

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Σχολή Γεωργικής Παραγωγής Υποδομών και Περιβάλλοντος
Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής
Εργαστήριο Ανθοκομίας & Αρχιτεκτονικής Τοπίου

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Κατεύθυνση Αρχιτεκτονικής Τοπίου

**«Επίδραση του βάθους του υποστρώματος και του είδους της φυτοκάλυψης
αστικών φυτεμένων δωματίων στη διακύμανση της υγρασίας και της
θερμοκρασίας του υποστρώματος και στην έκπλυση των νιτρικών»**

Επιβλέπων Καθηγητής: Νεκτάριος Παναγιώτης, Καθηγητής

Μεταπτυχιακή Μελέτη
Πολυχρόνη Α. Μελά

Αθήνα 2017

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΠΙΟΥ

Επίδραση του βάθους του υποστρώματος και του είδους της φυτοκάλυψης αστικών φυτεμένων δωματίων στη διακύμανση της υγρασίας και της θερμοκρασίας του υποστρώματος και στην έκπλυση των νιτρικών

Μεταπτυχιακή Μελέτη

Πολυχρόνη Α. Μελά

Επιβλέπων Καθηγητής: Νεκτάριος Παναγιώτης, Καθηγητής

ΜΕΛΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Νεκτάριος Παναγιώτης, Καθηγητής, Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου Γ.Π.Α.

Παπαφωτίου Μαρία, Καθηγήτρια, Δ/ντρια Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου Γ.Π.Α.

Κάργας Γεώργιος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Γ.Π.Α.

Αθήνα 2017

Τμήμα της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης εκπονήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος: Ερευνητική και τεχνολογική συνεργασία για την επιλογή και σύσταση υποστρωμάτων και φυτικών συνθέσεων για φυτοδώματα - **UrbanBioRoof** (Cooperation for R&D on screening and formulation of substrates and plants for green roofs - **UrbanBioRoof**), το οποίο χρηματοδοτείται από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (Γ.Γ.Ε.Τ.).

Το Πρόγραμμα **UrbanBioRoof** συγχρηματοδοτείται από την Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση.

The Project **Urban BioRoof** is co-funded by Greece and European Union.



(Ε. Π. Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα (ΕΠΑΝ II), ΠΕΠ Μακεδονίας – Θράκης, ΠΕΠ Κρήτης και Νήσων Αιγαίου, ΠΕΠ Θεσσαλίας – Στερεάς Ελλάδας – Ηπείρου, ΠΕΠ Αττικής)

Στη γυναίκα μου

Μάρθα

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου, σε όλους όσους συνέβαλαν στην περάτωση της μεταπτυχιακής αυτής μελέτης και ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμότατα τον επιβλέποντα Καθηγητή του Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου, του Τμήματος Φυτικής Παραγωγής Δρ. Π.Α. Νεκτάριο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του θέματος, για τη μεθοδική καθοδήγηση, τη συνεχή υποστήριξη και τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσε από το στάδιο του σχεδιασμού μέχρι την παρουσίαση της εργασίας μου.

Την Πρόεδρο του Τμήματος Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής και Δ/ντρια του Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου του Γ.Π.Α. Δρ. Μ.Παπαφωτίου για την τιμή που μου έκανε να συμμετάσχει ως μέλος στην τριμελή Εξεταστική Επιτροπή διαθέτοντας τον πολύτιμο χρόνο της για την εξέταση της παρούσας μελέτης.

Τον Αναπληρωτή Καθηγητή Δρ. Γ. Κάργα για την τιμή που μου έκανε να συμμετάσχει ως μέλος στην τριμελή Εξεταστική Επιτροπή και πάνω από όλα για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε για την εξέταση της παρούσας μελέτης.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Δρ. Ντούλα Νικόλαο για την αμέριστη βοήθεια, στήριξη και συμπαράσταση όποτε αυτή χρειάστηκε σε διάφορα στάδια της μελέτης μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελίδα
Περίληψη	1
Abstract	3
1	Γενική Εισαγωγή 5
1.1	Εισαγωγή 6
1.2	Φυτεμένα δώματα - Ταρατσόκηποι 8
1.2.1	Ιστορική Αναδρομή 9
1.2.2	Τύποι Φυτοδωμάτων 13
1.2.3	Διαστρώσεις Φυτοδώματος 22
1.2.3.1	Φυτικό Υλικό 23
1.2.3.2	Υπόστρωμα Ανάπτυξης 23
1.2.3.3.	Διαχωριστικό φίλτρο 25
1.2.3.4	Αποστραγγιστική στρώση 26
1.2.3.5	Αντιριζική προστασία 27
1.2.3.6	Προστασία στεγανοποιητικής διάταξης 28
1.2.3.7	Θερμομόνωση 29
1.2.3.8	Φράγμα υδρατμών 29
1.2.3.9	Κέλυφος κτιρίου 30
1.2.4	Πλεονεκτήματα Φυτοδωμάτων 30
1.2.4.1	Απορροή Όμβριων Υδάτων 31
1.2.4.2	Φαινόμενο της αστικής Θερμικής Νησίδας 33
1.2.4.3	Κτιριακή Ενέργεια 34
1.2.4.4	Ποιότητα του Ατμοσφαιρικού Αέρα 35
1.2.4.5	Βιοποικιλότητα 35
1.2.4.6	Ηχορύπανση 36
1.2.4.7	Ψυχική Υγεία και Αισθητική Αξία 37
1.2.4.8	Οικονομικά Οφέλη 38

2	Ειδική Εισαγωγή	40
2.1	Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην υγρασία και τη θερμοκρασία αυτού και στην έκπλυση των νιτρικών.	41
2.1.1	Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην υγρασία αυτού	41
2.1.2	Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην θερμοκρασία αυτού	42
2.1.3	Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην έκπλυση των νιτρικών.	43
2.2	Επίδραση του είδους της φυτοκάλυψης στην υγρασία και τη θερμοκρασία του υποστρώματος και στην έκπλυση των νιτρικών.	44
2.2.1	Επίδραση του είδους της φυτοκάλυψης στην υγρασία του υποστρώματος.	44
2.2.2	Επίδραση του είδους της φυτοκάλυψης στην θερμοκρασία του υποστρώματος.	45
2.2.3	Επίδραση του είδους της φυτοκάλυψης στην έκπλυση των νιτρικών.	46
2.3.	Σκοπός της μελέτης	49
3	Υλικά και Μέθοδοι	50
3.1	Εγκατάσταση πειραματικών τεμαχίων	51
3.1.1	Κατασκευή λυσιμέτρων και αισθητήρων ογκομέτρησης απορροής	52
3.1.2	Κατασκευή φυτεμένου δώματος εκτατικού τύπου εντός των λυσιμέτρων	55
3.1.3	Υπόστρωμα ανάπτυξης	56
3.1.4	Λυσιμέτρα που προσομοιάζουν με συμβατικά δώματα	57
3.1.5	Αυτόματο σύστημα άρδευσης	58
3.2	Φυτικό υλικό	59
3.3	Μετρήσεις	60
3.3.1	Διακύμανση της υγρασίας και της θερμοκρασίας του υποστρώματος	60
3.3.2	Έκπλυση νιτρικών	62
3.3.2.1	Δειγματοληψίες για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των νιτρικών	62
3.3.2.2	Μεθοδολογία δειγματοληψίας	62
3.3.2.3	Προσδιορισμός της συγκέντρωσης των νιτρικών στην αποστράγγιση	63

3.4	Πειραματικός σχεδιασμός και στατιστική ανάλυση	64
4	Αποτελέσματα	66
4.1	Διακύμανση της υγρασίας του υποστρώματος	67
4.1.1	Μέση ημερήσια διακύμανση υγρασίας υποστρώματος	67
4.1.2	Ημερήσια διακύμανση της υγρασίας του υποστρώματος	71
4.2	Διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος	81
4.2.1	Μέση ημερήσια διακύμανση θερμοκρασίας υποστρώματος	81
4.2.2	Ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος	85
4.3	Διακύμανση της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας του αέρα	95
4.4.	Έκπλυση Νιτρικών	96
5	Συζήτηση	99
5.1	Υγρασία του υποστρώματος	100
5.1.1	Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στη μέση ημερήσια υγρασία αυτού	100
5.1.2	Επίδραση του είδους της φυτοκάλυψης ή της έλλειψης αυτής στη μέση ημερήσια υγρασία του υποστρώματος	101
5.1.3	Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην ημερήσια διακύμανση της υγρασίας αυτού	102
5.1.4	Επίδραση του είδους της φυτοκάλυψης ή της έλλειψης αυτής στην ημερήσια διακύμανση της υγρασίας του υποστρώματος	103
5.2	Θερμοκρασία του υποστρώματος	104
5.2.1	Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στη μέση ημερήσια θερμοκρασία αυτού.	104
5.2.2	Επίδραση του είδους της φυτοκάλυψης ή της έλλειψης αυτής στη μέση ημερήσια θερμοκρασία του υποστρώματος	105
5.2.3	Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας αυτού	106
5.2.4	Επίδραση του είδους της φυτοκάλυψης ή της έλλειψης αυτής στην ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος	113
5.3	Έκπλυση Νιτρικών	116

5.3.1	Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην έκπλυση νιτρικών	116
5.3.2	Επίδραση του είδους της φυτοκάλυψης στην έκπλυση των νιτρικών	117
6	Συμπεράσματα	120
	Βιβλιογραφία	124

Περίληψη

Στον ήδη πυκνοδομημένο αστικό ιστό, η συνεχής μείωση των ελεύθερων χώρων, η κάλυψη τους από δομικά στοιχεία και η έλλειψη χώρων για εγκατάσταση νέας βλάστησης κάνουν πιο επιτακτική την ανάγκη για εκμετάλλευση των ελεύθερων επιφανειών των κτιρίων καθιστώντας τη δημιουργία και εγκατάσταση φυτοδωμάτων μια από τις ελάχιστες βιώσιμες λύσεις που απομένουν, για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος των αστικών κέντρων και της ποιότητας ζωής των κατοίκων τους.

Στόχος της παρούσας μελέτης ήταν να διερευνηθεί η επίδραση του βάθους του υποστρώματος και του είδους της φυτοκάλυψης αστικών φυτεμένων δωμάτων στη διακύμανση της υγρασίας και της θερμοκρασίας του υποστρώματος και στην έκπλυση των νιτρικών.

Για την εκπόνηση της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν 30 ορθογώνια λυσίμετρα. Τα 14 από αυτά πληρώθηκαν με υπόστρωμα σε βάθος 8 cm, άλλα 14 πληρώθηκαν σε βάθος 16 cm, ενώ τα υπόλοιπα 2 παρέμειναν μόνο με τη διάστρωση της υδατοστεγάνωσης προκειμένου να χρησιμεύσουν ως μάρτυρες ενός συμβατικού δώματος. Από τα 28 λυσίμετρα τα οποία ήταν εξοπλισμένα με διατάξεις φυτεμένων δωμάτων, 8 φυτεύτηκαν με το ξηρόφυτο *Origanum onites*, 8 με το παχύφυτο *Sedum sediforme* και 8 φυτοκαλύφθηκαν με έτοιμο χλοοτάπητα του είδους *Festuca arundinacea*. Έτσι το κάθε ένα από τα 3 είδη φυτοκάλυψης εγκαταστάθηκε σε 4 λυσίμετρα με υπόστρωμα βάθους 8 cm και σε 4 με βάθος 16 cm. Επιπλέον 4 λυσίμετρα αφέθηκαν χωρίς φυτοκάλυψη με γυμνό υπόστρωμα από τα οποία δύο είχαν βάθος 8 cm και δύο είχαν 16 cm. Τα λυσίμετρα αυτά ήταν οι μάρτυρες προκειμένου να διαχωριστεί η επίδραση της βλάστησης από αυτή του υποστρώματος και των υπολοίπων διατάξεων των φυτεμένων δωμάτων, στις προσδιοριζόμενες παραμέτρους της παρούσας μελέτης.

Κατά τη διεξαγωγή της μελέτης, προσδιορίστηκε η υγρασία και η θερμοκρασία του υποστρώματος με ασύρματους αισθητήρες καθώς και η συγκέντρωση των νιτρικών στην απορροή.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι στα λυσίμετρα με βάθος 8 cm μετά την εφαρμογή της άρδευσης, και για 4-5 ώρες, η υγρασία έπαιρνε ιδιαίτερα υψηλές τιμές, σε σύγκριση με τα βαθύτερα των 16 cm. Με βάση τα ευρήματα αυτά κρίνεται σκόπιμο ότι σε φυτοκαλυμμένα δώματα με διαφορετικά βάθη υποστρώματος θα πρέπει οι αρδεύσεις να εφαρμόζονται με διαφορετικό τρόπο. Επιπλέον, τα βαθύτερα υποστρώματα τα φυτοκαλυμμένα με *O. onites* ή με *F. arundinacea*, επέδειξαν μία ταχύτερη μείωση υγρασίας υποστρώματος κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου, σε σύγκριση με τις άλλες επεμβάσεις, η οποία έφθανε σε ελάχιστες τιμές. Αντίθετα, τα υποστρώματα τα φυτοκαλυμμένα με το παχύφυτο *S. sedifforme*, παρουσίασαν ελάχιστη μείωση της υγρασίας, καθώς αυτό διαθέτει μεταβολισμό τύπου CAM. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να αποτελέσουν τη βάση ενός συστήματος λήψης αποφάσεων καθώς η υγρασία του υποστρώματος επηρεάζει τόσο την ανάπτυξη του φυτικού υλικού όσο και τη θερμοκρασία του υποστρώματος και την ικανότητα συγκράτησης των ομβρίων υδάτων.

Όσον αφορά τη θερμοκρασία του υποστρώματος, τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι τα λυσίμετρα με βάθος 16 cm εμφάνισαν μικρότερες διακυμάνσεις θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετράωρου, σε σύγκριση με τα ρηχά των 8 cm. Πρόσθετα τα λυσίμετρα με *F. arundinacea* παρουσίασαν τις μικρότερες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας σε σύγκριση με όλες τις άλλες επεμβάσεις. Επομένως τα βαθύτερα υποστρώματα εξασφαλίζουν καλύτερες συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών και είναι πιθανόν να συνεισφέρουν στην εξοικονόμηση των ενεργειακών αναγκών για ψύξη και θέρμανση του κτιρίου, ενώ σε συνδυασμό με χλοοτάπητα επιφέρουν τις ελάχιστες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις και αναμένεται να συμβάλουν στην μακροζωία των υλικών κατασκευής και προστασίας του δώματος.

Σε ότι αφορά την έκπλυση των νιτρικών τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν πως στα φυτοκαλυμμένα λυσίμετρα ανεξάρτητα από το βάθος των 8 cm ή 16 cm, και το είδος της φυτοκάλυψης, δεν υπήρξε ουσιαστική διαφορά στην έκπλυση των νιτρικών. Οι τιμές ήταν μικρές, καθώς ποτέ δεν ξεπέρασαν τα 5 mg L⁻¹. Αντίθετα στα μη φυτοκαλυμμένα τεμάχια και στα δύο βάθη υποστρώματος, οι τιμές ξεπερνούσαν κατά πολύ το όριο των 10 mg L⁻¹, φτάνοντας τα 45 mg L⁻¹, με τα βαθύτερα να εκπλύουν περισσότερα νιτρικά από τα ρηχά.

Abstract

The continuous reduction of open spaces in the contemporary cities has led to the deterioration of urban environment. Since the cities are mainly occupied by buildings, it is of interest to reintroduce the lost flora by establishing vegetation on buildings' surfaces. Thus, installation of green roofs is considered as one of the few remaining viable solutions, for the amelioration of the urban environmental.

The aim of the present study was to evaluate the effect of substrate depth and vegetation type on the moisture content and temperature of the substrate and nitrate leaching capacity from urban green roof systems. Thirty (30) rectangular lysimeters were used for the needs of the study. The fourteen (14) of them were filled with substrate of 8 cm depth, another fourteen of them with substrate of 16 cm depth, while the remaining two (2) were left empty to serve as controls of a conventional roof. From the twenty eighth (28) lysimeters, which were equipped with all necessary green roof layers, eight (8) of them were planted with the xerophyte *Origanum onites*, eight (8) with the succulent *Sedum sediforme* and eight (8) with the turf species *Festuca arundinacea*. Each one of the three different vegetation species was installed in four lysimeters of 8 cm substrate depth and another four of 16 cm substrate depth. In addition, four lysimeters were left with bare substrate and without vegetation. Two of them had 8 cm substrate depth and the other two 16 cm depth. These lysimeters served as controls in order to separate vegetation effects from that of the substrate and other green roof layers.

It was found that the shallow substrates of 8 cm depth exhibited increased moisture content compared to the deeper ones soon after irrigation. Based on the study findings it seems appropriate that green roofs with different substrate depths should manage irrigation applications differently.

In addition the deeper substrates planted with *O. onites* or *F. arundinacea* ,exhibited a faster substrate moisture depletion compared with the other treatments during the time, reaching minimum values. Conversely, *S. sediforme*, resulted in minimal reduction of substrate's moisture content, due to its minimal transpirational demands, since it possess a CAM metabolism. These results, can constitute the basis

of a decision-making system, since substrate moisture influences plant growth, substrate temperature and green roof runoff reduction.

The deeper substrates exhibited smaller temperature fluctuation during the day compared to the shallow ones. The minimum substrate temperature fluctuations were observed with *F. arundinacea* turfgrass. Based on these findings, it was concluded that green roofs with deep substrate depth, might contribute to buildings' energy saving and to longevity of construction and protective roof materials especially with turf cover.

Green roofs regardless of their substrate depth (8 cm or 16 cm) and vegetation cover, did not exhibit any substantial differences in nitrates leaching. Nitrate concentration in the runoff leachate were low and never exceeded 5mgL^{-1} . In contrast non-vegetated green roofs at both substrate depths, exhibited increased nitrate concentration values that reached 45mgL^{-1} . In this case the deeper substrate leached higher nitrate concentrations than the shallow ones. Therefore it was concluded that the presence of vegetation on green roofs may act as nitrate sink, thus reducing the environmental load that may derived from them.

1. Γενική Εισαγωγή

1.1. Εισαγωγή

Το αποτέλεσμα της βιομηχανικής επανάστασης ήταν η μαζική μετακίνηση πληθυσμού από τις αγροτικές περιοχές προς τα υπάρχοντα αστικά κέντρα. Η πολυδιάστατη δομή και λειτουργία των αστικών κέντρων, η οποία εξασφάλιζε περισσότερες ευκαιρίες για μόρφωση, υγειονομική περίθαλψη, ψυχαγωγία, οικονομική κοινωνική και εργασιακή καταξίωση αποτελούσε και αποτελεί μέχρι και σήμερα έναν σημαντικό πόλο έλξης για ακόμα περισσότερους ανθρώπους, γεγονός το οποίο συντελεί στην επιπλέον συσσώρευση ανθρώπινου δυναμικού και επιβαρύνει επιπλέον την ήδη δυσμενή κατάσταση που έχει δημιουργηθεί στα σύγχρονα αστικά κέντρα.

Η μετακίνηση του πληθυσμού δημιούργησε νέα δεδομένα στην διαμόρφωση και λειτουργία των αστικών κέντρων. Χαρακτηριστικό φαινόμενο των σύγχρονων πόλεων είναι ότι όλο και περισσότεροι κάτοικοι ζουν και δραστηριοποιούνται σε όλο και μικρότερες επιφάνειες γης. Επίσης, οι αυξημένες ανάγκες για στέγαση, μετακίνηση και εργασιακή δραστηριοποίηση επέβαλαν αναγκαία την εύρεση νέων χώρων εντός του αστικού ιστού που θα εξυπηρετούσαν αυτές τις ανάγκες του πληθυσμού. Το αποτέλεσμα είναι η διαρκής κατασκευή νέων κτιριακών συγκροτημάτων, αρκετές φορές με μειωμένη αισθητική αξία και με την χρήση μη βιοκλιματολογικών υλικών, όπως τσιμέντο, γυαλί και ασφαλτο που επιβαρύνουν το αστικό περιβάλλον. Επιπλέον, εμφανίζεται έντονη και η τάση για εκμετάλλευση οποιουδήποτε ελεύθερου χώρου γεγονός το οποίο συμβάλλει σημαντικά στην δραματική μείωση των αστικών και περιαστικών χώρων πρασίνου.

Αποτέλεσμα της συνεχούς μείωσης των ελεύθερων χώρων και των χώρων πρασίνου, σε συνδυασμό με την άναρχη και απρογραμματίστη δόμηση των αστικών κέντρων και την επιβάρυνση από τα μέσα μεταφοράς και τις υπόλοιπες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, είναι η διαρκής μεταβολή του αστικού κλίματος, η συνεχόμενη υποβάθμιση της ποιότητας ζωής στα αστικά κέντρα, η αποξένωση του ανθρώπου από τη φύση και η διαταραχή της σωματικής και ψυχικής υγείας των κατοίκων της πόλης.

Βασική στρατηγική για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που περιγράφηκαν παραπάνω είναι η δραματική αύξηση των χώρων πρασίνου (Ευθυμιόπουλος, 2005). Οι χώροι πρασίνου και γενικότερα η βλάστηση είναι όροι άμεσα συνδεδεμένοι με τη διαμόρφωση του αστικού κλίματος και την ποιότητα ζωής στα αστικά κέντρα. Τα φυτά συντελούν στη ρύθμιση της θερμοκρασίας και της υγρασίας, στην προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία και τους ανέμους και συμβάλουν στη βελτιστοποίηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας. Μέσω των βασικών φυσιολογικών λειτουργιών τους (αναπνοή, εξάτμιση, διαπνοή, φωτοσυνθετική ικανότητα), τα φυτά απορροφούν μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, μειώνουν τη θερμοκρασία του αστικού κλίματος και συμβάλουν στην εξισορρόπηση της, περιορίζοντας τις έντονες ημερήσιες και ετήσιες μεταβολές της, ενώ παράλληλα έχουν και τη δυνατότητα να συμβάλουν στη ρύθμιση της ατμοσφαιρικής υγρασίας. Ακόμα επιδρούν θετικά στην ποιότητα του αέρα, συγκρατώντας τη σκόνη και τα διάφορα αιωρούμενα σωματίδια, ελαττώνουν την ταχύτητα των ανέμων και παρέχουν ηχοπροστασία μέσω της απορρόφησης, της ανάκλασης και διάχυσης του ήχου (Papafoitiou et al., 2004). Τέλος, η ύπαρξη βλάστησης είναι αρκετά σημαντική τόσο από την αισθητική άποψη όσο και από την εξασφάλιση ψυχικής υγείας και ευεξίας για τους κάτοικους των μεγάλων αστικών κέντρων, που βιώνουν έντονους ρυθμούς ζωής σε ένα απρόσωπο και άχρωμο περιβάλλον. Συμπερασματικά, η ύπαρξη βλάστησης συντελεί στην αποφυγή ακραίων κλιματολογικών συνθηκών και συντελεί στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής στα αστικά κέντρα (Ευμορφοπούλου, 1994).

Αναγνωρίζοντας τη σημασία της βλάστησης στη διαμόρφωση του αστικού περιβάλλοντος και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής, σε συνδυασμό με την ανάγκη για τη δημιουργία και τη διαμόρφωση αστικών κέντρων με βάση τις βιοκλιματολογικές και οικολογικές αρχές σχεδίασης, γίνεται σαφές πως η εγκατάσταση φυτικού υλικού τόσο μέσα στον ευρύτερο αστικό ιστό, όσο και στη δομή των ίδιων των κτιρίων αποτελεί βασική προϋπόθεση της βιωσιμότητας των πόλεων και της άμβλυνσης, αν όχι της εξάλειψης των περιβαλλοντικών προβλημάτων που υπάρχουν ή που μπορεί να εμφανισθούν στο μέλλον.

1.2. Φυτεμένα δώματα - Ταρατσόκηποι

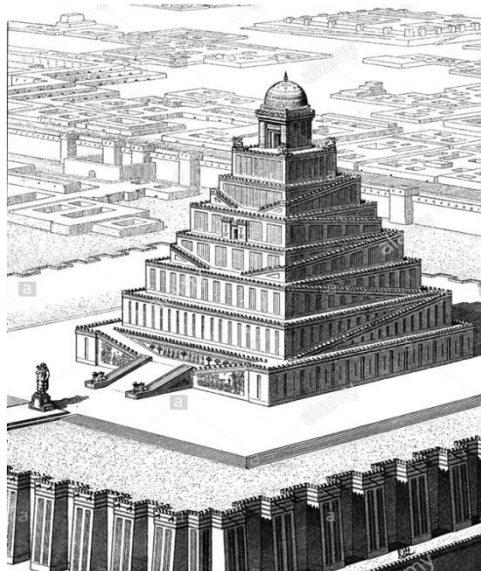
Οι σημερινές μεγαλουπόλεις χαρακτηρίζονται από τη μείωση της επιφάνειας της αστικής γης και τον αυξανόμενο αριθμό των κτιρίων, γεγονός που οδηγεί στην αναγκαιότητα της δημιουργικής χρήσης τους ως αντικατάσταση της «χαμένης γης». Από τους χώρους ενός κτιρίου που μπορεί να εγκατασταθεί φυτικό υλικό και παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον μελέτης είναι τα δώματα και οι ταράτσες των κτιρίων.

Με τον όρο φυτεμένα δώματα εννοούμε την εγκατάσταση πρασίνου το υπόστρωμα του οποίου δεν έχει καμία επαφή με το φυσικό έδαφος, και εδράζεται επί οποιασδήποτε κατασκευής, (Burgess, 2004). Η απόσταση από το φυσικό έδαφος, μπορεί να ποικίλει από μερικά μέτρα από το φυσικό έδαφος, σε περίπτωση υπόγειων κτισμάτων έως την κορυφή ουρανοξυστών.

Η τοποθέτηση του φυτικού υλικού σε δώματα κτιρίων δεν αποτελεί μια απλή κατασκευαστική τεχνική. Το αποτέλεσμα της κατασκευής ενός φυτεμένου δώματος πρέπει να είναι η δημιουργία ενός χώρου ενοποιημένου με το κτίριο, ο οποίος θα βρίσκεται σε αισθητική και οικολογική αρμονία με τον περιβάλλοντα χώρο, αποτελώντας ταυτόχρονα και ένα ξεχωριστό αυτόνομο οικοσύστημα (Ζαχαροπούλου, 2004), που δε θα δημιουργεί προβλήματα στο κτίριο.

1.2.1. Ιστορική Αναδρομή

Η νέα ιδέα των φυτεμένων δωμαίων είναι τόσο παλιά όσο και ο κόσμος, όπως τον ξέρουμε σήμερα. Η πρώτη ιστορική αναφορά για την ύπαρξη φυτικού υλικού σε δομημένο ανθρωπογενές κατασκεύασμα που υπάρχει, προέρχεται από το 4000 π.χ.

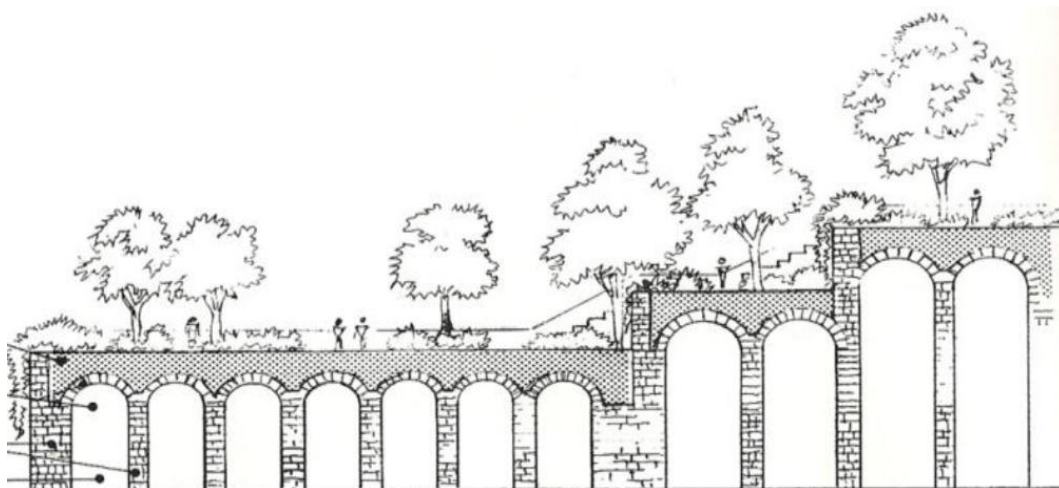


Εικόνα 1.1. Αναπαράσταση ενός ζιγκουράτ από τον Γάλλο αρχιτέκτονα, αιγυπτιολόγο, ιρανολόγο και ιστορικό της αρχιτεκτονικής των αρχαίων χρόνων Perrot- Chipiez. (1835–1901).

(Πηγή: <http://www.alamy.com>).

και αφορά τα ζιγκουράτ (ziggurats) (Εικ. 1.1), τα οποία ήταν πυραμιδοειδή οικοδομήματα της αρχαίας Μεσοποταμίας. Οι κάτοικοι της περιοχής λάτρευαν τα ουράνια σώματα, και χρησιμοποιούσαν τα ζιγκουράτ σαν τα πρώτα αστρονομικά παρατηρητήρια, αποδίδοντας και θρησκευτικό χαρακτήρα σε αυτές τις κατασκευές εγκαθιστώντας ναούς στην κορυφή τους, (Πατρώνη, 2013). Αρχαιολογικές έρευνες εικάζουν πως η ύπαρξη φυτεμένων δέντρων και θάμνων σε αυτά τα υπερυψωμένα και προσβάσιμα κατασκευάσματα αποτελούσαν υπαίθριους χώρους ανάπαυσης για τους επισκέπτες (Osmudson, 1999). Τα ζιγκουράτ (ziggurats) διατηρήθηκαν μέχρι το 600 π.Χ. (Berghage et al., 2007) και εξελίχθηκαν στους κρεμαστούς κήπους της Βαβυλώνας, όπως αναφέρει ο ιερέας Βορόσσους το 290 π.Χ. και άλλοι ιστορικοί της αρχαιότητας μεταξύ των οποίων και ο Διόδωρος ο Σικελός. Ο αρχαιολόγος Robert Koldewey (Osmudson, 1999) σύμφωνα με τις παραπάνω περιγραφές έχει δημιουργήσει απεικονίσεις των κήπων αυτών, που αποτελούν τις πλέον γνωστές μορφές εγκατεστημένου φυτικού υλικού επάνω σε κτιριακές υποδομές (Εικ. 1.2, Εικ. 1.3). Οι κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας κατασκευάστηκαν από τον

Ναβουχοδονόσορ (NebuchadnezzarII) ο οποίος επιθυμούσε να επιτύχει μια απεικόνιση ενός βουνού (Berghage et al., 2007).



Εικόνα 1.2. Αναπαράσταση σε τομή των κρεμαστών κήπων της Βαβυλώνας, από τον Robert Koldewey (Osmudson, 1999).

(Πηγή: https://etd.ohiolink.edu/rws_etd/document/get/kent1311004642/inline).



Εικόνα 1.3. Αναπαράσταση των κρεμαστών κήπων της Βαβυλώνας, από τον Robert Koldewey (Πηγή: <http://alchetron.com/Robert-Koldewey-1194394-W>).

Οι Βίκινγκς κάλυπταν τις στέγες και τους τοίχους των σπιτιών τους με γρασίδι για να προφυλαχθούν από τη βροχή και το ψύχος (Εικ. 1.4), ενώ αρκετές φορές

μάλιστα χρησιμοποιούσαν και ξηρά φύκια ως μονωτικό υλικό οροφής (Donnelley, 1992).



Εικόνα 1.4 Πράσινη στέγη σε κατάλυμα των Βίκινγκς στην περιοχή L'Anse aux Meadows, Newfoundland. (Πηγή: <http://hans27026.wordpress.com>)

Ένας σημαντικός αριθμός πράσινων στεγών με χρήση χλοοτάπητα που αποδίδονται στους Βίκινγκς (Εικ. 1.4) βρίσκεται στον Καναδά, αλλά και οι Γάλλοι είχαν κατασκευάσει πράσινες στέγες με χρήση χλοοτάπητα.

Την εποχή της Αναγέννησης τα φυτεμένα δώματα των παλατιών και των επαύλεων της Ιταλίας και της Γαλλίας, θεωρούνταν στοιχείο υψηλής ποιότητας, αισθητικής και πολυτέλειας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα στις αρχές του 15^{ου} αιώνα το Pallazo Piccolomini στην Pienza και η έπαυλη του Kozimo Medici στη Φλωρεντία, (Ευμορφοπούλου, 1992). Τέλος, γύρω στο 1660 αναφέρεται η εγκατάσταση φύτευσης στην κορυφή του πύργου Bennetoni, σε ύψος 40 m στην περιοχή Lucca (English Nature Research Reports, 2003)

Σκανδιναβικοί λαοί χρησιμοποίησαν συστήματα πράσινων στεγών σε παραδοσιακά κτίσματα (Ngan, 2004). Οι Νορβηγοί κατασκεύαζαν στέγες φυτοκαλυμμένες με χλοοτάπητες προκειμένου να προστατεύουν τα κτίρια από τις αντίξοες καιρικές συνθήκες, όπως είναι οι ανεμορριπές και οι χαμηλές θερμοκρασίες (Berghage et al., 2007; Getter and Rowe, 2006).

Το 17-18^ο αιώνα τα φυτοδώματα εμφανίζονται στο αναπτυσσόμενο αστικό τοπίο, συνήθως ως τμήματα εξωτερικών χώρων ξενοδοχειακών υποδομών

Το 19-20^ο αιώνα τα φυτεμένα δώματα έγιναν ιδιαίτερα δημοφιλή στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, και την Αγγλία. Την εποχή αυτή αναδείχθηκαν αρκετοί πρωτοπόροι και σύγχρονοι υποστηρικτές των φυτεμένων δωματίων με κύριους εκφραστές τους αρχιτέκτονες Frank Lloyd Wright, Le Corbusier και Roberto Burle Marx. Τα χαρακτηριστικά παραδείγματα στο Rockefeller Center, της Νέας Υόρκης και οι κήποι “Derry and Toms”, στο Λονδίνο χρονολογούνται από το 1930 (English Nature Research Reports, 2003), ενώ το 1942 κατασκευάστηκε η πρώτη πλατεία στην οροφή ενός υπόγειου χώρου στάθμευσης, η πλατεία Union Square, στο Σαν Φρανσίσκο (Oberlander et al., 2002).

Στη Μεγάλη Βρετανία πριν και κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκόσμιου πολέμου, οι φυτεμένες στέγες αποτελούσαν τμήμα της απόκρυψης στρατιωτικών εγκαταστάσεων όπως αποθήκες και χώρους στάθμευσης αεροπλάνων (Kohler and Keeley, 2005)

Η Γερμανία αποτελεί τη χώρα όπου τα φυτεμένα δώματα αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν εκτενώς στη σύγχρονη εποχή. Η εφαρμογή των φυτεμένων δωματίων δημιουργήθηκε ως ανάγκη για την προστασία από πυρκαγιές κατά την περίοδο της έντονης αστικοποίησης και της βιομηχανικής επανάστασης. Κατά την περίοδο αυτή στα κτίρια τοποθετείτο άμμος στις στέγες προκειμένου να αποτραπεί η εκδήλωση πυρκαγιάς. Στο υπόστρωμα της άμμου σπόροι από διάφορα φυτά εγκαταστάθηκαν και βλάστησαν δημιουργώντας τις πρώτες πράσινες στέγες, η εξέλιξη και κατασκευή των οποίων εντατικοποιήθηκε στη Γερμανία του 1960 (Getter and Rowe, 2006). Η τάση της κατασκευής τέτοιου είδους πράσινων στεγών εντατικοποιήθηκε στη Γερμανία μεταξύ του 1960 και του 1980 οπότε και διενεργήθηκαν μελέτες για τα οικολογικά και περιβαλλοντικά οφέλη των φυτοδωματίων, αλλά και των κατάλληλων υλικών για την ορθή και απρόσκοπτη εγκατάστασή τους (Ngan, 2004). Σήμερα υπολογίζεται πως το 10% (Berghage et al., 2007) έως το 14% των στεγών στη Γερμανία είναι πράσινες (Getter and Rowe, 2006; Ngan, 2004) και σύμφωνα με το ετήσιο βιβλίο πράσινων στεγών του 2002 έχουν καταγραφεί πάνω από 1200 κατασκευαστικές εταιρίες με αντικείμενο τις πράσινες στέγες (BGL, 2002).

Στη νότια Ευρώπη (Πορτογαλία, Ισπανία, Ιταλία, Ελλάδα) οι Dunnett and Kingsbury (2004) αναφέρουν πως υπάρχει πολύ μικρότερη ανάπτυξη των πράσινων δωματίων. Η χώρα μας λόγω της έντονης ηλιοφάνειας, η οποία πολλές φορές μπορεί να αποβεί καταστρεπτική για το σκυρόδεμα (Eumorphoulou and Aravantinos, 1998), μπορεί να ωφεληθεί σημαντικά από την ανάπτυξη και τη καθιέρωση των πράσινων στεγών. Άλλωστε με τη συνεχή ανάπτυξη της επιστήμης και της τεχνολογίας, τα κατασκευαστικά υλικά για την δημιουργία φυτεμένων δωματίων εξελίσσονται συνεχώς, παρέχοντας μας την δυνατότητα για ελαφρότερες κατασκευές που ενδείκνυνται για τα χαμηλής στατικής επάρκειας παλαιά κτίρια της χώρας μας. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η δημιουργία περισσότερων εναλλακτικών λύσεων που μπορούν να συντελέσουν στην μεγαλύτερη διάδοση τους, η οποία προωθεί τη βελτίωση του περιβάλλοντος και την ισορροπία των αστικών οικοσυστημάτων.

1.2.2. Τύποι Φυτοδωματίων

Τα φυτεμένα δώματα διακρίνονται σε βασικές κατηγορίες, ανάλογα με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά τους και τη χρήση για την οποία προορίζονται. Το βάθος του υποστρώματος είναι η βασική αρχή διαχωρισμού των φυτοδωματίων (Ngan, 2004), σε σχέση με τα είδη των φυτών που μπορεί να υποστηρίξει και τη συντήρηση που απαιτείται, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1.1 (FLL, 2008). Ο πίνακας αυτός είναι δημιούργημα του Γερμανικού Οργανισμού Έρευνας Ανάπτυξης και Αναβάθμισης του Τοπίου (FLL) και διαχωρίζει τα φυτοδώματα σε τρεις τύπους: α) Εκτατικού τύπου, β) Εντατικού τύπου και γ) Ημιεντατικού τύπου.

Πίνακας 1.1 Χαρακτηριστικά των τριών τύπων φυτοδωμάτων (FLL, 2008).

