

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ & ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΠΙΟΥ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΠΙΟΥ**

«Διερεύνηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων υποστρωμάτων με βάση την ελαφρόπετρα και προσδιορισμός την ανάπτυξης αυτοφυών φυτών τα οποία αναπτύσσονται σε συνθήκες φυτοδώματος»

ΚΑΨΑΛΗ ΘΩΜΑΪΣ ΕΒΕΛΙΝΑ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2013

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ & ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΠΙΟΥ**

«Διερεύνηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων υποστρωμάτων με βάση την ελαφρόπετρα και προσδιορισμός την ανάπτυξης αυτοφυών φυτών τα οποία αναπτύσσονται σε συνθήκες φυτοδώματος»

ΚΑΨΑΛΗ ΘΩΜΑΪΣ ΕΒΕΛΙΝΑ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Νεκτάριος Παναγιώτης, Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α., ως Επιβλέπων
Παπαφωτίου Μαρία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Γ.Π.Α., ως μέλος
Παρασκευοπούλου Αγγελική, Λέκτορας Γ.Π.Α., ως μέλος

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΑΘΗΝΑ 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Παναγιώτη Νεκτάριο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου αυτή τη μελέτη, την καθοδήγηση, την υποστήριξη και την αμέριστη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της διεκπεραίωσης της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης.

Θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στη Διευθύντρια του Εργαστηρίου Ανθοκομίας & Αρχιτεκτονικής Τοπίου Αναπλ. Καθηγήτρια κα. Μαρία Παπαφωτίου και τη Λέκτορα κα. Αγγελική Παρασκευοπούλου για το χρόνο που αφιέρωσαν για τη μελέτη και βελτίωση της μεταπτυχιακής μου μελέτης.

Τέλος ευχαριστώ θερμά τον Υποψήφιο Διδάκτορα Νίκο Ντούλα για την άμεση βοήθεια και συμμετοχή του στην πραγματοποίηση των πειραμάτων καθώς και την οικογένειά μου για την οικονομική και ηθική στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT.....	11
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1.1 Φυτοδόματα.....	13
1.2 Υποστρώματα για τα εκτατικά φυτοδόματα	15
1.2.1 Ελαφρόπετρα	18
1.3 Βάθος υποστρώματος	19
1.4 Άρδευση.....	20
1.5 Επιλογή φυτικών ειδών.....	20
1.5.1 <i>Ebenus cretica</i> L.	21
1.5.2 <i>Crithmum maritimum</i> L.	22
1.6 Σκοπός της μελέτης.....	23
2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	24
2.1 Αντικείμενο μελέτης.....	24
2.2 Διερεύνηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων υποστρωμάτων με βάση την ελαφρόπετρα 0-8 mm	24
2.2.1 Ελαφρόπετρα 0-8 mm.....	26

2.2.1.1 Προσδιορισμός του πορώδους της ελαφρόπετρας.....	26
2.2.1.2 Προσδιορισμός του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC)	28
2.2.1.2.1 Στατική μέτρηση του pH σε διάλυμα ίσο με ένα πορώδες.....	29
2.2.1.2.2 Μέτρηση του pH στο χρόνο, σε διαδοχικά πορώδη	29
2.2.1.2.3 Μέτρηση του pH μέσω διήθησης	30
2.2.1.2.4 Μέτρηση του pH στο χρόνο έχοντας τα μικρολυσίμετρα αεροστεγώς σφραγισμένα	30
2.2.1.2.5 Μέτρηση του pH στο χρόνο έχοντας τα μικρολυσίμετρα αρχικά ακάλυπτα και ύστερα αεροστεγώς σφραγισμένα	31
2.2.1.3 Προσδιορισμός της καμπύλης υγρασίας της ελαφρόπετρας 0-8 mm.....	32
2.2.1.4 Κοκκομετρική ανάλυση της ελαφρόπετρας 0-8 mm.....	32
2.2.1.5 Προσδιορισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας της ελαφρόπετρας 0-8 mm.....	33
2.2.2 Θραυστό κεραμίδι, θραυστό τούβλο και θερμικώς κατεργασμένη άργιλος..	33
2.2.3 Οργανικά συστατικά	34
2.2.4 Προσδιορισμός κατάλληλου μείγματος.....	34
2.3 Μελέτη στον πειραματικό αγρό.....	35
2.3.1 Χαρακτηριστικά πειραματικών τεμαχίων.....	35
2.3.2 Υποστρώματα	35
2.3.3 Φυτικό υλικό.....	36
2.3.4 Λίπανση	37
2.3.5 Πειραματικό σχέδιο και επεμβάσεις.....	37
2.3.6 Άρδευση.....	38

2.3.7 Μετρήσεις	39
2.3.7.1 Υγρασία υποστρώματος.....	39
2.3.7.2 Ανάπτυξη και άνθιση των φυτικών ειδών	41
3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	42
3.1 Αποτελέσματα της πρώτης ενότητας της μελέτης.....	42
3.1.1 Στατική μέτρηση του pH και EC σε ένα πορώδες, και της υδραυλικής αγωγιμότητας στην ελαφρόπετρα 0-8 mm	42
3.1.2 Καθορισμός του pH και του EC στο χρόνο, σε διαδοχικούς όγκους πορώδους	44
3.1.3 Καθορισμός του pH και του EC στο χρόνο, σε διαδοχικούς όγκους πορώδους	46
3.1.4 Καθορισμός του pH και του EC μέσω διήθησης.....	48
3.1.5 Μέτρηση του pH με αεροστεγώς σφραγισμένα μικρολυσίμετρα.....	50
3.1.6 Μέτρηση του pH στο χρόνο έχοντας τα μικρολυσίμετρα αρχικά ακάλυπτα και ύστερα αεροστεγώς σφραγισμένα	52
3.1.7 Προσδιορισμός της καμπύλης υγρασίας της ελαφρόπετρας 0-8 mm.....	54
3.1.8 Κοκκομετρική ανάλυση της ελαφρόπετρας 0-8 mm	55
3.1.9 Προσδιορισμός του pH και του EC μέσω διήθησης σε ανόργανα υλικά	56
3.1.10 Δυαδική σύγκριση των ανόργανων υλικών με βάση το pH και το EC που παρουσίασαν	57
3.1.11 Κοκκομετρική ανάλυση των ανόργανων υλικών	59
3.1.12 Κοκκομετρική ανάλυση μειγμάτων από τα επιλεγμένα ανόργανα υλικά ...	61

3.1.13 Προσδιορισμός της καμπύλης υγρασίας των υποστρώματων με ανόργανα συστατικά.....	64
3.1.14 Χημική ανάλυση της τύρφης και των τοπικά διαθέσιμων composts.....	66
3.1.15 Διαμόρφωση του κατάλληλου υποστρώματος για εκτατικά φυτοδώματα με βάση την ελαφρόπετρα 0-8 mm.....	68
3.1.15.1 Καθορισμός των ποσοστών συμμετοχής του κάθε συστατικού	68
3.1.15.2 Καθορισμός του οργανικού συστατικού του υποστρώματος	71
3.2 Αποτελέσματα της δεύτερης ενότητας της μελέτης	74
3.2.1 <i>Ebenus cretica</i> L.	75
3.2.1.1 Υγρασία υποστρώματος.....	75
3.2.1.2 Βλαστική ανάπτυξη και άνθιση	81
3.2.2 <i>Crithmum maritimum</i> L.	84
3.2.2.1 Υγρασία υποστρώματος.....	84
3.2.2.2 Βλαστική ανάπτυξη και άνθιση	89
4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ	94
4.1 Πρώτη ενότητα μελέτης.....	94
4.1.1 Ελαφρόπετρα	94
4.1.2 Ανόργανα και Οργανικά υλικά	96
4.2 Δεύτερη ενότητα μελέτης	98
4.2.1 Υγρασία υποστρώματος για τα <i>Ebenus cretica</i> και <i>Crithmum maritimum</i> ...	98
4.2.2 Βλαστική ανάπτυξη	100

4.2.2.1	Είδος υποστρώματος.....	100
4.2.2.2	Βάθος υποστρώματος	101
4.2.2.3	Άρδευση.....	102
4.2.2.4	Άνθιση.....	103
5	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	104

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα φυτοδώματα αποτελούν μια τεχνική ανάπτυξης του πράσινου στις μεγαλουπόλεις. Τα τελευταία χρόνια πολλοί ερευνητές έχουν στρέψει την προσοχή τους στη δημιουργία υποστρωμάτων με όσο το δυνατόν λιγότερο βάρος και βάθος υποστρώματος. Επιπλέον, εξετάζονται τα φυτικά είδη που μπορούν να αντέξουν στις συνθήκες των φυτοδωμάτων.

Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε η διερεύνηση διαφόρων ανόργανων (θραυστό κεραμίδι Τρικάλων λεπτόκοκκο και χονδρόκοκκο, θραυστό κεραμίδι Χαλκίδας κοκκομετρίας: 1-2 mm, 2-4 mm, 5-8 mm και 5-16 mm, θραυστό τούβλο κοκκομετρίας: 2-4 mm και 5-8 mm, θερμικώς κατεργασμένη άργιλος) και οργανικών υλικών (compost ελαιουργίας, compost στέμφυλων, compost φυτικών υπολειμμάτων αναμειγμένα με κοπριά αλόγου και βοοειδών, τύρφη) προκειμένου να δημιουργηθεί ένα υπόστρωμα κατάλληλο για εκτατικά φυτοδώματα, καθώς και η διερεύνηση αντοχής και ανάπτυξης δύο φυτικών ειδών σε φυτοδώμα υπό υδατική καταπόνηση.

Για τη δημιουργία του υποστρώματος επιλέχτηκε ως κύριο υλικό η ελαφρόπετρα 0-8 mm για την οποία έγιναν εργαστηριακές αναλύσεις προκειμένου να προσδιοριστούν οι φυσικές και χημικές ιδιότητές της. Παράλληλα η ίδια τεχνική ακολουθήθηκε και για τα υπόλοιπα εν δυνάμει συστατικά του υποστρώματος. Από τις αναλύσεις των υλικών βρέθηκε ότι η ελαφρόπετρα αποτελεί υλικό με υψηλό pH που ωστόσο μειώνεται από 9.04 σε 8.3 εντός 19 ωρών. Εκτός από την ελαφρόπετρα χρησιμοποιήθηκαν αδρανή υλικά όπως η θερμικώς κατεργασμένη άργιλος και ο ζεόλιθος. Ως οργανικά βελτιωτικά υποστρώματος δοκιμάστηκαν διάφορα είδη κομπόστας και η τύρφη, από τα οποία επιλέχτηκε το compost στέμφυλων λόγω του μικρού του βάρους. Το υπόστρωμα που δημιουργήθηκε είναι το $P_{um65}:Cl_{15}:GMC_{15}:Z_5$ (όπου P_{um} = ελαφρόπετρα 0-8 mm, Cl = διογκωμένη άργιλος, GMC = Compost στέμφυλων, Z = ζεόλιθος). Το προτεινόμενο υπόστρωμα ακολουθεί όλες τις κατευθυντήριες αρχές για τα εκτατικά φυτοδώματα.

Στο δεύτερο τμήμα του πειράματος μελετήθηκε η ανάπτυξη των φυτών *Ebenus cretica* και *Crithmum maritimum* όταν αυτά αναπτύσσονταν σε διαφορετικά α) είδη υποστρώματος ($P_{um50}:Per_{20}:C_{20}:Z_{10}$ και $P_{um40}:Cl_{40}:P_8:C_7:Z_5$ όπου P_{um} = ελαφρόπετρα, Cl = διογκωμένη άργιλος, Per = περλίτης, P = τύρφη, C = Compost, Z = ζεόλιθος, σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες), β) βάθη υποστρώματος (7.5 και 15 cm) και γ) ποσότητα άρδευσης (30% E_{PAN} και 60% E_{PAN} , όπου E_{PAN} = εξατμισοδιαπνοή). Και τα δύο φυτικά είδη εμφάνισαν μεγαλύτερη ανάπτυξη στο υπόστρωμα $P_{um50}:Per_{20}:C_{20}:Z_{10}$ και σε βάθος υποστρώματος 15 cm. Η άρδευση δεν επηρέασε καθόλου την ανάπτυξη του *E. cretica*, ενώ στο *C. maritimum* η υψηλή άρδευση (60% E_{PAN}) επηρέασε θετικά την ανάπτυξη των φυτών. Τέλος, η άνθιση λόγω της ύπαρξης αλληλεπιδράσεων αναλύθηκε ως μονοπαραγοντικό. Άνθιση είχε μόνο το είδος *C. maritimum* με το μεγαλύτερο αριθμό ανθέων να παρουσιάζεται στο υπόστρωμα $P_{um50}:Per_{20}:C_{20}:Z_{10}$ με βάθος 7.5 cm και υψηλή άρδευση, ενώ ο μικρότερος αριθμός ανθέων να εμφανίζεται στην επέμβαση με το υπόστρωμα $P_{um50}:Per_{20}:C_{20}:Z_{10}$ με βάθος 15 cm και χαμηλή άρδευση.

Λέξεις κλειδιά: *Ebenus cretica*, *Crithmum maritimum*, εκτατικά φυτοδόματα, ελαφρόπετρα, υδατική καταπόνηση

ABSTRACT

Green roof is a technique that could contribute to the increase of cities open green spaces. In recent years, many researchers have investigated green roof substrates aiming to reduce load weight by selecting appropriate materials and determine plant species capable to provide sustainable growth in minimal substrate depth.

The present study investigated various inorganic and organic materials in order to create suitable substrates for extensive green roofs and to determine the growth of two native plant species in urban extensive green roofs under drought stress.

Pumice 0-8 mm was the main material to constitute an extensive type green roof substrate and its physical and chemical capacities were determined through laboratory analyses. In addition several inorganic (Trikala coarse tile, Trikala fine tile, Chalkida tile 1-2 mm, Chalkida tile 2-4 mm, Chalkida tile 5-8 mm, Chalikida tile 5-16 mm, brick 2-4 mm, brick 5-8 mm, Attapulgitic clay) and organic (Peat, Olive mill waste compost, Garden litter mixed with hay and horse and dairy manure, Grape marc compost) materials were also analysed in order to be incorporated as constituents of an extensive green roof system. The analyses of materials concluded that pumice 0-8 mm complies to the existing guidelines for extensive green roof construction except from its pH that was high (9.04). However the pH was reduced to acceptable levels (8.3) within 19 hours after its first hydration. From the remaining tested materials thermally treated clay and zeolite were considered as the most appropriate to participate within an extensive green roof substrate. From the organic substrate amendments grape marc compost was selected due to its small weight and chemical characteristics. The final substrate that was considered as the best was $Pum_{65}:Cl_{15}:GMC_{15}:Z_5$ (where Pum = pumice 0-8 mm, Cl = expanded clay, GMC = Compost grape marc, Z = zeolite) which complied with the existing guidelines for extensive green roof construction.

In the second part of the study the growth of plants *Ebenus cretica* and *Crithmum maritimum* was examined when grown in different: a) substrate type ($Pum_{50}:Per_{20}:C_{20}:Z_{10}$ or $Pum_{40}:Cl_{40}:P_8:C_7:Z_5$ where Pum = pumice, Cl = expanded

clay, Per = perlite, P = peat, C = compost, Z = zeolite in volume ratios indicated by the subscripts); b) substrate depths (7.5 or 15 cm) and c) amount of irrigation (30% E_{PAN} and 60% E_{PAN} , where E_{PAN} = pan evapotranspiration). Both plant species exhibited increased growth in substrate Pum₅₀:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀ and substrate depth of 15 cm. Irrigation did not affect *E. cretica* growth, while in *C. maritimum* higher irrigation (60% E_{PAN}) affected positively plant growth. Flowering occurred only in *C. maritimum* where the largest number of flowers was determined in substrate Pum₅₀:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀ at 7.5 cm depth and high irrigation, while the least number of flowers was determined in substrate Pum₅₀:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀ with 15 cm depth and low irrigation.

Keywords: *Ebenus cretica*, *Crithmum maritimum*, extensive green roofs, pumice, water stress

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Φυτοδώματα

Η ανάγκη δημιουργίας φυτοδωμάτων εμφανίστηκε όταν οι περισσότεροι υπαίθριοι χώροι οικοδομήθηκαν άναρχα στα μεγάλα αστικά κέντρα, λόγω της αστικοποίησης και της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού, χωρίς να προβλεφθεί η ύπαρξη χώρων πρασίνου. Οι χώροι πρασίνου είναι ζωτικής σημασίας τόσο για τη βελτίωση του περιβάλλοντος όσο και για κοινωνικούς λόγους μέσα σε έναν αστικό ιστό. Ωστόσο ο περιορισμός αυτών μπορεί εν μέρει να αντικατασταθεί με τα φυτοδώματα στις οροφές των κτιρίων αλλά και στην επιφάνεια οποιουδήποτε άλλου σκληρού υλικού.

Τα τελευταία χρόνια έχει επιτευχθεί μεγάλη πρόοδος στην αποδοχή της ιδέας των φυτοδωμάτων και αυτό οφείλεται στα διάφορα πλεονεκτήματα που αυτά προσφέρουν στις πυκνοκατοικημένες περιοχές των σύγχρονων πόλεων. Μετατρέποντας τις οροφές των κτιρίων σε πράσινο αναμένεται βελτίωση του περιβάλλοντος και κατ' επέκταση βελτιώνονται οι συνθήκες διαβίωσης των κατοίκων.

Τα φυτοδώματα παρουσιάζουν πολλά και πολύπλευρα πλεονεκτήματα. Μερικά από αυτά είναι:

- Η αύξηση του πράσινου.
- Η διαχείριση του όμβριων υδάτων (Liesecke, 1998; Schade, 2000).
- Η μείωση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (Getter and Rowe, 2006).
- Η μείωση της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα (Getter and Rowe, 2006).
- Η δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα και κατά συνέπεια η βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα (Getter and Rowe, 2006).
- Η απορρόφηση και η δέσμευση των σωματιδίων σκόνης και αέρια που μεταδίδονται μέσω των ρύπων και κατά συνέπεια η βελτίωση της ποιότητας του αέρα και του νερού (Getter and Rowe, 2006).
- Η αύξηση της ατμοσφαιρικής υγρασίας (Getter and Rowe, 2006).

- Η συνεισφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας του κτιρίου (Getter and Rowe, 2006) .
- Η πρόληψη πυρκαγιών (Getter and Rowe, 2006).
- Η μείωση του θορύβου (Getter and Rowe, 2006).
- Η προώθηση της βιοποικιλότητας και η δημιουργία ενδιαιτημάτων για την πανίδα (Brenneisen, 2003) και τέλος,
- Η αισθητική αξία (Getter and Rowe, 2006).

Τα φυτοδώματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα εντατικά και τα εκτατικά. Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται ανάλογα με τη χρήση του φυτοδώματος αλλά και από τον τρόπο κατασκευής του όσον αφορά το είδος και το βάθος του υποστρώματος.

Τα εντατικού τύπου φυτοδώματα πρέπει να έχουν υπόστρωμα με ελάχιστο βάθος 25 cm. Η σύσταση του υποστρώματος, όπως ορίζεται από το FLL (2008), θα πρέπει να είναι 60-80% κατ' όγκο ανόργανα συστατικά και 6-12% κατά βάρος οργανική ουσία (Tsiotsiouroulou et al., 2003).

Αντίθετα τα εκτατικά φυτοδώματα, έχουν μικρότερο βάθος υποστρώματος, το οποίο ποικίλει από 2 έως 15 cm ενώ το υπόστρωμα που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να αποτελείται από 70-90% κατ' όγκο ανόργανα υλικά και 3-8% κατά βάρος οργανική ουσία (FLL, 2008). Κατά συνέπεια τα εκτατικά φυτοδώματα είναι ελαφρύτερα και πιο οικονομικά στην κατασκευή τους από τα εντατικού τύπου. Επίσης είναι κατά τέτοιο τρόπο σχεδιασμένα ώστε η ανθρώπινη πρόσβαση να είναι περιορισμένη. Τέλος, παρουσιάζουν πολύ περισσότερα περιβαλλοντικά οφέλη από τα εντατικού τύπου φυτοδώματα διότι δεν απαιτούν εντατική συντήρηση και άρδευση (Jarrett, 2005).

Ανάλογα με το είδος και το βάθος του υποστρώματος που θα χρησιμοποιηθεί, προσδιορίζονται και τα είδη των φυτικών ομάδων που μπορούν να αναπτυχθούν σε ένα τέτοιο περιβάλλον. Σε ένα φυτοδώμα εντατικού τύπου, υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης δένδρων. Σε ένα εκτατικό φυτοδώμα, συνήθως, γίνεται χρήση μικρού μεγέθους φυτών όπως τα ποώδη, τα παχύφυτα, τα βρύα και διάφορα είδη γρασιδιών, φυτά που αντέχουν στον άνεμο, στη ζέστη και στον παγετό. (Long et al., 2006).

1.2 Υποστρώματα για τα εκτατικά φυτοδώματα

Γενικά το υπόστρωμα ενός φυτοδώματος εάν επιλεγεί σωστά εκπληρώνει τρεις σκοπούς: **α)** την προστασία των ευαίσθητων υλικών διάστρωσης της οροφής ενός κτιρίου, **β)** λειτουργεί ως επιπλέον στρώμα μόνωσης του κτιρίου **γ)** βοηθάει στην ανάπτυξη των φυτών (Tsiotsiouroulou et al., 2003).

Για την σωστή ανάπτυξη των φυτών το υπόστρωμα που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να πληρεί κάποια κριτήρια. Μερικά από αυτά είναι τα εξής:

- να αποτελεί ένα καλό μέσο για τη γρήγορη και σωστή ανάπτυξη του ριζικού συστήματος του φυτού,
- να έχει την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας και δημιουργία πορώδους,
- να είναι ελαφρύ ώστε να μειώνεται το φορτίο που δέχεται ο σκελετός του κτιρίου.

Για να επιτευχθούν τα παραπάνω χρησιμοποιούνται διάφορα εδαφοβελτιωτικά όπως η τύρφη, ο περλίτης και η ελαφρόπετρα, τα οποία είναι ελαφριά μεν αλλά αυξάνουν την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας του υποστρώματος καθώς και το πορώδες, ενώ μειώνουν τη φαινόμενη πυκνότητα (Nektarios et al., 2005).

Ένα τυπικό δείγμα υποστρώματος για εκτατικό φυτοδώμα αποτελείται από 80-90% ελαφριά αδρανή υλικά και 10-20% οργανική ουσία (Fassman and Simcock., 2012). Τα ελαφριά αδρανή υλικά παρέχουν το κατάλληλο πορώδες για αέρα, νερό και ανταλλαγή αερίων ενώ διασφαλίζεται και ταχύτατη αποστράγγιση.

Ωστόσο προσοχή πρέπει να δοθεί στη μεγάλη περιεκτικότητα του υποστρώματος σε σωματίδια μικρού μεγέθους διότι μπορεί μεν να αυξήσουν την υγρασία με αποτέλεσμα να ωφελήσουν την ανάπτυξη των φυτών, αλλά θα μειώσουν την ικανότητα διήθησης και θα αυξήσουν ταυτόχρονα το βάρος του φυτοδώματος, κάτι που αποτελεί απειλή για τα παλιά κτίρια. Έτσι, η διατήρηση του κορεσμού του υποστρώματος είναι σημαντική για την παρεμπόδιση του λιμνάσματος και του υπερβολικού βάρους (Fassman et al., 2010).

Επίσης η χαμηλή περιεκτικότητα των αδρανών υλικών σε οργανική ουσία επιβάλλει την προσθήκη άλλων ώστε οι βασικές λειτουργίες του φυτού, όπως η ανταλλαγή κατιόντων και η διατήρηση των θρεπτικών ουσιών, να εξελίσσονται ομαλά (Friedrich, 2005). Τέτοια υλικά αποτελούν ο ζεόλιθος, η άργιλος και η οργανική ουσία.

Οι οργανικές ουσίες θα πρέπει να υπάρχουν στη σωστή αναλογία στο μείγμα υποστρώματος ώστε να υποστηρίξουν την ανάπτυξη των φυτών αποθηκεύοντας και προσφέροντας θρεπτικά στοιχεία και συγκρατώντας επαρκή υγρασία (Fassman and Simcock., 2012). Η οργανική ουσία που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι καθαρή από σπόρους και παθογόνα, να έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα και βαρέα μέταλλα και να είναι σχετικά σταθερή ώστε να μην αποσυντεθεί σε χρόνο ταχύτερο των πέντε ετών από την εφαρμογή της (Claridge and Edwards, 2008).

Αν και το ποσοστό συμμετοχής της οργανικής ουσίας είναι μικρό στα εκτατικά φυτοδώματα, το κατά κύριο λόγο μικρό μέγεθος σωματιδίων αυτής έχουν ως αποτέλεσμα την υψηλή συγκράτηση υγρασίας. Ένα άλλο πρόβλημα που μπορεί να προκύψει από το μεγάλο ποσοστό οργανικής ουσίας είναι ότι λόγω της αποσύνθεσης αυτής, υπάρχει η πιθανότητα να αυξηθεί η έκπλυση των θρεπτικών στοιχείων από το υπόστρωμα διότι η αποσύνθεση θα είναι πιο γρήγορη από την πρόσληψη των φυτών (Moran et al., 2005) και εν τέλει θα μειωθεί το ποσοστό συγκράτησης της υγρασίας, η αποθήκευση των θρεπτικών στοιχείων και το βάθος του υποστρώματος.

Τα οργανικά υλικά των υποστρωμάτων συρρικνώνονται ή αποσυντίθενται με το πέρασμα του χρόνου, κι έτσι τα υποστρώματα των φυτοδωμάτων έχουν ως βάση υλικά ορυκτολογικής προέλευσης. Αυτά τα υποστρώματα διαφέρουν ανάλογα με τη διαθεσιμότητα που υπάρχει στην τοπική αγορά και το κόστος αυτών ποικίλει. Επίσης πολλά από αυτά περιέχουν ανακυκλωμένα ή προϊόντα απόβλητων ώστε να μεγιστοποιήσουν τα περιβαλλοντικά οφέλη των φυτοδωμάτων (Molineux et al., 2009; Fassman and Simcock., 2012). Τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως στα εκτατικά φυτοδώματα είναι ο διογκωμένος σχιστόλιθος και η θερμικώς κατεργασμένη άργιλος (Fassman et al., 2010).

Σύμφωνα με τους Fassman and Simcock. (2012) το κατάλληλο υπόστρωμα για την ανάπτυξη των φυτών σε εκτατικά φυτοδώματα χωρίς άρδευση (εκτός από τους καλοκαιρινούς μήνες) είναι το εξής: 70% ελαφρόπετρα 4-10 mm, 10% ζεόλιθος 1-3 mm και 20% οργανική ουσία με συνολικό βάθος υποστρώματος 10 cm. Επίσης παρατηρήθηκε ότι σε αυτό το υπόστρωμα ελαχιστοποιείται η έκπτυξη ζιζανίων ενώ εμποδίζεται η επιφανειακή απορροή από καταιγίδες με συνολικό όγκο βροχόπτωσης μικρότερο των 25 mm.

Μία ακόμα μεταπτυχιακή μελέτη του Nelson (2010) έδειξε ότι η ανάπτυξη του φυτικού γένους *Sedum* ήταν υψηλότερη σε υπόστρωμα με κοκκώδη υφή και με υψηλά ποσοστά οργανικής ουσίας από ότι σε ένα υπόστρωμα με μικρό μέγεθος σωματιδίων και με λιγότερη οργανική ουσία.

Επίσης οι Williams et al. (2010) παρουσίασαν δύο υποσχόμενα συστατικά υποστρώματος για τα φυτοδώματα. Αυτά ήταν η ηφαιστειακή τέφρα και η θερμικώς επεξεργασμένη τέφρα, τα οποία δύνανται να παρέχουν άριστες φυσικές ιδιότητες. Ωστόσο οι ερευνητές ανέφεραν ότι πρέπει να πραγματοποιηθούν περαιτέρω μελέτες για να διευκρινιστούν οι βελτιωτικές ιδιότητες που θα έχουν αυτά τα εδαφοβελτιωτικά στο υπόστρωμα καθώς και για να βρεθούν οι κατάλληλες ποσότητες συμμετοχής σε ένα ιδανικό μείγμα.

Ύστερα από πειραματική μελέτη των Nektarios et al. (2011), όπου εξετάστηκαν δύο είδη υποστρώματος; P_{um50}:P_{er20}:C₂₀:Z₁₀, S₁₅:P_{um40}:P_{er20}:C₂₀:Z₅ (όπου S = έδαφος; P_{um} = ελαφρόπετρα; P_{er} = περλίτης; C = compost; Z = ζεόλιθος), διαπιστώθηκε ότι η υγρασία υποστρώματος κάτω από συνθήκες ξηρασίας είναι αυξημένη στο υπόστρωμα που περιέχει έδαφος ως αποτέλεσμα της καλύτερης ικανότητας συγκράτησης υγρασίας σε χαμηλές τιμές μύζησης.

Οι Rowe et al. (2006), αξιολόγησαν τη χρήση του θερμικώς διογκωμένου σχιστόλιθου στην εγκατάσταση, ανάπτυξη και επιβίωση του φυτικού γένους *Sedum* και διαφόρων άλλων άγριων ενδημικών φυτών. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν το σχιστόλιθο ως κύριο συστατικό του υποστρώματος τους σε ποσοστά 60%, 70%, 80%, 90% και 100%, ενώ τα υπόλοιπα συστατικά αποτελούνταν από διάφορα ποσοστά composts, άμμου και τύρφης. Το συμπέρασμα ήταν ότι τα υψηλά ποσοστά

σχιστόλιθου μείωσαν ελαφρώς την ανάπτυξη των φυτών, και τα οπτικά χαρακτηριστικά ποιότητας, ανεξαρτήτως φυτικού είδους. Ωστόσο η χρήση του 80% του θερμικώς διογκωμένου σχιστόλιθου δεν είχε αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών και μείωσε το βάρος του φυτοδόματος.

Τέλος, οι Thuring et al. (2010), πραγματοποίησαν πειραματική μελέτη για την αξιολόγηση της διογκωμένης αργίλου σε σύγκριση με το θερμικώς διογκωμένο σχιστόλιθο, στα οποία προστέθηκε compost μανιταριών για την ανάπτυξη ποωδών φυτών. Παρά τις κάποιες ατομικές αντιδράσεις μερικών φυτών, οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι τα φυτά αναπτύχθηκαν καλύτερα στο υπόστρωμα διογκωμένης αργίλου σε σύγκριση με το θερμικώς διογκωμένο σχιστόλιθο διότι είχε μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας και θρεπτικών στοιχείων Αυτό δεν παρατηρήθηκε έντονα κατά τη διάρκεια των περιόδων ξηρασίας.

