστά. Ακόμα και με πλήρη σχεδόν απόδοση των εγκαταστάσεων δεν προσεγγίζει τα επιθυμητά επίπεδα, όπως προβλέπεται από την Υ.Δ.Ε1β/221/65 και τις σχετικές εγκυκλίους. 2) Η προαναφερόμενη μέθοδος είναι μια κλασσική και ευρέως διαδεδομένη μέθοδος μείωσης της ρύπανσης, πλην όμως υπάρχουν και άλλες παραλλαγές αυτής ή και συμπληρωματικές (π.χ. διάφορα κροκιδωτικά υλικά, συνδυασμός με αναερόβια βιολογική επεξεργασία κ.λ.π). Επειδή πρόκειται για επιβαρημένα και δύσκολα στο χειρισμό απόβλητα, θα πρέπει η επιλεγόμενη μέθοδος επεξεργασίας, πέραν της υψηλής αποδοτικότητας και λειτουργικότητας, να είναι και τεχνικό – οικονομικώς συμφέρουσα στις μικρές επιχειρήσεις (ελαιοτριβεία). Στα πλαίσια αυτά στρέφονται και οι ερευνητικές μελέτες που έγιναν και γίνονται και που οπωσδήποτε τα αποτελέσματα θα συνεκτιμηθούν και θα γίνουν οι ανάλογες νομοθετικές ρυθμίσεις (εγκύκλιοι, τροποποιήσεις Υγειονομικών Διατάξεων κ.λ.π). 3) Ο τελικός αποδέκτης των επεξεργασμένων αποβλήτων θα καθορίζεται πάντοτε στα πλαίσια της Υ.Δ.Ε1β/221/65 και της εγκυκλίου με αρ. οικ. ΥΜ 2985/29-5-91 και οπωσδήποτε θα λαμβάνονται υπόψη οι τοπικές συνθήκες. Η θάλασσα και γενικότερα οι υδάτινοι αποδέκτες θα πρέπει να αποφεύγονται και αποτελούν μόνο την αναπόφευκτη λύση, αφού αποκλεισθούν όλες οι άλλες δυνατότητες τελικής διάθεσης (υπεδάφιας, επιφανειακά στο έδαφος κ.λ.π).

- ΠΡΟΕΔΡΙΚΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ ΥΠ' ΑΡΙΘΜΟΝ 1180 «περί ρυθμίσεως εις τα της λειτουργίας βιομηχανιών, βιοτεχνιών, πάσης φύσεως μηχανολογικών εγκαταστάσεων και αποθηκών και της εκ τούτων διασφαλίσεως περιβάλλοντος εν γένει » (ΦΕΚ 293/Τ.Α./6-10-1981).

Κατευθυντήριες τιμές για τις ανώτατες τιμές εκπομπών σε υδάτινους αποδέκτες σύμφωνα με το Προεδρικό Διάταγμα 1180 :

**Πίνακας 4 Προεδρικό Διάταγμα 1180 για τις ανώτατες τιμές απορροής Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου σε υδάτινους αποδέκτες**

Είδος Εγκατάστασης	Παράμετροι	Ανώτατη μέση τιμή 24ώρου (mg/l)	Μέσος όρος για 30 συνεχείς ημέρες (mg/l)
Παραγωγή και επεξεργασία φυτικών λυτών και ελαίων	BOD5	800	400
	COD	1200	600
	Αιωρούμενα στερεά	1000	400
	Λίπη και έλαια	200	100
Όλες οι εγκαταστάσεις	pH	6.0-9.0	6.0-9.0

- Οι άδειες λειτουργίας των ελαιοτριβείων χορηγούνται υπό την προϋπόθεση εφαρμογής κατάλληλων μεθόδων διαχείρισης των υγρών αποβλήτων ελαιοργάνης, μερικές απ' τις οποίες, όπως προαναφέρθηκε, είναι η διάθεση σε κατάλληλα διαμορφωμένες εξατμισοδεξαμενές, η προ-επεξεργασία με υδράσβεστο πριν τη διάθεση και ο κλασματικός διαχωρισμός μέσω φυσικής καθίζησης όπου λαμβάνει χώρα περαιτέρω διαχείριση του κάθε κλάσματος ξεχωριστά. Ωστόσο, δεν υπάρχει μια και μόνο μέθοδος η οποία μπορεί να εξασφαλίσει αποδοτική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ελαιοργάνης και με χαμηλό κόστος εφαρμογής για μια ελαιοπαραγωγική μονάδα, δεδομένης της γεωγραφικής διασποράς των ελαιοτριβείων και του μικρού μεγέθους των εγκαταστάσεων.
- Η Οδηγία 91/676/ΕΟΚ για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση θέτει στόχους για τη μείωση των αζωτούχων ρύπων. Το 70-80% του συνολικά απορριπτόμενου αζώτου προέρχεται από τη γεωργία και είναι δύσκολος ο έλεγχος των εκροών του. η Οδηγία αυτή δεν έχει εκπληρώσει το στόχο της, δηλαδή να μειωθεί σημαντικά η ρύπανση από νιτρικά και να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα του ευτροφισμού.  
Τα κράτη - μέλη πρέπει:
  - να εντοπίσουν και να καταγράψουν τους φυσικούς αποδέκτες γλυκού νερού της επικράτειας τους, στους οποίους η συγκέντρωση νιτρικών υπερβαίνει ή είναι πιθανόν να υπερβεί το όριο των 50mg/l (ευπρόσβλητες ζώνες).
  - να καταρτίσουν Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής (ορθολογική χρήση λιπασμάτων, επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων για αρδευτικούς σκοπούς, ασφαλής χρήση ιλίου στη γεωργία κ.λπ.) οι οποίοι να είναι εφαρμόσιμοι σε ολόκληρη την επικράτεια τους.
  - να καταρτίσουν προγράμματα δράσης για τις ευπρόσβλητες ζώνες.
- Η Οδηγία 98/83/ΕΚ ορίζει για τα νιτρώδη ιόντα παραμετρική τιμή τα 0,5 mg/L. Σημειώνει ότι επειδή στον ανθρώπινο οργανισμό μπορεί να γίνει μετατροπή των νιτρικών σε νιτρώδη πρέπει να ελέγχεται το σύνολο των νιτρικών και νιτρωδών σύμφωνα με τη σχέση:
 
$$C \frac{(NO_2)}{3} + C \frac{NO_3}{50} < 1$$
- Η Οδηγία 98/83/ΕΚ ορίζει για τα νιτρικά ιόντα σαν παραμετρική τιμή τα 50 mg/L.
- Η Κοινοτική Οδηγία 91/271/ΕΟΚ για τα αστικά λύματα θέτει περιορισμούς και προδιαγραφές σχετικά με την επεξεργασία τους. Ανάμεσα σε άλλα θέματα, καθιστά υποχρεωτική τη δημιουργία σταθμών επεξεργασίας των λυμάτων και την επίτευξη ποιότητας επεξεργασμένης εκροής που να επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση τους ή την ασφαλή διάθεσή τους στο περιβάλλον. Επίσης προβλέπει την υποχρεωτική μέτρηση συγκεκριμένων ρυπαντικών παραμέτρων στα επεξεργασμένα λύματα, στις οποίες παραμέτρους συμπεριλαμβάνονται το άζωτο και ο φώσφορος, εάν οι μονάδες επεξεργασίας

βρίσκονται σε περιοχές που ενδέχεται να αναπτυχθούν φαινόμενα ευτροφισμού των υδάτων.

- Μια σημαντική νομοθετική εξέλιξη στην Ιταλία, σχετικά με την διαχείριση και διάθεση των ΥΑΕ, πραγματοποιήθηκε με τη ψήφιση του νόμου 574 την 11η Νοεμβρίου του 1996, όπου καθορίστηκε σε ορθολογικά προσαρμοσμένα όρια οι ποσότητες ανεπεξέργαστων ΥΑΕ που επιτρέπονται να αξιοποιούνται στην Γεωργία σε 5-8 m<sub>3</sub>/στρ/έτος (Di Giovacchino et al., 2002).

(<http://www.elinyae.gr/el/index.jsp>),(<http://www.et.gr/>),

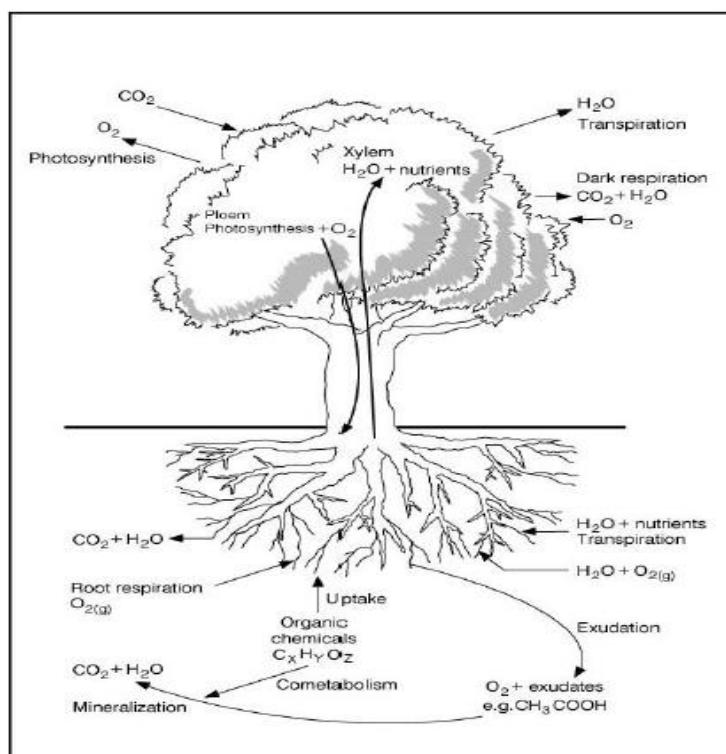
(<https://www.e-nomothesia.gr>) .

### 2.3 Φυτοαποκατάσταση

Η φυτοαποκατάσταση (γνωστή επίσης και ως πράσινη αποκατάσταση, βοτανοαποκατάσταση, αγροαποκατάσταση και φυτική αποκατάσταση) είναι η ονομασία που έχει δοθεί σε μία ομάδα από τεχνολογίες που χρησιμοποιούν φυτά και τους σχετιζόμενους με αυτά μικροοργανισμούς για την επί τόπου μερική ή πλήρη αποκατάσταση ρυπασμένων εδαφών, ιλύων, ιζημάτων και υπόγειων νερών. Οι τεχνολογίες φυτοαποκατάστασης εφαρμόζονται για την αντιμετώπιση τόσο οργανικών όσο και ανόργανων ρύπων. Στους ρύπους αυτούς συμπεριλαμβάνονται υδρογονάνθρακες, χλωριωμένες ενώσεις, φυτοφάρμακα, εκρηκτικά, βαρέα μέταλλα, μεταλλοειδή ακόμα και ραδιενεργά υλικά.

Τα φυτά αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον ανταλλάσσοντας ενέργεια και ύλη, προσλαμβάνουν θρεπτικά συστατικά και εκκρίνουν προϊόντα απ τον μεταβολισμό τους. Σε αυτή την φυσικοχημική αλληλεπίδραση στηρίζεται η εν λόγω τεχνολογία. Ένας ρύπος σε επαφή με τον θώκο του φυτού έχει τρεις επιλογές, να αφομοιωθεί και να μεταβολιστεί από το φυτό, να ακινητοποιηθεί από τις ρίζες είτε να αποδομηθεί από τους μικροοργανισμούς που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της ρίζας (Pilon 2005).

### 2.3.1 Μηχανισμός της φυτοαποκατάστασης



Εικόνα 10 Μεταφορά οξυγόνου, νερού και ενώσεων σε ξυλώδες φυτό (Πανταζίδου κ.α., 2006)

Οι διαδικασίες που συντελούνται σε ένα φυτό για την ανάπτυξη του περιλαμβάνουν :

- απορρόφηση νερού
- απορρόφηση χημικών ουσιών
- μεταβολισμός εντός του φυτού
- απελευθέρωση ανόργανων και οργανικών ενώσεων (εκκρίματα) στο έδαφος
- φυσικές και βιολογικές επιδράσεις των ριζών του φυτού

Το ριζικό σύστημα προσλαμβάνει θρεπτικά συστατικά ώστε να αναπτυχθεί το φυτό, όμως είναι δυνατόν να προσληφθούν και μερικοί, μη απαραίτητοι ανόργανοι (Pb, Cd, As, κ.λπ.) ή οργανικοί ρίποι.

Η διαδικασία που ένας ρύπος εισχωρεί στο εσωτερικό του φυτού είναι όμοια με αυτή ενός χημικού συστατικού. Ένα χημικό συστατικό για να προληφθεί από το φυτό χρειάζεται να είναι διαλυμένο στο νερό, το νερό απορροφάται από το εδαφικό διάλυμα στον εξωτερικό ιστό των ριζών και έτσι οι περιεχόμενοι στο νερό ρυπαντές μπορεί να μετακινηθούν στα διαφορετικά μέρη του φυτού όπου μπορεί να ροφηθούν, δεσμευθούν ή μεταβολισθούν (Πανταζίδου κ.α., 2006).

Τα φυτά βοηθούν στην αποκατάσταση ρυπασμένων περιοχών μέσω μιας σειράς μηχανισμών. Μερικά φυτά μπορεί να είναι ανθεκτικά σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών χημικών ουσιών χωρίς να παρουσιάζουν ενδείξεις τοξικότητας ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να προσλαμβάνουν και να μετατρέπουν χημικές ενώσεις σε λιγότερο τοξικές μορφές. Επιπρόσθετα, προκαλούν την έναρξη αντιδράσεων χημικής αποδόμησης οργανικών ενώσεων στη ριζόσφαιρα,

μέσω της έκκρισης ουσιών και ενζύμων από τις ρίζες τους. Επίσης ορισμένα φυτά που ονομάζονται υπερσυσσωρευτές (hyperaccumulators), απορροφούν και αφομοιώνουν ασυνήθιστα υψηλά ποσά μετάλλων. Η ανάπτυξη αυτών των φυτών σε ρυπασμένα εδάφη και η εκρίζωσή τους σε καθορισμένες χρονικές περιόδους έχει ως αποτέλεσμα την απορρύπανση του εδάφους. Άλλα φυτά μπορεί να ακινητοποιήσουν τους ρύπους στο έδαφος μέσω μηχανισμών απορρόφησης και συσσώρευσης στις ρίζες, ή μέσω καταβύθισης ή ακινητοποίησης εντός της ζώνης του ριζικού τους συστήματος. Συνεπώς και με βάση την τελική κατάληξη των ρύπων, η φυτοαποκατάσταση μπορεί να θεωρηθεί ως τεχνική αποδόμησης, εξαγωγής ή περιορισμού.

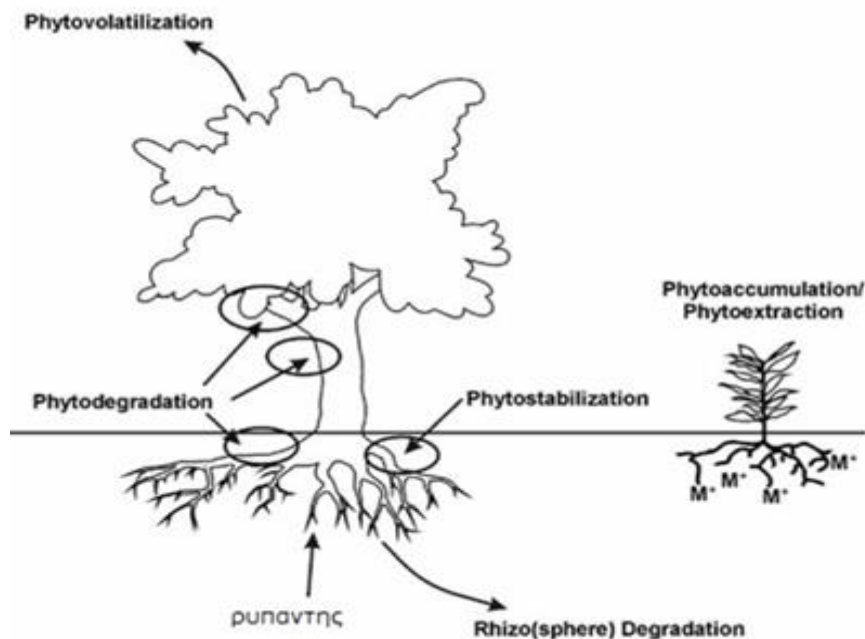
Ένας τρόπος κατηγοριοποίησης της φυτοαποκατάστασης βασίζεται στους μηχανισμούς οι οποίοι λαμβάνουν χώρα.

**Πίνακας 5 Κατηγοριοποίηση των κατάλληλων φυτών αναλόγως με τον υπό φυτοεξυγίανση ρύπο**

Μηχανισμός	Μέσο	Ρύποι	Τύποι φυτών
Φυτοαποδόμηση	Εδάφη, υπόγεια νερά, εκχυλίσματα χωματερών	Ζιζανιοκτόνα (ατραζίνη, alachlor) BTEX TCE $\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{PO}_4^{3-}$ Απόβλητα εκρηκτικών (TNT, RDX)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διάφορα είδη λεύκας, ιτιά</li> <li>• Γρασίδια (rye, Bermuda, sorghum, fescue)</li> <li>• Όσπρια (clover, alfalfa, cowpeas)</li> </ul>
Ριζοαποδόμηση	Εδάφη, Ιλύες	Οργανικοί ρύποι (TPH, PAHs, BTEX, μικροβιοκτόνα, χλωριωμένοι διαλύτες, PCBs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Phenolics releasers (mulberry, apple, osage orange);</li> <li>• Γρασίδια με ινώδεις ρίζες (rye, fescue, Bermuda) για ρύπους t βάθους 0-3 ft;</li> <li>• Διάφορα είδη λεύκας για βάθη 0-10 ft;</li> <li>• Υδρόφιλα φυτά για ιλύες</li> </ul>
Φυτοσταθεροποίηση	Εδάφη, Ιλύες	Metals and metalloids (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, U, Se) Hydrophobic Organics (PAHs, PCBs, dioxins, furans, pentachlorophenol, DDT, dieldrin)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Phreatophyte trees to transpire large amounts of water for hydraulic control;</li> <li>• Grasses with fibrous roots to stabilize soil erosion;</li> <li>• Dense root systems are needed to sorb/bind contaminants</li> </ul>
Φυτοεξαγωγή	Εδάφη, Ιλύες	Metals: Ag, Au, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn; Radionuclides: $^{90}\text{Sr}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{239}\text{Pu}$ , $^{234}$ , $^{238}\text{U}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ηλίανθοι</li> <li>• Indian mustard</li> <li>• Rape seed plants</li> <li>• Barley, Hops</li> <li>• Crucifers</li> <li>• Serpentine plants</li> <li>• Nettles, Dandelions</li> </ul>
Φυτοεξάτμιση	Εδάφη, Ιλύες, υπόγεια ύδατα	Chlorinated solvents, MTBE, some inorganics (Se, Hg, and As)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herbaceous species</li> <li>• Trees</li> <li>• Wetland species</li> </ul>
Ριζοδιήθηση	Υπόγεια ύδατα, Νερό και απόβλητα σε αβαθείς λίμνες ή τεχνητούς υδροβιότοπους	Μέταλλα (Pb, Cd, Zn, Ni, Cu) Ραδιενεργά στοιχεία ( $^{137}\text{Cs}$ , $^{90}\text{Sr}$ , U) Υδρόφοβα οργανικά	<p>Υδρόφιλα φυτά:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emergents (bullrush, cattail, coontail, pondweed, arrowroot, duckweed);</li> <li>• Submergents (algae, stonewort, parrotfeather, Eurasian water milfoil, Hydrilla)</li> </ul>

Οι μηχανισμοί αυτοί αναλυτικότερα περιλαμβάνουν:

- την εξαγωγή των ρύπων από το έδαφος και συσσώρευση τους στον ιστό του φυτού για την απομάκρυνση τους (**φυτοεξαγωγή-phytoextraction**),
- την αποδόμηση των οργανικών ρύπων στη ζώνη του ριζικού συστήματος από μικροοργανισμούς (**ριζοαποδόμηση-rhizodegradation**),
- την πρόσληψη των ρύπων από το έδαφος και την αποδόμηση τους στα διάφορα τμήματα του φυτού (**φυτοαποδόμηση- phytodegradation**),
- την εξάτμιση – εξάερωση ή μεταφορά των πτητικών ρυπαντών από τα φυτά στον αέρα (**φυτοεξάτμιση- phytovolatilisation**),
- την ακινητοποίηση των ρυπαντών στη ζώνη του ριζικού συστήματος (**φυτοσταθεροποίηση- phytostabilization**), και
- την προσρόφηση των ρύπων στις ρίζες για συσσώρευση και/η απομάκρυνση (**ριζοδιήθηση- rhizofiltration**).



*Εικόνα 11 Μηχανισμοί που ανήκουν στην φυτοαποκατάσταση*

### 2.3.2 Εφαρμογή της φυτοαποκατάστασης σε οργανικούς ρύπους

Η τεχνική της φυτοαποκατάστασης μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα μεγάλο εύρος οργανικών και ανόργανων ρύπων, συμπεριλαμβανομένων «στραγγισμάτων» από χώρους ταφής απορριμμάτων (Nagendran et al., 2006) και θρεπτικών συστατικών σε περίσσεια (νιτρικών, αμμωνιακών και φωσφορικών) (Schnoor et al., 1995). Οι οργανικοί ρύποι μπορούν να αποδομηθούν αποτελεσματικά με τη συνεργιστική δράση του φυτού με τους σχετιζόμενους με αυτό μικροοργανισμούς, μέσω της διαδικασίας της ριζοαποδόμησης και της φυτοαποδόμησης.

Πιο συγκεκριμένα, κατά την φυτοαποδόμηση γίνεται διάσπαση των ρύπων από τα ένζυμα του φυτού, ενώ κατά τη ριζοαποδόμηση γίνεται ενζυματική διάσπαση στις ρίζες του.

Ορισμένες οργανικές ενώσεις μπορούν να μεταφέρονται διαμέσου των κυτταρικών μεμβρανών των φυτών. Από αυτές, εκείνες οι οποίες είναι χαμηλού μοριακού βάρους μπορούν συχνά να λαμβάνονται από το έδαφος και να απελευθερώνονται μέσω των φύλλων μέσω της διαπνοής. Ορισμένες από τις μη πτητικές ενώσεις μπορούν να διασπαστούν ή να καταστούν μη τοξικές μέσω ενζυματικής τροποποίησης και απομόνωσης στα φυτά (phytodegradation, phytoextraction). Άλλες ενώσεις παραμένουν σταθερές στα φυτά και μπορούν να αφαιρεθούν μαζί με τη βιομάζα, για τη δέσμευση ή την αποτέφρωσή τους.

Διάφορα πειράματα έχουν διεξαχθεί τα οποία αφορούν στην επίδραση των ρύπων στην ανάπτυξη των φυτών. Αυτά τα πειράματα επιτρέπουν τη διερεύνηση μεθόδων για την αντιμετώπιση της καταπόνησης που δημιουργείται από τη ρύπανση, χωρίς την επίδραση παραγόντων που θα προκαλούσαν διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων, όπως οι καιρικές συνθήκες και η παρουσία ή όχι θρεπτικών.

Έχει βρεθεί ότι κάποια φυτά μπορούν να έχουν ριζικό σύστημα συνολικού μήκους περισσότερο από 16 εκ. χλμ/στρ, κάτι το οποίο σημαίνει ότι αποτελούν σημαντικό δυναμικό για φυτοαποκατάσταση στο φυσικό περιβάλλον. Πρόβλημα αποτελεί το γεγονός όμως ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων, εν μέρει λόγω της οξειδωτικής καταπόνησης, τείνουν να παρεμποδίζουν την ανάπτυξη των φυτών αλλά και των ριζών τους (Gerhardt et al., 2009). Η καταπόνηση αυτή περιορίζει το ρυθμό φυτοαποκατάστασης επί τόπου (Huang et al., 2004, Huang et al., 2005, Ferro et al., 1999). Επίσης τα ρυπασμένα εδάφη τείνουν να είναι φτωχά σε θρεπτικά στοιχεία και να έχουν μειωμένη μικροβιακή ποικιλότητα, κάτι το οποίο συμβάλει με τη σειρά του στη μικρότερη ανάπτυξη βιομάζας, καθώς και στη μείωση του ρυθμού αποκατάστασης (Gerhardt et al., 2009, Chaudhry et al., 2005, Ferro et al., 1999, White et al., 2006).

Στα πειράματα φυτοαποκατάστασης τεχνητά ρυπασμένου εδάφους σε θερμοκήπιο, η προσοχή εστιάζεται συνήθως στην ικανότητα κάποιου συγκεκριμένου φυτού να επιζήσει και να αναπτυχθεί παρουσία κάποιας συγκεκριμένης χημικής ουσίας, ή και ακόμα να την αποδομήσει. Στην πραγματικότητα όμως τα εδάφη σε ρυπασμένες περιοχές συνήθως περιέχουν ένα μείγμα από χημικές ενώσεις και συχνά περιλαμβάνουν τόσο ανόργανα όσο και οργανικά στοιχεία. Επίσης σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στο πειραματικό πεδίο, στη φύση οι χημικές ενώσεις δεν είναι άμεσα βιοδιαθέσιμες. Τέτοια παραδείγματα υπάρχουν, όπως η περίπτωση όπου τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από εφαρμογή της φυτοαποκατάστασης σε περιοχή παλαιού εργοστασίου παρασκευής κωκ, ήταν διαφορετικά από αυτά που εξήχθησαν μετά από παρατήρηση εδάφους εμπλουτισμένου τεχνητά με μείγμα PAH και πίσσας (Smith et al., 2006).

### **2.3.3 Ριζοαποδόμηση**

Η ριζοαποδόμηση αποτελεί είδος της υποβοηθούμενης από μικροοργανισμούς φυτοαποκατάστασης, και ορίζεται ως η αποδόμηση των ρύπων στη ριζόσφαιρα. Θεωρείται ως ένα από τα αποτελεσματικότερα μέσα με τα οποία τα φυτά μπορούν να επηρεάσουν στην αποδόμηση οργανικών ρύπων, ιδιαίτερα στην περίπτωση που υπάρχουν μεγάλες ανθεκτικές ενώσεις. Σε αυτή την περίπτωση, πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις σχετιζόμενες με τις ρίζες, τα εκκρίματά τους, το έδαφος στη ριζόσφαιρα και τους μικροοργανισμούς σε αυτή, συμβάλουν στην αποδόμηση των οργανικών ουσιών σε μη τοξικές, ή λιγότερο τοξικές ενώσεις. Το έδαφος στη ριζόσφαιρα έχει 10-100 φορές περισσότερους μικροοργανισμούς κατά βάρος, από ότι το γυμνό έδαφος (Lynch, 1990). Σε έδαφος που περιέχει μεγάλες ποσότητες ριζών, ο μικροβιακός πληθυσμός μπορεί να φτάσει σε αριθμό περίπου τα 10<sup>12</sup> κύτταρα/g εδάφους (Whipps, 1990). Οι μικροοργανισμοί αυτοί μπορούν να προσφέρουν διάφορες παροχές στο φυτό, συμπεριλαμβανομένης της σύνθεσης ενώσεων οι οποίες προστατεύουν το φυτό από την καταπόνηση λόγω μείωσης του επιπέδου των

ορμονών, της προστασίας από παθογόνους για το φυτό μικροοργανισμούς, καθώς και της αποδόμησης των ρύπων προτού αυτοί θα μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά το φυτό (Gerhardt et al., 2009).

Στη ριζόσφαιρα (δηλαδή σε απόσταση περίπου 1mm από τη ρίζα) μπορεί να υπάρχει μεγάλος αριθμός και ποικιλία μικροοργανισμών (βακτήρια και μύκητες). Αυτό το φαινόμενο στη ριζόσφαιρα προκαλείται από τις φυσικές επιδράσεις της ρίζας στο έδαφος (π.χ. ανταλλαγή αερίων, υγρασία του εδάφους) καθώς και τις χημικές (εκκρίματα) (Reichenauer et al., 2008). Αυτός ο ευνοϊκός για τους μικροοργανισμούς οικοτόπος από το ριζικό σύστημα του φυτών μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη αποδόμηση των ρύπων από τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Αυτού του τύπου η αποδόμηση εφαρμόζεται σε ένα ευρύ φάσμα ρύπων, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων των οποίων, λόγω των φυσικοχημικών ιδιοτήτων τους, απορροφώνται από τα φυτά μόνο σε πολύ μικρές ποσότητες.