	Εκτατικό Σύστημα	Ημιεντατικό Σύστημα	Εντατικό Σύστημα
Βάθος Υποστρώματος	4-15 cm	12-25 cm	15 cm- πάνω από 1m
Βάρος	49-150 Kg ^m - ²	120-200 Kg ^m - ²	180-2000 Kg ^m - ²
Χλωρίδα	Βρύα, λειχήνες, ξηροφυτικά είδη	Ξηροφυτικά είδη, φυτά εδαφοκάλυψης, θάμνοι και χλοοτάπητες	Θάμνοι, Δένδρα, Χλοοτάπητες
Πανίδα	Σκαθάρια, Αράχνες	Μικροοργανισμοί του εδάφους, σκαθάρια, αράχνες	Μόνιμοι μικροοργανισμοί του εδάφους, μυρμήγκια, σκαθάρια, ακόμα και είδη πτηνών
Άρδευση	Όχι	Περιοδική	Συχνή
Διαχείριση	Μηδαμινή	Περιοδική	Εντατική
Κόστος	Χαμηλό	Μεσαίο	Υψηλό
Προσβασιμότητα	Όχι	Πιθανή	Ναι
Χρήση	Οικολογική	Πράσινη Στέγη	Κήπος ή Πάρκο

A. Εκτατικό Σύστημα Φύτευσης (Extensive green roof)

Ο εκτατικός τύπος (Εικ. 1.5) οργανώνεται συνήθως σε πολυεπίπεδη διαστρωμάτωση με ελαφροβαρές υπόστρωμα ανάπτυξης ύψους 5 cm έως 15 cm το οποίο μαζί με το φυτικό υλικό δημιουργεί ένα μόνιμο οικοσύστημα, για τη συντήρηση του οποίου απαιτείται ελάχιστη φροντίδα. Το φορτίο ενός εκτατικού φυτεμένου δώματος κυμαίνεται από 70 ως 140 kg^m-² σε κορεσμένες συνθήκες, και το ριζικό σύστημα των φυτών είναι επιφανειακό. Άλλοι ερευνητές αναφέρουν ότι το βάθος του υποστρώματος στα εκτατικά φυτοδώματα ξεκινά συνήθως από 4 cm και ανέρχεται σε 10 cm (Wark and Wark, 2003). και το βάρος τους μπορεί να κυμαίνεται

από 49 kgm^{-2} έως 98 kgm^{-2} , ενώ άλλες πηγές αναφέρουν πως μπορεί να φτάσει μέχρι και 150 kgm^{-2} (Ρυία, 2008). Το περιορισμένο βάρος τους έχει μηδενικές έως ελάχιστες διαθρωτικές συνέπειες για το κτίριο (FLL, 2002; Caudrey, 2005), και επιτρέπει την εγκατάστασή τους σχεδόν σε οποιαδήποτε οροφή με κλίση έως και 45° . Σε κλίσεις άνω των 20° είναι απαραίτητη η πρόσθετη χρήση κυψελών ή στοιχείων συγκράτησης του υποστρώματος.

Ιδανικά για αυτό το είδος φυτεμένου δώματος είναι τα φυτά που μπορούν να αντέχουν σε δυσμενείς συνθήκες, όπως υψηλές ή πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, έλλειψη υγρασίας και ισχυροί άνεμοι, να είναι ικανά για αυτο-πολλαπλασιασμό (FLL, 2008). Συνήθως χρησιμοποιούνται αυτοφυή φυτά της τοπικής χλωρίδας, βρύα, φυτά εδαφοκάλυψης, παχύφυτα, και ποώδη φυτά. Η φύτευση πρέπει να γίνεται με τρόπο που να πλησιάζει την πυκνότητα και την διάταξη των φυτών στο φυσικό τους περιβάλλον, ώστε να δημιουργείται μια βιώσιμη και αυτοσυντηρούμενη φυτοκοινωνία.

Τα εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα είναι κατασκευές που στοχεύουν σε μηδενική διαχείριση, το κοινό δεν έχει πρόσβαση σε αυτά και το κόστος κατασκευής τους είναι πολύ χαμηλότερο των άλλων κατηγοριών.



Εικόνα 1.5. Εκτατικού τύπου φυτοδώμα.

(Πηγή: http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs)

B. Εντατικό Σύστημα Φύτευσης (Intensive green roof)

Τα εντατικά φυτοδώματα (Εικ. 1.6, 1.7) συνίσταται στη δημιουργία κήπων, χωρίς περιορισμό βάθους υποστρώματος και φορτίου. Οι Wark and Wark (2003) προτείνουν το βάθος του υποστρώματος να ξεκινά από 15 cm και δύναται να υπερβεί τα 120 cm, εφόσον αυτό προβλέπεται από τον κατασκευαστή, για να καλυφθούν οι ανάγκες των εκάστοτε φυτών. Αυτός ο τύπος «πράσινης στέγης»/φυτεμένου δώματος απαιτεί τακτική διαχείριση (άρδευση, λίπανση, φυτοπροστασία και ζιζανιοκτονία) και περιλαμβάνει ποικιλία φυτών (δένδρα, θάμνους, πόες, εδαφοκάλυψη) και παρέχει τη δυνατότητα εγκατάστασης κατασκευών που δύναται να περιλαμβάνουν υδατοκατασκευές, πέργολες, ηλεκτροφωτισμό και άλλες κηποτεχνικές κατασκευές. Το βάρος που έχει συνήθως ένα εντατικό φυτεμένο δώμα κυμαίνεται από 180 kgm^{-2} και μπορεί να φτάσει έως 2000 kgm^{-2} . (FLL, 2008). Άλλοι ερευνητές αναφέρουν ότι το βάρος τους κυμαίνεται από 290 kgm^{-2} και μπορεί να φτάσει έως 980 kgm^{-2} (Peck and Kuhn, 2003). Τα φυτεμένα δώματα εντατικού τύπου δε διαφέρουν στη χρήση τους από ένα κοινό κήπο ή πάρκο, όπου είναι δυνατή η πρόσβαση του κοινού και το κόστος κατασκευής και διαχείρισης είναι πολύ υψηλότερο από τους άλλους τύπους.



Εικόνα 1.6. Φυτοδώμα εντατικού τύπου στην προέκταση του αύλιου χώρου του Μεγάρου Μουσικής.

(Πηγή: <http://www.megaron.gr> 1-12-2016).



Εικόνα 1.7. Φυτοδώμα εντατικού τύπου στην οροφή του Νοσοκομείου Smilow.
(Πηγή: <http://news.yale.edu/2010/05/07/smilow-melds-welcoming-touches-state-art-care>)

Γ. Ημιεντατικό Σύστημα Φύτευσης (Simple intensive green roof)

Τα ημιεντατικά φυτοδώματα (Εικ. 1.8) έχουν βάθος υποστρώματος από 12 cm έως 25 cm και το βάρος τους κυμαίνεται από 120 kgm^{-2} έως 200 kgm^{-2} (Ρυία, 2008). Είναι ο ενδιάμεσος τύπος φυτεμένου δώματος μεταξύ εντατικού και εκτατικού τύπου, εφαρμόζεται σε επικλινείς ή επίπεδες οροφές και απαιτεί διαχείριση (άρδευση, λίπανση, φυτοπροστασία και ζιζανιοκτονία). Η ποικιλία των ειδών που χρησιμοποιούνται στον τύπο αυτό είναι περιορισμένη σε σχέση με τις δυνατότητες που υπάρχουν στον εντατικό τύπο και μπορεί να είναι χλοοτάπητας, ποώδη φυτά και χαμηλοί θάμνοι. Η κατασκευή τους γίνεται για λόγους περιβαλλοντικούς, εξοικονόμησης ενέργειας και αισθητικής και είναι δυνατή η χρήση τους από τους κατοίκους και τους επισκέπτες του κτιρίου. Ένα ημιεντατικό φυτοδώμα έχει κόστος κατασκευής και διαχείρισης υψηλότερο από τον εκτατικό τύπο και χαμηλότερο από τον εντατικό.



Εικόνα 1.8. Φυτοδώμα Ημιεντατικού τύπου στο Carrefour στο Χαλάνδρι. (Πηγή: <https://www.google.gr/search?q=Carrefour,+Χαλάνδρι&rlz>).

Δ. Προσαρμόσιμα φυτεμένα δώματα (Adaptivegreen roof)

Το βασικό εργαλείο για την κατασκευή αξιόπιστων και υψηλής ποιότητας φυτεμένων δωμάτων, είναι οι “Οδηγίες για σχεδιασμό, εκτέλεση και συντήρηση Πράσινων Οροφών” του FLL, (2008). Οι προδιαγραφές όμως αυτές, μειονεκτούν με την έννοια ότι έχουν διαμορφωθεί περισσότερο για την βόρεια Ευρώπη, ειδικότερα για τη Γερμανική αγορά, παρά για την καθολική εφαρμογή τους σε όλες τις χώρες, και ιδιαίτερα σε θερμές και ξηρές περιοχές.

Στο περιβάλλον της Μεσογείου, το οποίο χαρακτηρίζεται από μειωμένες βροχοπτώσεις και εκτεταμένη ξηροθερμική περίοδο με υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι (Fioretti et al., 2010) η υδατική καταπόνηση είναι μεγαλύτερη από εκείνη στις βόρειες χώρες και στις περισσότερες περιπτώσεις είναι πιθανόν να μην είναι επιτυχής η κατασκευή ξηρικών φυτεμένων δωμάτων (Penuelas et al., 2004). Ένα βαθύτερο υπόστρωμα που θα εξασφάλιζε μεγαλύτερη συγκράτηση νερού, θα είχε σαν μειονέκτημα το αυξημένο στατικό φορτίο, ιδιαίτερα σε κατάσταση κορεσμού,

όπως ύστερα από μία έντονη καταιγίδα. Είναι λοιπόν αναγκαίο για τον υπολογισμό του βάθους του υποστρώματος να λαμβάνονται υπ όψιν τόσο οι ανάγκες των φυτών, όσο και τα κατασκευαστικά και οικονομικά όρια του κάθε κτιρίου (Benvenuti and Bacci, 2010).

Το αυξημένο στατικό φορτίο, που μπορεί να οφείλεται σε ένα βαθύτερο υπόστρωμα, καθιστά από μόνο του απαγορευτική την κατασκευή φυτεμένων δωματίων στις περισσότερες υπάρχουσες κατοικίες της χώρας μας, η οποία χαρακτηρίζεται από έντονη σεισμική δραστηριότητα. Επιπλέον τα κτίρια έχουν κατασκευασθεί στην πλειοψηφία τους, βάσει Γενικών Οικοδομικών Κανονισμών (ΓΟΚ) που δεν προέβλεπαν ικανά φορτία επικαλύψεων των κτιρίων, και που θα είχαν προφανή προβλήματα επικινδυνότητας από την κατασκευή φυτοδωματίων πάνω στον φέροντα οργανισμό. Είναι λοιπόν απαραίτητη η σύνθεση κατάλληλων υποστρωμάτων προσαρμοσμένων στην κλιματική ζώνη της κάθε περιοχής, με βάση τα τοπικά διαθέσιμα υλικά, καθώς και η χρήση εγκλιματισμένων φυτών κατάλληλα για το προβλεπόμενο επίπεδο διαχείρισης (Getter and Rowe, 2006).

Στη Βόρεια Ευρώπη που έχει αυξημένες βροχοπτώσεις τα εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα δεν έχουν υποχρεωτικά σύστημα άρδευσης, αν και σε αυτή την περίπτωση είναι αναγκαίο για τα δύο πρώτα χρόνια προκειμένου τα φυτά να εγκατασταθούν και να επιβιώσουν στη ξηρή περίοδο του έτους (Canton, 2008). Μία μετατόπιση στο γεωγραφικό πλάτος θα έπρεπε να συνοδεύεται και από μία ανάλογη μετατόπιση της διάρκειας της λειτουργίας του αρδευτικού συστήματος στη Μεσογειακή ζώνη στα εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα. Η συχνότητα και η ποσότητα της άρδευσης εξαρτάται από παράγοντες όπως το είδος των φυτών και τον τύπο και το βάθος του υποστρώματος. Ακόμα έχει αποδειχθεί ότι οι δυσκολίες που υπάρχουν στην ανάπτυξη των φυτών σε ρηχά υποστρώματα μπορούν να καλυφθούν με την ανάλογη άρδευση (VanWoert et al., 2005). Είναι λοιπόν απαραίτητο και η άρδευση να είναι προσαρμοσμένη στην κλιματική ζώνη της κάθε περιοχής, στα εγκλιματισμένα φυτά της περιοχής, στο προβλεπόμενο επίπεδο διαχείρισης και στα στατικά φορτία που αναπτύσσονται.

Τα παραπάνω οδήγησαν τους Έλληνες ερευνητές στη σκέψη και στην υλοποίηση ενός νέου τύπου φυτοδώματος του “Προσαρμόσιμου φυτεμένου δώματος” (Adaptivegreen roof type), με συνδυαστικά χαρακτηριστικά που συναντά

κάποιος σε διαφορετικούς τύπους φυτοδωμάτων, τουλάχιστον όπως αυτά περιγράφονται στον Πίν. 1.1. (FLL, 2008).

Τα Προσαρμόσιμα φυτεμένα δώματα, είναι μία ενδιάμεση κατηγορία που έχει αναπτυχθεί από το Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου του Γ.Π.Α. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε τη χρήση του βάθους του υποστρώματος των εκτατικών φυτεμένων δωμαίων ενώ προτείνεται και η λελογισμένη χρήση άρδευσης. Η κατηγορία αυτή φυτεμένων δωμαίων έχει το πλεονέκτημα να επιτρέπει τη δυνατότητα ανάπτυξης διαφόρων αυτοφυών και ενδημικών φυτών καθώς και χλοοταπήτων σε μικρό βάθος υποστρώματος. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται φυτεμένα δώματα με μικρό βάρος και κόστος, τα οποία είναι αισθητικά ελκυστικά και επιτρέπουν την πρόσβαση και τη χρήση τους από τους επισκέπτες. Η συγκεκριμένη περίπτωση αποτελεί τη βέλτιστη λύση για τις Μεσογειακές και ημι-ερημικές κλιματικές ζώνες, όταν έχουμε προβλήματα στατικότητας των κτιρίων (Kotsiris et al., 2013; Ntoulas et al, 2012a, 2012b, 2013, 2015).

Ε Κατασκευαστικά στοιχεία φυτεμένων δωμαίων

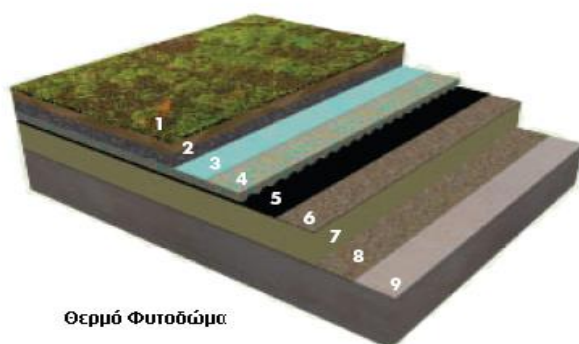
Η σωστή κατασκευή φυτεμένου δωμαίου απαιτεί την ύπαρξη ή την εκπόνηση κατάλληλης στατικής μελέτης. Ο τύπος που θα επιλεγεί εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες, τη χρήση για την οποία προορίζεται και τη στατική επάρκεια ή το κόστος συμπληρωματικών κατασκευών για τη στήριξη του πλεονάζοντος φορτίου.

Για να αυξηθεί η διάρκεια της λειτουργικότητας του φυτεμένου δωμαίου και να μειωθεί η πιθανότητα τυχόν προβλημάτων, χρησιμοποιούνται διαφορετικές διαστρώσεις που αποσκοπούν στην εξασφάλιση της επιθυμητής ροής του αέρα και του νερού στη ριζόσφαιρα, στην αποφυγή της έκπλυσης του υποστρώματος και την αποφυγή ζημώσης της υδατοστεγάνωσης από την διείσδυση των ριζών.

Ανάλογα λοιπόν με το τύπο του φυτεμένου δωμαίου που πρόκειται να κατασκευασθεί επιλέγεται και ο συνδυασμός και ο τύπος των διαστρώσεων του. Σαν παράδειγμα αναφέρεται η διαφορετική διάταξη των διαστρώσεων ενός οριζώντιου και ενός επικλινούς εκτατικού φυτοδωμαίου (Εικ 1.9).

Στην συγκεκριμένη περίπτωση προβλέπεται στο οριζόντιο φυτεμένο δώμα διάστρωση αποστράγγισης ενώ στο επικλινές όχι, γιατί η μεγάλη κλίση ευνοεί την αποστράγγιση. Επίσης στο επικλινές εκτατικό φυτοδώμα προβλέπεται κυψελωτό πλαίσιο για την συγκράτηση του υποστρώματος και υπόγειο σύστημα άρδευσης για να μην υπάρχει επιφανειακή απορροή νερού. Το φράγμα υδρατμών και η στεγανωτική διάστρωση, είναι απαραίτητα στην περίπτωση που υπάρχει θερμομονωτική στρώση.

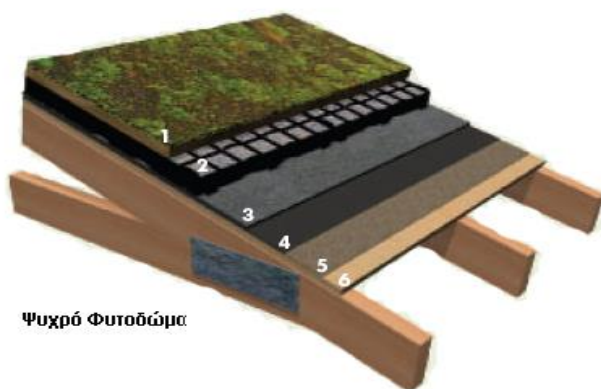
Εκτατικό Σύστημα Φυτοδώματος - Επίπεδο



Θερμό Φυτοδώμα

1. Φυτικό Υλικό
2. Υπόστρωμα για βρύα-Λειχήνες, ξηροφυτικά
3. Διάστρωση Διαχωριστικού Φίλτρου
4. Αποστραγγιστική Στρώση
5. Διάστρωση Προστασίας από τη Διείσδυση Ριζών
6. Υδροστεγανωτική Στρώση
7. Θερμομονωτική Στρώση
8. Φράγμα Υδρατμών
9. Οροφή Κτιρίου

Εκτατικό Σύστημα Φυτοδώματος-Με Κλίση



Ψυχρό Φυτοδώμα

1. Φυτικό Υλικό
2. Σύστημα Συγκράτησης Υποστρώματος
3. Διάστρωση Συγκράτησης Υγρασίας (Υπόγεια Άρδευση)
4. Διάστρωση Προστασίας από τη Διείσδυση Ριζών
5. Υδροστεγανωτική Στρώση
6. Οροφή Κτιρίου

Εικόνα 1.9. Επίπεδο και επικλινές Εκτατικό Σύστημα Φυτοδώματος

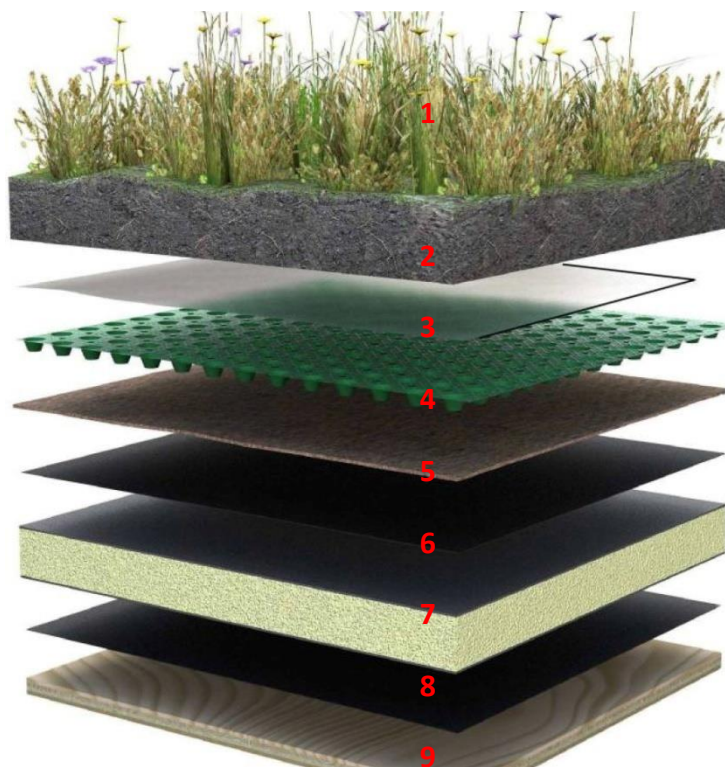
(Πηγή: Liquid Plastics Limited, Lancashire, England).

Το φυτικό υλικό που θα χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή ενός φυτοδώματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το κλίμα και το μικροκλίμα της περιοχής, οι ακραίες κλιματολογικές συνθήκες στην επιφάνεια του δώματος και ο τύπος του

φυτεμένου δώματος που έχει επιλεγεί να κατασκευασθεί. Με την κατάλληλη επιλογή των φυτών εξασφαλίζεται το επιθυμητό αισθητικό αποτέλεσμα και ταυτόχρονα οι λιγότερες δυνατές ανάγκες διαχείρισης. Ο συνδυασμός των διαφόρων φυτικών ειδών ανάλογα και με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, δημιουργούν οπτικό ενδιαφέρον και συντελούν στην επίτευξη θετικών επιπτώσεων που έχει ένα λειτουργικό και σωστά διαμορφωμένο φυτεμένο δώμα (Oberlander et al., 2002).

1.2.3. Διαστρώσεις Φυτοδώματος

Αν και υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες κατασκευής φυτεμένων δωματίων οι οποίες διαφοροποιούνται σε κάθε χώρα, συνηθέστερα ένα φυτεμένο δώμα αποτελείται από πολυεπίπεδο σύστημα διαστρώσεων διαφορετικών υλικών, (Εικ. 1.10) από τα οποία άλλα προστατεύουν το δώμα του κτιρίου και άλλα χρησιμεύουν στην εγκατάσταση - ανάπτυξη - και διαχείριση του φυτικού υλικού.



- 1) Φυτικό Υλικό
- 2) Υπόστρωμα Ανάπτυξης
- 3) Γεώφασμα
- 4) Επίπεδο συγκράτησης ύδατος και αποστράγγισης
- 5) Επίπεδο συγκράτησης ύδατος και προστασίας υγραμόνωσης
- 6) Επίπεδο προστασίας από διείσδυση ριζών
- 7) Θερμομονωτικό επίπεδο
- 8) Φράγμα υδρατμών
- 9) Δώμα κτιρίου

Εικόνα 1.10. Σχηματική απεικόνιση των διαστρώσεων ενός φυτεμένου δώματος.

(Πηγή: http://taratsokipos.blogspot.gr/2015_02_01_archive.html)

1.2.3.1. Φυτικό Υλικό

Η εγκατάσταση φυτικού υλικού στα δώματα των κτιρίων δημιουργεί χρηστικούς και καλαίσθητους χώρους εντός του αστικού ιστού. Το φυτικό υλικό που επιλέγεται να εγκατασταθεί σε ένα φυτεμένο δώμα εξαρτάται άμεσα από το είδος της στέγης, τη δομική μελέτη που έχει γίνει, το βάθος του υποστρώματος που έχει τοποθετηθεί, τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν και τη χρήση για την οποία προορίζεται το φυτεμένο δώμα.

Εκτός των παραπάνω παραμέτρων, η καταλληλότητα των φυτών για τα φυτεμένα δώματα εξαρτάται και από το είδος του ριζικού τους συστήματος το οποίο προτιμάται να είναι επιφανειακό (Oberlander et al., 2002) προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν προβλήματα στην ακεραιότητα των υδατοστεγανοποιητικών διατάξεων.

Επιπλέον, είναι επιθυμητό τα επιλεγόμενα φυτικά είδη να έχουν αντοχή στην ηλιακή ακτινοβολία, τη ξηρασία, τις ανεμορριπές, να είναι ανθεκτικά σε εχθρούς και ασθένειες, να έχουν μειωμένες απαιτήσεις σε διαχείριση, να μην υπερβαίνουν το μέγιστο μέγεθος για κάθε βάθος υποστρώματος και να προσφέρουν επιθυμητό οπτικό αποτέλεσμα όλους τους μήνες του χρόνου (Oberlander et al., 2002). Συχνή είναι και η χρήση χλοοταπήτων σε φυτοκαλυμμένα δώματα (Henry, 2006), καθώς διαθέτουν τόσο λειτουργικά, όσο και περιβαλλοντικά και αισθητικά χαρακτηριστικά.

1.2.3.2. Υπόστρωμα Ανάπτυξης

Το υπόστρωμα ανάπτυξης των φυτών που προορίζεται για ένα φυτοδώμα ανεξάρτητα του είδους αυτού, πρέπει να έχει: μικρό βάρος, να είναι μόνιμο, να έχει μεγάλη υδατοχωρητικότητα, ενώ παράλληλα να εξασφαλίζει καλή στράγγιση χωρίς να χάνει θρεπτικά στοιχεία (Shahidi, 2007). Παράλληλα πρέπει να αποστραγγίζει γρήγορα ώστε να αποφεύγεται η μεγάλη χρονική διάρκεια σε κατάσταση κορεσμού (Rowe et al., 2006), να επιτρέπει τον αερισμό του ριζικού συστήματος των φυτών ακόμα και όταν είναι κορεσμένο με νερό, να έχει συγκεκριμένο πορώδες, pH και κοκκομετρία, ανάλογα με το φυτικό υλικό που θα επιλεγεί, να μην συμπιέζεται και

να έχει ανεκτό κόστος. Για το πορώδες οι Johnston and Newton (2004) αναφέρουν ότι τα καταλληλότερα υποστρώματα για φυτεμένα δώματα πρέπει να περιλαμβάνουν 30-40% στερεή φάση και 60-70% πορώδες, εκ των οποίων το 35-45% πρέπει να είναι νερό και το 15-25% αέρας.

Για τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των παραπάνω χαρακτηριστικών ενός υποστρώματος ο FLL (2008) τις ποσοτικοποιεί ανάλογα με τον τύπο των φυτεμένων δωματίων:

Υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών για φυτεμένα δώματα εκτατικού τύπου σύμφωνα με το FLL 2008.

- Κοκκομετρική σύσταση με ποσοστό στοιχείων με διάμετρο $d < 0,063\text{mm}$ $\leq 15\%$ κατά μάζα (συνολική άργιλος και ιλύς).
- Η περιεκτικότητα σε μεγαλύτερα μεγέθη κόκκων για επίπεδα δώματα είναι $d=12\text{mm}$ όταν το ύψος του υποστρώματος δεν υπερβαίνει τα 10cm και $d=16\text{mm}$ όταν είναι μεγαλύτερο από 10cm.
- pH 6,0-8,5.
- Περιεκτικότητα σε οργανικά υλικά $\leq 65\text{ gL}^{-1}$.
- Υδραυλική αγωγιμότητα 0,6-70 mm.
- $35\% \text{ κ.ό} \leq \text{Υδατοϊκανότητα} \leq 65\% \text{ κ.ό}$.
- Πορώδεςστην υδατοϊκανότητα $\geq 10\% \text{ κ.ό}$.
- Περιεκτικότητα σε άλατα $\leq 3,5\text{ gL}^{-1}$.
- Κορεσμένο φορτίο έως 1300 kgm^{-3} .

Υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών για φυτεμένα δώματα ημιεντατικού και εντατικού τύπου σύμφωνα με το FLL 2008.

- Κοκκομετρική σύσταση με ποσοστό στοιχείων με διάμετρο $d < 0,063\text{mm}$ $\leq 20\%$ κατά μάζα (συνολική άργιλος και ιλύς).
Η άργιλος ($d < 0,002\text{ mm}$) μεταξύ των ορίων 3-10% κατά μάζα και η ιλύς ($d = 0,002\text{ mm}$ μέχρι και $0,063\text{mm}$) μεταξύ των ορίων 10-17%.
- Η περιεκτικότητα σε μεγαλύτερα μεγέθη κόκκων για επίπεδα δώματα

είναι $d=12\text{mm}$ όταν το ύψος του υποστρώματος είναι $>10\text{cm}$ και $d=16\text{mm}$ όταν είναι $< 10\text{cm}$.

- $\text{pH } 6,0-8,5$.
- Περιεκτικότητα σε οργανικά υλικά $\leq 90 \text{ gL}^{-1}$.
- Υδατοπερατότητα $0,3-30 \text{ mm}$.
- $45\% \text{ κ.ό} \leq \text{Υδατοϊκανότητα} \leq 65\% \text{ κ.ό}$.
- Πορώδες στην υδατοϊκανότητα $\geq 10\% \text{ κ.ό}$.
- Περιεκτικότητα σε άλατα $\leq 2,5 \text{ gL}^{-1}$.
- Κορεσμένο φορτίο έως 1300 kgm^{-3} .

Λόγω του ότι τα φυσικά εδάφη είναι βαριά, και ειδικά σε συνθήκες κορεσμού, στα πράσινα δώματα συνήθως χρησιμοποιούνται ελαφρά μίγματα που βασίζονται στα ανόργανα συστατικά, στα αδρανή υλικά και με μικρές ποσότητες οργανικής ουσίας που ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο του φυτεμένου δώματος (FLL, 2002). Τα ανόργανα υλικά στην Ευρώπη περιλαμβάνουν θραυσμένο τούβλο και κεραμίδι (Nagase and Dunnett, 2011), περλίτη (Nektarios et al., 2003), σκωρίες χαλυβουργίας, διογκωμένη αδρανή άργιλο (Dunnett and Kingsbury, 2004), ελαφρόπετρα και ζεόλιθο (Nektarios et al., 2011; Ntoulas et al., 2012). Στις ΗΠΑ και στον Καναδά εκτός από τα παραπάνω υλικά χρησιμοποιούν ακόμη κίσηρη και διογκωμένο σχιστόλιθο (Rowe et al., 2006). Για την οργανική ουσία που παλαιότερα συνήθως αποτελείτο από τύρφη γίνεται προσπάθεια αντικατάστασης της με κομπόστ (Nektarios et al., 2011; Πελαργιώτη και Παπαφωτίου, 2011) ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την χρήση της τύρφης στην κηποτεχνία.

1.2.3.3. Διαχωριστικό φίλτρο

Το διαχωριστικό φίλτρο χρησιμοποιείται για να εμποδίζει την διάχυση των εδαφικών τεμαχίων από το υπόστρωμα ανάπτυξης στην αποστραγγιστική στρώση (Ευμορφοπούλου, 1992). Αποτελείται από άμμο ή μεμβράνες-φίλτρα, όπως υαλοϋφάσματα ή γεωυφάσματα. Όταν χρησιμοποιείται άμμος, η τελική της επιφάνεια διαμορφώνεται παράλληλα με την αποστραγγιστική στρώση ενώ όταν

χρησιμοποιούνται οι ειδικές μεμβράνες πρέπει να υπάρχει αλληλοκάλυψη στα σημεία ένωσής τους για τουλάχιστον 10 cm (FLL, 1995). Το διαχωριστικό φίλτρο με μεμβράνες μπορεί να αποτελείται από δύο στρώσεις μία από τις οποίες συνίσταται να είναι εμποτισμένη με ουσίες που παρεμποδίζουν τη διείδυση των ριζών όπως χαλκός ή ήπιο ζιζανιοκτόνο (Wark and Wark, 2003).

Οι μεμβράνες αυτές θα πρέπει να έχουν μικρό βάρος, μεγάλη αντοχή σε υψηλά φορτία, μεγάλη διηθητική ικανότητα όσον αφορά το νερό. Επιπλέον, θα πρέπει να εμφανίζουν αντίσταση στην αποσύνθεση, στους μικροοργανισμούς και στα χημικά υπολείμματα, να είναι συμβατές με τα υπόλοιπα υλικά, φυτικά και κατασκευαστικά και να έχουν υψηλή ελαστικότητα και αντοχή στη δύναμη εφελκυσμού, (FLL, 1995).

1.2.3.4. Αποστραγγιστική στρώση

Κάτω από το διαχωριστικό φίλτρο τοποθετείται το σύστημα αποστράγγισης το οποίο είναι απαραίτητο για την καλή λειτουργία του φυτοδώματος, καθώς έχει την ικανότητα να συγκρατεί τις απαιτούμενες ποσότητες νερού, ενώ αφήνει το πλεονάζων νερό να απορρέει προς τις υδρορροές του δώματος (Gedge et al., 2006) και έτσι αποφεύγονται τυχόν προβλήματα που θα προέκυπταν από τον κακό αερισμό στις ρίζες των φυτών. Το σύστημα αποστράγγισης βοηθά ουσιαστικά σε στέγες με κλίση έως 10°, καθώς σε μεγαλύτερες κλίσεις θεωρείται πως η στράγγιση πραγματοποιείται φυσικά. Το FLL (2002) αναφέρει ότι η κατασκευή αποστραγγιστικού επιπέδου δεν είναι απαραίτητη όταν η κλίση του δώματος υπερβαίνει τις 5° και το ύψος του φυτικού υλικού δεν ξεπερνά τα 25 cm, σε κάθε άλλη περίπτωση την θεωρεί αναγκαία.

Εάν και υπάρχουν πολλά υλικά με τα οποία μπορεί να κατασκευαστεί η αποστραγγιστική στρώση όπως άμμος, χαλίκι, λάβα, ελαφρόπετρα, σχιστόλιθος, τούβλα και άλλα, η σύγχρονη τεχνολογία κατασκευάζει πολλά έτοιμα συστήματα αποστράγγισης κυρίως από πλαστικό και γεωϋφασμα (Gedge et al., 2006). Συνήθως τα έτοιμα αυτά συστήματα κατασκευάζονται από υψηλής πυκνότητας ανακυκλωμένο πολυαιθυλένιο (HDPE), ενισχυμένο πλαστικό (ABS) ή ανακυκλωμένο

πολυστερένιο (Recycled PS) ή ισοδύναμο υλικό, με αμφίπλευρες εγκολπώσεις, με οπές στην κορυφή των εγκολπώσεων για την διευκόλυνση της κυκλοφορίας του αέρα και κενούς χώρους στους οποίους συσσωρεύεται και αποθηκεύεται το νερό.

Η αποστραγγιστική στρώση θα πρέπει να είναι βιολογικά και χημικά ουδέτερη, να είναι ανθεκτική στις προσβολές από μικροοργανισμούς (βακτήρια κλπ), σε λιπάσματα και οργανικές ενώσεις όπως φυτοφάρμακα, εκκρίσεις ριζών κλπ., να έχει αντοχή στο ψύχος και στα φορτία, να έχει συγκεκριμένη ικανότητα συγκράτησης νερού και να είναι περιβαλλοντολογικά φιλική.

Πολλές φορές τα προκατασκευασμένα φύλλα της αποστραγγιστικής στρώσης από πολυαιθυλένιο, μπορεί να έχουν ενσωματωμένες μεμβράνες που χρησιμοποιούνται ως διαχωριστικά φίλτρα. Στις περιπτώσεις αυτές δεν είναι απαραίτητη η κατασκευή ξεχωριστού επιπέδου διαχωριστικού φίλτρου (Oberlander et al., 2002). Επιπλέον μπορεί ακόμα τα προκατασκευασμένα φύλλα της αποστραγγιστικής στρώσης να έχουν ενσωματωμένες μεμβράνες που χρησιμοποιούνται για αντιριζική προστασία, (Ευαγγελίου κ.άλ., 2008).

1.2.3.5. Αντιριζική προστασία

Τα φυτά αναζητώντας νερό και θρεπτικά συστατικά μπορούν να διεισδύσουν με τις ρίζες τους στα κατώτερα κατασκευαστικά επίπεδα τόσο του φυτοδώματος όσο και της οροφής του κτιρίου. Οι αντιριζικές μεμβράνες που παρέχουν κατάλληλη και διαρκή προστασία στις υποκείμενες στρώσεις, από την διείσδυση των ριζών, μπορεί να είναι φύλλα ασφαλικής πίσσας εμποτισμένα με τοξικές ουσίες για τις ρίζες, μεμβράνες συνθετικές θερμοπλαστικές, ή μεμβράνες οπλισμένες με υαλόπλεγμα. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθούν φύλλα αλουμινίου, ή φύλλα χαλκού (Ευμορφοπούλου, 1992). Συνδυαστικά χρησιμοποιούνται μεμβράνες με φύλλα χαλκού, σε περιπτώσεις χρήσης φυτών με ιδιαίτερα επιθετικό ριζικό σύστημα, όπως δένδρα που ανήκουν στα γένη: *Ficus*, *Bambusa*, *Salix*, *Robinia*, *Populus* και ξυλοποιημένοι θάμνοι μακί (Osmudson, 1999; Townshend and Duggie, 2007).

Η συγκόλληση των αντιριζικών μεμβρανών πρέπει να γίνεται με πολύ προσοχή και η αλληλοεπικάλυψη των φύλλων κατά την τοποθέτηση τους πρέπει να είναι 10 cm (Ευαγγελίου κ. ά., 2008).

Η ανάγκη τοποθέτησής αντιριζικής μεμβράνης εξαρτάται από το είδος της στεγανοποίησης. Έτσι, οι συνθετικές οπλισμένες μεμβράνες στεγανοποίησης συνήθως δεν απαιτούν την ύπαρξη αντιριζικής προστασίας. Αντίθετα, η στεγανοποίηση με ασφαλτόπανα απαιτεί τη διάστρωση πρόσθετης αντιριζικής μεμβράνης.

1.2.3.6. Προστασία στεγανοποιητικής διαταξης

Η επιτυχία ενός φυτοδώματος εξαρτάται ιδιαίτερα από τη στεγανοποίηση του. Η αποφυγή οποιασδήποτε διαρροής, των νερών της βροχής αλλά και της άρδευσης του φυτεμένου δώματος λειτουργεί προστατευτικά για το δώμα και για ολόκληρο το κτίριο.

Σήμερα υπάρχει μεγάλη ποικιλία προϊόντων που χρησιμοποιούνται για την στεγάνωση του κτιρίου, τα οποία μπορούν να συνδυαστούν και μεταξύ τους. Η σωστή εφαρμογή και τα αναμενόμενα αποτελέσματα προστασίας από τη χρήση των υλικών στεγάνωσης εξαρτάται από την ποιότητα τους, από την τήρηση των οδηγιών τοποθέτησης που επιβάλλει η κατασκευάστρια εταιρία και από την εμπειρία του συνεργείου τοποθέτησης (Ευμορφοπούλου, 1992).

Όταν τελειώσει το στρώσιμο των στεγανοποιητικών μεμβρανών, ανεξάρτητα από τον τύπο τους, επιβάλλεται έλεγχος των αποτελεσμάτων στεγανοποίησης που εξασφαλίζουν. Ο έλεγχος πραγματοποιείται με την κατάκλιση του δώματος με νερό, αφού πρώτα ασφαλιστούν όλα τα φρεάτια απορροής των υδάτων (Osmudson, 1999).

Τα υλικά στεγανοποίησης αποτελούνται από διάφορων ειδών μεμβράνες, πολυμερισμένου αιθυλενίου ή πολυουρεθάνης – ασφάλτου. Ακόμα, ευρέως χρησιμοποιούνται και τα ασφαλτόπανα οξειδωμένης ασφάλτου, οι ελαστομερείς μεμβράνες με βάση την ασφάλτο, οι μεμβράνες συνθετικού καουτσούκ, αλλά και οι μεμβράνες πολυολεφρίνης (βάσεως πολυπροπυλενίου – ΤΡΟ).

1.2.3.7. Θερμομόνωση

Κάτω από την στεγανοποιητική διάταξη βρίσκεται η θερμομόνωση. Τα υλικά που την αποτελούν συνήθως έχουν αφρώδη υφή και είναι κυρίως τυποποιημένα σε πλάκες διαφόρων διαστάσεων. Τα πιο διαδεδομένα είναι η εξηλασμένη πολυστερίνη, η διογκωμένη πολυστερίνη (φελιζόλ), η αφρώδης πολυστερίνη, ο αφρός πολυουρεθάνης, το αφρώδες γυαλί, (fiberglass), καθώς και το ελαφρό, αφρώδες κονίαμα με βάση το τσιμέντο, γνωστό και ως αφρομπετό. Βασική προϋπόθεση για τη καλή λειτουργία της θερμομόνωσης είναι να μην υπάρχουν κενά είτε αυτή τοποθετείται με τη μορφή αφρού είτε με τη μορφή πλάκας, (Ευμορφοπούλου, 1992). Είναι μια προαιρετική στρώση και η τοποθέτηση της εξαρτάται από την θερμική απόδοση του υποστρώματος του φυτεμένου δώματος.