1.2.1 Ελαφρόπετρα

Η ελαφρόπετρα είναι ένα πορώδες ηφαιστειακό πέτρωμα, χημικά αδρανές. Έχει δημιουργηθεί από ηφαιστειακή δράση και το πορώδες του υλικού είναι αποτέλεσμα των κενών που δημιουργούνται από τους εγκλωβισμένους ατμούς κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ψύξης της λάβας. Λόγω του μικρού βάρους της, της απορροφητικότητας και της δομικής αντοχής από την οποία χαρακτηρίζεται, η ελαφρόπετρα έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές γεωργικές εφαρμογές όπως στην υδροπονία ως υπόστρωμα για οπωροκηπευτικά και δρεπτά άνθη.

Τελευταία, έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες ώστε να διαπιστωθεί εάν η ελαφρόπετρα αποτελεί κατάλληλο υλικό για τη χρήση σε φυτοδώματα. Σε πείραμα που διεξήχθη στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών από τους Nydríoti et al. (2009), ελέγχθηκε η επίδραση πέντε διαφορετικών υποστρωμάτων σε συνδυασμό με δύο συστήματα αποστράγγισης στην ανάπτυξη χλοοτάπητα σε φυτοδόμα. Η έρευνα έδειξε ότι η ανάπτυξη του γρασιδιού ενισχύθηκε στο υπόστρωμα που περιείχε 30% ελαφρόπετρα, 30% έδαφος και 40% περλίτη. Παρόμοια αποτελέσματα

παρατηρήθηκαν για τα φυτά *Dianthus*, τα θερμοφιλα γρασίδια και για τη λεβάντα (Nektarios et al., 2011; Ntoulas et al., 2012, Kotsiris et al., 2012).

1.3 Βάθος υποστρώματος

Η επιβίωση των φυτών στα φυτοδώματα καθορίζεται από το βάθος υποστρώματος και τις φυσικές ιδιότητες αυτού, και ειδικά όσον αφορά την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας.

Ωστόσο, πολλές φορές τα κριτήρια για την κατασκευή φυτοδωμάτων έρχονται σε αντιπαράθεση το ένα με το άλλο. Είναι επιθυμητό να έχουμε υψηλή συγκράτηση υγρασίας του υποστρώματος, κάτι, που εκτός των άλλων πραγματοποιείται κυρίως με την αύξηση του βάθους του υποστρώματος. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τους Latshaw et al. (2009), οι οποίοι αφού μελέτησαν δύο βάθη υποστρώματος 7.62 cm και 10.16 cm ως προς την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας και το ποσοστό αποστράγγισης, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το βαθύτερο υπόστρωμα έχει υψηλότερη αποθήκευση νερού και περισσότερες δυνατότητες αποστράγγισης. Επίσης όσο βαθύτερο είναι το υπόστρωμα τόσο βελτιώνεται η βιωσιμότητα των φυτών (Durhman et al., 2007; Getter and Rowe, 2008; Rowe et al., 2006; Kotsiris et al., 2012; Ntoulas et al., 2012; Nektarios et al., 2011). Τέλος, τα ρηχά υποστρώματα λόγω της αδυναμίας συγκράτησης μεγάλης ποσότητας νερού βιώνουν υψηλότερες θερμοκρασίες από τα πιο βαθιά (Fassman et al., 2010; Boivin et al., 2001).

Οι Nektarios et al. (2010), σε μελέτη που διεξήγαγαν για την ανάπτυξη του γρασιδιού *Zoysia matrella* 'Zeon' σε δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος (7.5 και 15 cm αντίστοιχα), σε τέσσερα διαφορετικής σύστασης υποστρώματα και με δύο ειδών αρδεύσεις (υψηλή και χαμηλή) βρήκαν ότι γενικά η ανάπτυξη του αγρωστώδους βελτιώνεται εάν αντικατασταθεί η τύρφη με compost εφόσον δεν υπάρχει υδατική καταπόνηση. Επίσης βρήκαν ότι η υδατική καταπόνηση των φυτών αμβλύνεται με την αύξηση του βάθους του υποστρώματος από 7.5 σε 15 cm.

1.4 Άρδευση

Στα εκτατικά φυτοδώματα, η άρδευση μπορεί να αντισταθμιστεί με τη μείωση του βάθους του υποστρώματος (VanWoert et al., 2005). Αν και οι κατευθυντήριες γραμμές του FLL (2008) έχουν δημιουργηθεί για τα βόρεια κλίματα και παρέχουν ελάχιστες πληροφορίες για την άρδευση των φυτοδωμάτων, έχει αναγνωριστεί από πολλούς ερευνητές ότι εάν πρόκειται τα εκτατικά φυτοδώματα να εφαρμοστούν σε ημιξηρικές περιοχές θα πρέπει να εφαρμόζεται άρδευση ειδικά για τα δύο πρώτα χρόνια της εγκατάστασης κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών (Getter and Rowe, 2006; Latocha and Batorska, 2007; Williams et al., 2010; Wolf and Lundholm, 2008; Nektarios et al., 2011).

Οι Thuring et al. (2010), διαπίστωσαν ότι εκτός από την ποσότητα άρδευσης, ο χρόνος της υδατικής καταπόνησης των φυτών έχει εξίσου σημαντικό αντίκτυπο στην εγκατάσταση του φυτικού υλικού στο φυτοδώμα. Αυτό επιβεβαιώθηκε από τις μετρήσεις ανάπτυξης που έγιναν όταν εφαρμόστηκε υδατική καταπόνηση στην αρχή της εγκατάστασης.

1.5 Επιλογή φυτικών ειδών

Στα εκτατικά φυτοδώματα, λόγω του τύπου και του βάθους του υποστρώματος καθώς και λόγω της έλλειψης διαχείρισης και άρδευσης, τα περισσότερα φυτικά είδη δεν μπορούν να εγκατασταθούν και να αναπτυχθούν. Έτσι οι Sendo et al. (2006) αποφάσισαν να μελετήσουν την ανάπτυξη καλλωπιστικών φυτών σε φυτοδώματα στην Ιαπωνία. Χρησιμοποιήθηκαν πέντε είδη φυτών (*Turf*, *Thyme*, *Sedum*, *Verbena*, and *Marigold*) και εγκαταστάθηκαν σε δύο τύπους ρηχού υποστρώματος (με περλίτη και χωρίς περλίτη) και με δύο είδη αρδεύσεων (5 L κάθε δεύτερη ημέρα και κάθε μία εβδομάδα). Τα συμπεράσματα που βγήκαν ήταν ότι με αραιή άρδευση αναπτύχθηκαν καλά τα *Sedum*. Από τα υπόλοιπα είδη η *Verbena* και το *Thyme* θεωρήθηκαν

κατάλληλα λόγω της ανάπτυξης τους, ενώ από τα δύο το *Thyme* χρειάστηκε επιπλέον καλλιεργητικές φροντίδες.

1.5.1 *Ebenus cretica* L.

Το γένος *Ebenus* L. (*Leguminosae* - *Papilionoideae*) περιλαμβάνει περίπου 20 είδη που κατανέμονται ανά τον κόσμο από το Αφγανιστάν δυτικότερα προς την Ανατολία, την Ελλάδα και τη Βόρεια Αφρική (Huber – Morath, 1965). Το γένος ανήκει στη φυλή *Hedysareae* και είναι στενά συνδεδεμένη με τη γένη *Onobrychis* Miller και *Hedysanum* L. Τα δύο ευρωπαϊκά είδη *Ebenus cretica* L. και *Ebenus sibthorpii* DC. ανήκουν στην ομάδα *Boiss Euebenus* (Huber – Morath, 1965; Ball, 1968).

Το φυτικό είδος *Ebenus cretica* L., είναι ενδημικό φυτό της Κρήτης με δυνατότητες εκμετάλλευσης για τα άνθη του ως δρεπτά ή ως γλαστρικό φυτό. Αποτελεί ένα πολυετές ποώδες ή ημιθαμνώδες αειθαλές είδος που φτάνει τα 60 cm σε ύψος, το οποίο ανθίζει Απρίλιο – Ιούνιο. Τα φύλλα του είναι σύνθετα παλαμοειδή και αποτελούνται από 3 έως 7 φυλλάκια, μήκους 1-3 cm και πλάτους 4-6 mm. Τα άνθη του χαρακτηρίζονται από πολυάριθμους ποικίλου πάχους βότρες οι οποίοι φέρουν κατά μέσο όρο 50 άνθη χρώματος ροζ ή μωβ μεγέθους 10-12 mm (Syros et al., 2006). Οι βότρες έχουν μήκος 5-15 cm. Στη Κρήτη υπάρχει μεγάλη ποικιλομορφία όσον αφορά τα μορφολογικά χαρακτηριστικά μεταξύ των πληθυσμών του *E. cretica*, ωστόσο οι διαφορές στο χρώμα των ανθέων είναι πολύ σπάνιες (Lydaki and Vlahos, 1998). Στη φύση αναπαράγεται με σπόρο ενώ η αγενής αναπαραγωγή με μοσχεύματα είναι πολύ δύσκολη (Vlahos, 1996; Polunin, 1987; Syros et al., 2000). Το *E. cretica* έχει τέσσερις οικότυπους (Α, Β, Γ και Δ). Ο οικότυπος Α είναι κυρίαρχος στη δυτική και κεντρική Κρήτη. Ο οικότυπος Β έχει εντοπιστεί κατ' επανάληψη στη δυτική Κρήτη και σποραδικά στη κεντρική. Ο οικότυπος Γ έχει εντοπιστεί τοπικά στη δυτική μεριά του νησιού και αρκετά συχνά στη κεντρική Κρήτη. Τέλος ο οικότυπος Δ έχει βρεθεί μόνο στη κεντρική Κρήτη. Σύμφωνα με έρευνες οι οικότυποι Α και Β ανήκουν στην ίδια γενετική ομάδα ενώ το ίδιο ισχύει και για τους οικότυπους Γ και Δ. (Syros et al., 2003).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία το φυτικό είδος *E. cretica* δεν έχει τύχει ευρείας έρευνας ως προς τη χρήση του ως καλλωπιστικό φυτό σε φυτοδώματα, ούτε ως προς την ανάπτυξή του σε διάφορα υποστρώματα και περιβαλλοντικές συνθήκες.

1.5.2 *Crithmum maritimum* L.

Το φυτικό είδος *Crithmum maritimum* L. ανήκει στην οικογένεια *Apiaceae* και είναι γνωστό ως κρίταμος ή θαλάσσιος μάραθος. Αποτελεί προαιρετικό αλόφυτο και αναπτύσσεται σε παραθαλάσσια βράχια και μερικές φορές στην άμμο. Είναι κατανομημένο κατά μήκος των παράκτιων περιοχών της Μεσογείου και του Ατλαντικού Ωκεανού. Είναι πολυετές φυτό και χαρακτηρίζεται από τα σαρκώδη φύλλα του. Έχει χρησιμοποιηθεί ως συστατικό τροφίμων και στη λαϊκή ιατρική και παρουσιάζει οικονομικό ενδιαφέρον ως προς την καλλιέργεια του, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας του σε φλαβονοειδή, καροτενοειδή, βιταμίνη C και ουσίες με αντιμικροβιακή δράση (Coiffard, 1991; Amor et al., 2005).

Προς το παρόν δεν έχουν πραγματοποιηθεί ερευνητικές μελέτες για την ανάπτυξη του συγκεκριμένου είδους σε διαφορετικά υποστρώματα κάτω από υδατική καταπόνηση. Ωστόσο οι Fernandez et al. (2012), διεξήγαγαν έρευνα για την ανάπτυξη των ριζών του *C. maritimum* σε υπόστρωμα ρυπασμένο με βαρέα μέταλλα το οποίο εμβολιάστηκε με διάφορα είδη μυκόρριζας ανά επέμβαση, ενώ βρισκόταν σε κατάσταση υδατικής καταπόνησης Παρατηρήθηκε, ότι η ανάπτυξη των ριζών του προς εξέταση φυτικού είδους ήταν μειωμένη, ενώ οι προσπάθειες θεραπείας με όλα τα δυνατά μέσα δεν είχαν κανένα αποτέλεσμα.

1.6 Σκοπός της μελέτης

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης χωρίζεται σε δύο μέρη. Πρώτον, στη διερεύνηση της καταλληλότητας της ελαφρόπετρας ως κύριο συστατικό σε υπόστρωμα για τη χρήση τους σε εκτατικά φυτοδώματα, και δημιουργία του υποστρώματος αυτού. Το δεύτερο μέρος αφορά στην έρευνα ως προς την ανάπτυξη δύο ενδημικών φυτικών ειδών της Κρήτης, σε δύο διαφορετικά υποστρώματα, βάθη και αρδεύσεις, για τη χρήση τους σε φυτοδώματα.

2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Αντικείμενο μελέτης

Το αντικείμενο της παρούσας μελέτης χωρίζεται σε δύο επιμέρους ενότητες. Η πρώτη ενότητα αφορά εργαστηριακές αναλύσεις, για τον προσδιορισμό των φυσικοχημικών ιδιοτήτων διαφόρων υποστρώματων με βάση την ελαφρόπετρα μεγέθους 0-8 mm, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στο οικείο εργαστήριο του Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθήνας από τις 5 Μαρτίου 2012 έως τις 5 Σεπτεμβρίου 2012. Η δεύτερη, έλαβε χώρα στον πειραματικό αγρό του οικείου Εργαστηρίου με αντικείμενο μελέτης την ανάπτυξη και ανθοφορία υπό καταπόνηση των αυτοφυών φυτών *E. cretica* και *C. maritimum* ως προς τρεις παράγοντες: **α)** είδος υποστρώματος, **β)** βάθος υποστρώματος και **γ)** ποσότητα άρδευσης. Το πείραμα ξεκίνησε την 25^η Ιουλίου 2011 και ολοκληρώθηκε την 28^η Αυγούστου 2012.

2.2 Διερεύνηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων υποστρώματων με βάση την ελαφρόπετρα 0-8 mm

Για τη δημιουργία υποστρώματος κατάλληλου για χρήση σε φυτοδώματα έχοντας ως κύριο συστατικό την ελαφρόπετρα, διενεργήθηκαν ξεχωριστές μετρήσεις για τα ανόργανα και οργανικά υλικά που θεωρήθηκαν κατάλληλα για αυτό το σκοπό.

Τα ανόργανα υλικά που μελετήθηκαν ήταν τα εξής:

- **Ελαφρόπετρα 0-8 mm.** Η προμήθεια της ελαφρόπετρας διαμέτρου 0-8 mm έγινε από την εταιρεία Λαβα Μεταλλευτική και Λατομική Α.Ε (Παιανία, Αττική). Η εξόρυξη του υλικού γίνεται στη νήσο Γυαλί που ανήκει στα Δωδεκάνησα.

- **Θραυστό κεραμίδι Τρικάλων χονδρόκοκκο.**
- **Θραυστό κεραμίδι Τρικάλων λεπτόκοκκο.**
- **Θραυστό κεραμίδι Χαλκίδας μεγέθους 1-2 mm.**
- **Θραυστό κεραμίδι Χαλκίδας μεγέθους 2-4 mm.**
- **Θραυστό κεραμίδι Χαλκίδας μεγέθους 5-8 mm.**
- **Θραυστό κεραμίδι Χαλκίδας μεγέθους 5-16 mm.**
- **Θραυστό τούβλο μεγέθους 2-4 mm.**
- **Θραυστό τούβλο μεγέθους 5-8 mm.**
- **Άργιλος θερμικώς κατεργασμένη από την εταιρεία GeoHellas S.A.**

Τα οργανικά υλικά που μελετήθηκαν ήταν τα εξής:

- Τύρφη
- Compost ελαιουργίας (OMWC).
- Compost φυτικών υπολειμμάτων αναμειγμένα με κοπριά αλόγου και βοοειδών (GWC).
- Compost στέμφυλων (GMC).

Τα composts επιλέχτηκαν σύμφωνα με τη διαθεσιμότητά τους τόσο στην Ελληνική όσο και στην παγκόσμια αγορά.

2.2.1 Ελαφρόπετρα 0-8 mm

Για τον προσδιορισμό των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων της ελαφρόπετρας 0-8 mm κρίθηκε σκόπιμο να πραγματοποιηθούν οι παρακάτω μετρήσεις:

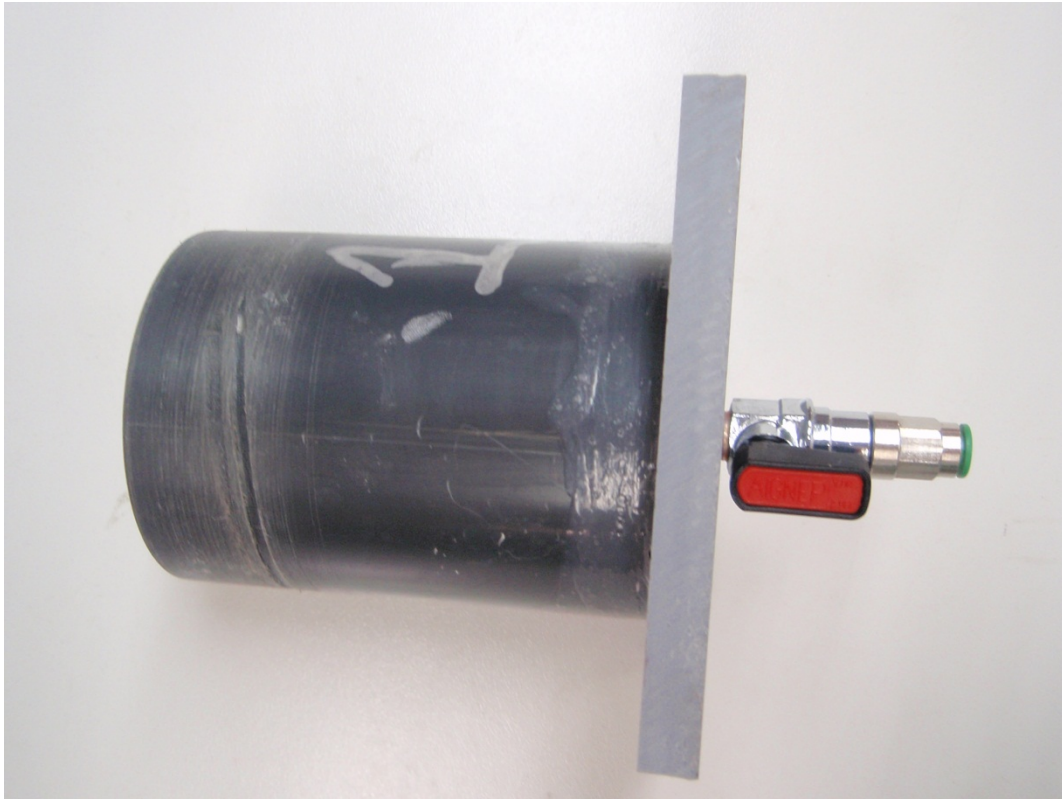
- Πορώδες της ελαφρόπετρας.
- pH ελαφρόπετρας.
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC).
- Καμπύλη υγρασία της ελαφρόπετρας.
- Κοκκομετρική ανάλυση της ελαφρόπετρας.
- Υδραυλική αγωγιμότητα της ελαφρόπετρας.

2.2.1.1 Προσδιορισμός του πορώδους της ελαφρόπετρας

Για τη συγκεκριμένη μέτρηση δημιουργήθηκαν 6 μικρολυσίμετρα από PVC, τα οποία είχαν ύψος 10 cm και εσωτερική διάμετρο 7 cm. Στο κάτω μέρος του μικρολυσίμετρου τοποθετήθηκε μεταλλική βαλβίδα ώστε να ρυθμίζεται η αποστράγγιση.

Για τον προσδιορισμό του πορώδους χρησιμοποιήθηκαν τρία μικρολυσίμετρα και η διαδικασία ήταν η εξής: Κάθε μικρολυσίμετρο πληρώθηκε με αποξηραμένη σε κλίβανο, ελαφρόπετρα διαμέτρου 0-8 mm. Αφού έγινε επαρκής συμπίεση της ελαφρόπετρας μέσα στα μικρολυσίμετρα ώστε να μην υπάρχουν κενά και ζύγιση αυτών, πραγματοποιήθηκε κορεσμός των μικρολυσιμέτρων με απιονισμένο νερό, με τη βοήθεια περισταλτικής αντλίας, από κάτω προς τα πάνω μέσω της μεταλλικής βαλβίδας. Τέλος τα κορεσμένα μικρολυσίμετρα ζυγίστηκαν ξανά και με τους κατάλληλους υπολογισμούς έγινε ο προσδιορισμός του πορώδους για κάθε

μικρολυσίμετρο. Κάθε μικρολυσίμετρο αποτέλεσε μία επανάληψη της μέτρησης κι έτσι η όλη διαδικασία επαναλήφθηκε τρεις φορές.



Εικόνα 2.1: Απεικόνιση του μικρολυσίμετρου με τη μεταλλική βαλβίδα.



Εικόνα 2.2: Προσδιορισμός του όγκου πορώδους της ελαφρόπετρας 0-8 mm σε κάθε μικρολυσίμετρο.

2.2.1.2 Προσδιορισμός του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC)

Το pH προσδιορίστηκε με το όργανο Orion pH/ISE Benchtop Meter 710Aplus (Thermo Electron Corporation, Beverly, MA 01915 USA) για όλες τις μετρήσεις της μελέτης. Το ίδιο ισχύει και για το όργανο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας Hand-held Conductivity/TDS/Temperature Meter CyberScan CON100 (Eutech Instruments Pte Ltd., 139949, Singapore). Ο προσδιορισμός του pH πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας πέντε διαφορετικές μεθοδολογίες, τις παρακάτω:

- Στατική μέτρηση του pH σε διάλυμα ίσο με ένα πορώδες.
- Μέτρηση του pH στο χρόνο και σε διαδοχικά πορώδη.
- Μέτρηση του pH μέσω διήθησης.
- Μέτρηση του pH στο χρόνο έχοντας τα μικρολυσίμετρα αεροστεγώς σφραγισμένα.
- Μέτρηση του pH στο χρόνο έχοντας τα μικρολυσίμετρα αρχικά ακάλυπτα και ύστερα αεροστεγώς σφραγισμένα.

Η μέτρηση του EC πραγματοποιήθηκε σε όλα τα παραπάνω δείγματα.



Εικόνα 2.3: Εργαστηριακός εξοπλισμός για τον προσδιορισμό των pH και EC των προϊόντων έκπλυσης.

2.2.1.2.1 Στατική μέτρηση του pH σε διάλυμα ίσο με ένα πορώδες

Ύστερα από τον κορεσμό των μικρολυσιμέτρων από κάτω προς τα πάνω με απιονισμένο νερό αφέθηκαν να στραγγίσουν ώστε να μετρηθεί το pH του αποστραγγισμένου διαλύματος.

2.2.1.2.2 Μέτρηση του pH στο χρόνο, σε διαδοχικά πορώδη

Έχοντας ως σκοπό τη διερεύνηση της διακύμανσης του pH της ελαφρόπετρας 0-8 mm στο χρόνο διεξήχθησαν δύο πειράματα:

Η πρώτη μελέτη περιελάμβανε τη συνεχή παροχή νερού μέσω μιας προχοϊδας. Στο αποστράγγισμα που συγκεντρωνόταν από κάθε ήμισυ όγκο πορώδους πραγματοποιούνταν μέτρηση του pH. Η διαδικασία αυτή διήρκησε τόσο, ώστε να γίνει επαρκής έκπλυση της ελαφρόπετρας. Συνολικά εκπλύθηκαν περίπου 20 όγκοι πορώδους. Σε αυτή τη μελέτη τα δείγματα από τους 5 – 10 όγκους πορώδους αποθηκεύτηκαν αεροστεγώς σφραγισμένα και ο προσδιορισμός του pH τους έγινε ύστερα από 48 ώρες, ενώ τα υπόλοιπα δείγματα μετρήθηκαν μέσα σε 30 λεπτά από τη συλλογή τους.

Στη δεύτερη μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια μικρολυσίμετρα με τη μελέτη *α* και συνεχίστηκε κατά τον ίδιο τρόπο η συλλογή του αποστραγγισμένου διαλύματος. Ωστόσο η ειδοποιός διαφορά σε αυτή τη περίπτωση ήταν ότι το αποστραγγισμένο διάλυμα συλλεγόταν και ακολούθως το pH μετριόταν ξεχωριστά στους 1, 5, 10, 15 και 20 όγκους πορώδους και συλλογικά στους 2-4, 6-9, 11-14 και 16-19 όγκους πορώδους. Σε αυτή τη μελέτη τα μικρολυσίμετρα και τα δείγματα που συλλέχτηκαν αποθηκεύτηκαν ακάλυπτα. Τέλος το pH μετρήθηκε τρεις φορές στις εξής ημερομηνίες: 20 Μαρτίου, 23 Μαρτίου και 5 Απριλίου 2012 στα παραπάνω δείγματα ενώ το EC προσδιορίστηκε μόνο την 20^η Μαρτίου 2012.

2.2.1.2.3 Μέτρηση του pH μέσω διήθησης

Για τον προσδιορισμό του pH μέσω διήθησης πραγματοποιήθηκαν τρεις επαναλήψεις. Σε δοχείο ζέσεως τοποθετήθηκε ελαφρόπετρα και απιονισμένο νερό σε αναλογία 1:5, το οποίο καλύφθηκε και αναδεύτηκε για 1 ώρα στα 250 rpm. Ύστερα, το μείγμα φιλτραρίστηκε και έγινε η μέτρηση του pH. Η ελαφρόπετρα που βρέθηκε στο χαρτί διήθησης επανατοποθετήθηκε στο δοχείο και αφού προστέθηκε νερό επαναλήφθηκε η ίδια διαδικασία. Η παραπάνω μέτρηση επαναλήφθηκε επτά φορές συνολικά.

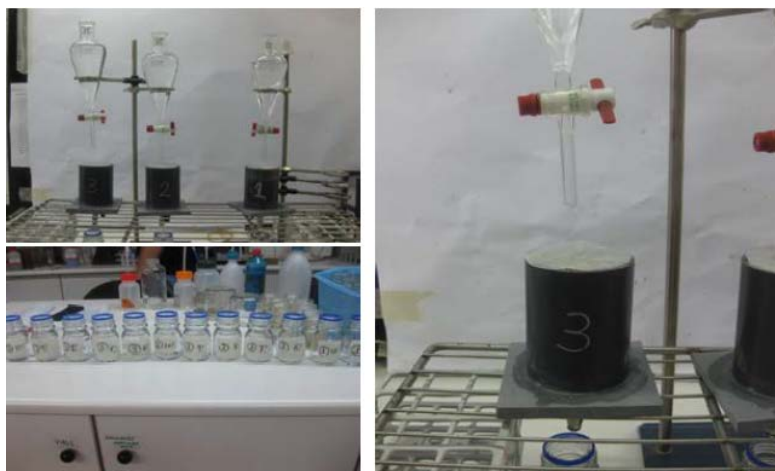


Εικόνα 2.4: Απεικόνιση του μηχανήματος ανάδευσης και η διήθηση για τον προσδιορισμό του pH και του EC.

2.2.1.2.4 Μέτρηση του pH στο χρόνο έχοντας τα μικρολυσίμετρα αεροστεγώς σφραγισμένα

Τα 6 μικρολυσίμετρα πληρώθηκαν με ελαφρόπετρα και κορέστηκαν με απιονισμένο νερό κατά τον ίδιο τρόπο με τα μικρολυσίμετρα που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό του πορώδους. Στη συνέχεια, αυτά καλύφθηκαν αεροστεγώς με πλαστική μεμβράνη. Αμέσως μετά τον κορεσμό το πρώτο μικρολυσίμετρο αφέθηκε να αποστραγγίσει ελεύθερα ώστε να μετρηθεί το pH. Το διάλυμα από τα υπόλοιπα

μικρολυσίμετρα πάρθηκε ως αποστραγγισμένος όγκος στις 0, 3, 6, 12, 24 και 30 ώρες μετά τον κορεσμό.



Εικόνα 2.5: Σύστημα συλλογής του διαλύματος αποστράγγισης σε διαδοχικά πορώδη για τον καθορισμό του pH και του EC.

2.2.1.2.5 Μέτρηση του pH στο χρόνο έχοντας τα μικρολυσίμετρα αρχικά ακάλυπτα και ύστερα αεροστεγώς σφραγισμένα

Η μέτρηση αυτή ακολούθησε την ίδια διαδικασία με την παραπάνω έως το σημείο του κορεσμού. Μετέπειτα, με τη χρήση της μεταλλικής βαλβίδας το αποστραγγισμένο διάλυμα αφέθηκε να στραγγίξει έως το $\frac{1}{4}$ του όγκου πορώδους από όλα τα μικρολυσίμετρα. Οι διαδοχικοί όγκοι αποστράγγισης συλλέχτηκαν και αναλύθηκαν ως προς το pH και το EC στις 0, 3, 6, 19, 25, 31 και 43 ώρες.



Εικόνα 2.6: Απεικόνιση των μικρολυσιμέτρων αεροστεγώς κλεισμένα για την μέτρηση του pH και του EC σε διαδοχικά χρονικά διαστήματα.

2.2.1.3 Προσδιορισμός της καμπύλης υγρασίας της ελαφρόπετρας 0-8 mm

Για τη δημιουργία της καμπύλης υγρασίας της ελαφρόπετρας 0-8 mm κατασκευάστηκε μία στήλη τμηματοποιημένη σε 20 ξεχωριστούς αριθμημένους δακτυλίους από PVC. Το συνολικό ύψος της στήλης ήταν 100 cm ενώ η εσωτερική διάμετρος ήταν 75 mm. Η ελαφρόπετρα αφού αποξηράνθηκε στο ξηραντήριο για 24 ώρες στους 100 °C τοποθετήθηκε εντός της στήλης. Οι καμπύλες υγρασίας επαναλήφθηκαν τρεις φορές ώστε να προσδιοριστεί η μεταβλητότητα του υλικού. Η όλη διαδικασία πραγματοποιήθηκε όπως περιγράφεται στο Nektarios et al. (2011).

2.2.1.4 Κοκκομετρική ανάλυση της ελαφρόπετρας 0-8 mm

Ύστερα από καλή ανάμειξη της ελαφρόπετρας πάρθηκε δείγμα το οποίο χωρίστηκε σε τρία ίσα μέρη. Το κάθε υπόδειγμα τοποθετήθηκε στα κόσκινα και μετά στο μηχανισμό ανακίνησης για 5 min σύμφωνα με το ASTM (2007). Τα διαχωρισμένα μεγέθη κόκκων ζυγίστηκαν και υπολογίστηκε το ποσοστό συμμετοχής κάθε

κοκκομετρίας στο προς διερεύνηση υλικό. Τέλος ερευνήθηκε εάν η ελαφρόπετρα 0-8 mm πληρεί τις προϋποθέσεις του FLL (2008).