**Πίνακας 6** Οργανικές ουσίες που διασπώνται από βακτήρια στην περιοχή της ριζόσφαιρα (Ζαμπετάκης, 2005)

Βακτήριο ( γένος )	Υπόστρωμα
<i>Achromobacter</i>	Υδρογονάνθρακες, ( BTXE )
<i>Acinetobacter</i>	Υδρογονάνθρακες
<i>Alcaligenes</i>	Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες
<i>Azotobacter</i>	Υδρογονάνθρακες
<i>Nitrosomonas</i>	Αρωματικοί υδρογονάνθρακες
<i>Nocardia</i>	Αρωματικοί υδρογονάνθρακες
<i>Pseudomonas</i>	Υδρογονάνθρακες
<i>Xanthobacter</i>	Αλιφατικές ενώσεις

#### 2.3.4 Εφαρμογές της φυτοαποκατάστασης

Η ιδέα της εφαρμογής της μεθόδου της φυτοαποκατάστασης στον καθαρισμό ρυπασμένων περιοχών φαίνεται να είχε εφαρμοστεί πριν από αρκετούς αιώνες. Η πρώτη βιβλιογραφική αναφορά γίνεται τον 17ο αιώνα στην Γερμανία για το πρώτο σύστημα επεξεργασίας αστικών λυμάτων χρησιμοποιώντας φυτά (Hartman, 1975). Από τότε μέχρι σήμερα έχει επιτευχθεί σημαντική ανάπτυξη στην εφαρμογή διαφόρων τεχνικών. Ακόμα ένα παράδειγμα της πρότερης εφαρμογής της φυτοαποκατάστασης είναι 300 χρόνια πριν όταν τα φυτά προτάθηκαν για χρήση στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων, ενώ στα τέλη του 19ου αιώνα, τα *Thlaspi caerulescens* και *Viola calaminaria* υπήρξαν τα πρώτα φυτά που αναφέρθηκαν να συσσωρεύουν υψηλά επίπεδα μετάλλων στα φύλλα τους (Saltetal., 1998; Lasat, 2000;

Macnair, 2003; Pletsch, 2004). Εν συνεχεία, και άλλες παρόμοιες εργασίες έλαβαν χώρα. Η φυτοαποκατάσταση περιοχών μαζί με άλλες τεχνολογίες (υγρότοποι, φυτά εδαφοκάλυψης) αποτελεί την ευρύτερη έννοια της φυτοτεχνολογίας (phytotecnology).

Γενικά οι βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας των αποβλήτων ελαιοτριβείου, αποτελούν μεθόδους που χρησιμοποιούν την βιολογική επεξεργασία αποκλειστικά ή συνδυαστικά με άλλες φυσικοχημικές μεθόδους. Σκοπός των βιολογικών μεθόδων είναι η βιομετατροπή των αποβλήτων ελαιοτριβείου με την καλλιέργεια στα απόβλητα μικροοργανισμών με διπλό στόχο, τη μείωση του ρυπαντικού φορτίου και το σχηματισμό προϊόντων με εμπορική αξία που θα μπορούσαν να καλύψουν μέρος της δαπάνης διαχείρισης τους (Οιχαλιώτης et Ζερβάκης, 2000). Τα απόβλητα ελαιοτριβείου λόγω των εξειδικευμένων χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν (pH 4-5.5, υψηλή σχέση C:N ίση με 50-60:1, αυξημένη παρουσία απλών σακχάρων, υψηλή συγκέντρωση φαινολικών) αποτελούν εκλεκτικό υπόστρωμα ανάπτυξης μικροοργανισμών, παρεμποδίζοντας την ανάπτυξη άλλων.

Η μέθοδος της φυτοαποκατάστασης έχει εφαρμοστεί με επιτυχία στην περιοχή Terni της Ιταλίας από την εταιρία ISRIM S.C.a r.l. σε Λεύκες, οι οποίες μέσω ποτίσματος επεξεργάζονταν ΥΑΕ όγκου έως και 10.000 m<sup>3</sup>/έτος με κέρδος πλην του περιβαλλοντικού την παραγωγή και εμπορία ξυλίας (Κων. Χατζουλάκης-ΕΘΙΑΓΕ και Νίκ. Καλογεράκης-tuc).

Συνοψίζοντας, τα πλεονεκτήματα της φυτοαποκατάστασης είναι η μικρή παραγωγή δευτερογενών απόβλητων σε αντίθεση με άλλες μεθόδους αποκατάστασης. Εφαρμόζεται επί τόπου και δεν είναι αναγκαία η εκσκαφή ή άντληση για περαιτέρω επεξεργασία, με αποτέλεσμα να μη διαταράσσεται καθόλου το φυσικό τοπίο της περιοχής. Είναι οικονομική επεξεργασία ιδιαίτερα για μεγάλους όγκους χώματος ή νερού, που είναι μολυσμένα με μικρές ποσότητες τοξικών ρυπαντών. Ενώ τέλος επιτυγχάνεται η συγκέντρωση των τοξικών ουσιών σε πολύ μικρούς όγκους.

Σε αντιπαράθεση τα μειονεκτήματα της είναι οι σχετικά αργοί ρυθμοί φυτοαποκατάστασης, οι οποίοι συμπεριλαμβάνουν μερικές συνεχόμενες περιόδους καλλιέργειας των φυτών μέχρι να εξυγιανθεί τελείως το περιβάλλον από τους ρυπαντές. Ακόμη η φυτοαποκατάσταση φέρνει μόνο αποτελέσματα, όταν το βάθος της μόλυνσης δεν ξεπερνά το 1 m στο έδαφος και τα 3 m τον υδροφόρο ορίζοντα. Πιθανολογείται η δυνατότητα μετάδοσης τοξικών ουσιών στην τροφική αλυσίδα μετά από πιθανή κατανάλωση των φυτών από τα ζώα.

## 2.4 Επιλογή φυτών για φυτοαποκατάσταση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου

### 2.4.1 Κριτήρια επιλογής των υπό εξέταση φυτών

Τα φυτά προς επιλογή, θα έπρεπε να συγκεντρώνουν τα περισσότερα από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

- αειθαλή (μεγαλύτερη εξατμισοδιαπνοή τον χειμώνα)
- να είναι φρεατόφυτα (επενδύουν σε μεγάλη και βαθιά ανάπτυξη ριζικού συστήματος με σκοπό να καταναλώσουν υπόγεια νερά).
- χρήση καρπών ή ξυλίας για εμπορία
- μεγάλες ανάγκες σε νερό άρδευσης (μεγάλη δυναμικότητα επεξεργασίας του ρύπου)
- αντοχή σε αλατότητα
- αντοχή σε ρύπανση
- προσαρμογή σε μεσογειακό περιβάλλον

Σύμφωνα με παρόμοιες εργασίες, όπου με τη διαδικασία της φυτοαποκατάστασης, έγινε προσπάθεια καθαρισμού αποβλήτων ελαιοτριβείου με την επιτυχημένη χρήση Λεύκας, μεσογειακού Κυπαρισσιού και Βελανιδιάς ενώ ανεπιτυχής ήταν η χρήση Δάφνης, Ιτιάς ή Κουκουναριάς.

(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410020766>).

Τα φυτά επιλέγονται με βάση τις απαιτήσεις της προτεινόμενης εφαρμογής αποκατάστασης και τους περιεχόμενους στο έδαφος ρυπαντές. Για τη φυτοαποδόμηση των οργανικών ενώσεων η διάταξη πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε η βλάστηση να επιτυγχάνεται γρήγορα και πυκνά, να είναι εύκολη η φύτευση και η συντήρηση, να χρησιμοποιεί μεγάλες ποσότητες νερού με εξατμισοδιαπνοή (σε περίπτωση που το υπόγειο νερό εμπλέκεται στο πρόβλημα) και να μετατρέπει τους ρύπους σε μη τοξικές ή λιγότερο τοξικές μορφές. Σε εύκρατα κλίματα, επιλέγονται συχνά τα φρεατόφυτα (π.χ. πολλά είδη λεύκας, ιτιά) καθώς χαρακτηρίζονται από ταχεία ανάπτυξη, βαθύ ριζικό σύστημα που φτάνει στο επίπεδο του υπόγειου υδροφορέα, υψηλούς ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής και το γεγονός ότι υπάρχουν σε πολλές χώρες.

### 2.4.2 *Punica granatum* L.

Η Ρόδια με πλήρες όνομα *Punicagranatum*L. που επιλέχθηκε ήταν ποικιλίας Ερμιόνη, είναι ένα αρκετά ιδιαίτερο φυτό με εφαρμογές στη διατροφή, την ιατρική-

φαρμακευτική, τη βυρσοδεψία, τη χρωματοποιεία και αλλού. Είναι μεν φυλλοβόλο αλλά διαθέτει και αιθαλή φύλλα, ζει μέχρι και 2 αιώνες ενώ δεν έχει ιδιαίτερες εδαφικές απαιτήσεις. Ευδοκίμει σε θερμές περιοχές με μεσογειακό ή και υποτροπικό κλίμα, γενικά όμως ευνοείται από ξηρά και θερμά καλοκαίρια, έχει ελάχιστες ανάγκες σε χαμηλές θερμοκρασίες για διακοπή του λήθαργου, το υψόμετρο που συναντάται μπορεί να φτάσει και τα 800m. Έχει ελάχιστους και μικρής σημασίας εχθρούς, η συγκομιδή ξεκινάει ουσιαστικά μετά το 3<sup>ο</sup> έτος. Αν και δεν έχει αποδειχτεί επιστημονικά, ενδεικτικά συνιστάται η εφαρμογή 20kgrN ,15kgrK , 6kgrP, ανα στρέμμα. Η ροδιά είναι μέτρια ανεκτική στα άλατα και μπορεί να ανεχθεί άρδευση με νερό που περιέχει 2000- 2500 ppm άλατα. Ενώ είναι ένα είδος που μπορεί να προσαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα κλίματος και συνθηκών ύδατος (Rodríguezetal., 2012).



Εικόνα 12 *Punica granatum* L

Είναι αρκετά ανθεκτική σε σχετικά αλατούχα και αλκαλικά εδάφη. Καλό είναι η περιεκτικότητα του νερού σε ολικά άλατα να μην υπερβαίνει τα 2000ppm. Η εγκατάσταση της φυτείας αφορά περίπου 50 φυτά σε κάθε στρέμμα και φυτεύονται σε τετράγωνο με ακμή 4 ή 5m. Συγκεκριμένα στην περιοχή του πολυτεχνείου Κρήτης (Κουνουπιδιανά Χανίων) με ύψος βροχής περίπου 400mm οι ετήσιες ανάγκες του φυτού θα είναι 250m<sup>3</sup>/στρέμμα ή 5m<sup>3</sup>ανά φυτό (ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΦΥΛΛΟΒΟΛΩΝ ΦΥΤΩΝ, ΓΕΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ). Ακόμα είναι αποδειγμένη η περιεκτικότητα των καρπών σε φαινόλες, επομένως η σκέψη πως θα δέχεται χωρίς δυσaráεσκεια ένα απόβλητο βεβαρημένο με φαινόλες ήταν αυθόρμητη.

Το εύρος pH που ευδοκίμει το φυτό βρίσκεται μεταξύ 5.5 και 7.2 ενώ δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις σε ποιότητα εδάφους, έχουν ανεκτικότητα στην αλατότητα,

όμως ένα ποσοστό που ξεπερνά το 0.5% θα ήταν επιβλαβές. Χρειάζεται περίπου 1/3 κιλού Άζωτο. Οι απαιτήσεις νερού για το ρόδι είναι περίπου ίδιες όπως για τα εσπεριδοειδή ( Chestnut Hill College ).

### 2.4.3 *Myrtus communis* L.

Η Μυρτιά (*Myrtus*), ή Μύρτος ο κοινός (*Myrtus communis*L.) ευδοκίμει σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές, ενώ έχει εφαρμογές στην φαρμακευτική, την αρωματοποιία, την παρασκευή καλλυντικών, την λεπτοξυλουργική κ.α. Το έλαιο της έχει αντιοξειδωτικές δράσεις αφού και αυτό περιέχει τανίνες (φαινόλες) και ενδεχομένως όπως η ροδιά να δέχεται καλύτερα ένα απόβλητο βεβαρυμμένο με φαινόλες. Σύμφωνα με εμπειρικές παρατηρήσεις και ιστορικές μαρτυρίες το εν λόγω φυτό αναφύεται σε πολλές περιπτώσεις πλησίον χειμάρρων που εμπλουτίζονταν περιστασιακά με ΥΑΕ.



Εικόνα 13 *Myrtus communis*L.

## 2.5 Προσρόφηση οργανικού άνθρακα στο έδαφος

Ένας από τους σημαντικότερους μηχανισμούς που λαμβάνουν χώρα στο έδαφος είναι η προσρόφηση. Η μεγάλη βαρύτητα που αποσπά σε κάθε εδαφική προσέγγιση είναι το γεγονός ότι λόγω αυτού του φυσικοχημικού μηχανισμού κατακρατούνται στα εδαφικά σωματίδια, υδάτινοι όγκοι που περιέχουν θρεπτικά συστατικά, οργανικές

ουσίες ακόμα και μέταλλα. Γι αυτό τον λόγο διαδραματίζει σοβαρότατη ρυπαντική ή απορρυπαντική παράμετρος στα εδάφη (και στα ιζήματα) (Stumm, W.).

Θα πρέπει να γίνει διαχωρισμός μεταξύ προσρόφησης (absorption), απορρόφησης (adsorption) ρόφησης (sorption) και εκρόφησης (desorption) , συγκεκριμένα: η ρόφηση περιλαμβάνει την προσρόφηση και την απορρόφηση ενώ είναι το αντίθετο της εκρόφησης. Η προσρόφηση είναι μια επιφανειακή διεργασία, όπου άτομα, μόρια, ιόντα ενός υγρού ή αερίου ή και διαλυμένα στερεά προσκολλώνται στην επιφάνεια του προσροφητή. Η απορρόφηση αφορά στο σύνολο του όγκου του υλικού, όπου ένα ρευστό διαπερνά ένα υγρό ή ένα στερεό ή διαλύεται σε αυτό. ([https://en.wikipedia.org/wiki/Absorption\\_\(chemistry\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Absorption_(chemistry)) )

Η εκάστοτε χημική ουσία ονομάζεται προσροφούμενο υλικό (adsorbate) (Organicmater,Ph,N,Petc), και η επιφάνεια στην οποία γίνεται η συσσώρευση ονομάζεται προσροφητικό μέσο ή προσροφητής (adsorbent) (έδαφος). Η προσρόφηση διακρίνεται ανάλογα τον τρόπο που ενεργεί σε:

- **Φυσική προσρόφηση:**  
Μεταξύ των μορίων του απορροφητή και προσροφούμενο υλικού επιτελούνται δυνάμεις έλξης Van der Waals.
- **Χημική προσρόφηση :**  
Εδώ κυριαρχούν χημικές δυνάμεις, όπως δεσμοί υδρογόνου και αλληλεπιδράσεις δίπολου.
- **Ηλεκτροστατική προσρόφηση:**  
Σε αυτή την περίπτωση η προσρόφηση οφείλεται σε ηλεκτρικές δυνάμεις έλξης κυρίως ιονταλλαγή (Λέκκας, διαχείριση υδατικών πόρων , 1996)

Λόγω την χαμηλής θερμοκρασίας που χρειάζεται η φυσική προσρόφηση σε σχέση με την χημική, συνεπάγεται η διάδραση κυρίως της πρώτης στο πραγματοποιηθέν πείραμα.

Η συνολική μάζα του ρύπου mA συμπεριλαμβάνει τη μάζα του ρύπου και τις δύο φάσεις (υδατική και στερεά) και δίνεται από την σχέση:

$$mA = s C_S V + C_A V$$

όπου:  $C_A$ =συγκέντρωση του ρύπου A στην υδατική φάση, kg/m<sup>3</sup>,  $C_S$ = συγκέντρωση των στερεών (ρυπασμένου χώματος), kg/m<sup>3</sup>,  $s = (mA, \text{solids}/m\text{solids})$  μάζα ρύπου A προσροφημένη ανά μονάδα μάζα στερεών, kg-A/kg-solids

Το s συνδέεται με την συγκέντρωση ισορροπίας του ρύπου στην υδατική φάση μέσω του συντελεστή κατανομής (KSD) με την σχέση:

$$K_{SD} = \frac{S}{C_{A,Eq}}$$

Όπου  $S$  είναι η μάζα του ρύπου που έχει απορροφηθεί ανά μονάδα μάζας εδάφους ( $\text{mA/m}$ ) και  $C_{A,eq}$  είναι η συγκέντρωση ισορροπίας του  $A$  ( $\text{g/m}^3$ ).

Προφανώς εάν ο ρυθμός βιοαποδόμησης είναι σχετικά υψηλός, η συγκέντρωση του ρύπου στην υδατική φάση δε θα είναι σε ισορροπία με τη συγκέντρωση του ρύπου που είναι στην προσροφημένη στην στερεά φάση.

(Καλογεράκης 2013, Σημειώσεις Βιολογικές Μέθοδοι Εξυγίανσης Περιβάλλοντος (ΤΕΧΝΙΚΗ ΒΙΟ-ΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ))

## 2.6 Προσδιορισμός συντελεστών κατανομής και ικανότητας κατακράτησης υγρού

Ανεξάρτητο πείραμα μικρής κλίμακας πραγματοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της ικανότητας κατακράτησης υγρού στο χώμα καθώς και των συντελεστών κατανομής ( $K_{sd}$ ) οργανικής ύλης, ολικών φαινολών, ολικού αζώτου και ολικού φωσφόρου στο έδαφος. Κατά το πείραμα αυτό, ελήφθη ποσότητα χώματος ίδιας σύστασης με αυτή του χώματος των μονάδων φυτοαποκατάστασης, στο οποίο επανακυκλοφορούσαν ποσότητα ΥΑΕ, έως αποκατάστασης ισορροπίας μεταξύ υγρής και στερεής φάσης. Στη συνέχεια εκτιμήθηκε ο συντελεστής κατανομής για κάθε παράμετρο μέσω των αντιστοιχών ποσοτήτων και συγκεντρώσεων αρχικού αποβλήτου και στραγγίσματος.

Οι συντελεστές κατανομής που προέκυψαν δίνονται παρακάτω σε μονάδες **L/kg**.

**Πίνακας 7 Συντελεστές κατανομής**

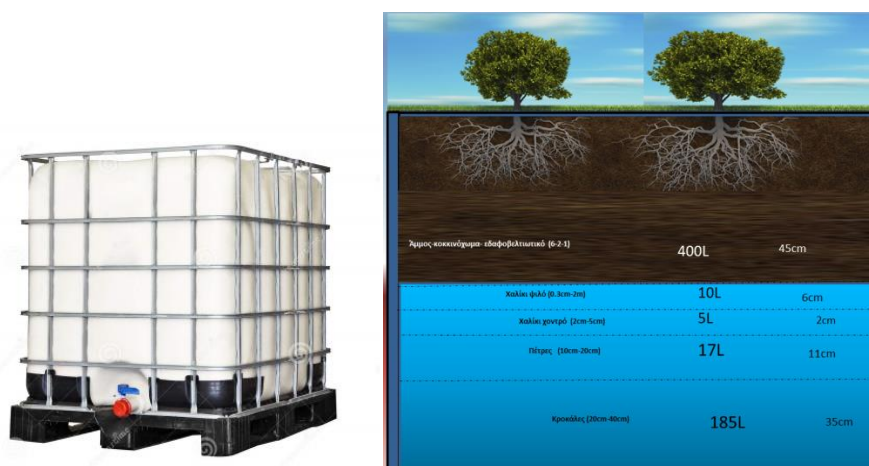
Συντελεστής κατανομής για την οργανική ύλη (COD)	<b>0,544</b>
Συντελεστής κατανομής φαινολών	<b>0,589</b>
Συντελεστής κατανομής ολικού αζώτου	<b>0,550</b>
Συντελεστής κατανομής ολικού Φωσφόρου	<b>0,742</b>

Η υδατοικανότητα του εδάφους, σύμφωνα με το ίδιο πείραμα βρέθηκε  $0,365\text{g/kg}$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 3.1 Κατασκευή πειραματικών μονάδων φυτοαποκατάστασης

Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν δύο πανομοιότυπες δεξαμενές πολυαιθυλενίου όγκου  $1\text{m}^3$  η καθεμία, στις οποίες διαμορφώθηκε ένα κατώτερο τμήμα χαλικιού και ένα ανώτερο τμήμα εδάφους όπως απεικονίζεται στην εικόνα 14. Πιο συγκεκριμένα, κατά την πλήρωση των δεξαμενών κροκάλες διαμέτρου 20cm-40cm τοποθετήθηκαν στον πυθμένα των δεξαμενών, ακολούθησαν πέτρες διαμέτρου 5cm-15cm, έπειτα χαλίκι διαμέτρου 1cm-4cm, και τέλος χαλίκι διαμέτρου 0,2cm-1cm, ικανά να φιλτράρουν αλλά να μην είναι περατά από το χώμα στο ανώτερο τμήμα των δεξαμενών. Αναλυτικότερα στοιχεία για τις ποσότητες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.



Εικόνα 14 δεξαμενή πολυαιθυλενίου και σχηματικό διάγραμμα τομής κάθε μονάδας(μέση τιμή όγκου αδρανών υλικών ανά στρώμα και χωρητικότητα αποβλήτου)

Πίνακας 8 Δεδομένα μονάδων φυτοαποκατάστασης

		Μονάδα <i>Punica granatum</i>			Μονάδα <i>Myrtus communis</i>		
	πορώδεις	ΔΖ (cm)	Όγκος (L)	Μάζα(gr)	ΔΖ (cm)	Όγκος (L)	Μάζα(gr)
Πέτρες (διαμ 20-40εκ)	0,6	35	190	316,7	30	180	300,0
Πέτρες (διαμ. 5-15)	0,5	10	20	40,0	12	15	30,0
Χαλίκι Χοντρό (1-4εκ)	0,45	2	10	22,2	3	10	22,2
Χαλίκι ψιλό (0,2-1)	0,4	6	5	12,5	7	5	12,5
χώμα	0,78	44	440	562,4	46	460	588,0
Σύνολο		97	665	953,8	98	670	952,7

Το τμήμα με το χαλίκι λειτουργεί σαν αποθηκευτικός χώρος για το απόβλητο και υπολογίστηκε με βαθμονόμησης (με αλφαδολάστοιχο ως δείκτης στάθμης) ότι αντιστοιχεί σε 220L για την μονάδα φυτοαποκατάστασης *Punica granatum* και 205L για την μονάδα φυτοαποκατάστασης *Myrtus communis*. η. Κάθετα στις δύο γωνίες των μονάδων εξυγίανσης τοποθετήθηκαν στην μεν μια θήκη για την εφαρμογή αισθητήρα μέτρησης της υγρασίας, στην μεν άλλη διάτρητη στα τελευταία 30 εκατοστά PVC σωλήνα (διαμέτρου 15cm) που είχε τον ρόλο πηγαδιού. Τα επιμέρους στάδια της κατασκευής των μονάδων φαίνονται στην εικόνα 16. Ακολουθώς 2 φυτά του γένους *Punica granatum* και 2 του γένους *Myrtus communis* φυτεύτηκαν στις κατάλληλα διαμορφωμένες κυβικές δεξαμενές και αντίστοιχα 1 από κάθε γένος στις μονάδες μάρτυρες ( γλάστρες σκληρού πλαστικού ). Οι μονάδες φυτοαποκατάστασης και οι μονάδες μάρτυρες, ποτίζονταν μέσω ηλεκτροβάνας τον πρώτο μήνα πριν τεθεί σε λειτουργία το πείραμα (ώστε να αναπτυχθεί ικανοποιητικά το ριζικό σύστημα και να εγκλιματιστούν τα φυτά στο καινούριο τους περιβάλλον).



Εικόνα 15 Στάδια κατασκευής πειραματικών μονάδων φυτοαποκατάστασης ( 1 κροκαλοειδή, 2 μίγμα χώματος, 3 αλφαδολαστιχο, 4 *Myrtus communis*, 5 *punica granatum*, 6-7-8 κάτοψη μονάδας κατά την πλήρωση, 9 άποψη πειραματικών μονάδων φυτοαποκατάστασης)

Η κατασκευή και εγκατάσταση των πιλοτικών μονάδων φυτοαποκατάστασης έλαβε χώρα στον ευρύτερο χώρο, περιφραγμένης έκτασης που βρίσκεται πλησίον του τμήματος των Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Οι μονάδες της *Myrtus communis*, *Punicagranatum* είχαν διαστάσεις 0,97m X 1,18m . Έκαστη

μονάδα μάρτυρας, είχε διάμετρο 0,33mX 0,4m και περιείχαν 120kg εδάφους η κάθε μια. Το χώμα είναι προϊόν ανάμειξης άμμου, κοινού κοκκινοχώματος και εδαφοβελτιωτικού σε αναλογίες 4-12-1.

Μία συνηθισμένη αναλογία στα εδάφη είναι:

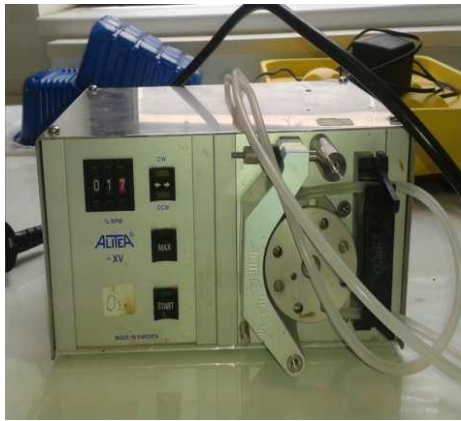
- 45% ανόργανο υλικό
- 25% νερό
- 25% αέρα
- 5% οργανική ύλη και μικροοργανισμοί

Συνήθως τα ορυκτά (ανόργανα) εδάφη, που είναι και η συντριπτική πλειοψηφία των εδαφών, έχουν περιεκτικότητα σε οργανική ουσία 1% - 6% (και συνήθως τα ελληνικά εδάφη έως 2%) ενώ στα οργανικά (τυρφώδη) εδάφη είναι μεγαλύτερη από 15% -20% έως και περισσότερο από 45%. Στο έδαφος που χρησιμοποιήθηκε για τις μονάδες φυτοαποκατάστασης η περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό αναμένεται να μην ξεπεράσει το 7,5%, λαμβάνοντας υπ' όψη την περιεκτικότητα του εδαφοβελτιωτικού που προσθέσαμε σε οργανικές ουσίες (45%) και την αναλογία με την οποία προστέθηκε στο μείγμα εδάφους. Επομένως το έδαφος των μονάδων χαρακτηρίζεται ως ανόργανο (mineral).

([https://en.wikipedia.org/wiki/Soil\\_organic\\_matter](https://en.wikipedia.org/wiki/Soil_organic_matter) )

Οι αντλίες που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ήταν περισταλτικές δοσιμετρικές αντλίες ρυθμιζόμενης παροχής της εταιρείας BiOENGINEERING τύπου ALITEA-XV, τα χαρακτηριστικά της οποίας είναι:

- Εύρος τιμών παροχής: 1-7L/h
- Τάση: 230 V
- Ισχύς: 6 W
- Συχνότητα: 50 Hz
- Πίεση: 0.1bar
- Μέγιστο ύψος αναρρόφησης: 1,5 m
- Εσωτερική διάμετρος σωλήνα: 0,8-7 mm
- Χωρητικότητα: 0,07-150 ml
- Τάση: 230 V
- Ισχύς: 13 W
- Συχνότητα: 50 Hz
- Ταχύτητα περιστροφής: 2,5-50 rpm



*Εικόνα 16 Περισταλτική δοσομετρική αντλία της εταιρίας BiOENGiNEERiNG τύπου ALITEA-X*

Οι αντλίες λειτουργούσαν μέσω κεντρικού ελέγχου καθημερινά για 12 ώρες (από 3 π.μ. έως 3 μ.μ.) .Η παροχή των αντλίων ρυθμίστηκε σύμφωνα με τους αντιστοιχούς ημερήσιους όγκους άρδευσης ύστερα από σχετική έρευνα για τις ανάγκες των φυτών σε νερό:

Για την μονάδα *Punica granatum* η παροχή (L/h) και ο όγκος ποτίσματος (L/d) ήταν 4,74 L/h και 56,9 L/d, αντίστοιχα για την μονάδα *Myrtus communis* τα αντίστοιχα μεγέθη ήταν 6,32 L/h και 75,8 L/d

### 3.2 Πειραματικός σχεδιασμός

Στην παρούσα εργασία μελετάται ο βαθμός φυτοεξυγίανσης των ΥΑΕ μέσω των φυτών *Punica granatum* και *Myrtus communis*. Το ζητούμενο ήταν ο προσδιορισμός της μείωσης του οργανικού φορτίου του όγκου των ΥΑΕ με τον οποίο ποτίζονταν τα φυτά χωρίς επιπτώσεις στην ανάπτυξη και ανθοφορία τους.

Ο τρόπος λειτουργίας των μονάδων βασίζεται στη συνεχή επανακυκλοφορία του υγρού αποβλήτου και ακολουθεί στα παρακάτω συνοπτικά σημεία:

Πριν την έναρξη κάθε πειραματικού κύκλου εισάγεται ΥΑΕ στο κατώτερο τμήμα της μονάδας μέσω της PVCσωλήνας. Η εξωτερική περισταλτική αντλία διοχετεύει το υγρό απόβλητο στην επιφάνεια της μονάδας. Το απόβλητο οδηγείται μέσω της βαρύτητας μέσω του εδαφικού στρώματος ως στράγγισμα στον πυθμένα της μονάδας όπου αναμιγνύεται με τον ήδη υπάρχοντα όγκο αποβλήτου. Η επανακυκλοφορία του αποβλήτου συνεχίζεται εως σχεδόν πλήρους κατανάλωσης του λόγω εξατμισοδιαπνοής των φυτών και εξάτμισης.



*Εικόνα 17 Επανακυκλοφορία Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου εντός της μονάδας φυτοαποκατάστασης.*

Δείγμα υγρού συλλέγονταν καθημερινά, ενώ μετρούνταν με την συχνότητα που αναγράφεται στα αντίστοιχα χωρία ορισμένα χαρακτηριστικά του λύματος. Για την ορατή αποτύπωση, φωτογραφίες της κατάστασης των δενδρυλλίων στην αρχή και στο τέλος κάθε πειραματικού κύκλου παρατίθενται.