1.2.3.8. Φράγμα υδρατμών

Κάτω από τη θερμομόνωση βρίσκεται το φράγμα των υδρατμών. Βασικός του σκοπός είναι, η παρεμπόδιση της διέλευσης των υδρατμών από το εσωτερικό του κτιρίου στη θερμομόνωση. Η στρώση του φράγματος των υδρατμών δημιουργείται από ποικίλα υλικά, όπως τα ασφαλτικά φύλλα, τα φύλλα πολυαιθυλενίου, το πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LPDE), το πολυουρεθάνιο, οι εποξειδικές βαφές και, οι εποξει-πολυουρεθανικές βαφές. Ανάλογα με τη μορφή του υλικού που τελικά θα επιλεγεί το φράγμα των υδρατμών μπορεί να έχει τη μορφή της μεμβράνης, ή την μορφή της βαφής. Η αλληλοεπικάλυψη των υλικών και η καλή συγκόλληση, είναι και εδώ απαραίτητη για την εξασφάλιση της στεγανότητας του φράγματος των υδρατμών, (Ευμορφοπούλου, 1992). Το φράγμα υδρατμών χρειάζεται όταν υπάρχει στρώση θερμομόνωσης (Εικ. 1.10), αλλιώς αυτό ταυτίζεται με τη στρώση υδατοστεγανότητας (Townshend and Duggie, 2007).

1.2.3.9. Κέλυφος κτιρίου

Ο βασικός παράγοντας για την λήψη απόφασης της κατασκευής φυτεμένου δώματος στην οροφή ενός κτιρίου και του τύπου που θα κατασκευαστεί είναι η Στατική Αντοχή - Επάρκεια του Κτιρίου. Σε περίπτωση που η υπάρχουσα φέρουσα κατασκευή δεν μπορεί να δεχτεί την πρόσθετη στατική επιβάρυνση, τότε η κατασκευή του κήπου στο δώμα, πρέπει να θεωρείται εξ αρχής απαγορευτική (Μιχαλάκη, 2007). Στα υφιστάμενα κτίρια το συνολικό φορτίο των κατασκευών, όπως το φορτίο του συστήματος υποδομής φυτεμένου δώματος στέγης, η βλάστηση και οποιοδήποτε δομικό στοιχείο, δεν πρέπει να ξεπεράσει το υπολογισμένο φορτίο ή φορτίο επικάλυψης που προβλέπεται από τη στατική μελέτη. Στα νέα κτίρια μας δίνεται η δυνατότητα ο υπολογισμός της στατικής αντοχής του κτιρίου να προκύπτει αφού συμπεριληφθεί και το φορτίο που θα προκύψει από την κατασκευή του φυτεμένου δώματος.

1.2.4. Πλεονεκτήματα Φυτοδωμάτων

Στις σημερινές πόλεις που έχουν δομηθεί τόσο άναρχα και οι οποίες χαρακτηρίζονται από πλήρη κάλυψη με σκληρά υλικά και έλλειψη ανοικτών χώρων ήταν φυσικό να υποβαθμισθεί το περιβάλλον, να δημιουργηθούν καινούργια δυσμενή καιρικά φαινόμενα όπως το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα φαινόμενα αυτά έχουν αρνητικές συνέπειες στο βιοτικό επίπεδο των κατοίκων, οι οποίοι προσπαθώντας να καλυτερεύσουν την ζωή τους, είναι φυσικό να σκέπτονται τις δυνατότητες της βελτίωσης του χώρου που ζουν μέσω της αναβάθμισης του περιβάλλοντος.

Η δημιουργία χώρων πρασίνου είναι από τους πλέον ενδεδειγμένους τρόπους για να επιτευχθεί ένα καλλίτερο περιβάλλον μέσα στον αστικό ιστό, κάτι που φαντάζει τόσο δυσκολότερο όσο ο ιστός είναι πυκνότερος και ολοκληρωτικά οικοδομημένος με ελάχιστη ή παντελή έλλειψη ελεύθερων χώρων. Έτσι είτε θα πρέπει να απαλλοτριωθούν και κατόπιν να κατεδαφιστούν ολόκληρα οικοδομικά τετράγωνα, δημιουργώντας τους αναγκαίους χώρους, δαπανώντας σημαντικούς

οικονομικούς πόρους, είτε να χρησιμοποιηθούν ως καμβάς κηποτεχνικών επεμβάσεων τα κτίρια και συγκεκριμένα η τοιχοποιία και οι οροφές αυτών.

Έτσι, τα μεγάλα και απρόσωπα κτιριακά συγκροτήματα που δημιουργούνται για να καλύψουν τις ανθρώπινες ανάγκες και δραστηριότητες στα αστικά κέντρα μπορούν να βελτιωθούν αισθητικά με την δημιουργία των φυτοδωμάτων τα οποία ταυτόχρονα μπορούν να συμβάλουν στη δημιουργία ενός νέου δικτύου βλάστησης και να αυξήσουν την αναλογία της επιφάνειας πρασίνου ανά κάτοικο (Johnson and Newton, 1995). Με τον τρόπο αυτό αναμένεται να βελτιωθεί η οικολογική κατάσταση των πυκνοδομημένων περιοχών και να συμβάλλει στην οικολογική διαμόρφωση των αστικών κέντρων (RiepenandHeld, 2000). Ιδιαίτερα στις πυκνοκατοικημένες πόλεις, τα φυτεμένα δώματα αποτελούν μία σωστή επένδυση για τους ιδιοκτήτες των κτιρίων, δίνοντας ευκαιρίες για σημαντικά κοινωνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη (Tokarz, 2006).

Αναγνωρίζοντας λοιπόν τα οφέλη της φυτοκάλυψης των δωμαίων κάποια κράτη έχουν νομοθετήσει την υποχρεωτική εφαρμογή της (κάποια κρατίδια της Γερμανίας), ενώ αλλού επιβάλλεται η κάλυψη όλων των μεγάλων κτιρίων κατά τουλάχιστον 20% της επιφανείας τους (Τόκιο) και αλλού η κάλυψη όλων των μεγάλων εμπορικών κτιρίων τουλάχιστον κατά 25% της επιφανείας τους (Ελβετία).

1.2.4.1. Απορροή Όμβριων Υδάτων

Οι έντονες βροχοπτώσεις πολλές φορές δημιουργούν πλημμυρικά φαινόμενα τα οποία για να τα αντιμετωπίσουν οι πόλεις κατασκευάζουν αποχετευτικά δίκτυα μεγάλων διατομών ιδιαίτερα ακριβά που και αυτά όμως σε περιπτώσεις καταιγίδων υπερχειλίζουν προκαλώντας υλικές ζημιές και απώλεια ανθρώπινων ζωών (Getter et al., 2006). Επιπλέον σε πλημμυρικές καταστάσεις ελοχεύει ο κίνδυνος μόλυνσης των υπέργειων και υπόγειων υδάτων καθώς το αποχετευτικό δίκτυο των όμβριων είναι κοινό με αυτό των λυμάτων. Έτσι, όταν το δίκτυο υπερχειλίζει εκτονώνεται απελευθερώνοντας τα λύματα μέσα σε παρακείμενα ποτάμια και λίμνες που τυχόν υπάρχουν μέσα ή κοντά στις πόλεις. Ακόμα στις μεγαλουπόλεις που το 75 -100 % του εδάφους είναι καλυμμένο με σκληρά υλικά, το νερό της βροχής απορρέει σε ένα ποσοστό 75 – 80% (Scholz-Barth, 2001), μεταφέροντας μαζί του βαρέα μέταλλα,

άλατα, φυτοφάρμακα λάδια, απορρίμματα ζώων κ.ά. τα οποία φθάνουν στα ποτάμια και στις θάλασσες χωρίς να έχουν φιλτραριστεί μέσω της διείσδυσης τους στο έδαφος. Έτσι υπάρχουν ρυπάνσεις και μολύνσεις με σοβαρές συνέπειες όσον αφορά την απώλεια υδρόβιων οργανισμών, τη μεταφορά ιών μέσω μολυσμένων εντόμων και τη μόλυνση/ρύπανση του πόσιμου νερού (Getter et al., 2006; Scholz-Barth, 2001).

Αντίθετα η βλάστηση στα φυτεμένα δώματα μειώνει την κινητική ενέργεια των σταγόνων της βροχής και το υπόστρωμα την ταχύτητα έκπλυσης με αποτέλεσμα τα νερά να διηθούνται ομαλότερα, να φιλτράρονται και να αποδίδονται στο αποχετευτικό σύστημα βραδύτερα, μειώνοντας έτσι τα πλημμυρικά φαινόμενα και επιτρέποντας τη μικρότερη διαστασιολόγηση του δικτύου. Στη διαδικασία αυτή, συμβάλει και η εξατμισοδιαπνοή μέσω της οποίας ένα μέρος του νερού επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μειώνοντας το τελικό φορτίο που δέχεται το δίκτυο της αποχέτευσης.

Οι Van Woert et al. (2005), Getter and Rowe (2006) και Banting et al. (2005) αναφέρουν ότι οι πράσινες στέγες έχουν τη δυνατότητα να συγκρατήσουν το νερό της βροχής από 60% έως 100%, ένα ποσοστό που εξαρτάται όμως από το είδος του φυτοκαλυμμένου δώματος και το βάθος του υποστρώματος. Οι Oberndorfer et al. (2007) αναφέρουν ότι η συγκράτηση ύδατος που προέρχεται από βροχόπτωση, σε πράσινα δώματα με υπόστρωμα μεγαλύτερο των 10 εκατοστών κυμαίνεται μεταξύ 66% και 69%, ενώ για μικρότερο βάθος υποστρωμάτων η συγκράτηση μπορεί να έχει ένα εύρος από 25% έως 100%. Ακόμα επισημαίνεται και η ιδιαίτερη σημασία της κλίσης του φυτοδώματος σε συνάρτηση με το βάθος του υποστρώματος, και το είδος του φυτικού υλικού στο ποσοστό της απορροής του νερού. Οι Carter and Butler (2008) αναφέρουν ότι ένα φυτεμένο δώμα συντελεί στη μειωμένη απορροή των ομβρίων και σε καθυστέρηση της μέγιστης απορροής με αποτέλεσμα την αποτροπή πλημμυρικών φαινομένων.

1.2.4.2. Φαινόμενο της αστικής Θερμικής Νησίδας

Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας αναφέρεται στην ύπαρξη υψηλότερων θερμοκρασιών στα αστικά κέντρα σε σχέση με τις γύρω αστικές περιοχές. Σαν ένταση του φαινομένου νοείται η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του κέντρου της πόλης και της ανοιχτής υπαίθρου. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας αρχίζει να παρατηρείται νωρίς το μεσημέρι, ενώ αποκτά τη μέγιστη τιμή της δύο ή τρεις ώρες μετά τη δύση του ήλιου, όταν τα υλικά που συνιστούν την επιδερμίδα της πόλης αρχίζουν να αποβάλλουν τη θερμότητα που αποθήκευσαν κατά τη διάρκεια της ημέρας (Akbari et al., 1992).

Ο Oke (1995) και οι Σανταμούρης κ.ά. (2000) καταγράφουν την εξατμισμό και την διαπνοή που προέρχονται από χώρους πρασίνου σαν παράγοντες που επηρεάζουν την ένταση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.

Τα φυτεμένα δώματα συμβάλουν μέσω της εξατμισοδιαπνοής και της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας στην βελτίωση των συνθηκών του μικροκλίματος (Skinner, 2006), ακόμα συμβάλουν στην μείωση των θερμικών προσόδων των κτιρίων κατά την διάρκεια του καλοκαιριού μέσω της σκίασης των επιφανειών των δωματίων (Papadakis et al., 2001).

Ένα πυκνό δίκτυο φυτεμένων δωματίων σε μία αστική περιοχή εκτιμάται πως συμβάλλει στη μείωση της θερμοκρασίας, λόγω της μείωσης των ηλιακών προσόδων από τις δομικές επιφάνειες των κτιρίων και της παρεπόμενης θερμικής εκπομπής. Ακόμα ένα τέτοιο δίκτυο μέσω της εξατμισοδιαπνοής βοηθάει στην ομαλότερη διακύμανση της θερμοκρασίας (Eumorfoulou and Aravantinos, 1998). Επιστημονικές έρευνες δείχνουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας σε μονωμένες και μη μονωμένες, πράσινες και μη στέγες αντίστοιχα. Οι Niachou et al. (2001) έδειξαν ότι η θερμοκρασία σε στέγες χωρίς μόνωση αλλά με ύπαρξη φυτοδώματος κυμαίνεται μεταξύ 28 °C και 40 °C, ενώ σε στέγες χωρίς μόνωση και με απουσία φυτοδώματος είναι σαφώς υψηλότερη από 42 °C έως 48 °C. Η ίδια έρευνα αναφέρει πως σε κτίρια με μονωμένη στέγη και ύπαρξη φυτοδώματος η θερμοκρασία είναι ακόμη χαμηλότερη από 26 °C έως 40 °C εξαρτώμενη από το είδος της φύτευσης. Αντίστοιχα οι Liu and Baskaran (2003) έδειξαν ότι σε μία ημέρα με 35 °C το καλοκαίρι του 2001, η επιφάνεια ενός δώματος χωρίς πράσινο έφτασε

τους 70 °C ενώ στην επιφάνεια του φυτεμένου δώματος η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 25-30 °C. Ακόμη η ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας, μειώθηκε από τους 46 °C στο μη φυτεμένο δώμα στους 6 °C στο φυτεμένο δώμα. Στη μείωση της επίδρασης του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας που μπορούν να επιφέρουν τα φυτεμένα δώματα αναφέρονται και οι Liu and Bass (2005)

Ποσοτικοποιώντας τα οφέλη που μπορεί να προέλθουν από τη φυτοκάλυψη των δωματίων τόσο στον μετριασμό του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, όσο και στην εξοικονόμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας σε ένα κτίριο οι Alexandri and Jones (2006) βρήκαν ότι μία συστηματική φυτοκάλυψη δωματίων και τοίχων της Αθήνας θα μείωνε τα ψυκτικά φορτία, μια μέρα του Ιουλίου κατά 84%.

1.2.4.3. Κτιριακή Ενέργεια

Η βλάστηση σε ένα φυτεμένο δώμα προστατεύει τη στέγη του κτιρίου από την ηλιακή ενέργεια κυρίως, με τις ανακλαστικές της ιδιότητες, τη μετάδοση της μεταφερόμενης από τα φυτά θερμότητας και την εξατμισοδιαπνοή από τα φυτά και το έδαφος. Από τη συνολική απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια το 27% ανακλάται, το 60% απορροφάται από τα φυτά και το έδαφος μέσου εξάτμισης και το 13% μεταφέρεται στο έδαφος (Eumorphoulou and Aravantinos, 1998). Σε αντίστοιχα συμπεράσματα οδηγήθηκε και ο Osmudson (1999), που ανέφερε ότι η θερμοκρασία στον περιβάλλοντα χώρο και στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου επηρεάζεται από την ύπαρξη φυτοδώματος στο κτίριο μεταβάλλοντας έτσι και τις ενεργειακές απαιτήσεις του για ψύξη και για θέρμανση. Οι Beattie et al. (2001) συνέδεσαν την μεταβολή της θερμοκρασίας με το είδος και το πάχος του υποστρώματος, με το είδος του επιλεγμένου φυτικού υλικού, με την κατασκευαστική τεχνική και το ποσοστό της επιφάνειας του κτιρίου που καλύπτει το φυτεμένο δώμα. Οι Onmura et al. (2001) ερευνώντας τις επιδράσεις ενός φυτεμένου δώματος καλυμμένου με χλοοτάπητα, στην Ιαπωνία, κατέληξαν πως η μείωση της θερμοκρασίας έφτασε ακόμα και το 50% στα δωμάτια που βρίσκονταν κάτω από το φυτεμένο δώμα. Ακόμα έχει διαπιστωθεί ότι η ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας είναι μικρότερη και πιο ομαλή σε κτίρια όπου υπάρχουν φυτεμένα δώματα και αυτό έχει σαν συνέπεια ένα

σταθερότερο θερμικά περιβάλλον που είναι απαραίτητο για την θερμική άνεση των χρηστών (Κοτσιρης, 2007).

Η επίδραση του φυτοδώματος στη θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου του κτιρίου είναι φυσικό να μεταβάλει τις ενεργειακές απαιτήσεις του για ψύξη και θέρμανση. Ένα φυτεμένο δώμα που μειώνει την εσωτερική θερμοκρασία ενός κτιρίου κατά 0,5 °C μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας για συσκευές κλιματισμού κατά 8% (Dunnett and Kingsbury, 2004). Ενώ σε άλλη ερευνητική εργασία αποδुκνύεται ότι το ποσοστό της εξοικονόμησης ενέργειας για ψύξη αλλά και για θέρμανση που οφείλεται στα φυτεμένα δώματα μπορεί να φθάσει 15% ανά έτος (Getter and Rowe, 2006).

1.2.4.4. Ποιότητα του Ατμοσφαιρικού Αέρα

Το έντονο ανάγλυφο των πόλεων ελαττώνει την ένταση του ανέμου και εγκλωβίζει τη θερμότητα, με αποτέλεσμα η ατμοσφαιρική σκόνη και οι ρυπαντές να παραμένουν στο αστικό περιβάλλον μέχρι να απομακρυνθούν από τις βροχοπτώσεις. Τα φυτοδώματα δια μέσου των φυσιολογικών τους διεργασιών βελτιώνουν την ποιότητα της βεβαρημένης ατμόσφαιρας των αστικών κέντρων, λειτουργώντας σαν φορείς οξυγόνου, φιλτράροντας τα ελεύθερα βλαβερά αιωρούμενα σωματίδια ως και 80% και αυξάνοντας την υγρασία. Με τον τρόπο αυτό, συμβάλλουν σημαντικά στην παροχή των πόλεων σε φρέσκο αέρα, ακόμη και σε μέρες με λίγο ή καθόλου άνεμο (Bernatzky, 1974; Oberlander et al., 2002; Ngan, 2004). Για το Detroit των Η.Π.Α. οι Clark et al. (2005) υπολόγισαν ότι εάν εγκαθίσταντο φυτοδώματα εκτατικού τύπου στο 20% των βιομηχανικών και εμπορικών κτηρίων θα απομακρύνονταν πιο πολύ από 800.000kg NO₂ το έτος το οποίο ισοδυναμεί με το 5% των εκπομπών της περιοχής.

1.2.4.5. Βιοποικιλότητα

Με την κατασκευή φυτοδωμάτων και την επαναφορά της «χαμένης» φύσης μέσα στο πυκνοδομημένο περιβάλλον των αστικών κέντρων, δημιουργούνται αυτόνομα οικοσυστήματα (Kadas, 2006) που ενθαρρύνουν την παρουσία και την

παραμονή της χλωρίδας και της πανίδας στο περιβάλλον. Για να πραγματοποιηθεί αυτό θα πρέπει κατά την κατασκευή τους να ληφθούν υπ' όψη παράγοντες οι οποίοι προάγουν το σκοπό αυτό, όπως το μέγεθος του φυτοδώματος, το βάθος του υποστρώματος, το ύψος του φυτικού υλικού, (Gedge and Kadas, 2005). Σε μελέτη βιοποικιλότητας του Brenneisen (2003) στην βορειοανατολική Ελβετία σε ένα φυτοδώμα 90 ετών βρέθηκαν 9 είδη ορχιδέας και άλλα σπάνια και υπό εξαφάνιση φυτικά είδη. Τα φυτοδώματα μπορούν ακόμα να φιλοξενήσουν από ασπόνδυλα, (μέλισσες, σκαθάρια, πεταλούδες, γαιοσκώληκες, σαλιγκάρια) έως σπονδυλωτά, όπως για παράδειγμα πουλιά (Ngan, 2004). Πολλά είδη πουλιών έχουν καταγραφεί να έχουν ως ενδιαίτημα φυτεμένα δώματα στη Γερμανία, την Ελβετία, την Αγγλία (Brenneisen, 2003).

Τα φυτοκαλυμμένα δώματα λοιπόν μπορούν να αποτελέσουν προσωρινό καταφύγιο ή ακόμα και μόνιμη κατοικία για διάφορους οργανισμούς. δημιουργώντας έτσι οικολογικές νησίδες, οι οποίες θα διευκολύνουν την επανεγκατάσταση χλωρίδας και πανίδας εντός των αστικών κέντρων, ιδιαίτερα εάν δημιουργήσουν υπέργειους οικολογικούς διαδρόμους, οι οποίοι θα συνδέσουν το πράσινο των αστικών κέντρων με τους γειτνιάζοντες με την πόλη πράσινους όγκους (Νεκτάριος, 2015).

1.2.4.6. Ηχορύπανση

Τα σκληρά υλικά με τα οποία, κυρίως είναι καλυμμένες οι αστικές περιοχές έχουν σαν κύριο χαρακτηριστικό την αντανάκλαση του ήχου, με αποτέλεσμα τη συνεχή μετάδοση και εξάπλωση του (Getter and Rowe, 2006). Το γεγονός αυτό κάνει εντονότερο το πρόβλημα της ηχορύπανσης αυξάνοντας τα επίπεδα της και δυσχεραίνοντας ακόμα περισσότερο τη ζωή των κατοίκων της πόλης. Αντίθετα τα φυτοκαλυμμένα δώματα απορροφούν τα ηχητικά κύματα λόγω των φυσικών χαρακτηριστικών του υποστρώματος και της βλάστησης, αποτελώντας έτσι ένα στρώμα ηχομόνωσης για τους χώρους του κτιρίου που βρίσκονται κάτω από αυτά (Oberlander et al., 2002)

Η μείωση της έντασης του ήχου που προέρχεται από τα φυτοκαλυμμένα δώματα εξαρτάται από τὰ διάφορα κατασκευαστικά επίπεδα, το βάθος και το είδος του υποστρώματος, από τα φυτικά είδη, την διάταξη τους, την πυκνότητα τους καθώς και από το σημείο παραγωγής του ήχου. Οι Dunnnett and Kingsbury (2004) αναφέρουν μείωση θορύβου κατά 5 db (A) σε φυτεμένο δώμα με βάθος υποστρώματος 10 cm στο αεροδρόμιο της Φρανκφούρτης στην Γερμανία.

1.2.4.7. Ψυχική Υγεία και Αισθητική Αξία

Η κατασκευή φυτοδωμάτων που έχει ως συνέπεια την αύξηση του φυτικού υλικού, τόσο σε προσβάσιμες, όσο και σε μη προσβάσιμες στέγες, δε μπορεί παρά να αποτελεί βελτίωση του τοπίου, αισθητική αναβάθμιση του περιβάλλοντος και καθ' έλξη στην ανθρώπινη αντίληψη (Dunnnett and Kingsbury, 2004). Τα φυτοδώματα προσφέρουν οφέλη όχι μόνο στον ιδιοκτήτη τους, αλλά και σε όλους εκείνους που έχουν τη δυνατότητα να τα παρατηρήσουν και να ξεφύγουν από τη γκρίζα εικόνα της πόλης (Banting et al., 2005). Ακόμα δημιουργούν την δυνατότητα πρόσθετων ανοικτών χώρων αναψυχής (Skinner, 2006), αναβαθμίζοντας αισθητικά την περιοχή, προσφέροντας παράλληλα ψυχολογικά οφέλη στους κατοίκους των αστικών κέντρων (Hartig et al., 1991). Έρευνες αναφέρουν ότι η παρουσία τέτοιων δωμάτων βοηθά στην ποιότητα της ζωής του ανθρώπου, μειώνοντας το στρες, και τη διαταραχή του ύπνου, βελτιώνοντας τη διάθεση, την ακοή λόγω της ηχομόνωσης, την υπέρταση (Getter and Rowe, 2006) ακόμα και στις διαπροσωπικές σχέσεις (Berghage et al., 2007). Επίσης τα φυτοδώματα μπορούν να δημιουργήσουν μια χαλαρή ατμόσφαιρα και να προάγουν τα θετικά συναισθήματα (Dunnnett and Kingsbury, 2004). Μπορούν να βοηθήσουν στην ανάρρωση των ασθενών και στη βελτίωση της ψυχικής τους υγείας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ο «θεραπευτικός κήπος» στην ταράτσα του Αντικαρκινικού Νοσοκομείου Smilow στο Yale που αποτελεί ένα χώρο όπου οι ασθενείς και οι οικογένειές τους μπορούν να περπατήσουν και να μιλήσουν, ή απλά να απολαύσουν λίγο χρόνο ηρεμίας (Εικ. 1.7).

1.2.4.8. Οικονομικά Οφέλη

Σημαντικά είναι και τα οικονομικά οφέλη από την δημιουργία των φυτεμένων δωματίων. Ένα από τα πλεονεκτήματα οικονομικής φύσεως, από την εγκατάσταση βλάστησης στα δώματα των κτιρίων, είναι η βελτίωση της αισθητικής ολόκληρων των κτισμάτων. Η βελτίωση αυτή αποτελεί ένα επιπλέον κριτήριο για την επιλογή τους ως χώρους εργασίας ή κατοικίας, γεγονός το οποίο συμβάλει στην αύξηση της εμπορικής τους αξίας, αλλά και της αντικειμενικής τους αξίας λόγω της υψηλής βαθμονόμησής τους στην ενεργειακή ταυτότητα του κτιρίου. Στην περίπτωση μάλιστα που η υλοποίηση φυτεμένων δωματίων ακολουθεί κάποιο πρόγραμμα μαζικής κατασκευής σε κτίρια μιας ευρύτερης περιοχής, εκτός από την αντικειμενική τους αξία αναβαθμίζεται και η περιοχή στην οποία βρίσκονται (Ζαχαροπούλου, 2004).

Η ύπαρξη βλάστησης στα δώματα των κτιρίων όπως έχει ήδη αναφερθεί, συμβάλλει στον έλεγχο της μεταβολής της θερμοκρασίας στον περιβάλλοντα χώρο και στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου, επηρεάζοντας και τις ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη και για θέρμανση του κτιρίου. Σαν αποτέλεσμα των παραπάνω έχουμε τη μείωση της χρήσης των συσκευών θέρμανσης και ψύξης και συνεπώς τη μείωση του κόστους λειτουργίας του κτιρίου (Oberlander et al., 2002). Ακόμα μειώνεται η ανάγκη συντήρησης των μεμβρανών στεγανοποίησης του κτιρίου, λόγω της κάλυψης τους από τα υπερκείμενα στοιχεία του φυτοδώματος γεγονός που λειτουργεί και πάλι υπέρ της μείωσης του κόστους (Osmundson, 1999; Dunnett and Kingsbury, 2004; Liu, 2004). Στην άνοδο της αξίας των διάφορων κτισμάτων που έρχεται από την αισθητική και χρηστική αξία των φυτοδωματίων αναφέρεται ο Ngan (2004), αλλά και στη χρήση για φιλοξενία συγκεντρώσεων και εκδηλώσεων οι Worden et al. (2004). Οικονομικά οφέλη ακόμα υπάρχουν από τη μείωση του κόστους συντήρησης των δικτύων της πόλης, : α) του ηλεκτρικού δικτύου της πόλης, που προέρχεται από τη μείωση της διάρκειας και της έντασης του χρόνου αιχμής, εξαιτίας της μικρότερης χρήσης των συστημάτων θέρμανσης - ψύξης, β) του δικτύου αποχέτευσης ομβρίων της πόλης, από τη μείωση της έντασης απορροής, γ) από τη μείωση των έκτακτων περιστατικών στα νοσοκομεία λόγω του μετριασμού της

έντασης και της διάρκειας των θερμικών κυμάτων των καυσώνων. Επιπλέον η κατασκευή και διαχείριση των φυτεμένων δωματίων επιφέρει έναν σημαντικό κύκλο εργασιών σε πολλαπλά επαγγέλματα.

2. Ειδική Εισαγωγή

2.1. Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην υγρασία και τη θερμοκρασία αυτού και στην έκπλυση των νιτρικών.

2.1.1. Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην υγρασία αυτού.

Όταν ένα υπόστρωμα περιέχει τη μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να συγκρατήσει παρά την επίδραση της βαρύτητας, τότε το υπόστρωμα θεωρείται ότι βρίσκεται σε κατάσταση υδατοϊκανότητας, ενώ η περιεκτικότητά του σε νερό στην κατάσταση αυτή καλείται νερό υδατοϊκανότητας (Bunt, 1988). Η ποσότητα νερού που συγκρατεί ένα υπόστρωμα σε αυτή τη κατάσταση, εξαρτάται πρώτα από όλα από την φύση του πορώδους του (έκταση πορώδους, αναλογία μικρών - μεγάλων πόρων, γεωμετρία των πόρων). Εξαρτάται όμως και από τις διαστάσεις του δοχείου στο οποίο περιέχεται το υπόστρωμα και ειδικότερα από το ύψος του (Fonteno, 1996; Al Naddaf et al., 2011). Συνεπώς, το νερό υδατοϊκανότητας ορίζεται όχι μόνο για ένα συγκεκριμένο υπόστρωμα αλλά και για το φυτοδοχείο στο οποίο το υπόστρωμα είναι τοποθετημένο. Για τον λόγο αυτό, στην ειδική βιβλιογραφία έχει εισαχθεί ο όρος «υδατοχωρητικότητα φυτοδοχείου» (θ_{cc}), ο οποίος εκφράζει τη μέγιστη περιεκτικότητα νερού που μπορεί να περιέχεται σε ένα υπόστρωμα τοποθετημένο σε δοχείο ή σάκο συγκεκριμένων διαστάσεων όταν υπάρχει δυνατότητα πλήρους στράγγισης του νερού (White and Mastalerz, 1966; Fonteno, 1989).

Όσο μεγαλώνει το βάθος του μέσου καλλιέργειας των φυτών, έχει σαν συνέπεια την μεγαλύτερη συγκράτηση νερού (Latshaw et al., 2009).

Τα στοιχεία αυτά σχετίζονται μεταξύ τους, γεγονός που έρχονται να επιβεβαιώσουν οι Getter et al. (2009) αναφέροντας ότι ένα ρηχό υπόστρωμα είχε μικρότερο ύψος νερού, από ένα βαθύτερο. Οι ερευνητές αυτοί βρήκαν ότι ένα υπόστρωμα βάθους 4 cm είχε λιγότερο ποσοστό υγρασίας από το ίδιο υπόστρωμα βάθους 7 ή 10 cm, αλλά τα βάθη του υποστρώματος 7 και 10 cm είχαν την ίδια υγρασία. Το βάθος του υποστρώματος ανάπτυξης ελέγχει τη συγκράτηση νερού, την ποσότητα απορροής και τις απορροές αιχμής, (Getter et al., 2009). Πολλές έρευνες

δείχνουν συγκράτηση στην απορροή κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου τουλάχιστον 60% σε στέγες με ήπιες κλίσεις (<10%) και υπόστρωμα ανάπτυξης με βάθη από 6 cm και πάνω (Hutchinson et al., 2003; Rowe et al., 2003; Carter and Rasmussen 2006; Getter et al., 2007; Hathaway et al., 2008). Τα ποσοστά αυτά συνήθως μειώνονται περίπου στο 40% σε βάθος υποστρώματος μεταξύ 2 και 4 cm, (Liesecke, 1998; Russell and Schickedantz, 2003).

2.1.2. Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην θερμοκρασία αυτού.

Το βάθος του υποστρώματος επηρεάζει τη θερμοκρασία του και ιδιαίτερα τις διακυμάνσεις που μπορεί να έχει η θερμοκρασία μέσα σε ένα χρονικό διάστημα.

Σύμφωνα με τους Bouma et al. (1997) and Prasad et al. (2000) κατά την διάρκεια μίας καλλιεργητικής περιόδου, σε ρηχά υποστρώματα είναι πιθανόν να παρατηρηθούν χαμηλότερες και υψηλότερες θερμοκρασίες εδάφους, που με τη σειρά τους, θα επηρεάσουν την ανάπτυξη των φυτών. Οι Boivin et al. (2001), ανέφεραν επίσης ότι σε ένα ρηχό υπόστρωμα ενός φυτεμένου δώματος, η διακύμανση της θερμοκρασίας ήταν πολύ πιο μεγάλη σε σύγκριση με ένα βαθύτερο.

Οι Liu and Baskaran (2003) ερευνώντας το επίπεδο των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας τόσο στο εσωτερικό του υποστρώματος όσο και στη διεπιφάνεια της πράσινης στέγης με την επιφάνεια του δώματος, ανέφεραν ότι ένα βάθος υποστρώματος 15 cm μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία της μεμβράνης της στέγης σημαντικά κατά το καλοκαίρι. Η μέση ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας της μεμβράνης στη στέγη αναφοράς την άνοιξη και το καλοκαίρι έφτανε τους 45 °C, ενώ στην πράσινη στέγη δεν ξεπερνούσε τους 6 °C.

Οι Clay et al. (2012) επιβεβαιώνουν τις παρατηρήσεις αυτές με τα δικά τους αποτελέσματα σε ένα ζεστό, ξηρό, κλίμα διαπιστώνοντας ότι, ένα βάθος υποστρώματος από 12,5 έως 30 cm μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματικό στη μείωση του πλάτους της ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας του υποστρώματος και της επιφάνειας της στέγης κάτω ακριβώς από την πράσινη στέγη. Επιπλέον το βάθος αυτό των 12,5 έως 30 cm είναι ικανό να καθυστερήσει την

κορύφωση της μεταβολής της θερμοκρασίας στη βάση του υποστρώματος κατά τουλάχιστον 6 ώρες (90^o φάση).Ερευνώντας τη μείωση της διακύμανσης της θερμοκρασίας ανάλογα με το βάθος του υποστρώματος (Clay et al., 2012) εικάζεται ότι αυτή δεν σχετίζεται απλά και μόνο με την προοδευτική αύξηση του βάθους αλλά και με την ταυτόχρονη μεταβολή στην περιεκτικότητα της υγρασίας.

2.1.3. Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην έκπλυση των νιτρικών.

Με τον όρο έκπλυση εννοούμε την απομάκρυνση των νιτρικών ιόντων με το εδαφικό νερό. Η έκπλυση των νιτρικών από ένα φυτεμένο δώμα μπορεί να αποτελέσει ένα σοβαρό πρόβλημα, που οφείλεται στην υψηλή διαλυτότητα των νιτρικών αλάτων και στην ιδιαίτερα μικρή προσρόφηση των NO₃⁻ ιόντων στο υπόστρωμα. Έτσι, σχεδόν όλη η ποσότητα των νιτρικών βρίσκεται διαλυμένη στο εδαφικό νερό και εύκολα απομακρύνεται μετά από μία βροχή ή ακόμη και μετά από μία πλούσια άρδευση. Στην περίπτωση που το νερό της απορροής, δεν ανακυκλώνεται για την άρδευση του δώματος, τα νιτρικά που εκπλύνονται από έναν φυτεμένο δώμα τελικά καταλήγουν είτε στα επιφανειακά νερά είτε στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, δημιουργώντας πρόβλημα στο περιβάλλον και στον άνθρωπο.

Η έκπλυση των νιτρικών εξαρτάται από πολλαπλούς παράγοντες όπως:

- Τύπος εδάφους - υποστρώματος
- Βάθος του εδάφους - υποστρώματος
- Κλίση του υποστρώματος
- Ύπαρξη φυτοκάλυψης
- Τύπος φυτοκάλυψης
- Βροχοπτώσεις - αρδεύσεις
- Η εποχή

Το βάθος του υποστρώματος επηρεάζει τα επίπεδα συγκέντρωσης των νιτρικών που βρίσκονται σε υψηλότερα επίπεδα σε πιο ρηχά μέσα ανάπτυξης (Monterusso et al., 2004). Ένα λεπτότερο υπόστρωμα έδωσε υψηλότερη απελευθέρωση νιτρικών από ένα παχύτερο, (Monterusso et al., 2005).

Στο ίδιο συμπέρασμα οδήγησε και η έρευνα του Woods (2010) βρίσκοντας ότι οι συγκεντρώσεις νιτρικών, στην απορροή του νερού από τις πράσινες στέγες, ήταν μεγαλύτερες από τα ρηχά υποστρώματα και σταδιακά μειώνονταν, όταν το βάθος των μέσων ανάπτυξης αυξανόταν.

Οι Morgan et al. (2011)σε μελέτη τους με θέμα την απορροή των νιτρικών από τις πράσινες στέγες, ερευνώντας την επίδραση του βάθους του υποστρώματος, βρήκαν, κατά την περίοδο 2007-2008, ότι τα υποστρώματα βάθους 20 cm έδωσαν ιδιαίτερα χαμηλές συγκεντρώσεις νιτρικών της τάξεως των $4,96 \text{ mgL}^{-1}$, και εκείνα που είχαν βάθος 15 cm έδωσαν χαμηλές συγκεντρώσεις νιτρικών της τάξεως των $6,14 \text{ mgL}^{-1}$. Αντίθετα τα υποστρώματα βάθους 10 cm, έδωσαν υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών της τάξεως των 13.41 mgL^{-1} , ακόμα υψηλότερες συγκεντρώσεις νιτρικών έδωσαν τα ίδια υποστρώματα με βάθος 5 cm που έφταναν τα 23.03 mgL^{-1} .

Αντίθετα σε μη φυτοκάλυμμένα δώματα, η επίδραση του βάθους των μέσων ανάπτυξης, ήταν πολύ μικρότερη στην απορροή των νιτρικών, (Morgan et al., 2011).

2.2. Επίδραση του είδους της φυτοκάλυψης στην υγρασία και τη θερμοκρασία του υποστρώματος και στην έκπλυση των νιτρικών.

2.2.1. Επίδραση του είδους της φυτοκάλυψης στην υγρασία του υποστρώματος.

Η υγρασία που υπάρχει στο υπόστρωμα ενός φυτεμένου δώματος,είναι το αποτέλεσμα των εισροών και των εκροών του νερού σε αυτό.

Σαν εισροές θεωρούνται:

- η βροχόπτωση.
- η άρδευση.και
- η τριχοειδής ανύψωση του νερού από τις διατάξεις συγκράτησης νερού επί του φυτεμένου δώματος.

Αντίθετα ως εκροές νοούνται:

- η επιφανειακή απορροή.
- η βαθιά διήθηση και απορροή του νερού και η

- εξατμισοδιαπνοή (ETc),

Σαν εξατμισοδιαπνοή ορίζεται, το σύνθετο φαινόμενο της απώλειας νερού από το φυτό με την διαπνοή και την εξάτμιση νερού από την γυμνή επιφάνεια του εδάφους.

Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες :

1. Την ηλιακή ακτινοβολία που σχετίζεται με τη θερμοκρασία και σχετική υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου.
2. Το υπόστρωμα από την άποψη της υφής, δομής, φαινόμενου ειδικού βάρους, μακρο και μικροπορώδους και τις χημικές του ιδιότητες.
3. Ύπαρξη και τύπος φυτοκάλυψης.
4. Το ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας από το φυτικό υλικό.
5. Το βάθος και η πυκνότητα του ριζικού συστήματος.
6. Το ύψος της καλλιέργειας και η τραχύτητα του φυλλώματος.
7. Το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας.

Οι τελευταίοι πέντε παράγοντες, που σχετίζονται άμεσα με τη φυτοκάλυψη, επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή και κατ' επέκταση τις, εκροές του νερού, και τελικά την διακύμανση της υγρασίας στο υπόστρωμα του φυτεμένου δώματος.

2.2.2. Επίδραση του είδους της φυτοκάλυψης στην θερμοκρασία του υποστρώματος.

Η παρουσία της βλάστησης σε ένα φυτεμένο δώμα προκαλεί μια σαφή μείωση της μεταβολής της θερμοκρασίας στο υπόστρωμα (Niachou et al., 2001). Είναι γνωστό ότι οι πράσινες στέγες μπορούν να έχουν θετικές θερμικές επιδράσεις στα κτίρια μειώνοντας τη θερμοκρασία στις εκτεθειμένες επιφάνειες και το επίπεδο των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας τόσο στο εσωτερικό του υποστρώματος όσο και στη διεπιφάνεια της πράσινης στέγης με την επιφάνεια του δώματος (Liu and Baskaran, 2003).