2.2.1.5 Προσδιορισμός της υδραυλικής αγωγιμότητας της ελαφρόπετρας 0-8 mm

Η ελαφρόπετρα τοποθετήθηκε σε τρεις ατσάλινους σωλήνες, ύψους 10 cm και εσωτερικής διαμέτρου 7.5 cm. Οι σωλήνες τοποθετήθηκαν κάτω από μία κεφαλή που προμήθευε νερό συνεχώς, ενώ το ύψος του νερού ήταν σταθερό στα 5 cm. Ο αποστραγγισμένος όγκος μετρήθηκε στις 2, 3 και 4 ώρες και στα τρία δείγματα ενώ ταυτόχρονα μετρήθηκε και η θερμοκρασία του διαλύματος. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του USGA (2003).

2.2.2 Θραυστό κεραμίδι, θραυστό τούβλο και θερμικώς κατεργασμένη άργιλος

Για τα παραπάνω ανόργανα συστατικά προσδιορίστηκαν ορισμένες φυσικές και χημικές ιδιότητές τους ώστε να γίνει η επιλογή τους προκειμένου να συμμετέχουν στη δημιουργία του υποστρώματος. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν οι εξής:

- a) Προσδιορισμός του pH και του EC μέσω διήθησης σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στο κεφάλαιο 2.2.1.2.3.
- b) Δυαδική σύγκριση των ανόργανων υλικών με βάση το pH και το EC που παρουσίασαν.
- c) Κοκκομετρική ανάλυση των ανόργανων υλικών όπως περιγράφεται το κεφάλαιο 2.2.1.4.
- d) Προσδιορισμός της καμπύλης υγρασίας των ανόργανων υλικών όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 2.2.1.3.

2.2.3 Οργανικά συστατικά

Για την εύρεση του κατάλληλης οργανικής ουσίας για τη δημιουργία του υποστρώματος με κύριο συστατικό την ελαφρόπετρα συλλέχτηκαν διάφορα composts τόσο φυτικής όσο και ζωικής προέλευσης. Η επιλογή τους έγινε με βάση τη διαθεσιμότητά τους στην τοπική αγορά. Στα composts και στην τύρφη προσδιορίστηκε το pH και το EC μέσω δίηθησης όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 2.2.1.2.3. Επίσης πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις για την ικανότητα συγκράτηση υγρασίας, την περιεκτικότητά τους σε θρεπτικά συστατικά, ιχνοστοιχεία κ.α.

2.2.4 Προσδιορισμός κατάλληλου μείγματος

Τα μείγματα που δημιουργήθηκαν έπειτα από τη μελέτη του κάθε συστατικού ξεχωριστά, μελετήθηκαν εκ νέου ως προς το pH και το EC τους, την καμπύλη υγρασίας τους, την υδραυλική αγωγιμότητα και την κοκκομετρία τους, όπως περιγράφονται στα παραπάνω κεφάλαια ώστε να διαφανεί το καταλληλότερο υπόστρωμα για το σκοπό της παρούσας μελέτης.

2.3 Μελέτη στον πειραματικό αγρό

2.3.1 Χαρακτηριστικά πειραματικών τεμαχίων

Τα πειραματικά τεμάχια βρίσκονται στο πειραματικό αγρό του οικείου Εργαστηρίου και κατασκευάστηκαν από εμποτισμένη ξυλεία, ενώ η διαδικασία εγκατάστασης και οι διαστρώσεις που προστέθηκαν ακολουθούν τις κατευθυντήριες αρχές για την κατασκευή ενός φυτοδώματος, όπως περιγράφονται στη μεταπτυχιακή μελέτη του Αμούντζια (2011). Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε εσωτερικές διαστάσεις 58 cm x 60 cm και συνολικού εμβαδού 0.348 m². Τα πειραματικά τεμάχια κατασκευάστηκαν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να έχουν δύο βάθη υποστρώματος στα 7.5 cm και στα 15 cm αντίστοιχα. Τέλος τα πειραματικά τεμάχια ήταν 80 στον αριθμό, και χωρίζονταν σε γραμμικές ομάδες των 20 τεμαχίων.

2.3.2 Υποστρώματα

Τα υποστρώματα ανάπτυξης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν δύο και παρατίθενται στον Πίνακα 2.1. Τα υποστρώματα είχαν βασικό συστατικό την ελαφρόπετρα ενώ περιείχαν διάφορα ποσοστά από περλίτη, διογκωμένη άργιλο, ζεόλιθο, τύρφη και compost. Τα υποστρώματα επιλέχτηκαν σύμφωνα με τις προδιαγραφές του FLL (2008). Το compost που χρησιμοποιήθηκε περιείχε φυτικά υπολείμματα από άχυρο, πριονίδι, κομμένο γρασίδι, αποξέσματα ξύλου, και ζωική κοπριά από αγελάδες πουλερικά και άλογα, ενώ η προμήθειά του έγινε από την εταιρία Λ. Καμπάνης ΑΕ (Σπάτα, Αττική).

Η ανάμειξη των υποστρωμάτων καθώς και ο τρόπος πλήρωσης των πειραματικών τεμαχίων με τα υποστρώματα περιγράφεται στη μεταπτυχιακή μελέτη του Αμούντζια (2011).

Το υπόστρωμα P_{um}50:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀ χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας, καθώς έχει μελετηθεί ξανά ως προς την ανάπτυξη φυτικών ειδών από τους Nektarios et al. (2011), ώστε να συγκριθεί με το καινούριο υπόστρωμα P_{um}40:Cl₄₀:P₈:C₇:Z₅.

Πίνακας 2.1: Καταγραφή των υποστρωμάτων και της αναλογίας των συστατικών τους που επιλέχθηκαν για τη διεξαγωγή της μελέτης.

ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΕΛΑΦΙΚΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ							
Αριθμός υποστρώματος	Ελαφρόπετρα (P _{um})	Διογκωμένη Αργίλος (Cl)	Συστατικά υποστρωμάτων				Σύνολο
			Περλίτης (PER)	Τύρφη (P)	Compost (C)	Ζεόλιθος (Z)	
P_{um}50:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀	50	-	20	-	20	10	100
P_{um}40:Cl₄₀:P₈:C₇:Z₅	40	40	-	8	7	5	100

2.3.3 Φυτικό υλικό

Στη παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν, για τη σύγκριση της ανάπτυξής τους, δύο ενδημικά φυτικά είδη της Κρήτης τα *E. cretica* και *C. maritimum*. Το φυτό του *E. cretica* προήλθε από σπορόφυτο το οποίο συλλέχτηκε από την Κρήτη. Η σπορά έγινε στις 17 Ιανουαρίου 2011 και η μεταφύτευση στη τελική τους θέση πραγματοποιήθηκε στις 17 Ιουνίου 2011 όταν τα φυτά είχαν αναπτύξει τα πέντε πρώτα φύλλα τους.

Το *C. maritimum* προήλθε από μόσχευμα και η προμήθειά του έγινε από φυτώριο. Τέλος η μεταφύτευσή του στο πειραματικό αγρό έγινε την ίδια μέρα με το *E. cretica*.

2.3.4 Λίπανση

Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκε μία λίπανση στις 26 Ιουνίου 2011 με το βραδείας αποδέσμευσης λίπασμα Floranid, της εταιρείας COMPO EXPERT. Η ποσότητα που χορηγήθηκε ήταν 2 g ανά πειραματικό τεμάχιο.

2.3.5 Πειραματικό σχέδιο και επεμβάσεις

Στην παρούσα μελέτη εξετάστηκαν τρεις παράγοντες: το είδος του υποστρώματος, το βάθος του υποστρώματος και η ποσότητα άρδευσης. Αναλυτικότερα, τα δύο είδη υποστρώματος ήταν τα $P_{um50}:P_{er20}:C_{20}:Z_{10}$ και $P_{um40}:C_{l40}:P_8:C_7:Z_5$ (όπου P_{um} = ελαφρόπετρα, Cl = διογκωμένη άργιλος, P_{er} = περλίτης, P = τύρφη, C = compost, Z = ζεόλιθος) σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες, τα βάθη υποστρώματος ήταν τα 7.5 cm και 15 cm αντίστοιχα ενώ πραγματοποιούνταν δύο είδη άρδευσης, ως προς την ποσότητα, 60% και 30% της δυνητικής εξάτμισης (υψηλή και χαμηλή άρδευση αντίστοιχα). Συνολικά το πείραμα διέθετε 80 πειραματικά τεμάχια που ήταν χωρισμένα σε δύο μελέτες των 40 τεμαχίων. Η κάθε μελέτη αφορούσε αντίστοιχα τα φυτικά είδη *E. cretica* και *C. maritimum*. Τα πειραματικά τεμάχια τυχαιοποιήθηκαν σύμφωνα με το εντελώς τυχαιοποιημένο σχέδιο.

Για τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων του πειράματος χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση MANOVA και επιλέχθηκε η δοκιμασία του F σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Η σύγκριση των επεμβάσεων έγινε με το δείκτη LSD. Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με το πρόγραμμα Statgraphics (SGWIN, 2.0, Statistical graphics corporation, 1995).

2.3.6 Άρδευση

Η άρδευση εφαρμοζόταν ανά 3 ημέρες και γινόταν με ψηφιακό μετρητή ροής της εταιρείας Gardena (8188). Η ποσότητα άρδευσης καθοριζόταν από την αθροιστική εξάτμιση που προέκυπτε μεταξύ των διαδοχικών αρδεύσεων. Η εξάτμιση μετριοταν με εξατμισόμετρο την ημέρα της άρδευσης κατά τις πρωινές ώρες από τρία διαφορετικά δοχεία εξάτμισης που βρίσκονταν εντός του πειραματικού αγρού και ύστερα χρησιμοποιούνταν ο μέσος όρος αυτών (Εικόνα 2.7).

Για τον υπολογισμό της ποσότητας άρδευσης χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση: Εξάτμιση x K_b x K_c x διαστάσεις τεμαχίων.

Ο συντελεστής K_b είναι ο συντελεστής του εξατμισόμετρου και αναφέρεται στη διακύμανση των τιμών η οποία σχετίζεται με τη ταχύτητα του ανέμου, τη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας του σημείου στο οποίο βρίσκεται τοποθετημένο το εξατμισόμετρο και της παρουσίας άλλων εμποδίων στο χώρο (Νικολάου, 2010). Στη συγκεκριμένη μελέτη έχει πάρει την τιμή 0.6.

Το K_c είναι ο συντελεστής καλλιέργειας και που ποικίλει ανάλογα με την καλλιέργεια και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού (Νικολάου, 2010). Για τα φυτικά είδη *E. cretica* και *C. maritimum* δεν έχουν οριστεί τιμές για το K_c γι' αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές για ξηροφυτικά φυτά για το πρώτο έτος εγκατάστασης. Για την υψηλή άρδευση ορίστηκε το 0.6 και για την χαμηλή άρδευση το 0.3 αντίστοιχα.

Επίσης στην εξίσωση συμμετέχουν και οι διαστάσεις των πειραματικών τεμαχίων 0.6 x 0.5 m.

Σύμφωνα με τα παραπάνω οι δύο εξισώσεις από τις οποίες υπολογιζόταν η ποσότητα άρδευσης του πειράματος είναι οι εξής:

$$\text{Υψηλή άρδευση} = \text{Εξάτμιση} \times 0.6 \times 0.6 \times 0.6 \times 0.5$$

$$\text{Χαμηλή άρδευση} = \text{Εξάτμιση} \times 0.6 \times 0.3 \times 0.6 \times 0.5$$



Εικόνα 2.7: Απεικόνιση εξατμισόμετρου και ψηφιακού μετρητή ροής.

2.3.7 Μετρήσεις

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη ήταν οι εξής:

- Υγρασία υποστρώματος κατ' όγκο.
- Συντελεστής ανάπτυξης.
- Άνθιση.

2.3.7.1 Υγρασία υποστρώματος

Η μέτρηση της υγρασίας υποστρώματος (Εικόνα 2.8) ξεκίνησε με την έναρξη της υδατικής καταπόνησης των φυτικών ειδών την 30^η Ιουλίου 2011 και σταμάτησε με την ολοκλήρωση της μελέτης την 23^η Αυγούστου 2012. Το έτος 2011 η μέτρηση της υγρασίας υποστρώματος γινόταν την ημέρα της άρδευσης, αμέσως μετά από αυτήν, και την επόμενη μέρα (σχεδόν 24 ώρες μετά την άρδευση). Αντίθετα, η μέτρηση της υγρασίας υποστρώματος το έτος 2012 πραγματοποιούνταν την ημέρα της άρδευσης μετά από αυτήν και δύο ημέρες μετά (σχεδόν 48 ώρες μετά την άρδευση). Η μέτρηση της υγρασίας γινόταν με το υγρασιόμετρο TDR300 sensor (Spectrum Technologies,

Inc., Plainfield, IL 60585 USA) και η υγρασία μετριόταν με ραβδιά διαφορετικού μήκους για το κάθε βάθος (7.5 cm και 12 cm) (Εικόνα 2.9). Η κάθε μέτρηση επαναλαμβανόταν τρεις φορές σε κάθε τεμάχιο και λαμβανόταν ο μέσος όρος.



Εικόνα 2.8: Μέτρηση υγρασίας υποστρώματος.



Εικόνα 2.9: Απεικόνιση υγρασιόμετρου με τα δύο μήκη ραβδιών (7.5 και 12 cm).

2.3.7.2 Ανάπτυξη και άνθιση των φυτικών ειδών

Η μέτρηση του συντελεστή ανάπτυξης γινόταν κάθε 15 ημέρες και περιελάμβανε δύο μετρήσεις με κλίμακα. Οι μετρήσεις αυτές ήταν **α)** το ύψος του φυτού και **β)** η κατά πλάτος μέτρηση του φυτού σε σχήμα σταυρού (δύο μετρήσεις). Η μέτρηση της ανάπτυξης των φυτών ξεκίνησε με τη έναρξη του πειράματος την 25^η Ιουλίου 2011 και ολοκληρώθηκε την 28^η Αυγούστου 2012.

Η άνθιση προσδιοριζόταν με την καταμέτρηση των ανθικών κεφαλών των φυτικών ειδών. Η μέτρηση αυτή ξεκίνησε την 27^η Ιουνίου 2012 και ολοκληρώθηκε την 28^η Αυγούστου 2012.

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Αποτελέσματα της πρώτης ενότητας της μελέτης

Η πρώτη μελέτη αφορούσε τη διερεύνηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των υποστρωμάτων τα οποία προορίζονται για χρήση σε φυτοδώματα εκτατικού τύπου με βάση την ελαφρόπετρα 0-8 mm. Το κάθε συστατικό αλλά και τα μείγματα που προέκυψαν, αναλύθηκαν ξεχωριστά ως προς το pH, την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), την καμπύλη υγρασίας και την υδραυλική αγωγιμότητα, ώστε να βρεθεί το ιδανικότερο υπόστρωμα με βασικό συστατικό την ελαφρόπετρα για τη χρήση σε φυτοδώματα.

3.1.1 Στατική μέτρηση του pH και EC σε ένα πορώδες, και της υδραυλικής αγωγιμότητας στην ελαφρόπετρα 0-8 mm

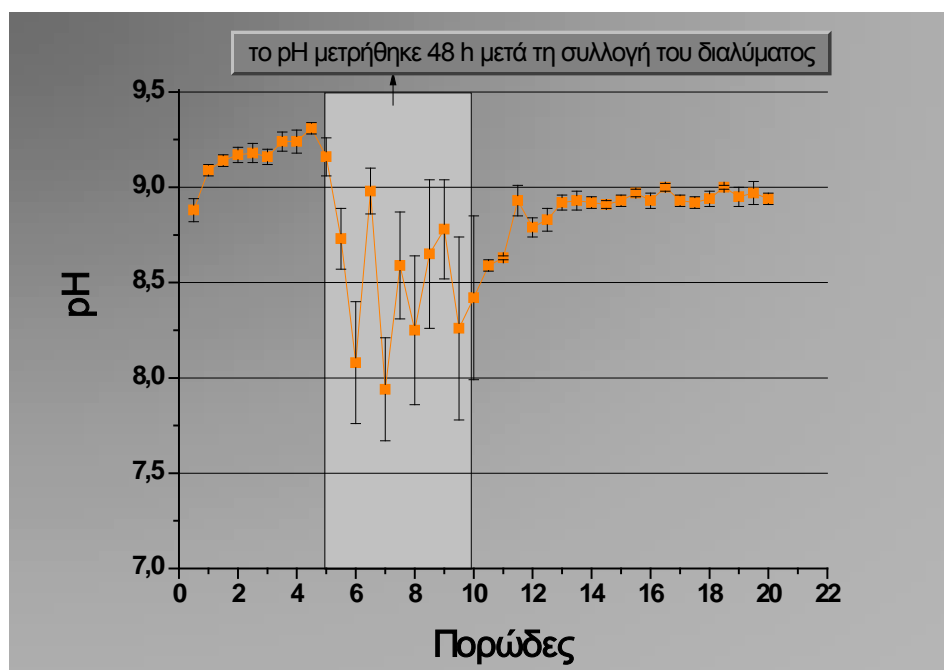
Ο προσδιορισμός του πορώδους, του pH, του EC και της υδραυλικής αγωγιμότητας σύμφωνα με τα πρότυπα αναλύσεων παρατίθενται στο Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Προσδιορισμός του πορώδους, pH, EC και της υδραυλικής αγωγιμότητας της ελαφρόπετρας 0-8 mm

	Πορώδες	pH	EC	Υδραυλική Αγωγιμότητα
Μ.Ο.	175.58	9.04	291.33	67.8
Τυπική απόκλιση	11.09	0.08	11.59	6.09

Βασιζόμενοι στην προαναφερθείσα ανάλυση (Πίνακας 3.1) η υδραυλική αγωγιμότητα της ελαφρόπετρας 0-8 είναι υψηλή και εμπίπτει μέσα στις κατευθυντήριες γραμμές του FLL (2008) για τα εκτατικά φυτοδώματα, ενώ το πορώδες και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του υλικού είναι ικανοποιητικά. Ο μόνος ανασταλτικός παράγοντας για την ανάπτυξη των φυτών είναι το υψηλό αλκαλικό pH που περιορίζει τη χρήση της ελαφρόπετρας σε ασβεστόφιλα φυτά. Ωστόσο αυτά τα ευρήματα έρχονται σε αντιπαράθεση με ερευνητικές μελέτες και εμπειρικές παρατηρήσεις, όπου η ελαφρόπετρα έχει χρησιμοποιηθεί ως υπόστρωμα ή ως συστατικό υποστρωμάτων στα οποία τα φυτά αναπτύχθηκαν χωρίς την εμφάνιση τροφοπενιών ή φυτοτοξικοτήτων από υψηλό pH. Εξαιτίας αυτών των αντιφάσεων πραγματοποιήθηκαν περαιτέρω μετρήσεις ώστε να διασαφηνιστεί το παράδοξο της υπόθεσης.

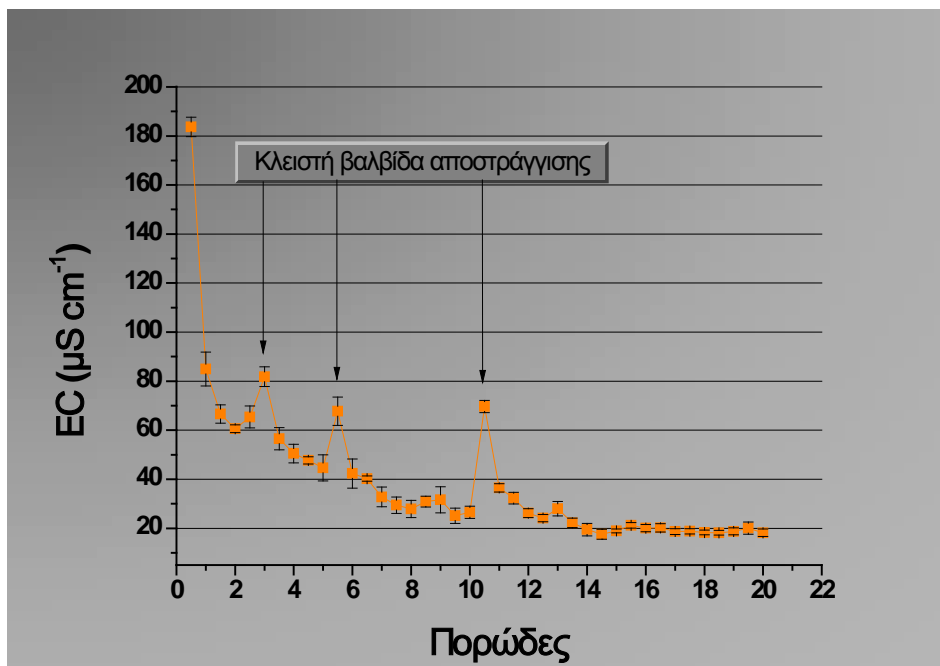
3.1.2 Καθορισμός του pH και του EC στο χρόνο, σε διαδοχικούς όγκους πορώδους



Σχήμα 3.1: Διακύμανση του pH σε διαδοχικούς όγκους πορώδους. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο τριών επαναλήψεων της μέτρησης (\pm τυπική απόκλιση). Η ανοιχτή γκρι περιοχή αντιπροσωπεύει τα δείγματα που μετρήθηκαν μετά από 48 ώρες από τη συλλογή του αποστραγγισμένου διαλύματος. Τα δείγματα αποθηκεύτηκαν σε δοχεία αεροστεγώς σφραγισμένα.

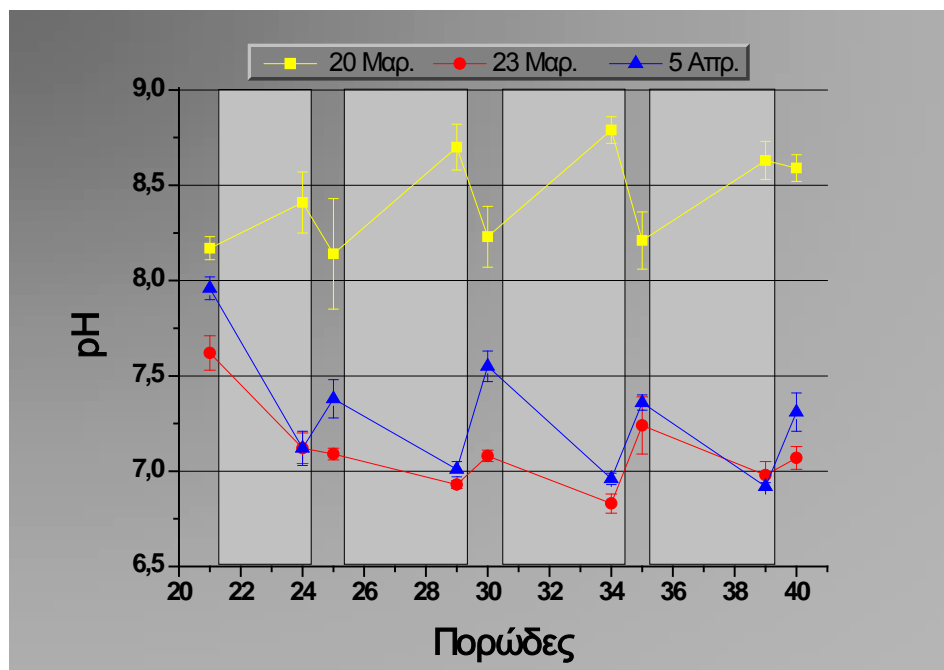
Ύστερα από τη μέτρηση του pH και του EC σε διαδοχικούς όγκους πορώδους, παρατηρήθηκε ότι η έκπλυση της ελαφρόπετρας 0-8 πάνω από 20 όγκους πορώδους συμβάλλουν στην ελάχιστη μείωση του pH (Σχ. 3.1) το οποίο παρουσιάζει τιμές που φτάνουν μέγιστο 9.3 περίπου και ελάχιστο 8.95. Ωστόσο η μείωση του pH στα δείγματα που αναλύθηκαν με καθυστέρηση 48 ωρών ήταν σημαντική με το μικρότερο pH να αγγίζει το 7.9 (Σχ. 3.1, ανοιχτή γκρι περιοχή). Αντίθετα στο EC παρατηρήθηκε σταδιακή μείωση κατά την έκπλυση του υλικού από τα $180 \mu\text{S cm}^{-1}$ στα $20 \mu\text{S cm}^{-1}$. Επίσης παρατηρήθηκε ότι όταν σταματούσε η έκπλυση αυξανόταν

στιγμιαία η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υλικού, κάτι, που δεν απασχολεί ιδιαίτερα διότι η τιμή του EC της ελαφρόπετρας είναι ιδιαίτερα χαμηλή.



Σχήμα 3.2: Διακύμανση του EC σε διαδοχικούς όγκους πορώδους. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο τριών επαναλήψεων της μέτρησης (\pm τυπική απόκλιση). Οι κορυφώσεις αντιστοιχούν στα δείγματα που συλλέχτηκαν αφού η βαλβίδα αποστράγγισης ήταν κλειστή για τουλάχιστον 1 ώρα.

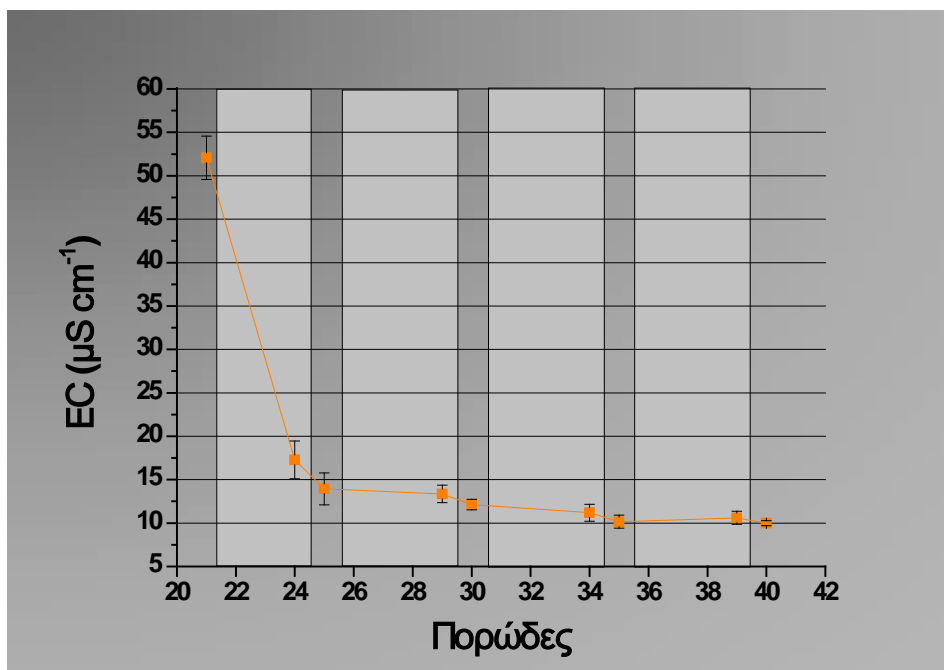
3.1.3 Καθορισμός του pH και του EC στο χρόνο, σε διαδοχικούς όγκους πορώδους



Σχήμα 3.3: Διακύμανση του pH σε διαδοχικούς όγκους πορώδους κατά τη δεύτερη έναρξη έκπλυσης (20 Μαρτίου 2012). Διακυμάνσεις του pH μετά από επανάληψη των μετρήσεων στα ίδια δείγματα στις 23 Μαρτίου και 5 Απριλίου 2012. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο τριών επαναλήψεων της μέτρησης (\pm τυπική απόκλιση). Οι ανοιχτές γκρι περιοχές αντιπροσωπεύουν τα ενοποιημένα δείγματα των τεσσάρων πορώδων (22-24, 26-29, 31-34, 36-39, αντίστοιχα).

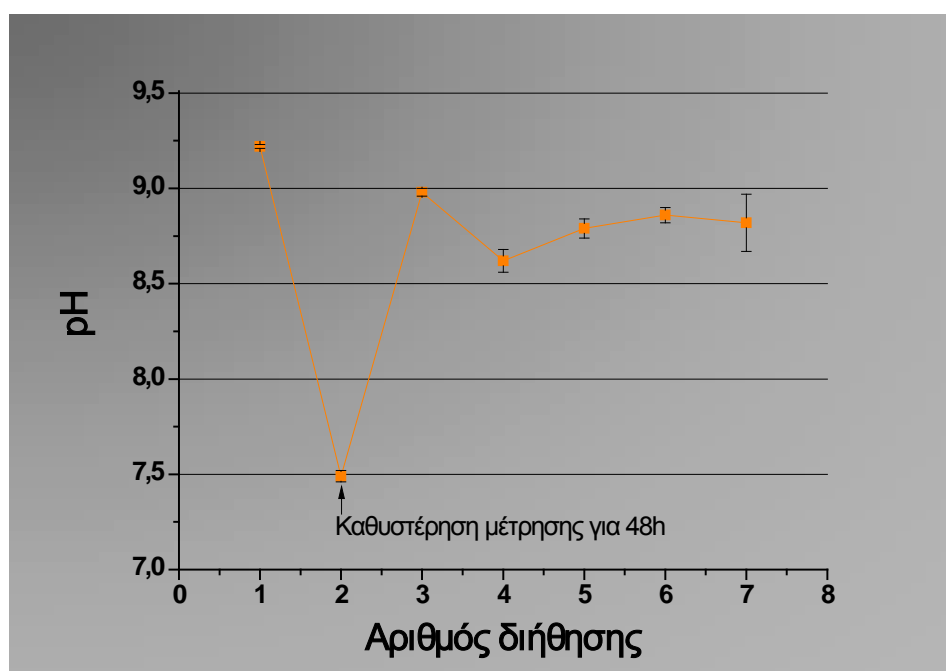
Η μείωση του pH όταν καθυστερεί η μέτρηση του δείγματος για ένα εύλογο χρονικό διάστημα επιβεβαιώθηκε όταν η διαδικασία της έκπλυσης πραγματοποιήθηκε από τους 20 έως 40 όγκους πορώδους με τη χρήση των ίδιων μικρολυσιμέτρων που είχαν χρησιμοποιηθεί και στην προηγούμενη διαδικασία (Σχ. 3.3). Το pH του διαλύματος αποστράγγισης μειώθηκε σημαντικά όταν η μέτρηση επαναλήφθηκε στα ίδια δείγματα τρεις ημέρες αργότερα (από τις 20-23 Μαρτίου) ενώ αυτή η μείωση πραγματοποιήθηκε με βραδύτερο ρυθμό όταν η μέτρηση επαναλήφθηκε και τρίτη φορά (από τις 20 Μαρτίου έως τις 5 Απριλίου, 2012). Το EC όπως φαίνεται στο

παρακάτω σχήμα μειώθηκε περαιτέρω από το αρχικό (Σχ. 3.2) κατά τη διαδικασία έκπλυσης.