### **Παράμετροι πειραματικών κύκλων**

Οι δύο μονάδες φυτοαποκατάστασης εξετάστηκαν από χαμηλής έως μέτριας οργανικής φόρτισης υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου κατά την διάρκεια 3 πειραματικών κύκλων. Επίσης πραγματοποιήθηκε κύκλος έκπλυσης μετά το τέλος των 3 κύκλων επεξεργασίας αποβλήτου, όπου με επανακυκλοφορία νερού βρύσης στη μονάδα εξετάστηκε η εκρόφισης των προσροφημένων ουσιών στο εδαφικό στρώμα. Το υγρό απόβλητο προς επεξεργασία κατά τον 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο προέκυψε από κατάλληλη αραίωση ΥΑΕ από εξατμισοδεξαμενή ενώ κατά τον 3<sup>ο</sup> κύκλο εφαρμόστηκε χωρίς αραίωση.

Καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης του πειράματος, λάμβαναν χώρα μετρήσεις και προσδιορισμοί σε τακτά χρονικά διαστήματα. Συγκεκριμένα έγιναν μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων (ειδική αγωγιμότητα, αλατότητα, pH, ολικά διαλυμένα στερεά, υγρασία) και προσδιορισμοί ολικού αζώτου και ολικού φωσφόρου, BOD<sub>5</sub>, COD, ολικής χλωροφύλλης, ολικών φαινολών, ολικού άνθρακα καθώς και βακτηριακής ανάπτυξης, οι μέθοδοι των οποίων αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο.

## 1ος πειραματικός κύκλος

Συνολική περίοδος πειραματικού κύκλου: 11 Ιουλίου – 25 Ιουλίου

Διάρκεια: 14 ημέρες

Περίοδος τροφοδοσίας ΥΑΕ στις μονάδες *Punica granatum* και *Myrtus communis*: 11 Ιουλίου – 23 Ιουλίου (12 ημέρες)

Μέση αρχική συγκέντρωση αποβλήτου

- Ολικού οργανικού φορτίου (COD): 2654,8 mg/L
- Βιοαποδομήσιμου οργανικού φορτίου (BOD<sub>5</sub>): 1150 mg/L
- Ολικών Φαινολών (TPh): 252.8 mg/L
- Ολικού Αζώτου (TN): 106,5 mg/L
- Ολικού Φωσφόρου (TP) : 21,8 mg/L
- Αλατότητα, (SAL): 1,58 ‰
- Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS): 1,57g/L
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα(EC) : 3 mS/cm
- pH: 7,76
- Διαλυμένο οξυγόνο (DO) : 3,07 mg/L

Όγκος αποβλήτου που υπέστη επεξεργασία στην μονάδα *Punica granatum*: 197,5 L

Όγκος αποβλήτου που υπέστη επεξεργασία στην μονάδα *Myrtus communis*: 185 L



Εικόνα 18 Απεικόνιση μονάδας φυτοαποκατάστασης *Punica granatum* (1), *Myrtus Communis* (2), μονάδας μάρτυρα για κάθε φυτό (3)

## 2ος πειραματικός κύκλος

Συνολική περίοδος πειραματικού κύκλου: 26 Ιουλίου – 6 Αυγούστου

Διάρκεια: 11 ημέρες

Περίοδος τροφοδοσίας ΥΑΕ στις μονάδες *Punica granatum* και *Myrtus communis*: 26 Ιουλίου – 3 Αυγούστου (8 ημέρες)

Μέση αρχική συγκέντρωση αποβλήτου

- Ολικού οργανικού φορτίου, (COD): 6210 mg/L
- Βιοαποδομήσιμο οργανικού φορτίου, (BOD<sub>5</sub>): 2000 mg/L
- ολικών Φαινολών, (TP) : 908,7 mg/L
- ολικού Αζώτου, (TN): 302,5 mg/L
- ολικού Φωσφόρου, (TP) : 78,1 mg/L
- αλατότητα, (SAL) : 4,52‰
- ολικά διαλυμένα στερεά (TDS): 4,4 g/L
- ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC): 8,16 mS/cm
- pH: 8,3
- Διαλυμένο οξυγόνο, (DO) : 1,74 mg/L

Όγκος αποβλήτου που υπέστη επεξεργασία στην μονάδα *Punica granatum*: 107,5 L

Όγκος αποβλήτου που υπέστη επεξεργασία στην μονάδα *Myrtus communis*: 120 L



Εικόνα 19 απεικόνιση μονάδας φυτοαποκατάστασης *MyrtusCommunis* (1) και μάρτυρας(2), και μονάδα φυτοαποκατάστασης *Punicagranatum* (3) και μάρτυρας (4)

### 3ος πειραματικός κύκλος

Συνολική περίοδος πειραματικού κύκλου: 20 Αυγούστου – 28Αυγούστου

Διάρκεια: 8 ημέρες

Περίοδος τροφοδοσίας YAE Περίοδος τροφοδοσίας YAE στις μονάδες *PunicagranatumMyrtuscommunis*:20 Αυγούστου – 25 Αυγούστου ( 5 ημέρες)

Μέση ρχική συγκέντρωση αποβλήτου

- Ολικού οργανικού φορτίου, (COD): 12434.5 mg/L
- Βιοαποικοδομίσιμου οργανικού φορτίου,(BOD<sub>5</sub> ): 80 mg/L
- ολικών Φαινολών, (TPh) : 1189 mg/L
- ολικού Αζώτου, (TN) : 647,5 mg/L
- ολικού Φωσφόρου,( TP): 118,3 mg/L
- αλατότητα, (SAL): 8,9‰
- ολικά διαλυμένα στερεά (TDS): 8,61 g/L
- ηλεκτρική αγωγιμότητα, (EC): 15,33mS/cm
- pH: 7,75
- Διαλυμένο οξυγόνο, (DO):0,7mg/L

Όγκος αποβλήτου που υπέστη επεξεργασία στην μονάδα *Punicagranatum*: 72,5L

Όγκος αποβλήτου που υπέστη επεξεργασία στην μονάδα *Myrtuscommunis*: 90 L



Εικόνα 20 απεικόνιση μονάδας φυτοαποκατάστασης *MyrtusCommunis* (1) και μάρτυρας(2), και μονάδα φυτοαποκατάστασης *Punicagranatum* (3) και μάρτυρας (4)

#### 4ος πειραματικός κύκλος – έκπλυση

Συνολική περίοδος πειραματικού κύκλου: 1 Σεπτεμβρίου – 15 Σεπτεμβρίου

Διάρκεια: 15ημέρες

Περίοδος τροφοδοσίας νερού βρύσης στις μονάδες *Punica granatum* και *Myrtus communis* : 1 Σεπτεμβρίου – 14 Σεπτεμβρίου (14 ημέρες)

Μέση αρχική συγκέντρωση νερού τροφοδοσίας

- Ολικού οργανικού φορτίου, (COD): 58,7 mg/L
- Βιοαποικοδομίσιμου οργανικού φορτίου, (BOD<sub>5</sub>): 125 mg/L
- ολικών Φαινολών, (TPh): 14,37mg/L
- ολικού Αζώτου, (TN): 5,6 mg/L
- ολικού Φωσφόρου, ( TP): 1,6 mg/L
- αλατότητα, (SAL) : 0,37‰
- ολικά στερεά, (TOC): 0,28 g/L
- ηλεκτρική αγωγιμότητα, (EC): 0,57mS/cm
- pH: 7,92
- Διαλυμένο οξυγόνο, (DO): 4,6 mg/L

Όγκος νερού που τροφοδοτήθηκε στην μονάδα *Punicagranatum*: 236 L

Όγκος νερού που τροφοδοτήθηκε στην μονάδα *Myrtuscommunis*: 220 L



Εικόνα 21 απεικόνιση μονάδας φυτοαποκατάστασης *Myrtus communis* (1) και μάρτυρας (2), και μονάδα φυτοαποκατάστασης *Punica granatum* (3) και μάρτυρας (4)

### 3.3 Χαρακτηριστικά Υγρών Αποβλήτων Ελαιοτριβείου προς εξυγίανση

Τα ΥΑΕ που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία συλλέχθηκαν με αντλία όμβριων απο εξατμισοδεξαμενή τριφασικού εργοστασίου τον μήνα Μάιο, πρόκειται λοιπόν για αραιωμένα ΥΑΕ, αφού έχουν ενσωματωθεί τα κατακρημνίσματα της περιοχής και, προφανώς, έχει υποστεί ήδη μια πρώτη αρραίωση. Το απόβλητο αποθηκεύτηκε σε στεγανό, πλαστικό, αδιαφανές, σκουρόχρωμο βαρέλι αποθήκευσης τροφίμων για την προστασία του αποβλήτου από την ηλιακή ακτινοβολία και συνεπώς την περαιτέρω αλλοίωση των χαρακτηριστικών του. Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο των εν λόγω ΥΑΕ, κατά την περίοδο έναρξης της πειραματικής διαδικασίας, ήταν 26300 mg/L. Το απόβλητο χαρακτήριζε το μεγάλο του ιξώδες, το έντονο καφέ χρώμα και η χαρακτηριστική όξινη οσμή λαδιού, επίσης η υψηλή περιεκτικότητά του σε στερεά.

### 3.4 Υλικά και μέθοδοι

#### 3.4.1 Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων

Οι μετρήσεις των παραμέτρων DO, pH, TDS, SAL, Εε έγιναν με το πολύμετρο της HACH μοντέλο HQ30d.

#### 3.4.1.1. Διαλυμένο οξυγόνο (DO)

Η μέτρηση του Δ.Ο. είναι μια βασική μέτρηση για τον προσδιορισμό της ρύπανσης των υδάτων ή τον βαθμό επεξεργασίας των αποβλήτων. Η συνήθης τιμή σε καθαρό νερό ανέρχεται στα 10 ppm ενώ για τιμές κάτω των 3 ppm προκαλείται στρες στους περισσότερους οργανισμούς. Όσο μειώνεται η κινητική ενεργεία ενός υγρού μειώνεται και η ποσότητα Δ.Ο. που περιέχει, ενώ αντίθετη συμπεριφορά έχει το ρευστό με την πτώση της θερμοκρασίας ή της αλατότητας όπου αυξάνει την περιεκτικότητα του σε Δ.Ο. Μια τιμή κοντά στα 4 ppm συναντάμε σε σχεδόν στάσιμα νερά και απόβλητα. Οι χημικές, φυσικές και βιοχημικές δραστηριότητες που εκτυλίσσονται στο σώμα του νερού επηρεάζουν άμεσα το Δ.Ο. (Σημειώσεις εργαστηριακών ασκήσεων για έλεγχο ρύπανσης νερών). Ένας παράγοντας που επηρεάζει την συγκέντρωση κορεσμού, είναι η αλατότητα του αποδέκτη.

Κατά τις κατευθυντήριες οδηγίες της ευρωπαϊκής ένωσης, πρέπει να εξασφαλίζεται απολύτως ελάχιστη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου 5 mg/l, ενώ σημαντικά μεγαλύτερες είναι οι διάμεσες συγκεντρώσεις, ανάλογα την χρήση του αποδέκτη των λυμάτων (Χαράλαμπος Βασιλάτος).

#### 3.4.1.2. pH

Η καταλληλότητα του νερού για άρδευση ενισχύεται με την περρίσια αλκαλικών στοιχείων. Όξινες τιμές ρευστών ενδέχεται να προκαλέσουν διαβρώσεις και τοξικά φαινόμενα (Σημειώσεις εργαστηριακών ασκήσεων για έλεγχο ρύπανσης νερών).

#### 3.4.1.3 Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS)

Ολικά διαλυμένα στερεά (Total dissolved solids ή TDS) είναι ένα μέτρο των σύνθετων περιεχομένων ουσιών όλων των ανόργανων και οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε ένα υγρό σε μοριακή, ιονισμένη ή μικροκοκκώδη αιωρούμενη μορφή.

#### 3.4.1.4 Αλατότητα (SAL)

Γενικά όσο αυξάνονται οι συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου και νατρίου αυξάνεται και η τιμή, με την μέση τιμή σε ωκεανούς να φτάνει τα 35‰ ενώ τα υφάλμυρα νερά αναλόγως την ένταση της περιεχόμενης αλτότητας κυμαίνονται από 0.5 ‰ (Σημειώσεις εργαστηριακών ασκήσεων για έλεγχο ρύπανσης νερών).

#### 3.4.1.5 Ειδική αγωγιμότητα (EC)

Η ειδική αγωγιμότητα (*electrical conductivity*) είναι μέτρο της ευκολίας ή δυσκολίας με την οποία άγεται ηλεκτρικό ρεύμα δια μέσω κάποιου υλικού ανεξάρτητα από τις

διαστάσεις του, την μετράμε σε Simens/m.Όσο μεγαλύτερη είναι η ηλεκτρικήαγωγιμότητα τόσο περισσότερες είναι οι διαλυμένες ουσίες που περιέχει το νερό. Παρουσιάζει αυξημένες τιμές σε διαλύματα με περίσσια ανόργανων συστατικών και γενικά διαλυμένων ουσιών. Για τις περισσότερες γεωργικές ή δημόσιες χρήσεις η ηλεκτρική αγωγιμότητα πρέπει να είναι μικρότερη από 1500-1800, πάνω από αυτές τις τιμές ενδέχεται να προκληθούν βλάβες στα ευαίσθητα λαχανικά.

#### 3.4.1.6 Βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (BOD<sub>5</sub>)

Οι οργανικές ύλες αποτελούν ένα πολύ σοβαρό ρύπο, δεδομένου ότι μπορούν να προκαλέσουν αποξυγόνωση του νερού και συνεπώς σοβαρή υποβάθμιση του υδατικού σώματος, συνοδευμένη πολλές φορές από δυσάρεστες σηπτικές συνθήκες. Επιπλέον αποτελούν έναν συνηθισμένο ρύπο. Τα αστικά και κτηνοτροφικά λύματα, τα υγρά απόβλητα των γεωργικών και άλλων βιομηχανιών περιέχουν σε σημαντικές συγκεντρώσεις οργανικές ύλες που μπορούν να αποτελέσουν τροφή ετεροτροφικών χημικοσυνθετικών μικροοργανισμών ( Χαραλάμπος Βασιλάτος).

Η σημασία του BOD<sub>5</sub> έγκειται στο ότι αποτελεί μέτρο της κατανάλωσης του διαλυμένουοξυγόνου από τους μικροοργανισμούς για την οξείδωση της οργανικής ύληςπου είναι το κυριότερο ρυπαντικό αποτέλεσμα των αποβλήτων στους αποδέκτες. Στο καθαρό νερό η τιμή του BOD<sub>5</sub> είναι 1ppm.Όταν η τιμή του BOD<sub>5</sub> προσεγγίζει τα 5ppm, τονερό έχει ρυπανθεί. Τα ακατέργαστα λύματα μιας πόλης έχουν συνήθως τιμές BOD<sub>5</sub> 100 - 400mg/l .Στα βιομηχανικά απόβλητα οι τιμές του BOD<sub>5</sub>μπορεί και να ξεπερνούν τα 10.000mg/l.(Μαρίνα Ν. Δεσποτίδου).

**Πίνακας 9 Τυπικές τιμές BOD<sub>5</sub> διαφόρων βιομηχανιών Regional Activity Centre for Cleaner Production (RAC/CP)**

Industry	BOD <sub>5</sub> (mg/L)
Oil mills	60,000
Alcohol plants	20,000
Dairy	3,000
Slaughterhouses	2,000
Sugar factories	2,000
Tanning	2,000

Ο προσδιορισμός του  $BOD_5$  με την μανομετρική μέθοδο βασίζεται στην μέτρηση της διαφοράς της πίεσης που δημιουργείται σε καλά κλεισμένη φιάλη με το δείγμα, λόγω της κατανάλωσης του οξυγόνου κατά την οξείδωση των οργανικών ενώσεων του δείγματος, στον συγκεκριμένο χρόνο της επώασης.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε αυτόν τον προσδιορισμό είναι:

- Σύστημα μέτρησης OxiTop της WTW (μανόμετρο)
- Μεταλλική μαγνητική πλάκα – βάση για την ανάδευση των μπουκαλιών
- Θάλαμος επώασης (20 C)
- Σκουρόχρωμα μπουκαλάκια δειγματοληψίας
- Μαγνητικοί αναδευτήρες
- σκουρόχρωμα δοχεία μέτρησης
- λαιμός από καουτσούκ για την τοποθέτηση Καυστικού Νατρίου
- Καυστικό Νάτριο

(Εργαστηριακός οδηγός έλεγχου ρύπανσης νερών-Ψιλάκη Έλνα – 2013)

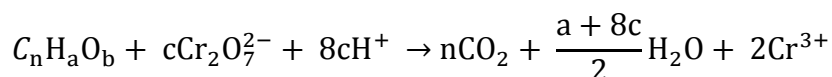
### **3.4.2 Φασματοφωτομετρικοί Προσδιορισμοί**

#### **3.4.2.1. Χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (COD)**

Ως χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand, COD) ορίζεται η ισοδύναμη ποσότητα οξυγόνου, που απαιτείται για την οξείδωση των συστατικών ενός δείγματος, από ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο. Ο προσδιορισμός του COD βασίζεται στο γεγονός ότι όλες οι οργανικές ενώσεις, με ελάχιστες εξαιρέσεις, μπορούν να οξειδωθούν από ισχυρά οξειδωτικά (Οικονομόπουλος, 2005).

Το COD προσδιορίζεται ως τα mg του καταναλισκόμενου οξυγόνου ανά λίτρο δείγματος. Η πρότυπη μέθοδος προσδιορισμού του COD που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία ήταν χρωματομετρική- φωτομετρική κατά την οποία γίνεται οξείδωση της οργανικής ύλης και στη συνέχεια φωτομετρικός προσδιορισμός. Η οξείδωση του οργανικού υλικού ενός διαλύματος γίνεται από περίσσεια διχρωμικού καλίου ( $K_2Cr_2O_7$ ) με θέρμανση και σε ισχυρά όξινες συνθήκες. Ως καταλύτης για την οξείδωση των αλειφατικών ενώσεων χρησιμοποιείται θειικός άργυρος ( $AgSO_4$ ). Για την αποφυγή της δέσμευσης των ιόντων αργύρου από χλωριούχα, βρωμιούχα και ιωδιούχα ιόντα, τα οποία συνήθως υπάρχουν στα απόβλητα, γίνεται προσθήκη ιόντων υδραργύρου με τη μορφή θειικού υδραργύρου ( $HgSO_4$ ), τα οποία συμπλοκοποιούνται με τα ιόντα αλογόνων, οδηγώντας τα σε ίζημα (Μπλίκια, 2009).

Η αντίδραση οξείδωσης του οργανικού υλικού από τα διχρωμικά ιόντα περιγράφεται γενικά από την εξίσωση (Sawyer and McCarthy, 1978):



Κατά τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται η ποσότητα των ιόντων  $Cr^{6+}$  που παραμένουν στο διάλυμα μετά την οξείδωση της οργανικής ύλης, φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 420 nm. Γνωρίζοντας την αρχική τους ποσότητα και αυτήν που απομένει στο διάλυμα, υπολογίζεται έμμεσα το COD που αντιστοιχεί στο δείγμα σε mg/L. Η μέθοδος εφαρμόζεται συνήθως σε δείγματα που το αναμενόμενο COD δεν είναι πολύ υψηλό (0 - 150 mg/L). Για μεγαλύτερες τιμές COD (έως 1500 mg/L) κατά την εκτέλεση της χρωματομετρικής μεθόδου, προσδιορίζεται η ποσότητα του παραγόμενου  $Cr^{3+}$ . Στην περίπτωση αυτή, ο προσδιορισμός εκτελείται σε μήκος κύματος 620 nm.

Το COD στην παρούσα εργασία προσδιορίστηκε με την φασματοφωτομετρική μέθοδο. Χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα φιαλίδια με αντιδραστήρια χώνευσης COD (0-150 mg/L και 0-1500 mg/L) της εταιρείας AQUALYTIC® όπου προστίθεντο 2 ml κατάλληλα αραιωμένου δείγματος και ακολουθούσε χώνευση του μίγματος για 2 ώρες στους 150°C στο θερμοαντιδραστήρα BlockHeater 1230, ChemicalElectronics. Μετά το πέρας των 2 ωρών, το δείγμα αφήνεται να ψυχθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και ακολουθεί ανάλυση στο φασματοφωτόμετρο (PortableDataLoggingspectrophotometer της HACH, DR/2010), σε κατάλληλο μήκος κύματος ανάλογα με το εύρος μέτρησης.



*Εικόνα 22 Το φασματοφωτόμετρο (1) ο θερμοαντιδραστήρας (2) και τα έτοιμαφιαλίδια COD(3) που χρησιμοποιήθηκαν.*

#### **3.4.2.2. Ολικές Φαινόλες**

Η μέθοδος μέτρησης των ολικών φαινολών που ακολουθήθηκε ήταν η Folin-Ciocalteu. Πρόκειται για φωτομετρική μέθοδο που βασίζεται στην οξείδωση των

φαινολικών ενώσεων, από το αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu και στηρίζεται στους Slinkard, K., Singleton, V. L. Χρησιμοποιείται για την μέτρηση του ολικού φαινολικού περιεχομένου χωρίς να γίνεται περαιτέρω διάκριση των φαινολικών συστατικών. Το κύριο αντιδραστήριο της μεθόδου, το αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu, (αυτό που θα οξειδώσει όλες τις φαινολικές ενώσεις), είναι διάλυμα σύνθετων πολυμερών ιόντων που σχηματίζονται από φωσφο-μολυβδαινικά ( $\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$ ) και φωσφο-βολφραμικά ( $\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$ ) καθώς και βρώμιο, λίθιο, ετεροπολυμερή οξέα. το οποίο, κατά την οξείδωση του από τις φαινόλες, ανάγεται σε ένα μίγμα μπλε οξειδίων του βολφραμίου, ( $\text{W}_8\text{O}_{23}$ ), και του μολυβδαινίου, ( $\text{Mo}_8\text{O}_{23}$ ). Συνεπώς το προϊόν είναι σύμπλεγμα μολυβδαινίου βολφραμίου (Mo-W) χαρακτηριστικής μπλε χρώσης που απορροφά στο ορατό (765nm) και είναι ανάλογο με τη συνολική ποσότητα των φαινολικών ενώσεων. Σε φιαλίδιο των 10mL προστίθενται 0.02mL δείγματος, 1.58ml απιονισμένου νερού και έπειτα προστίθενται 100μl από το αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu και αναδεύονται καλώς σε ανακινητή Vortex. Μετά το πέρας 30΄΄ έως 8΄ προστίθενται 300μl υπέρκορου διαλύματος ανθρακικού Νατρίου, και πάλι αναδεύονται καλώς. Αφήνονται σε ηρεμία στους 20 °C για 2hr και ακολούθως προσδιορίζεται η απορρόφηση του διαλύματος στα 765 nm.

#### 3.4.2.3. Ολικό άζωτο (TN) και ολικός φώσφορος (TP)

Για τον προσδιορισμό του ολικού αζώτου και του ολικού φωσφόρου χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα φιαλίδια αντιδραστηρίων της HACH, τα LCK 238 και LCK 349 αντιστοίχα.

#### 3.4.2.4. χλωροφύλλη

Δείγμα νωπών φύλλων βάρους 0,2g των υπό μελέτη δέντρων (*Punicagranatum* & *Myrtus communis*) λήφθηκαν τυχαία περιμετρικά καθ ύψος και κατά μήκος για κάθε ένα δέντρο. Μετά την συλλογή τα φύλλα πλένονταν αρχικά με νερό βρύσης και έπειτα με απιονισμένο νερό, αφού στεγνώσουν, ζυγίζονταν και στη συνέχεια μετρούνταν η χλωροφύλλη σύμφωνα με την μέθοδο του Harborne (1984).

Δείγμα του φυτικού ιστού τοποθετούνταν σε πορσελάνινο ιγδίο και ομογενοποιούνταν με 10mL υδατικού διαλύματος ακετόνης 80% v/v μέχρι πλήρους ομογενοποίησης και σύνθλιψης των κυττάρων. Στην συνέχεια στο εκχύλισμα πραγματοποιούνταν φυγοκέντριση δυο φορές από ένα λεπτό την κάθε φορά στις 16000rcf (σχετική φυγόκεντρος δύναμη) ενώ το καθαρό εκχύλισμα συμπληρωνόταν με διάλυμα ακετόνης 80% έως τελικό όγκο 8mL. Τέλος, μετρούνταν η απορρόφηση στα 663 και 646nm σε φασματοφωτόμετρο UV (UV mini 1240 SHIMADZU) στις κατάλληλες αραιώσεις ώστε να βρίσκεται μέσα στο εύρος γραμμικότητας του οργάνου (δεν χρειάστηκε αραιώση), ενώ διάλυμα ακετόνης 80% χρησιμοποιήθηκε ως τυφλό διάλυμα για τον μηδενισμό του οργάνου.

Η συγκέντρωση της a, b και ολικής χλωροφύλλης υπολογίζεται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\text{Ολική Χλωροφύλλη [mg/L]} = 17,3 A_{646} + 7,18 A_{663}$$

$$\text{Χλωροφύλλη a [mg/L]} = 12,21 A_{663} - 2,81 A_{646}$$

$$\text{Χλωροφύλλη b [mg/L]} = 20,13 A_{646} - 5,03 A_{663}$$

όπου A663 και A646 η απορρόφηση στα 663 και 646nm, αντίστοιχα, ενώ οι συγκεντρώσεις υπολογίστηκαν για 1g νωπού φύλλου (Μανουσάκη, 2008).

### 3.4.3. Προσδιορισμοί σε δείγματα εδαφικού στρώματος

Στο τέλος της εφαρμογής των ΥΑΕ και μετά την έκπλυση αφαιρέσαμε 8 εδαφικά δείγματα τύπου “καρότο” από το έδαφος (3 απο τη ροδιά της μονάδας φυτοαποκατάστασης, 1 απο την ροδιά μάρτυρα και αντίστοιχα 3 απο τη Μυρτιάτης μονάδας φυτοαποκατάστασης και 1 από την μυρτιά μάρτυρα), στα οποία μετρήθηκε ο ολικός άνθρακας και τα οποία αναλύθηκαν μικροβιολογικά. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 26 οι κατ’ επιλογήν θέσεις έγινε προσπάθεια να βρισκονται σε αντιπροσωπευτικές ζώνες για την πλήρη χαρτογράφηση του εδαφικού στρώματος.

Ο δειγματολύπτης έδινε την δυνατότητα λήψης μιας λεπτής στήλης χώματος έως και 50 cm. Στην προκειμένη περίπτωση η στήλη χώματος που ελήφθη ήταν 40cm απο την επιφάνεια της μονάδας και διαχωρίστηκε σε επιμέρους δείγματα εδάφους ανά 10 cm (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm).



Εικόνα 23 Επεξεργασία εδαφικών δειγμάτων (1,3, ταξινόμηση εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με το αντίστοιχο βάθος, 2 δειγματολήπτης (τύπου καρότο)

#### **3.4.3.1. Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) και ολικό άζωτο (TN)**

Πιο συγκεκριμένα ο ολικός οργανικός άνθρακας (Total Organic Carbon- TOC) καθώς του εδαφικού μείγματος προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο της καύσης σε υψηλή θερμοκρασία με τη βοήθεια του Multi N/C Reactor 2100S από την Analytik Jena. Ο αναλυτής μετατρέπει τον περιεχόμενο άνθρακα του δείγματος σε διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) με καύση στους  $650^\circ\text{C}$  και την παρουσία καταλύτη Ce και  $\text{O}_2$ . Η ανίχνευση του διοξειδίου του άνθρακα επιτυγχάνεται με ένα μη διαπερατός αισθητήρας υπερύθρων (NDIR). Εν τέλει τα δείγματα ξηράθηκαν στους  $40^\circ\text{C}$  πριν την ανάλυση για 2 ημέρες προκειμένου να απομακρυνθεί η περιεχόμενη υγρασία. Από κάθε δείγμα ζυγίστηκαν 10-15 mg και τοποθετήθηκαν στο φούρνο.

#### **3.4.3.2. Προσδιορισμός βακτηριακής βιομάζας**

Μικροοργανισμούς του εδάφους αποτελούν οι μύκητες, τα μικροφύκη, τα πρωτόζωα, οι υιοί και τα βακτηρίδια. Στα συνηθισμένα εδάφη αναμένεται η ανάπτυξη βακτηριδίων (προκαρυωτικοί οργανισμοί). Προκειμένου να χαρακτηρίσουμε την μικροβιακή ανάπτυξη στο έδαφος που χρησιμοποιήσαμε ακολουθήσαμε βιώσιμη ετεροτροφική καλλιέργεια, τα στάδια αποτελούσαν η διάλυση, η επιμόλυνση, η καλλιέργεια, και η τελική καταμέτρηση με την βοήθεια ηλεκτρονικού στερεοσκοπίου.

##### **Διαδικασία διάλυσης**

Σε αυτό το στάδιο παρασκευάζονται διαλύματα εδαφικού δείγματος διαφορετικών συγκεντρώσεων, συγκεκριμένα, αναμείχθηκαν καλώς 10gr σε 95 ml αποιονισμένου νερού (1:10 w/v). Ακολούθως παρασκευάστηκαν αραιώσεις  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  και  $10^{-3}$  του προηγούμενου διαλύματος.

##### **Διαδικασία επιμόλυνσης**

Σε φιάλη 1L αναμείχθηκαν 800ml αποιονισμένο νερό, 15gr αгар, 5gr μαγιά, 5gr επτόζη, 40gr γλυκόζη, έπειτα τοποθετήθηκαν σε κλίβανο, αυτό είναι το κατάλληλο θρεπτικό υλικό. Σε συνθήκες αποστείρωσης επιστρώθηκε το εσωτερικό τριβλίων με το παραχθέν υλικό. Ακολούθως σε κάθε τριβλίο προστέθηκαν 0,1ml από το διάλυμα χόματος και αφέθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 3 ημέρες.