Η βλάστηση, προσθέτει ένα επιπλέον στρώμα θερμικής μόνωσης, που έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του εύρους της διακύμανσης της ημερήσιας

θερμοκρασίας των υποστρωμάτων, κατά ~ 35%, σε ένα ζεστό, ξηρό, κλίμα, με διάφορους τύπους εδαφοκάλυψης (Clay et al., 2012).

Η μειωμένη διακύμανση, της ημερήσιας θερμοκρασίας των υποστρωμάτων, που οφείλεται στη βλάστηση, επιφέρει μείωση στο εύρος της ημερήσιας θερμοκρασίας και των υπολοίπων στοιχείων του φυτοδώματος και των μεμβρανών μόνωσης του κτιρίου. Έτσι εξασφαλίζεται μεγάλη διάρκεια ζωής των στοιχείων του φυτοδώματος, ακόμα και περισσότερο από 50 χρόνια (Berardi et al., 2014; Get-ter et al., 2009; Rowe, 2011), και των μεμβρανών μόνωσης του κτιρίου (Dunnett and Kingsbury, 2004).

Η έρευνα των Heim and Lundholm (2014), έδειξε ότι η ύπαρξη ή απουσία της φυτοκάλυψης διαφοροποίησε τη θερμοκρασία του υποστρώματος. Φυτοκαλυμμένα τεμάχια με *Cladonia*, (λειχήνα φυτεμένη σε ένα πάχος υποστρώματος περίπου 6 cm), τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, είχαν σημαντικά χαμηλότερη θερμοκρασία υποστρώματος, σε σύγκριση με τα ακάλυπτα. Τον Σεπτέμβριο, δεν υπήρχε σημαντική διαφορά στη θερμοκρασία υποστρώματος μεταξύ των φυτοκαλυμμένων με *Cladonia* και των μη φυτοκαλυμμένων. Τον Οκτώβριο, τα τεμάχια με *Cladonia* είχαν σημαντικά υψηλότερες θερμοκρασίες υποστρώματος από τα μη φυτοκαλυμμένα.

Τελικά τα φυτοκαλυμμένα τεμάχια με *Cladonia* είχαν σημαντικά χαμηλότερες θερμοκρασίες υποστρώματος κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και σημαντικά υψηλότερες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου, σε σύγκριση με τα μη φυτοκαλυμμένα υποστρώματα (Heim and Lundholm, 2014).

2.2.3. Επίδραση του είδους της φυτοκάλυψης στην έκπλυση των νιτρικών.

Τα φυτά που αναπτύσσονται σε ένα φυτεμένο δώμα, δεσμεύουν ένα ποσοστό αζώτου από αυτό που υπάρχει στο υπόστρωμα, ενώ το υπόλοιπο δεσμεύεται από την οργανική ουσία ή γίνεται αέριο μέσω της μικροβιακής απονιτροποίησης (Μουρκίδης, 1982) και τέλος ένα ποσοστό εκπλύεται.

Κάθε είδος φυτού απορροφά από το υπόστρωμα το ποσό του αζώτου που ικανοποιεί της ανάγκες του. Ο ρυθμός πρόσληψης του αζώτου δεν είναι σταθερός

στη διάρκεια ενός έτους, καθώς αυξάνεται σύμφωνα με τους εποχικούς ρυθμούς ανάπτυξης των φυτών. Τα φυτά που δεν καλύπτουν το έδαφος σε μόνιμη διάρκεια, ευνοούν την έκπλυση. Αντίθετα εκεί που τα φυτά έχουν μεγάλη ανάπτυξη και προσφέρουν πλήρη και μακροχρόνια κάλυψη, παρατηρείται περιορισμένη έκπλυση αζώτου (Berghage et al., 2009). Ο τύπος της φυτοκάλυψης συνδέεται άμεσα με το ποσό του αζώτου που θα απορροφηθεί, και έμμεσα, με την ποσότητα που θα εκπλυθεί. Σε ένα υπόστρωμα που δεν έχει φυτοκαλυφθεί, είτε πριν την εγκατάσταση του φυτικού υλικού, είτε κατά το χρονικό διάστημα που εγκαταθίσταται η βλάστηση, η απώλεια νιτρικών αναμένεται να είναι μεγαλύτερη, συγκριτικά με την απώλεια που παρουσιάζουν τα φυτεμένα δώματα με πλήρη φυτοκάλυψη.

Η φυτοκάλυψη ή η μη φυτοκάλυψη σε ένα φυτεμένο δώμα, μπορεί να επηρεάσει την έκπλυση των νιτρικών.

Οι Berghage et al. (2009) ανέφεραν ότι ένα φυτεμένο δώμα, μπορεί να έχει σημαντικά μικρότερη έκπλυση νιτρικών σε σύγκριση με ένα φυτεμένο δώμα το οποίο έχει υπόστρωμα αλλά δε διαθέτει φυτοκάλυψη. Οι ερευνητές εξηγώντας τα αποτελέσματα της μελέτης τους ανέφεραν ότι στα φυτεμένα δώματα, τα νιτρικά χρησιμοποιούνται τόσο από τα φυτά όσο και από τους μικροβιακούς πληθυσμούς, και ως εκ τούτου δεν είναι τόσο εύκολο να εκπλυθούν. Στη δική τους μελέτη τα φυτεμένα δώματα, είχαν λάβει μόνο μικρές ποσότητες συμπληρωματικού λιπάσματος, και ως εκ τούτου ήταν πιθανό, να διέθεταν μικρές ποσότητες αζώτου, το οποίο έτεινε να χρησιμοποιηθεί από την βιοτική κοινότητα, και το ελάχιστο που έμενε να εκπλύνεται, σαν περίσσεμα. Ακόμα απέδωσαν τα νιτρικά των μη φυτοκαλυμμένων δωματίων, στην διάσπαση του κομπόστ που περιείχε το υπόστρωμα.

Αντίθετα οι Morgan et al. (2011) ανέφεραν ότι φυτεμένα δώματα, τα οποία δέχτηκαν λίπανση σε ετήσια βάση, έδωσαν νιτρικά στην απορροή πολύ περισσότερα από τα αντίστοιχα μη φυτοκαλυμμένα δώματα. Μάλιστα τα νιτρικά που βρέθηκαν, στην απορροή των μη φυτοκαλυμμένων δωματίων, τα απέδωσαν στο 20% κατ' όγκο του φλοιού πεύκου που περιείχε το κομπόστ του υποστρώματος.

Οι Vijayaraghavan et al. (2012) έδειξαν ότι ένα φυτεμένο δώμα με *S. mexicanum* απορρόφησε πολύ περισσότερα νιτρικά άλατα από το αντίστοιχο δώμα με γυμνό υπόστρωμα, μειώνοντας σημαντικά την έκπλυση νιτρικών.

Το είδος της φυτοκάλυψης σε ένα φυτεμένο δώμα, μπορεί να επηρεάσει την έκπλυση των νιτρικών.

Οι Sailor et al. (2008) παρουσιάζοντας τα αποτελέσματα της μελέτης τους, που αφορούσε την ποιότητα του νερού της έκπλυσης ενός φυτεμένου δώματος, βάθους 15 cm, ανέφεραν τις διαφοροποιήσεις που βρήκαν, ανάλογα με το είδος της φυτοκάλυψης. Πειραματικά τεμάχια με *Trifolium* sp. και άλλα με *Sedum* sp. είχαν παρόμοια έκπλυση νιτρικών με το μη φυτοκαλυμμένο υπόστρωμα. Αντίθετα τεμάχια με *Lolium perenne* και άλλα με *Vinca minor* απέβαλαν μικρότερες ποσότητες νιτρικών από τα μη φυτοκαλυμμένα πειραματικά τεμάχια.

Οι Aitkenhead-Peterson et al. (2011) συγκρίνοντας τρία είδη φυτών, που καλλιεργήθηκαν στο ίδιο μέσο ανάπτυξης, διαπίστωσαν διαφορές όσον αφορά την απορροή των νιτρικών. Τα δύο είδη, *Delosperma cooperi* και *Talinum calycinum* είχαν πολύ χαμηλότερη απορροή νιτρικών από ότι η μη φυτοκαλυμμένη στέγη. Αντίθετα στην περίπτωση του *Sedum kamtschaticum*, η έκπλυση νιτρικών ήταν ίση με εκείνη από το μη φυτοκαλυμμένο υπόστρωμα.

2.3. Σκοπός της μελέτης

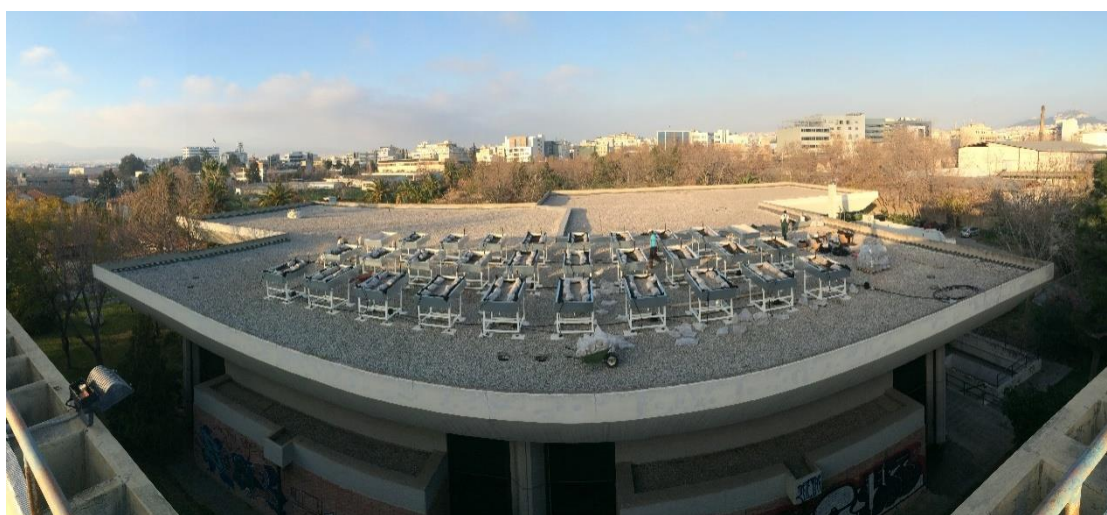
Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να διερευνηθεί η επίδραση του βάθους του υποστρώματος και του είδους της φυτοκάλυψης αστικών φυτεμένων δωματίων στη διακύμανση της υγρασίας και της θερμοκρασίας του υποστρώματος και στην έκπλυση των νιτρικών, με στόχους: Α) Τη καλλίτερη αξιοποίηση του νερού της άρδευσης, καθώς η υγρασία του υποστρώματος επηρεάζει τόσο την ανάπτυξη του φυτικού υλικού όσο και τη θερμοκρασία του υποστρώματος και την ικανότητα συγκράτησης των ομβρίων υδάτων. Β) Τη μείωση της διακύμανσης της ημερήσιας θερμοκρασίας υποστρώματος επιτυγχάνοντας καλύτερες συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των κατασκευαστικών υλικών του δώματος, καθώς και πιθανή συνεισφορά στην εξοικονόμηση των ενεργειακών αναγκών για ψύξη και θέρμανση του κτιρίου. Γ) Την ελαχιστοποίηση της έκπλυσης των νιτρικών του υποστρώματος αστικών φυτεμένων δωματίων, μειώνοντας την περιβαλλοντική επιβάρυνση που μπορεί να προέλθει από αυτά.

3. Υλικά και Μέθοδοι

3.1. Εγκατάσταση πειραματικών τεμαχίων

Το Φεβρουάριο και το Μάρτιο του 2014 κατασκευάστηκαν 30 ορθογώνια λυσίμετρα τα οποία εγκαταστάθηκαν στην οροφή του κτιρίου της βιβλιοθήκης του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, (37 ° 59 'LAT., 23 ° 42') (Εικ. 3.1). Κάθε λυσίμετρο αποτελούσε ένα πειραματικό τεμάχιο και τοποθετήθηκε με κλίση 2° η οποία επιτεύχθηκε με τη χρήση λέιζερ.

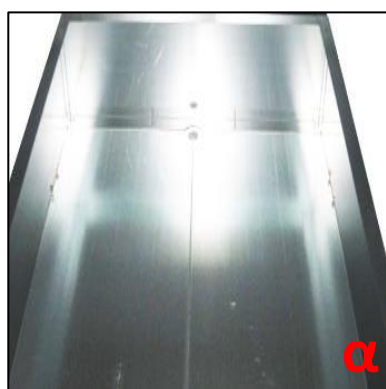
Τα συγκεκριμένα λυσίμετρα χρησιμοποιήθηκαν και στη παρούσα μελέτη, από τις 25 Ιουλίου 2014 έως και 30 Νοεμβρίου 2014, για να διερευνηθεί η επίδραση του βάθους του υποστρώματος και του είδους της φυτοκάλυψης αστικών φυτεμένων δωμάτων στη διακύμανση της υγρασίας και της θερμοκρασίας του υποστρώματος καθώς και στην έκπλυση των νιτρικών.



Εικόνα 3.1. Εγκατάσταση τριάντα (30) πειραματικών λυσιμέτρων στην οροφή του κτιρίου της βιβλιοθήκης του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

3.1.1. Κατασκευή λυσιμέτρων και αισθητήρων ογκομέτρησης απορροής

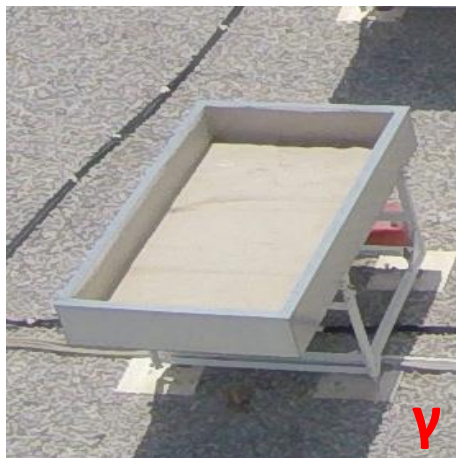
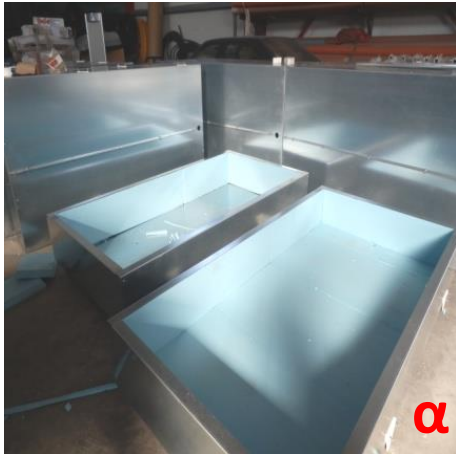
Τα λυσίμετρα κατασκευάστηκαν από φύλλα γαλβανισμένης λαμαρίνας πάχους 2 mm με εσωτερικές διαστάσεις 200 cm μήκος, 100 cm πλάτος και 30 cm ύψος και τοποθετήθηκαν σε μεταλλικές βάσεις (Εικ. 3.2) ικανές να μεταβάλλουν την κλίση των λυσιμέτρων από 0.5°-30° (Εικ. 3.3.δ). Τα λυσίμετρα και το σύστημα κλίσης τους σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν από την Κινematik SA (Μεταμόρφωση, Αθήνα).



Εικόνα 3.2. α) Λυσίμετρο κατασκευασμένο από φύλλα γαλβανισμένης λαμαρίνας πάχους 2 mm.

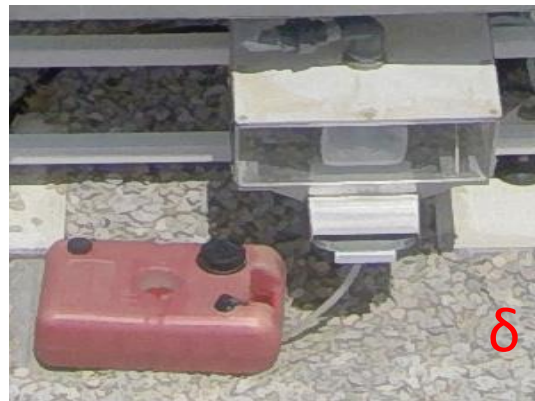
β) Μεταλλική βάση λυσιμέτρου.

Τα λυσίμετρα ήταν θερμομονωμένα στο κάτω τμήμα τους καθώς και στις τέσσερις πλευρές με πλάκες εξηλλαγμένης πολυστερίνης πάχους 5 cm (300 L, Fibran ΑΕ, Θεσσαλονίκη - Ωραιόκαστρο). Οι πλάκες πολυστερίνης επενδύθηκαν με μεμβράνη στεγανοποίησης (Sarnafil®, TG 66-15 Sika Hellas, Κρυονέρι, Αθήνα) η συγκόλληση της οποίας έγινε με τη χρήση θερμού αέρα (Εικ. 3.3).



Εικόνα 3.3. α) Θερμομόνωση με πλάκες εξηλλαγμένης πολυστερίνης πάχους 5 cm στο δάπεδο και στις πλευρές του λυσιμέτρου,
β) Εγκατάσταση μεμβράνης στεγανοποίησης
γ) Θερμομονωμένο και υδρομονωμένο λυσίμετρο στην οριστική του θέση
δ) Λεπτομέρεια έδρασης της βάσης των λυσιμέτρων

Το σημείο εκροής δημιουργήθηκε στη μέση του χαμηλότερου τμήματος του κάθε λυσιμέτρου. Το άνοιγμα εκροής ήταν επενδεδυμένο με το ίδιο υλικό υδατοστεγάνωσης, που χρησιμοποιήθηκε και σε ολόκληρο το πειραματικό τεμάχιο και συνδέθηκε με έναν σωλήνα από PVC που οδηγούσε την απορροή σε ένα σύστημα ογκομέτρησης (tipping buckets, Εικ. 3.4).



Εικόνα 3.4. α και β) Ογκομετρητής και σύνδεση με το σημείο εκροής μέσω σωλήνας,

γ) Λεπτομέρεια ογκομετρητή,

δ) Συλλογή υποδειγμάτων.

Ο όγκος που απαιτείται για κάθε ανατροπή του κάδου ήταν προκαθορισμένος και ο αριθμός των ανατροπών καταγράφηκε με τη χρήση των επαγωγικών αισθητήρων εγγύτητας (IME18, SICK Vertriebs-GmbH, Willstätterstraße 30, 40549, Ντίσελντορφ, Γερμανία) με PLC / Programmable Logic Controller (S7 -1200, SIEMENS AG, Wittelbacherplatz, 80333, Μόναχο, Γερμανία). Τα δεδομένα παραλαμβάνονταν σε πραγματικό χρόνο μέσω του PLC σε υπολογιστή μέσω διαδικτύου (Εικ. 3.5). Οι ογκομετρητές και το σύστημα απόκτησης και καταγραφής των δεδομένων κατασκευάστηκαν από την Kinematik SA (Μεταμόρφωση, Αθήνα). Κατά τη διάρκεια της μελέτης τα δεδομένα της απορροής των λυσιμέτρων καταγράφονταν σε πραγματικό χρόνο και ομαδοποιούνταν ανά 10 min.



Εικόνα 3.5. Το PLC καταγραφής του ρυθμού απορροής των λυσιμέτρων το οποίο κατέγραφε και αναμετάδιδε τα δεδομένα των ογκομετρητών μέσω διαδικτύου

3.1.2. Κατασκευή φυτεμένου δώματος εκτατικού τύπου εντός των λυσιμέτρων

Εντός των λυσιμέτρων, κατασκευάστηκε μία πλήρης εξομίωση φυτεμένου δώματος προσαρμόσιμου τύπου στα 28 από τα 30 λυσιμέτρα καθώς 2 εξ'αυτών παρέμειναν μόνο με τη διάστρωση της υδατοστεγάνωσης προκειμένου να χρησιμεύσουν ως μάρτυρες μιας τυπικής μη φυτοκαλυμμένης επιφάνειας κτιριακού δώματος.

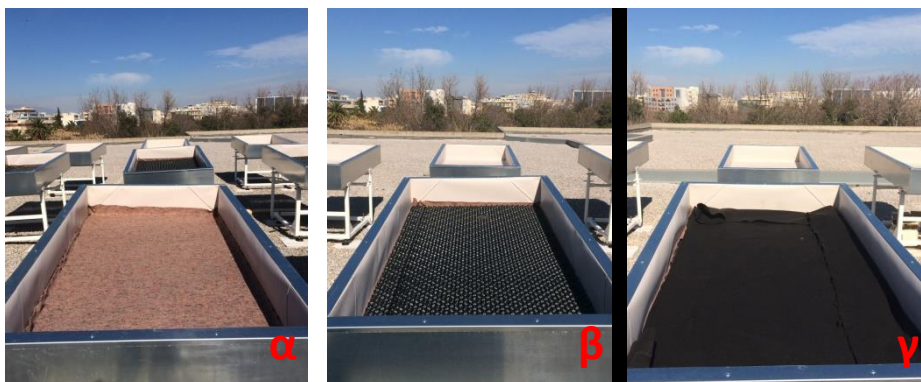
Στο δάπεδο των λυσιμέτρων και πάνω από τη μεμβράνη υδατοστεγάνωσης τοποθετήθηκαν διαδοχικά οι παρακάτω διαστρώσεις:

α) Ύφασμα προστασίας και συγκράτησης υγρασίας πάχους 3 mm, με βάρος $0,30 \text{ kg m}^{-2}$ και το οποίο έχει ικανότητα συγκράτησης νερού ποσότητας 3 L m^{-2} (VLS-300, DIADEM, LANDCO LTD Αθήνα).

β) Πάνω από το ύφασμα προστασίας τοποθετήθηκαν καρτέλες αποστράγγισης οι οποίες διαθέτουν σχήμα αυγουλιέρας και έχουν τη δυνατότητα συγκράτησης νερού. Οι συγκεκριμένες καρτέλες αποστράγγισης είχαν ύψος 25 mm, βάρος $1,36 \text{ kg m}^{-2}$ (DIADRAIN 25H, DIADEM, LANDCO LTD Αθήνα) με ικανότητα αποθήκευσης νερού $11,8 \text{ L m}^{-2}$.

γ) Στη συνέχεια, η αποστραγγιστική διάστρωση καλύφθηκε με γεωύφασμα από θερμικά ενισχυμένο πολυπροπυλένιο (VLF-150, DIADEM, LANDCO ΕΠΕ, Αθήνα),

προκειμένου να αποτραπεί η μετακίνηση των μικρών σωματιδίων από το υπόστρωμα ανάπτυξης προς την αποστράγγιση (Εικ. 3.6).



Εικόνα 3.6. α) Διάστρωση προστασίας και συγκράτησης υγρασίας πάχους 3 mm,
β) Αποστραγγιστική διάστρωση (αυγουλιέρα),
γ) Γεώφασμα που αποτελεί το διαχωριστικό φίλτρο μεταξύ υποστρώματος και αποστράγγισης.

3.1.3. Υπόστρωμα ανάπτυξης

Επάνω από το γεώφασμα, τοποθετήθηκε το υπόστρωμα ανάπτυξης του φυτικού υλικού, με το οποίο πληρώθηκαν τα 28 πειραματικά τεμάχια. Το υπόστρωμα αποτελείται από ελαφρόπετρα, θερμικώς κατεργασμένη ατταπουλγιτική άργιλο, ζεόλιθο και κομπόστ από στέμφυλα σε κατ' όγκο αναλογία 65: 15: 5: 15, αντίστοιχα, σύμφωνα με την ευρεσιτεχνία 1008610. Στα 14 λυσίμετρα το υπόστρωμα τοποθετήθηκε σε βάθος 8 cm ενώ στα υπόλοιπα 14 λυσίμετρα το βάθος του υποστρώματος ήταν 16 cm. Οι φυσικές, χημικές ιδιότητες και η κοκκομετρική σύσταση του υποστρώματος παρέχονται στο Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1. Οι φυσικές, χημικές ιδιότητες και η κοκκομετρική σύσταση του υποστρώματος ανάπτυξης του φυτικού υλικού.

Μέτρηση	Μονάδα	Τιμή(±SE)	Μέγεθος σωματιδίων (mm)	Ανάλυση
pH		7.2(±0.02)	9.5-6.3	1.9
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	mS·m ⁻¹	60(±2.10)	6.3-3.2	23.6
Βάρος σε κορεσμό	g·cm ⁻³	1.30(±0.05)	3.2-2.0	17.3
Βάρος στη μέγιστη υδατοικανότητα	g·cm ⁻³	1.20(±0.03)	2.0-1.0	25.9
Ξηρό βάρος	g·cm ⁻³	0.80(±0.02)	1.0-0.25	20.4
Ολικό πορώδες	%	63.8(±2.30)	0.25-0.05	4.4
Μέγιστη ικανότητα συγκράτησης νερού	%vol.	54.2(±1.65)	0.05-0.002	5.4
Υδραυλική αγωγιμότητα	mm·min ⁻¹	7.62(±0.67)	<0.002	1.1

3.1.4. Λυσίμετρα που προσομοιάζουν με συμβατικά δώματα

Σε δύο (2) λυσίμετρα τοποθετήθηκαν θερμομονωτικές πλάκες εξηλλαγμένης πολυστερίνης πάχους 5 cm και επενδύθηκαν με το ίδιο υλικό της υδατοστεγάνωσης χωρίς όμως να εγκατασταθεί καμία διάταξη φυτεμένου δώματος έτσι ώστε να προσομοιάζουν με τυπικά μη φυτοκαλυμμένα δώματα (Εικ. 3.7). Αυτά τα δύο λυσίμετρα χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες προκειμένου να συγκριθούν τα συστήματα φυτεμένων δωματίων σε σχέση με συμβατικές μη φυτοκαλυμμένες οροφές.

Κατά τη διάρκεια της περιόδου της μελέτης, οι βροχοπτώσεις καταγράφηκαν με ένα βροχόμετρο ανατροπής κάδου. Τα δεδομένα που ελήφθησαν από τα δύο κενά λυσίμετρα μάρτυρες συγκρίθηκαν με τα δεδομένα από το βροχόμετρο και διαπιστώθηκε ότι ήταν σχεδόν ταυτόσημα.



Εικόνα 3.7. Λυσίμετρο χωρίς διατάξεις φυτεμένου δώματος το οποίο χρησίμευσε ως μάρτυρας ενός συμβατικού μη φυτοκαλυμμένου δώματος.

3.1.5. Αυτόματο σύστημα άρδευσης

Σε όλα τα λυσίμετρα τα οποία είχαν τις διαστρώσεις φυτεμένου δώματος εγκαταστάθηκε αυτόνομο αυτοματοποιημένο σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης.

Για την εξασφάλιση της ομοιομορφίας της άρδευσης σε κάθε λυσίμετρο τοποθετήθηκαν 12 σταλακτηφόροι σωλήνες οι οποίοι έφεραν 6 σταλάκτες σε κάθε σωλήνα. Με τον τρόπο αυτό κάθε λυσίμετρο είχε 72 σταλάκτες. Ο κάθε σταλάκτης είχε παροχή 2 Lh^{-1} παρέχοντας συνολικά 144 Lh^{-1} ανά λυσίμετρο. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το κάθε λυσίμετρο ήταν 2 m^2 και ότι η άρδευση γινόταν για 5 min κάθε ημέρα κάθε πειραματικό τεμάχιο 2m^2 αρδεύονταν με 12 L νερού, ποσότητα που ισοδυναμεί με 6 mm ύψους βροχής, (Εικ. 3.8). Η άρδευση εκκινούσε στις 6:00 π.μ. καθημερινά.



Εικόνα 3.8. α) Εγκατάσταση αυτόνομου αυτοματοποιημένου συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης,

β) Το σύστημα στάγδην άρδευσης τοποθετήθηκε εντός του υποστρώματος ανάπτυξης του φυτικού υλικού σε βάθος 2 cm πάνω από το γεωύφασμα.

3.2. Φυτικό υλικό

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίπτωση του είδους της φυτοκάλυψης στις μετρούμενες παραμέτρους της μελέτης, τα λυσίμετρα φυτοκαλύφθηκαν με τρία (3) διαφορετικά είδη φυτών και συγκεκριμένα με ξηρόφυτα, με παχύφυτα και με χλοοτάπητα.

Την 19^η Μαρτίου 2014, οκτώ (8) λυσίμετρα φυτεύτηκαν με *Origanum onites* L. με πυκνότητα φύτευσης 18 φυτά/λυσίμετρο. Οκτώ (8) λυσίμετρα φυτεύτηκαν με *Sedum sediforme* (Jacq.) Pau με πυκνότητα φύτευσης 18 φυτά/λυσίμετρο (Εικ. 3.9) και οκτώ (8) ακόμη λυσίμετρα φυτοκαλύφθηκαν με έτοιμο χλοοτάπητα του είδους *Festuca arundinacea* Schreb. Ο έτοιμος χλοοτάπητας ήταν πλυμένος και είχε απομακρυνθεί το υπόστρωμα της μητρικής φυτείας. Με τον τρόπο αυτό το κάθε ένα από τα 3 είδη φυτοκάλυψης εγκαταστάθηκε σε 4 λυσίμετρα με υπόστρωμα βάθους 8 cm και σε 4 λυσίμετρα με βάθος υποστρώματος 16 cm (Εικ. 3.9).



Εικόνα 3.9. α) Προσδιορισμός της θέσης φύτευσης των φυτών σε κάθε λυσίμετρο.

β) Φύτευση των φυτών στην οριστική τους θέση εντός των λυσιμέτρων.

Επιπλέον τέσσερα (4) λυσίμετρα έμειναν ακαλλιέργητα με γυμνό υπόστρωμα από τα οποία δύο είχαν βάθος υποστρώματος 8 cm και δύο ακόμη είχαν 16 cm, (Εικ. 3.10). Τα λυσίμετρα αυτά χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες προκειμένου να διαχωριστεί η επίδραση της βλάστησης από αυτή του υποστρώματος και των υπολοίπων διατάξεων των φυτεμένων δωμαίων, στις προσδιοριζόμενες παραμέτρους της παρούσας μελέτης.

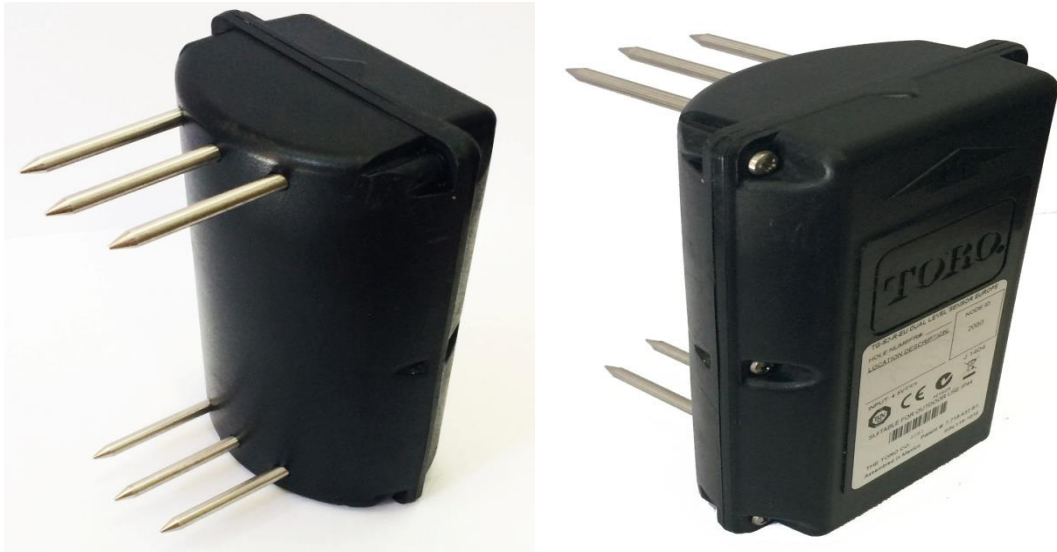


Εικόνα 3.10. Μη φυτοκαλυμμένα λυσίμετρα όπου διακρίνεται το υπόστρωμα. Τα εξωτερικά λυσίμετρα της εικόνας έχουν βάθος υποστρώματος 8 cm, ενώ τα δύο εσωτερικά έχουν βάθος υποστρώματος 16 cm.

3.3. Μετρήσεις

3.3.1. Διακύμανση της υγρασίας και της θερμοκρασίας του υποστρώματος

Η παρακολούθηση των διακυμάνσεων της υγρασίας και της θερμοκρασίας του υποστρώματος έγινε με διηλεκτρικούς ασύρματους αισθητήρες Turfguard (TORO, 8111 Lyndale Avenue, South Bloomington, Minnesota), (Εικ. 3.11). Οι αισθητήρες έχουν διαστάσεις 51 mm X 76 mm X 127 mm με ράβδους μήκους 64 mm. Οι αισθητήρες Turfguard διαθέτουν ράβδους στις δύο άκρες (κάτω και άνω), οπότε έχουν την δυνατότητα να καταγράφουν την υγρασία και τη θερμοκρασία του υποστρώματος σε δύο βάθη.



Εικόνα 3.11. Οι αισθητήρες TORO Turfguard με τις αισθητήριες ράβδους στις δύο άκρες της πλευράς.

Στα λυσιμέτρα με μικρό βάθος υποστρώματος (8 cm), οι αισθητήρες Turfguard εγκαταστάθηκαν οριζοντίως (Εικ. 3.12), ενώ στα βαθύτερα υποστρώματα (16 cm) εγκαταστάθηκαν διαγώνια. Πριν την τοποθέτησή τους στο υπόστρωμα των λυσιμέτρων, ο κάθε αισθητήρας TORO Turfguard βαθμονομήθηκε ειδικά για το συγκεκριμένο υπόστρωμα σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφεται από τους Κάργα et al. (2013).



Εικόνα 3.12. α, β) Τοποθέτηση ασύρματων αισθητήρων μέσα στο υπόστρωμα των λυσιμέτρων.

γ) Αναμεταδότης ασύρματου σήματος από τους αισθητήρες Turfguard (TORO) οι οποίοι κατέγραφαν την υγρασία και τη θερμοκρασία του υποστρώματος.

3.3.2. Έκπλυση νιτρικών

3.3.2.1. Δειγματοληψίες για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των νιτρικών

Κατά τη διεξαγωγή της μελέτης πραγματοποιήθηκαν 31 δειγματοληψίες κατά τις οποίες προσδιορίστηκαν ο όγκος της απορροής και η συγκέντρωση των νιτρικών (NO_3^-) στο στράγγισμα. Κατά τις περιόδους όπου δεν υπήρχαν βροχοπτώσεις αλλά μόνο αρδεύσεις, οι δειγματοληψίες διεξάγονταν ανά 3-5 ημέρες, ενώ όταν υπήρχαν βροχοπτώσεις τα δείγματα συλλέγονταν 24 ώρες μετά το πέρας της βροχόπτωσης.

3.3.2.2. Μεθοδολογία δειγματοληψίας

Στην έξοδο απορροής κάθε πειραματικής λεκάνης υπήρχε ένας ογκομετρητής ο οποίος μετρούσε τον συνολικό όγκο νερού έκπλυσης μέσω κατάλληλης διάταξης. Μετά τον ογκομετρητή, τμήμα του νερού έκπλυσης αποθηκευόταν σε δοχείο συλλογής από όπου λαμβανόταν δείγμα προς ανάλυση. Μετά το τέλος της δειγματοληψίας τα δοχεία συλλογής άδειαζαν, ξεπλένονταν καλά με νερό βρύσης και τοποθετούνταν πάλι στην θέση τους για να συλλεχθεί εκ νέου τμήμα της έκπλυσης (Πίν. 3.2).

Τα δείγματα προς ανάλυση είχαν όγκο 50 ml και φυλάσσονταν σε ειδικά πλαστικά δοχεία μικρού όγκου όπου στην συνέχεια αποθηκεύονταν σε συνθήκες ψύξης, για την αποφυγή αλλοίωσης της συγκέντρωσης των νιτρικών. Στον Πίνακα 3.2 που ακολουθεί φαίνονται οι χρονικές περίοδοι οι οποίες αντιστοιχούν σε κάθε δειγματοληψία.

Πίνακας 3.2. Χρονική περίοδος που αντιστοιχεί σε κάθε δειγματοληψία.

A/A Δειγματοληψίας	Χρονική περίοδος	A/A Δειγματοληψίας	Χρονική περίοδος
1 ^η Δειγματοληψία	14/6/2014 - 25/7/2014	17 ^η Δειγματοληψία	24/9/2014-28/9/2014
2 ^η Δειγματοληψία	26/7/2014 - 30/7/2014	18 ^η Δειγματοληψία	29/9/2014-1/10/2014
3 ^η Δειγματοληψία	31/7/2014 - 2/8/2014	19 ^η Δειγματοληψία	2/10/2014-3/10/2014
4 ^η Δειγματοληψία	3/8/2014-8/8/2014	20 ^η Δειγματοληψία	4/10/2014-6/10/2014
5 ^η Δειγματοληψία	9/8/2014-13/8/2014	21 ^η Δειγματοληψία	7/10/2014-9/10/2014
6 ^η Δειγματοληψία	14/8/2014-18/8/2014	22 ^η Δειγματοληψία	10/10/2014-12/10/2014
7 ^η Δειγματοληψία	19/8/2014-20/8/2014	23 ^η Δειγματοληψία	13/10/2014-15/10/2014
8 ^η Δειγματοληψία	21/8/2014-23/8/2014	24 ^η Δειγματοληψία	16/10/2014-20/10/2014
9 ^η Δειγματοληψία	24/8/2014-25/8/2014	25 ^η Δειγματοληψία	21/10/2014-26/10/2014
10 ^η Δειγματοληψία	26/8/2014-28/8/2014	26 ^η Δειγματοληψία	27/10/2014-28/10/2014
11 ^η Δειγματοληψία	29/8/2014-1/9/2014	27 ^η Δειγματοληψία	29/10/2014-31/10/2014
12 ^η Δειγματοληψία	2/9/2014-3/9/2014	28 ^η Δειγματοληψία	1/11/2014-4/11/2014
13 ^η Δειγματοληψία	4/9/2014-9/9/2014	29 ^η Δειγματοληψία	5/11/2014-6/11/2014
14 ^η Δειγματοληψία	10/9/2014 (αυτόνομη)	30 ^η Δειγματοληψία	7/11/2014-20/11/2014
15 ^η Δειγματοληψία	11/9/2014-17/9/2014	31 ^η Δειγματοληψία	21/11/2014-30/11/2014
16 ^η Δειγματοληψία	18/9/2014-23/9/2014		

3.3.2.3. Προσδιορισμός της συγκέντρωσης των νιτρικών στην αποστράγγιση

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των νιτρικών επιτεύχθηκε με χρήση του ηλεκτροδίου μέτρησης νιτρικών ThermoOrion 9700 BNWP συνδεδεμένο με τον ψηφιακό καταγραφέα της ThermoOrion 710 κατάλληλα βαθμονομημένο με τη χρήση πρότυπων διαλυμάτων (Εικ. 3.13).



Εικόνα 3.13. Το ηλεκτρόδιο μέτρησης νιτρικών ThermoOrion 9700 BNWP συνδεδεμένο με τον ψηφιακό καταγραφέα της ThermoOrion model 710.