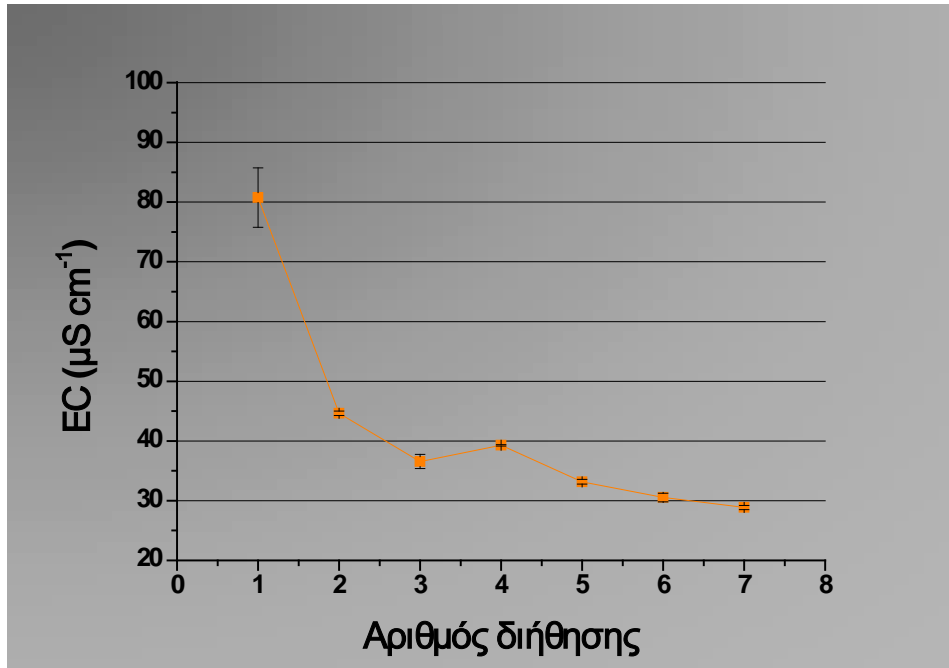
Σχήμα 3.4: Διακύμανση του EC σε διαδοχικούς όγκους πορώδους κατά τη δεύτερη έναρξη έκπλυσης (20 Μαρτίου 2012). Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο τριών επαναλήψεων της μέτρησης (\pm τυπική απόκλιση). Οι ανοιχτές γκρι περιοχές αντιπροσωπεύουν τα ενοποιημένα δείγματα των τεσσάρων πορωδών (22-24, 26-29, 31-34, 36-39, αντίστοιχα).

3.1.4 Καθορισμός του pH και του EC μέσω διήθησης



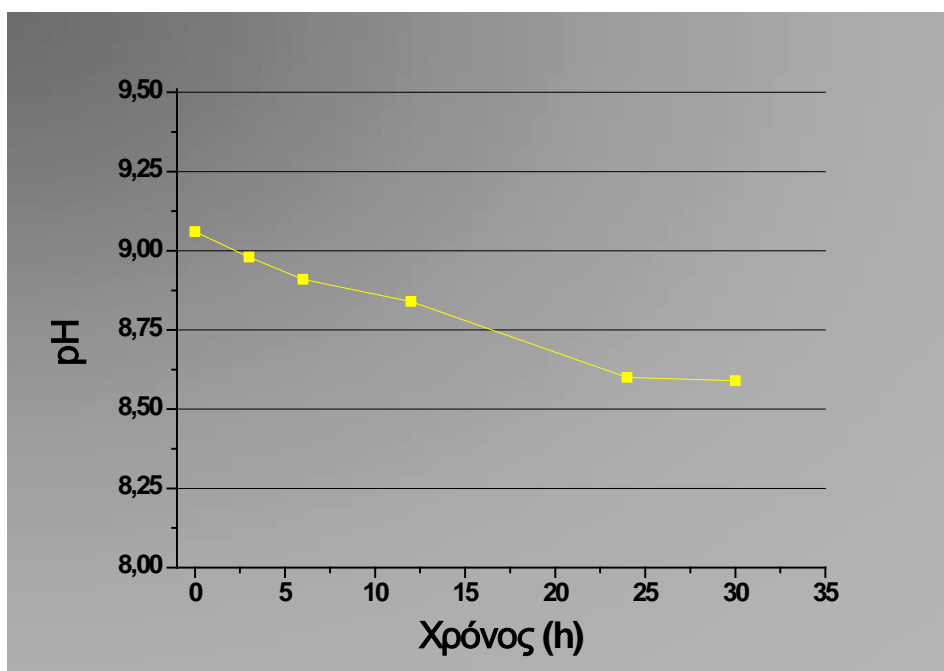
Σχήμα 3.5: Διακύμανση του pH του αποστραγγιζόμενου όγκου σε 7 διαδοχικές διηθήσεις. Η δεύτερη μέτρηση πραγματοποιήθηκε 48 ώρες μετά τη διήθηση. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο τριών επαναλήψεων της μέτρησης (\pm τυπική απόκλιση).

Τα ίδια αποτελέσματα με το Κεφάλαιο 3.1.3 παρατηρήθηκαν επίσης όταν τα pH και EC του αποστραγγισμένου όγκου προσδιορίστηκαν μέσω διήθησης (Σχ. 3.5) αφού η καθυστέρηση της δεύτερης μέτρησης για 48 ώρες μείωσε το pH στο 7.5.



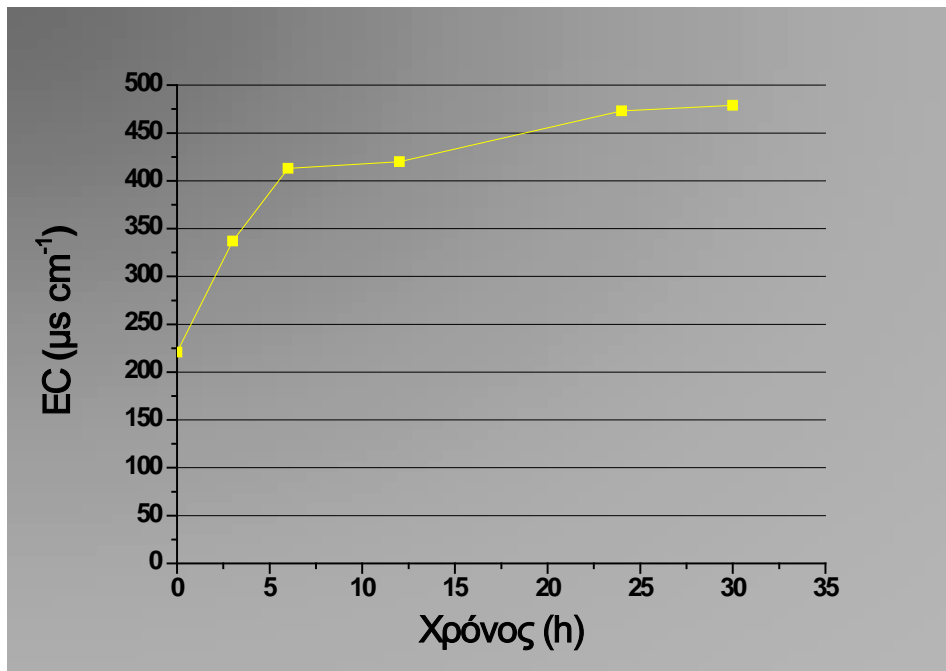
Σχήμα 3.6: Διακύμανση του EC του αποσταγιζόμενου όγκου σε 7 διαδοχικές διηθήσεις. Η δεύτερη μέτρηση πραγματοποιήθηκε 48 ώρες μετά την διήθηση. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο τριών επαναλήψεων της μέτρησης (\pm τυπική απόκλιση).

3.1.5 Μέτρηση του pH με αεροστεγώς σφραγισμένα μικρολυσίμετρα



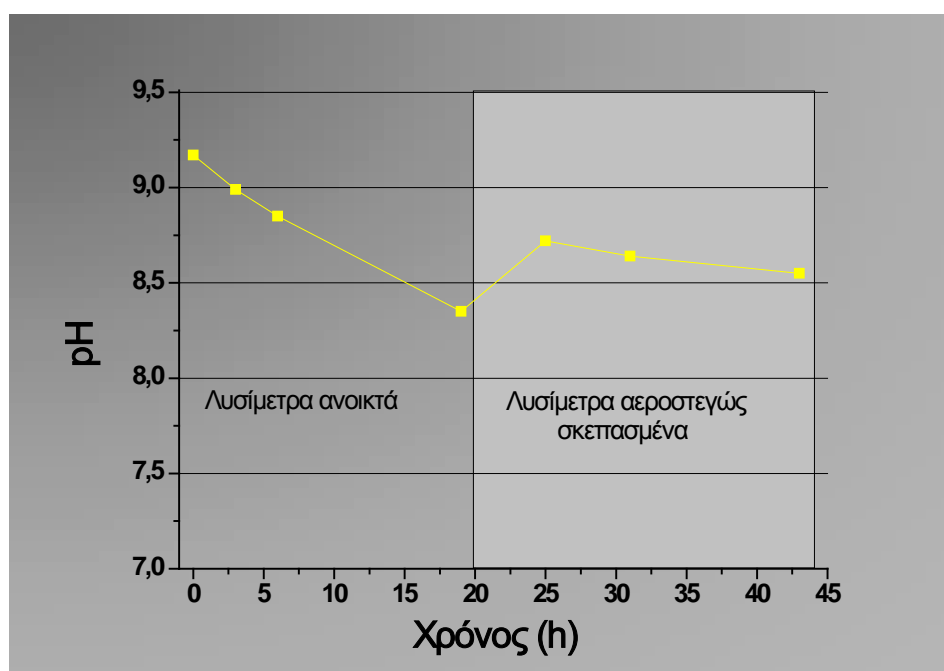
Σχήμα 3.7: Μεταβολή του pH του αποστραγγιζόμενου όγκου στο χρόνο με αεροστεγώς σφραγισμένα μικρολυσίμετρα.

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας όπου τα μικρολυσίμετρα ήταν αεροστεγώς σφραγισμένα παρατηρήθηκε μείωση του pH και αύξηση του EC του αποστραγγιζόμενου όγκου σε διάρκεια 30 ωρών (Σχ. 3.7 – 3.8).



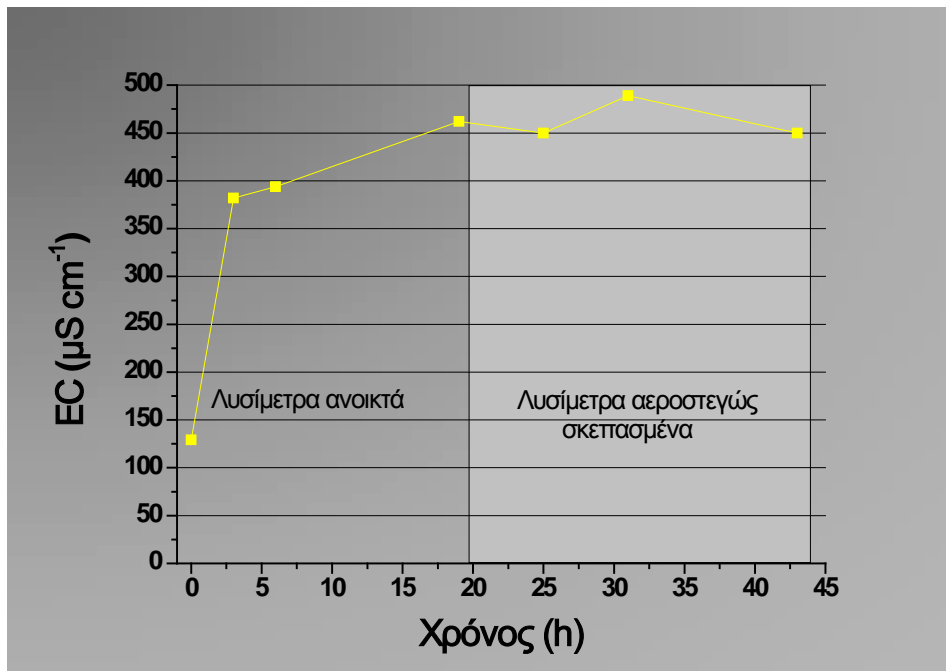
Σχήμα 3.8: Μεταβολή του EC του αποστραγγιζόμενου όγκου στο χρόνο με τα μικρολυσίμετρα αεροστεγώς σφραγισμένα.

3.1.6 Μέτρηση του pH στο χρόνο έχοντας τα μικρολυσίμετρα αρχικά ακάλυπτα και ύστερα αεροστεγώς σφραγισμένα



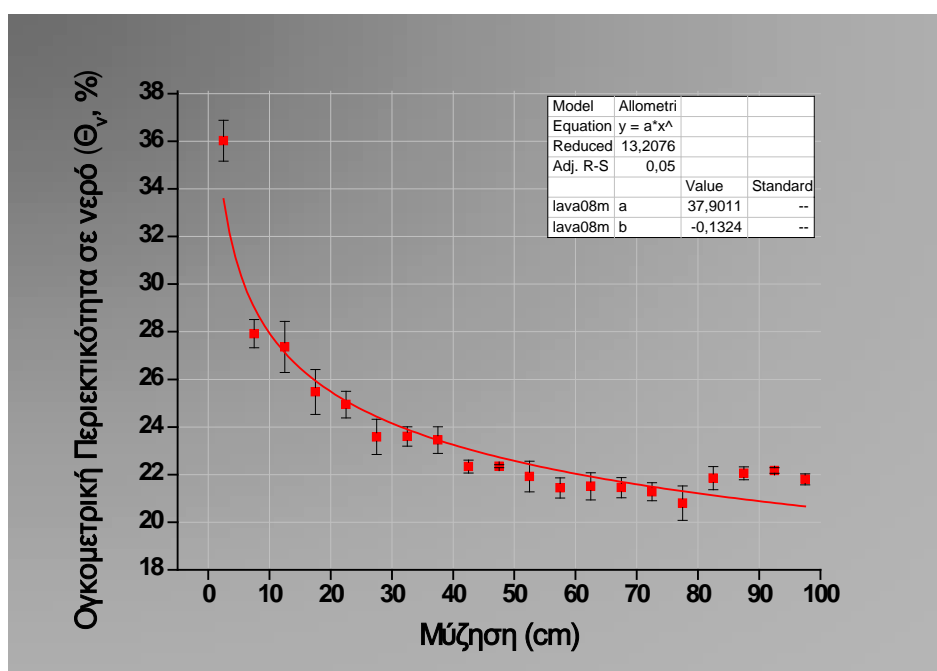
Σχήμα 3.9: Μεταβολή του pH του αποστραγγιζόμενου όγκου στο χρόνο με τα μικρολυσίμετρα αρχικά ανοικτά και μετά από 19 ώρες αεροστεγώς σφραγισμένα.

Στα αεροστεγώς σφραγισμένα μικρολυσίμετρα η μείωση του pH από 9.04 στο 8.6 επιτεύχθηκε σε διάστημα 24 ωρών (Σχ. 3.7), ενώ τα μικρολυσίμετρα που παρέμειναν ακάλυπτα έφτασαν να έχουν pH 8.3 μέσα σε 19 ώρες. Επίσης, όταν τα ανοικτά μικρολυσίμετρα σφραγίστηκαν το pH αυξήθηκε σε διάστημα 6 ωρών από 8.3 σε 8.7 (Σχ. 3.9).



Σχήμα 3.10: Μεταβολή του EC του αποστραγγιζόμενου όγκου στο χρόνο με τα μικρολυσίμετρα αρχικά ανοικτά και μετά από 19 ώρες αεροστεγώς σφραγισμένα.

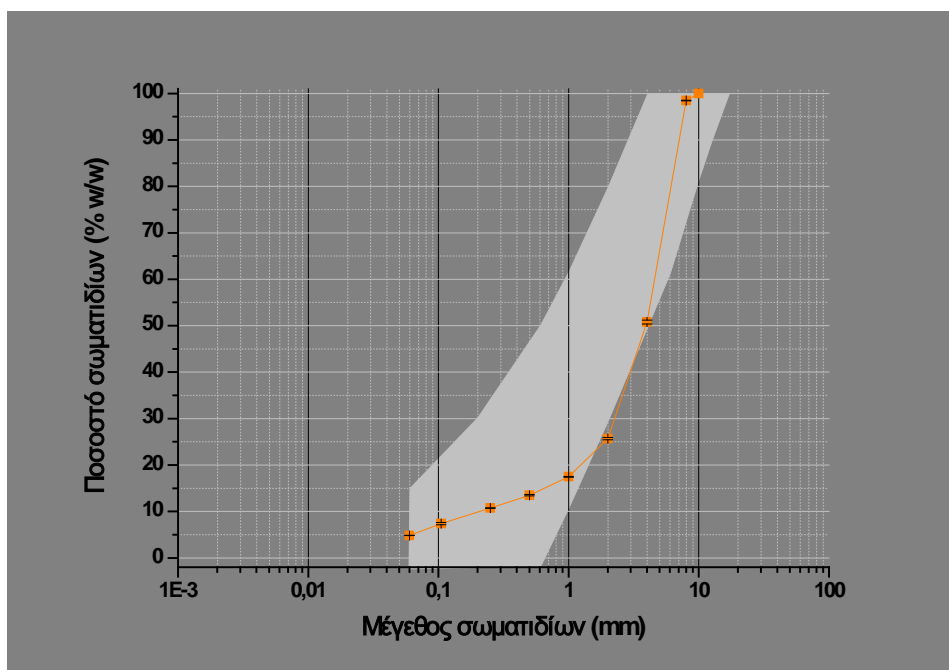
3.1.7 Προσδιορισμός της καμπύλης υγρασίας της ελαφρόπετρας 0-8 mm



Σχήμα 3.11: Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας για την ελαφρόπετρα 0-8 mm. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο τριών επαναλήψεων της μέτρησης (\pm τυπική απόκλιση).

Η ικανότητα συγκράτησης υγρασίας της ελαφρόπετρας είναι υψηλή και προσφέρει ευεργετικά χαρακτηριστικά για την ανάπτυξη των φυτών (Σχ. 3.11). Πιο συγκεκριμένα, η ογκομετρική συγκράτηση υγρασίας στην κατάσταση κορεσμού είναι 36% και θεωρείται υψηλή σε σύγκριση με άλλα συστατικά υποστρωμάτων. Επιπλέον, η ικανότητα αποστράγγισης της ελαφρόπετρας 0-8 είναι το ίδιο υψηλή αφού φτάνει το 29% μέσα στα πρώτα 10 cm απορρόφησης, κάτι που δείχνει ότι το υπόστρωμα με ελαφρόπετρα θα παρέχει το αναγκαίο πορώδες για την επιτυχή ανάπτυξη των φυτών.

3.1.8 Κοκκομετρική ανάλυση της ελαφρόπετρας 0-8 mm

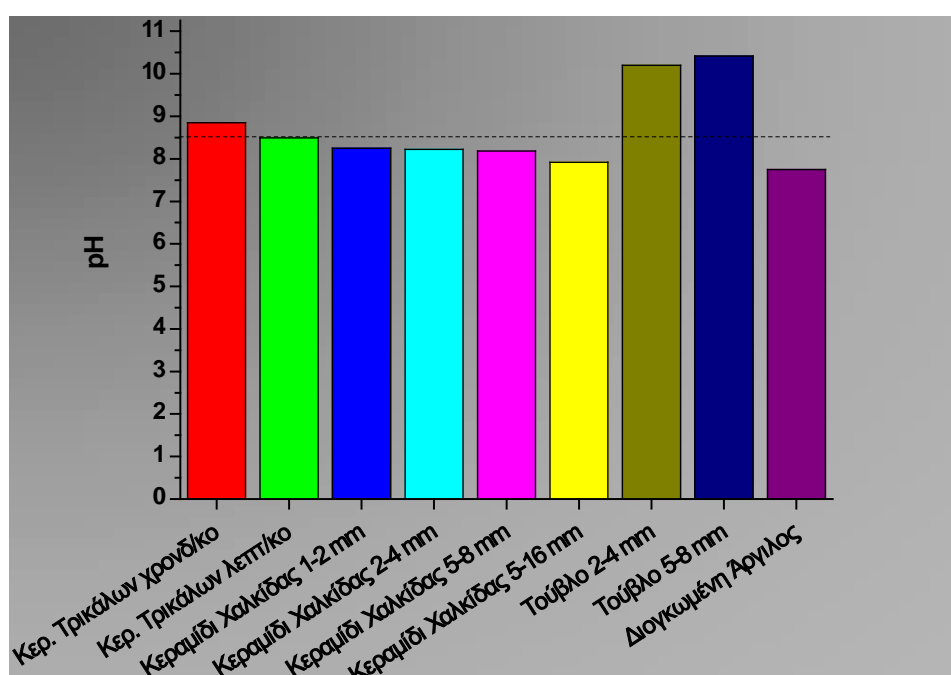


Σχήμα 3.12: Κοκκομετρική ανάλυση της ελαφρόπετρας 0-8 mm. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο τριών επαναλήψεων της μέτρησης (\pm τυπική απόκλιση). Η ανοιχτή γκρι περιοχή ορίζει τις κατευθυντήριες γραμμές για τα εκτατικά φυτοδώματα σύμφωνα με το FLL (2008).

Τέλος, η κοκκομετρική ανάλυση της ελαφρόπετρας 0-8 εμπίπτει μέσα στις κατευθυντήριες γραμμές όπως ορίζονται από το FLL (2008) για τα υποστρώματα εκτατικών φυτοδωμάτων.

3.1.9 Προσδιορισμός του pH και του EC μέσω διήθησης σε ανόργανα υλικά

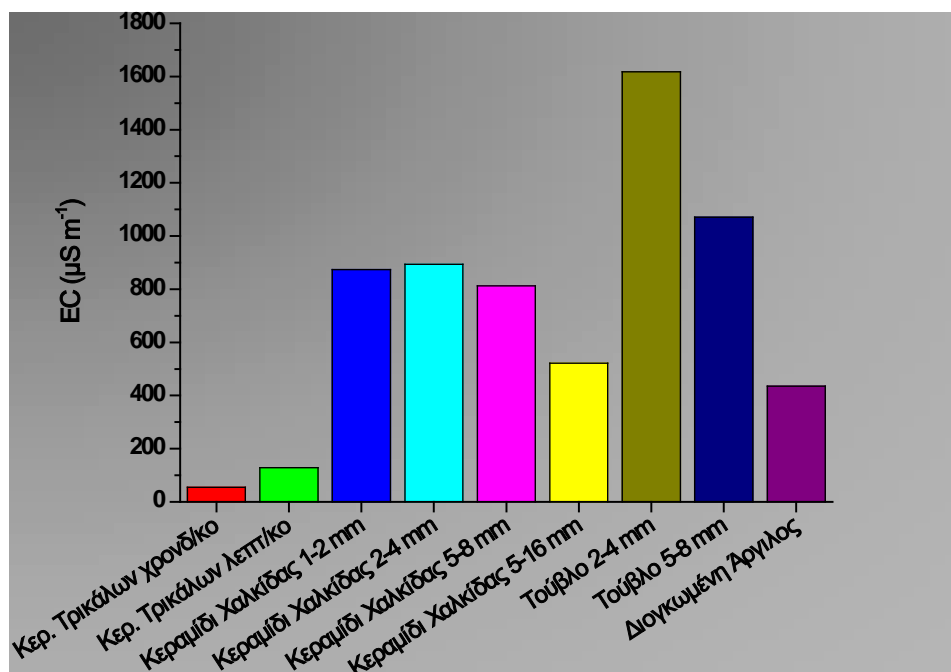
Έχοντας ως σκοπό να ελεγχθούν όλα τα πιθανά υλικά για τη δημιουργία του υποστρώματος, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις pH και EC μέσω διήθησης. Λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιότητες της ελαφρόπετρας 0-8 βρέθηκε ότι η καλύτερη επιλογή θα ήταν το θραυστό κεραμίδι Χαλκίδας αφού το pH ήταν το χαμηλότερο (Σχ. 3.13). Παρόμοιο pH παρουσίασε και η θερμικώς κατεργασμένη άργιλος (7.75) κι έτσι θα μπορούσε κι αυτή να θεωρηθεί εν δυνάμει συστατικό του υποστρώματος.



Σχήμα 3.13: Τιμές του pH του αποσταγγιζόμενου όγκου για τους διάφορους τύπους θραυστού κεραμιδιού και τούβλου καθώς και για την θερμικώς κατεργασμένη άργιλο. Η διακεκομμένη γραμμή υποδηλώνει το αποδεκτό όριο για τις τιμές του pH σύμφωνα με της κατευθυντήριες γραμμές του FLL (2008) για τα εκτατικά φυτοδώματα.

Όσον αφορά την ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα θραυστά τούβλα εμφάνισαν αυξημένες τιμές και κατά συνέπεια αποκλείστηκαν από περαιτέρω αναλύσεις. Τα θραυστά κεραμίδια Χαλκίδας είχαν μεταβλητές τιμές με τις χαμηλότερες (λιγότερο από $700 \mu\text{S m}^{-1}$) να τις έχει το μέγεθος 5-16 mm. Η θερμικώς κατεργασμένη άργιλος είχε πολύ

χαμηλό EC ($434 \mu\text{S m}^{-1}$) και σε συνδυασμό με το χαμηλό pH θεωρήθηκε ένα από τα πιο υποσχόμενα υλικά για τη συμμετοχή της στο υπόστρωμα (Σχ. 3.14).



Σχήμα 3.14: Τιμές του EC του αποστραγγιζόμενου όγκου για τους διάφορους τύπους θραυστού κεραμιδιού και τούβλου καθώς και για την θερμικώς κατεργασμένη άργιλο.

3.1.10 Διαδική σύγκριση των ανόργανων υλικών με βάση το pH και το EC που παρουσίασαν

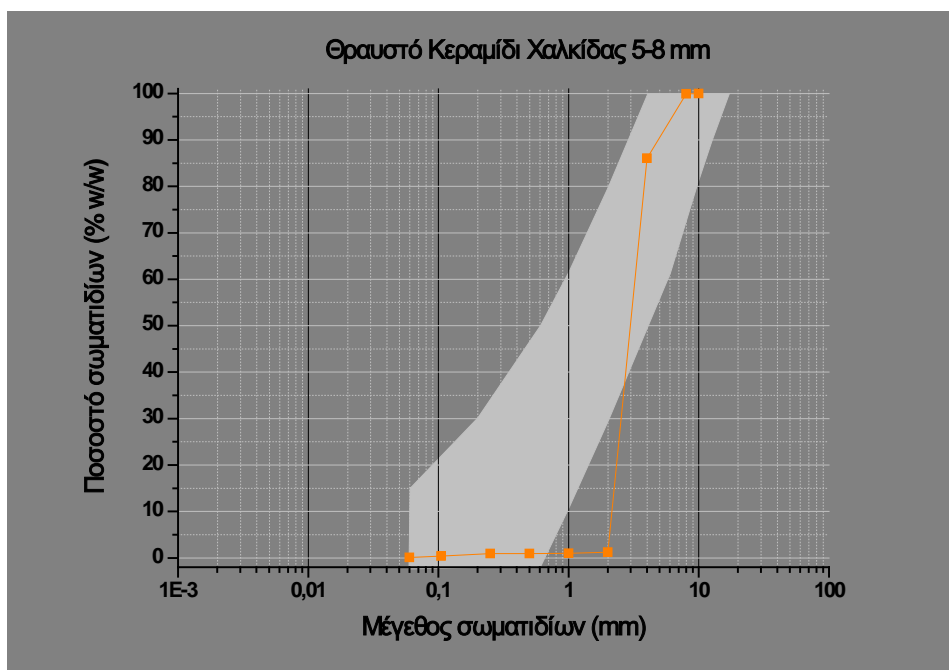
Βάση των αναλύσεων του pH και του EC, τα υλικά που επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία του επιθυμητού υποστρώματος, ήταν αυτά που συμβάδισαν με τις απαιτήσεις του τελικού προϊόντος ως προς το pH και το EC. Αυτό επιτεύχθηκε μέσω των δυαδικών συγκρίσεων, όπως φαίνονται στον Πίνακα 3.2.

Από την παρακάτω δυαδική σύγκριση των ανόργανων συστατικών αποφασίστηκε ότι θα έπρεπε να αξιολογηθούν περαιτέρω ως προς τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες το θραυστό κεραμίδι Χαλκίδας 5-8 mm, το θραυστό κεραμίδι Χαλκίδας 5-16 mm και η θερμικώς κατεργασμένη άργιλος.

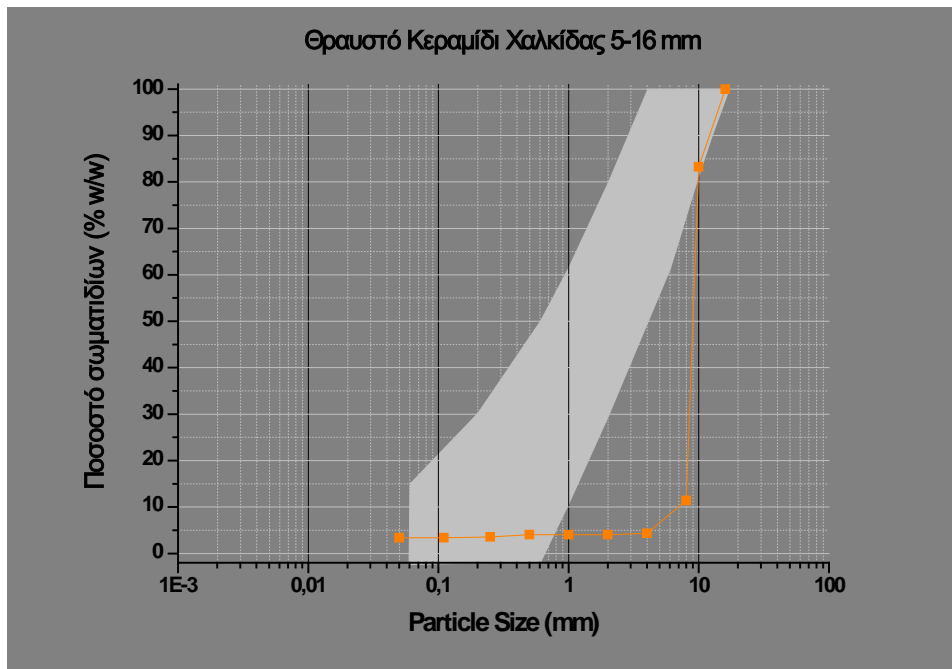
Πίνακας 3.2: Δυαδική σύγκριση των ανόργανων υλικών με βάση το pH και το EC τους.