##### **Διαδικασία καταμέτρησης**

Μετά το πέρας 3 ημερών, οπότε είχαν αναπτυχθεί διακριτές αποικίες (άσπρου έως κίτρινου χρώματος) μικροοργανισμών στα τριβλία έγινε καταμέτρηση με ηλεκτρονικό στερεοσκόπιο.



*Εικόνα 24 Διαδικασία επιμόλυνσης τριβλίων petri για προσδιορισμό βακτηριακής βιομάζας σε δείγματα χώματος*

#### **3.4.4. Εδαφική υγρασία**

Η υγρασία του εδάφους μετρούνταν σε καθημερινή βάση στις δύο πειραματικές μονάδες μέσω φορητού υγρασιόμετρου πεδίου με ηλεκτρομαγνητικούς αισθητήρες ανίχνευσης υγρασίας. Το υγρασιόμετρο είναι της εταιρίας Delta-T Devices και εφήρμοζε σε υπεδάφια υποδοχή που εκτεινόταν 1m σε βάθος, τοποθετημένη σε κάθε μια μονάδα. Η υγρασία μετρούνταν σε 4 διαφορετικές στάθμες εντός του εδαφικού στρώματος θεωρώντας τη σύνθεση του εδάφους ως mineral (κυρίως ορυκτό).



*Εικόνα 25 Μετρητής υγρασίας εδάφους της εταιρίας Delta T devices*

## Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 4 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό δίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις χημικές αναλύσεις δειγμάτων υγρού αποβλήτου και εδάφους, κατά την διάρκεια των τριών πειραματικών κύκλων και του κύκλου της έκπλυσης. Επίσης περιγράφονται οι όποιες θεωρήσεις έγιναν για την λειτουργία του συστήματος, στα πλαίσια της επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων. Ακόμη εκτιμάται η συνολική απόδοση των δύο μονάδων φυτοεξυγίανσης και ο ρυθμός της απομάκρυνσης των διάφορων συστατικών του αποβλήτου.

### 4.1 Φασματοφωτομετρικοί προσδιορισμοί

Στα παρακάτω παρουσιάζονται διαγραμματικά τα αποτελέσματα από τον προσδιορισμό των εξής παραμέτρων στο υγρό απόβλητο καθεμιας μονάδας: COD, ολικές φαινόλες, ολικό άζωτο, ολικός φώσφορος. Για κάθε παράμετρο δίνεται το διάγραμμα της συγκέντρωσης του υγρού αποβλήτου με το χρόνο για κάθε μονάδα και για όλους τους πειραματικούς κύκλους. Επιπλέον δίνεται το διάγραμμα της συνολικής μάζας κάθε παραμέτρου για το σύστημα, συνεκτιμώντας την περιεχόμενη μάζα στο αποθηκευμένο υγρό απόβλητο υπό επεξεργασία, τη μάζα στην υγρή φάση που βρίσκεται εντός του εδαφικού στρώματος και τη μάζα που βρίσκεται προσροφημένη στο χώμα, κατόπιν υπολογισμών που θεωρούν ισορροπία φάσεων.

Από τις καθημερινές μετρήσεις του όγκου στο υπεδάφιο τμήμα συλλογής του αποβλήτου υπολογίστηκε η απώλεια υγρού όγκου αποβλήτου καθημερινά.

Επίσης έγιναν οι εξής παραδοχές

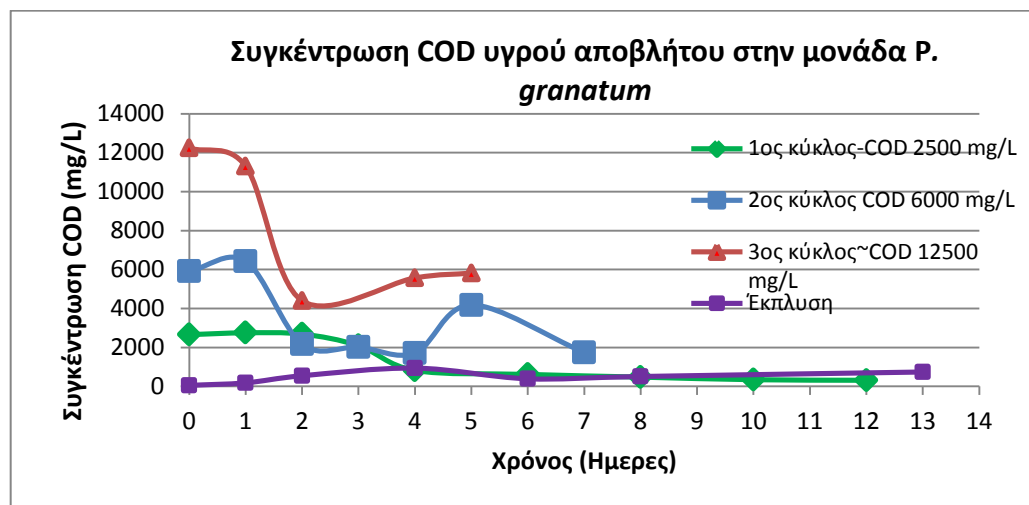
- Η μάζα κάθε παραμέτρου στο υπεδάφιο τμήμα συλλογής του αποβλήτου προέκυψε ως το γινόμενο του τρέχοντος όγκου του αποβλήτου και της συγκέντρωσης της παραμέτρου.
- Ο όγκος της υγρή φάση εντός του εδάφους υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπ' όψη την αρχική απώλεια όγκου αποβλήτου εντός των 2 πρώτων ημερών κάθε πειραματικού κύκλου και τη μέση απώλεια όγκου λόγω εξατμισοδιαπνοής και εξατμίσης για ολόκληρο τον κύκλο.
- Η προσροφημένη μάζα στην στερανή φάση για να υπολογιστεί απαιτούσε γνώση του συντελεστή κατανομής  $K_{sd}$  στο έδαφος για κάθε παράμετρο. Το γινόμενο του με τη συγκέντρωση του υγρού αποβλήτου αποτελούσε την συγκέντρωση στο έδαφος και εν συνεχεία αυτός ο όρος πολλαπλασιασμένος με την διαβρεχόμενη μάζα του χώματος μας οδηγούσε στον υπολογισμό της προσροφημένης μάζας στο έδαφος.
- Η παροχή του υγρού αποβλήτου στην επιφάνεια των μονάδων γινόταν με ρυθμιζόμενους πολυσταλάκτες 6 θέσεων τοποθετημένους διαγώνιας στην επιφάνεια της κάθε μονάδας. Ως εκ τούτου, και λόγω της χαμηλής σχετικά ογκομετρικής παροχής του αποβλήτου, προέκυψαν περιοχές του εδαφικού στρώματος οι οποίες δε διαβρέχονταν από το υγρό απόβλητο. Προκειμένου να

εκτιμηθεί η μάζα του εδαφικού στρώματος που διαβρέχεται απο το υγρό απόβλητο κατά τη διάρκεια κάθε πειραματικού κύκλου, συνυπολογίστηκε η ικανότητα κατακράτησης υγρού όγκου του χώματος, η απώλεια υγρού όγκου κατά τις πρώτες ημέρες κάθε πειραματικού κύκλου και ο μέσος ρυθμός εξατμισοδιαπνοής και εξάτμισης κάθε πειραματικής περιόδου.

#### 4.1.1 Χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (COD)

##### 4.1.1.1 Μονάδα *Punica granatum*

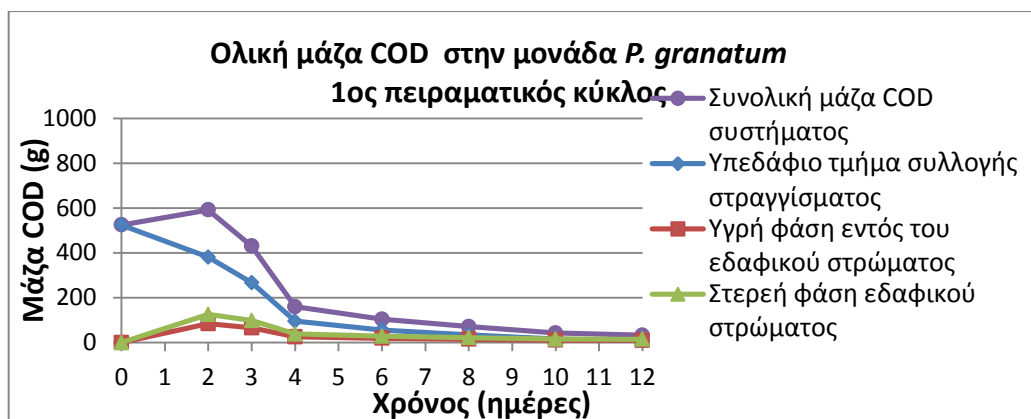
Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται για κάθε πειραματικό κύκλο η μεταβολή της συγκέντρωσης COD στο υγρό απόβλητο της μονάδας *P. granatum*. Σε κάθε πειραματικό κύκλο απο τους 3 κύκλους επεξεργασίας ΥΑΕ παρατηρείται γενικά σταδιακή πτώση της συγκέντρωσης με μικρές διακυμάνσεις. Συγκεκριμένα, τα ποσοστά μείωσης της αρχικής συγκέντρωσης COD κατά το τέλος του 1<sup>ου</sup>, 2<sup>ου</sup> και 3<sup>ου</sup> πειραματικού κύκλου είναι 88%, 71%, 52% αντίστοιχα. Κατά τον κύκλο της εκπλυσης η αρχική συγκέντρωση 50mg/L σταδιακά αυξάνεται εως 858,5mg/L καθόσον εκροφώνται οργανικές ουσίες απο το χώμα στην υγρή φάση.



Διάγραμμα 1 Συγκέντρωση COD υγρού αποβλήτου για την μονάδα *Punicagranatum*

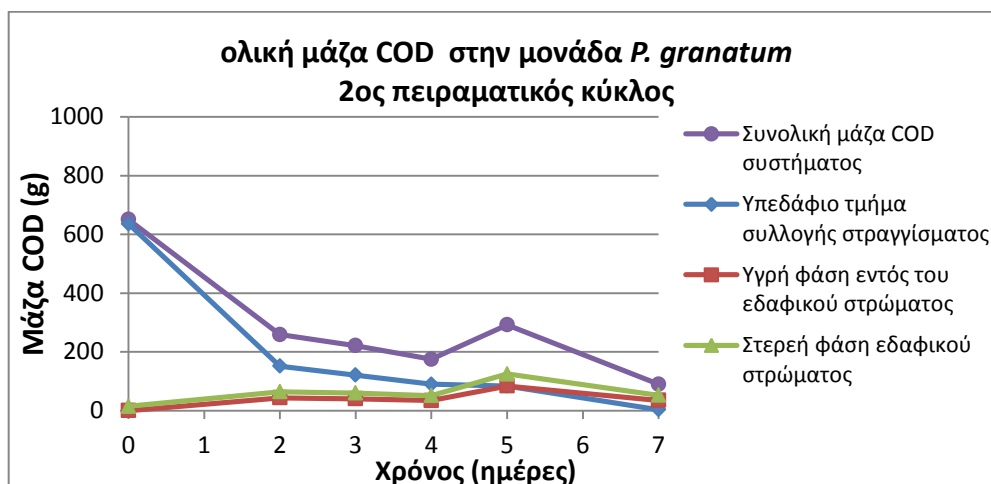
Τα διαγράμματα που ακολουθούν (2,3,4) δείχνουν τη μεταβολή της ολικής μάζας COD για το σύστημα συναρτήσει του χρόνου για την μονάδα της *Punicagranatum* για τον 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup>, και 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο αντίστοιχα.

Κατά τον 1<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο στην μονάδα εισήχθη ΥΑΕ συγκέντρωσης 2655,5mg/L COD και συνολικής μάζας 524,5g COD. Αρχικά θεωρήθηκε ότι η μάζα οργανικής ύλης στο σύστημα είναι αμελητέα και ότι το συνολικό οργανικό φορτίο αντιστοιχεί σε αυτό που περιέχεται στο ΥΑΕ. Παρατηρείται ότι κατά την 4<sup>η</sup> ημέρα του κύκλου η συνολική μάζα COD έχει μειωθεί ήδη κατά 70% ενώ στο τέλος του πειραματικού κύκλου η απόδοση φτάνει σε ποσοστό μείωσης ίσο με 94%.



Διάγραμμα 2 Συνολική μάζα COD στην μονάδα *Punica granatum* για τον 1<sup>ος</sup> πειραματικό κύκλο

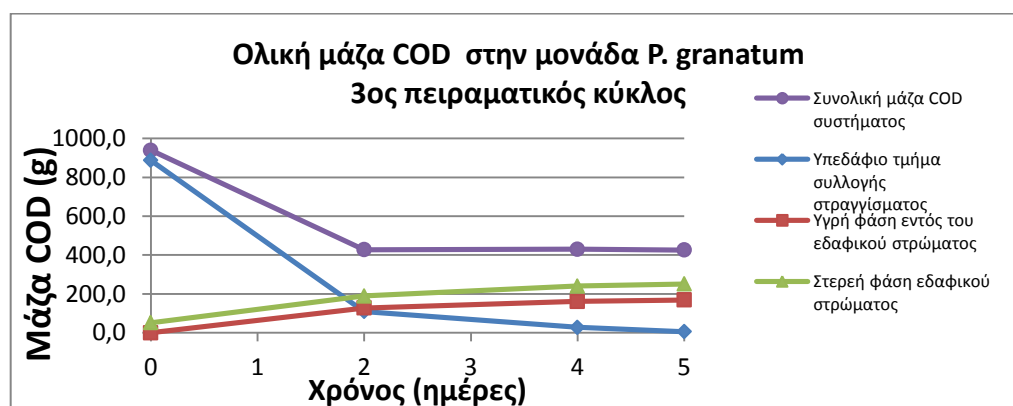
Κατά τον 2<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο το απόβλητο που τροφοδοτήθηκε στη μονάδα είχε συγκέντρωση 5912,5 mg/LCOD και αντίστοιχη μάζα 650,3gCOD. Επειδή οι πειραματικοί κύκλοι ήταν διαδοχικοί χωρίς ενδιάμεση παύση, θεωρήθηκε ότι κατά την έναρξη του δεύτερου κύκλου η προσροφημένη οργανική ύλη στο χώμα είναι αρχικά μη μηδενική και ίση με τη μάζα στο τέλος του πρώτου πειραματικού κύκλου (14,6g COD). Μέχρι την 4<sup>η</sup> ημέρα η μείωση της οργανικής ύλης φτάνει το 73%, ενώ την πέμπτη ημέρα παρατηρείται αύξηση στην τιμή της ολικής μάζας του συστήματος, η οποία εκτιμάται ότι οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα προσδιορισμού της συγκέντρωσης του αποβλήτου, καθώς στη συνέχεια όπως φαίνεται η ολική μάζα ακολουθεί πτωτική πορεία. Την τελευταία ημέρα η τιμή φτάνει το 86%.



Διάγραμμα 3 Ολική μάζα COD στην μονάδα *Punica granatum* για τον 2<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο

Κατά τον 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εισάγεται στην μονάδα απόβλητο συγκέντρωσης 12237,5 mg/LCOD και μάζας 939,1g COD. Σε διάστημα δύο ημερών επιτυγχάνεται μείωση οργανικής ύλης σε ποσοστό 55% και στη συνέχεια παραμένει σταθερό. Σημειώνεται ότι η ποσότητα οργανικής ύλης που απομένει στο τέλος του κύκλου στη

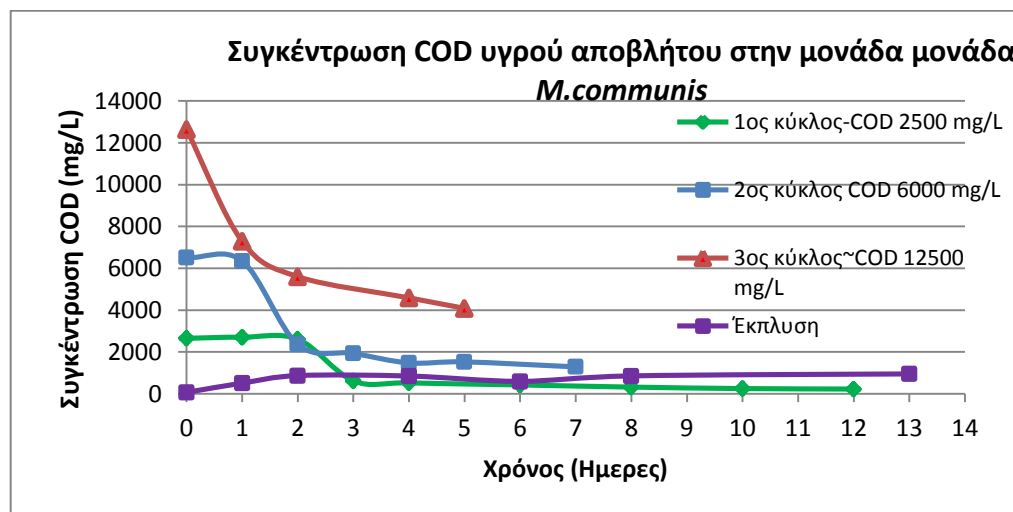
μονάδα κατανέμεται βάσει των υπολογισμών σε 56% προσροφημένη στο χώμα, 37,4 % στην υγρή φάση εντός του χώματος και σε 6,5% στο υγρό απόβλητο που βρίσκεται στο τμήμα του χαλικιού.



Διάγραμμα 4 Ολική μάζα COD στην μονάδα *Punica granatum* κατά τον 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο

#### 4.1.1.2 Μονάδα *Myrtus communis*

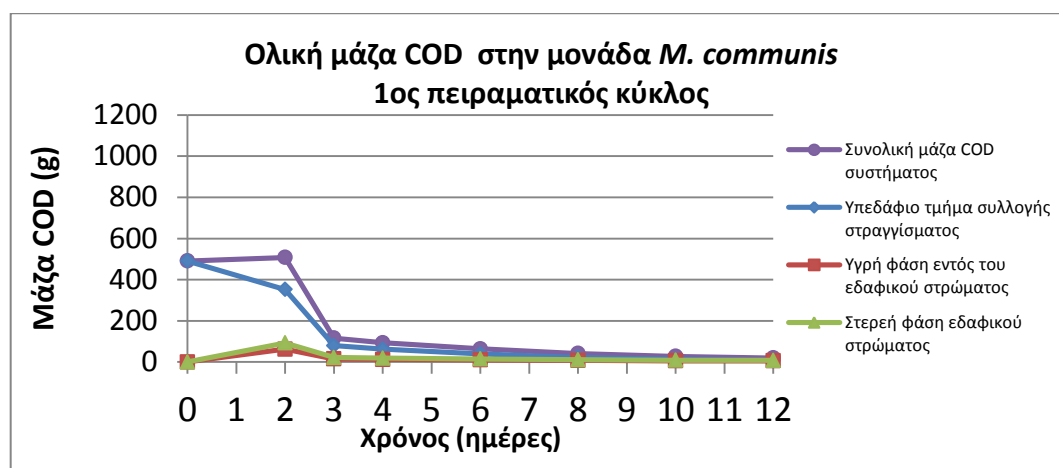
Στην ενότητα αυτή δίνονται τα αντίστοιχα διαγράμματα για τη μονάδα της *Myrtus communis*. Αντίστοιχα για τους 3 πειραματικούς κύκλους και στη μονάδα της Μυρτιάς υπάρχει όμοια συμπεριφορά, με σταδιακή πτώση της συγκέντρωσης χωρίς ιδιαίτερες διακυμάνσεις. Τα ποσοστά μείωσης της αρχικής συγκέντρωσης του αποβλήτου κατά το τέλος των πειρ. Κύκλων 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup>, 3<sup>ο</sup> είναι 91%, 86%, 68%. Κατά τον κύκλο της εκπλυσης η αρχική συγκέντρωση 67,5 mg/L σταδιακά αυξάνεται έως 1052 mg/L καθώς εκροφώνται οργανικές ουσίες από το χώμα στην υγρή φάση.



Διάγραμμα 5 Συγκέντρωση COD σε mg/L υγρού αποβλήτου για την μονάδα *Myrtus communis*

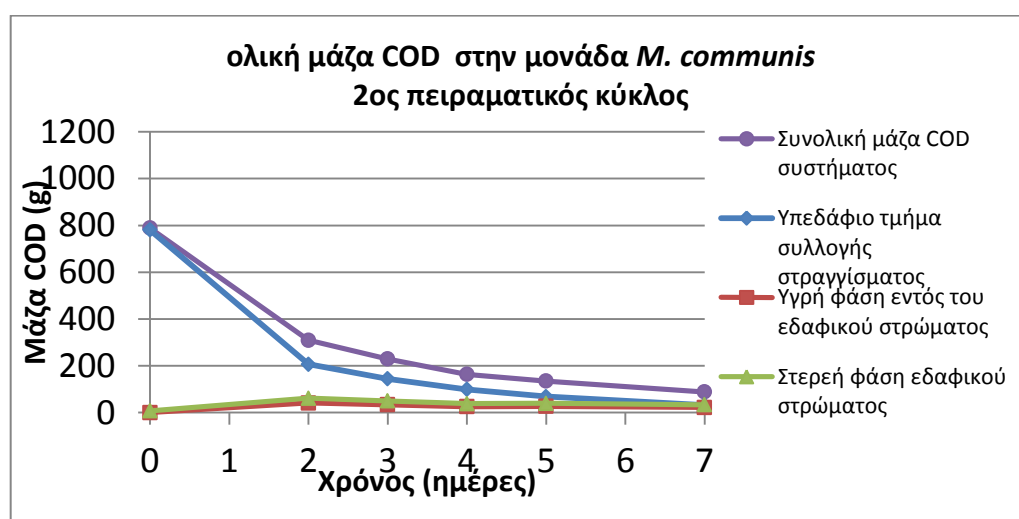
Κατά τον 1<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εισάγεται στην μονάδα απόβλητο συγκέντρωσης 2654mg/L COD και μάζας 491 COD. Ήδη από την τρίτη ημέρα έχουμε μια μείωση

της τάξης του 76% στη συνολική μάζα COD στο σύστημα, ενώ η πτωτική τάση σχεδόν γραμμικά φτάνει στην τελευταία ημέρα το 96%.



Διάγραμμα 6 Ολική μάζα COD στην μονάδα *Myrtus communis* για τον 1<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο

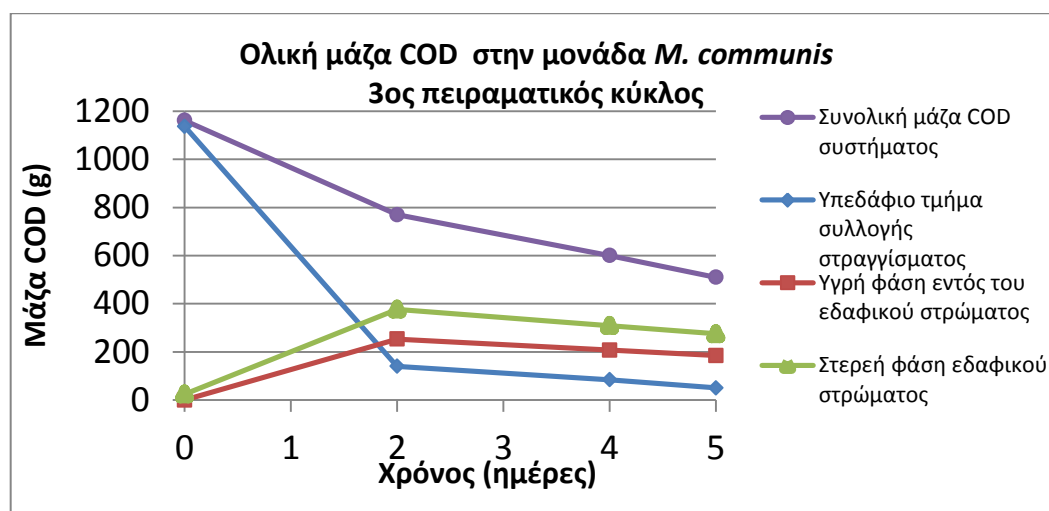
Κατά τον 2<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εισάγεται στην μονάδα απόβλητο συγκέντρωσης 6506,5 mg/LCOD και μάζας 787,8g COD. Την τελευταία ημέρα η μείωση της οργανικής ύλης βρίσκεται στο 89%.



Διάγραμμα 7 Ολική μάζα COD στην μονάδα *Myrtus communis* για τον 2<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο

Κατά τον 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εισάγεται στην μονάδα απόβλητο συγκέντρωσης 12631,5mg/LCOD και μάζας 1161,4g COD. Η συνολική απόδοση της μονάδας ήταν μόλις 56% στο τέλος του πειραματικού κύκλου. Σημειώνεται ότι η ποσότητα οργανικής ύλης που απομένει στο τέλος του κύκλου στη μονάδα κατανέμεται βάσει των υπολογισμών σε 42,1% προσροφημένη στο χώμα, 28,3 %

στην υγρή φάση εντός του χώματος και σε 29,6% στο υγρό απόβλητο που βρίσκεται στο τμήμα του χαλικιού.



Διάγραμμα 8 Ολική μάζα COD στην μονάδα *Myrtus communis* για τον 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο

4.1.1.3 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για COD στις μονάδες *P.granatum* και *M. communis*

**Πίνακας 10** ρυθμοί και ποσοστά αποδόμησης οργανικής ύλης (μεταβολή COD)

	1ος πειρ.κύκλος (12 ημέρες)	2ος πειρ.κύκλος (8 ημέρες)	3ος πειρ.κύκλος (5ημέρες)
	Ποσοστό αποδόμησης συνολικού φορτίου στο τέλος κάθε πειραματικού κύκλου (%)		
<i>P.granatum</i>	94	86	55
<i>M. communis</i>	96	89	56
	Συνολική μάζα COD(g) στο σύστημα στην αρχή και στο τέλος κάθε πειραματικού κύκλου		
<i>P.granatum</i>	524,5 → 33,1	650,3 → 88,4	939 → 425
<i>M. communis</i>	491,0 → 19,6	789 → 88,2	1161,4 → 600,2
	Ρυθμός αποδόμησης (gCOD/d/kg soil)		
<i>P.granatum</i>	0,474	1,465	1,281
<i>M. communis</i>	0,600	2,087	1,053

Σημειώνεται ότι οι ρυθμοί αποδόμησης υπολογίστηκαν θεωρώντας τη μείωση της μάζας οργανικής ύλης σε όρους COD, τη διάρκεια κάθε πειραματικού κύκλου και την υπολογιζόμενη μάζα διαβρεχόμενου εδαφικού τμήματος.

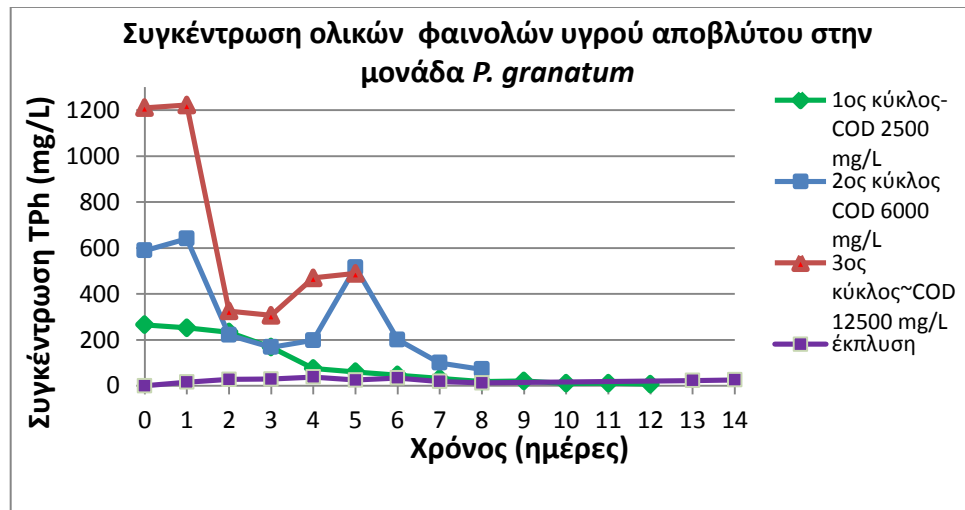
Συμπερασματικά έχουμε και στις δύο μονάδες για χαμηλό COD (<6000 mg/L) μείωση πάνω απο 85% στο συνολικό οργανικό φορτίο σε διάστημα μικρότερο των δυο εβδομάδων, κατά το οποίο καταναλώνονται περισσότερα απο 100L. Ενώ παρατηρείται ότι στην εφαρμογή του αποβλήτου υψηλότερης συγκέντρωσης (12500 mg/L), όγκος περίπου 80 λίτρων καταναλώνεται σε 5 ημέρες με περίπου 55% αποδόμηση οργανικού φορτίου και για τις δύο μονάδες.

#### 4.1.2 Ολικές φαινόλες

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τις ολικές φαινόλες.