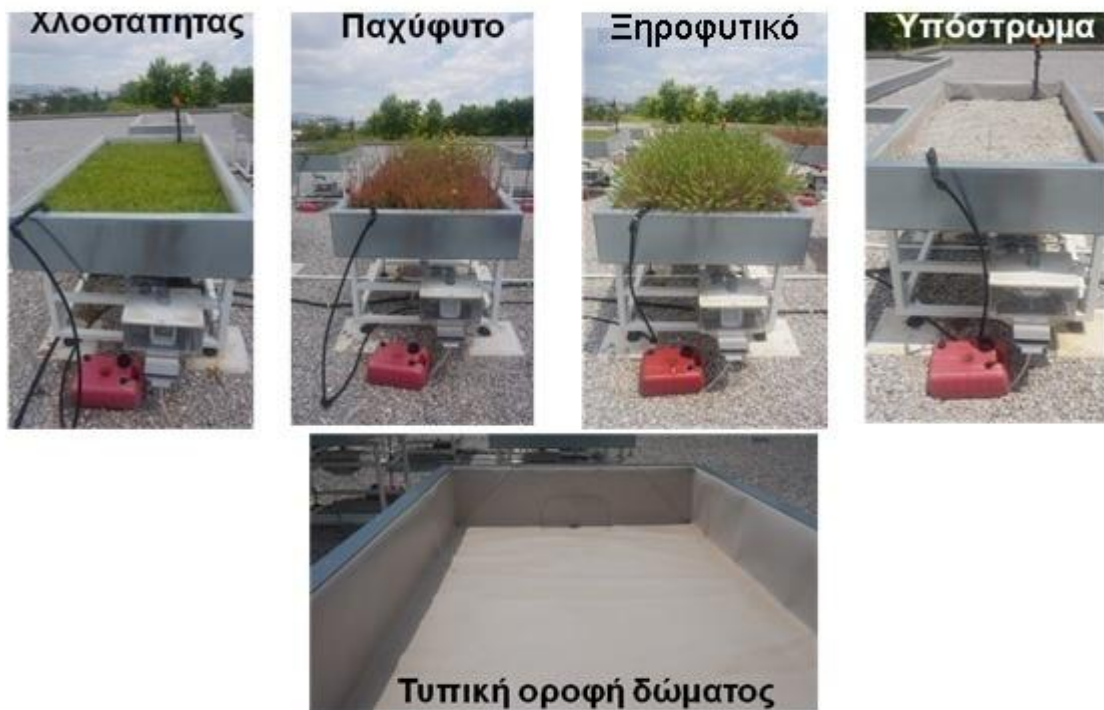
3.4. Πειραματικός σχεδιασμός και στατιστική ανάλυση

Η μελέτη περιελάμβανε 30 λυσίμετρα, το κάθε ένα από τα οποία αποτελούσε και ένα διακριτό πειραματικό τεμάχιο (Εικ. 3.14, Εικ.3.15). Το σχέδιο που ακολουθήθηκε ήταν το Εντελώς Τυχαιοποιημένο Σχέδιο με 4 επαναλήψεις ανά επέμβαση εκτός από τα μη φυτοκαλυμμένα λυσίμετρα με υπόστρωμα και τα λυσίμετρα τα οποία δεν είχαν διατάξεις φυτεμένου δώματος και προσομοίαζαν με μία συμβατική οροφή. Τα λυσίμετρα αυτά είχαν 2 επαναλήψεις ανά επέμβαση (Εικ. 3.15).

Για τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων προσδιορίστηκε το τυπικό σφάλμα των μέσων των επεμβάσεων. Η σύγκριση των μέσων των επεμβάσεων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του τυπικού σφάλματος (\pm standard error) σε επίπεδο σημαντικότητας $P \leq 0,05$.



Εικόνα 3.14. Γενική άποψη της διάταξης των πειραματικών τεμαχίων.



Εικόνα 3.15. Τα λυσίμετρα έχοντας διαφορετικά είδη φυτοκάλυψης, με υπόστρωμα αλλά χωρίς φυτοκάλυψη και χωρίς διατάξεις φυτεμένου δώματος ως προσομοίωση ενός συμβατικού δώματος.

4. Αποτελέσματα

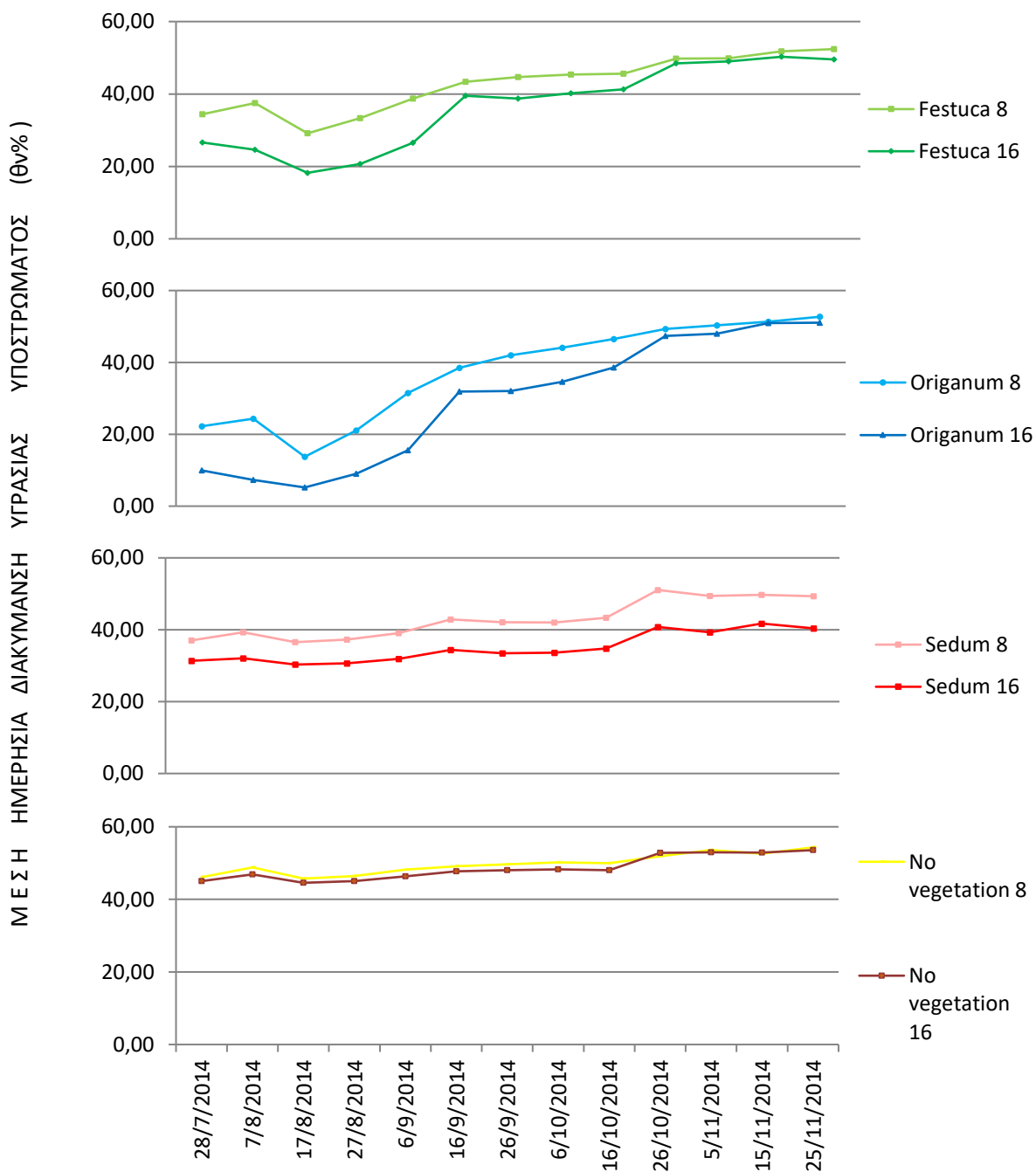
4.1. Διακύμανση της υγρασίας του υποστρώματος

4.1.1. Μέση ημερήσια διακύμανση υγρασίας υποστρώματος

Η μέση ημερήσια υγρασία των φυτοκαλυμμένων τεμαχίων, ανεξάρτητα του φυτικού είδους φυτοκάλυψης εμφάνισε υψηλότερες τιμές στο ρηχό υπόστρωμα των 8 cm σε σύγκριση με την αντίστοιχη υγρασία των βαθύτερων υποστρωμάτων των 16 cm (Διάγρ. 4.1.1).

Στα πειραματικά τεμάχια τα οποία ήταν φυτοκαλυμμένα με τα είδη *F. arundinacea* και *O. onites*, παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στην υγρασιακή κατάσταση μεταξύ των ρηχών και βαθύτερων υποστρωμάτων, με τα ρηχά να έχουν την υψηλότερη μέση ημερήσια υγρασία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ενώ η διαφορά αυτή αμβλύνθηκε κατά το τέλος του φθινοπώρου (Διάγρ. 4.1.1). Αντίθετα στα πειραματικά τεμάχια τα οποία ήταν φυτοκαλυμμένα με το *S. sediforme*, η διαφορά της υγρασίας (θν%) μεταξύ των 8 cm και των 16 cm βάθους υποστρώματος ήταν σταθερή κατά τη διάρκεια της μελέτης (Διάγρ. 4.1.1).

Στα μη φυτοκαλυμμένα πειραματικά τεμάχια, δεν σημειώθηκε διαφορά μέσης ημερήσιας υγρασίας μεταξύ των δύο βαθών υποστρώματος καθ' όλη την διάρκεια της μελέτης (Διάγρ. 4.1.1).



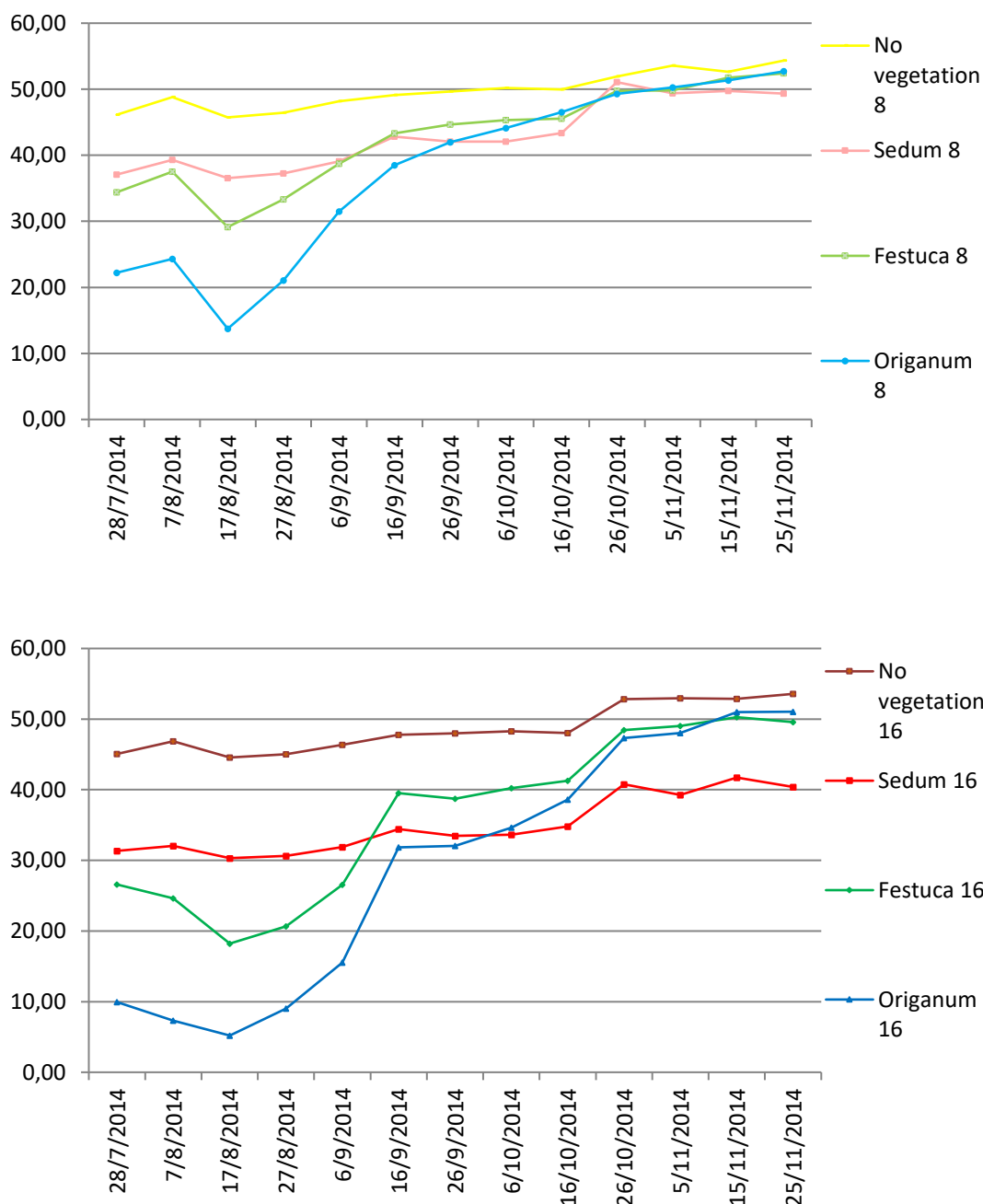
Διάγραμμα 4.1.1. Μέση ημερήσια υγρασία υποστρώματος, ανάλογα με το βάθος του (8 cm ή 16 cm), το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites*, *Sedum sediforme*) ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation). Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2).

Στο Διάγραμμα 4.1.2 διαπιστώνεται ότι τα μη φυτοκαλυμμένα τεμάχια είχαν υψηλότερη μέση ημερήσια υγρασία σε σύγκριση με τα φυτοκαλυμμένα, και στα δύο βάθη υποστρώματος (8 cm και 16 cm). Η διαφορά αυτή ήταν ιδιαίτερα έντονη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού αλλά αμβλύθηκε το φθινόπωρο.

Τα φυτοκαλυμμένα λυσίμετρα με *S. sediforme* είχαν πολύ υψηλότερη υγρασία σε σύγκριση με τα είδη *F. arundinacea* και *O. onites* κατά το μήνα Αύγουστο έως και τα μέσα Σεπτεμβρίου 2014. Το γεγονός αυτό αντιστράφηκε μετά τα μέσα Σεπτεμβρίου καθώς η μέση ημερήσια υγρασία των *F. arundinacea* και *O. onites* αυξήθηκε σημαντικά, ώστε να φθάσουν και να ξεπεράσουν εκείνες του *S. sediforme* (Διάγρ. 4.1.2).

Διαφορές παρατηρήθηκαν και στη μέση ημερήσια υγρασία μεταξύ των ειδών *O. onites* και *F. arundinacea* κατά τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Κατά την περίοδο αυτή το *O. onites* είχε χαμηλότερη μέση ημερήσια υγρασία και στα δύο βάθη υποστρώματος σε σύγκριση με το *F. arundinacea*. Οι διαφορές αυτές αμβλύθηκαν τους μήνες Οκτώβριο και Νοέμβριο οπότε η μέση ημερήσια υγρασία ήταν παρόμοια μεταξύ των δύο ειδών φυτοκάλυψης (Διάγρ. 4.1.2).

ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ (Θν%)



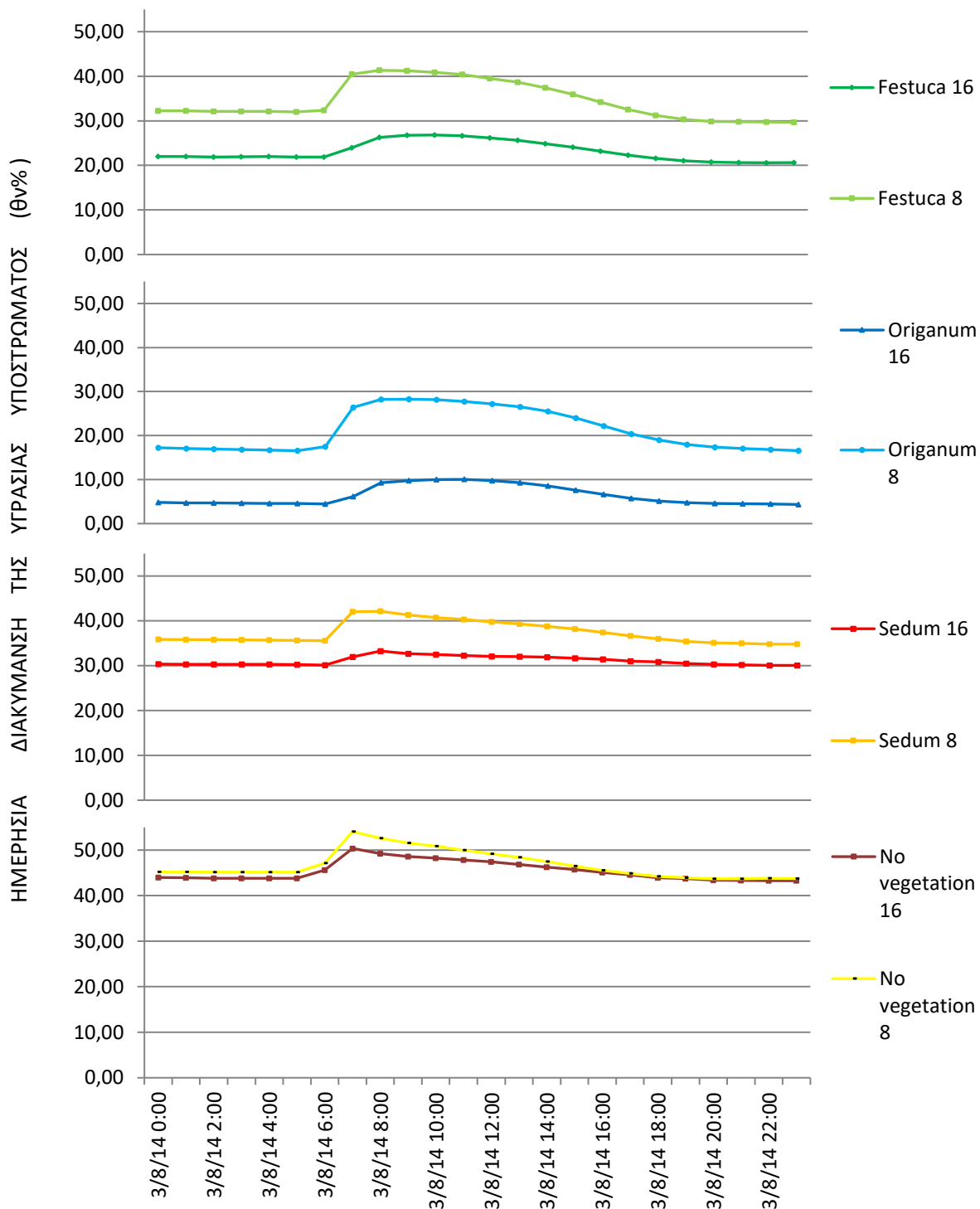
Διάγραμμα 4.1.2. Μέση ημερήσια διακύμανση υγρασίας υποστρώματος, ανάλογα με το είδος της φυτοκάλυψης, (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites*, *Sedum sediforme*) ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation), σε δύο βάθη υποστρώματος (8 cm ή 16 cm). Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2).

4.1.2. Ημερήσια διακύμανση της υγρασίας του υποστρώματος

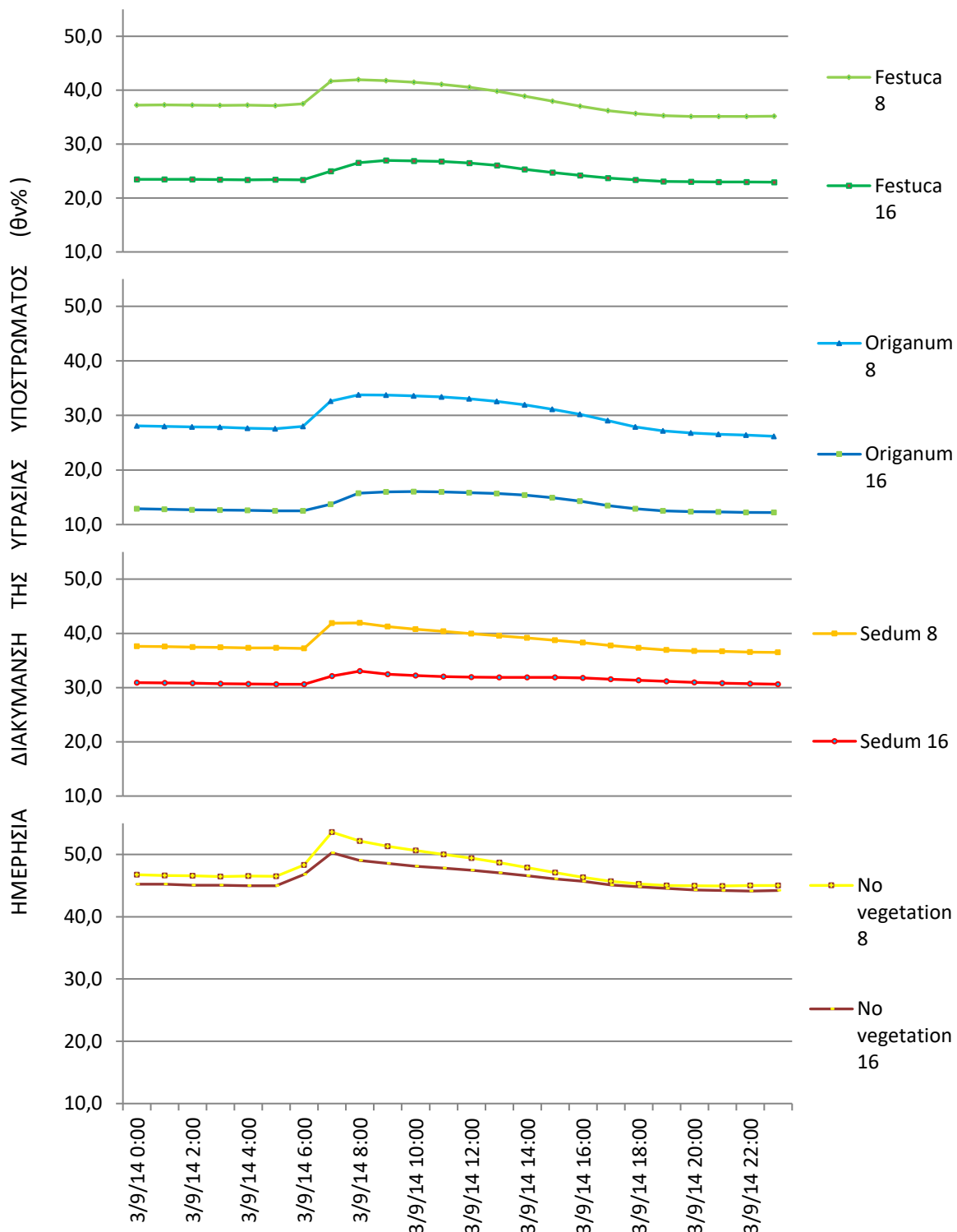
Στα αβαθή υποστρώματα των 8 cm εμφανίσθηκαν οι μεγαλύτερες τιμές υγρασίας υποστρώματος κατά την διάρκεια του εικοσιτετράωρου, καθώς και η μεγαλύτερη διακύμανση υγρασίας, ανεξάρτητα του είδους της φυτοκάλυψης ή της απουσίας της. Οι μεγαλύτερες διαφορές υγρασίας, καταγράφηκαν 2-3 ώρες μετά την πρωινή άρδευση μεταξύ των επεμβάσεων με διαφορετικό βάθος υποστρώματος. Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν όσον αφορά την ημερήσια διακύμανση της υγρασίας υποστρώματος μεταξύ των διαφορετικών βαθών διακρίνονταν καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης (Αύγουστος 2014-Διάγρ. 4.1.3, Σεπτέμβριος 2014-Διάγρ. 4.1.4, Οκτώβριος 2014-Διάγρ. 4.1.5, Νοέμβριος 2014-Διάγρ. 4.1.6).

Στο Διάγραμμα 4.1.3. Αύγουστος 2014 διαπιστώνεται ότι, στα λυσίμετρα με βάθος 8 cm μετά την εφαρμογή της άρδευσης, και για 4-5 ώρες, η υγρασία του υποστρώματος έπαιρνε ιδιαίτερα υψηλές τιμές. Τα φυτοκαλυμμένα τεμάχια με *O. Onites* είχαν υγρασία από 25% έως 28%, τα φυτοκαλυμμένα με *F. arundinacea* είχαν υγρασία από 37% έως 41%, και με *S. sediforme* είχαν υγρασία από 39% έως 42%.

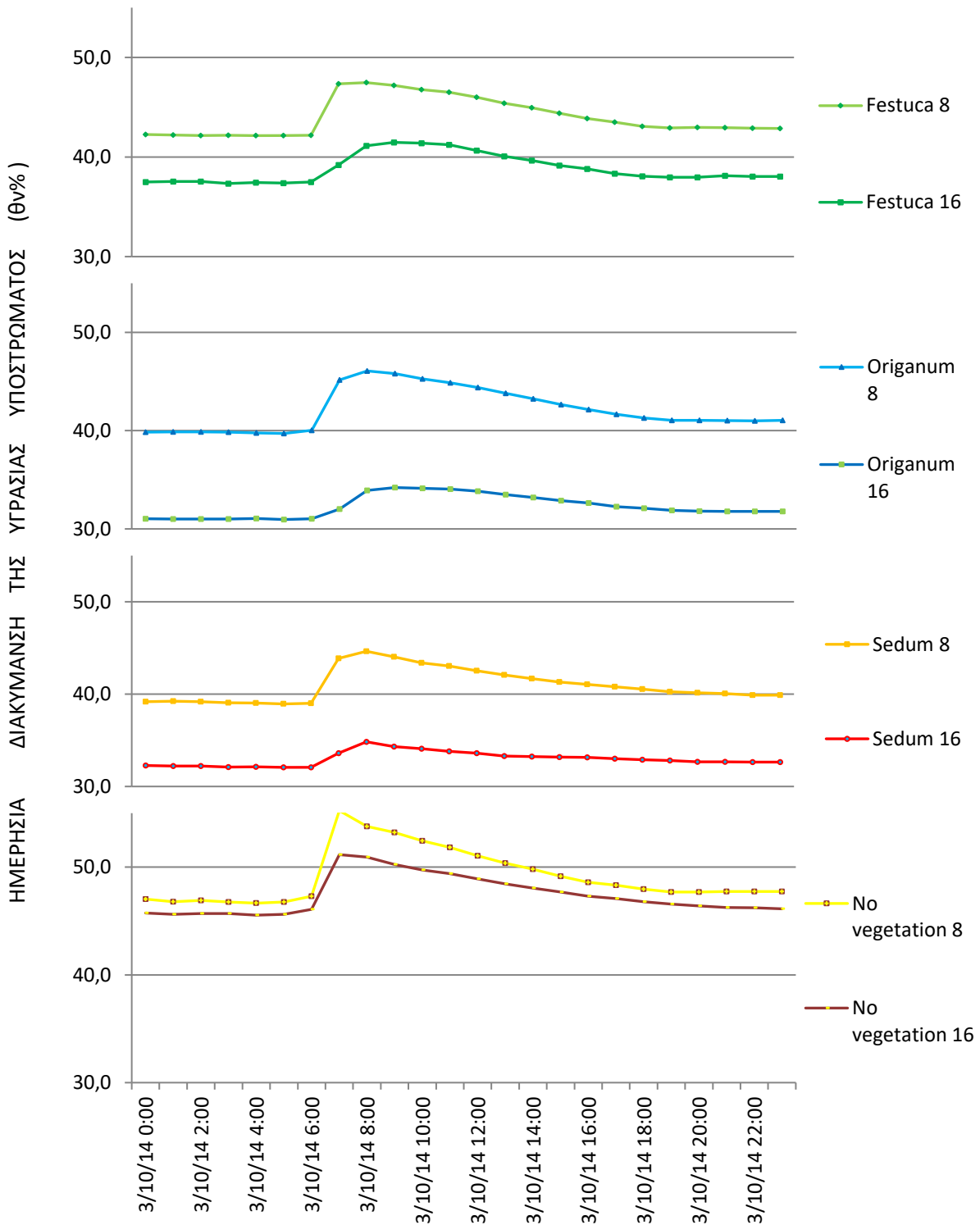
Ακόμα διαπιστώνεται ότι, το καλοκαίρι τις απογευματινές ώρες, στα λυσίμετρα με βάθος 16 cm, η υγρασία του υποστρώματος σε ορισμένες περιπτώσεις, ανάλογα με το είδος της φυτοκάλυψης, μπορούσε να πάρει ιδιαίτερα χαμηλές τιμές. Έτσι τα φυτοκαλυμμένα τεμάχια με *O. Onites* είχαν πολύ χαμηλές τιμές υγρασίας υποστρώματος από 5% έως 9% και τα φυτοκαλυμμένα τεμάχια με *F. arundinacea* παρουσίασαν χαμηλές τιμές υγρασίας υποστρώματος που κυμαινόταν από 21% έως 26%. Αντίθετα τα φυτοκαλυμμένα τεμάχια των 16 cm με *S. sediforme* διέθεταν πολύ υψηλότερη υγρασία υποστρώματος που κυμαινόταν από 30% έως 32% (Διάγραμμα 4.1.3. Αύγουστος 2014).



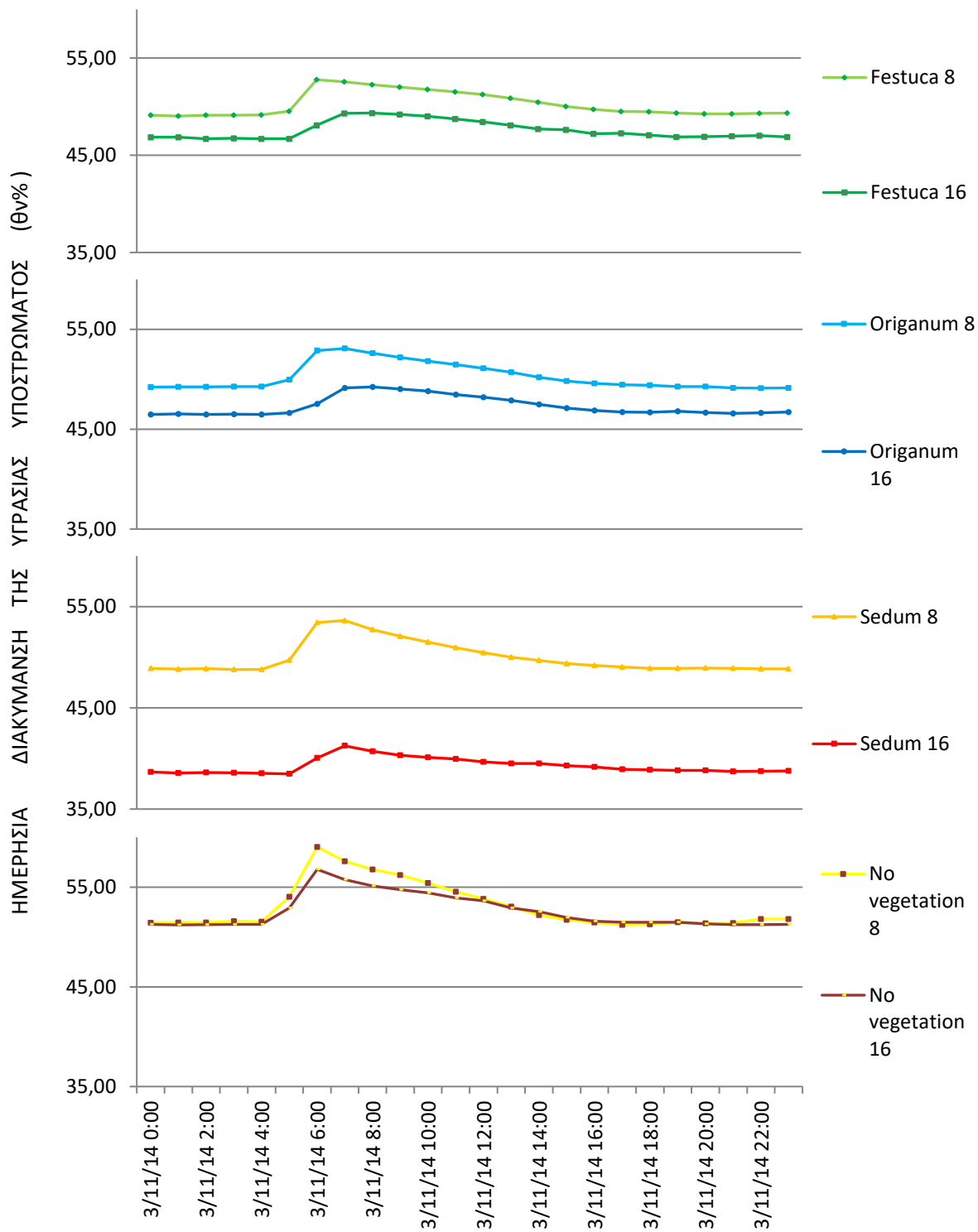
Διάγραμμα 4.1.3. Ημερήσια διακύμανση της υγρασίας του υποστρώματος, ανάλογα με το βάθος του (8 ή 16 cm), το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites*, *Sedum sediforme*), ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation) στις 3 Αυγούστου 2014. Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2).



Διάγραμμα 4.1.4. Ημερήσια διακύμανση της υγρασίας του υποστρώματος, ανάλογα με το βάθος του (8 ή 16 cm), το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites*, *Sedum sediforme*), ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation) στις 3 Σεπτεμβρίου 2014. Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2).



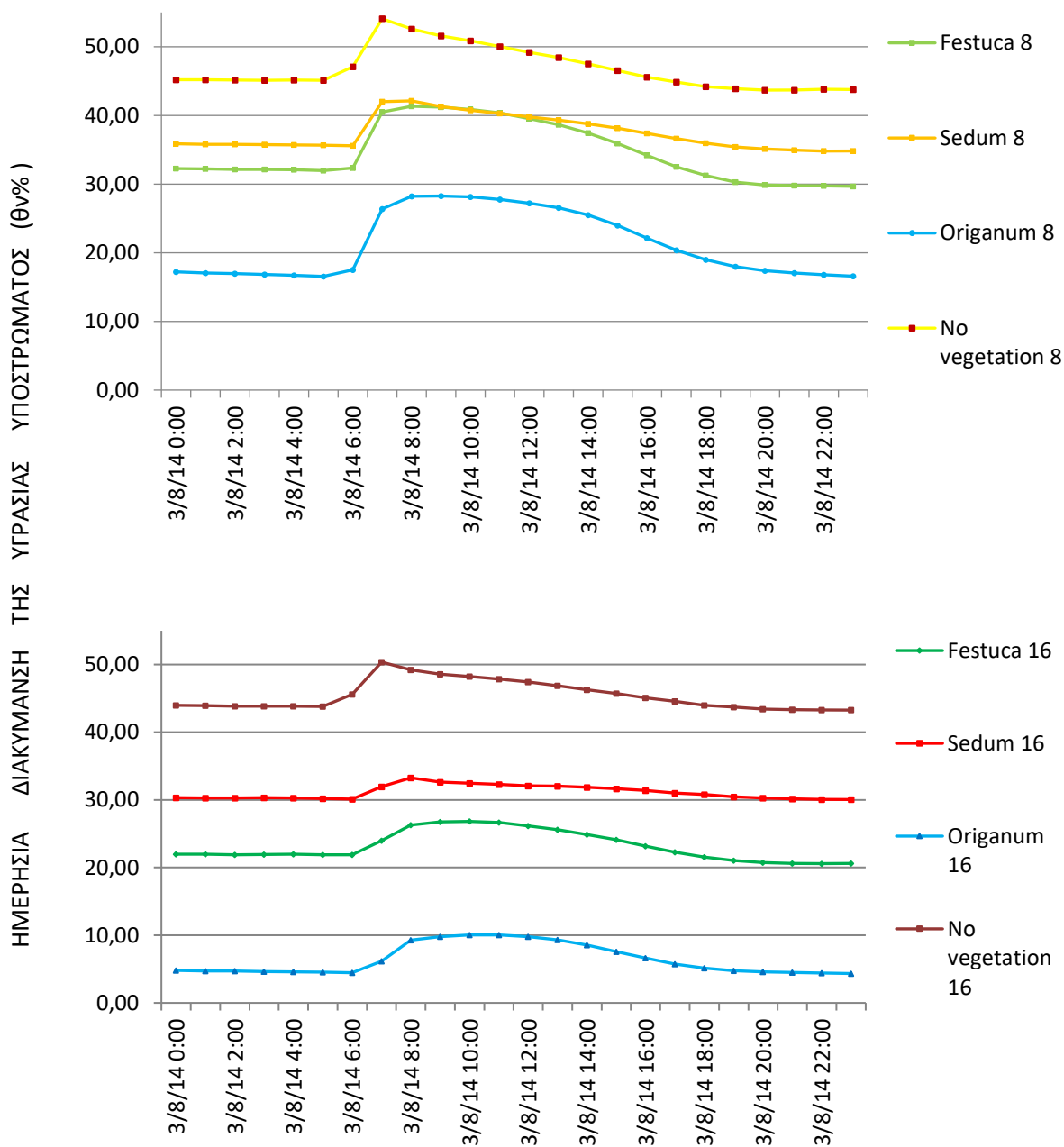
Διάγραμμα 4.1.5. Ημερήσια διακύμανση της υγρασίας του υποστρώματος, ανάλογα με το βάθος του (8 ή 16 cm), το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites*, *Sedum sediforme*), ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation) στις 3 Οκτωβρίου 2014. Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2).



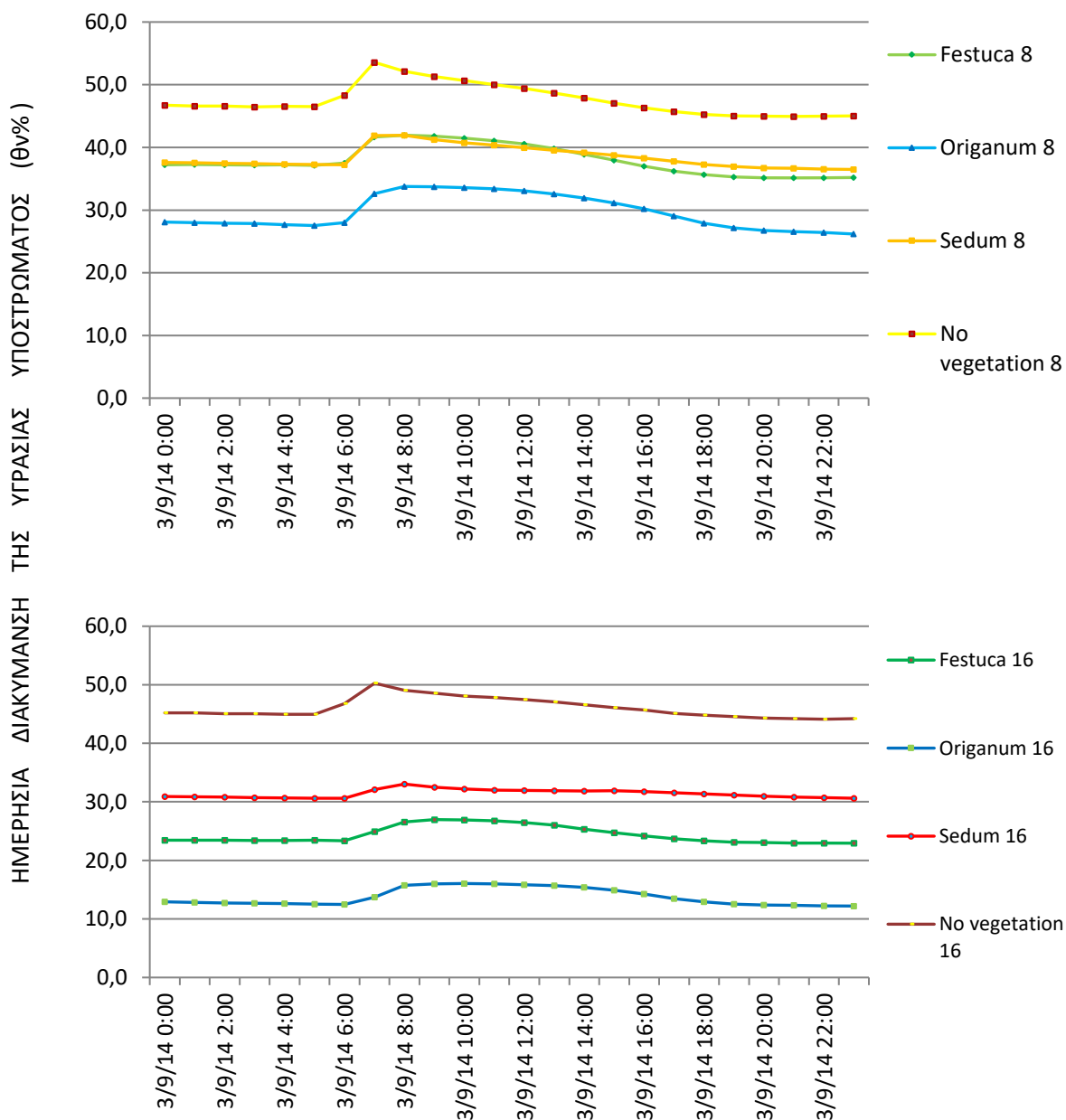
Διάγραμμα 4.1.6. Ημερήσια διακύμανση της υγρασίας του υποστρώματος, ανάλογα με το βάθος του (8 ή 16 cm), το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites*, *Sedum sediforme*), ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation) στις 3 Νοεμβρίου 2014. Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2).