Είδος	pH	EC
Θραυστό κεραμίδι Τρικάλων χονδρόκοκκο	-	+
Θραυστό κεραμίδι Τρικάλων λεπτόκοκκο	-	+
Θραυστό κεραμίδι Χαλκίδας 1-2 mm	+	-
Θραυστό κεραμίδι Χαλκίδας 2-4 mm	+	-
Θραυστό κεραμίδι Χαλκίδας 5-8 mm	+	-/+
Θραυστό κεραμίδι Χαλκίδας 5-16 mm	+	+
Τούβλο 2-4 mm	-	-
Τούβλο 5-8 mm	-	-
Θερμικώς κατεργασμένη Άργιλος	+	+

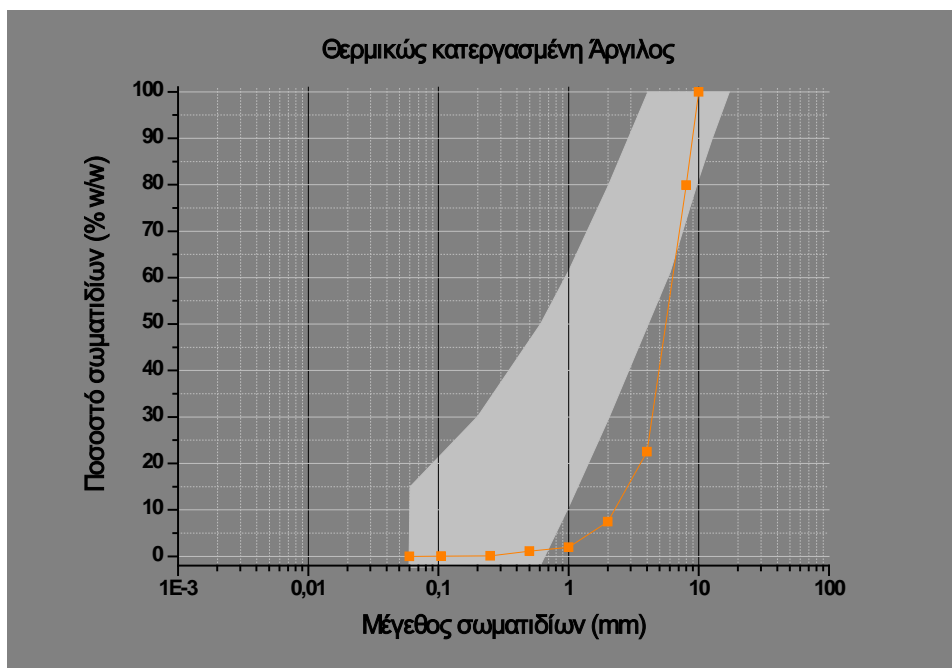
3.1.11 Κοκκομετρική ανάλυση των ανόργανων υλικών



Σχήμα 3.15: Κοκκομετρική ανάλυση του θραυστού κεραμιδιού Χαλκίδας 5-8 mm. Η ανοιχτή γκρι περιοχή ορίζει τις κατευθυντήριες γραμμές για τα εκτατικά φυτοδόματα σύμφωνα με το FLL (2008).



Σχήμα 3.16: Κοκκομετρική ανάλυση του θραυστού κεραμιδιού Χαλκίδας 5-16 mm. Η ανοιχτή γκρι περιοχή ορίζει τις κατευθυντήριες γραμμές για τα εκτατικά φυτοδώματα σύμφωνα με το FLL (2008).



Σχήμα 3.17: Κοκκομετρική ανάλυση της θερμικώς κατεργασμένης αργίλου. Η ανοιχτή γκρι περιοχή ορίζει τις κατευθυντήριες γραμμές για τα εκτατικά φυτοδώματα σύμφωνα με το FLL (2008).

Για να αξιολογηθούν περαιτέρω τα επιλεγμένα υλικά (Θραυστό κεραμίδι Χαλκίδας 5-8 και 5-16 mm και διογκωμένη άργιλος) πραγματοποιήθηκε η κοκκομετρική ανάλυσή τους. Το κεραμίδι Χαλκίδας 5-8 mm απέκλινε από την προτεινόμενη κοκκομετρική κατανομή (FLL, 2008) στο μέγεθος σωματιδίων 0.6-1.2 mm (Σχ. 3.15). Παρόμοια το κεραμίδι Χαλκίδας 5-16 mm απέκλινε από την προτεινόμενη κοκκομετρική κατανομή (FLL, 2008). Η παρέκκλιση ήταν μεγαλύτερη από το 5-8 mm αφού αναφερόταν σε μεγαλύτερο εύρος μεγέθους σωματιδίων 0.6-10 mm (Σχ. 3.16). Το ίδιο ίσχυσε και για την θερμικώς κατεργασμένη άργιλο.

Αντίθετα με τα επιλεγμένα ανόργανα συστατικά η κοκκομετρική ανάλυση της ελαφρόπετρας 0-8 mm συμμορφώνεται με το προτεινόμενη κοκκομετρία του FFL που δείχνει ότι θα πρέπει να είναι το βασικό συστατικό του υποστρώματος (Σχ. 3.12).

3.1.12 Κοκκομετρική ανάλυση μειγμάτων από τα επιλεγμένα ανόργανα υλικά

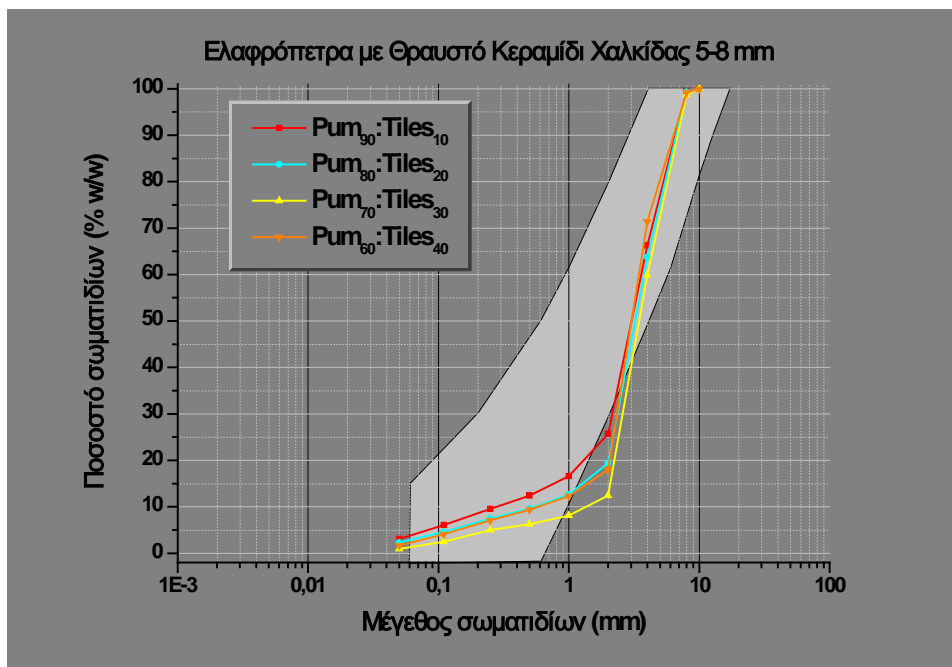
Βασιζόμενοι στις κοκκομετρικές αναλύσεις των δύο μεγεθών θραυστού κεραμιδιού Χαλκίδας και της θερμικώς κατεργασμένης αργίλου πραγματοποιήθηκαν μίξεις των συστατικών αυτών με την ελαφρόπετρα 0-8 mm σε διάφορα ποσοστά και πραγματοποιήθηκαν εκ νέου κοκκομετρικές αναλύσεις στα νέα υποστρώματα. Η σύσταση των νέων υποστρωμάτων περιγράφεται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3: Αναλογίες ανάμειξης των ανόργανων συστατικών σε κάθε υπόστρωμα. Η ανάμειξη του κάθε υλικού με την ελαφρόπετρα 0-8 mm ήταν ανεξάρτητη.

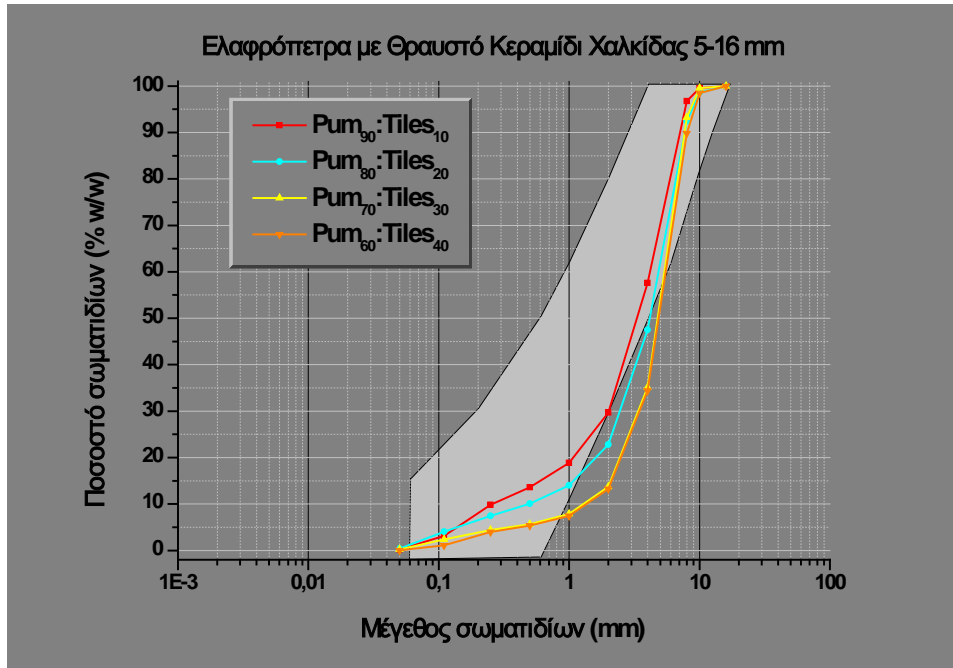
	Ελαφρόπετρα 0-8 mm			
	90%	80%	70%	60%
Θραυστό κεραμίδι Χαλκίδας 5-8 mm	10%	20%	30%	40%
Θραυστό κεραμίδι Χαλκίδας 5-16 mm	10%	20%	30%	40%

Θερμικώς κατεργασμένη Άργιλος	10%	20%	30%	40%
----------------------------------	-----	-----	-----	-----

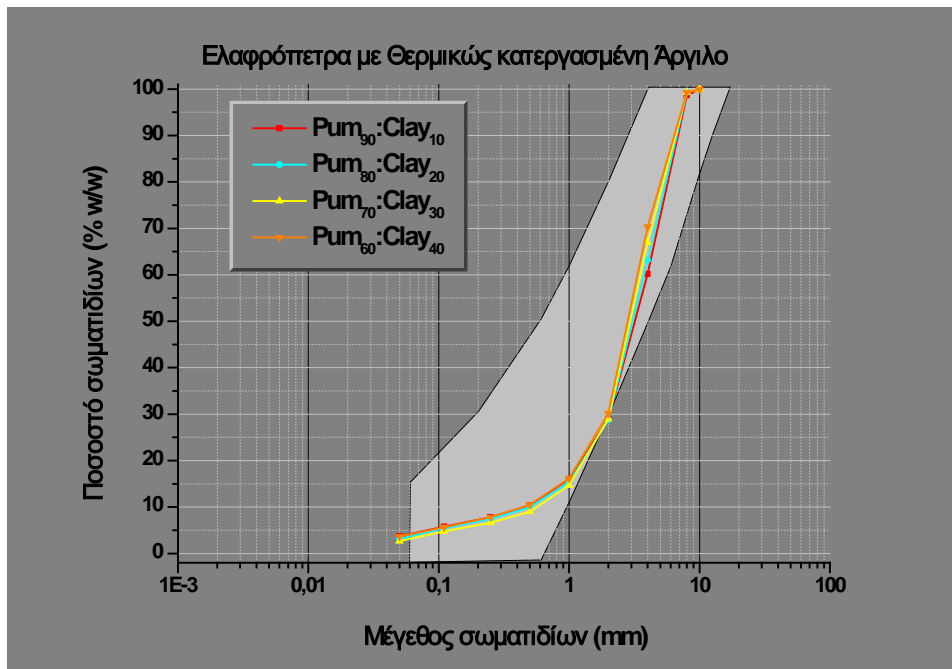
Βρέθηκε ότι τα μείγματα της ελαφρόπετρας με τα δύο μεγέθη θραυστού κεραμιδιού Χαλκίδας (5-8 mm & 5-16 mm) δεν πληρούσαν τις προϋποθέσεις της κοκκομετρικής ανάλυσης όπως αυτές αναφέρονται στο FLL (2008) και στις τέσσερις αναλογίες ανάμειξης που ελέγχθηκαν (Σχ. 3.18, 3.19). Αντίθετα η μηχανική ανάλυση των μειγμάτων που περιείχαν ελαφρόπετρα και θερμικώς κατεργασμένη άργιλο βρίσκονταν μέσα στα επιτρεπτά όρια του FLL (2008) (Σχ. 3.20).



Σχήμα 3.18: Κοκκομετρική ανάλυση του θραυστού κεραμιδιού Χαλκίδας 5-8 mm σε ανάμειξη με την ελαφρόπετρα 0-8 mm σε τέσσερις διαφορετικές κατ' όγκο αναλογίες ($P_{um_{90}:Tiles_{10}}$, $P_{um_{80}:Tiles_{20}}$, $P_{um_{70}:Tiles_{30}}$, $P_{um_{60}:Tiles_{40}}$, όπου P_{um} = ελαφρόπετρα, $Tiles$ = θραυστό κεραμίδι). Η ανοιχτή γκρι περιοχή ορίζει τις κατευθυντήριες γραμμές για τα εκτατικά φυτοδόματα σύμφωνα με το FLL (2008).



Σχήμα 3.19: Κοκκομετρική ανάλυση του θραυστού κεραμιδιού Χαλκίδας 5-16 mm σε ανάμειξη με την ελαφρόπετρα 0-8 mm σε τέσσερις διαφορετικές κατ' όγκο αναλογίες (Pum₉₀:Tiles₁₀, Pum₈₀:Tiles₂₀, Pum₇₀:Tiles₃₀, Pum₆₀:Tiles₄₀, όπου Pum = ελαφρόπετρα, Tiles = θραυστό κεραμίδι) . Η ανοιχτή γκρι περιοχή ορίζει τις κατευθυντήριες γραμμές για τα εκτατικά φυτοδόματα σύμφωνα με το FLL (2008).

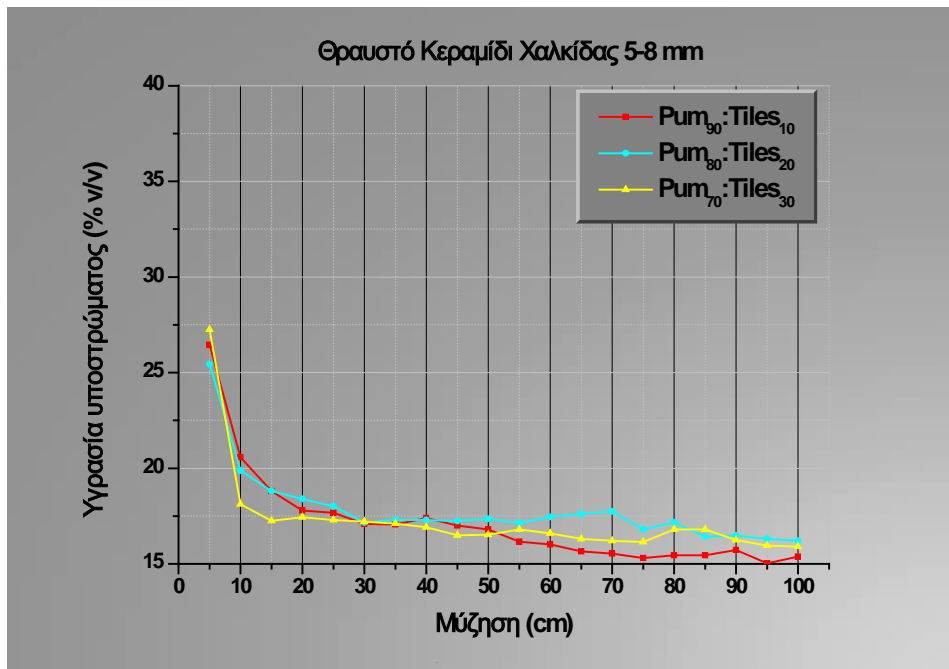


Σχήμα 3.20: Κοκκομετρική ανάλυση της θερμικώς κατεργασμένης αργίλου σε ανάμειξη με την ελαφρόπετρα 0-8 mm σε τέσσερις διαφορετικές κατ' όγκο αναλογίες (Pum₉₀:Clay₁₀, Pum₈₀:Clay₂₀, Pum₇₀:Clay₃₀, Pum₆₀:Clay₄₀, όπου Pum = ελαφρόπετρα, Tiles = θραυστό κεραμίδι). Η ανοιχτή γκρι περιοχή ορίζει τις κατευθυντήριες γραμμές για τα εκτατικά φυτοδόματα σύμφωνα με το FLL (2008).

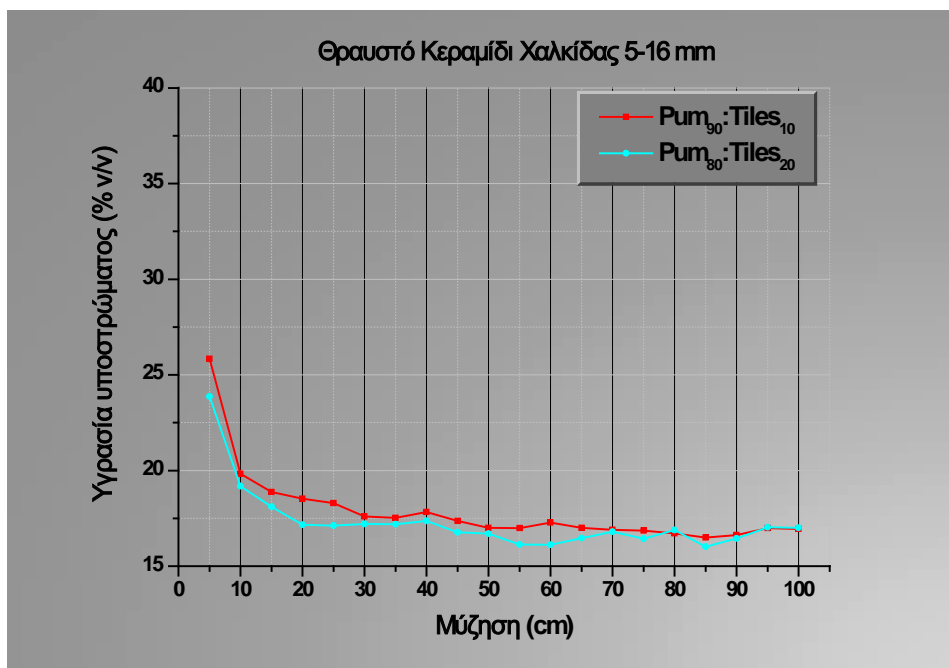
3.1.13 Προσδιορισμός της καμπύλης υγρασίας των υποστρωμάτων με ανόργανα συστατικά

Για να διερευνηθεί πλήρως η καταλληλότητα των ανόργανων μειγμάτων ελέγχθηκαν όλα ως προς την συμπεριφορά συγκράτησης νερού, χρησιμοποιώντας την τεχνική των στηλών του Nektarios et al. (2011). Βρέθηκε λοιπόν ότι το θραυστό κεραμίδι Χαλκίδας και στις δύο κοκκομετρίες (5-8 mm και 5-16 mm) έχει μειωμένη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας ενώ οι διαφορετικές κατ' όγκο αναλογίες (10%, 20% και 30%) αυτού στο υπόστρωμα παρουσίασαν αμελητέες διαφορές στη συγκράτηση υγρασίας.

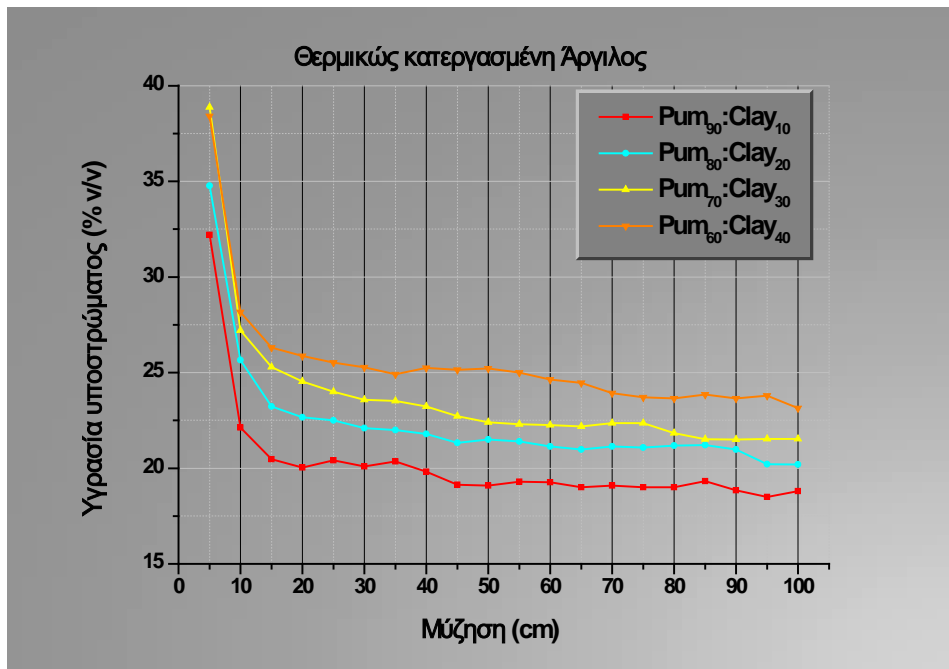
Αντίθετα, η θερμικώς κατεργασμένη άργιλος βελτίωσε σημαντικά την ποσότητα συγκράτησης υγρασίας του υποστρώματος. Αυτό το φαινόμενο αυξανόταν όσο αυξανόταν και η ποσότητα της διογκωμένης αργίλου στο μείγμα (Σχ. 3.23).



Σχήμα 3.21: Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας για την ελαφρόπετρα 0-8 mm αναμειγμένη με θραυστό κεραμίδι Χαλκίδας 5-8 mm, σε διάφορες κατ' όγκο αναλογίες (Pum = ελαφρόπετρα, Tiles = θραυστό κεραμίδι).



Σχήμα 3.22: Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας για την ελαφρόπετρα 0-8 mm αναμειγμένη με θραυστό κεραμίδι Χαλκίδας 5-16 mm, σε διάφορες κατ' όγκο αναλογίες (Pum = ελαφρόπετρα, Tiles = θραυστό κεραμίδι).



Σχήμα 3.23: Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας για την ελαφρόπετρα 0-8 mm αναμειγμένη με θερμικώς κατεργασμένη άργιλο, σε διάφορες κατ' όγκο αναλογίες (Pum = ελαφρόπετρα, Clay = θερμικώς κατεργασμένη άργιλος).

3.1.14 Χημική ανάλυση της τύρφης και των τοπικά διαθέσιμων composts

Από τα τοπικά διαθέσιμα composts επιλέχτηκαν τρία σύμφωνα με την διαθεσιμότητά τους τόσο στην Ελληνική όσο και στην παγκόσμια αγορά. Αυτά τα composts ήταν τα εξής:

- Compost ελαιουργίας (OMWC).
- Compost φυτικών υπολειμμάτων αναμειγμένα με κοπριά αλόγου και βοοειδών (GWC).
- Compost στέμφυλων (GMC).

Εκτός από τα επιλεγμένα composts, χρησιμοποιήθηκε και η τύρφη ως μάρτυρας. Παρόλο που η τύρφη χρησιμοποιείται κυρίως ως βιολογικό οργανικό πρόσθετο, η χρήση της δεν είναι περιβαλλοντικά σωστή διότι αλλοιώνει τα τυρφώδη δάση και

συνεισφέρει στην αύξηση του αποτυπώματος του CO₂ λόγω αυξημένου μεταφορικού κόστους.

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των οργανικών ουσιών έδειξαν ότι τα composts και η τύρφη έχουν σημαντικά διαφορετικές ιδιότητες (Πίνακας 3.4):

1. Η τύρφη παρουσίασε το χαμηλότερο pH το οποίο αποτελεί πλεονέκτημα λόγω του αυξημένου pH της ελαφρόπετρας 0-8 mm.
2. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα διέφερε σημαντικά μεταξύ των επιλεγμένων composts με το compost στέμφυλων να έχει τη χαμηλότερη τιμή. Αντίθετα το compost φυτικών υπολειμμάτων παρουσίασε πολύ υψηλό EC. Ωστόσο έρευνες έχουν δείξει ότι όταν τα composts αναμειγνύονται με άλλα υλικά το τελικό EC των μειγμάτων μειώνεται σημαντικά, κάτι που αποτέλεσε σκοπό για τα προς παραγωγή υποστρώματα της παρούσας μελέτης (Πίνακας 3.5).
3. Η τύρφη είχε πολύ μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας, υποδεικνύοντας ότι έχει την ικανότητα να συγκρατήσει περισσότερο νερό από τα συγκρινόμενα composts.
4. Τα composts είχαν διαφορετική υγρασία, το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη όσον αφορά την τιμή και τα έξοδα μεταφοράς. Το ελαφρύτερο ήταν το compost ελαιουργίας.
5. Η οργανική ουσία ήταν υψηλότερη στη τύρφη αλλά το compost στέμφυλων παρουσίασε εξίσου υψηλή οργανική ουσία. Η αυξημένη οργανική ουσία είναι επιθυμητή διότι η ικανότητα να δεσμεύουν κατιόντα βοηθά και στηρίζει την θρέψη των φυτών.
6. Όσον αφορά τα επίπεδα θρεπτικών στοιχείων όλα τα compost είχαν παρόμοια επίπεδα αζώτου. Το κάλιο ήταν αυξημένο στο compost ελαιουργίας, το οποίο εγείρει μία περιβαλλοντική ανησυχία λόγω της έκπλυσης. Ωστόσο το κάλιο είναι πολύ χρήσιμο στην βελτίωση της αντοχής των φυτών απέναντι στη καταπόνηση ειδικά σε ότι αφορά την υγρασία.

3.1.15 Διαμόρφωση του κατάλληλου υποστρώματος για εκτατικά φυτοδώματα με βάση την ελαφρόπετρα 0-8 mm

3.1.15.1 Καθορισμός των ποσοστών συμμετοχής του κάθε συστατικού

Βασιζόμενοι στις αναλύσεις της ελαφρόπετρας 0-8 mm και των άλλων ανόργανων και οργανικών υλικών, αποφασίστηκε ότι το πιο κατάλληλο ανόργανο υλικό ήταν η θερμικώς κατεργασμένη άργιλος, λαμβάνοντας υπόψη ότι η ικανότητα συγκράτησης υγρασίας θεωρείται καλύτερη όταν η αναλογία μεταξύ ελαφρόπετρας και διογκωμένης αργίλου ήταν είτε στο υπόστρωμα Pum₈₀:Clay₂₀ είτε στο υπόστρωμα Pum₇₀:Clay₃₀ (όπου Pum = ελαφρόπετρα, Clay = θερμικώς κατεργασμένη άργιλος) σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες (Σχ. 3.23).

Το υπόστρωμα θα περιέχει 15% οργανική ουσία και 5% ζεόλιθο. Ο ζεόλιθος έχει την ικανότητα να διατηρεί αμμώνιο, κατιόντα NH₄⁺ και κάλιο K⁺ στα μικροσηρίγγια της δομής του και έτσι μπορεί να δρα ως ένα βραδείας αποδέσμευσης λίπασμα με μια εξαιρετικά παρατεταμένη δράση.

Κατά συνέπεια το υπόστρωμα που είναι κατάλληλο για τα εκτατικά φυτοδώματα με βάση την ελαφρόπετρα έχει τις παρακάτω αναλογίες:

Πίνακας 3.4: Ποσοστιαία συμμετοχή των υλικών του υποστρώματος για τα εκτατικά φυτοδώματα.

Συστατικά	Ποσοστό Συμμετοχής (%)
Ελαφρόπετρα 0-8 mm	65
Θερμικώς κατεργασμένη Άργιλος	15
Οργανική ουσία	15
Ζεόλιθος	5

Το τελευταίο στάδιο της δημιουργίας του υποστρώματος ήταν η εύρεση της κατάλληλης οργανικής ουσίας που θα συμμετάσχει με ποσοστό 15% στο υπόστρωμα για εκτατικά φυτοδώματα. Η πρώτη ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τις επιλεγμένες οργανικές ουσίες ήταν χημική και αφορούσε την περιεκτικότητα των ουσιών σε θρεπτικά στοιχεία, ιχνοστοιχεία, pH, EC, ικανότητα συγκράτησης υγρασίας κ.α. όπως αναφέρονται στον Πίνακα 3.5.

Πίνακας.3.5: Χημική ανάλυση των οργανικών συστατικών του υποστρώματος.

Είδος Ανάλυσης	Μονάδες	Τύρφη	Composts		
			Ελαιουργίας	Φυτικών, Ζωικών υπολειμμάτων	Στέμφυλων
pH ¹		5.40	7.27	7.88	7.76
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα ¹	mS cm ⁻¹	0.15	3.27	6.29	1.31
Κορεσμός	% ξηρά ουσία	721.98	122.43	280.85	191.96
Ειδικό βάρος		0.19	0.87	0.47	0.45
Υγρασία	%	34.60	25.95	73.05	57.13
Οργανική ουσία ²	% ξηρά ουσία	96.67	39.00	47.67	88.00
Τέφρα	% ξηρά ουσία	3.33	61.00	52.33	12.00
Ολικό Άζωτο (N) ³	% ξηρά ουσία	0.78	1.69	1.42	1.74
Ολικός Άνθρακας ⁴	% ξηρά ουσία	55.10	22.23	27.17	50.16
C : N ⁴		70.64	13.15	19.13	28.83
Φώσφορος (P)	% ξηρά ουσία	0.03	0.24	0.44	0.25
Ασβέστιο (Ca)	% ξηρά ουσία	0.35	4.52	11.53	1.98
Μαγνήσιο (Mg)	% ξηρά ουσία	0.06	0.30	0.40	0.20
Κάλιο (K)	% ξηρά ουσία	0.02	0.07	0.84	1.56
Νάτριο (Na)	% ξηρά ουσία	0.01	0.03	0.11	0.08
Σίδηρος (Fe)	ppm ⁵	327.0	4.827.6	2.235.0	877.4
Μαγγάνιο (Mn)	ppm ⁵	15.0	263.5	226.9	51.0
Ψευδάργυρος (Zn)	ppm ⁵	11.5	41.4	86.9	29.3
Χαλκός (Cu)	ppm ⁵	3.0	16.1	5.43	16.0
Βόριο (B)	ppm ⁵	5.3	34.0	26.8	59.0

1. Σε αιώρημα διηθήματος 1 compost : 2 νερό (κατ' όγκο).
2. Καύση στους 550 °C.
3. Kjeldahl.