##### 4.1.2.1 Μονάδα *Punica granatum*

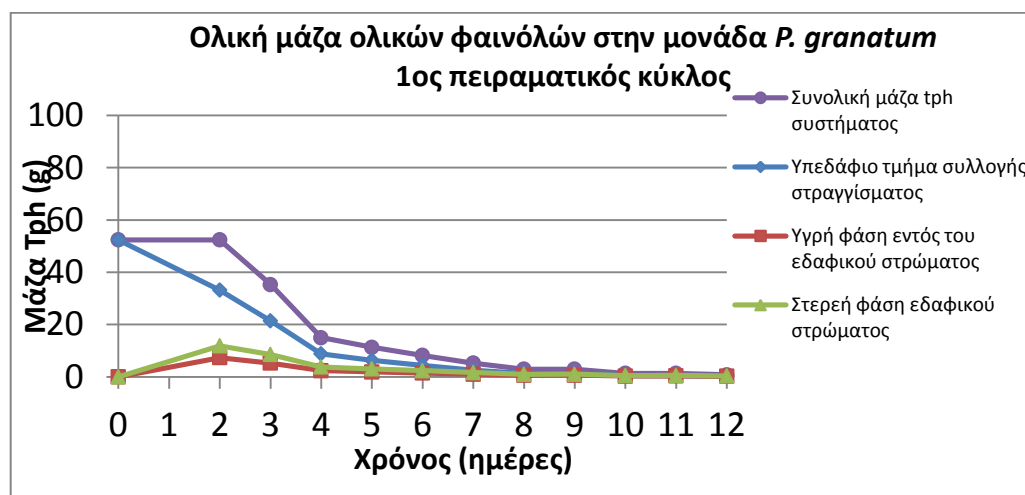
Για τον 1<sup>ο</sup> κύκλο παρατηρείται ότι από την 4<sup>η</sup> ημέρα υπάρχει μια μείωση της τάξης του 71% στη συγκέντρωση των ολικών φαινολών η οποία φτάνει το 97% στο τέλος του πειρ. κύκλου. Η μικρή άνοδος την 5<sup>η</sup> ημέρα του 2<sup>ου</sup> κύκλου εμφανίζεται και στην περίπτωση του COD και η συγκέντρωση των ολικών φαινολών φτάνει τις επόμενες ημέρες πτωτικά φτάνει το 88%. Στον 3<sup>ο</sup> κύκλο φαίνεται ότι στο τέλος του κύκλου επιτυγχάνεται μείωση συγκέντρωσης 60%. Κατά τον κύκλο της εκπλυσης η αρχική συγκέντρωση 14,4 g/L σταδιακά αυξάνεται εως 23,6 mg/L.



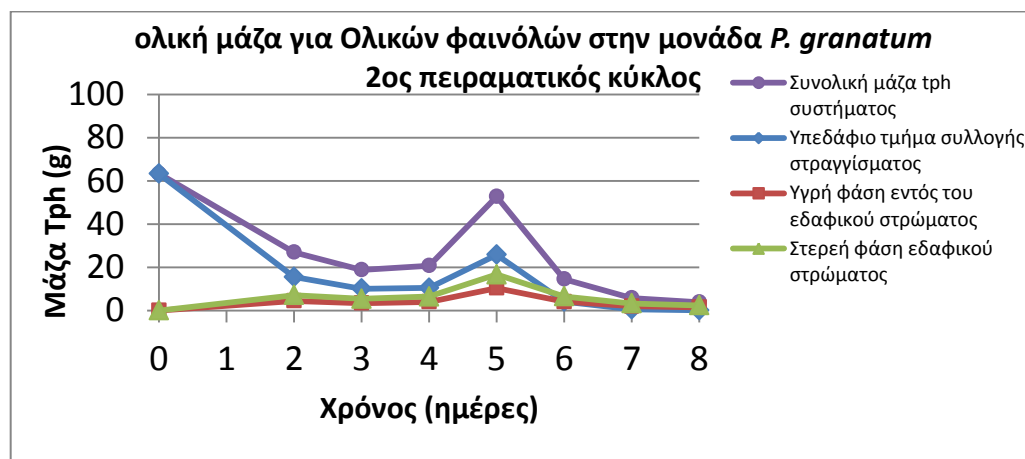
Διάγραμμα 9 Συγκέντρωση ολικών φαινολών του αποβλήτου υπο εξυγίανση για την μονάδα *Punica granatum*

Κατά τον 1<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εισάγεται στην μονάδα απόβλητο συγκέντρωσης ολικών φαινολών 265,2 mg/L TPH και συνολικής μάζας 52,4 gr TPH. Η πτωτική τάση σχεδόν γραμμικά φτάνει στην τελευταία ημέρα το 98%. Κατά το 2<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εισάγεται απόβλητο συγκέντρωσης 588,6 mg/L TPH και συνολικής μάζας 63,3 gr TPH. Το ποσοστό αποδόμησης φτάνει στην τελευταία ημέρα το 94 %. Απόβλητο συγκέντρωσης 1210 mg/L TPH, εισάγεται κατά τον 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο συνολικής

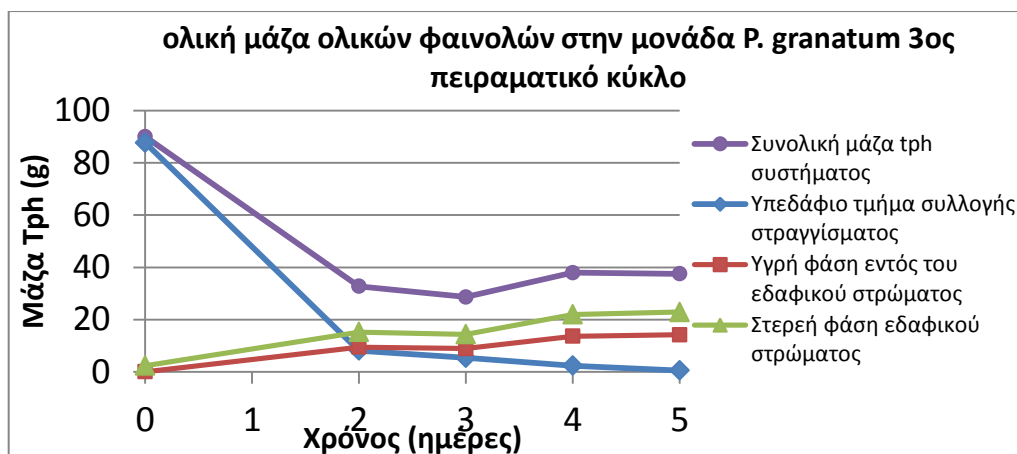
μάζας ολικών φαινολών 90 gr TPh. Η απόδόμηση φτάνει την τελευταία ημέρα το 58% ενώ από την 2<sup>η</sup> ημέρα παραμένει σχεδόν σταθερή με μια μικρή αύξηση από την δεύτερη ημέρα. Σημειώνεται ότι η ποσότητα οργανικής ύλης που απομένει στο τέλος του 3<sup>ου</sup> κύκλου στη μονάδα κατανέμεται σε 61% προσροφημένη στο χώμα, 37,7 % στην υγρή φάση εντός του χώματος και σε 1,3 % στο υγρό απόβλητο που βρίσκεται στο τμήμα του χαλικιού.



Διάγραμμα 10 Ολική μάζα ολικών Φαινολών στην μονάδα *Punica granatum* για τον 1<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο



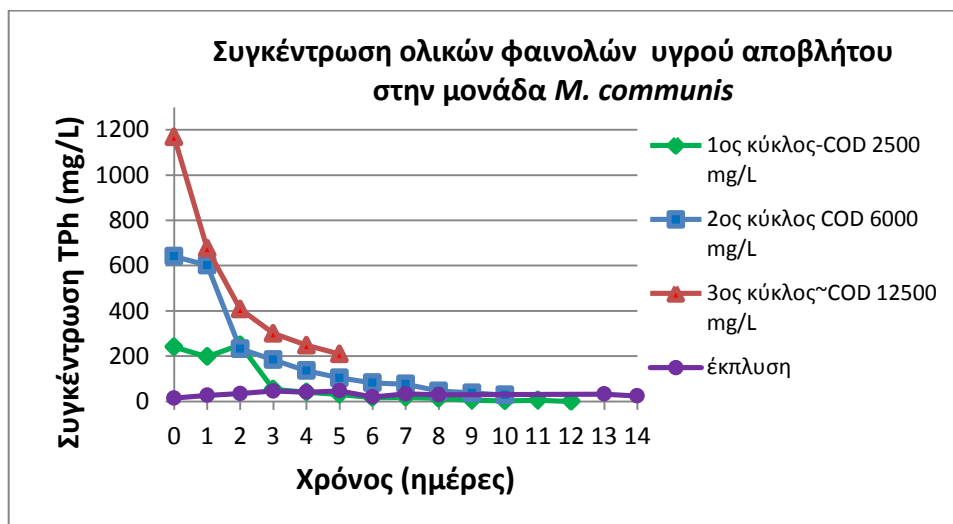
Διάγραμμα 11 Ολική μάζα Ολικών Φαινολών στην μονάδα *Punica granatum* για τον 2<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο



Διάγραμμα 12 Ολική μάζα Ολικών Φαινολών στην μονάδα *Punica granatum* για τον 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο

#### 4.1.2.2 Μονάδα *Myrtus communis*

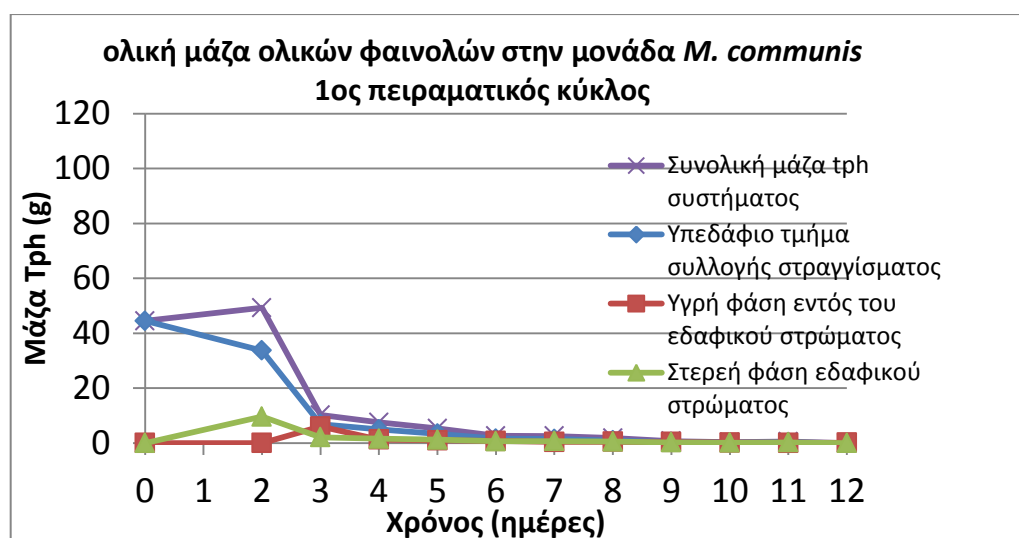
Η μονάδα με τα φυτά *Myrtus communis* παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά ως προς την μείωση των φαινολών στο υγρό απόβλητο υπο επεξεργασία. Τα ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης στο υπεδάφιο τμήμα συλλογής για την μονάδα *Myrtus communis* για τους 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup> και 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο είναι 100%, 96% και 82% αντίστοιχα χωρίς ιδιαίτερες διακυμάνσεις. Ενώ ήδη από την 3<sup>η</sup> ημέρα έχουμε μεγαλύτερη από 70% μείωση της συγκέντρωσης για κάθε κύκλο. Κατά τον κύκλο της εκπλυσης η αρχική συγκέντρωση 0 mg/L σταδιακά αυξάνεται έως 25,8 mg/L.



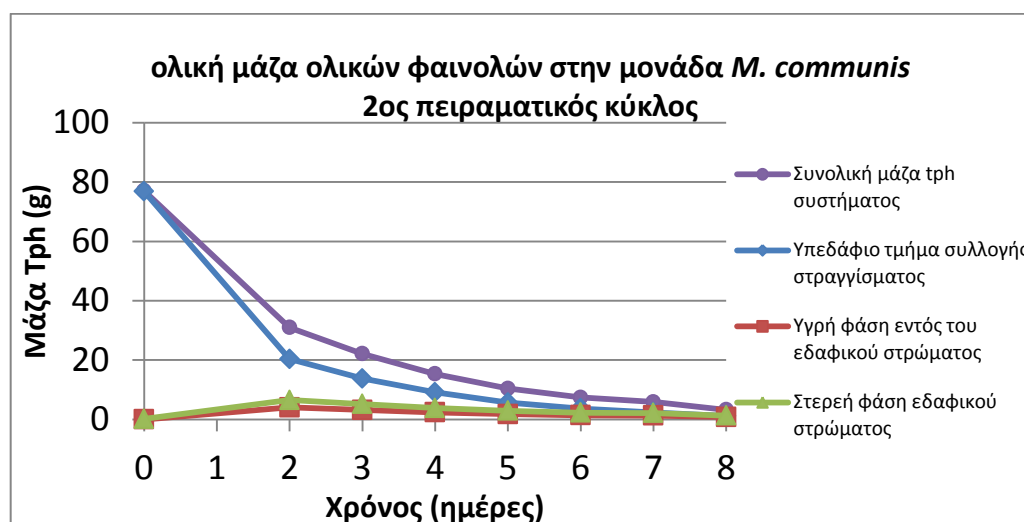
Διάγραμμα 13 Συγκέντρωση ολικών φαινολών του αποβλήτου υπο εξυγίανση ως προς το χρόνο για την μονάδα *Myrtus communis*

Κατά τον 1<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εισάγεται στην μονάδα απόβλητο συγκέντρωσης 240,5 mg/L ΤΡΗ, συνολικής μάζας 44,5 gr ΤΡΗ. Η απομάκρυνση φτάνει στην τελευταία ημέρα το 100%, ήδη από την 3<sup>η</sup> ημέρα το ποσοστό βρίσκεται στο 77%. Κατά τον 2<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εισάγεται στην μονάδα απόβλητο συγκέντρωσης

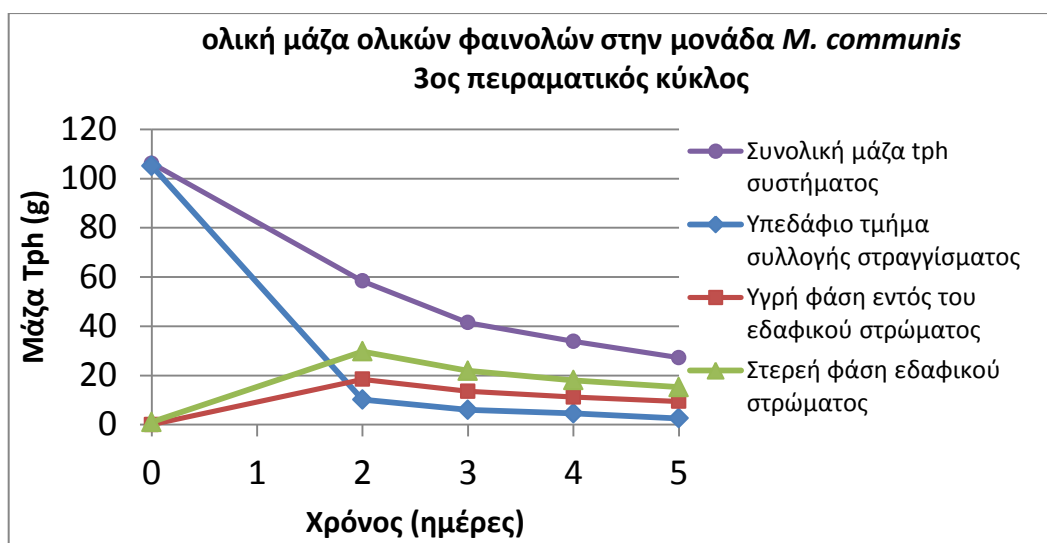
640,2 mg/L TPh ενώ σε μονάδες μάζας το ολικό φορτίο ήταν 77gr TPh. Η αποδόμηση φτάνει στην τελευταία ημέρα το 95%, ενώ η συνολική μάζα φτάνει τελικά τα 2,4gr. Ήδη από την 4<sup>η</sup> ημέρα η συνολική πτώση βρίσκεται στο 80%. Στον 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εισάγεται στην μονάδα απόβλητο συγκέντρωσης 1167,8 mg/L TPh ενώ σε μονάδες μάζας το ολικό φορτίο ήταν 106,2 gr TPh. Η αποδόμηση φτάνει στην τελευταία ημέρα το 74%, με σχεδόν γραμμική τάση, ενώ η συνολική μάζα φτάνει τελικά τα 27,2 gr. Σημειώνεται ότι η ποσότητα οργανικής ύλης που απομένει στο τέλος του 3<sup>ου</sup> κύκλου στη μονάδα κατανέμεται σε 56% προσροφημένη στο χώμα, 34,6 % στην υγρή φάση εντός του χώματος και σε 9,4 % στο υγρό απόβλητο που βρίσκεται στο τμήμα του χαλικιού.



Διάγραμμα 14 Ολική μάζα Ολικών φαινολών στην μονάδα *Myrtus communis* για τον 1<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο



Διάγραμμα 15 Ολική μάζα Ολικών φαινολών στην μονάδα *Myrtus communis* για τον 2<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο



Διάγραμμα 16 Ολική μάζα Ολικών φαινολών στην μονάδα *Myrtus communis* για τον 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο

#### 4.1.2.3 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

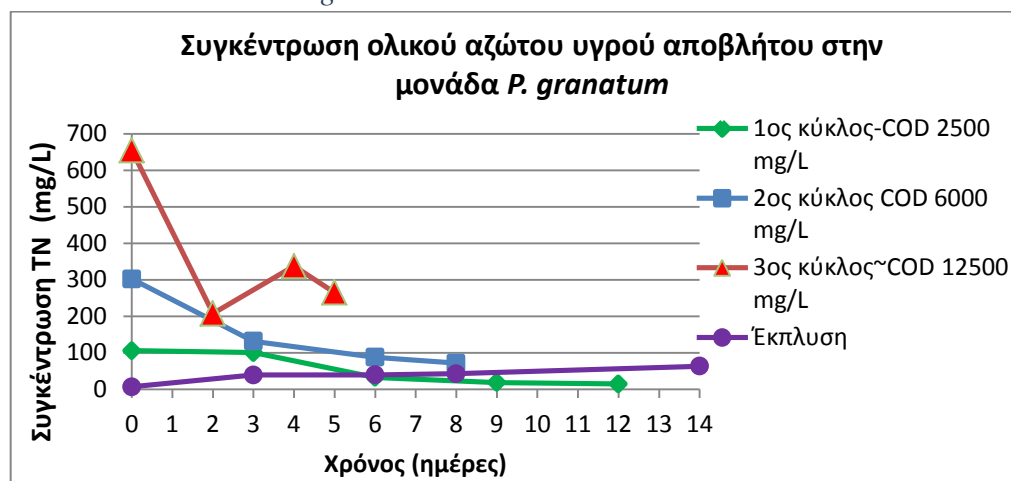
**Πίνακας 11 Ρυθμοί και ποσοστά αποδόμησης Ολικών φαινολικών ενώσεων**

	1ος πειρ.κύκλος (12ημέρες)	2ος πειρ.κύκλος (8 ημέρες)	3ος πειρ.κύκλος (5ημέρες)
	<b>Ποσοστό αποδόμησης μάζας στο τέλος του πειραματικού κύκλου%</b>		
P.granatum	98	94	58
M. communis	100	95	74
	<b>Συνολική μάζα TPh(g) στο σύστημα στην αρχή και στο τέλος κάθε πειραματικού κύκλου</b>		
P.granatum	52,4 → 0,8	63,3 → 3,8	90,0 → 37,5
M. communis	44,5 → 0,5	77,0 → 3,2	106,2 → 27,2
	<b>Ρυθμός αποδόμησης (g/d/kg soil)</b>		
P.granatum	0,049	0,135	0,132
M. communis	0,056	0,192	0,127

Όπως στην περίπτωση του COD και εδώ παρατηρούνται μεγάλα ποσοστά αποδόμησης ολικών φαινολών για μικρή φόρτιση οργανικού περιεχομένου (COD<6000 mg/L), τα οποία ξεπερνούν το 95%. Στην περίπτωση μεσαίας φόρτισης (12500 mg/L COD) υπάρχει αποδόμηση 58% για τη P. granatum και 74% για τη M. Communis.

### 4.1.3 Ολικό άζωτο

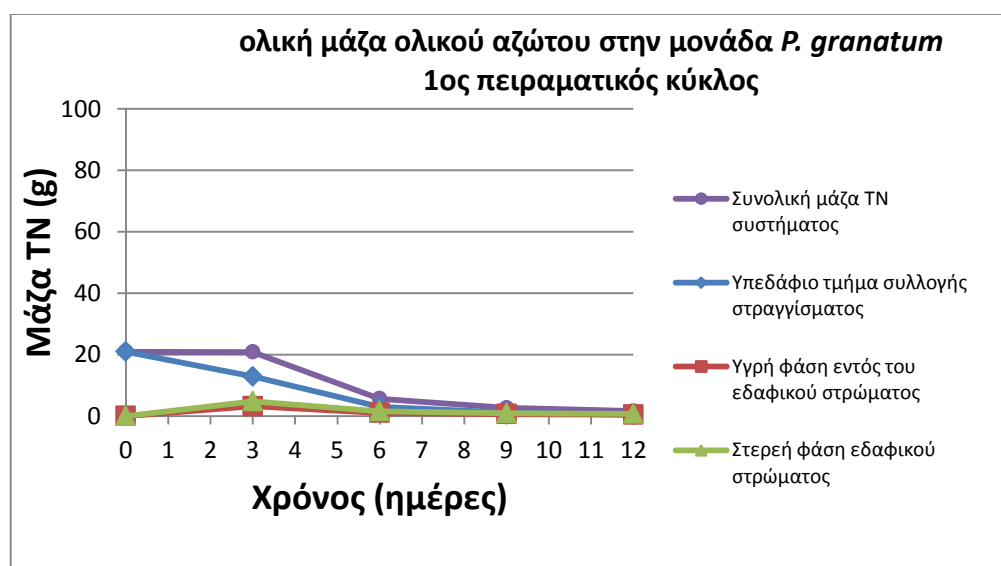
#### 4.2.3.1 Μονάδα *Punica granatum*



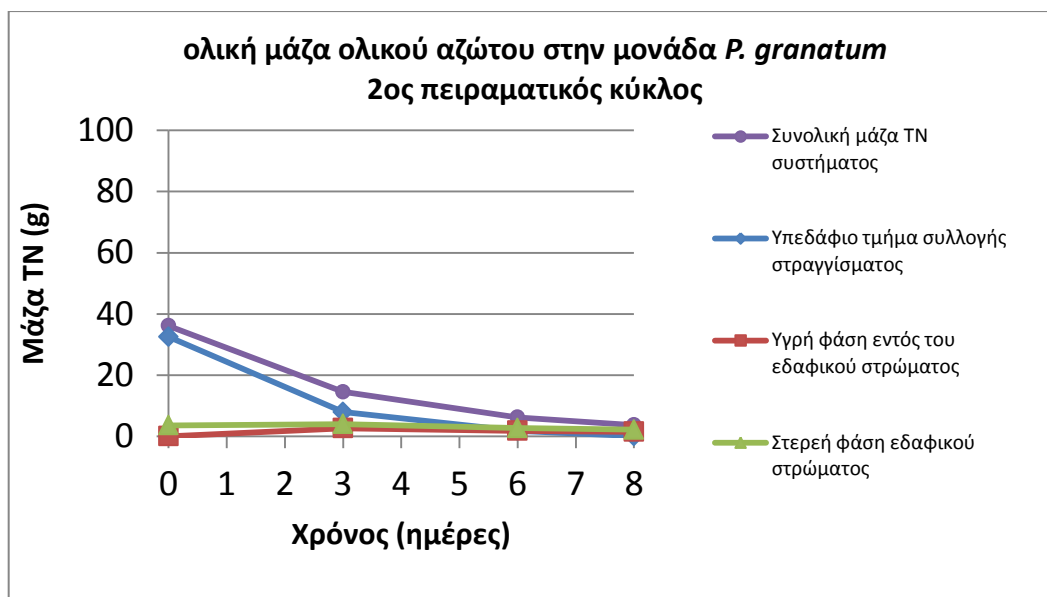
Διάγραμμα 17 Συγκέντρωση TN σε mg/g υγρού αποβλήτου για την μονάδα *Punica granatum*

Το ποσοστό μείωσης της αρχικής συγκέντρωσης TN του αποβλήτου για τον 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup> και 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο είναι 86%, 76% και 59% αντίστοιχα. Κατά τον κύκλο της εκπλύσης η αρχική συγκέντρωση 6,7 mg/L σταδιακά αυξάνεται έως 63,4 mg/L καθώς εκροφώνται οργανικές ουσίες από το χώμα στην υγρή φάση.

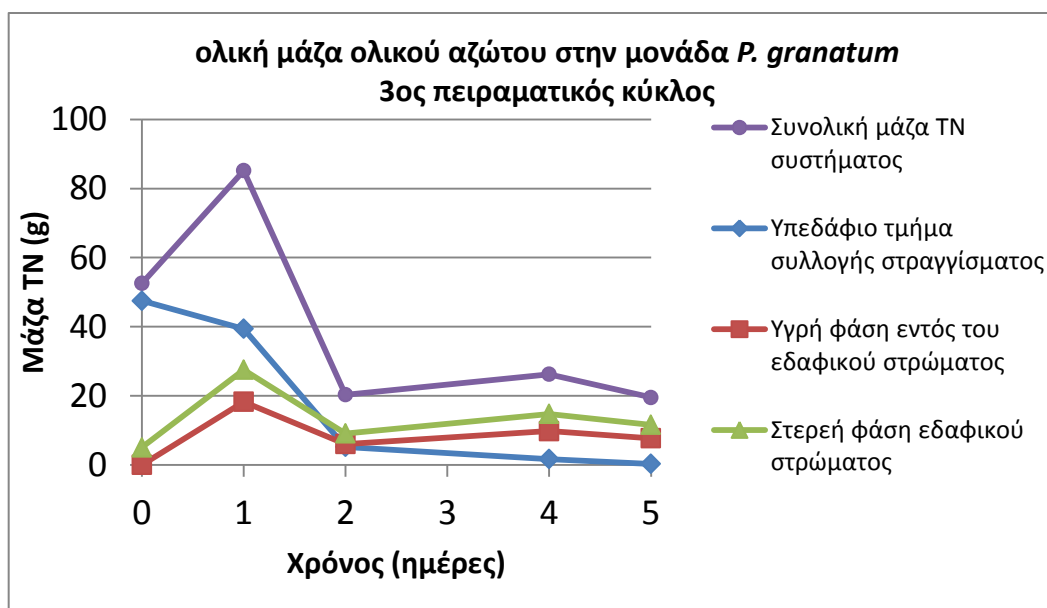
Για τους 2 πρώτους κύκλους με αρχικές μάζες 21g και 36g είχαμε απομάκρυνση >90% ενώ για τον 3<sup>ο</sup> κύκλο με μάζα 53g αρχική συγκέντρωση αζώτου 655 είχαμε μόνο 63%. Παρατηρείται ότι η ποσότητα οργανικής ύλης που απομένει στο τέλος του 3<sup>ου</sup> κύκλου στη μονάδα κατανέμεται σε 59,2% προσροφημένη στο χώμα, 39,5% στην υγρή φάση εντός του χώματος και σε 1,3 % στο υγρό απόβλητο που βρίσκεται στο τμήμα του χαλικιού.



Διάγραμμα 18 Ολική μάζα TN στην μονάδα *Punica granatum* για τον 1<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο



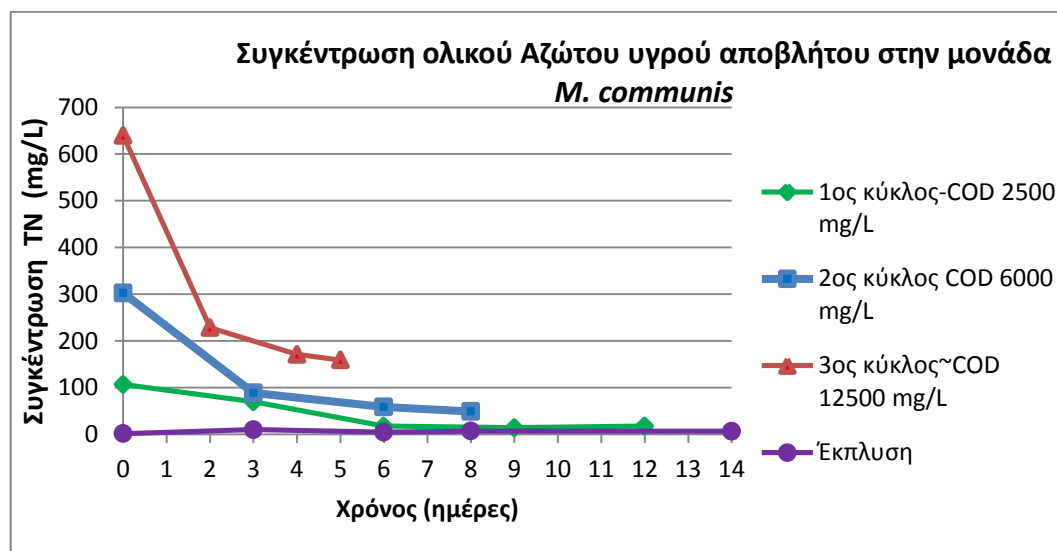
Διάγραμμα 19 Ολική μάζα TN στην μονάδα *Punica granatum* για τον 2<sup>ος</sup> πειραματικό κύκλο



Διάγραμμα 20 Ολική μάζα TN στην μονάδα *Punica granatum* για τον 3<sup>ος</sup> πειραματικό κύκλο

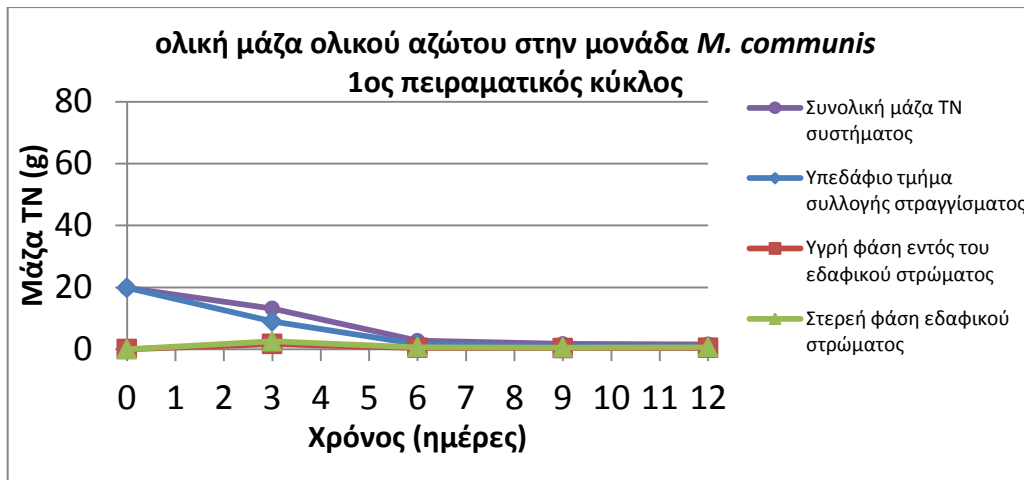
#### 4.1.3.2 Μονάδα *Myrtus communis*

Το ποσοστό μείωσης της συγκέντρωσης για τον 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup> και 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο είναι 83%, 84% και 75% αντίστοιχα, ενώ η αρχική συγκέντρωση σε mg/L ήταν 107, 302,5 και 640. Κατά τον κύκλο της εκπλύσης η αρχική συγκέντρωση 4,4 mg/L σταδιακά αυξάνεται έως 36,6 mg/L καθώς εκροφώνται οργανικές ουσίες από το χώμα στην υγρή φάση.