Σύμφωνα με το Διάγρ. 4.1.7, διαπιστώνεται ότι το είδος της φυτοκάλυψης, όπως και η έλλειψη αυτής, δεν διαφοροποίησε την ημερήσια διακύμανση της υγρασίας του υποστρώματος, η οποία είχε παρόμοια συμπεριφορά σε όλες τις επεμβάσεις, καθ' όλη την διάρκεια της μελέτης, αλλά εκκινούσε από διαφορετικά σημεία (Αύγουστος 2014-Διάγρ. 4.1.7, Σεπτέμβριος 2014-Διάγρ. 4.1.8, Οκτώβριος 2014-Διάγρ. 4.1.9, Νοέμβριος 2014-Διάγρ. 4.1.10).

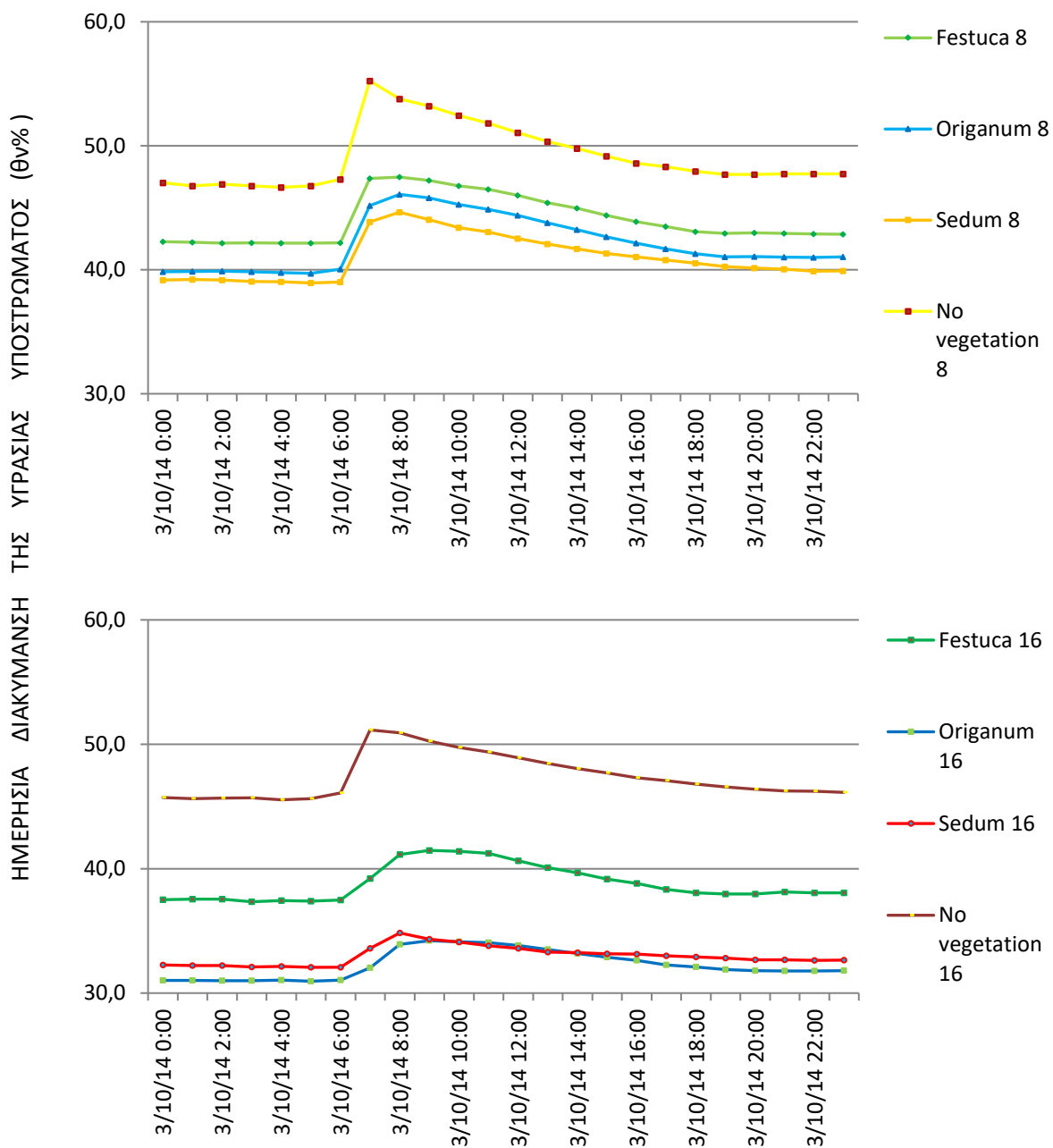
Μοναδική εξαίρεση παρατηρήθηκε όσον αφορά την ταχύτερη μείωση της υγρασίας στα φυτοκαλυμμένα με *O. onites* και *F. arundinacea* τεμάχια, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και μετά τις 13:00 σε σύγκριση με το *S. sediforme* και τα μη φυτοκαλυμμένα. Οι διαφορές αυτές μεταξύ των επεμβάσεων αμβλύθηκαν κατά το φθινόπωρο (Διάγρ. 4.1.7, Διάγρ. 4.1.8, Διάγρ. 4.1.9, Διάγρ. 4.1.10).



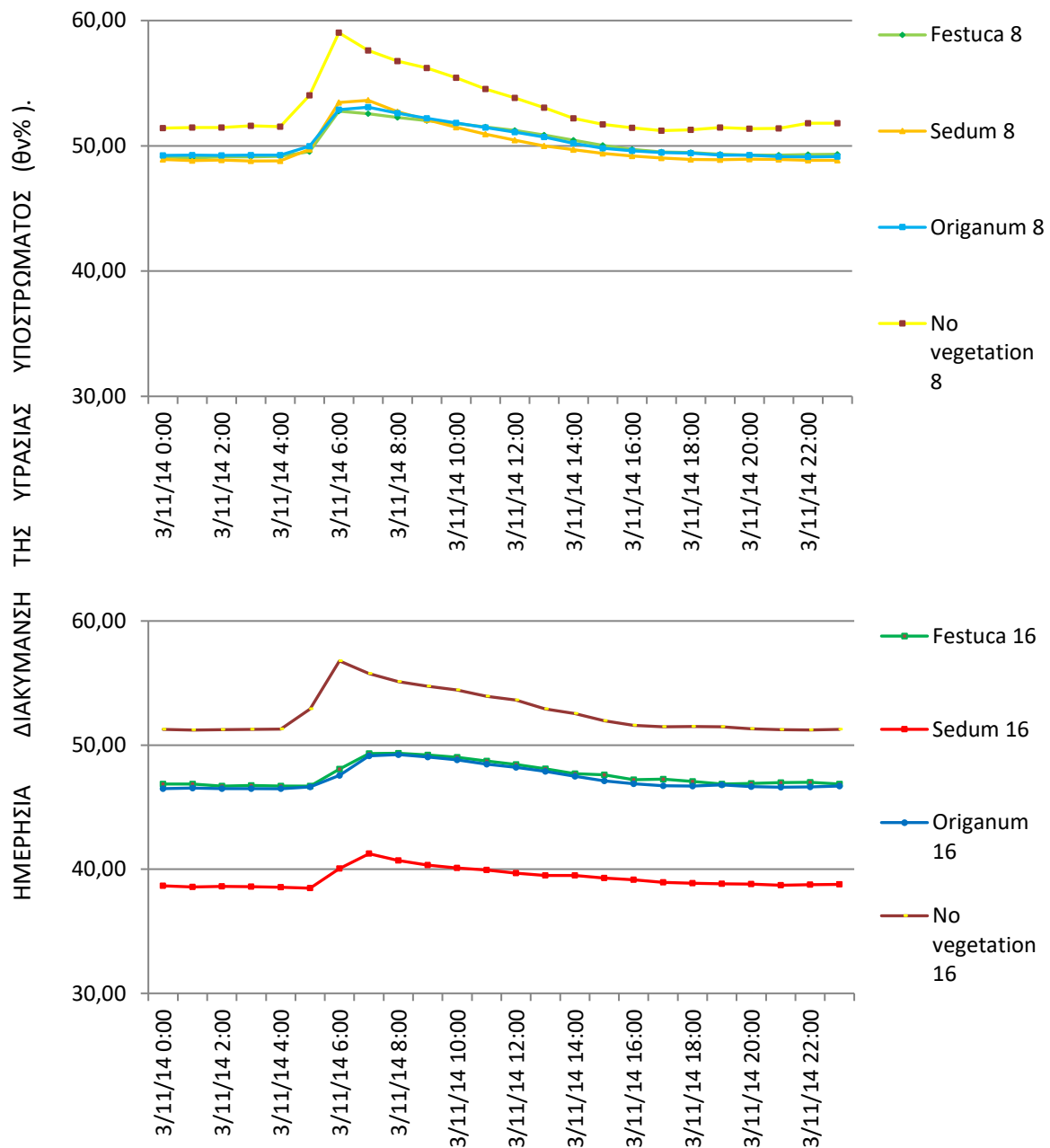
Διάγραμμα 4.1.7. Ημερήσια διακύμανση της υγρασίας υποστρώματος ανάλογα με το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites*, *Sedum sediforme*) ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation), σε δύο βάθη υποστρώματος (8 ή 16 cm), στις 3 Αυγούστου 2014. Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2).



Διάγραμμα 4.1.8. Ημερήσια διακύμανση της υγρασίας υποστρώματος ανάλογα με το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites*, *Sedum sediforme*) ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation), σε δύο βάθη υποστρώματος (8 ή 16 cm), στις 3 Σεπτεμβρίου 2014. Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2).



Διάγραμμα 4.1.9. Ημερήσια διακύμανση της υγρασίας υποστρώματος ανάλογα με το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites*, *Sedum sediforme*) ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation), σε δύο βάρη υποστρώματος (8 ή 16 cm), στις 3 Οκτωβρίου 2014. Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2).



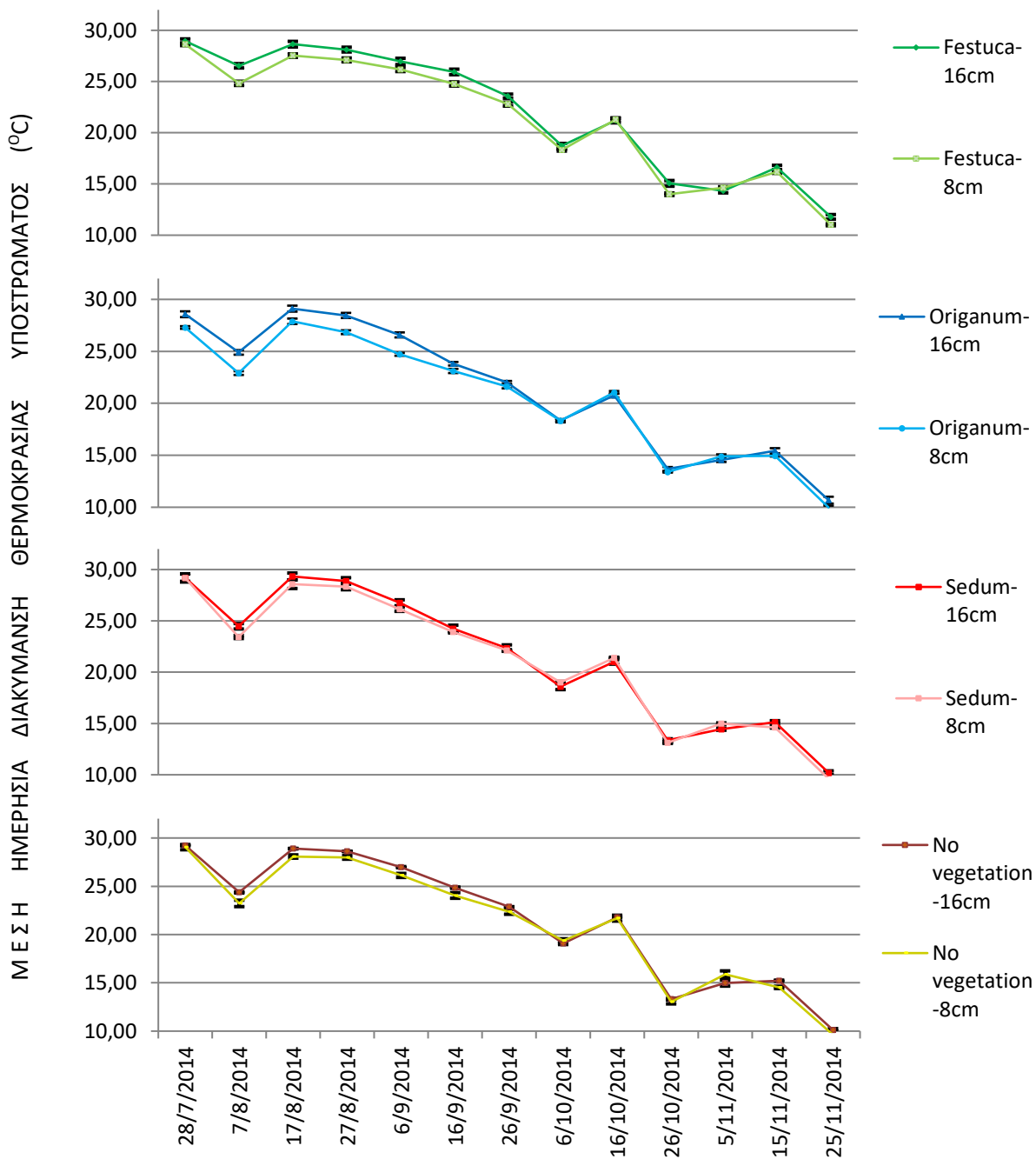
Διάγραμμα 4.1.10. Ημερήσια διακύμανση της υγρασίας υποστρώματος ανάλογα με το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites*, *Sedum sediforme*) ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation), σε δύο βάθη υποστρώματος (8 ή 16 cm), στις 3 Νοεμβρίου 2014. Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2).

4.2. Διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος

4.2.1. Μέση ημερήσια διακύμανση θερμοκρασίας υποστρώματος

Στα πειραματικά τεμάχια τα οποία ήταν φυτοκαλυμμένα με τα είδη *F. arundinacea* και *O. onites* και στα μη φυτοκαλυμμένα τεμάχια, παρατήθηκαν σημαντικές διαφορές στη μέση ημερήσια θερμοκρασία μεταξύ των ρηχών και βαθύτερων υποστρωμάτων, με τα βαθιά να έχουν την υψηλότερη μέση ημερήσια θερμοκρασία υποστρώματος κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ενώ η διαφορά αυτή αμβλύνθηκε κατά το φθινόπωρο (Διάγρ. 4.2.1).

Αντίθετα, στα πειραματικά τεμάχια τα οποία ήταν φυτοκαλυμμένα με το *S. sediforme* δεν σημειώθηκε διαφορά μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας μεταξύ των δύο βαθών υποστρώματος καθ' όλη την διάρκεια της μελέτης (Διάγρ. 4.2.1).



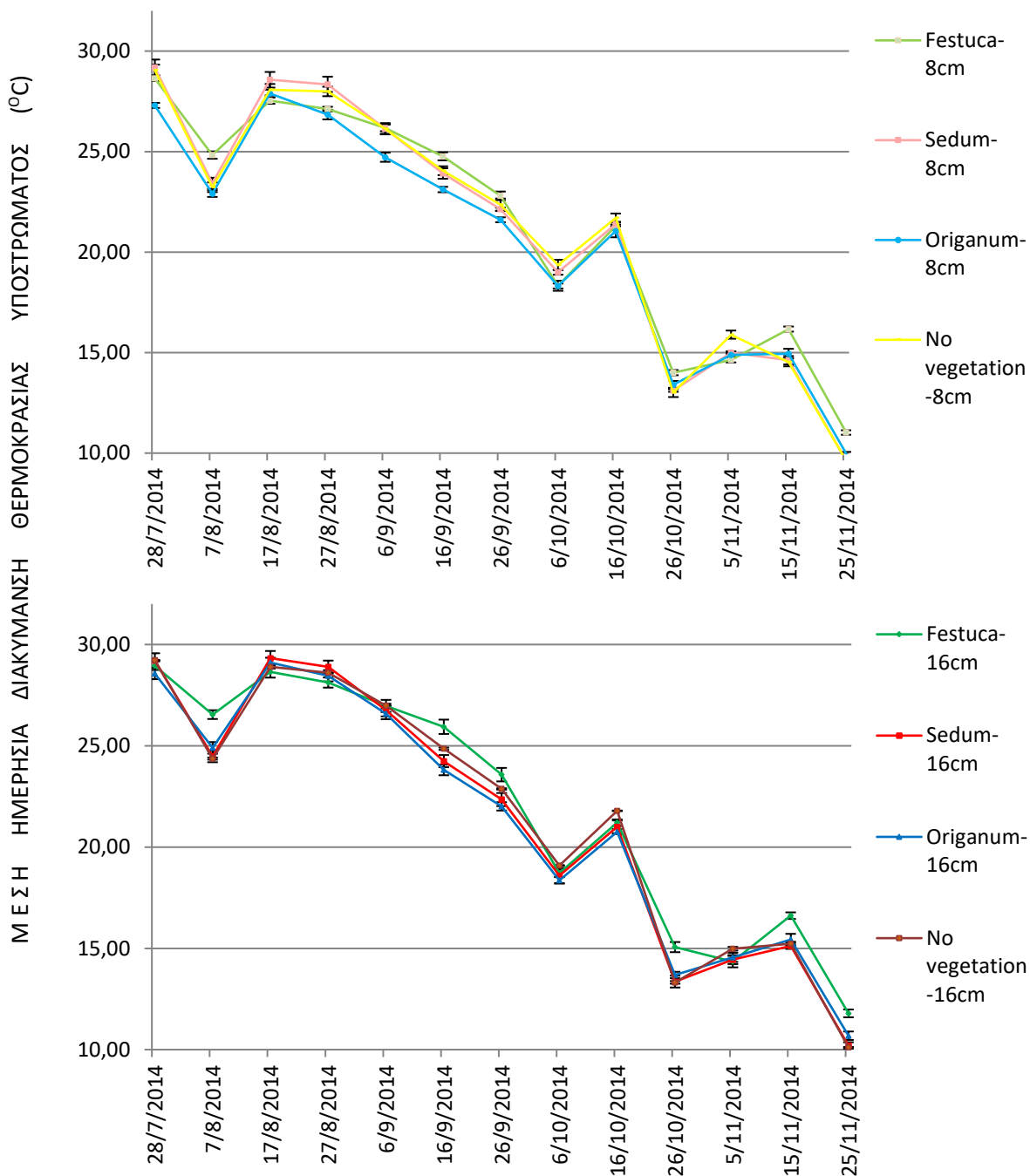
Διάγραμμα 4.2.1 Μέση ημερήσια διακύμανση θερμοκρασίας υποστρώματος, ανάλογα με το βάθος του (8 cm ή 16 cm), το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites*, *Sedum sediforme*) ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation). Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2) και οι μπάρες σε κάθε στήλη απεικονίζουν το τυπικό σφάλμα (\pm SE).

Στο Διάγρ. 4.2.2 διαπιστώνεται ότι τα φυτοκαλυμμένα πειραματικά τεμάχια με το *O. onites*, στην επέμβαση των 8 cm είχαν τις χαμηλότερες τιμές μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας υποστρώματος, από όλες τις άλλες επεμβάσεις με ίδιο βάθος υποστρώματος, στις 28 Ιουλίου, και στις 6, 16, και 26 Σεπτεμβρίου 2014. Παρομοίως και τα φυτοκαλυμμένα τεμάχια με το *O. onites* στο βαθύ υπόστρωμα των 16 cm, είχαν χαμηλότερες τιμές μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας υποστρώματος, σε σύγκριση με το *F. arundinacea* και τα μη φυτοκαλυμμένα λυσίμετρα στις 16, και 26 Σεπτεμβρίου 2014.

Καμία σημαντική διαφορά δεν παρατηρήθηκε στις τιμές μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας υποστρώματος στα φυτοκαλυμμένα τεμάχια με το *S. sediforme* και τα μη φυτοκαλυμμένα τεμάχια στα αβαθή υποστρώματα των 8 cm, εκτός από τη μέτρηση στις 5 Νοεμβρίου οπότε τα μη φυτοκαλυμμένα είχαν υψηλότερη τιμή από το *S. sediforme*.

Επίσης, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στη μέση ημερήσια θερμοκρασία υποστρώματος, μεταξύ των ειδών *S. sediforme* και *O. onites* στο βαθύ υπόστρωμα των 16 cm. εκτός της μέτρησης στις 25 Νοεμβρίου όπου το *O. onites* είχε υψηλότερη τιμή από το *S. sediforme*.

Τα φυτοκαλυμμένα τεμάχια με *F. arundinacea* και στα δύο βάθη υποστρώματος (8 cm και 16 cm) στις 7 Αυγούστου, 16 Σεπτεμβρίου, 26 Οκτωβρίου, 15 και 25 Νοεμβρίου εμφάνισαν υψηλότερες τιμές μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας υποστρώματος, σε σύγκριση με όλες τις άλλες επεμβάσεις, επιπλέον και στις 26 Σεπτεμβρίου στα βαθιά υποστρώματα τα φυτοκαλυμμένα με *F. arundinacea* οπότε καταγράφονται οι μεγαλύτερες τιμές μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας υποστρώματος σε σύγκριση με όλες τις άλλες επεμβάσεις των 16 cm (Διάγρ.4.2.2).



Διάγραμμα 4.2.2. Μέση ημερήσια διακύμανση θερμοκρασίας υποστρώματος, ανάλογα με το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites* και *Sedum sediforme*), την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation), σε δύο βάθη υποστρώματος (8 cm ή 16 cm). Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2) και οι μπάρες σε κάθε στήλη απεικονίζουν το τυπικό σφάλμα (\pm SE).

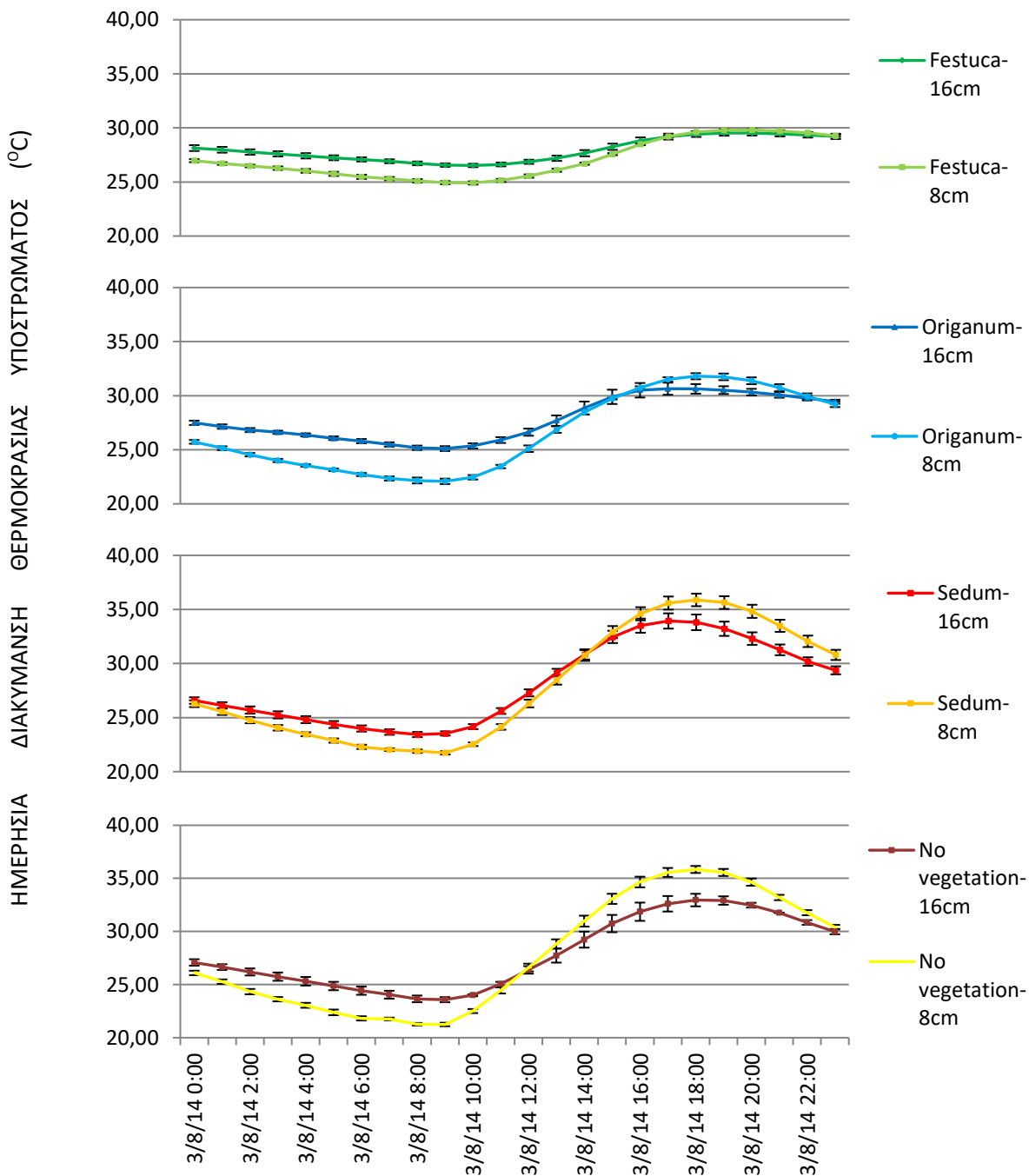
4.2.2. Ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος

Παρ' όλο που οι μέσες θερμοκρασίες ανά δεκαήμερο υποδεικνύουν τη γενική θερμοκρασιακή συμπεριφορά του φυτεμένου δώματος, ιδιαίτερη σημασία έχει η θερμοκρασιακή διακύμανση τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και ανά μήνα ή εποχή του έτους καθώς η διακύμανση αυτή καθορίζει την καταπόνηση που επιφέρεται τόσο επί των κατασκευαστικών υλικών του δώματος όσο και επί του φυτικού υλικού.

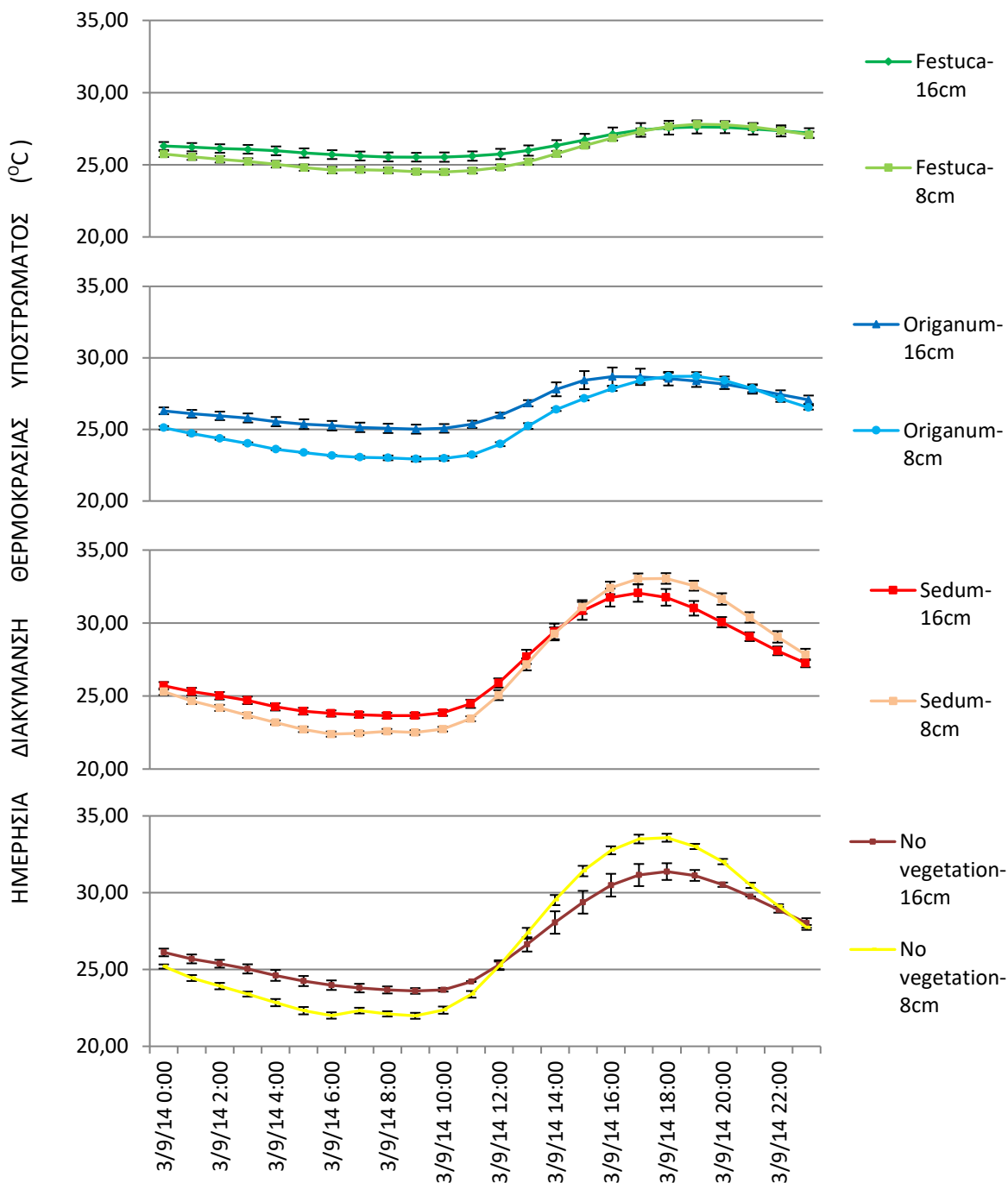
Στα αβαθή υποστρώματα των 8 cm εμφανίσθηκαν οι χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας υποστρώματος κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου, καθώς και η μεγαλύτερη διακύμανση θερμοκρασίας, ανεξάρτητα του είδους της φυτοκάλυψης ή της απουσίας της. (Διάγρ. 4.2.3). Το μικρό βάθος υποστρώματος (8 cm) αν και παρουσίαζε τη χαμηλότερη τιμή θερμοκρασίας υποστρώματος ήταν ταυτόχρονα και η επέμβαση της οποίας η θερμοκρασία αυξανόταν γρηγορότερα σε όλες τις περιπτώσεις (Διάγρ. 4.2.3, Διάγρ. 4.2.4, Διάγρ. 4.2.5, Διάγρ. 4.2.6).

Οι μεγαλύτερες σημαντικές διαφορές θερμοκρασίας καταγράφηκαν 2-3 ώρες μετά την πρωινή άρδευση μεταξύ των επεμβάσεων με διαφορετικό βάθος υποστρώματος.

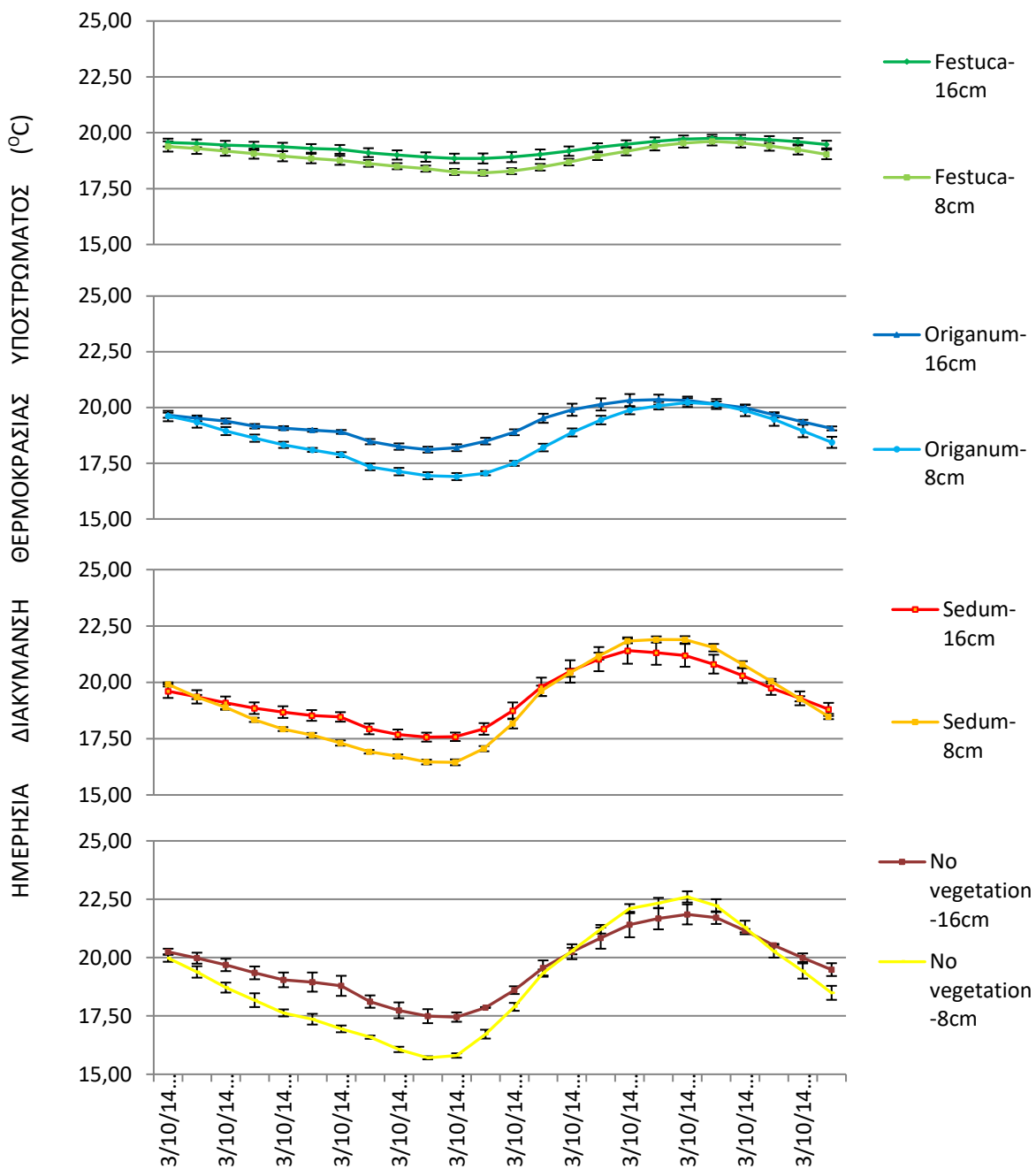
Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν όσον αφορά την ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας υποστρώματος μεταξύ των διαφορετικών βαθών διακρίνονταν καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης (Αύγουστος 2014-Διάγρ. 4.2.3, Σεπτέμβριος 2014-Διάγρ. 4.2.4, Οκτώβριος 2014-Διάγρ. 4.2.5, Νοέμβριος 2014-Διάγρ. 4.2.6).



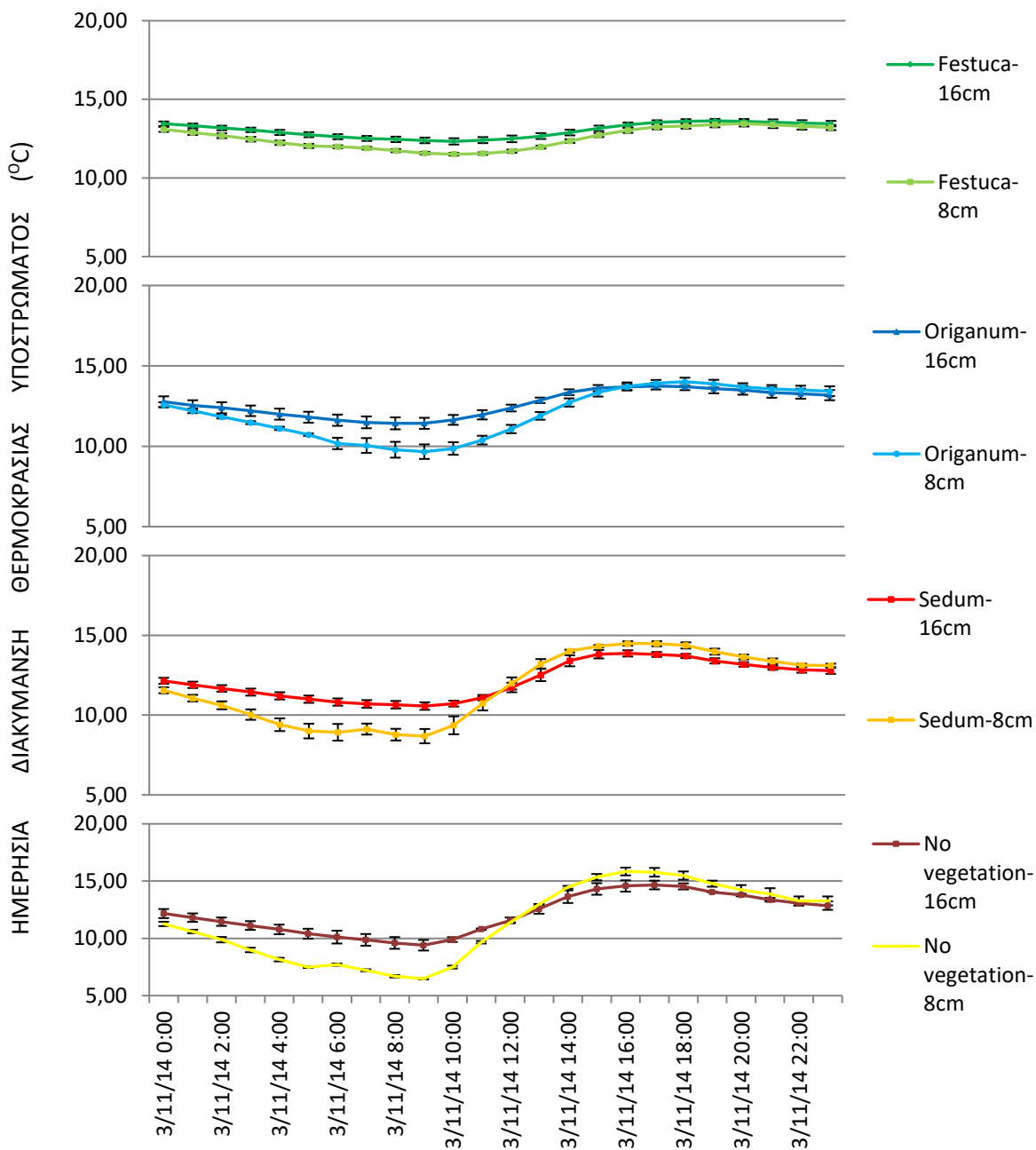
Διάγραμμα 4.2.3. Ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος (3 Αυγούστου 2014), ανάλογα με το βάθος του υποστρώματος (8 cm ή 16 cm), το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites* και *Sedum sediforme*) ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation). Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2) και οι μπάρες σε κάθε στήλη απεικονίζουν το τυπικό σφάλμα (\pm SE).