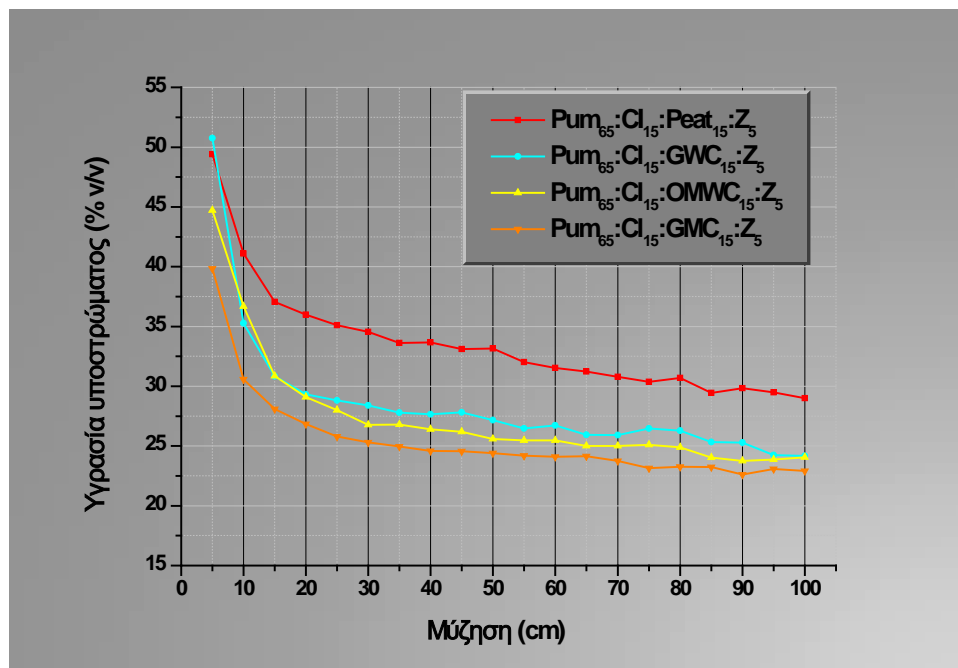
4. Υπολογίζοντας τον C ως ποσοστό της οργανικής ύλης.
5. Κατά βάρος ως προς το ξηρό βάρος.

3.1.15.2 Καθορισμός του οργανικού συστατικού του υποστρώματος

Τα τέσσερα οργανικά υλικά ελέγχθηκαν ως προς την ικανότητά τους να βελτιώσουν το υπόστρωμα. Οι οργανικές ουσίες ήταν οι εξής:

1. Τύρφη
2. Compost ελαιουργίας (OMWC).
3. Compost φυτικών υπολειμμάτων αναμειγμένα με κοπριά αλόγου και γαλακτοκομικά (GWC).
4. Compost στέμφυλων (GMC).

Με βάση την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας (Σχ. 3.24) βρέθηκε ότι τη μεγαλύτερη συγκράτηση υγρασίας την παρουσίασε η τύρφη. Η συγκράτηση υγρασίας των τριών ειδών composts ήταν παρόμοια και κατά συνέπεια οποιοδήποτε από τα τρία composts μπορεί να χρησιμοποιηθεί όσον αφορά την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας.



Σχήμα 3.24: Καμπύλη υγρασίας του μείγματος με βάση την ελαφρόπετρα 0-8 mm με διάφορα οργανικά συστατικά (όπου P_{um}= Ελαφρόπετρα; CI=Θερμικώς κατεργασμένη άργιλος, GWC= Compost φυτικών υπολειμμάτων αναμειγμένα με κοπριά αλόγου και βοοειδών, OMWC= Compost ελαιουργίας, GMC= Compost στέμφυλων, Z=Ζεόλιθος) σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες.

Εκτός από την συγκράτηση υγρασίας, προσδιορίστηκε το pH και το EC για κάθε υποστρώματος (Πίνακας 3.6). Όλες οι τιμές pH ήταν κάτω από το ανώτατο όριο του 8,5 όπως ορίζεται από το FLL (2008). Παρομοίως, το EC ήταν πολύ χαμηλό για όλα τα υποστρώματα.

Η υδραυλική αγωγιμότητα ήταν σχεδόν ίδια για όλα τα υποστρώματα που περιείχαν compost και ήταν σύμφωνα με τις οδηγίες του FLL (2008).

Πίνακας 3.6: Οι τιμές του pH και του EC προσδιορίστηκαν για κάθε ένα από τα τέσσερα υποστρώματα με τα διαφορετικά οργανικά συστατικά (όπου Pum= Ελαφρόπετρα; Cl=Θερμικώς κατεργασμένη άργιλος, GWC= Compost φυτικών υπολειμμάτων αναμειγμένα με κοπριά αλόγου και βοοειδών, OMWC= Compost ελαιουργίας, GMC= Compost στέμφυλων, Z=Ζεόλιθος) σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες.

Είδος Υποστρώματος	pH	EC ($\mu\text{S m}^{-1}$)	Υδραυλική αγωγιμότητα (mm min^{-1})	Βάρος (kg m^{-3})	
				Κορεσμένο	Ξηρό
Pum ₆₅ :Cl ₁₅ :Peat ₁₅ :Z ₅	6.16	207	---		
Pum ₆₅ :Cl ₁₅ : GWC ₁₅ :Z ₅	8.35	680	7.42	1.234,1	692,4
Pum ₆₅ :Cl ₁₅ : OMWC ₁₅ :Z ₅	7.95	467	7.84	1.218,2	733.1
Pum ₆₅ :Cl ₁₅ : GMC ₁₅ :Z ₅	8.18	280	7.42	1.092,0	676.9

Στηριζόμενοι στις παραπάνω αναλύσεις όλα τα compost μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο υπόστρωμα αλλά καταλληλότερο θεωρείται το compost στέμφυλων (GMC) και κατ' επέκταση το υπόστρωμα Pum₆₅:Cl₁₅: GMC₁₅:Z₅ (όπου Pum= Ελαφρόπετρα; Cl=Θερμικώς κατεργασμένη άργιλος, GMC= Compost στέμφυλων, Z=Ζεόλιθος, σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) λόγω του μειωμένου βάρους του. Έτσι εκτός των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στις περισσότερες των περιπτώσεων. Μετέπειτα ακολουθεί το compost ελαιουργίας (OMWC), το compost φυτικών υπολειμμάτων αναμειγμένο με κοπριά αλόγου και βοοειδών (GWC) και τέλος η τύρφη.

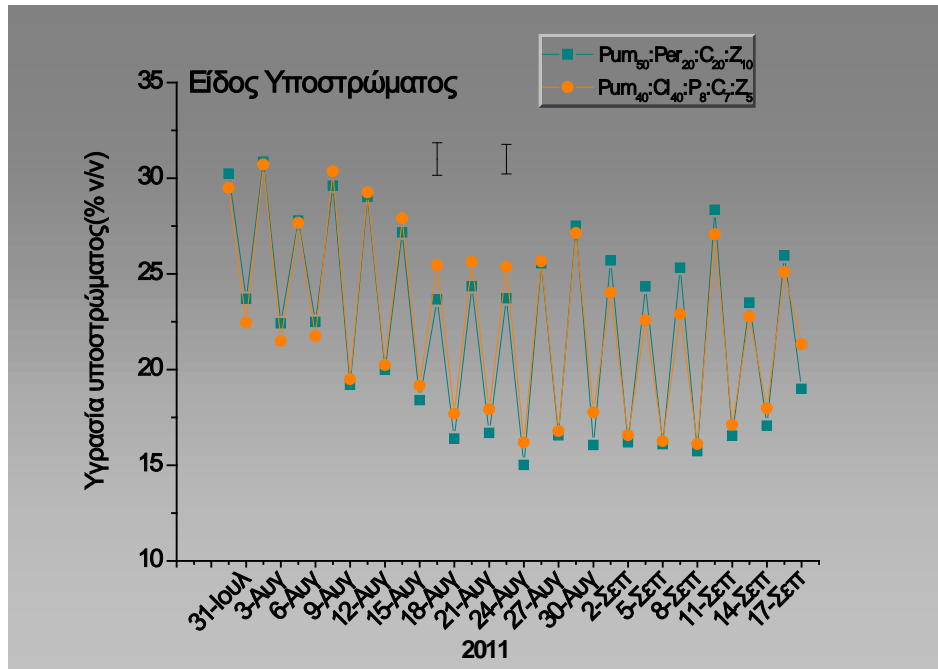
3.2 Αποτελέσματα της δεύτερης ενότητας της μελέτης

Το δεύτερο τμήμα της μελέτης πραγματοποιήθηκε στον πειραματικό αγρό του Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου. Σε αυτή την ενότητα μελετήθηκε η βλαστική ανάπτυξη και η άνθιση των δύο φυτικών ειδών α) *E. cretica* και β) *C. maritimum*, σε κατάσταση καταπόνησης τόσο από την υψηλή θερμοκρασία όσο και από την άρδευση. Η βλαστική ανάπτυξη των φυτών μελετήθηκε ως προς τρεις παράγοντες, οι οποίοι είναι οι εξής:

- Το είδος του υποστρώματος (Pum₅₀:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀ και Pum₄₀:Cl₄₀:P₈:C₇:Z₅)
- Το βάθος του υποστρώματος (7.5 cm και 15 cm)
- Την άρδευση (30% E_{PAN} και 60% E_{PAN})

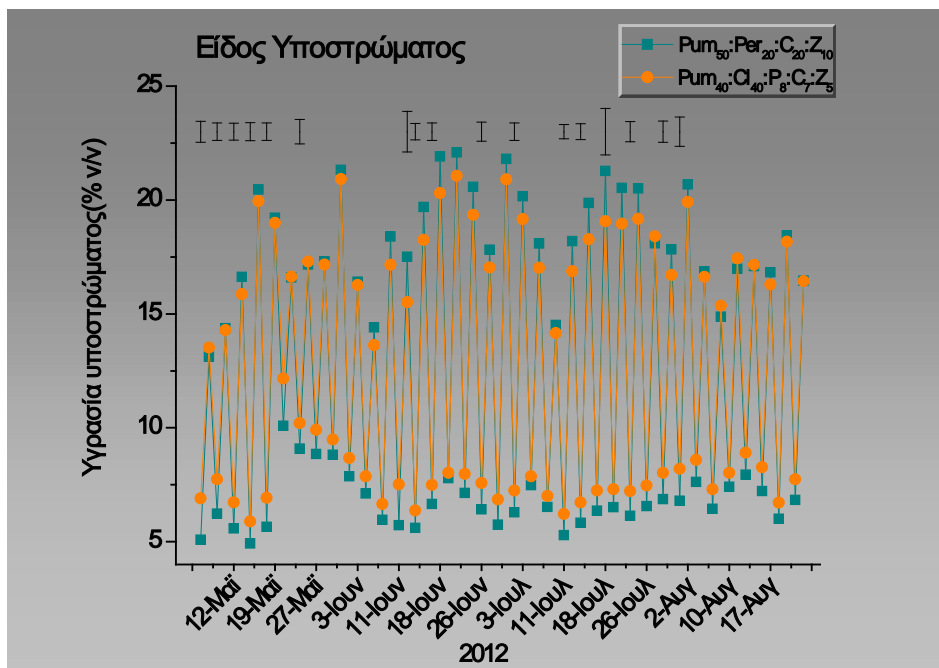
3.2.1 *Ebenus cretica* L.

3.2.1.1 Υγρασία υποστρώματος



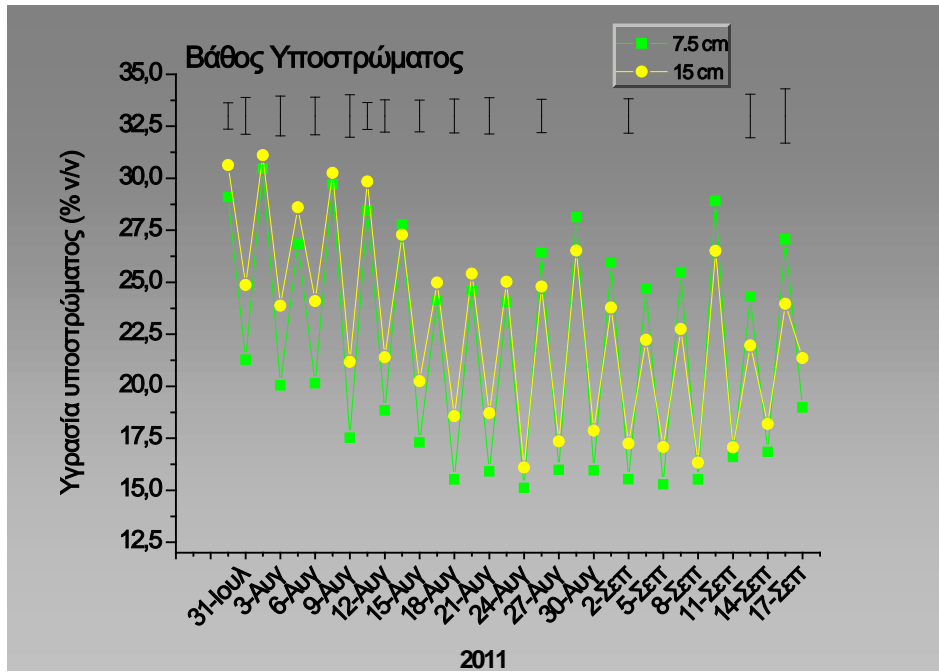
Σχήμα 3.25: Επίδραση του είδους υποστρώματος (Pum₅₀:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀ και Pum₄₀:Cl₄₀:P₈:C₇:Z₅ όπου Pum = ελαφρόπετρα, Cl= διογκωμένη άργιλος, Per = περλίτης, P = τύρφη C = Compost, Z = ζεόλιθος, σε αναλογίες κατ' όγκο που υποδεικνύονται από τους δείκτες) στην υγρασία υποστρώματος του έτους 2011. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση).

Η μέτρηση της υγρασίας του υποστρώματος το έτος 2011 γινόταν την ημέρα της άρδευσης και την επόμενη ημέρα αυτής. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.25 η διακύμανση της υγρασίας ήταν παρόμοια στα δύο είδη υποστρώματος με το υπόστρωμα Pum₅₀:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀ σε ορισμένες ημερομηνίες να συγκρατεί μεγαλύτερη ποσότητα υγρασίας από το υπόστρωμα Pum₄₀:Cl₄₀:P₈:C₇:Z₅, πιθανόν λόγω της μεγαλύτερης ανάπτυξης των φυτικών ειδών σε αυτό.

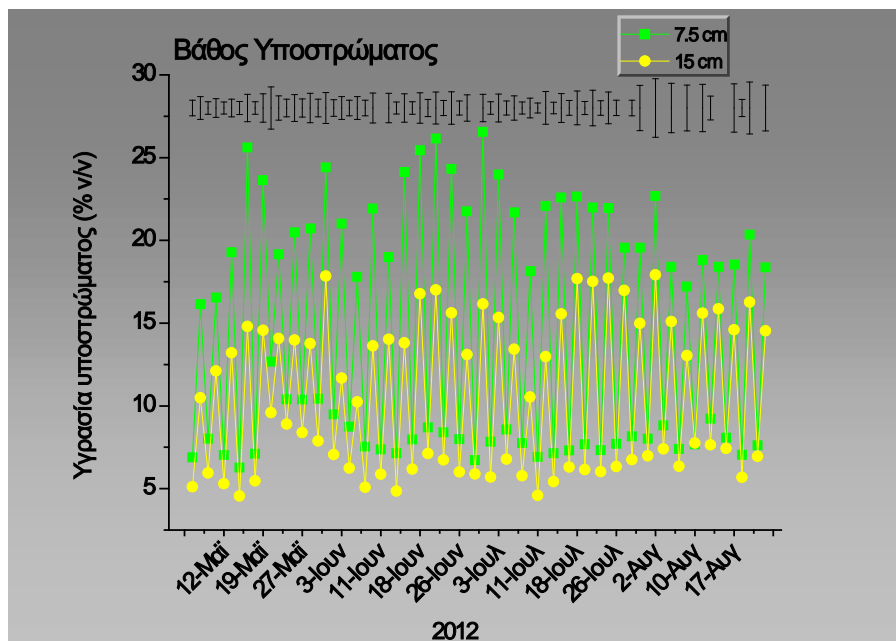


Σχήμα 3.26: Επίδραση του είδους υποστρώματος ($P_{um50}:P_{er20}:C_{20}:Z_{10}$ και $P_{um40}:Cl_{40}:P_8:C_7:Z_5$ όπου P_{um} = ελαφρόπετρα, Cl = διογκωμένη άργιλος, P_{er} = περλίτης, P = τύρφη C = Compost, Z = ζεόλιθος, σε αναλογίες κατ' όγκο που υποδεικνύονται από τους δείκτες) στην υγρασία υποστρώματος του έτους 2012. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση).

Η υγρασία υποστρώματος το έτος 2012 μετριόταν την ημέρα πριν την άρδευση και την ημέρα της άρδευσης μετά από αυτήν. Το υπόστρωμα $P_{um50}:P_{er20}:C_{20}:Z_{10}$ παρουσίασε υψηλότερη συγκράτηση υγρασίας αμέσως μετά την άρδευση αλλά και μικρότερη συγκράτηση υγρασίας μεταξύ των αρδεύσεων από το υπόστρωμα $P_{um40}:Cl_{40}:P_8:C_7:Z_5$ (Σχ. 3.26).



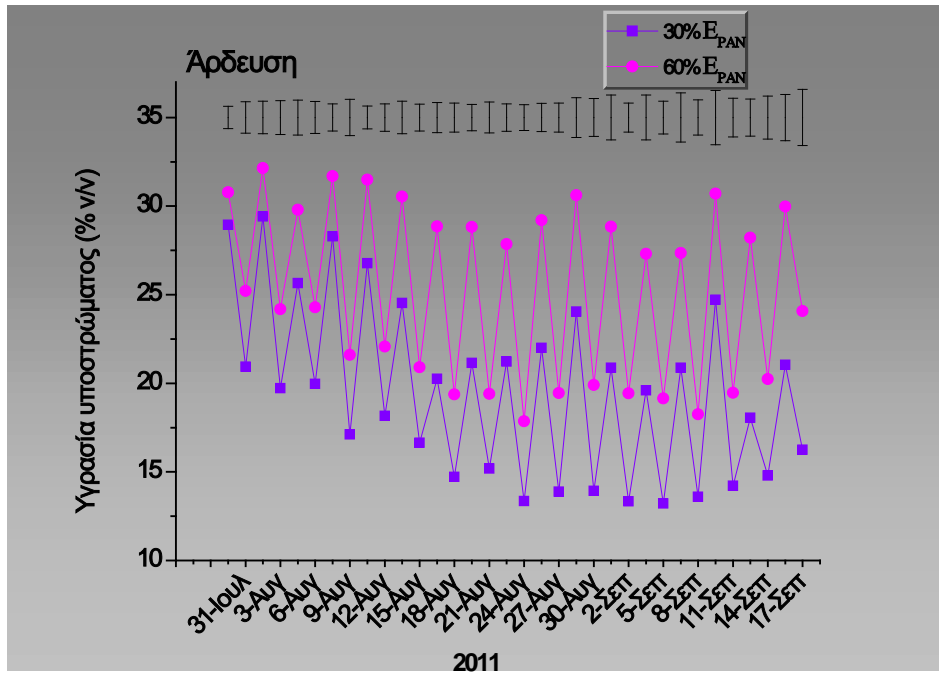
Σχήμα 3.27: Επίδραση του βάθους υποστρώματος (7.5 cm και 15 cm) στην υγρασία του υποστρώματος του έτους 2011. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση).



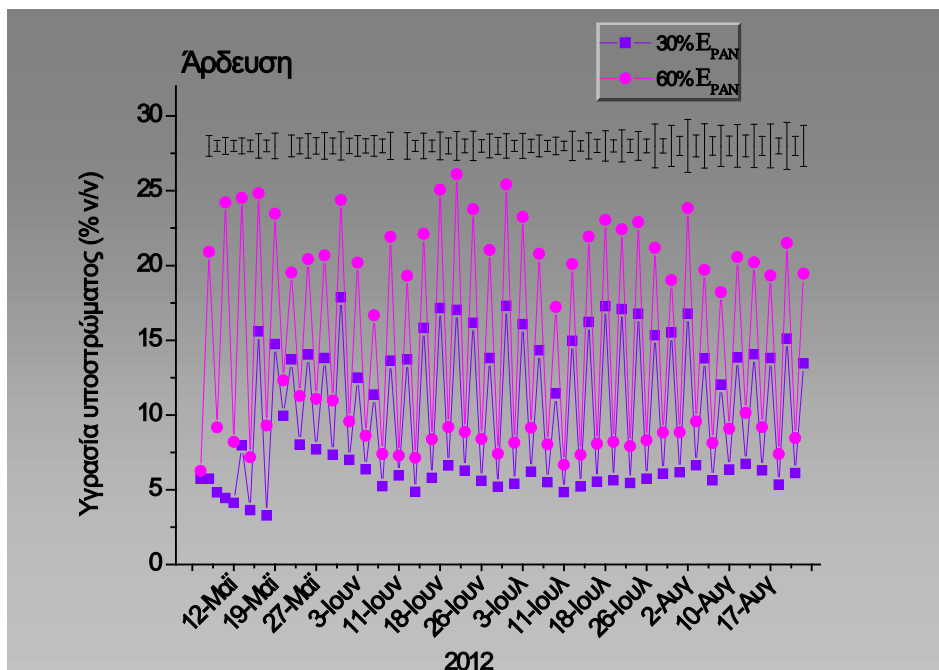
Σχήμα 3.28: Επίδραση του βάθους υποστρώματος (7.5 cm και 15 cm) στην υγρασία του υποστρώματος του έτους 2012. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση).

Η επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην διατήρηση της υγρασίας εμφανίζεται στα διαγράμματα 3.27 και 3.28. Το 2011 η συγκράτηση υγρασίας ήταν παρόμοια, με το μικρότερο βάθος (7.5 cm) να συγκρατεί τις περισσότερες φορές μεγαλύτερο όγκο νερού αμέσως μετά την άρδευση.

Το 2012, το βάθος των 7.5 cm ενώ αμέσως μετά την άρδευση παρουσίαζε πολύ μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε υγρασία την έχανε πολύ γρηγορότερα από ότι το υπόστρωμα των 15 cm. Αντίθετα το βάθος των 15 cm συγκρατούσε την ίδια ποσότητα νερού με το βάθος των 7.5 cm αλλά σε μεγαλύτερο όγκο. Έτσι παρουσιάζει πολύ μικρότερη διακύμανση στην υγρασία από το μικρότερο βάθος υποστρώματος.



Σχήμα 3.29: Επίδραση της άρδευσης (60% E_{PAN} και 30% E_{PAN}) στην υγρασία υποστρώματος του έτους 2011. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση).



Σχήμα 3.30: Επίδραση της άρδευσης (60% E_{PAN} και 30% E_{PAN}) στην υγρασία του υποστρώματος του έτους 2012. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση).

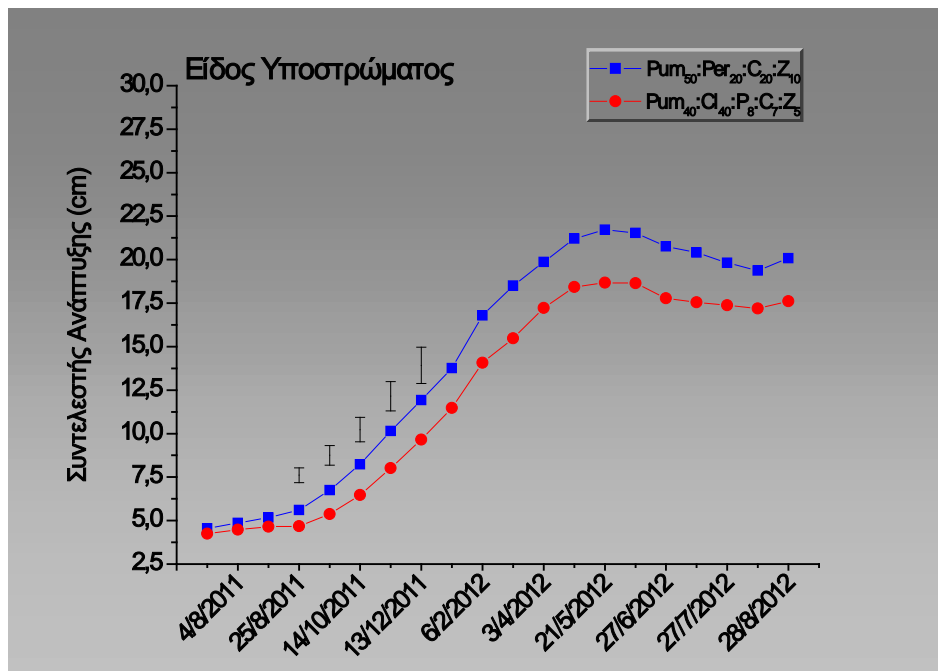
Τέλος, και τα δύο έτη μετρήσεων έδειξαν ότι τα πειραματικά τεμάχια που αρδεύονταν με 30% της εξατμισοδιαπνοής παρουσίασαν μικρότερη υγρασία από αυτά που αρδεύονταν με 60%. Ωστόσο στο διάστημα μεταξύ των αρδεύσεων τα τεμάχια που αρδεύονταν με το υψηλό ποσοστό έχαναν πολύ περισσότερη υγρασία και η διαφορά στη περιεκτικότητα της υγρασίας μεταξύ των δύο αρδεύσεων ήταν μικρή (Σχ. 3.29 - 3.30).

3.2.1.2 Βλαστική ανάπτυξη και άνθιση

Η βλαστική ανάπτυξη του *E. cretica* επηρεάστηκε από το είδος και το βάθος του υποστρώματος ενώ η άρδευση δεν είχε καμία σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη του φυτού όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.32.

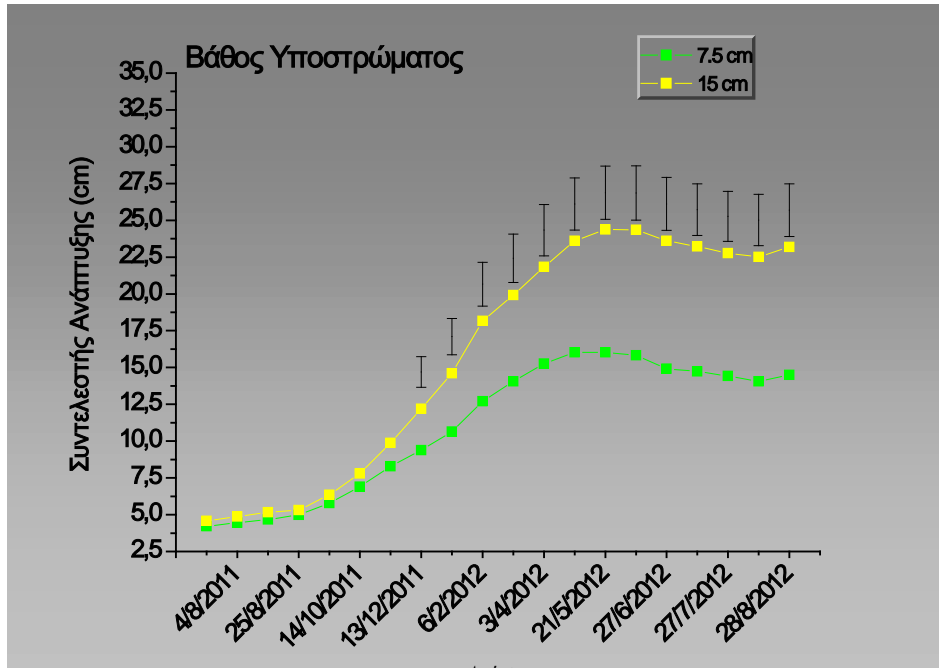
Στο Σχήμα 3.31 φαίνεται ότι το υπόστρωμα P_{um}50:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀ ήταν καταλληλότερο για την ανάπτυξη του φυτού από ότι το υπόστρωμα που περιείχε διογκωμένη άργιλο (P_{um}40:Cl₄₀:P₈:C₇:Z₅). Στις 27/6/2012 και 27/7/2012 παρατηρήθηκε μείωση του μεγέθους των φυτών. Επίσης στο βάθος των 15cm υποστρώματος τα φυτά παρουσίασαν πολύ μεγαλύτερη βλαστική ανάπτυξη από ότι στο μικρότερο βάθος των 7.5cm (Σχ. 3.32).

Τέλος το φυτικό είδος *E. cretica* δεν παρουσίασε άνθιση κατά τη διάρκεια του έτους 2012.

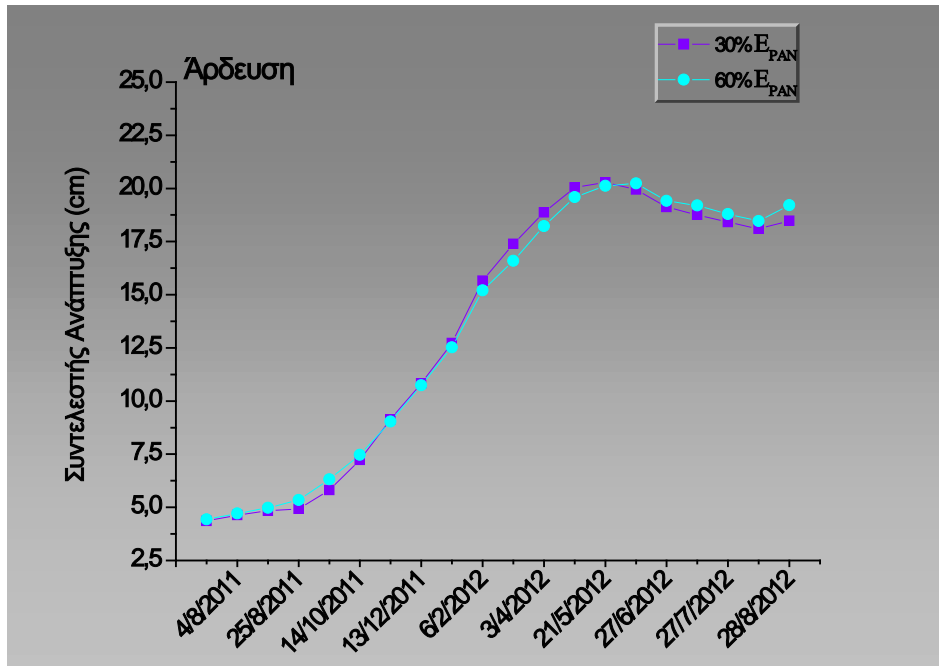


Σχήμα 3.31: Επίδραση του είδους υποστρώματος (P_{um}50:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀ και P_{um}40:Cl₄₀:P₈:C₇:Z₅ όπου P_{um} = ελαφρόπετρα, Cl = διογκωμένη άργιλος, Per = περλίτης, P = τύρφη C = Compost, Z = ζεόλιθος, σε αναλογίες κατ' όγκο που

υποδεικνύονται από τους δείκτες) στη βλαστική ανάπτυξη του *E. cretica*. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση).