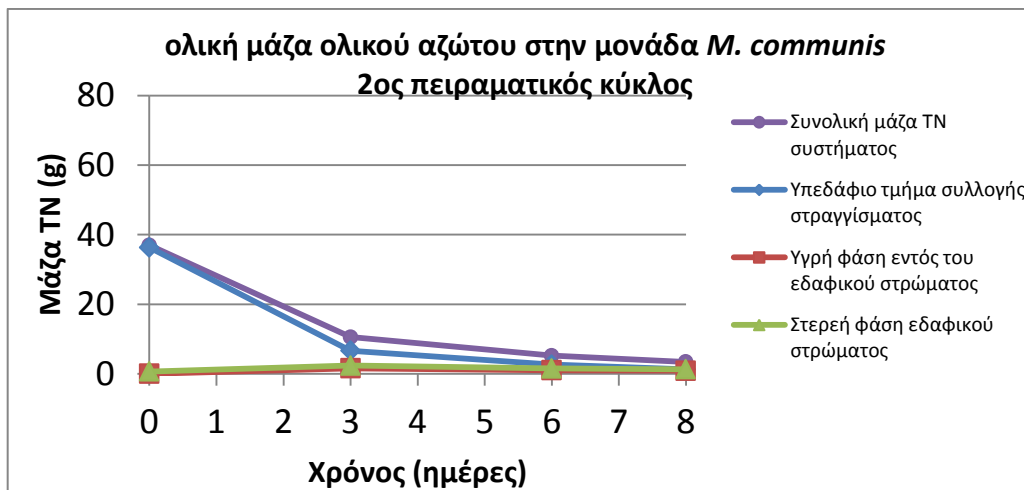


διάγραμμα 21 Συγκέντρωση TN σε mg/L υγρού αποβλήτου για την μονάδα *Myrtus communis*

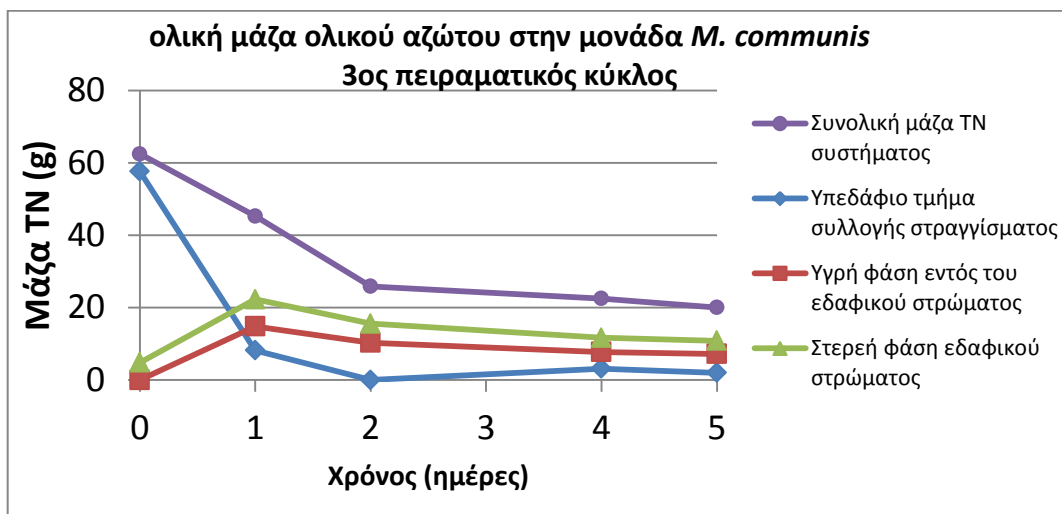
Κατά τον 1<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εισάγεται στην μονάδα απόβλητο συγκέντρωσης 107mg/L TN ενώ σε μονάδες μάζας το ολικό φορτίο ήταν 19,8 gr TN. Ήδη από την έκτη ημέρα έχουμε μια μείωση της τάξης του 86% στη συνολική μάζα TN του συστήματος ενώ η πτωτική τάση σχεδόν γραμμικά φτάνει στην τελευταία ημέρα το 92%. Κατά τον 2<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εισάγεται στην μονάδα απόβλητο συγκέντρωσης 302,5 mg/L TN ενώ σε μονάδες μάζας το ολικό φορτίο ήταν 37 gr TN. Ήδη από την τρίτη ημέρα έχουμε μια μείωση της τάξης του 71% ενώ η πτωτική τάση σχεδόν γραμμικά φτάνει στην τελευταία ημέρα το 90%. Κατά τον 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εισάγεται στην μονάδα απόβλητο συγκέντρωσης 640 mg/L TN ενώ σε μονάδες μάζας το ολικό φορτίο ήταν 62,4 grTN. Η απομάκρυνση φτάνει στην τελευταία ημέρα το 68%. Παραμένοντας σχεδόν σταθερή από την 2<sup>η</sup> ημέρα. Παρατηρείται ότι η ποσότητα οργανικής ύλης που απομένει στο τέλος του 3<sup>ου</sup> κύκλου στη μονάδα κατανέμεται σε 54% προσροφημένη στο χώμα, 36% στην υγρή φάση εντός του χώματος και σε 10 % στο υγρό απόβλητο που βρίσκεται στο τμήμα του χαλικιού.



διάγραμμα 22 Ολική μάζα TN στην μονάδα *Myrtus communis* για τον 1ο πειραματικό κύκλο



διάγραμμα 23 Ολική μάζα TN στην μονάδα *Myrtus communis* για τον 2ο πειραματικό κύκλο



διάγραμμα 24 Ολική μάζα TN στην μονάδα *Myrtus communis* για τον 3ο πειραματικό κύκλο

#### 4.1.3.3 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

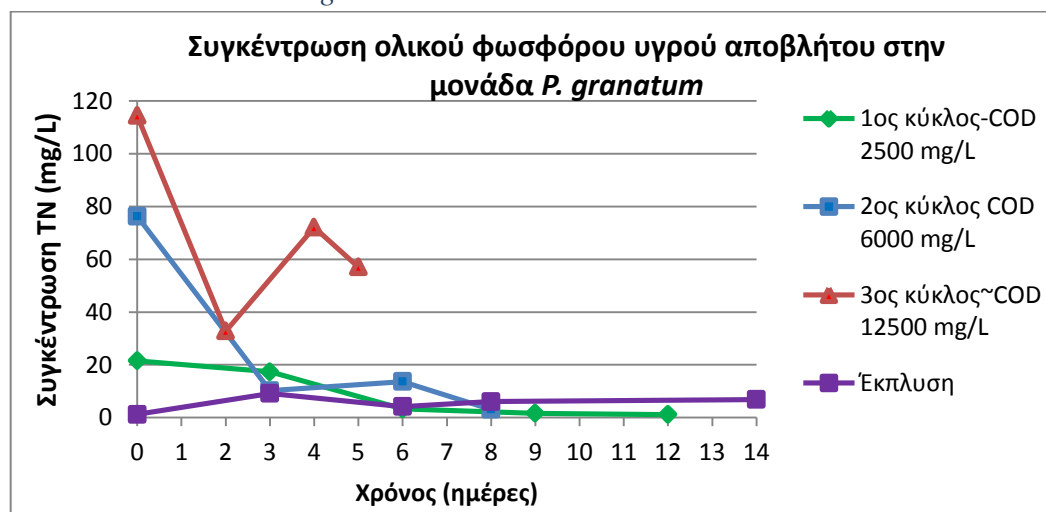
**Πίνακας 12 Ρυθμοί και ποσοστά απομάκρυνσης Ολικού αζώτου**

	1ος πειρ.κύκλος (12ημέρες)	2ος πειρ.κύκλος (8 ημέρες)	3ος πειρ.κύκλος (5ημέρες)
	Ποσοστό αποδόμισης στο τέλος του πειραματικού κύκλου%		
<i>P.granatum</i>	92	90	63
<i>M. communis</i>	92	90	68
	Συνολική μάζα TN(g) στο σύστημα στην αρχή και στο τέλος κάθε πειραματικού κύκλου		
<i>P.granatum</i>	21 → 1,6	37 → 3,7	53 → 19,5
<i>M. communis</i>	19,8 → 1,5	37 → 3,4	62,4 → 20
	Ρυθμός απομάκρυνσης (g/d/kg soil)		
<i>P.granatum</i>	0,018	0,073	0,083
<i>M. communis</i>	0,023	0,063	0,068

Κατά του 2 πρώτους πειραματικούς κύκλους το ποσοστό απομάκρυνσης για το ολικό Άζωτο ξεπερνά το 90% και για τα δύο υπο εξέταση φυτά, ενώ και πάλι ο 3<sup>ος</sup> κύκλος όπου η οργανική φόρτιση ήταν σχετικά υψηλή (COD>6000mg/L) η απομάκρυνση βρίσκεται κοντά στο 65% .

#### 4.1.4 Ολικός φώσφορος

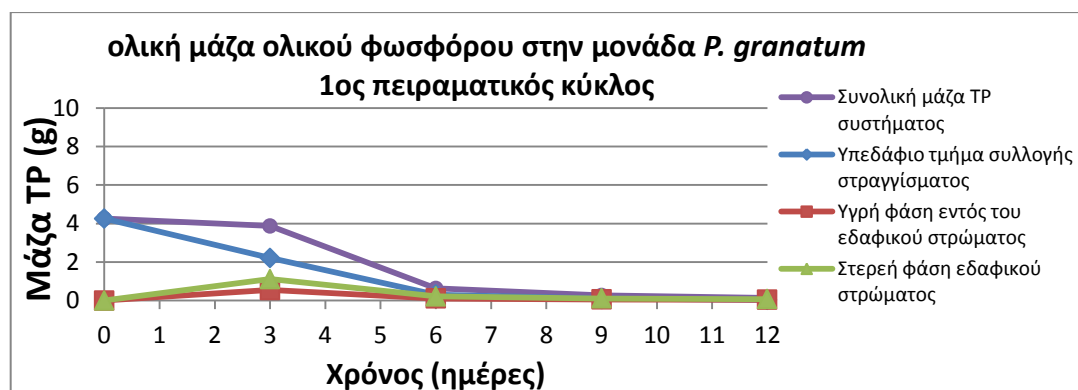
##### 4.1.4.1 Μονάδα *Punica granatum*



διάγραμμα 25 Συγκέντρωση TP σε mg/L υγρού αποβλήτου για την μονάδα *Punica granatum*

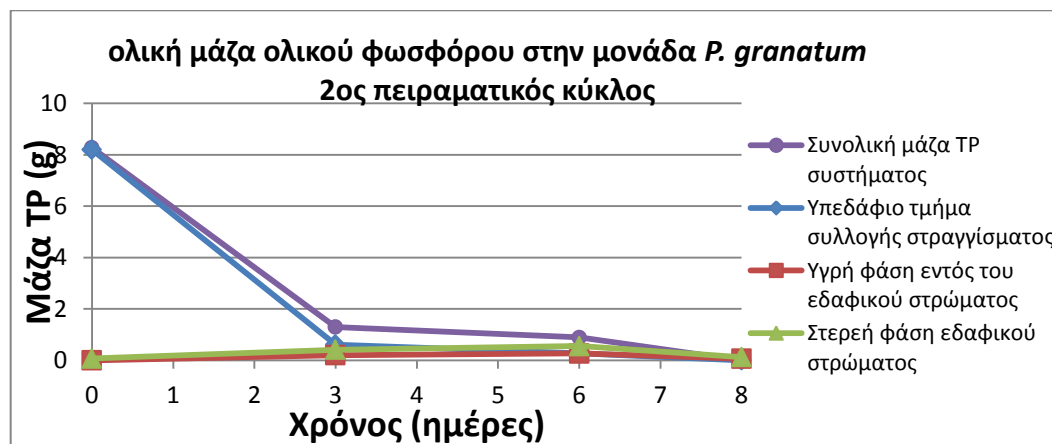
Το ποσοστό απομάκρυνσης για τον 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup> και 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο είναι 95%, 96% και 50% αντίστοιχα, ενώ η συγκέντρωση σε mg/L ήταν 21,6, 76,3 και 114,4. Κατά τον κύκλο της εκπλυσης η αρχική συγκέντρωση 1,2 mg/L σταδιακά αυξάνεται έως 6,9 mg/L καθώς εκροφώνται οργανικές ουσίες από το χώμα στην υγρή φάση.

Κατά τον 1<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εισάγεται στην μονάδα απόβλητο συγκέντρωσης 21,5mg/L TP ενώ σε μονάδες μάζας το ολικό φορτίο ήταν 4,2g TP. Το ποσοστό απομάκρυνσης φτάνει μόλις την 6<sup>η</sup> ημέρα στο 85% ενώ στην τελευταία ημέρα το 96% και η τελική μάζα του ολικού φωσφόρου είναι 0,1 gr.



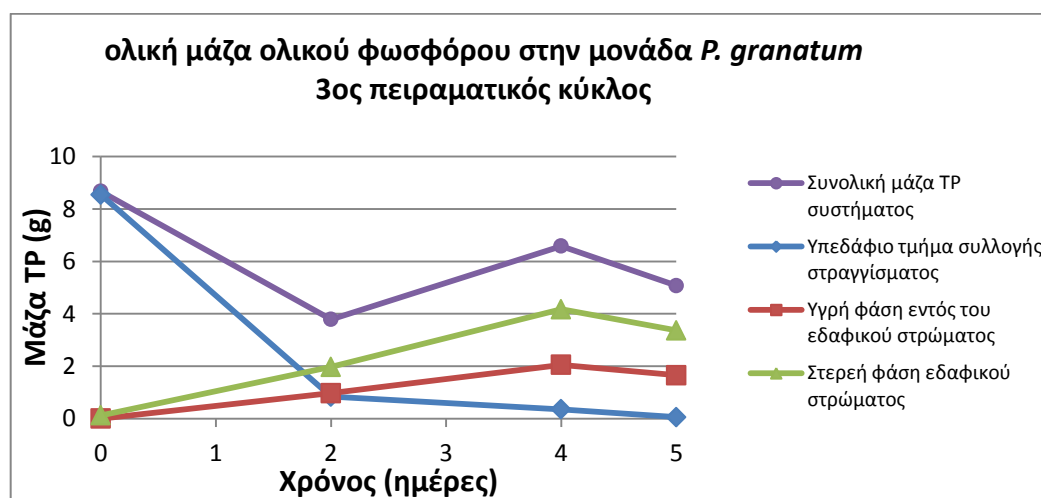
διάγραμμα 26 Ολική μάζα TP στην μονάδα *Punicagranatum* για τον 1ο πειραματικό κύκλο

Κατά τον 2<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εισάγεται στην μονάδα απόβλητο συγκέντρωσης 76,3 mg/L TP ενώ σε μονάδες μάζας το ολικό φορτίο ήταν 8,3 gr TP. Απο την Τρίτη κιόλας ημέρα παρατηρείται απομάκρυνση ίση με 84%. Το ποσοστό απομάκρυνσης φτάνει στην τελευταία ημέρα το 98% και η τελική μάζα του ολικού φωσφόρου είναι 01 gr.



διάγραμμα 27 Ολική μάζα TP στην μονάδα *Punica granatum* για τον 2ο πειραματικό κύκλο

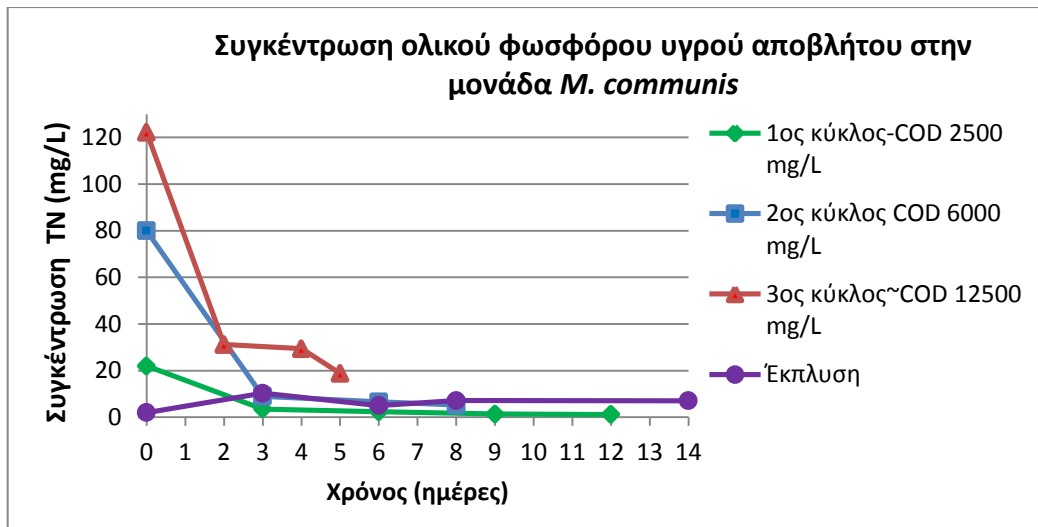
Κατά τον 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εισάγεται στην μονάδα απόβλητο συγκέντρωσης 117,9 mg/L TP ενώ σε μονάδες μάζας το ολικό φορτίο ήταν 8,7gr TP. Αρχικά παρατηρούνται διακυμάνσεις μέχρι και την 4<sup>η</sup> ημέρα λόγω προσέγγισης των υπολογισμών αλλά μετά ακολουθεί πτωτική πορεία και φτάνει το ποσοστό απομάκρυνσης την τελευταία ημέρα το 41% και η τελική μάζα του ολικού φωσφόρου είναι 5 gr. Σημειώνεται ότι η ποσότητα οργανικής ύλης που απομένει στο τέλος του 3<sup>ου</sup> κύκλου στη μονάδα κατανέμεται σε 66% προσροφημένη στο χώμα, 32,6 % στην υγρή φάση εντός του χώματος και σε 1,4 % στο υγρό απόβλητο που βρίσκεται στο τμήμα του χαλικιού.



διάγραμμα 28 Ολική μάζα TP στην μονάδα *Punica granatum* για τον 3ο πειραματικό κύκλο

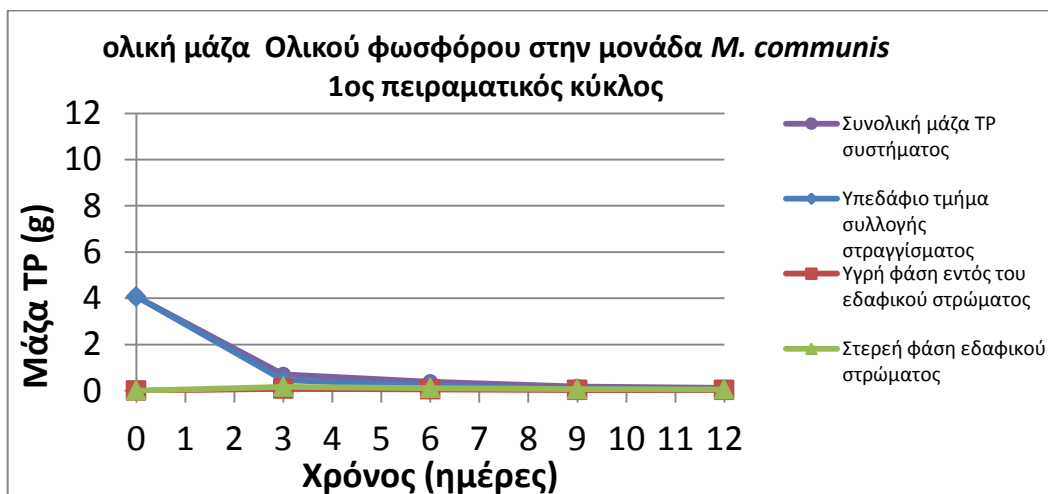
#### 4.1.4.2 Μονάδα *Myrtus communis*

Το ποσοστό μείωσης της συγκέντρωσης για τον 1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup> και 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο είναι 95%, 93% και 85% αντίστοιχα, ενώ η συγκέντρωση σε mg/L ήταν 22, 80 και 122,2. Κατά τον κύκλο της εκπλύσης η αρχική συγκέντρωση 1,9 mg/L σταδιακά αυξάνεται έως 7 mg/L.



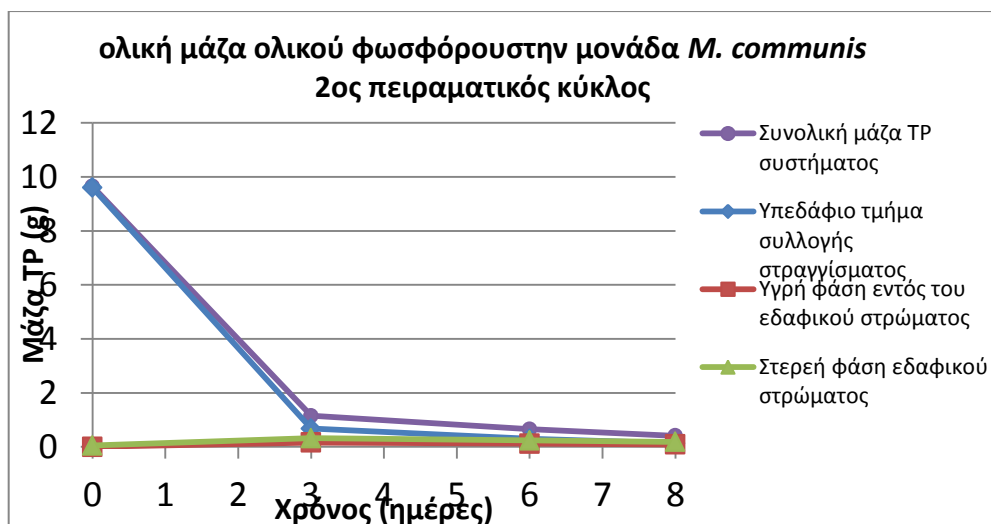
διάγραμμα 29 Συγκέντρωση TP σε mg/L υγρού αποβλήτου για την μονάδα *Myrtus communis*

Κατά τον 1<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εισάγεται στην μονάδα απόβλητο συγκέντρωσης 22 mg/L TP ενώ σε μονάδες μάζας το ολικό φορτίο ήταν 4 gr TP. Το ποσοστό απομάκρυνσης φτάνει την 3<sup>η</sup> ημέρα το 83%, ενώ στην τελευταία ημέρα το 97% και η τελική μάζα του ολικού φωσφόρου είναι 0,1 gr.



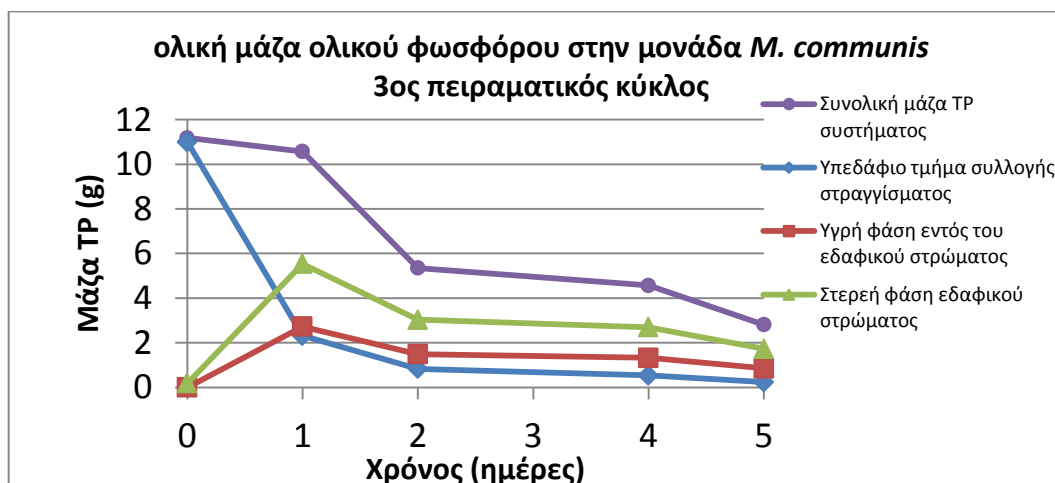
διάγραμμα 30 Ολική μάζα TP στην μονάδα *Myrtus communis* για τον 1ο πειραματικό κύκλο

Κατά τον 2<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εισάγεται στην μονάδα απόβλητο συγκέντρωσης 80 mg/L TP ενώ σε μονάδες μάζας το ολικό φορτίο ήταν 9,6gr TP. Το ποσοστό απομάκρυνσης φτάνει ήδη από την 3<sup>η</sup> ημέρα το 88% ενώ στην τελευταία ημέρα το 95% και η τελική μάζα του ολικού φωσφόρου είναι 0,4gr.



διάγραμμα 31 Ολική μάζα TP στην μονάδα *Myrtus communis* για τον 2ο πειραματικό κύκλο

Κατά τον 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εισάγεται στην μονάδα απόβλητο συγκέντρωσης 122,2mg/L TP ενώ σε μονάδες μάζας το ολικό φορτίο ήταν 11,2 gr TP. Το ποσοστό απομάκρυνσης φτάνει στην τελευταία ημέρα το 75% και η τελική μάζα του ολικού φωσφόρου είναι 2,8 gr. Σημειώνεται ότι η ποσότητα οργανικής ύλης που απομένει στο τέλος του 3<sup>ου</sup> κύκλου στη μονάδα κατανέμεται σε 61,4% προσροφημένη στο χώμα, 30,2 % στην υγρή φάση εντός του χώματος και σε 8,2 % στο υγρό απόβλητο που βρίσκεται στο τμήμα του χαλικιού.