Διάγραμμα 4.2.4. Ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος (3 Σεπτεμβρίου 2014), ανάλογα με το βάθος του υποστρώματος (8 cm ή 16 cm), το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites* και *Sedum sediforme*) ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation). Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2) και οι μπάρες σε κάθε στήλη απεικονίζουν το τυπικό σφάλμα (\pm SE).



Διάγραμμα 4.2.5. Ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος (3 Οκτωβρίου 2014), ανάλογα με το βάθος του υποστρώματος (8 cm ή 16 cm), το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites* και *Sedum sediforme*) ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation). Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2) και οι μπάρες σε κάθε στήλη απεικονίζουν το τυπικό σφάλμα ($\pm SE$).



Διάγραμμα 4.2.6. Ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος (3 Νοεμβρίου 2014), ανάλογα με το βάθος του υποστρώματος (8 cm ή 16 cm), το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites* και *Sedum sediforme*) ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation). Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2) και οι μπάρες σε κάθε στήλη απεικονίζουν το τυπικό σφάλμα (\pm SE).

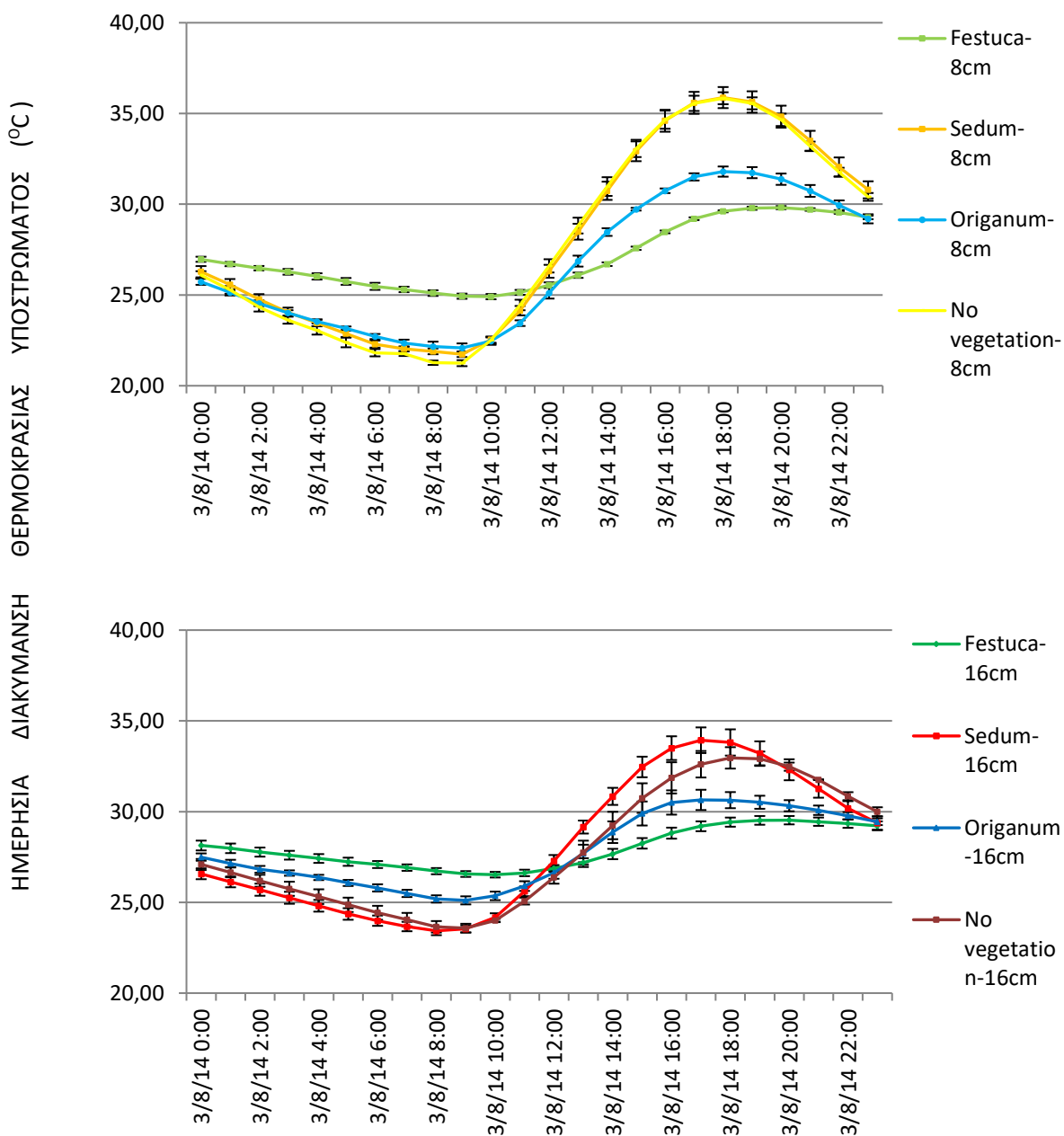
Στο Διάγραμμα 4.2.7 παρατηρείται ότι τα αβαθή μη φυτοκαλυμμένα πειραματικά τεμάχια των 8 cm καθώς και αυτά με φυτοκάλυψη *S. sediforme* είχαν τη μεγαλύτερη διακύμανση θερμοκρασίας υποστρώματος κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης, σε σύγκριση με όλες τις υπόλοιπες επεμβάσεις (Αύγουστος 2014-Διάγρ. 4.2.7, Σεπτέμβριος 2014-Διάγρ. 4.2.8, Οκτώβριος 2014-Διάγρ. 4.2.9, Νοέμβριος 2014-Διάγρ. 4.2.10).

Τα μη φυτοκαλυμμένα τεμάχια βάθους 16 cm καθώς και αυτά με φυτοκάλυψη *S. sediforme* είχαν μεγαλύτερη διακύμανση θερμοκρασίας υποστρώματος κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης σε σύγκριση με τα φυτοκαλυμμένα με *F. arundinacea* και *O. onites* πειραματικά τεμάχια του αυτού βάθους (Διάγρ. 4.2.7, Διάγρ. 4.2.8, Διάγρ. 4.2.9, Διάγρ. 4.2.10).

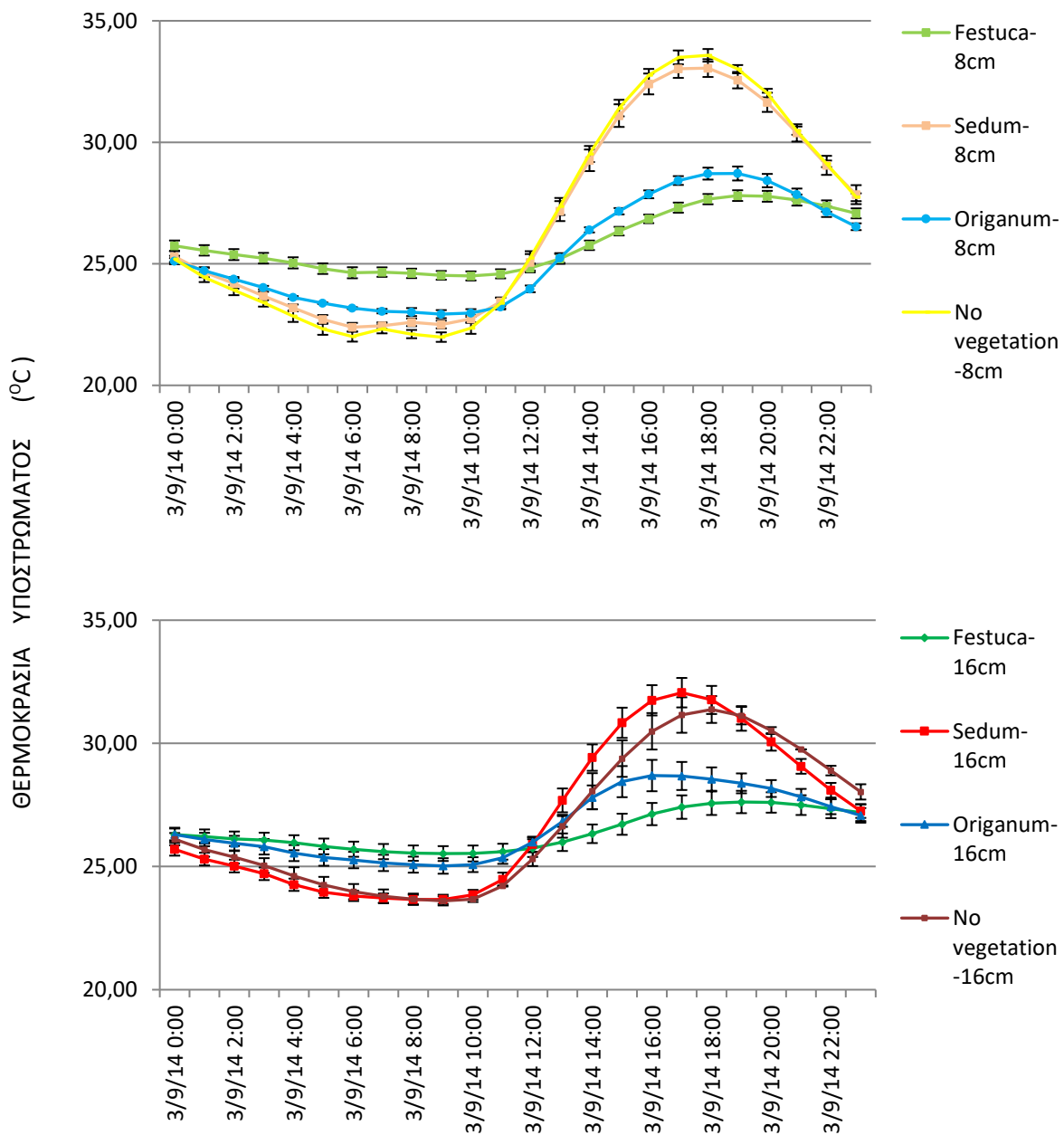
Τα μη φυτοκαλυμμένα τεμάχια βάθους 16 cm είχαν παρόμοια διακύμανση θερμοκρασίας υποστρώματος κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου, τον Αύγουστο τον Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο με τα φυτοκαλυμμένα με *S. sediforme* τεμάχια του αυτού βάθους αν και υπήρχε μία τάση των μη φυτοκαλυμμένων τεμαχίων να έχουν μικρότερη θερμοκρασία ιδιαίτερα κατά τις απογευματινές ώρες. Το μοτίβο αυτό μεταβάλλεται το Νοέμβριο οπότε τα μη φυτοκαλυμμένα τεμάχια βάθους 16 cm εμφάνισαν μεγαλύτερη διακύμανση θερμοκρασίας υποστρώματος κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου σε σύγκριση με τα φυτοκαλυμμένα με *S. sediforme*.

Τα φυτοκαλυμμένα πειραματικά τεμάχια με το *O. onites* και στα δύο βάθη υποστρώματος 8 cm και 16 cm, είχαν μικρότερη διακύμανση θερμοκρασίας υποστρώματος κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης σε σύγκριση με τα μη φυτοκαλυμμένα πειραματικά τεμάχια και τα φυτοκαλυμμένα με το *S. sediforme* πειραματικά τεμάχια στα αντίστοιχα βάθη (Διάγρ. 4.2.7, Διάγρ. 4.2.8, Διάγρ. 4.2.9, Διάγρ. 4.2.10).

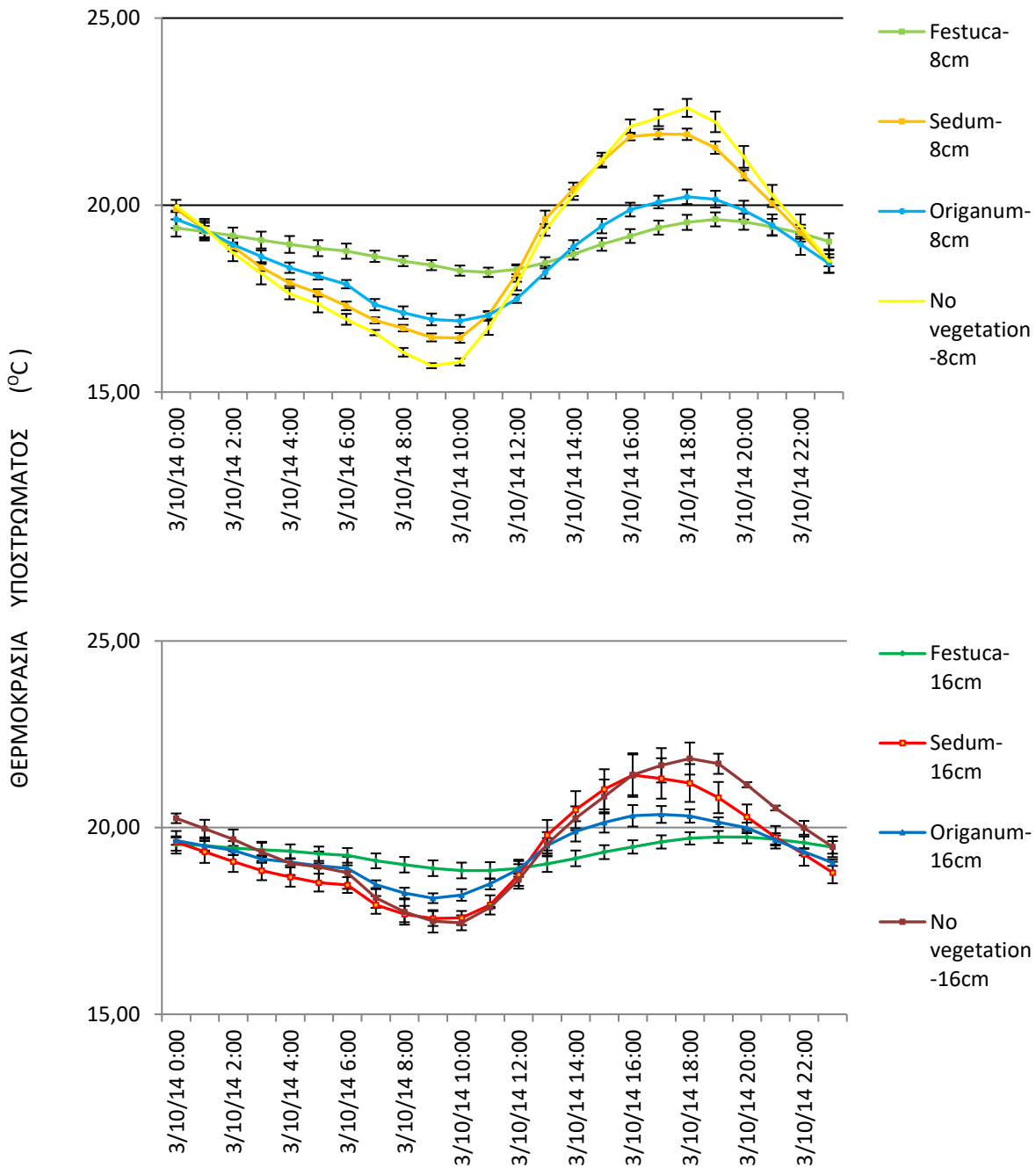
Τέλος τα φυτοκαλυμμένα πειραματικά τεμάχια με το *F. arundinacea*, και στα δύο βάθη υποστρώματος 8 cm και 16 cm, είχαν τη μικρότερη διακύμανση θερμοκρασίας υποστρώματος κατά την διάρκεια του εικοσιτετράωρου καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης σε σύγκριση με όλες τις άλλες επεμβάσεις (Διάγρ. 4.2.7, Διάγρ. 4.2.8, Διάγρ. 4.2.9, Διάγρ. 4.2.10).



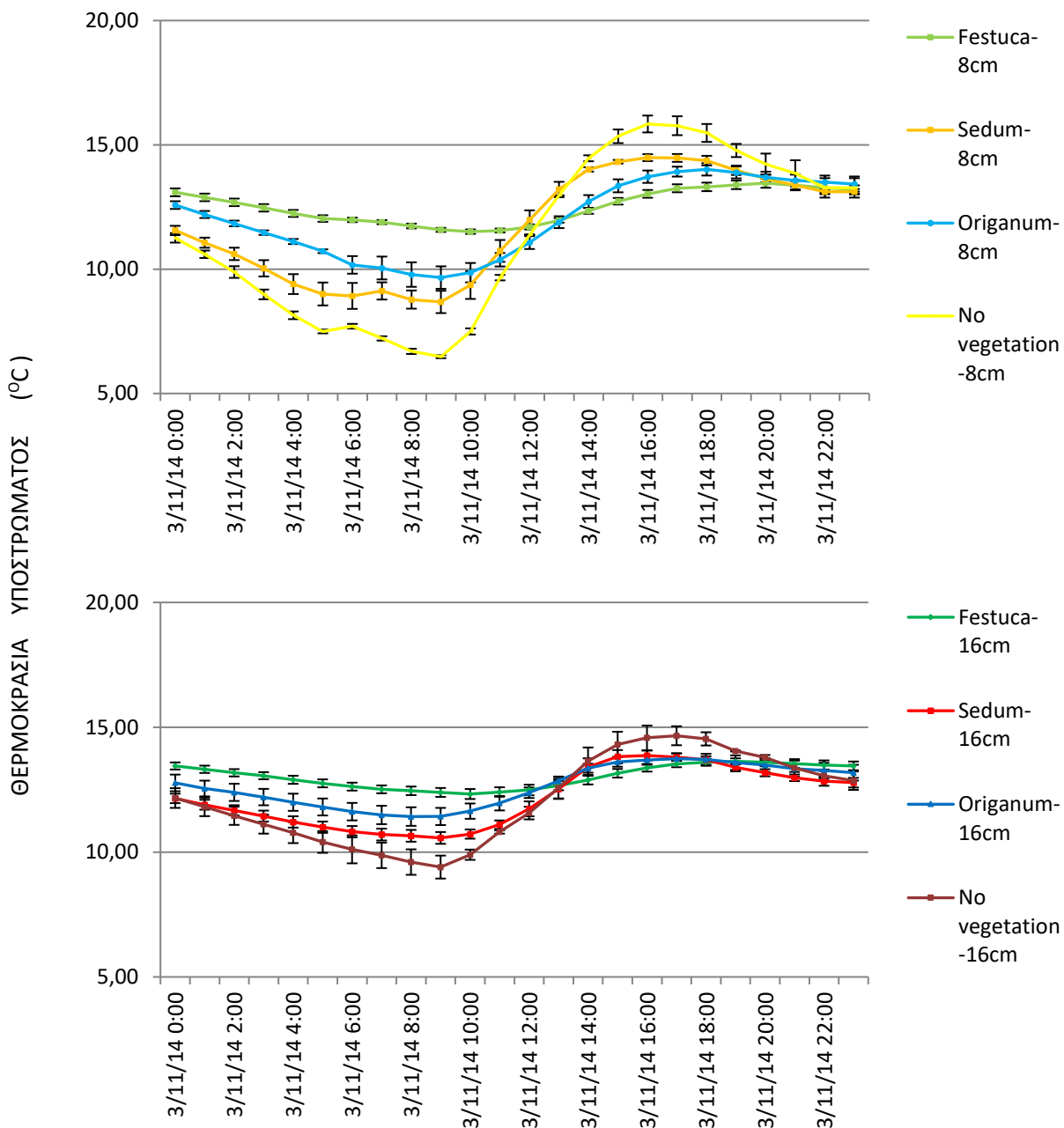
Διάγραμμα 4.2.7. Ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος (3 Αυγούστου 2014), ανάλογα με το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites* και *Sedum sediforme*), την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation) και το βάθος του υποστρώματος (8 cm ή 16 cm). Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2) και οι μπάρες σε κάθε στήλη απεικονίζουν το τυπικό σφάλμα (\pm SE).



Διάγραμμα 4.2.8. Ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος (3 Σεπτεμβρίου 2014), ανάλογα με το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites* και *Sedum sediforme*), την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation) και το βάθος του υποστρώματος (8 cm ή 16 cm). Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2) και οι μπάρες σε κάθε στήλη απεικονίζουν το τυπικό σφάλμα (\pm SE).



Διάγραμμα 4.2.9. Ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος (3 Οκτωβρίου 2014), ανάλογα με το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites* και *Sedum sediforme*), την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation) και το βάθος του υποστρώματος (8 cm ή 16 cm). Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2) και οι μπάρες σε κάθε στήλη απεικονίζουν το τυπικό σφάλμα (\pm SE).



Διάγραμμα 4.2.10. Ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος (3 Νοεμβρίου 2014), ανάλογα με το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites* και *Sedum sediforme*), την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation) και το βάθος του υποστρώματος (8 cm ή 16 cm). Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2) και οι μπάρες σε κάθε στήλη απεικονίζουν το τυπικό σφάλμα (\pm SE).

4.3. Διακύμανση της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας του αέρα

Για τις ανάγκες της μελέτης χρειάστηκαν στοιχεία για τη μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρα. Αυτά καταγράφηκαν και παραχωρήθηκαν από το Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας (Διάγρ. 4.3.1).



Διάγραμμα 4.3.1. Η βροχόπτωση και η μέση ημερήσια διακύμανση θερμοκρασίας του αέρα κατά την περίοδο της μελέτης (Για τη βροχόπτωση, Πηγή: Ένα βροχόμετρο ανατροπής κάδου και δύο κενά λυσίμετρα μάρτυρες. Για τη θερμοκρασία, Πηγή: Εργ. Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας Γ.Π.Α.).

4.4. Έκπλυση Νιτρικών

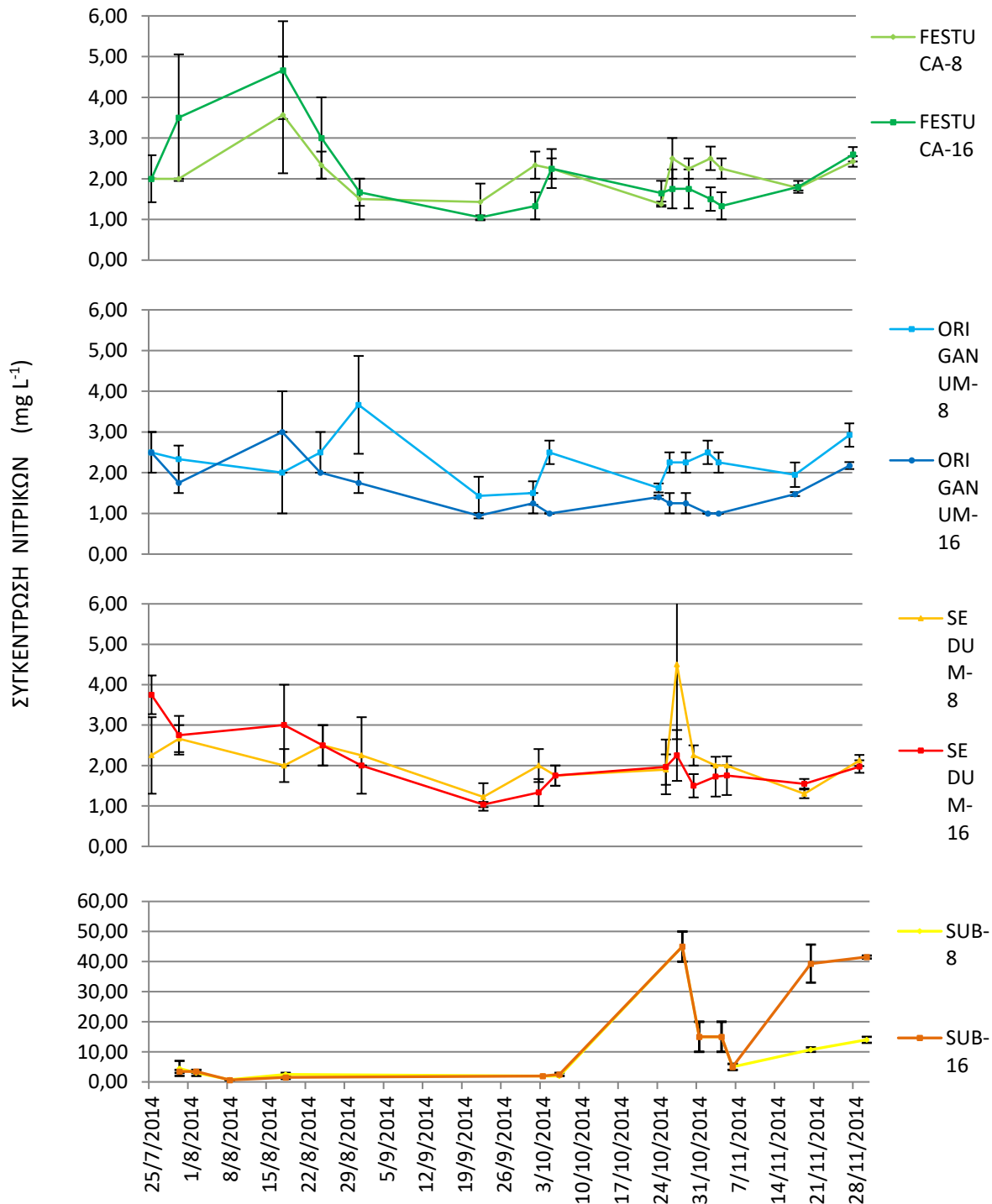
Για τη βέλτιστη κατανόηση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να τονιστεί ότι δεν εφαρμόστηκε καμία μορφή λιπάσματος σε όλη την διάρκεια του πειράματος. Κατά το χρονικό διάστημα διεξαγωγής της συγκεκριμένης μελέτης (25-7-2014 έως 30-11-2014) πραγματοποιήθηκαν 31 δειγματοληψίες που αφορούσαν τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των νιτρικών στο στράγγισμα. Οι δειγματοληψίες διεξάγονταν ανά 3-5 ημέρες, όταν δεν υπήρχαν βροχοπτώσεις, σε αντίθετη περίπτωση 24 ώρες μετά το πέρας της βροχόπτωσης.

Διαπιστώθηκε πως στα αβαθή πειραματικά τεμάχια των 8 cm τα φυτοκαλυμμένα με *F. arundinacea* και *O. onites* εμφάνισαν ορισμένες ημερομηνίες όπου οι τιμές συγκέντρωσης νιτρικών στα δείγματα αποστράγγισης ήταν μεγαλύτερες, σε σύγκριση με τα βαθιά τα οποία είχαν την ίδια φυτοκάλυψη (Διάγρ. 4.4.1). Βρέθηκαν ελάχιστες διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων με διαφορετικό βάθος υποστρώματος και συγκεκριμένα στις 3/10/2014 στις 4/11/2014 και στις 6/11/2014 για τα τεμάχια με το *F. arundinacea*. Αντίθετα, περισσότερες ημερομηνίες δειγματοληψίας εμφάνισαν διαφορές για τα τεμάχια τα φυτοκαλυμμένα με το *O. onites* και συγκεκριμένα στις 1/9/2014, στις 6 - 26 - 28 - 31 /10/2014 και στις 4 - 6 - 20 - 30 /11/2014.

Σε ελάχιστες περιπτώσεις τα βαθιά μη φυτοκαλυμμένα τεμάχια των 16 cm, έδωσαν σημαντικά μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης νιτρικών σε σύγκριση με τα ρηχά μη φυτοκαλυμμένα τεμάχια των 8 cm. Συγκεκριμένα στις 20/11/2014 τα βαθιά μη φυτοκαλυμμένα τεμάχια έδωσαν συγκέντρωση νιτρικών της τάξεως των 39 mg L⁻¹ σε αντίθεση με τα ρηχά που έδωσαν 11 mg L⁻¹ και στις 30/11/2014 τα βαθιά έδωσαν συγκέντρωση νιτρικών της τάξεως των 41 mg L⁻¹, ενώ τα ρηχά έδωσαν 14 mg L⁻¹ (Διάγρ. 4.4.1).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως σε όλες τις δειγματοληψίες των φυτοκαλυμμένων τεμαχίων, είτε υπήρχαν είτε δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων, οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ήταν πολύ χαμηλότερες από το ανώτατο όριο που έχει θεσπίσει το United States Environmental Protection Agency που είναι για το N-NO₃ τα 10 mg L⁻¹ για το πόσιμο

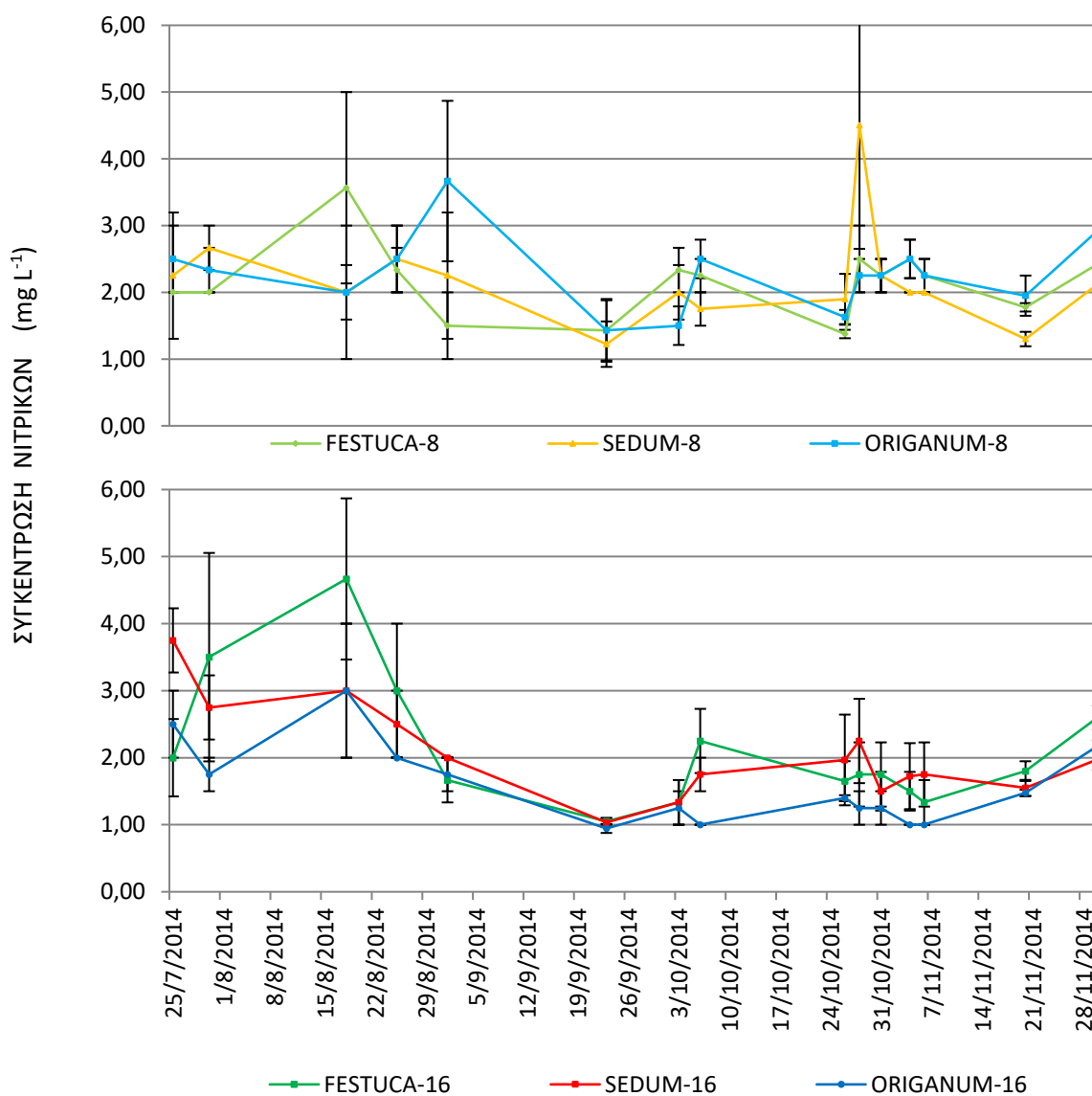
νερό. Το αντίθετο ακριβώς συνέβη στα μη φυτοκαλυμμένα πειραματικά τεμάχια με τις τιμές της έκπλυσης να φτάνουν τα 45 mg L⁻¹.



Διάγραμμα 4.4.1. Διακύμανση της έκπλυσης νιτρικών ανάλογα με το βάθος του υποστρώματος (8 cm ή 16 cm), το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites*, και *Sedum sediforme*) ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation). Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No

vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2) και οι μπάρες σε κάθε στήλη απεικονίζουν το τυπικό σφάλμα $\pm SE$).

Στο Διάγραμμα. 4.4.2 διαπιστώνεται ότι η συγκέντρωση των νιτρικών στα δείγματα αποστράγγισης, ανεξάρτητα από το είδος της φυτοκάλυψης, και στα δύο βάθη υποστρώματος 8 cm και 16 cm, δεν είχε διαφορές, καθώς υπήρχε μεγάλη παραλλακτικότητα και οι τιμές της συγκέντρωσης των νιτρικών ήταν μικρές.



Διάγραμμα 4.4.2. Διακύμανση της έκπλυσης νιτρικών ανάλογα με το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites*, και *Sedum sediforme*) σε συγκεκριμένα βάθη υποστρώματος (8 cm ή 16 cm). Οι τιμές είναι οι μέσοι 4 επαναλήψεων και οι μπάρες σε κάθε στήλη απεικονίζουν το τυπικό σφάλμα $\pm SE$).

5. Συζήτηση

5.1. Υγρασία του υποστρώματος

5.1.1. Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στη μέση ημερήσια υγρασία αυτού

Σε όλη τη διάρκεια της μελέτης η μέση ημερήσια υγρασία του υποστρώματος σε σχέση με το βάθος των 8 cm ή 16 cm παρουσίασε διαφορές μεταξύ των πειραματικών τεμαχίων που είχαν την ίδια φυτοκάλυψη. Αντίθετα στα μη φυτοκαλυμμένα υποστρώματα δεν παρατηρήθηκε αυτό (Διάγρ. 4.1.1).

Πιο συγκεκριμένα συγκρίνοντας, τα δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος παρατηρήθηκε ότι το ρηχό υπόστρωμα είχε την υψηλότερη υγρασία στα τεμάχια με την ίδια φυτοκάλυψη. Αυτή η διαφορά υγρασίας αποδίδεται στη μεγαλύτερη ποσότητα άρδευσης ανά μονάδα όγκου υποστρώματος στα μικρά βάθη σε σύγκριση με τα βαθύτερα. Επιπλέον στα βαθύτερα υποστρώματα παρατηρήθηκε μεγαλύτερη ανάπτυξη των φυτών οπότε είναι φυσικό να αναμένεται μεγαλύτερη διαπνοή σε σύγκριση με τα πιο αβαθή. Αν και στις μετρήσεις της μελέτης δεν υπήρχε ποσοτικοποίηση της ανάπτυξης των φυτών στις διάφορες επεμβάσεις οι επιτόπιες γενικές παρατηρήσεις υποδείκνυαν σημαντική υστέρηση της ανάπτυξης των φυτών στα αβαθή υποστρώματα.

Οι μεγάλες διαφορές στην υγρασία των υποστρωμάτων διαφορετικού βάθους που είναι καλυμμένα με τα *F. arundinacea* και *O. onites* κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού η οποία αμβλύθηκε κατά το φθινόπωρο, μπορεί να αποδοθεί στη διαπνοή που ήταν μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στα βαθιά υποστρώματα σε σύγκριση με τα ρηχά δημιουργώντας μεγάλες διαφορές, ενώ η διαφορά αυτές αμβλύθηκαν κατά το φθινόπωρο καθώς μειώθηκε η ατμοσφαιρική θερμοκρασία (Διάγρ. 4.3.1) και υπήρξαν και βροχοπτώσεις.

Αντίθετα στο *S. sediforme*, παρατηρήθηκε σταθερή διαφορά στην υγρασία μεταξύ των υποστρωμάτων 8 cm και 16 cm σε όλη τη διάρκεια της μελέτης (Διάγρ. 4.1.1). Αυτό μπορεί να αποδοθεί, στη διαπνοή του *S. sediforme*, που επηρεάζεται λιγότερο σε σύγκριση με την διαπνοή των *F. arundinacea* και *O. onites*, από τις

μεταβολές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, καθώς πρόκειται για φυτό μεταβολισμού τύπου Crassullean Acid Metabolism (CAM).

Στα μη φυτοκαλυμμένα υποστρώματα διαφορετικού βάθους, η μεγαλύτερη ποσότητα άρδευσης ανά μονάδα όγκου στα μικρά βάθη σε σύγκριση με τα βαθύτερα, θα μπορούσε να δώσει υψηλότερη υγρασία στα υποστρώματα των 8 cm, όμως πιθανολογείται ότι αυτό εξουδετερώθηκε από τη μεγαλύτερη εξάτμιση που έχουν αυτά σε σύγκριση με εκείνα των 16 cm, με τελικό αποτέλεσμα να μη σημειώνεται διαφορά μέσης ημερήσιας υγρασίας μεταξύ των δύο βαθών των μη φυτοκαλυμμένων υποστρωμάτων (Διάγρ. 4.1.1), επίσης η υγρασία ήταν στην υδατοχωρητικότητα λόγω αρδεύσεων καθώς δεν υπήρχε διαπνοή.

5.1.2. Επίδραση του είδους της φυτοκάλυψης ή της έλλειψης αυτής στη μέση ημερήσια υγρασία του υποστρώματος

Το είδος της φυτοκάλυψης ή η απουσία αυτής επηρέασε τη μέση ημερήσια υγρασία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ενώ οι διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων αμβλύθηκαν κατά το φθινόπωρο (Διάγρ. 4.1.2).

Πιο συγκεκριμένα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού τα μη φυτοκαλυμμένα τεμάχια είχαν υψηλότερη μέση ημερήσια υγρασία από τα φυτοκαλυμμένα και στα δύο βάθη υποστρώματος. Η διαφορά αυτή αμβλύθηκε κατά το φθινόπωρο. Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν μεταξύ φυτοκαλυμμένων και μη φυτοκαλυμμένων οφείλεται στη διαπνοή του φυτικού υλικού καθώς στα μη φυτοκαλυμμένα υπήρχε μόνο η διαδικασία της εξάτμισης. Για το λόγο αυτό το φθινόπωρο, οπότε και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και οι διαπνευστικές ανάγκες μειώνονται, παρατηρήθηκε αύξηση της μέσης ημερήσιας υγρασίας των φυτοκαλυμμένων, η οποία πλησίασε αυτή των μη φυτοκαλυμμένων τεμαχίων.

Παρ' όλα αυτά, διαφορές εντοπίστηκαν και μεταξύ των διαφορετικών ειδών φυτοκάλυψης καθώς τα φυτά τα οποία είχαν μεγάλη διαπνοή (*F. arundinacea* και *O. onites*) είχαν κατά πολύ μικρότερη υγρασία υποστρώματος κατά το θέρος σε σύγκριση με το *S. sediforme* το οποίο είναι παχύφυτο και έχει μεταβολισμό τύπου (CAM). Φυσικά το φαινόμενο αυτό αντιστράφηκε κατά την εξέλιξη του

πειράματοςτο φθινόπωρο οπότε οι θερμοκρασίες μειώνονται (Διάγρ. 4.3.1), επιτρέποντας στη μέση ημερήσια υγρασία των φυτεμένων υποστρωμάτων να αυξάνεται συνεχώς πλησιάζοντας τις τιμές υγρασίας των ακάλυπτων τεμαχίων.

Η ικανότητα του *O. onites* να διαπνέει περισσότερο από το *F. arundinacea* σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν στις αρχές του πειράματος και εφόσον υπάρχει διαθέσιμη υγρασία, είχε σαν αποτέλεσμα χαμηλότερες τιμές μέσης ημερήσιας υγρασίας στο υπόστρωμα του *O. onites* σε σύγκριση με το *F. arundinacea*. Η κατάσταση αυτή μεταβλήθηκε στο χρονικό διάστημα Οκτωβρίου - Νοεμβρίου 2014, καθώς οι τιμές της μέσης ημερήσιας υγρασίας των *O. onites* και *F. arundinacea* εξομοιώθηκαν σταδιακά. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις θερμοκρασίες του περιβάλλοντος οι οποίες μείωσαν τη διαπνοή του *O. Onites* σε μεγαλύτερο βαθμό σε σύγκριση με εκείνη του *F. arundinacea* (Διάγρ. 4.1.2 και Διάγρ. 4.3.1).