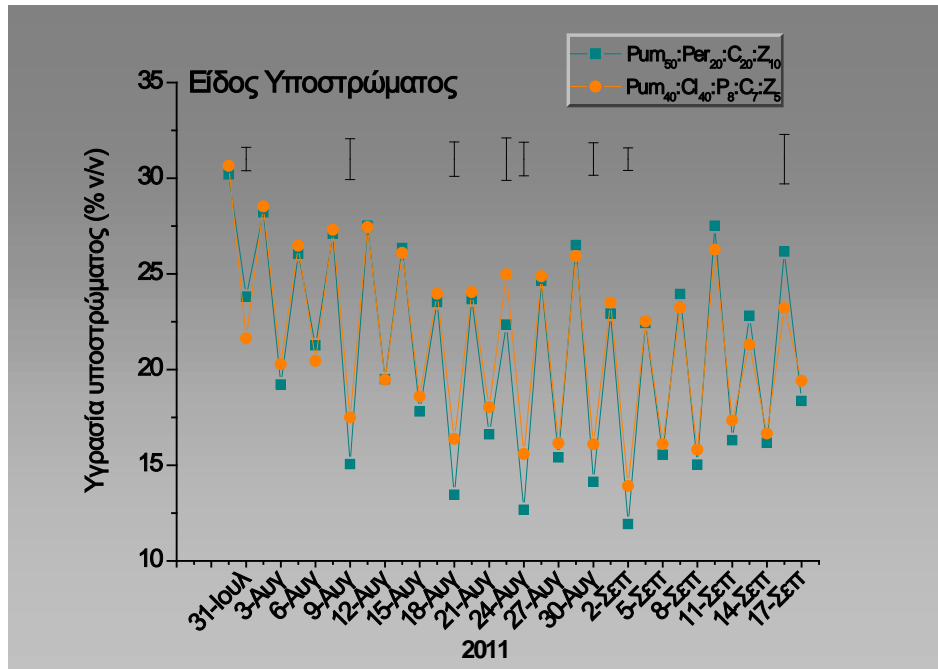
Σχήμα 3.32: Επίδραση του βάθους του υποστρώματος (7.5 cm και 15 cm) στη βλαστική ανάπτυξη του *E. cretica*. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση).



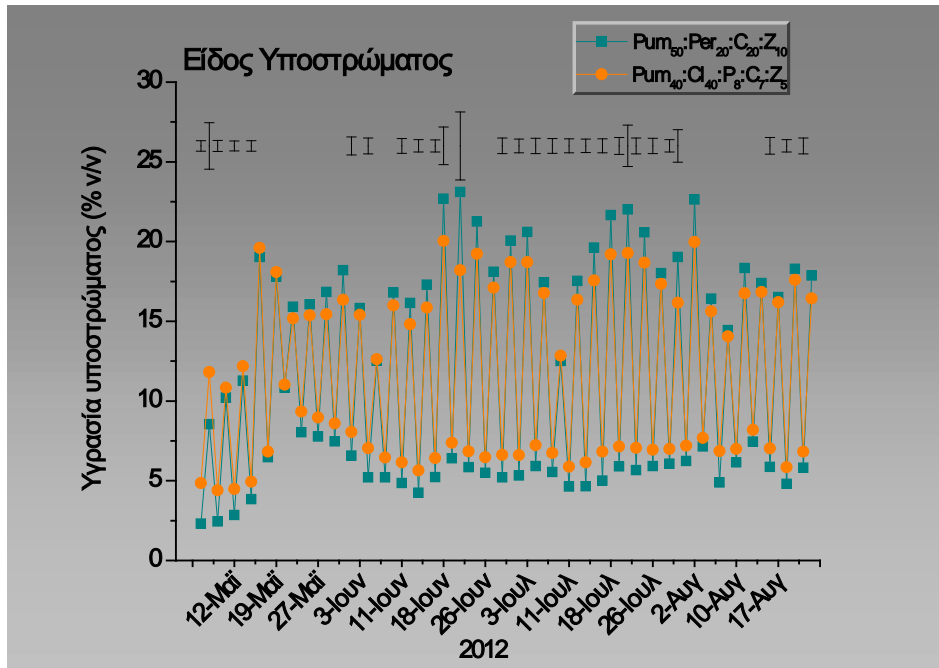
Σχήμα 3.33: Επίδραση της άρδευσης (60% E_{PAN} και 30% E_{PAN}) στη βλαστική ανάπτυξη του *E. cretica*. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση).

3.2.2 *Crithmum maritimum* L.

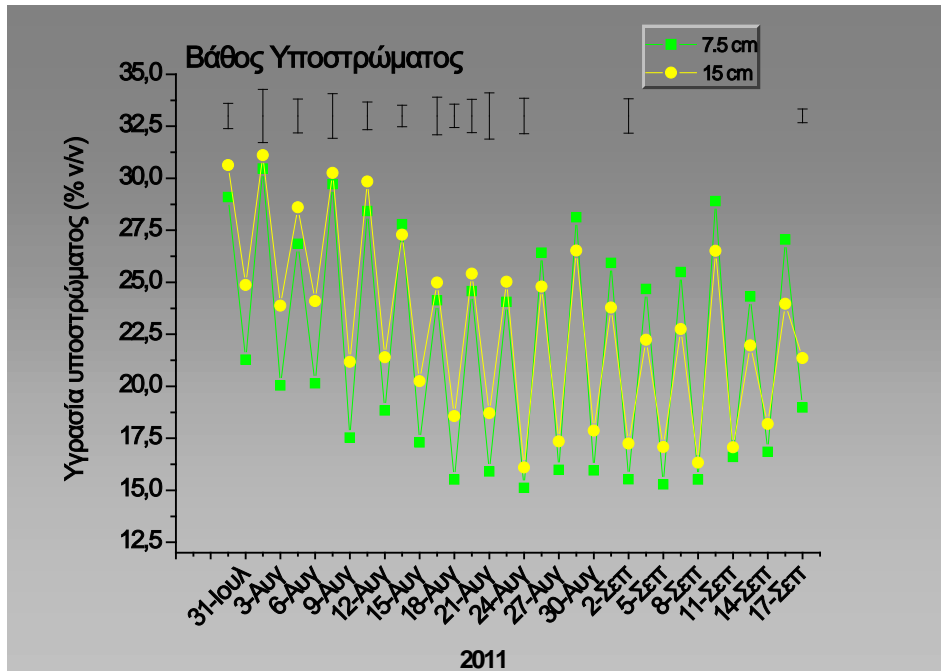
3.2.2.1 Υγρασία υποστρώματος



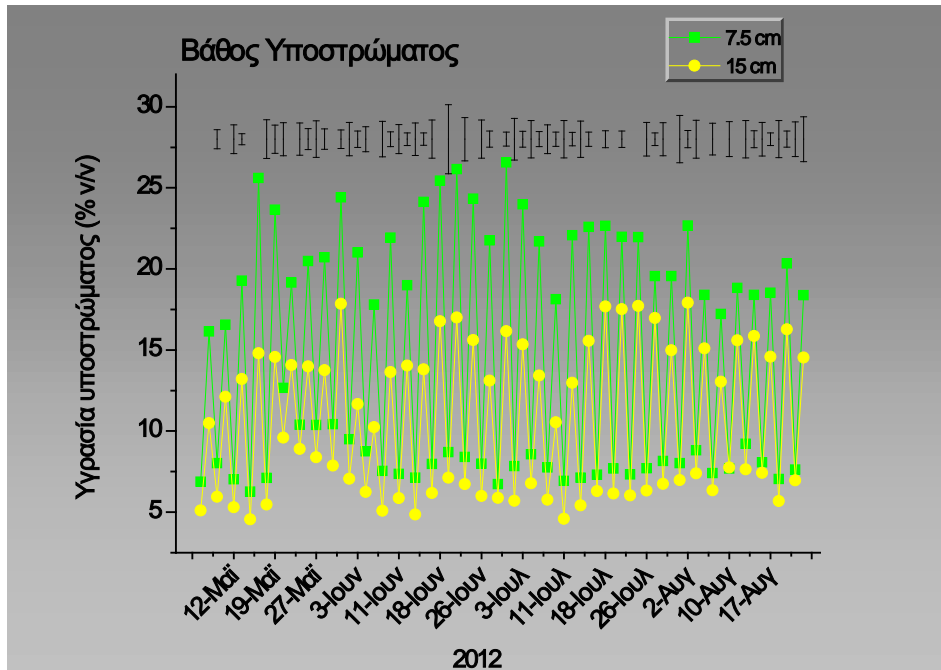
Σχήμα 3.34: Επίδραση του είδους υποστρώματος (Pum50:Per20:C20:Z10 και Pum40:Cl40:P8:C7:Z5 όπου Pum = ελαφρόπετρα, Cl = διογκωμένη άργιλος, Per = περλίτης, P = τύρφη C = Compost, Z = ζεόλιθος, σε αναλογίες κατ' όγκο που υποδεικνύονται από τους δείκτες) στη διακύμανση της υγρασίας του έτους 2011. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση).



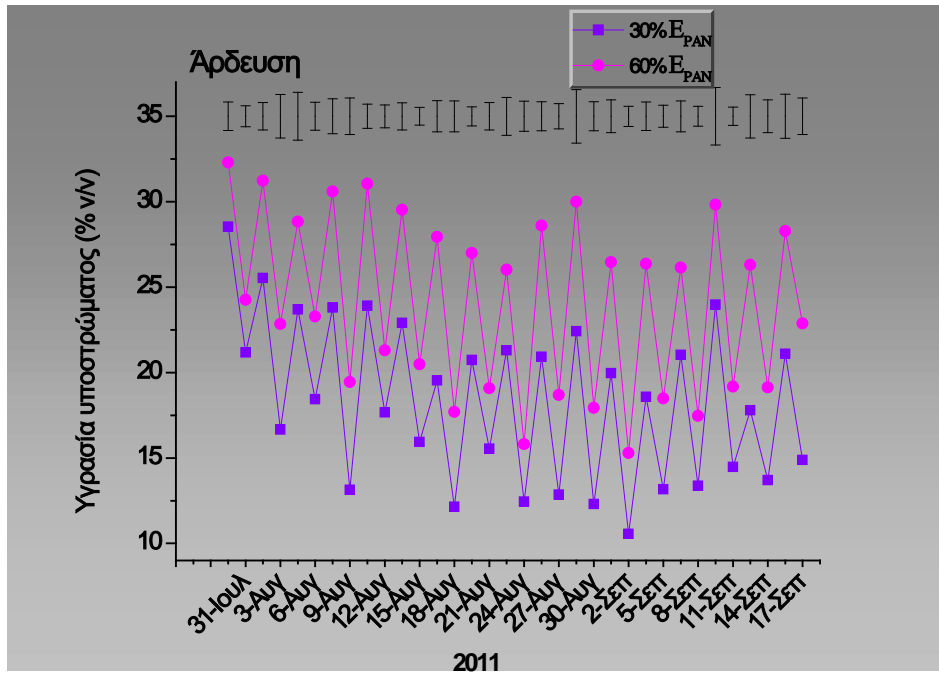
Σχήμα 3.35: Επίδραση του είδους υποστρώματος (Pum50:Per20:C20:Z10 και Pum40:Cl40:P8:C7:Z5 όπου Pum = ελαφρόπετρα, Cl = διογκωμένη άργιλος, Per = περλίτης, P = τύρφη C = Compost, Z = ζεόλιθος, σε αναλογίες κατ' όγκο που υποδεικνύονται από τους δείκτες) στη διακύμανση της υγρασίας του έτους 2012. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση).



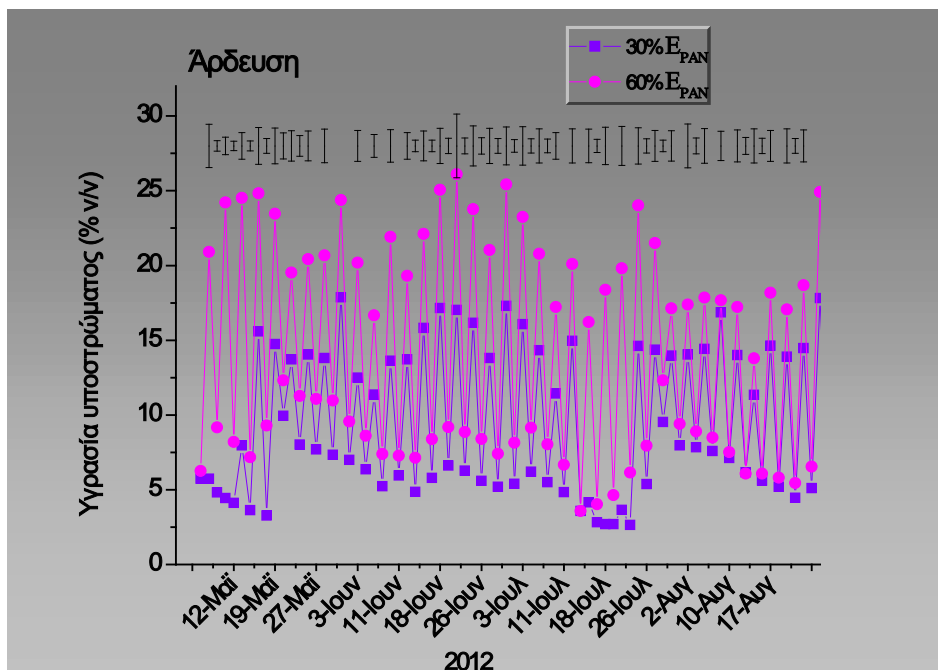
Σχήμα 3.36: Επίδραση του βάθους υποστρώματος (7.5 cm και 15 cm) στη διακύμανση της υγρασίας του έτους 2011. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση).



Σχήμα 3.37: Επίδραση του βάθους υποστρώματος (7.5 cm και 15 cm) στη διακύμανση της υγρασίας του έτους 2012. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση).



Σχήμα 3.38: Επίδραση της άρδευσης (60% E_{PAN} και 30% E_{PAN}) στη διακύμανση της υγρασίας του έτους 2011. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση).



Σχήμα 3.39: Επίδραση της άρδευσης (60% E_{PAN} και 30% E_{PAN}) στη διακύμανση της υγρασίας του έτους 2012. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση).

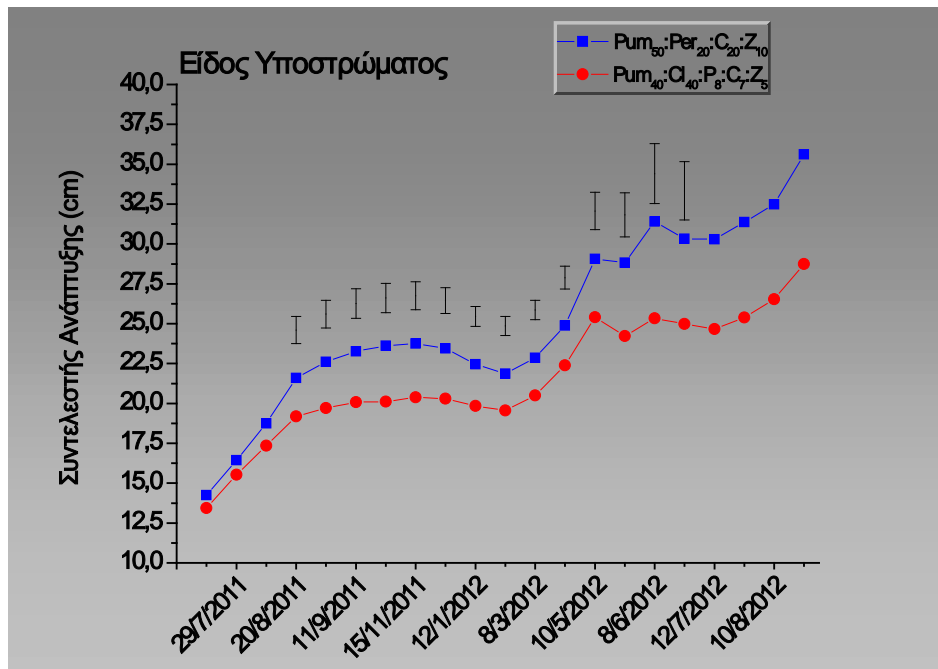
Η περιεκτικότητα των υποστρώματων σε υγρασία του φυτικού είδους *C. maritimum* (Σχ. 3.34-3.39) σε σχέση με τους παράγοντες είδος υποστρώματος, βάθος υποστρώματος και άρδευση παρουσίασαν τα ίδια αποτελέσματα με το φυτικό είδος *E. cretica* (Κεφάλαιο 3.2.1.1).

3.2.2.2 Βλαστική ανάπτυξη και άνθιση

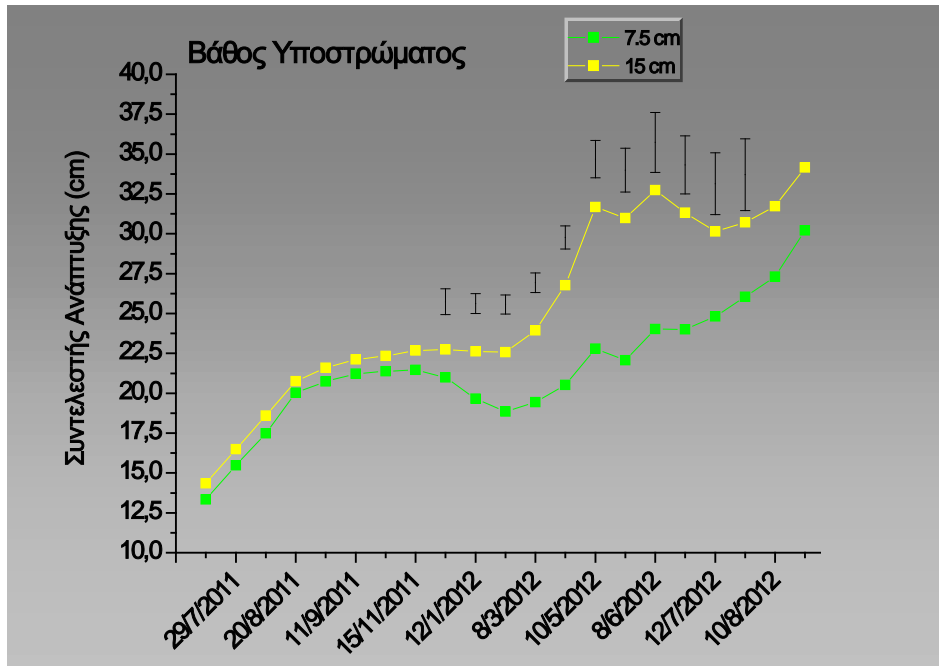
Η ανάπτυξη του φυτικού είδους *C. maritimum* επηρεάστηκε και από τους τρεις παράγοντες της παρούσας μελέτης. Σύμφωνα με το Σχήμα 3.40 η ανάπτυξη του φυτού ήταν μεγαλύτερη στο υπόστρωμα $P_{100}:P_{er20}:C_{20}:Z_{10}$. Επίσης το μεγαλύτερο βάθος υποστρώματος (15cm) παρουσίασε υψηλότερη ανάπτυξη (Σχ.3.41) ενώ και η υψηλή άρδευση (60% E_{PAN}) είχε καλύτερα αποτελέσματα από τη χαμηλή (Σχ. 3.42). Οι δύο

κορυφώσεις που εμφανίζονται στα διαγράμματα είναι οι δύο περίοδοι άνθισης του φυτού.

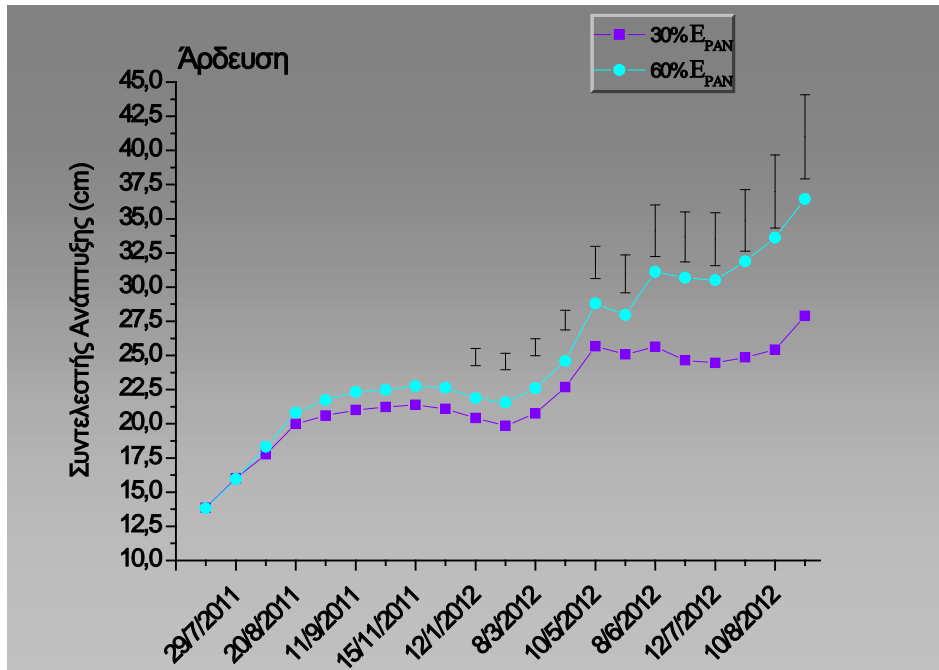
Η ανάλυση της άνθισης ήταν μονοπαραγοντική διότι υπήρχαν αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγόντων. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.43 η άνθιση ήταν υψηλότερη στην επέμβαση A-S-H ενώ ακολουθούσε η A-D-H, (όπου A= Pum₅₀:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀, S= 7.5cm, D= 15cm και H= 60% E_{PAN}). Οι υπόλοιπες επεμβάσεις είχαν παρόμοια άνθιση.



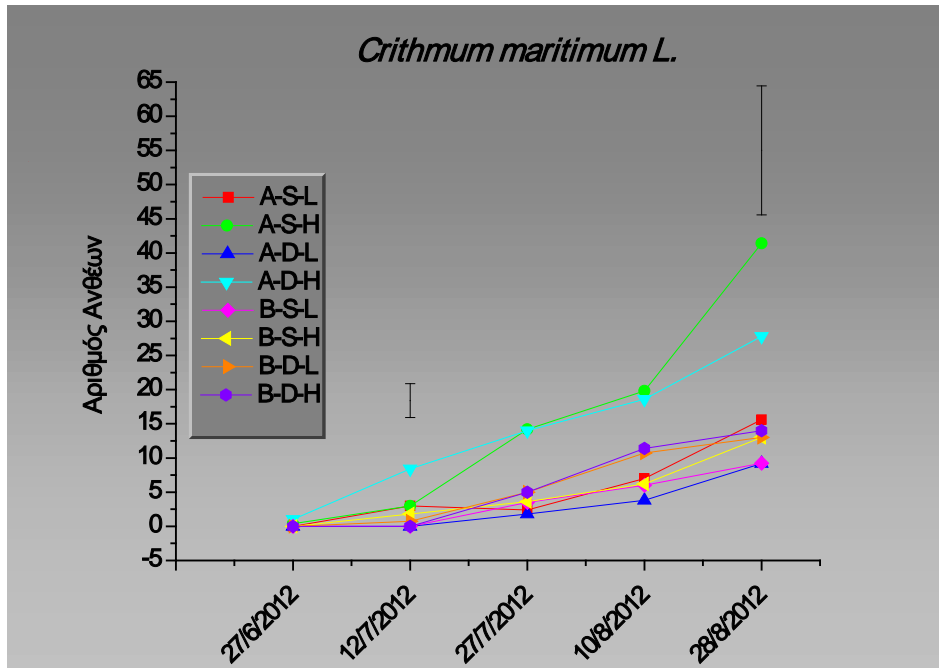
Σχήμα 3.40: Επίδραση του είδους υποστρώματος (Pum50:Per20:C20:Z10 και Pum40:Cl40:P8:C7:Z5 όπου Pum = ελαφρόπετρα, Cl = διογκωμένη άργιλος, Per = περλίτης, P = τύρφη C = Compost, Z = ζεόλιθος, σε αναλογίες κατ' όγκο που υποδεικνύονται από τους δείκτες) στη βλαστική ανάπτυξη του *C. maritimum*. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση).



Σχήμα 3.41: Επίδραση του βάθους του υποστρώματος (7.5cm και 15cm) στη βλαστική ανάπτυξη του *C. maritimum*. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση).



Σχήμα 3.42: Επίδραση της άρδευσης (60% E_{PAN} και 30% E_{PAN}) στη βλαστική ανάπτυξη του *C. maritimum*. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση).



Σχήμα 3.43: Διακύμανση της άνθισης του *C. maritimum*. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο πέντε επαναλήψεων (\pm τυπική απόκλιση) (A = Ρum₅₀:Ρer₂₀:C₂₀:Z₁₀, B = Ρum₄₀:Cl₄₀:P₈:C₇:Z₅, S = 7.5 cm, D = 15 cm, L = 30% E_{PAN}, H = 60% E_{PAN}).

4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Πρώτη ενότητα μελέτης

Σε αυτή τη μελέτη έγινε ανάλυση της ελαφρόπετρας ως προς τις ιδιότητές της για να διαπιστωθεί αν αποτελεί κατάλληλο υλικό ως κυρίως συστατικό υποστρώματος για εκτατικά φυτοδώματα. Επίσης αναλύθηκαν και άλλα οργανικά και ανόργανα υλικά για τη συμμετοχή τους στο προς δημιουργία υπόστρωμα.

4.1.1 Ελαφρόπετρα

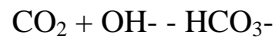
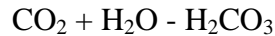
Η ελαφρόπετρα 0-8 mm αποτελεί ένα υλικό με κατάλληλες φυσικοχημικές ιδιότητες για τη χρήση του σε υποστρώματα για εκτατικά φυτοδώματα σύμφωνα με τις εργαστηριακές αναλύσεις που έγιναν στο πλαίσιο αυτής της μελέτης, εκτός από το υψηλό pH που παρουσιάζει το οποίο φτάνει το 9.5 κατά μέσο όρο. Το τόσο υψηλό pH αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για την ανάπτυξη των φυτών. Ωστόσο το υψηλό pH του υλικού έρχεται σε αντίφαση με άλλες πειραματικές μελέτες που το έχουν χρησιμοποιήσει ως υπόστρωμα ή ως συστατικό υποστρώματος για την μελέτη ανάπτυξης φυτικών ειδών όπως οι Fassman and Simcock. (2012), Nektarios et al. (2011), Ntoulas et al. (2012) και Kotsiris et al. (2012).

Λόγω αυτής της αντίφασης μεταξύ της χημικής ανάλυσης και των επιστημονικών μελετών, πραγματοποιήθηκαν επιπλέον αναλύσεις με έκπλυση του υλικού και άλλες τεχνικές όπως περιγράφονται στο Κεφάλαιο Υλικά και Μέθοδοι, οι οποίες έδειξαν ότι το pH της ελαφρόπετρας μειώνεται όταν η διαβρεγμένη ελαφρόπετρα μείνει ακάλυπτη και έρχεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα για κάποιο εύλογο διάστημα. Αυτό επιβεβαιώνεται από το σχήμα 3.9 όπου στα ανοικτά μικρολυσίμετρα το pH μειώθηκε από

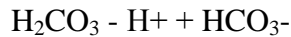
το 9.04 στο 8.3 σε διάστημα 19 ωρών ενώ στα αεροστεγώς σφραγισμένα μικρολυσίμετρα η μείωση του pH από 9.04 σε 8.6 πραγματοποιήθηκε μέσα σε 24 ώρες (Σχ. 3.7). Τέλος, όταν τα ανοικτά μικρολυσίμετρα σφραγίστηκαν το pH τους αυξήθηκε σε διάστημα 6 ωρών από 8.3 σε 8.7 πιθανότατα εξαιτίας της έλλειψης του CO₂ (Σχ. 3.9).

Εν κατακλείδι, τα ανοικτά μικρολυσίμετρα μείωσαν το pH κατά 0.3 μονάδες περισσότερο και σε διάστημα μικρότερο κατά 5 ώρες από τα σφραγισμένα μικρολυσίμετρα.

Ύστερα από βιβλιογραφική έρευνα (Δ1), διαπιστώθηκε ότι η αντίδραση του CO₂ μπορεί να μειώσει το pH. Η διαλυτότητα του CO₂ στο νερό καθορίζεται από τις παρακάτω αντιδράσεις:



Και μετά:



με την αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ προκαλείται μείωση του pH και αντιστρόφως.

Στηριζόμενοι σε όλες τις παραπάνω αναλύσεις και αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι παρόλο το υψηλό εκ φύσεως pH της ελαφρόπετρας 0-8 το αυξημένο πορώδες του υλικού συνεισφέρει στη γρήγορη μείωση του pH του διαλύματος στα υποστρώματα σε επίπεδα αποδεκτά για την ανάπτυξη των φυτών. Πιο συγκεκριμένα η μείωση του pH σε 8.3 πραγματοποιείται σε διάστημα 19 ωρών. Συνεπώς, δεν παρεμποδίζεται η ανάπτυξη των φυτών το οποίο είναι σύμφωνο με τις ερευνητικές μελέτες και τις εμπειρικές παρατηρήσεις για την ελαφρόπετρα.

4.1.2 Ανόργανα και Οργανικά υλικά

Από τα ανόργανα (θραυστό τούβλο λεπτόκοκκο και χονδρόκοκκο, θραυστό κεραμίδι διαφόρων κοκκομετριών και δύο προελεύσεων, θερμικώς κατεργασμένη άργιλος) και οργανικά υλικά (composts ελαιουργίας, φυτικών υπολειμμάτων, στέμφυλων και τύρφη) που μελετήθηκαν, επιλέχθηκαν να συμμετάσχουν στο υπόστρωμα η θερμικώς κατεργασμένη άργιλος λόγω των κατάλληλων φυσικοχημικών της ιδιοτήτων όπως έχουν αναλυθεί στα Κεφάλαια 3.1.9 – 3.1.13. Η θερμικώς κατεργασμένη άργιλος χρησιμοποιείται σε παγκόσμιο επίπεδο ως συστατικό υποστρωμάτων για εκτατικά φυτοδώματα (Fassman et al., 2010). Επίσης αποφασίστηκε να συμμετέχει και ο ζεόλιθος λόγω της ιδιότητας που έχει να δρα ως βραδείας αποδέσμευσης λίπασμα με παρατεταμένη δράση (Fassman et al., 2010). Τέλος από τις οργανικές ουσίες που μελετήθηκαν επιλέχτηκε το compost στέμφυλων (GMC) λόγω του μικρότερου βάρους που έχει από τα υπόλοιπα composts που μελετήθηκαν, αφού όλα είχαν παρόμοιες ιδιότητες.

Το τελικό υπόστρωμα που δημιουργήθηκε ήταν το $P_{um65}:Cl_{15}:C_{15}:Z_5$ (όπου P_{um} = ελαφρόπετρα, Cl = θερμικώς κατεργασμένη άργιλος, C = Compost στέμφυλων, Z = Ζεόλιθος) σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες. Το υπόστρωμα αυτό είναι φτιαγμένο σύμφωνα με τις κατευθυντήριες αρχές του FLL (2008) για τα εκτατικά φυτοδώματα.