διάγραμμα 32 Ολική μάζα TP στην μονάδα *Myrtus communis* για τον 3ο πειραματικό κύκλο

#### 4.1.4.3 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

**Πίνακας 13 Ρυθμοί και ποσοστά απομάκρυνσης Ολικού φωσφόρου**

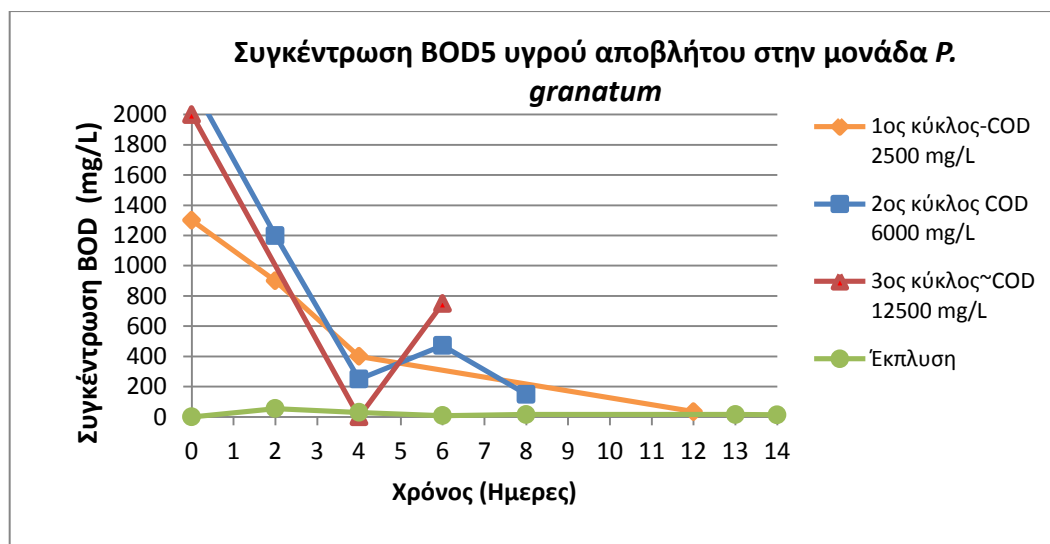
	1ος πειρ.κύκλος (12 ημέρες)	2ος πειρ.κύκλος (8 ημέρες)	3ος πειρ.κύκλος (5ημέρες)
	Ποσοστό απομάκρυνσης στο τέλος του πειραματικού κύκλου%		
<i>P.granatum</i>	96	98	41
<i>M. communis</i>	97	95	75
	Συνολική μάζα TP(g) στο σύστημα στην αρχή και στο τέλος κάθε πειραματικού κύκλου		
<i>P.granatum</i>	4,2→0,1	8,3→ 0,1	8,7→ 5
<i>M. communis</i>	4→0,1	9,6→0,4	11,2→ 2,8
	Ρυθμός απομάκρυνσης (g/d/kg soil)		
<i>P.granatum</i>	0,004	0,018	0,009
<i>M. communis</i>	0,005	0,024	0,013

Η απομάκρυνση του ολικού Φωσφόρου εκτιμάτε >95% σε χαμηλή έως μέτρια φόρτιση (COD<6000mg/L). Για υψηλή φόρτιση (COD=12500mg/L) εκτιμάται 41% για την μονάδα *P. granatum* και 75% για την μονάδα *M. communis*. Εδώ σε αντίθεση με την περίπτωση του αζώτου υπάρχει απόκλιση στην απομάκρυνση του φωσφόρου μεταξύ ροδιάς και Μυρτιάς ( για υψηλή φόρτιση )

## 4.2BOD<sub>5</sub>

### 4.2.1 Μονάδα *Punica granatum*

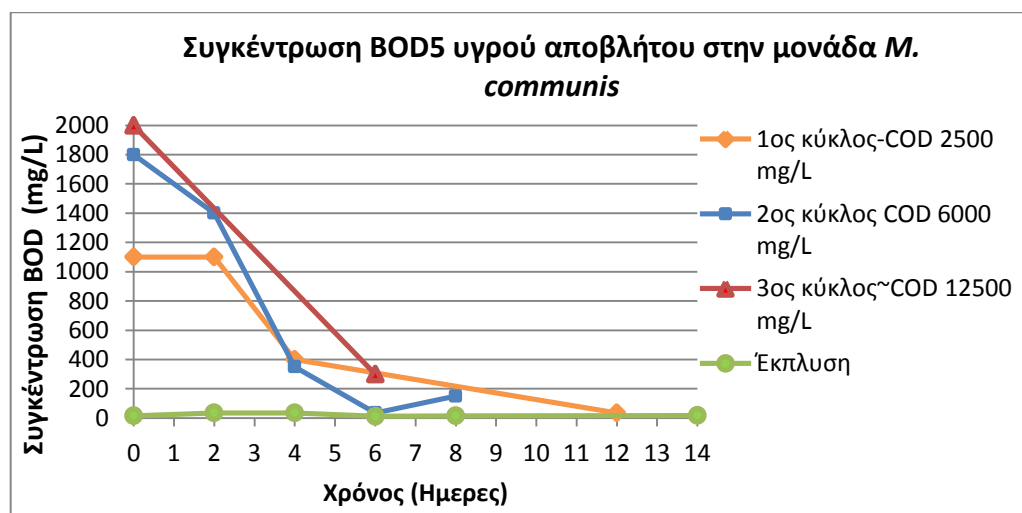
Κατά τον 1<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εκδηλώθηκε πτωτική τάση μεταβολής της συγκέντρωσης του BOD<sub>5</sub> από 1300 σε 35 mg/L, δηλαδή ποσοστό 97%, όμοια ήταν και η συμπεριφορά και το ποσοστό μείωσης της συγκέντρωσης του αποβλήτου στον 2<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο, όπου από 2200 mg/L έφτανε τα 160 mg/L. Το απόβλητο εξακολούθησε να ακολουθεί πτώση και κατά τον 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο φτάνοντας το 63%, ενώ οι ακραίες τιμές ήταν 2000mg/L και 750mg/L. Κατά τον κύκλο της εκπλυσης η αρχική συγκέντρωση 0mg/L σταδιακά αυξάνεται έως 14 mg/L καθώς εκροφώνται οργανικές ουσίες απο το χώμα στην υγρή φάση.



διάγραμμα 33 Συγκέντρωση BOD<sub>5</sub> σε mg/L υγρού αποβλήτου για την μονάδα *Punica granatum*

#### 4.2.2 Μονάδα *Myrtus communis*

Κατά τον 1<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο εκδηλώθηκε πτωτική τάση μεταβολής της συγκέντρωσης του BOD<sub>5</sub> από 1100 σε 35 mg/L, δηλαδή ποσοστό 97%, όμοια ήταν και η συμπεριφορά του αποβλήτου στον 2<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο, όπου από 180 mg/L έφτανε τα 112 mg/L, ενώ το ποσοστό μείωσης της συγκέντρωσης ήταν 94%. Το απόβλητο εξακολούθησε να ακολουθεί πτώση και κατά τον 3<sup>ο</sup> πειραματικό κύκλο φτάνοντας το 85%, ενώ οι ακραίες τιμές ήταν 2000 mg/L και 300 mg/L. Κατά τον κύκλο της εκπλύσης η αρχική συγκέντρωση 15 mg/L σταδιακά αυξάνεται έως 17 mg/L καθώς εκροφώνται οργανικές ουσίες από το χώμα στην υγρή φάση.



διάγραμμα 34 Συγκέντρωση BOD<sub>5</sub> σε mg/L υγρού αποβλήτου για την μονάδα *Myrtus communis*

Κατά την μείωση της συγκέντρωσης του BOD<sub>5</sub> παρατηρούνται για χαμηλής έως μέτριας δυναμικότητας απόβλητο(COD<6000mg/L) πολύ καλές αποδόσεις μεγαλύτερες του 92%.Για υψηλότερης φόρτισης απόβλητο (COD=12500mg/L) στην μονάδα της *P.granatum* η μείωση βρίσκεται στο 63%, ενώ στην μονάδα της *M.communis* η μείωση αγγίζει το 85%.

#### 4.2.3 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

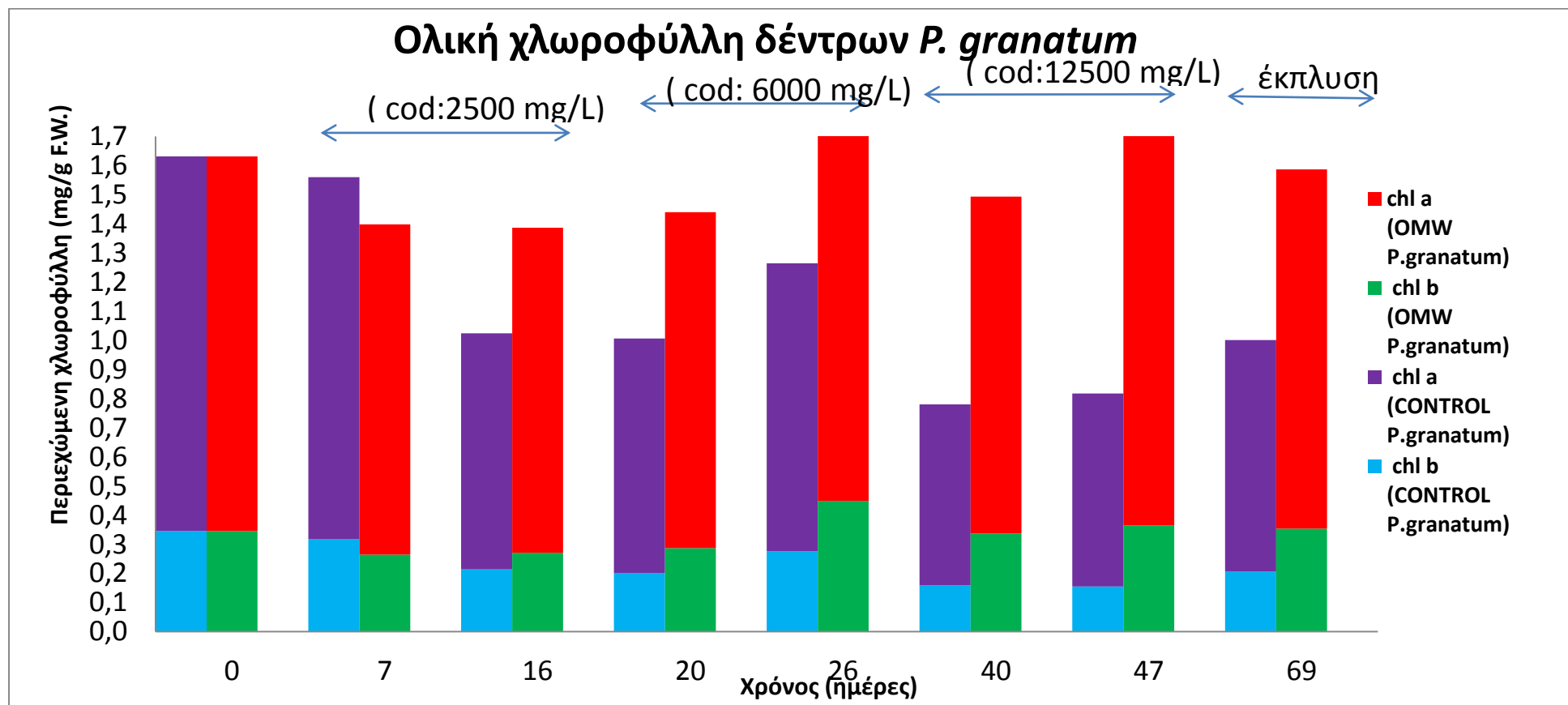
**Πίνακας 14 Ρυθμοί και ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης Βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου**

	1ος πειρ.κύκλος (12 ημέρες)	2ος πειρ.κύκλος (8 ημέρες)	3ος πειρ.κύκλος (5ημέρες)
	Ποσοστό μείωσης της συγκέντρωσης στο τέλος του πειραματικού κύκλου%		
<i>P.granatum</i>	97	93	63
<i>M. communis</i>	97	92	85
	Συνολική συγκέντρωση BOD <sub>5</sub> (mg/L) στο σύστημα στην αρχή και στο τέλος κάθε πειραματικού κύκλου		
<i>P.granatum</i>	1300→ 35	2200→150	2000→750
<i>M. communis</i>	1100 → 35	1800→150	2000→300

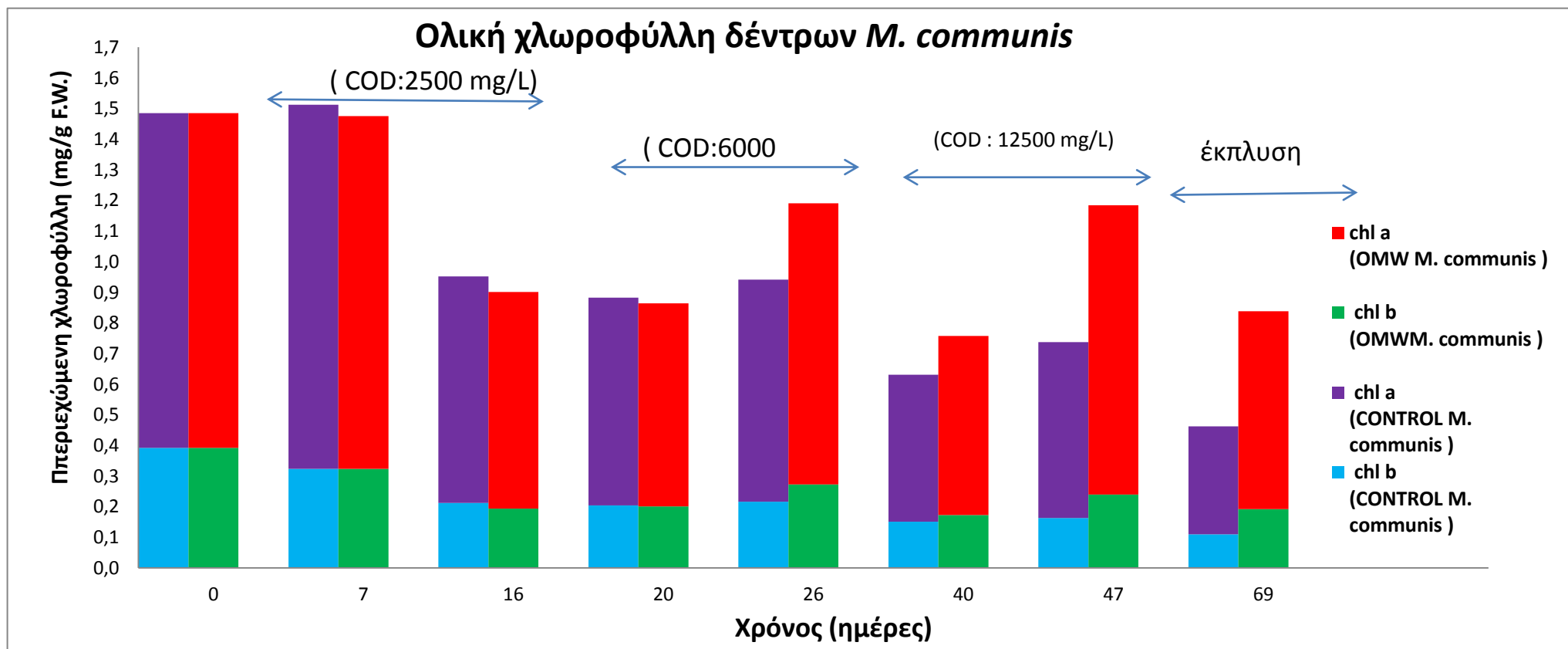
### 4.3 Ολική χλωροφύλλη

Κατά τη διάρκεια των 3<sup>ων</sup> πειραματικών κύκλων, περίπου κάθε 7 ημέρες , προσδιοριζόταν η ολική χλωροφύλλη στα φύλλα των δέντρων τόσο για την μονάδα φυτοεξυγίανσης της *Punicgranatum* όσο και για την μονάδα φυτοεξυγίανσης της *Myrtuscommunis*. Επίσης προσδιορίζονταν κατά τις ίδιες ημέρες και η ολική χλωροφύλλη στα φύλλα των αντιστοίχων δέντρων μάρτυρες προς σύγκριση. Μετά το πέρας των πειραματικών κύκλων πραγματοποιήθηκε έκπλυση, όπου προσδιορίστηκε και πάλι η περιεχόμενη χλωροφύλλη στο τέλος της.

Πριν την έναρξη των πειραμάτων (ημέρα 0) χαρακτηρίστηκε η αρχική δυνατότητα παραγωγής ολικής χλωροφύλης στα φύλλα των υπο εξέταση φυτών. Παρακάτω δίνονται τα διαγράμματα ολικής χλωροφύλης για τη συνολική πειραματική περίοδο.



διάγραμμα 35 Ολική χλωροφύλλη για την μονάδα φυτοεξυγίανσης *Punica granatum* για κάθε πειραματικό κύκλο



διάγραμμα 36 Ολική χλωροφύλλη μονάδας φυτοεξγίανσης *Myrtus communis* για κάθε πειραματικό κύκλο

Στα διαγράμματα 35 και 36 η ολική χλωροφύλλη περιλαμβάνει την χλωροφύλλη a και b, ως OMW χαρακτηρίζονται τα φυτά που ποτίζονταν με ΥΑΕ, ενώ ως control χαρακτηρίζονται τα φυτά μάρτυρες. Οι μετρήσεις γίνονταν τακτικά στην αρχή και στο τέλος κάθε πειραματικού κύκλου (3 πειραματικοί κύκλοι και έκπλυση).

Συγκεκριμένα για την συγκέντρωση της χλωροφύλλης στην μονάδα *P. granatum* με τον χρόνο (διάγραμμα 35), παρατηρείται,

Πέραν της πρώτης εβδομάδας εφαρμογής του αποβλήτου όπου υπήρξε μια μικρή πτώση στα φυτά OMW σε κάθε άλλη χρονική στιγμή της πειραματικής περιόδου φαίνεται η περιεχόμενη χλωροφύλλη των φυτών στη μονάδα φυτοαποκατάστασης να είναι αυξημένη σε σχέση με την περιεχόμενη χλωροφύλλη στη μονάδα μάρτυρα έως και 110%. Ιδιαίτερα κατά τον τρίτο κύκλο με μέτριας φόρτισης ΥΑΕ παρατηρούνται τα μεγαλύτερα ποσοστά αύξησης.

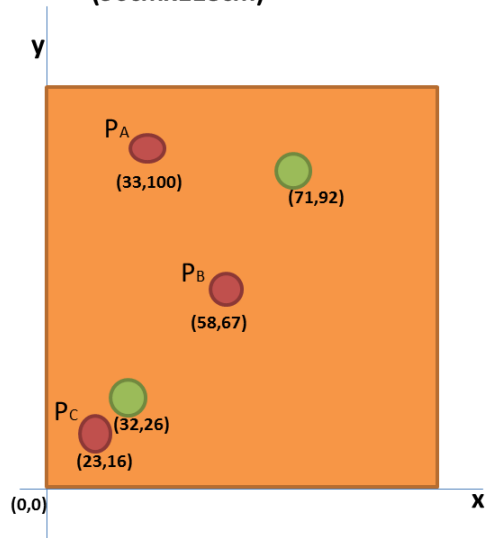
Όσον αφορά την συγκέντρωση της χλωροφύλλης στην μονάδας *Myrtus communis* με τον χρόνο (διάγραμμα 36), παρατηρείται,

Για 20 μέρες έχουμε παρόμοια επίπεδα χλωροφύλλης στα φυτά OMW και μάρτυρα. Απο το τέλος του 2<sup>ου</sup> έως τέλος του 3<sup>ου</sup> πειραματικού κύκλου έχουμε αύξηση στο επίπεδο χλωροφύλλης του φυτού OMW σε σχέση με αυτό του φυτού μάρτυρα έως και 53%. Στην έκπλυση συνεχίζει το επίπεδο χλωροφύλλης του OMW να είναι αυξημένο κατά τόσο σε σχέση με το μάρτυρα.

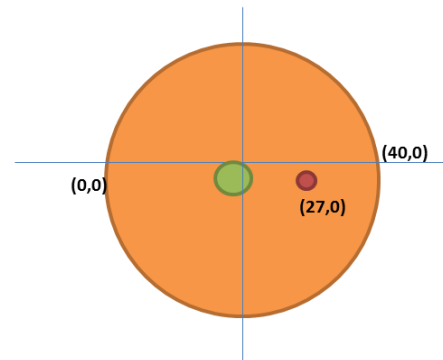
#### 4.4 Αποτελέσματα αναλύσεων εδάφους

Παρακάτω δίνονται οι θέσεις δειγματοληψίας εδάφους σε καρτεσιανό σύστημα αξόνων. Επιλέχθηκαν 3 θέσεις για κάθε μονάδα φυτοεξυγίανσης, μία κοντά στον κορμό του φυτού, μια ενδιάμεσα στους δύο κορμούς και μια μακριά από τον κορμό του φυτού, επίσης ένα σημείο από την μονάδα μάρτυρα.

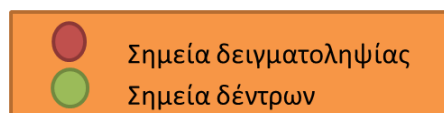
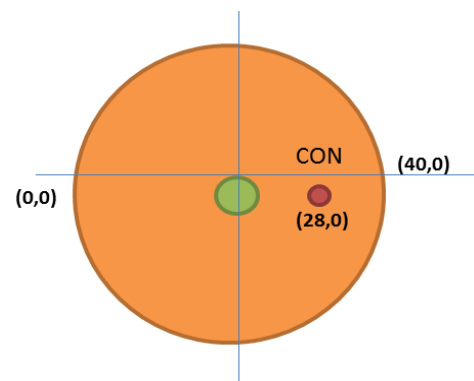
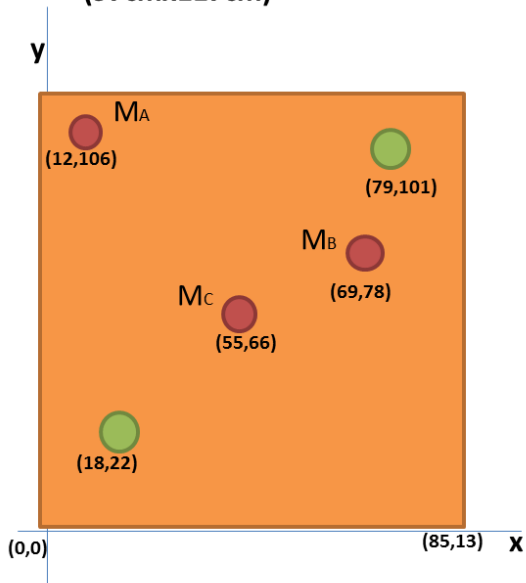
**Μονάδα φυτοαποκατάστασης  
*Punica granatum*  
(96cmx118cm)**



**Μονάδα μάρτυρας  
*Punica granatum***

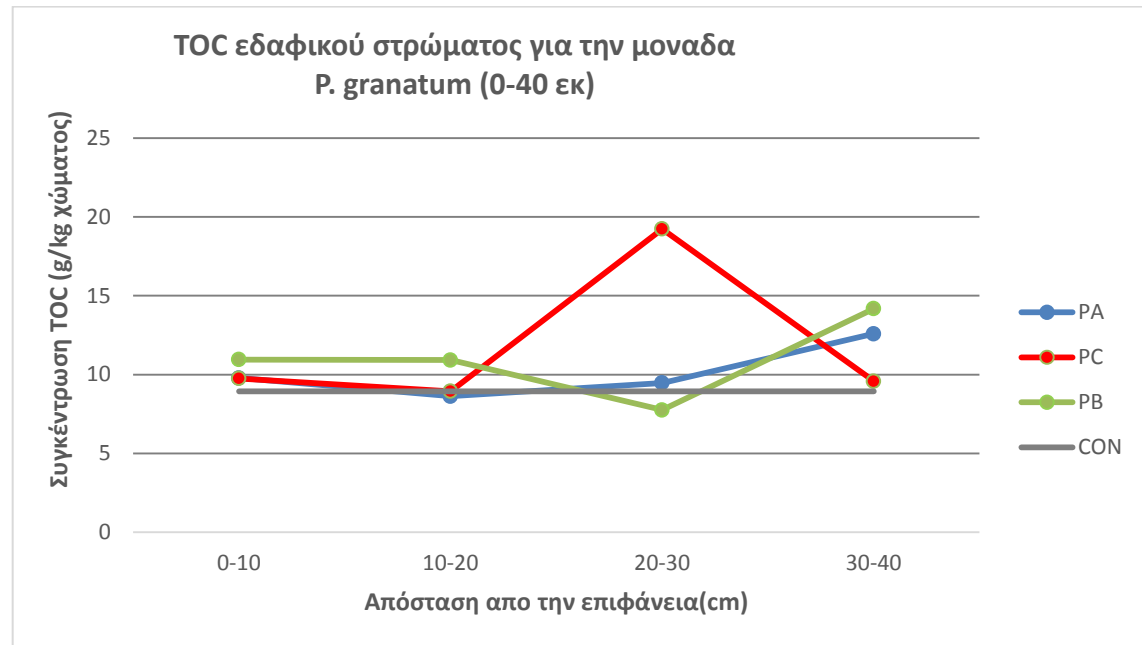


**Μονάδα φυτοαποκατάστασης  
*Myrtus communis*  
(97cmx117cm)**

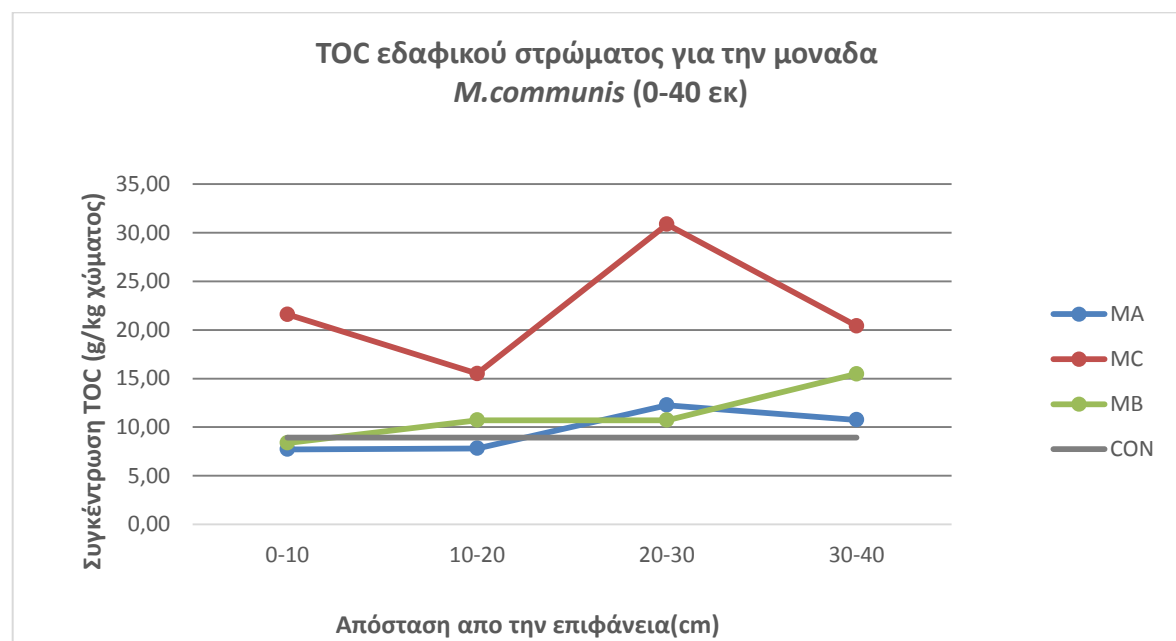


Εικόνα 26 Κάτοψη πειραματικών μονάδων φυτοαποκατάστασης και μονάδων μάρτυρες

#### 4.4.1. Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)

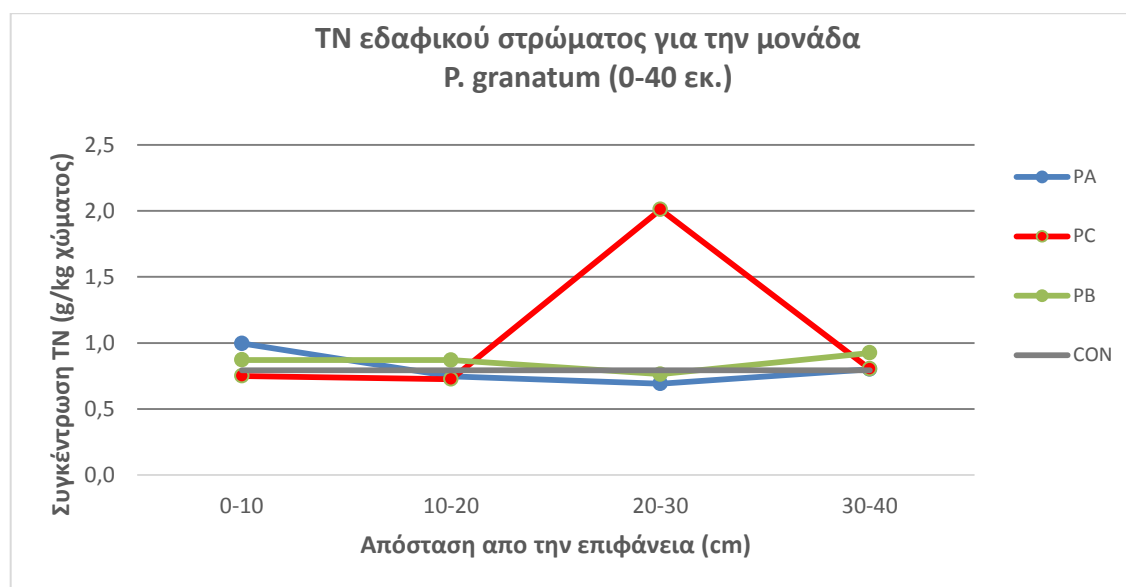


διάγραμμα 37 ΤΟC εδαφικού στρώματος για την μοναδα *Punica granatum* ως προς το βάθος

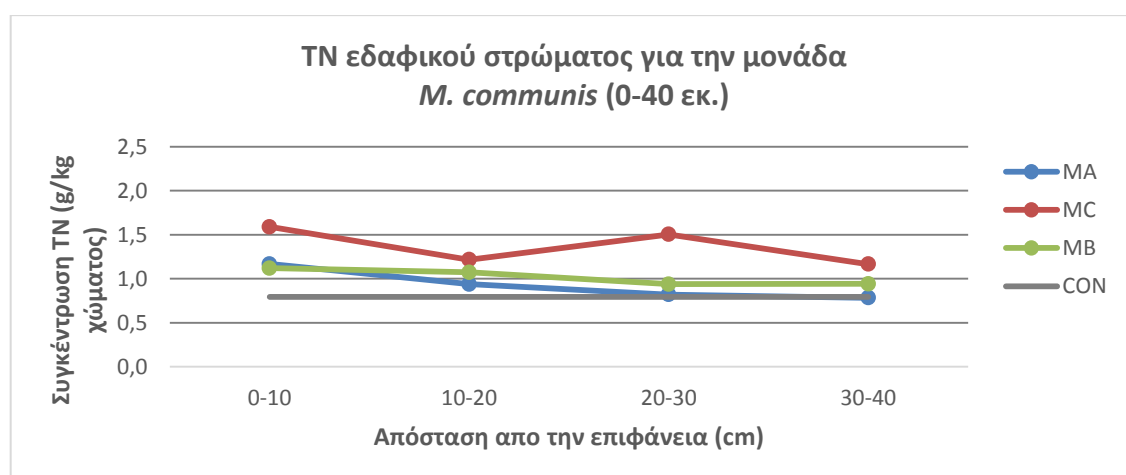


διάγραμμα 38 ΤΟC εδαφικού στρώματος για την μονάδα *Myrtus communis* ως προς το βάθος

#### 4.4.2 Ολικό άζωτο (TN)



διάγραμμα 39 TN εδαφικού στρώματος για την μονάδα *Punica granatum* ως προς το βάθος



διάγραμμα 40 TN εδαφικού στρώματος για την μονάδα *Myrtus communis* ως προς το βάθος

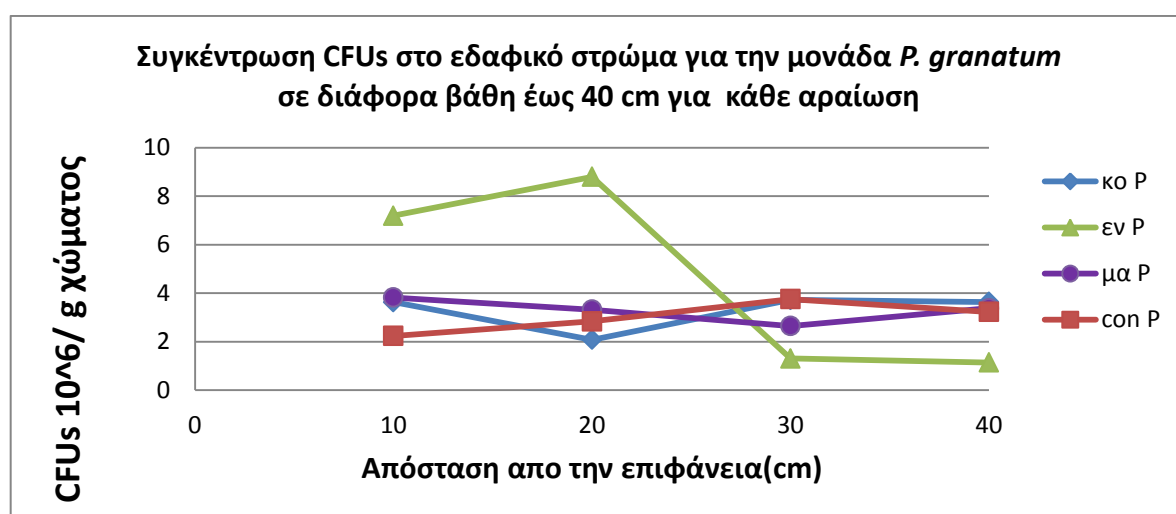
Γενικά δεν εμφανίζεται κάποια τάση στα διαγράμματα TOC των δύο μονάδων, το οποίο εν μέρει οφείλεται και στις περιορισμένες θέσεις τροφοδοσίας του αποβλήτου στο έδαφος. Επομένως έχουμε έλλειψη ομοιομορφίας στη συγκέντρωση TOC στο έδαφος.

Στο διάγραμμα του TOC για την μονάδα *M. communis* παρατηρείται ότι σε κάθε βάθος τα δείγματα  $M_C$  είχαν υψηλότερη περιεκτικότητα άνθρακα σε σχέση με τα δύο άλλα σημεία δειγματοληψίας ( $M_A, M_B$ ) της μονάδας. Στο διάγραμμα TN στην μονάδα *M. communis* παρατηρείται τάση πτώσης για τα δείγματα  $M_A$  και  $M_B$ . Ενώ σημειώνεται όμοια διακύμανση για τα δείγματα  $M_C$  σε σχέση με το TOC της αντίστοιχης μονάδας.

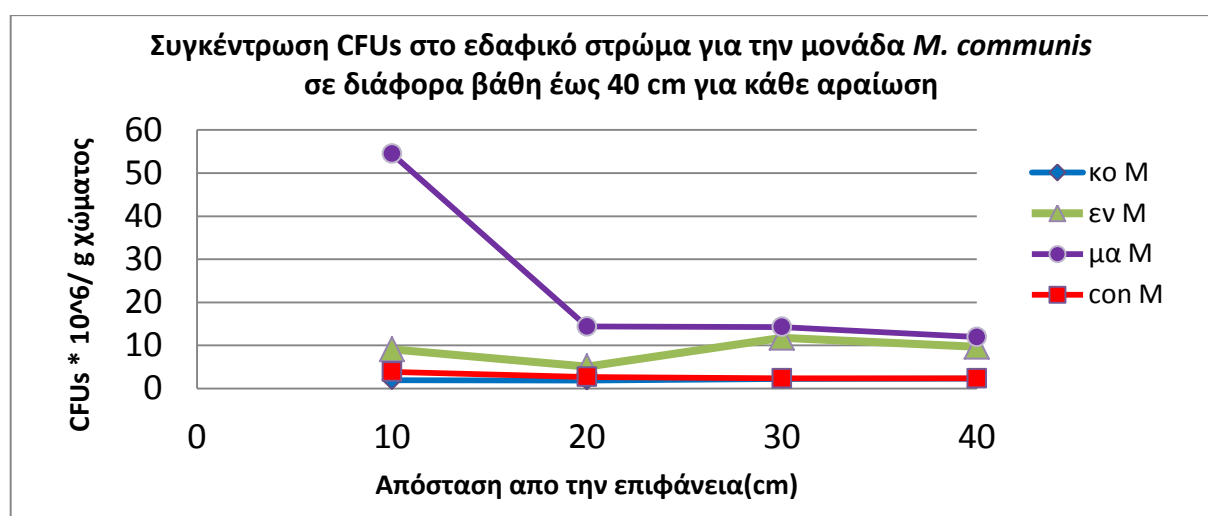
Οι τιμές TOC για τα δείγματα μακριά και ενδιάμεσα στα δέντρα δεν παρουσιάζουν αξιόλογη διαφορά από το δείγμα της γλάστρας μάρτυρα έως το βάθος 30cm. Σε βάθος 30-40 εκ. εμφανίζεται αύξηση στον οργανικό άνθρακα ο οποίος πιθανότατα οφείλεται σε διάχυση του ρύπου κατά βάθος. Η μεγάλη αύξηση στην περίπτωση βάθους 20-30 cm στα δείγματα κοντά στο κορμό οφείλεται πιθανότατα στο οργανικό υπόστρωμα στο οποίο ήταν ανεπτυγμένη η ρίζα όταν φυτεύτηκε το φυτό.

#### 4.4.3 Μέτρηση βακτηριακής βιομάζας

Το τυπικό εύρος τιμών βακτηριακής βιομάζας είναι  $4-2000 \times 10^6$  g<sup>-1</sup> dry soil για τα περισσότερα δείγματα εδάφους (W.B. Whitman 1998).



διάγραμμα 41 Συγκέντρωση CFUs στο εδαφικό στρώμα για την μονάδα *Punica granatum* σε διάφορα βάθη



διάγραμμα 42 Συγκέντρωση CFUs στο εδαφικό στρώμα για την μονάδα *Myrtus communis* σε διάφορα βάθη

#### 4.5 Αποτελέσματα μετρήσεων υγρασίας, TDS, EC, SAL, pH, DO

**Πίνακας 15** Εύρος αποτελεσμάτων TDS, EC, SAL, pH, DO για την μονάδα φυτοαποκατάστασης της *Punica granatum*

	Υγρασία (%)			TDS (mg/L)	EC (mS/cm)	SAL (‰)	DO(mg/L)
	30cm	40cm	60cm				
<b>1<sup>ος</sup></b>	10,1-3,1	13,4-10,5	26,80-19,50	1,601-1,104	3,12-2,183	1,62-1,11	6,84-2,5
<b>2<sup>ος</sup></b>	8,30-4,30	14,0-10,7	43,6-25,6	4,39-2,66	8,15-5,06	4,52-2,71	4-1,24
<b>3<sup>ος</sup></b>	8,7-6,2	12,8-10,9	45,6-29,6	8,76-4,32	15,57-8,03	9,07-4,44	3,06-0,63

**Πίνακας 16** εύρος αποτελεσμάτων TDS, EC, SAL, pH, DO για την μονάδα φυτοαποκατάστασης της *Myrtus communis*

	Υγρασία (%)			TDS(mg/L)	EC (mS/cm)	SAL (‰)	DO (mg/L)
	30cm	40cm	60cm				
<b>1<sup>ος</sup></b>	3,7-0,3	13,4-11,9	33,2-28,4	1,53-0,99	2,99-1,98	1,55-1,01	6,2-2
<b>2<sup>ος</sup></b>	2,2-0,1	23,3-11,5	42,1-29,9	4,4-2,52	8,17-4,81	4,52-2,56	4,36-1,28
<b>3<sup>ος</sup></b>	Εκτός ορίου	11,8-9,1	43,2-26,9	8,46-5,28	15,09-9,69	8,77-5,44	3,7-0,4

- Το pH κυμάνθηκε μεταξύ 7,5 και 8
- Η ειδική αγωγιμότητα, η αλατότητα και τα ολικά διαλυμένα στερεά ακολουθούσαν φθίνουσα πορεία ενώ το διαλυμένο οξυγόνο αύξουσα.
- Η υγρασία του συστήματος δίνεται από αισθητήρες που βρίσκονται στα βάθη 30, 40, και 60 cm, στους παραπάνω πίνακες φαίνονται οι ακραίες τιμές του κάθε πειραματικού κύκλου σε κάθε βάθος και εμφανίζουν αυξητική τάση.

## Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 5: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 5.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η εφαρμογή ΥΑΕ χαμηλής έως μέτριας οργανικής φόρτισης(COD έως 12500mg/L) σε φυτά, μέσω της διεργασίας της φυτοαποδόμησης ώστε να επιτευχθεί μείωση της τοξικότητας τους.

Κατασκευάστηκαν 2 μονάδες φυτοεξυγίανσης με τα φυτά *P.granatum* και *M.communis* στις οποίες το ΥΑΕ βρισκόταν υπο συνεχή επανακυκλοφορίας έως την πλήρη κατανάλωση του.

Οι βασικές παράμετροι που προσδιορίστηκαν στο υγρό απόβλητο ήταν το Χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο(COD), οι Φαινόλες (TPh), το ολικό Άζωτο (TN), το ολικό Φώσφορο (TP), το Βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (BOD<sub>5</sub>).Επίσης προσδιορίστηκε η περιεχόμενη ολική Χλωροφύλλη στα φύλλα των φυτών.

Τα φυτά δεν παρουσίασαν σημάδια καταπόνησης, όπως κιτρίνισμα των φύλλων, φυλλόπτωση ή μείωση ανάπτυξης, αντιθέτως από τις αναλύσεις χλωροφύλλης αλλά και από την οπτική παρατήρηση φάνηκε ότι σε σχετικά μικρή ή μεσαία συγκέντρωση αποβλήτου (COD<125000 mg/L) τα ΥΑΕ επιδρούσαν ως βελτιωτικό εδάφους και όχι ως φυτοτοξικός ρύπος.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα έχουμε και στις δύο μονάδες για χαμηλό έως μέτριο COD(<6000 mg/L).

μείωση πάνω από 85% στο συνολικό οργανικό φορτίο σε διάστημα μικρότερο των δυο εβδομάδων, κατά το οποίο καταναλώνονται περισσότερα από 100L σε κάθε μονάδα. Όπως για το οργανικό φορτίο, έτσι και για τις ολικές φαινόλες παρατηρούνται μεγάλα ποσοστά αποδόμησης τα οποία ξεπερνούν το 95%. Το ποσοστό αποδόμησης για το ολικό Άζωτο ξεπερνά το 90% ενώ η αποδόμηση του ολικού φωσφόρου εκτιμάται >95%. Κατά την μείωση της συγκέντρωσης του BOD<sub>5</sub> παρατηρούνται επίσης αποδόσεις μεγαλύτερες του 92%.

Για την εφαρμογή του αποβλήτου υψηλότερης συγκέντρωσης (12500 mg/L) παρατηρείται ότι σε όγκος περίπου 80 λίτρων ΥΑΕ που καταναλώνεται σε 5 ημέρες εμφανίζεται αποδόμηση 55% στο οργανικό φορτίο. Για την περίπτωση των ολικών φαινολών υπάρχει συνολική αποδόμηση 58% για τη *P. granatum* και 74% για τη *M. communis*. Η απομάκρυνση για το ολικό Άζωτο είναι περίπου 65% και για τις δύο μονάδες. Εκτιμάται μείωση του περιεχομένου ολικού φωσφόρου, 41% για την μονάδα *P. granatum* και 75% για την μονάδα *M. communis*. Εδώ σε αντίθεση με την περίπτωση του αζώτου υπάρχει απόκλιση στην απομάκρυνση του φωσφόρου μεταξύ των μονάδων *P.granatum* και *M.comunis*. Όσον αφορά την μείωση της συγκέντρωσης του BOD<sub>5</sub> στην μονάδα της *P.granatum* βρίσκεται στο 63%, ενώ στην μονάδα της *M.communis* αγγίζει το 85%.

## 5.2 Προτάσεις

Θα μπορούσε να δημιουργηθεί ένας χώρος αρκετών στρεμάτων με κλίση 50%, ένας λόφος απλούστερα. Στην κορυφή θα βρίσκεται μια εξατμισοδεξαμενή, ικανή να χωρέσει μεγάλους όγκους ΥΑΕ. Θα διακριθεί ο λόφος σε ισοϋψείς ζώνες των 5m, όπου κάθε ζώνη τέμνει οριζόντια την κάθετο της προηγούμενης ζώνης με ένα αδιαπέρατο στρώμα ( ίσως τσιμέντο) και σε κάθε ζώνη να φυτεύονται αρκετές ροδιές ή Μυρτιές. Έτσι βαρυτικά, αφού διοχετεύει υγρό απόβλητο στην κορυφαία ζώνη, το στράγγισμα του θα οδηγηθεί στην παρακάτω ζώνη έως την τελική ζώνη όπου το στράγγισμα θα είναι απαλλαγμένο από κάθε μορφής τοξικότητα κι έτσι θα μπορεί να αφεθεί στο περιβάλλον ή να ποτίσει καλλιεργήσιμες εκτάσεις .

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ξένη βιβλιογραφία

- Aharonov - Nadborny R., Raviv M., Graber E.R., (2016). Soil spreading of liquid olive mill processing wastes impacts leaching of adsorbed terbuthylazine. *Chemosphere*, 156, 220-227.
- Argeiti, G., Ehaliotis, C., Katsaris, P., Zervakis, G. and K. Papadopoulou (2001) Effect of olive mill wastes on soil-borne phytopathogenic fungi. *Phytopathologia Mediterranea* 40: 201 (abstract).
- Azbar N., Bayram A., Filibeli A., Muezzinoglu A., Sengul F., Ozer A., (2010). A review of waste management options in olive oil production. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 34, 209-247.
- Barbera A.C., Maucieri C., Cavallaro V., Ioppolo A., Spagna G., (2013). Effects of spreading olive mill wastewater on soil properties and crops, a review. *Agricultural Water Management*, 119, 43-53.
- Bonari, E., Macchia, M., Angelini, L.G. and L. Ceccerini (1993). The waste waters from olive oil extraction: their influence on the germinative characteristics of some cultivated and weed species. - *Agricoltura Mediterranea* 123: 273-280.
- Briante, R., Febbraio, F. and R. Nucci (2003). Antioxidant Properties of Low Molecular Weight.
- Cabrera, F, Lopez, R., Martinez-Bortiu, A, Dupuy de Lomeb, E, and J.M. Murillo(1996). Land Treatment of Olive Oil Mill Wastewater. *International Biodeterioration et Biodegradation* (1996) 215-225
- Capasso, R, Cristinzio, G., Evidente, A. and F. Scognamiglio (1992) Isolation spectroscopy and selective phytotoxic effects of polyphenols from vegetable waste water. *Phytochemistry* 31: 4215-4128.
- Chaudhry Q., M. Blom-Zandstra, S. Gupta, E.J. Joner, 2005. Utilizing the synergy between plants and rhizosphere microorganisms to enhance breakdown of organic pollutants in the environment, *Environmental Science and Pollution Research*, 12. 34-48.
- Chowdhury A.K.M.M.B, Akratos C.S., Vayenas D.V., Pavlou S., (2013). Olive mill waste composting: A review. *International Biodeterioration et Biodegradation*, 85, 108-119.
- Chowdhury A.K.M.M.B, Konstantinou F., Damati A., Akratos C.S., Vlastos D., Tekerlekopoulou A.G., Vayenas D.V., (2015). Is physicochemical evaluation enough to characterize olive mill waste compost as soil amendment: The case of genotoxicity and cytotoxicity evaluation. *Journal of Cleaner Production*, 1-9.
- Christoforou E. and Fokaides P.A., (2016). A review of olive mill solid wastes to energy utilization techniques. *Waste Management*, 49, 346-363.
- Constantina Rousidou, Kalliope Papadopoulou, Georgios Zervakis, Brajesh Kumar Singh, Constantinos Ehaliotis, Dimitrios Georgios Karpouzas (2009) : Repeated application of diluted olive mill wastewaters induces changes in the structure of the soil microbial community
- D'Annibale, A, Casa, R., Pierucceti, F., Ricci, M. and R. Marabottini (2004) *Lentinula edodes* removes phenols from olive – mill wastewater: impact on durum wheat (*Triticum durum* Desf.). germinability. *Chemosphere* 54
- Della Creca, M., Monaco, P., Pinto, G., Pollio, A., Previtera, L. and F. Temussi (2001) Phytotoxicity of low – molecular – weight phenols from olive mill waste waters. *Bull. Environ. Toxicology* 67 (3):352-359

- Dermeche S., Nadour M., Larroche C., Moulti-Mati F., Michaud P., (2013). Olive mill wastes: Biochemical characterizations and valorization strategies. *Process Biochemistry*, 48, 1532-1552.
- Di Bene C., Pellegrino E., Debolini M., Silvestri N., Bonari E., (2013). Short- and long-term effects of olive mill wastewater land spreading on soil chemical and biological properties. *Soil Biology et Biochemistry*, 56, 21-30.
- Elhag M., Bahrawi J.A., (2015). Olive Mill Waste Water Hazard Evaluation Reliant on GIS Approach in Chania, Greece. *Procedia Earth and Planetary Science*
- Erguder T.H., E.Guven, G.N. Demier (2000), Anaerobic treatment of olive mill wastes in batch reactors. *Process Biochemistry*, vol.36,pp.243-348
- Ferro A.M., S.A. Rock, J. Kennedy, J.J. Herrick, D.L. Turner, 1999. Phytoremediation of soils contaminated with wood preservatives: greenhouse and field evaluations, *International Journal of Phytoremediation*, 1, 289–306.
- Fiestas Ros de Ursinos, J.A., “Vegetation water used as a fertiliser”. *Proceedings of International Symposium on Olive by-products valorisation*. Sevilla, España.229, 1986.
- fp Hartman, W. J. (1975). An evaluation of land treatment of municipal wastewater and physical sitting facility installations ,Washington D.C.
- Galli, E. Passeti, F. “Olive-mill wastewater composting: microbiological aspects”.*Waste Management et Research*, 15, 323-330, 1997.
- Gerhardt K., E. X.D. Huang., R. Bernard, R.G. Glick, M.B. Greenberg, 2009. Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: Potential and challenges, *Plant Science*, 176, 1, 20-30.
- I.E. Kapellakis, N.V. Paranychianakis,K.P. Tsagarakis, A.N. Angelakis: Potential use of land treatment systems as a practice for olive mill wastewater management
- K. Chartzoulakis,G. Psarras, M. Moutsopoulou, E. Stefanoudaki (2010): Application of olive mill wastewater to a Cretan olive orchard: Effects on soil properties, plant performance and the environment.
- Kavvadias V., Doula M.K., Komnitsas K., Liakopoulou N., (2010). Disposal of olive oil mill wastes in evaporation ponds: Effects on soil properties. *Journal Hazardous Materials*, 182, 144-155.
- Keren Y., Borisover M., Bukhanovsky N., (2015). Sorption interactions of organic compounds with soils affected by agricultural olive mill wastewater. *Chemosphere*, 138, 462-468.
- Lasat, M.M., 2000. The use of plants for the removal of toxic metals form contaminated soil. Prepared for US Environmental Protection Agency, <http://www.clu-in.org/download/remed/lasat.pdf>
- Lopes D.V., Lobo J., Santos S., Martins R.C., Quina M.J., Gando- Ferreira L.M., Dias-Ferreira C., Quinta- Ferreira R.M., (2015). Treatment of olive mill solid wastes by chemical processes enhanced with iron rich materials. 3rd International Conference on Sustainable Solid Waste Management.
- López, R. Martínez Bordiú. “Soil properties after application of olive mill wastewater”. *Fresenius Envir. Bull.*, 5, 49-54, 1996.
- Lynch J.M., 1990. Beneficial interactions between micro-organisms and roots, *Biotechnology Advances*, 8, 335-346.
- Macnair, M.R., 2003. The hyperaccumulation of metals by plants. *Adv. Bot. Res.* 40, 63-105.
- Manousaki E., N. Kalogerakis, 2011. Halophytes-An Emerging Trend in Phytoremediation, *International Journal of Phytoremediation*, 13, 10, 959-969.

- Moraetis D., Stamati F.E., Nikolaidis N.P., Kalogerakis N., (2011). Olive mill wastewater irrigation of maize: Impacts on soil and groundwater. *Agricultural Water Management*, 98, 1125-1132.
- Nagendran, R., Selvam, A., Joseph, K., Chiemchaisri, C., 2006. Phytoremediation and rehabilitation of municipal solid waste landfills and dumpsites: a brief review. *Waste Manage.* 26, 1357-1369.
- Niaounakis, M. and Halvadakis, C.P. (2004), "Olive Mill Waste Management.Literature Review and Patent Survey" Typothito-George Dardanos, Athens, Greece
- P.Rodriguez, C.D.Mellisho.,Enviromental and Expiriment Botany, Plant water relations of leaves of pomegranate trees under different irrigation conditions, april 2012
- Paixao, S. M., Mendonca, E. ,Picado, A. and A. M. Anselmo (1999). Acute toxicity evaluation of Olive Mill Wastewaters: A comparative study of three aquatic organisms. *Inc. Environ. Toxicology* 14: 263-269
- Paredes, C., Segarra, J., Roig, A., "Characterisation of olive mill wastewater and its sludge for agricultural purposes". *Biosource Technology*, 67, 111, 1999.
- Paredes, M. J.,Monteoliva – Sanchez, M., Moreno, E., Perez, J., Ramos – Cormenzana, A. and J. Martinez (1986) Effect of wastewaters from olive oil extraction plants on the bacterial population of soil. *Chemosphere* 15: 59-664.
- Pilon - Smits E., 2005. Phytoremediation, *The Annual Review of Plant Biology*, 56, 15-39.
- Piotrowskai, A, Iamarino, G, Rao, M.A., amd L. Gianfreda (2006). Short-term effects of olive mill waste water (OMW) on chemical and biochemical properties of asemiarid Mediterranean soil. *Soil Biology et Biochemistry* 38 (2006) 600–610
- Pletsch, M., 2004. Plants and the environment/Phytoremediation. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, Elsevier, 781-786.
- Rana, G., Rinaldi, M. and M. Intronza (2003). Volatilisation of substances afterspreading olive oil waste water on the soil in a Mediterranean environment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 96 (2003) 49–58
- Salt, D.E., Smith, R.D., Raskin, I., 1998. Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Physiol.Plant Mol. Biol.* 49, 643-668.
- Schnoor, J.L., Licht, L.A., McCutcheon, S.C., Wolfe, N.L., Carreire, L.H., 1995.Phytoremediation of organic and nutrient. *Environ. Sci. Technol.* 29, 318-323.
- Sierra J., Esther Marti, M. Antonia Garau, Robert Cruanas (2007): Effects of the agronomic use oil mill waste water : Field experiment.
- Smith M.J., T.H. Flowers, H.J. Duncan, J. Alder, 2006. Effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on germination and subsequent growth of grasses and legumes in freshly contaminated soil and soil with aged PAHs residues, *Environmental Pollution*, 141. 519-525.
- Stamatakis G., (2010). Energy and geo-environmental applications for Olive Mill Wastes. A review. *Hellenic Journal of Geosciences*, 45, 269-282.
- Stumm, W. (1992). *Chemistry of the solid-water interface*. New York, John WileyetSons.
- Sustainable and effective utilization of olive mill wastewater by applying physicochemical and biological -A.G. Vlyssides, professor National Technical University of Athens -Chemical Engineering Department
- Tesar M., T. Reichenauer, A. Sessitsch, 2002. Bacterial rhizosphere populations of black poplar and herbal plants to be used for phytoremediation of diesel fuel, *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 1883-1892.
- Tzanakakis, V.E., Paranychianakis, N.V., Angelakis, A.N., 2007. Nutrient removal and biomass production in land treatment systems receiving domestic effluent. *Ecological Engineering* in press.

- W.B. Whitman, D.C. Coleman, W.J. Wiebe, Procarote the unseen majority, Proc. Natl. Acad. Sci., 95 (1998), pp. 6578–6583
- Whipps J.M., 1990. Carbon economy, editor: J.M. Lynch, The Rhizosphere, Wiley, New York, 59-97.
- Willey N., 2007. Methods in biotechnology, phytoremediation methods and reviews, Humana Press, Totowa, New Jersey, 23.
- U.S. Enviromental Protection Agency "a quide Ahandbook to constructed wetlands , a quide to creating wetlandw" volume 2
- U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/R-99/107, 2000. Introduction to phytoremediation.

#### • Ελληνική βιβλιογραφία

- Οιχαλιώτης, Κ. Δ. και Γ. Ζερβάκης, (1999). Τα απόβλητα και παραπροϊόντα των ελαιοτριβείων δύο και τριών φάσεων. Μια αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης. Ελιά και Ελαιόλαδο 14, 52-61.
- (Ι. Χαραλάμπους, Καθηγήτρια ΕΜΠ Περιβαλλοντική Επιστήμη ΥΔΑΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Μέρος 6ο).
- Βασιλάτος, Χ., Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας.
- Δανελλάκης Δ., Απόβλητα ελαιοτριβείου και βιολογικές επιπτώσεις τους σε ιστούς του κοινού μυδιού *Mytilus galloprovincialis*, Διπλωματική Εργασία, Πάτρα 2013 (Nemertes)- <http://hdl.handle.net/10889/6109>
- Εναλλακτικές Τεχνολογίες Επεξεργασίας Αποβλήτων Ελαιοτριβείων Κων. Χατζουλιάκης Ινστιτούτο Ελιάς et Υποτροπικών Φυτών ΕΘΙΑΓΕ
- Καλογερακης 2013, Σημειώσεις Βιολογικές Μέθοδοι Εξυγίανσης Περιβάλλοντος (ΤΕΧΝΙΚΗ ΒΙΟ-ΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)
- Καποδηστριακό πανεπιστήμιο Αθηνών - Συνεισφορά LIFE
- Λέκκας, Δ. Θ., Περιβαλλοντική Μηχανική Ι, «Διαχείριση Υδατικών Πόρων», Πανεπιστήμιο Αιγαίου Τμήμα Περιβάλλοντος Μυτιλήνη, 1996.
- Μαρίνα Ν. Δεσποτίδου Χημικός, M.Sc. Υποψήφιος Διδάκτορας Ε.Μ.Π. ΚΕΡΕΦΥΤ – ΕΥΔΑΠ
- Μπλίκια Π., Βιοτεχνολογικές μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου, Διδακτορική Διατριβή, Πάτρα 2009 (Nemertes) - <http://hdl.handle.net/10889/3672>
- Νικ. Καλογεράκης Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
- Πανταζίδου Μ., Α. Ξενίδης, Ν. Παπασιώπη, 2006. Σημειώσεις μαθήματος «Αποκατάσταση ρυπασμένων χώρων», Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών του ΕΜΠ, Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων.
- Ρούβαλη Α., Εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας των απορροών από διαφορετικές μεθόδους επεξεργασίας των ελαιουργικών αποβλήτων, Διδακτορική Διατριβή, Πάτρα 2009 (Nemertes). <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/2631>
- Χατζηπανυλίδης Ι.Γ., 1999. Επιπτώσεις των υγρών αποβλήτων της ελαιουργείας στη δυναμική και τις δράσεις των μικροβιακών πληθυσμών στο έδαφος. Διδακτορική Διατριβή.

- Παραπομπές σε ιστότοπους
- <https://clu-in.org/download/remed/introphyto.pdf>(last access 25/5/2017).
- [http://www.industry.org.il/UploadsCI/dbsAttachedFiles/oliveoilproduction\(1\).pdf](http://www.industry.org.il/UploadsCI/dbsAttachedFiles/oliveoilproduction(1).pdf)(last access 13/5/2017).
- <http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/123456789/409/1/297.pdf> (last access 11/10/2016).
- <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410020766>(last access 14/6/2017).
- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CE%BF%CE%B4%CE%B9%CE%AC> (last access 21/3/2017).
- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CF%85%CF%81%CF%84%CE%B9%CE%AC> (last access 18/11/2016).
- International Olive Council(last access 9/5/2017).
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Absorption\\_\(chemistry\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Absorption_(chemistry))(last access 16/3/2017).
- <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410020766>(last access 30/5/2017).
- <http://www.prosodol.gr/?q=el/node/470>(last access 16/11/2016).
- [www.olitecn.gr](http://www.olitecn.gr) - Χημικές Αναλύσεις, Εργαστηριακές Έρευνες (last access 20/4/2017)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Soil\\_organic\\_matter](https://en.wikipedia.org/wiki/Soil_organic_matter) (last access 6/6/2017)