Η χρήση της ελαφρόπετρας ως κύριο συστατικό σε εκτατικά φυτοδώματα έχει διερευνηθεί και από άλλους ερευνητές. Το 2011 διεξήχθησαν δύο πειράματα από τους Λώλη Ε. και Ποδαροπούλου Α. αντίστοιχα, στα πλαίσια μεταπτυχιακού προγράμματος όπου μελέτησαν την ανάπτυξη πέντε φυτικών ειδών ως προς το είδος και βάθος υποστρώματος. Χρησιμοποίησαν την ελαφρόπετρα σε ποσοστό 60% στα υποστρώματά τους με διαφορετικές κατ' όγκο αναλογίες εδάφους και compost (Α: 60%ελαφρόπετρα:40%κομπόστα, Β: 60%ελαφρόπετρα:40%χώμα, Γ: 60%ελαφρόπετρα:20%κομπόστα:20%χώμα) ενώ τα δύο βάθη υποστρώματος ήταν 7.5 και 15

cm. Ο Λώλης (2011) μελέτησε την ανάπτυξη των *Rosmarinus officinalis "Prostratus"* και *Teucrium chamaedrys* και βρήκε ότι τα φυτικά είδη αναπτύχθηκαν καλύτερα στο υπόστρωμα Β με βάθος υποστρώματος 15 cm. Ωστόσο παρατηρήθηκε ότι τα φυτά είχαν πλουσιότερη φυλλική επιφάνεια και υψηλότερους βιομετρικούς δείκτες στο υπόστρωμα Α σε βάθος υποστρώματος 7.5 cm. Αντίστοιχα η Ποδαροπούλου (2011) μελέτησε τα φυτικά είδη *Hyssopus officinalis*, *Mentha pulegium* και *Phlomis fruticosa* και βρήκε επίσης ότι τα φυτά ανταποκρίθηκαν καλύτερα στο υπόστρωμα Β ανεξάρτητα από το βάθος υποστρώματος. Οι μελέτες αυτές υποδηλώνουν ότι η χρήση της ελαφρόπετρας ως κύριο συστατικό σε ένα υπόστρωμα ακόμα και χωρίς την προσθήκη οργανικής ουσίας δίνει πολύ καλά αποτελέσματα ως προς την ανάπτυξη των φυτών, κάτι που βεβαιώνει την σωστή επιλογή της ελαφρόπετρας ως κύριο συστατικό υποστρώματος.

Παρόμοιες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί και από τους Nektarios et al. (2011) όπου εξετάστηκε η ανάπτυξη του φυτικού είδους *Dianthus fruticosus sub. fruticosus* σε δύο είδη υποστρώματος (Pum₅₀:Per₂₀:C₂₀:Z₁₀ και S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅, όπου Pum: η ελαφρόπετρα, Per: ο περλίτης, C: το κόμποστ, Z: ζεόλιθος και S: το αμμοπηλώδες έδαφος, σε κατ' όγκο αναλογία), δύο βάθη υποστρώματος (7,5 cm και 15 cm) και δύο ποσότητες άρδευσης κατά την περίοδο ξηρασίας: (15% και 30% των μέσων όρων της εξάτμισης τριών λυσίμετρων). Βρέθηκε ότι η ενσωμάτωση του εδάφους στο υπόστρωμα ανάπτυξης, παρείχε καλύτερη φυσιολογική κατάσταση πριν την περίοδο της ξηρασίας, αλλά δεν επηρέασε την ανάπτυξη των φυτών, κατά το πρώτο έτος ανάπτυξης κάτι που υποδηλώνει ότι η χρήση της ελαφρόπετρας ως κύριο συστατικό δεν λειτουργεί ως ανασταλτικός παράγοντας ανάπτυξης των φυτών.

Επίσης η ελαφρόπετρα έχει μελετηθεί και ως υπόστρωμα για καλλιέργεια οπωροκηπευτικών. Το 2001 οι Maloupa et al. διεξήγαγαν δύο πειράματα ώστε να διαπιστώσουν εάν η ελληνική ελαφρόπετρα αποτελεί κατάλληλο υπόστρωμα για την καλλιέργεια ντομάτας και αγγουριού. Χρησιμοποιήθηκαν διάφορες κοκκομετρίες του υλικού καθώς και διαφορετικά ποσοστά μείξης ώστε να βρεθεί αυτή που είχε το καλύτερο πορώδες και την καλύτερη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας. Το συμπέρασμα της μελέτης ήταν ότι η προσθήκη λεπτόκοκκων σωματιδίων ελαφρόπετρας στη

μεγαλύτερη ογκομετρία βελτιώνει τις φυσικοχημικές ιδιότητες του υποστρώματος καθώς και την ανάπτυξη του φυτού.

4.2 Δεύτερη ενότητα μελέτης

Η δεύτερη ενότητα αφορά τη μελέτη της βλαστικής ανάπτυξης των φυτικών ειδών *Ebenus cretica* L. και *Crithmum maritimum* L. ως προς το είδος υποστρώματος, το βάθος υποστρώματος και την ποσότητα άρδευσης.

4.2.1 Υγρασία υποστρώματος για τα *Ebenus cretica* και *Crithmum maritimum*

Τα δύο φυτικά είδη είχαν παρόμοια αποτελέσματα όσον αφορά την υγρασία υποστρώματος σε σχέση με το είδος και βάθος υποστρώματος καθώς και με την ποσότητα άρδευσης.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, η υγρασία υποστρώματος ήταν μεγαλύτερη στο υπόστρωμα P_{um50}:P_{er20}:C₂₀:Z₁₀, αμέσως μετά την άρδευση και στα δύο έτη μετρήσεων από το υπόστρωμα, P_{um40}:C_{l40}:P₈:C₇:Z₅. Αντίθετα η συγκράτηση υγρασίας μετά από 24 ώρες (έτος μέτρησης 2011) και μετά από 48 ώρες (έτος μέτρησης 2012) ήταν υψηλότερη στο υπόστρωμα P_{um40}:C_{l40}:P₈:C₇:Z₅. Η συγκράτηση υγρασίας για μεγάλο χρονικό διάστημα οφείλεται πιθανότατα στη διογκωμένη άργιλο. Αυτό διαπιστώνεται και από το σχήμα 3.23 της πρώτης μελέτης όπου η αύξηση της κατ' όγκο αναλογίας της διογκωμένης αργίλου μετατοπίζει την καμπύλη υγρασίας υψηλότερα. Επίσης οι Claridge and Edwards (2008) σε μελέτη τους αναφέρουν ότι η διογκωμένη άργιλος αποτελεί ένα υλικό με υψηλή υδραυλική αγωγιμότητα που φτάνει το 5 cm s⁻¹ ενώ της ελαφρόπετρας είναι 0.794 cm s⁻¹.

Η υγρασία υποστρώματος εξετάστηκε επίσης και ως προς το βάθος υποστρώματος. Τα δύο βάθη που μελετήθηκαν ήταν τα 7.5 και 15 cm. Το 2011, που η μέτρηση γινόταν αμέσως μετά την άρδευση και ύστερα από 24 ώρες, το μικρότερο βάθος συγκρατούσε περισσότερη υγρασία αλλά ταυτόχρονα αποστράγγιζε γρηγορότερα. Το 2012, που η δεύτερη μέτρηση γινόταν μετά από 48 ώρες το μικρότερο βάθος συγκρατούσε επίσης υψηλότερη ποσότητα υγρασίας, ενώ το βάθος των 15 cm αποστράγγιζε πιο γρήγορα. Η μικρότερη περιεκτικότητα σε υγρασία που παρουσιάζεται, κατά τη δεύτερη μέτρηση, στα βαθύτερα υποστρώματα πιθανολογείται ότι συμβαίνει λόγω των υψηλότερων ποσοστών εξατμισοδιαπνοής που προκύπτουν από τη μεγαλύτερη βιομάζα όπως αποδεικνύεται από τα σχήματα 3.32 και 3.41. (Van Woert et al., 2005).

Επίσης, η υγρασία παρουσιάζεται μεγαλύτερη στο βάθος των 7.5 cm λόγω του μικρότερου όγκου υποστρώματος καθώς η ποσότητα άρδευσης είναι σταθερή. Σύμφωνα με τους Latshaw et al. (2009) η υψηλή συγκράτηση υγρασίας πραγματοποιείται με την αύξηση του βάθους του υποστρώματος. Αυτό μπορεί να βεβαιωθεί από τους VanWoert et al. (2005) οι οποίοι μετά από πείραμα με τρία διαφορετικά βάθη φυτοδωμάτων (2.5, 4.0, και 6.0 cm), βρήκαν ότι το νερό που προέρχεται από βροχοπτώσεις συγκρατείται περισσότερο σε βαθιά υποστρώματα από ότι σε ρηχά.

Τέλος τα πειραματικά τεμάχια με τη χαμηλή ποσότητα άρδευσης (30% E_{PAN}) παρουσίασαν μικρότερη συγκράτηση υγρασίας από τα τεμάχια με την υψηλή άρδευση κατά τη διάρκεια και των δύο ετών που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις. Ωστόσο τα υψηλά αρδευόμενα πειραματικά τεμάχια έχασαν, κατά πάσα πιθανότητα, λόγω εξατμισμού και μεγαλύτερης βιομάζας πολύ περισσότερη υγρασία μετά το πέρας των 24 και 48 ωρών αντίστοιχα.

4.2.2 Βλαστική ανάπτυξη

4.2.2.1 Είδος υποστρώματος

Τα φυτικά είδη *E. cretica* και *C. maritimum* αναπτύχθηκαν σαφώς καλύτερα στο υπόστρωμα P_{um}50:P_{er}20:C₂₀:Z₁₀ από ότι στο υπόστρωμα P_{um}40:C_l40:P₈:C₇:Z₅. Αυτό συνέβη πιθανότατα λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητας του πρώτου υποστρώματος σε οργανική ουσία και ζεόλιθο. καθώς έχουν την ικανότητα υψηλότερης συγκράτησης υγρασίας αλλά αποτελούν και πηγή θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά (Fassman et al., 2010) Η διαφορά της κατ' όγκο οργανικής ουσίας ανάμεσα στα δύο υποστρώματα (20% και 15%) μεγαλώνει περισσότερο εάν ληφθεί υπόψη ότι η τύρφη παρόλο που έχει υψηλή συγκράτηση υγρασίας δεν έχει πολλά θρεπτικά στοιχεία όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.5.

Η επίδραση του compost και της τύρφης στην ανάπτυξη διάφορων φυτικών ειδών έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές. Το 2009 οι Παπαφωτίου et al. πραγματοποίησαν μελέτη που αφορούσε την ανάπτυξη του φυτού *Ficus benjamina* σε υποστρώματα που περιείχαν compost στέμφυλων και τύρφης αντίστοιχα. Διαπίστωσαν ότι το υπόστρωμα με το compost στέμφυλων παρουσίασε μεγαλύτερο νωπό και ξηρό βάρος συγκριτικά με τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε υπόστρωμα που περιείχε τύρφη. Επίσης το 2010 η Περγαλιώτη διαπίστωσε ότι τα φυτικά είδη *Helichrysum orientale* και *Helichrysum italicum* είχαν καλύτερη ανάπτυξη στο υπόστρωμα που περιείχε compost στέμφυλων.

Οι Nagase et al. (2011), μελέτησαν την επίδραση της οργανικής ουσίας στην ανάπτυξη τεσσάρων ειδών φυτών (*Allium schoenoprasum*, *Limonium latifolium*, *Melica ciliata* and *Nepeta × faassenii*) σε συνθήκες εκτατικού φυτοδώματος. Πρόσθεσαν 0%, 10%, 25% και 50% κατ' όγκο οργανική ουσία σε ένα υπόστρωμα από θραυστό τούβλο που περιείχε λιγότερο από 4% οργανική ουσία, ενώ η άρδευση γινόταν ανά 5 και 15 ημέρες αντίστοιχα. Διαπίστωσαν ότι η προσθήκη 10% οργανικής ουσίας ήταν η ιδανική ποσότητα διότι τα φυτά παρουσίασαν σταθερή ανάπτυξη ανεξαρτήτως άρδευσης. Στην

άρδευση ανά 5 ημέρες η υψηλότερη οργανική ουσία οδήγησε σε μεγάλη ανάπτυξη, ενώ στην άρδευση των 15 ημερών δεν είχε καμία επίδραση. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι η αύξηση της οργανικής ουσίας οδήγησε σε μεγαλύτερη καταπόνηση των φυτών λόγω της αύξησης της βλάστησης.

Ο Λώλης (2011), στη μεταπτυχιακή του μελέτη όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 4.1.2 παρατήρησε ότι τα φυτά είχαν πλουσιότερη φυλλική επιφάνεια και υψηλότερους βιομετρικούς δείκτες στο υπόστρωμα Α που περιείχε 40% κατ' όγκο οργανική ουσία σε βάθος υποστρώματος 7 cm.

Τέλος οι Ntoulas et al. (2012), μελέτησαν την ανάπτυξη του γρασιδιού *Zoysia matrella* 'Zeon' ως προς το είδος υποστρώματος ($S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$, όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, Pum = ελαφρόπετρα, Per = περλίτης, P = τύρφη, Z = ζεόλιθος, C = compost σε κατ' όγκο αναλογίες), το βάθος (7.5 cm και 15 cm) και την ποσότητα άρδευσης (3 mm και 6 mm της άρδευσης κάθε 3 ημέρες), καθώς και την αντοχή αυτού στην υδατική καταπόνηση. Βρέθηκε ότι κατά την εγκατάσταση και την περίοδο ανάπτυξης το υπόστρωμα που περιείχε compost βελτίωσε την φυτοκάλυψη περισσότερο από το υπόστρωμα που περιείχε τύρφη. Αντίθετα η χρήση τύρφης στο υπόστρωμα βελτίωσε την αντοχή του *Z. matrella* κατά τη διάρκεια της υδατικής καταπόνησης, σε σύγκριση με το υπόστρωμα που περιείχε compost.

4.2.2.2 Βάθος υποστρώματος

Τα δύο βάθη υποστρώματος (7.5 και 15 cm) επηρέασαν την ανάπτυξη των δύο φυτικών ειδών. Και τα δύο είδη φυτών παρουσίασαν μεγαλύτερη ανάπτυξη στο βάθος των 15 cm. Η ανάπτυξη των φυτών σε βαθύτερα υποστρώματα οφείλεται στην ικανότητα του υποστρώματος να συγκρατεί μεγαλύτερη ποσότητα υγρασίας (Latshaw et al., 2009) αλλά και στη θεώρηση ότι όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος τόσο βελτιώνονται οι συνθήκες ανάπτυξης και επιβίωσης των φυτών λόγω του μεγαλύτερου όγκου για ανάπτυξη του

ριζικού συστήματος και λόγω της μείωσης της έντασης των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας (Durhman et al. 2007; Nektarios et al. 2011).

Οι Dunnet et al. (2008) παρατήρησαν ότι και τα 15 είδη φυτών που μελέτησαν ανέπτυξαν καλύτερα χαρακτηριστικά ανάπτυξης και μεγαλύτερη βιωσιμότητα στο βάθος των 20 cm από ότι στον 10 cm.

Οι Ntoulas et al. (2012), στη μελέτη που πραγματοποίησαν, όπως αναλύεται στο Κεφάλαιο 4.2.2.1, παρατήρησαν ότι το βαθύτερο υπόστρωμα παρουσίασε μεγαλύτερη ανάπτυξη του *Z. matrella* καθώς και υψηλότερη αντοχή στην υδατική καταπόνηση.

4.2.2.3 Άρδευση

Όσον αφορά τον παράγοντα άρδευση, στο είδος *E. cretica* η ανάπτυξη δεν επηρεάστηκε καθόλου από τις διαφορετικές ποσότητες άρδευσης. Αντίθετα το είδος *C. maritimum* εμφάνισε μεγαλύτερη ανάπτυξη στην υψηλή άρδευση (60% E_{PAN}). Η διαφορά μεταξύ των φυτικών ειδών ως προς την άρδευση πιθανότατα οφείλονται στη διαφορετική μορφολογία του κάθε φυτού. Τα φύλλα του *C. maritimum* είναι σαρκώδη και συνεπώς με την αύξηση της άρδευσης είναι ικανά να συγκρατήσουν περισσότερο νερό από ότι τα φύλλα του *E. cretica*.

Σε μελέτη των Nektarios et al (2011), όπου μελετήθηκε η ανάπτυξη του είδους *Dianthus fruticosus sub. Fruticosus*, ως προς το είδος υποστρώματος το βάθος και την άρδευση, διαπιστώθηκε ότι η ανάπτυξη του φυτού δεν επηρεάστηκε καθόλου ούτε από τον τύπο του υποστρώματος ούτε από την άρδευση παρά μόνο από το βάθος.

Οι Dunnett and Nolan (2004) σε έρευνα που πραγματοποίησαν σε ημιεκτατικό φυτοδώμα μελέτησαν την ανάπτυξη διαφόρων ποωδών φυτών σε δύο βάθη υποστρώματος με ή χωρίς άρδευση. Συμπέραναν ότι η άρδευση συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη των φυτών ανεξαρτήτου βάθους υποστρώματος.

4.2.2.4 Άνθιση

Η άνθιση αναλύθηκε μονοπαραγοντικά λόγω των αλληλεπιδράσεων που υπήρχαν μεταξύ των επεμβάσεων. Άνθιση παρατηρήθηκε μόνο στο φυτικό είδος *C. maritimum*. Το υπόστρωμα P_{um50}:P_{er20}:C₂₀:Z₁₀, με βάθος 7.5 cm και υψηλή άρδευση (60% E_{PAN}) παρουσίασε το μεγαλύτερο αριθμό ανθέων.

Το φυτικό είδος *E. cretica* δεν παρουσίασε άνθιση, πιθανότατα, λόγω της υψηλής υδατικής και θερμικής καταπόνησης. Αυτό υποστηρίζεται και από τη μείωση του μεγέθους των φυτών στις 27/6/2012 και 27/7/2012 (Σχ. 3.31 – 3.33) που οφείλεται στη φυλλοροή των φυτών λόγω της υψηλής καταπόνησης.

5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Amor, N.B., K.B. Hamed, A. Debez, C. Grignon and C. Abdelly. 2005. Physiological and antioxidant responses of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity. *Plant Sci.* 168: 889–899.
- Αμούντζιας, Ι.Κ. 2011. Μελέτη της καταλληλότητας του αυτοφυούς φυτού *Dianthus fruticosus* για χρήση σε φυτοδώματα του Αττικού Τοπίου. Μεταπτυχιακή μελέτη, Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.
- ASTM, D422-63. 2007. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- Ball, P. W. 1968. In: Tutin, T.G. et al. (eds.), *Flora Europaea*, vol. 2. Cambridge University Press, Cambridge, p. 191.
- Boivin, M.A., M.P. Lamy, A. Gosselin and B. Dansereau. 2001. Effect of artificial substrate depth on freezing injury of six herbaceous perennials grown in a green roof system. *HortTechnology* 11(3): 409-412.
- Brenneisen, S. 2003. The benefits of biodiversity from green roofs: Key design consequences, p.323-329. In *Proc. of 1st North American Green Roof Conference: Greening rooftops for sustainable communities*, Chicago. 29-30 May 2003. The Cardinal Group, Toronto.
- Claridge, N. and L. Edwards. 2008. Green roof technology – Research, design and implementation of a green roof at the University of Canterbury.
- Coiffard, L. 1991. Aperu historique sur l'utilisation medicinale et alimentaire du *Crithme maritime*, *Rev. Hist. Pharm.* 38: 313–317.
- Dunnett, N. and A. Nolan. 2004. The effect of substrate depth and supplementary watering on the growth of nine herbaceous perennials in a semi-extensive green roof. *Acta Hort. (ISHS)*,643: 305-309.

- Dunnett, N, A. Nagase and A. Hallam. 2008. The dynamics of planted and colonizing species on a green roof over six growing seasons 2001 – 2006: Influence of substrate depth. *Urban Eco.* 11(4): 373-384.
- Durhman, A.K., D.B. Rowe, and C.L. Rugh. 2007. Effect of substrate depth on initial growth, coverage, and survival of 25 succulent green roof plant taxa. *HortScience* 42(3): 588-595.
- Farrell, C., R.E. Mitchell, C. Szota, J.P. Rayner, and N.S.G. Williams. 2012. Green roofs for hot and dry climates: Interacting effects of plant water use, succulence and substrate. *Ecol. Eng.* 49: 270-276.
- Fassman, E.A., R. Simcock and E. Voyde. 2010. Extensive green (Living) roofs for stormwater Mitigation. Prepared by Auckland UniServices for Auckland Regional Council. Auckland Regional Council Technical Report 2010/017.
- Fassman, E. and R. Simcock. 2012. Moisture Measurements as Performance Criteria for Extensive Living Roof Substrates. *Environ. Eng.* 138(8): 841-851.
- Fernandez, D.A., A. Roldan, R. Azcon, F. Caravaca and E. Baath. 2012. Effects of water stress, organic amendment and Mycorrhizal inoculation on soil microbial community structure and activity during the establishment of two heavy metal-tolerant native plant species. *Microb. Ecol.* 63: 794-803.
- FLL. 2008 Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau. Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Richtlinien für Dachbegrünungen (Guideline for the planning, execution and upkeep of green-roof sites). Selbstverlag, Troisdorf.
- Friedrich, C.R. 2005. Principles for Selecting the Proper Components for a Green Roof Growing Media. *Greening Rooftops for Sustainable Communities*, Washington, DC, 4-6 May 2005.
- Getter K.L. and D.B. Rowe. 2006. The role of extensive green roofs on sustainable development. *Hortscience* 41(5):1276-1285.
- Getter, K. L., and D.B. Rowe. 2008. Media depth influences *Sedum* green roof establishment. *Urban Ecosystems* 11(4): 361-372.
- Huber-Morath, A. 1965. *Bauhinia* 2, 219.

- Jarrett, A. 2005. Presentation on storm green roof stormwater response models. 2005 Pennsylvania Stormwater Management Symposium. Villanova University: Villanova Pennsylvania. 12 October 2005.
- Kotsiris, G., P.A. Nektarios and A.T Paraskevopoulou. 2012. *Lavandula angustifolia* growth and physiology is affected by substrate type and depth when grown under Mediterranean semi-intensive green roof conditions. HortScience 47:311-317.
- Latocha, P. and A. Batorska. 2007. The influence of irrigation system on growth rate and frost resistance of chosen ground cover plants on extensive green roofs. Ann. Warsaw Univ. of Life Sc.–SGGW. Horticult. and Landsc. Architect. 28:131–137.
- Latshaw, K., J. Fitzgerald and R. Sutton. 2009. Analysis of green roof growing media porosity. RURALS: Review of Undergraduate Research in Agricultural and Life 4(2).
- Liesecke, H.J. 1998. Water retention capacity of vegetated roofs (Das retentionsvermögen von dachbegrünungen). Stadt und Grün 47:46-53.
- Long, B., S.E. Clark, K.H Baker and R. Berghage. 2006. Green roof media selection for the minimization of pollutant loadings in roof runoff. Water Environment Foundation.
- Lydaki, M.E and J.C. Vlahos. 1998. Pollination Mechanisms of *Ebenus cretica*. HortScience 33(3):483-484.
- Λώλης, E. 2011. Επίδραση του τύπου και του πάχους υποστρώματος ανάπτυξης φυτών *Rosmarinus officinalis* “Prostratus” και *Teucrium chamaedrys* σε σύστημα φυτοδώματος. Μεταπτυχιακή μελέτη, Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.
- Maloupa, E., A. Abou Hadid, M. Prasad and C.H. Kavafakis. 2001. Response of cucumber and tomato plants to different substrates mixtures of pumice in substrate culture. Acta Hort. (ISHS) 559:593-600.
- Meot – Duros, L. and C. Magne. 2009. Antioxidant activity and phenol content of *Crithmum maritimum* L. leaves. Plant Phys. And Bioc. 47:37-41.

- Mitrocotsa, D., A.L. Skaltsounis, S. Mitaku, C. Harvala and F. Tillequin. 1999. Flavonoid and terpene glycosides from European *Ebenus* species. *Biochemical Syst. And Ecol.* 27:305-307.
- Molineux, C.J., C.H. Fentiman and A.C. Gange. 2009. Characterising alternative recycled waste materials for use as green roof growing media in the U.K. *Ecol. Eng.* 35: 1507-1513.
- Moran, A.C., W.F. Hunt and J.T. Smith. "Green Roof Hydrologic and Water Quality Performance from Two Field Sites in North Carolina." *Managing Watersheds for Human and Natural Impacts*, Williamsburg, Virginia, USA, 99-99.
- Nagase, A. and N. Dunnett. 2011. The relationship between percentage of organic matter in substrate and plant growth in extensive green roofs. *Land. and Urban Planning.* 103(2): 230-236.
- Nektarios, P.A., E. Nydrioti, G. Kotopoulis, G. Tsoggarakis, M. Papadopoulou, A. Nikologianni, P. Andreou and A. Markoglou. 2005. Turfgrasses in green roofs: growth, water consumption and environmental fate of nutrients and pesticides. 1st European turfgrass society conference.
- Nektarios, P.A., N. Ntoulas and E. Nydrioti. 2010. Turfgrass use in intensive and extensive green roofs. XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on Environmental, Edaphic, and Genetic Factors Affecting Plants, Seeds and Turfgrass.
- Nektarios, P.A., I. Amountzias, I. Kokkinou and N. Ntoulas. 2011. Green roof substrate type and depth affect the growth of the native species *Dianthus fruticosus* under reduced irrigation regimes. *HortScience* 46(8): 1208-1216.
- Nelson, T.A. 2010. Comparative Study of Three Growing Media and Four Plant Groups Under Extensive Green Roof Conditions in San Luis Obispo, California. Thesis for the Degree of Master of Science in Agriculture Faculty of California Polytechnic State University San Luis Obispo.
- Νικολάου, Γ. 2010. Υδατικές ανάγκες των αρδευόμενων καλλιεργειών. Υπουργείο Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωργίας. Λευκωσία – Κύπρος.

- Ntoulas, N., P.A. Nektarios, K. Spaneas and N. Kadoglou. 2012. Semi-extensive green roof substrate type and depth effects on *Zoysia matrella* 'Zeon' growth and drought tolerance under different irrigation regimens. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science*.
- Nydrioti, E., M. Papadopoulou, and P.A. Nektarios. 2009. Turfgrass Growth and Evapotranspiration in Intensive Green Roof Systems. *Acta Horticulturae* 881:721-724.
- Παπαφωτίου, Μ., Ν. Περγαλιώτη, Ι. Μάσσας και Ι. Χατζιπαυλίδης. 2009. Διερεύνηση της συνεργιστικής δράσης λίπανσης και διαφόρων κομποστών στην υπέργεια και υπόγεια ανάπτυξη του *Ficus benjamina*. Πρακτικά της Ελληνικής Εταιρείας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών, 24ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο.
- Περγαλιώτη, Ν. 2010. Διερεύνηση της επίδρασης του είδους και του βάθους υποστρώματος καθώς και της συχνότητας άρδευσης στην ανάπτυξη των ξηροφυτικών ειδών *Helichrysum italicum* και *Helichrysum orientale* σε συνθήκες φυτοδώματος. Μεταπτυχιακή μελέτη, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Ποδαροπούλου, Α. 2011. Επίδραση του τύπου και του πάχους του υποστρώματος ανάπτυξης φυτών *Mentha pulegium*, *Phlomis fruticosa* και *Hyssopus officinalis* σε σύστημα φυτοδώματος. Μεταπτυχιακή μελέτη, Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.
- Polunin, O. 1987. *Flowers of Greece and the Balkans*. Oxford University Press, Oxford 605 pp.
- Rowe, D.B., M.A. Monterusso and C.L. Rugh. 2006. Assessment of heat-expanded slate and fertility requirements in green roof substrates. *HortTechnology* 16: 471–477.
- Schade, C. 2000. Wasserrückhaltung und Abflußbeiwerte bei dunnschichtigen extensivbegrünungen. *Stadt und Grün* 49: 95-100.
- Sendo, T., Y. Uno, M. Kanechi and N. Inagaki. 2006. What kind of plant species are the best for urban rooftop gardening? XXVII International Horticultural Congress - IHC2006: International Symposium on Horticultural Plants in Urban and Peri-Urban Life.

- Syros, T., A. Bosabalidis, A. Economou and G. Kofidis. 2000. Botanical characteristics of *Ebenus cretica* L., a potential new floricultural plant. 2nd Balkan Botanical Congress, Istanbul (Turkey), 14–18/5/00, p. 57.
- Syros, T., T. Yupsanis, and A. Economou. 2003: Fractionation and electrophoretic patterns of storage proteins of *Ebenus cretica*. A preliminary survey as a tool in taxonomy. - Biol. Plant. 46: 435-443.
- Syros T., T. Yapsanis, H. Zafiriadis and A. Economou. 2004. Activity and isoforms of peroxidases, lignin and anatomy, during adventitious rooting in cuttings of *Ebenus cretica* L. J. Plant Physiol. 161: 69-77.
- Syros, T., G. Kofidis, A.S. Economou and A.M. Bosabalidis. 2006. Leaf structural dynamics associated with adaptation of two *Ebenus cretica* ecotypes. Biologia plantarum 50(2): 245-250.
- Thuring, C.E., R.D. Berghage and D.J. Bettie. 2010. Green roof plant responses to different substrate types and depths under various drought conditions. HortTechnology 20: 395–401.
- Tsiotsiopolou, P., P.A. Nektarios and I. Chronopoulos. 2003. Substrate temperature fluctuation and dry-weight partitioning of *Lantana* grown in four green roof growing media. J. of Horticultural Science & Biotechnology 78(6): 904-910.
- USGA (United States Golf Association Green Section Records). 2003. Recommendations for a method of putting green construction. US Golf Association, New Jersey.
- VanWoert, N.D., D.B. Rowe, J.A. Andresen, C.L. Rugh and L. Xiao. 2005. Watering regime and green roof substrate design affect *Sedum* plant growth. HortScience 40: 659–664.
- VanWoert, N.D., D.B. Rowe, J.A. Andresen, C.L. Rugh, R.T. Fernandez, and L. Xiao. 2005. Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth. J. Environ. Qual. 34:1036–1044.
- Vlahos, J.C. 1996. *Ebenus cretica* L., an attractive endemic plant of Crete with potential for floricultural use. HortScience 31: 769–774.

Williams, N.S.G., J.P. Rayner and K.J. Raynor. 2010. Green roofs for a wide brown land: Opportunities and barriers for rooftop greening in Australia. *Urban For. Urban Green* 9: 245–251.

Wolf, D. and J.T. Lundholm. 2008. Water uptake in green roof microcosms: Effects of plant species and water availability. *Ecol. Eng.* 3: 179–186.

Διαδίκτυο

Δ1: <http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/acidity.htm>

Εικόνες

Εικόνες 2.1 – 2.9, Πηγή: Προσωπικό αρχείο.