5.1.3. Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην ημερήσια διακύμανση της υγρασίας αυτού

Το βάθος του υποστρώματος επηρέασε την υγρασία του υποστρώματος, κατά τη διάρκεια της ημέρας, (Διάγρ. 4.1.3). Παρατηρήθηκε ότι στα αβαθή υποστρώματα η ημερήσια υγρασία υποστρώματος αυξανόταν κατά πολύ περισσότερο σε σύγκριση με τα βαθύτερα. Η αύξηση αυτή ταυτιζόταν με την ώρα της άρδευσης και οφείλεται στο ότι η ίδια ποσότητα νερού εφαρμοζόταν στο μισό όγκο σε σύγκριση με τα υποστρώματα των 16 cm.

Όμως ασφαλή συμπεράσματα είναι δύσκολο να εξαχθούν καθώς όλες οι επεμβάσεις είχαν διαφορετικό σημείο εκκίνησης όσον αφορά την υγρασιακή τους κατάσταση, γεγονός το οποίο προέκυπτε από τη διαφορετική ανάπτυξη του φυτικού υλικού και των εξατμισοδιαπνευστικών αναγκών τους.

5.1.4. Επίδραση του είδους της φυτοκάλυψης ή της έλλειψης αυτής στην ημερήσια διακύμανση της υγρασίας του υποστρώματος

Το είδος της φυτοκάλυψης ή η απουσία αυτής δεν επηρέασε την ημερήσια διακύμανση της υγρασίας των υποστρωμάτων, η οποίασε όλες τις επεμβάσεις είχε παρόμοια αύξηση και μείωση της υγρασίας αλλά εκκινούσαν από διαφορετικά σημεία αρχικής υγρασίας υποστρώματος (Διάγρ. 4.1.7).

Μοναδική εξαίρεση αποτέλεσαν τα φυτοκαλυμμένα με *O. onites* και *F. arundinacea* τεμάχια, στα οποία παρατηρήθηκε ταχύτερη μείωση της υγρασίας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη μεγαλύτερη εξατμισοδιαπνοή των φυτικών αυτών ειδών σε σύγκριση με το *S. sediforme* και τα μη φυτοκαλυμμένα τεμάχια. Οι διαφορές αυτές μεταξύ των επεμβάσεων αμβλύθηκαν κατά το φθινόπωρο καθώς μειώθηκαν και οι εξατμισοδιαπνευστικές ανάγκες των φυτών (Διάγρ. 4.1.7, Διάγρ. 4.1.8, Διάγρ. 4.1.9, Διάγρ. 4.1.10).

5.2. Θερμοκρασία του υποστρώματος

5.2.1. Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στη μέση ημερήσια θερμοκρασία αυτού

Το βάθος του υποστρώματος (Διάγρ. 4.2.1) επηρέασε τη θερμοκρασία αυτού μόνο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και μόνο στα φυτοκαλυμμένα τεμάχια με *F. arundinacea* και *O. onites*. Μικρότερες διαφορές κατά το θέρος παρατηρήθηκαν μεταξύ των θερμοκρασιών υποστρώματος των μη φυτοκαλυμμένων τεμαχίων. Και στις δύο περιπτώσεις τα βαθύτερα υποστρώματα εμφάνισαν θερμοκρασίες οι οποίες ήταν υψηλότερες κατά 1,2-2 °C, ανάλογα με την επέμβαση (*F. arundinacea* 1,7 °C, *O. onites* 2 °C, μη φυτοκαλυμμένα 1,2 °C). Οι διαφορές αυτές θα μπορούσαν να αποδοθούν στην αυξημένη υγρασία, των ρηχών υποστρωμάτων την αντίστοιχη περίοδο σε σύγκριση με τα βαθύτερα (Διάγρ. 4.1.1) η οποία αυξάνει τη θερμοχωρητικότητα του πορώδους μέσου εν προκειμένω του υποστρώματος (Tsiotsiourou et al., 2003).

Αντίθετα, θερμοκρασιακές διαφορές υποστρώματος μεταξύ των ρηχών και βαθύτερων υποστρωμάτων δεν παρατηρήθηκαν για τη φυτοκάλυψη με *S. sediforme*, ενώ στα μη φυτοκαλυμμένα τεμάχια η υγρασιακή κατάσταση ήταν παρόμοια (Διάγρ. 4.1.1). Ως εκ τούτου συνάγεται το συμπέρασμα ότι πιθανόν υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επιδρούν στην θερμοκρασία του υποστρώματος. Αν και υπήρχε η ίδια τάση και για τα φυτά *S. sediforme* οι διαφορές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές. Πιθανολογείται ότι, για τα φυτά *S. sediforme*, η θερμοκρασία του υποστρώματος μπορεί να είναι συνισταμένη και άλλων παραγόντων όπως είναι για παράδειγμα η σκίαση. Με δεδομένο ότι η ανάπτυξη των φυτών στο βάθος των 16 cm ήταν κατά πολύ μεγαλύτερη σε σύγκριση με αυτό των 8 cm, πιθανολογείται ότι η κόμη των φυτών μετρίασε την αύξηση της θερμοκρασίας στο συγκεκριμένο είδος φυτοκάλυψης.

Στα μη φυτοκαλυμμένα τεμάχια οι θερμοκρασιακές διαφορές ήταν παρόμοιες με αυτές των *S. sediforme* αλλά αποδείχθηκε πως ήταν στατιστικά σημαντικές. Στην περίπτωση αυτή καθώς δεν υπεισέρχονται έτεροι παράγοντες όπως είναι η σκίαση

και η διαπνοή, η αύξηση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας οφείλεται στη μικρότερη υγρασία του υποστρώματος και άρα στη μικρότερη θερμοχωρητικότητα του υλικού η οποία οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας του (Tsiotsioroulou et al., 2003). Όλες οι παραπάνω διαφορές αμβλύνθηκαν και εξαλείφθηκαν μετά το τέλος Σεπτεμβρίου 2014, καθώς η υγρασιακή κατάσταση μεταξύ των υποστρωμάτων των επεμβάσεων εξομοιώθηκε λόγω μείωσης των θερμοκρασιών περιβάλλοντος, της διαπνοής και της ύπαρξης βροχοπτώσεων (Διάγρ. 4.3.1).

5.2.2. Επίδραση του είδους της φυτοκάλυψης ή της έλλειψης αυτής στη μέση ημερήσια θερμοκρασία του υποστρώματος

Το είδος της φυτοκάλυψης ή η απουσία αυτής επηρέασαν με παρόμοιο τρόπο τη μέση ημερήσια θερμοκρασία μεταξύ των επεμβάσεων στα 8 cm και στα 16 cm (Διάγρ. 4.2.2).

Η πορεία των μη φυτοκαλυμμένων τεμαχίων και αυτών με φυτοκάλυψη *S. sediforme* ταυτίζονται πιθανόν διότι έχουν αυξημένη υγρασία οπότε και η θερμοχωρητικότητα του υποστρώματος θα ήταν παρόμοια. Επιπλέον τα παχύφυτα δεν εμφανίζουν διαπνοή κατά τη διάρκεια της ημέρας οπότε η ψύξη αναμένεται να είναι ελάχιστη (Διάγρ. 4.1.2).

Το *F. arundinacea* εμφανίζεται σε ορισμένες ημερομηνίες τόσο στα 8 cm όσο και στα 16 cm να έχει υψηλότερη μέση ημερήσια θερμοκρασία σε σύγκριση με τις άλλες επεμβάσεις. Οι ημερομηνίες αυτές όλες ταυτίζονται με πτώση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος (Διάγρ. 4.2.2 και 4.3.1) υποδεικνύοντας ότι στα τεμάχια με χλοοτάπητα η θερμοκρασία υποστρώματος μειωνόταν με μικρότερη ταχύτητα σε σχέση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις. Η μειωμένη ταχύτητα απώλειας θερμοκρασίας σε περιόδους όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος μειωνόταν οφείλεται στην πλήρη κάλυψη του υποστρώματος από το χλοοτάπητα σε αντίθεση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις όπου το σύνολο του υποστρώματος (μη φυτοκαλυμμένα) ή τμήμα αυτού (*O. onites* και *S. sediforme*) δεν καλύπτεται από φυτικό υλικό και άρα αντανακλά ευκολότερα τη θερμότητα του υποστρώματος προς το περιβάλλον.

Τα ευρήματα αυτά είναι σύμφωνα με την αναφορά των Heim and Lundholm (2014) οι οποίοι διαπίστωσαν ότι, φυτοκαλυμμένα τεμάχια πλήρως καλυμμένα με δύο είδη λειχήνας, τα *Cladonia terranova* και *C. boryi* τον Ιούλιο και τον Αύγουστο του 2012 είχαν σημαντικά χαμηλότερη θερμοκρασία υποστρώματος σε σύγκριση με τα μη φυτοκαλυμμένα. Αντίθετα, το Σεπτέμβριο, δεν υπήρχε σημαντική διαφορά στη θερμοκρασία υποστρώματος μεταξύ των φυτοκαλυμμένων τεμαχίων με *Cladonia* και των μη φυτοκαλυμμένων. ενώ τον Οκτώβριο, τα τεμάχια με *Cladonia* είχαν σημαντικά υψηλότερες θερμοκρασίες υποστρώματος από τα μη φυτοκαλυμμένα.

Ακόμα, η παραπάνω διαπίστωση συνηγορείται από τα ευρήματα της παρούσας μελέτης καθώς η ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος (Διάγρ. 4.2.7) του *F. arundinacea* είχε την ελάχιστη ημερήσια διακύμανση σε σύγκριση με όλες τις άλλες επεμβάσεις.

5.2.3. Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας αυτού

Το βάθος του υποστρώματος επηρέασε σημαντικά την ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος. Σε κάθε επέμβαση τα ρηχά υποστρώματα των 8 cm εμφάνισαν μεγαλύτερες διακυμάνσεις θερμοκρασίας, ανεξάρτητα από το είδος της φυτοκάλυψης ή της απουσίας της (Διάγρ. 4.2.3, Πίν. 5.1). Τα ευρήματα αυτά είναι σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Bouma et al. (1997) και Prasad et al. (2000) οι οποίοι ανέφεραν ότι κατά τη διάρκεια μίας καλλιεργητικής περιόδου, είναι πιθανόν σε ρηχά υποστρώματα να παρατηρηθούν χαμηλότερες και υψηλότερες θερμοκρασίες, που με τη σειρά τους, θα επηρεάσουν την ανάπτυξη των φυτών. Σε αντίστοιχα αποτελέσματα είχαν οδηγηθεί και οι Boivin et al. (2001) και Fassman et al. (2010) οι οποίοι ανέφεραν ότι τα ρηχά υποστρώματα σε φυτεμένο δώμα εκτατικού τύπου υπόκεινται σε μεγαλύτερες διακυμάνσεις θερμοκρασίας σε σύγκριση με τα βαθύτερα υποστρώματα, έχοντας ως συνέπεια την καταπόνηση των φυτών σε αυτά και ίσως των δομικών στοιχείων της οροφής.

Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι, η μέση θερμοκρασία υποστρώματος αν και ενδεικτική μπορεί να παραπλανεί καθώς δεν είναι αναγνωρίσιμο το εύρος της θερμοκρασιακής διακύμανσης. Έτσι για παράδειγμα σε μία μέση θερμοκρασία μπορεί να αντιστοιχούν δύο ή και παραπάνω διαφορετικές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις μία της τάξεως των $\pm 15^{\circ}\text{C}$ άλλη της τάξεως των $\pm 1^{\circ}\text{C}$ κ.ο.κ.

Η μεγαλύτερη διακύμανση της θερμοκρασίας στα ρηχά υποστρώματα των 8 cm, (Διάγρ. 4.2.3, Διάγρ. 4.2.4, Διάγρ. 4.2.5, Διάγρ. 4.2.6, και Πίν. 5.1) αποδίδεται στο μικρότερο όγκο ο οποίος θερμαίνεται και ψύχεται ταχύτερα σε σύγκριση με μεγαλύτερους όγκους. Επιπλέον η υγρασία αναμένεται να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο καθώς αυξάνει τη θερμοχωρητικότητα του πορώδους μέσου και οι θερμοκρασιακές αλλαγές γίνονται αντιληπτές με βραδύτερο ρυθμό (Διάγρ. 4.2.3). Μάλιστα οι μεγαλύτερες διαφορές υγρασίας μεταξύ των δυο βαθών υποστρώματος, καταγράφηκαν 2-3 ώρες μετά την πρωινή άρδευση (Διάγρ. 4.1.3, Διάγρ. 4.1.4, Διάγρ. 4.1.5, Διάγρ. 4.1.6) οπότεν μεγιστοποιούνταν και οι θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ των δυο βαθών υποστρώματος (Διάγρ. 4.2.3, Διάγρ. 4.2.4, Διάγρ. 4.2.5, Διάγρ. 4.2.6).

Πίνακας 5.1. Διακύμανση ημερήσιας θερμοκρασίας υποστρώματος ανάλογα με το βάθος του (8 cm ή 16 cm), το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites* και *Sedum sediforme*), ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation). Παρατίθεται επίσης η διαφορά διακύμανσης της θερμοκρασίας(°C) μεταξύ των δύο βαθών υποστρώματος 8cm και 16cm.

	Διακύμανση θερμοκρασίας (°C) υποστρώματος στις 3/8/2014	Διαφορά διακύμανσης θερμοκρασίας (°C) στις 3/8/2014	Διακύμανση θερμοκρασίας (°C) υποστρώματος στις 3/9/2014	Διαφορά διακύμανσης θερμοκρασίας (°C) στις 3/9/2014	Διακύμανση θερμοκρασίας (°C) υποστρώματος στις 3/10/2014	Διαφορά διακύμανσης θερμοκρασίας (°C) στις 3/10/2014	Διακύμανση θερμοκρασίας (°C) υποστρώματος στις 3/11/2014	Διαφορά διακύμανσης θερμοκρασίας (°C) στις 3/11/2014
Festuca-8cm	4,9	1,9	3,3	1,2	1,4	0,5	2,0	0,6
Festuca-16cm	3,0		2,1		0,9		1,3	
Origanum-8cm	9,7	4,2	5,8	2,1	3,3	1,1	4,4	2,0
Origanum-16cm	5,5		3,7		2,2		2,3	
Sedum-8cm	14,1	3,6	10,7	2,3	5,5	1,6	5,8	2,5
Sedum-16cm	10,5		8,4		3,8		3,3	
No vegetation-8cm	14,6	5,2	11,6	3,8	6,9	2,5	9,4	4,1
No vegetation-16cm	9,4		7,8		4,4		5,3	

Η θερμοκρασιακή διακύμανση του υποστρώματος, κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να πάρει μεγάλες τιμές, με μέγιστες και ελάχιστες κορυφές σε ένα τέτοιο εύρος που είναι δυνατόν να επηρεάσουν τα φυτά, τα υλικά του φυτοδώματος, τα μονωτικά υλικά του κτιρίου και τους ανθρώπους που το χρησιμοποιούν.

Από τον Πίνακα 5.2 διαπιστώνεται ότι το βάθος του υποστρώματος δεν διαφοροποίησε τις μέγιστες θερμοκρασίες μεταξύ των ρηχών και βαθύτερων υποστρωμάτων, των φυτοκαλυμμένων με το *F. arundinacea*, καθ όλη την διάρκεια του πειράματος. Αν και η υγρασία των ρηχών υποστρωμάτων ήταν μεγαλύτερη από εκείνη των βαθύτερων, πιθανολογείται ότι η ολική κάλυψη των υποστρωμάτων με το *F. arundinacea*, είχε σαν αποτέλεσμα την εξίσωση των μέγιστων θερμοκρασιών (Πίν. 5.2).

Αντίστοιχη συμπεριφορά με τα υποστρώματα τα φυτοκαλυμμένα με το *F. arundinacea*, επέδειξαν και εκείνα με το *O. onites* εκτός από τον Αύγουστο κατά τον οποίο παρατηρήθηκε διαφορά στις μέγιστες θερμοκρασίες μεταξύ των δύο βαθών υποστρώματος της τάξεως των 0,9 °C (Πίν. 5.2) με το ρηχό να παρουσιάζει υψηλότερη θερμοκρασία από το βαθύ υπόστρωμα. Αν και η υγρασία των ρηχών υποστρωμάτων ήταν μεγαλύτερη από εκείνη των βαθύτερων, πιθανολογείται ότι η μικρότερη φυτοκάλυψη αυτών οδήγησε σε αυτό το αποτέλεσμα.

Οι μεγάλες διαφορές στις μέγιστες θερμοκρασίες μεταξύ των διαφορετικού βάθους υποστρωμάτων των φυτοκαλυμμένων με το *S. sediforme*, ήταν της τάξεως των 2 °C κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και που μειώθηκαν σε 0,5 °C το φθινόπωρο, πάντα με τα ρηχά υποστρώματα να εμφανίζουν υψηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τα βαθιιά.

Τα ρηχά μη φυτοκαλυμμένα υποστρώματα παρουσίασαν μεγαλύτερες μέγιστες θερμοκρασίες, (Διάγρ. 4.2.3, Διάγρ. 4.2.4, Διάγρ. 4.2.5, Διάγρ. 4.2.6, και Πίν. 5.2.) ενώ είχαν την ίδια υγρασία με τα βαθύτερα υποστρώματα, (Διάγρ. 4.1.3, Διάγρ. 4.1.4, Διάγρ. 4.1.5, Διάγρ. 4.1.6). Αυτό πιθανόν να οφείλεται, στο μισό όγκο που διαθέτουν τα ρηχά σε σύγκριση με τα βαθύτερα, αν και δέχονται τις ίδιες θερμικές προσόδους με αυτά. Η επίδραση αυτή αμβλύθηκε κατά το φθινόπωρο με την πτώση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος (Διάγρ. 4.3.1).

Πίνακας 5.2. Μέγιστες τιμές θερμοκρασίας υποστρώματος και η διαφορά μεταξύ των μέγιστων τιμών της θερμοκρασίας (°C) ανάλογα με το βάθος του (8 cm ή 16 cm), το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites* και *Sedum sediforme*), ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation). Οι τιμές είναι οι μέσοι (\pm SE) 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2).

Species Depth	Max (°C) 3/8/2014 (S.E.)	3/8/2014 Διαφορά Max (°C)	Max (°C) 3/9/2014 (S.E.)	3/9/2014 Διαφορά Max (°C)	Max (°C) 3/10/2014 (S.E.)	3/10/2014 Διαφορά Max (°C)	Max (°C) 3/11/2014 (S.E.)	3/11/2014 Διαφορά Max (°C)
Festuca 8 cm	29,81 ($\pm 0,09$)	0,3	27,81 ($\pm 0,22$)	0,16	19,62 ($\pm 0,19$)	-0,13	13,48 ($\pm 0,19$)	-0,15
Festuca 16 cm	29,54 ($\pm 0,24$)		27,65 ($\pm 0,45$)		19,75 ($\pm 0,16$)		13,63 ($\pm 0,12$)	
Origanum 8 cm	31,81 ($\pm 0,29$)	0,94	28,75 ($\pm 0,27$)	-0,06	20,22 ($\pm 0,20$)	-0,18	14,02 ($\pm 0,25$)	0,27
Origanum 16 cm	30,87 ($\pm 0,52$)		28,81 ($\pm 0,57$)		20,4 ($\pm 0,24$)		13,75 ($\pm 0,21$)	
Sedum 8 cm	35,88 ($\pm 0,58$)	1,94	33,12 ($\pm 0,38$)	1,06	21,94 ($\pm 0,14$)	0,5	14,52 ($\pm 0,13$)	0,57
Sedum 16 cm	33,94 ($\pm 0,71$)		32,06 ($\pm 0,60$)		21,44 ($\pm 0,57$)		13,95 ($\pm 0,22$)	
No vegetation 8 cm	35,84 ($\pm 0,33$)	2,80	33,58 ($\pm 0,26$)	2,2	22,6 ($\pm 0,24$)	0,74	15,84 ($\pm 0,34$)	1,16
No vegetation 16 cm	33,04 ($\pm 0,52$)		31,38 ($\pm 0,55$)		21,86 ($\pm 0,42$)		14,68 ($\pm 0,39$)	

Στο Πίνακα 5.2 ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν, το καλοκαίρι, οι διαφορές των μέγιστων αυτών θερμοκρασιών. Στα ρηχά υποστρώματα, τα φυτοκαλυμμένα με *S. sediforme* και τα μη φυτοκαλυμμένα, καταγράφηκαν θερμοκρασίες 2-3 °C υψηλότερες από τα αντίστοιχα βαθύτερα υποστρώματα (3/8/14).

Από τον πίνακα 5.3 διαπιστώνεται ότι το βάθος του υποστρώματος διαφοροποίησε και τις ελάχιστες θερμοκρασίες μεταξύ των ρηχών και βαθύτερων υποστρωμάτων. Στα ρηχά υποστρώματα παρουσιάζονται οι χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας, καθ' όλη την διάρκεια της μελέτης, για όλες τις επεμβάσεις, ανεξάρτητα του είδους της φυτοκάλυψης ή της απουσίας της. Οι χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας των ρηχών υποστρωμάτων συνεχώς λαμβάνουν και μικρότερες τιμές καθώς πηγαίνουμε προς το φθινόπωρο.

Πίνακας 5.3. Ελάχιστες τιμές θερμοκρασίας υποστρώματος και η διαφορά μεταξύ των ελάχιστων τιμών της θερμοκρασίας (°C) ανάλογα με το βάθος του (8 cm ή 16 cm), το είδος της φυτοκάλυψης (*Festuca arundinacea*, *Origanum onites* και *Sedum sediforme*), ή την απουσία φυτοκάλυψης (No vegetation). Οι τιμές είναι οι μέσοι (\pm SE) 4 επαναλήψεων (εκτός από την επέμβαση No vegetation όπου οι επαναλήψεις είναι 2).

Species Depth	Min (°C) 3/8/2014 (S.E.)	Διαφορά Min (°C) 3/8/2014	Min (°C) 3/9/2014 (S.E.)	Διαφορά Min (°C) 3/9/2014	Min (°C) 3/10/2014 (S.E.)	Διαφορά Min (°C) 3/10/2014	Min (°C) 3/11/2014 (S.E.)	Διαφορά Min (°C) 3/11/2014
Festuca 8 cm	24,91 (\pm 0,15)	1,62	24,5 (\pm 0,19)	1,01	18,2 (\pm 0,13)	0,64	11,51 (\pm 0,09)	0,82
Festuca 16 cm	26,53 (\pm 0,15)		25,51 (\pm 0,31)		18,84 (\pm 0,22)		12,33 (\pm 0,20)	
Origanum 8 cm	22,09 (\pm 0,25)	3,02	22,92 (\pm 0,16)	2,1	16,9 (\pm 0,16)	1,21	9,66 (\pm 0,45)	1,75
Origanum 16 cm	25,11 (\pm 0,22)		25,02 (\pm 0,31)		18,11 (\pm 0,13)		11,41 (\pm 0,36)	
Sedum 8 cm	21,74 (\pm 0,15)	1,68	22,38 (\pm 0,17)	1,27	16,43 (\pm 0,12)	1,1	8,59 (\pm 0,41)	1,98
Sedum 16 cm	23,42 (\pm 0,23)		23,65 (\pm 0,19)		17,53 (\pm 0,19)		10,57 (\pm 0,24)	
No vegetation 8 cm	21,24 (\pm 0,16)	2,34	21,99 (\pm 0,20)	1,62	15,71 (\pm 0,06)	1,71	6,48 (\pm 0,06)	2,92
No vegetation 16 cm	23,58 (\pm 0,24)		23,61 (\pm 0,19)		17,42 (\pm 0,23)		9,4 (\pm 0,46)	

Στον Πίνακα 5.3 ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν, το φθινόπωρο, οι διαφορές των ελάχιστων θερμοκρασιών καθώς στα ρηχά υποστρώματα, τα φυτοκαλυμμένα με *S. sediforme* και τα μη φυτοκαλυμμένα, καταγράφηκαν θερμοκρασίες 2-3 °C χαμηλότερες από τα αντίστοιχα βαθειά (3/11/14).

Οι διαφορές των μέγιστων αλλά και των ελάχιστων θερμοκρασιών μεταξύ των υποστρωμάτων διαφορετικού βάθους (8 cm ή 16 cm) είχαν σαν αποτέλεσμα: Α) Το καλοκαίρι, στις 3/8/14, στα ρηγά υποστρώματα τα φυτοκαλυμμένα με το *S. sediforme* να παρατηρούνται υψηλές θερμοκρασίες που φτάνουν τους 35,9 °C και στα μη φυτοκαλυμμένα τους 35,8 °C (Πίν. 5.2). Β) Το φθινόπωρο, στις 3/11/14, να παρατηρούνται χαμηλές θερμοκρασίες που φτάνουν τους 8,6 °C για το *S. sediforme* και τους 6,5 °C για τα μη φυτοκαλυμμένα (Πίν. 5.3). Οι υψηλές και χαμηλές αυτές θερμοκρασίες είναι πιθανόν να δημιουργούν αυξημένες ανάγκες ενέργειας για φύξη και θέρμανση του κτηρίου και μάλιστα τις ώρες αιχμής της λειτουργίας των κλιματιστικών.

Είναι γνωστό ότι οι πράσινες στέγες μπορούν να έχουν θετικές θερμικές επιδράσεις για τα κτίρια μειώνοντας τη θερμοκρασία των εκτεθειμένων επιφανειών και το επίπεδο των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας τόσο στο εσωτερικό του υποστρώματος όσο και στη διεπιφάνεια της πράσινης στέγης με την επιφάνεια της αρχικής στέγης (Liu and Baskaran, 2003). Ακόμα οι Kotsiris and Androutsopoulos (2008) ερευνώντας την επίδραση ενός φυτεμένου δώματος, εκτατικού τύπου, ανέφεραν ότι σε ένα επαρκώς μονωμένο δώμα βρήκαν διαφορά θερμοκρασίας οροφής 2 °C κατά μέσο όρο παρά την καλή μόνωση του δώματος.

Η θερμοκρασία οροφής εμπλέκεται στον δείκτη θερμικής άνεσης (Predicted Mean Vote-PMV) που σχετίζεται με την επίτευξη της θερμικής άνεσης των χρηστών του κτιρίου, η οποία μεταφράζεται σε κατανάλωση ενέργειας για κλιματισμό. Από τα παραπάνω, είναι φανερό πως οι διαφορές θερμοκρασίας του υποστρώματος, που όπως εδώ, μπορεί να οφείλονται στο βάθος του αλλά και το είδος της φυτοκάλυψης (Πίν. 5.1, 5.2 και 5.3), εκτός όλων των άλλων, μπορεί να επηρεάζουν έμμεσα και τους χρήστες του κτιρίου.

5.2.4. Επίδραση του είδους της φυτοκάλυψης ή της έλλειψης αυτής στην ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του υποστρώματος.

Το είδος της φυτοκάλυψης επηρέασε την ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας. Η μέγιστη θερμοκρασιακή διακύμανση υποστρώματος

παρατηρήθηκε από τη φυτοκάλυψη με το *S. sediforme* ίση με 14,1 °C ενώ ενδιάμεση διακύμανση παρατηρήθηκε με το *O. onites* ίση με 9,7 °C και ελάχιστη με το *F. arundinacea* ίση με 4,9 °C (Πίν. 5.1). Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν κατά τον Αύγουστο 2014, δεν μπορούν να εξηγηθούν μόνο με την υγρασιακή κατάσταση του υποστρώματος καθώς το *S. sediforme* είχε τη μέγιστη υγρασία (42,1 %) και το *O. onites* την ελάχιστη (ίση με 28,3 %) (Διάγρ. 4.1.7). Ως εκ τούτου η ημερήσια θερμοκρασιακή διακύμανση οφείλεται σε συνδυασμό πολλαπλών παραγόντων όπως είναι η υγρασία του υποστρώματος, το είδος της φυτοκάλυψης, και αναμενόμενη διαπνοή, η πλήρης ή μερική κάλυψη του εδάφους από τα φυτά, οι οποίοι φαίνεται να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο

Οι Wong et al. (2003) ανέφεραν ότι μια καλή φύτευση με υψηλό LAI (δείκτης επιφάνειας φύλλων) μειώνει δραστικά έως και μηδενίζει τις θερμικές προσόδους. Άλλωστε στο πόσο σημαντική είναι η επίδραση της ολικής ή μερικής φυτοκάλυψης του εδάφους, στη μέγιστη θερμοκρασία στην επιφάνεια του υποστρώματος, αναφέρεται και η Kanellorouli (2008) που για την Αθήνα (ζεστό και ξηρό κλίμα), μία ημέρα που η θερμοκρασία περιβάλλοντος έφτασε τους 30 °C, βρήκε ότι σε φυτεμένα δώματα με φυτά με LAI = 5 η μέγιστη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας ήταν 24,8 °C, ενώ σε φυτεμένα δώματα με φυτά με LAI = 2 η μέγιστη θερμοκρασία ήταν 26 °C.

Το μεγαλύτερο εύρος διακύμανσης της ημερήσιας θερμοκρασίας των μη φυτοκαλυμμένων υποστρωμάτων μπορεί να αποδοθεί στην ολοκληρωτική έλλειψη φυτοκάλυψης και της αντίστοιχης σκίασης που τα χαρακτηρίζει, και τους επιτρέπει μεγαλύτερες εκροές θερμότητας τη νύκτα και υψηλότερες εισροές την ημέρα, σε σύγκριση με τα φυτοκαλυμμένα τεμάχια. Μοναδική εξαίρεση για τα μη φυτοκαλυμμένα τεμάχια βάθους 16 cm αποτέλεσε ο Αύγουστος και ο Σεπτέμβριος 2014, οπότε και εμφάνισαν μικρότερη διακύμανση ημερήσιας θερμοκρασίας του υποστρώματος σε σύγκριση με τα φυτοκαλυμμένα με *S. sediforme* τεμάχια βάθους 16 cm.

Τα αποτελέσματα αυτά δεν συμφωνούν απόλυτα με αυτά των Niachou et al. (2001) και Liu and Baskaran (2003) που επισημαίνουν ότι η παρουσία βλάστησης στα φυτεμένα δώματα προκαλεί μια σαφή μείωση της μεταβολής της θερμοκρασίας στο υπόστρωμα. Ακόμα οι Clay et al. (2012) ανέφεραν ότι η

βλάστηση σε μία πράσινη στέγη μπορεί να μειώσει την διακύμανση της θερμοκρασίας μέσα στο υπόστρωμα, εκτιμώντας μία μείωση της διακύμανσης κατά ~ 35%, στη δική τους μελέτη.

5.3. Έκπλυση Νιτρικών

5.3.1. Επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην έκπλυση νιτρικών

Η έκπλυση των νιτρικών από τα φυτοκαλυμμένα ρηχά υποστρώματα με το *F. arundinacea* και το *O. onites* είχε ορισμένες φορές σημαντικά μεγαλύτερες τιμές NO_3^- από τα βαθειά με την ίδια φυτοκάλυψη (Διάγρ. 4.4.1). Αυτή η μείωση στα επίπεδα της έκπλυσης των νιτρικών όσο αυξάνεται το βάθος θα μπορούσε να οφείλεται, στην καλύτερη ανάπτυξη των φυτών που παρατηρήθηκε ότι υπήρχε στα βαθειά υποστρώματα και την αντίστοιχη βελτίωση στην απορρόφηση του αζώτου.

Τα αποτελέσματα αυτά συμπίπτουν με εκείνα των Monterusso et al. (2004) που μελετώντας την απορροή από τις πράσινες στέγες βρήκαν ότι τα επίπεδα συγκέντρωσης των νιτρικών ήταν υψηλότερα στα πιο αβαθή υποστρώματα. Στα ίδια αποτελέσματα οδηγήθηκε και ο Woods (2010) που βρήκε ότι οι συγκεντρώσεις νιτρικών στην απορροή του νερού από τα φυτεμένα δώματα, ήταν μεγαλύτερες στα ρηχά υποστρώματα και σταδιακά μειώνονταν, όσο το βάθος των μέσων ανάπτυξης αυξάνεται.

Αντίθετα με την περίπτωση των φυτοκαλυμμένων τεμαχίων στα μη φυτοκαλυμμένα τεμάχια παρατηρήθηκαν σε ελάχιστες περιπτώσεις πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις νιτρικών στα βαθειά υποστρώματα σε σύγκριση με τα ρηχά, (Διάγρ. 4.4.1).

Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της έρευνας των Morgan et al. (2011) που βρήκαν ότι σε μη φυτοκαλυμμένα δώματα, η επίδραση του βάθους των μέσων ανάπτυξης, ήταν πολύ μικρότερη στην απορροή των νιτρικών, σε σύγκριση με εκείνη στα φυτεμένα δώματα. Η διαφορά όμως αυτή, πιθανά οφείλεται, στη συνεχή λίπανση που δεχόντουσαν τα δικά τους πειραματικά τεμάχια, σε αντίθεση με τα δικά μας που δεν εδέχθησαν καμία λίπανση.

Οι μεγαλύτερες τιμές στα επίπεδα της έκπλυσης των νιτρικών από τα μη φυτοκαλυμμένα βαθύτερα υποστρώματα των 16 cm θα μπορούσε να οφείλεται, στη μεγαλύτερη ποσότητα νιτρικών που υπάρχουν σε αυτά, λόγω του μεγαλύτερου όγκου που έχουν. Έτσι μετά από τη μεγάλη έκπλυση στις 28/10/2014 της τάξεως

των 45 mg L⁻¹ και τις δύο μικρότερες εκπλύσεις στις 31/10/2014 και στις 4/11/2014 της τάξεως των 15 mg L⁻¹ που παρατηρήθηκαν και στα δύο βάθη υποστρώματος, το πιθανότερο είναι ότι το ρηχό υπόστρωμα των 8 cm είχε χάσει το μεγαλύτερο μέρος των νιτρικών και έδινε πλέον εκπλύσεις με πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις από εκείνες των βαθύτερων υποστρωμάτων των 16 cm.

Η μεγαλύτερη τιμή συγκέντρωσης νιτρικών στην απορροή του *Sedum sediforme* των 8 cm την 28/10/2014 και οι πολύ μεγάλες εκπλύσεις των μη φυτοκαλυμμένων δωματίων την 28/10/2014 της τάξεως των 45 mg L⁻¹ και τις δύο μικρότερες εκπλύσεις στις 31/10/2014 και 4/11/2014 της τάξεως των 15 mg L⁻¹ που παρατηρήθηκαν και στα δύο βάθη υποστρώματος μπορεί να αποδοθούν στις έντονες βροχοπτώσεις που προηγήθηκαν την 23/10/2014 με ύψος 5mm βροχής και την 24/10/2014 με ύψος 35mm βροχής. Σύμφωνα με τους Branham et al. (1995) η υψηλή άρδευση ή βροχόπτωση σε συνδυασμό με ένα μεγάλο πορώδες οδηγεί το επιφανειακό νερό σε βαθύτερα εδαφικά στρώματα. Η ύπαρξη λοιπόν νιτρικών στους μακροπόρους που θα οδηγηθούν και αυτά μαζί με το νερό βαθύτερα στο έδαφος, έχει ως αποτέλεσμα την ευκολότερη και ταχύτερη από το κανονικό έκπλυση τους.

5.3.2. Επίδραση του είδους της φυτοκάλυψης στην έκπλυση των νιτρικών

Το είδος της φυτοκάλυψης, (*F. arundinacea* *O. onites*, *S. sediforme*) δεν επηρέασε την έκπλυση των νιτρικών και στα δύο βάθη υποστρώματος (8 cm ή 16 cm), (Διάγρ. 4.4.2).

Αν και υπάρχουν σε κάποιες δειγματοληψίες, σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών των εκπλύσεων των νιτρικών μεταξύ των διαφορετικών ειδών, η συνολική εικόνα του Διαγράμματος 4.4.2 φανερώνει ότι τα συγκεκριμένα φυτοκαλυμμένα πειραματικά τεμάχια, που προσομοιάζουν με φυτοδώμα εκτατικού τύπου και δεν έχουν δεχθεί λίπανση, δίνουν απορροές με τιμές νιτρικών που τις λίγες φορές που διαφέρουν σημαντικά, η διαφορά τους δεν ξεπερνά το 1-1,5 mg L⁻¹. Η ομοιότητα στις τιμές της έκπλυσης των νιτρικών μεταξύ των διαφορετικών ειδών

της φυτοκάλυψης και ιδιαίτερα η πολύ χαμηλότερη από τα 10 mg L⁻¹, μπορεί να αποδοθεί στην απορρόφηση των νιτρικών από τα φυτά προκειμένου να καλύψουν τις θρεπτικές τους ανάγκες.

Παρόμοια αποτελέσματα κατέγραψαν και οι Vijayaraghavan et al. (2012) που βρήκαν ότι, η απορροή από φυτοκαλυμμένα με *S. mexicanum* πειραματικά τεμάχια μετά από 20 mm βροχής βρέθηκε να περιέχει χαμηλότερες συγκεντρώσεις νιτρικών από τα όρια ασφαλείας του νερού, ενώ τα ακάλυπτα έδιναν πολύ υψηλότερες τιμές από τα 10 mg L⁻¹, κάτι που διαπιστώνεται και στην παρούσα μελέτη, όσον αφορά τις συγκεντρώσεις νιτρικών των μη φυτοκαλυμμένων τεμαχίων (Διάγρ. 4.4.2).

Διαφορετικά αποτελέσματα ανέφεραν οι Aitkenhead-Peterson et al. (2011) οι οποίοι συγκρίνοντας τρία είδη φυτών, που τα καλλιέργησαν στο ίδιο μέσο ανάπτυξης, διαπίστωσαν διαφορές στην απορροή νιτρικών. Τα δύο είδη, *Delosperma cooperi*, και *Talinum calycinum* είχαν πολύ χαμηλότερη απορροή νιτρικών σε σύγκριση με το μη φυτοκαλυμμένο υπόστρωμα. Αντίθετα στην περίπτωση του *Sedum kamtschaticum*, η έκπλυση νιτρικών ήταν ίση με την έκπλυση των νιτρικών από το μη φυτοκαλυμμένο υπόστρωμα.

Οι αντιθέσεις στα αποτελέσματα που παρατηρούνται μεταξύ της δικής μας μελέτης με αυτές άλλων ερευνητών είναι ως ένα βαθμό αναμενόμενες, γιατί οι παράγοντες που επηρεάζουν την έκπλυση των νιτρικών σε ένα φυτεμένο δώμα, είναι πολλοί (το είδος του υποστρώματος, το είδος της φυτοκάλυψης, η ηλικία της πράσινης στέγης, και η χρήση λιπασμάτων, η συχνότητα και η ένταση της βροχόπτωσης, η αρχική υγρασία υποστρώματος πριν τη βροχόπτωση). Οι διαφορετικές συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνονται οι έρευνες αυτές οδηγούν πολλές φορές σε αντικρουόμενα αποτελέσματα.

Υπάρχουν λοιπόν έρευνες στις οποίες τα φυτεμένα δώματα δίνουν μικρότερες, ίσες ή μεγαλύτερες συγκεντρώσεις νιτρικών από το νερό της βροχόπτωσης. Έτσι σε έρευνες που έκαναν οι Carpenter and Kaluvakolanu (2011) και Gregoire and Clausen (2011) βρήκαν ότι η απορροή από τα φυτεμένα δώματα είχε μικρότερες συγκεντρώσεις νιτρικών από το νερό της βροχόπτωσης. Οι Berndtsson et al. (2009) διαπίστωσαν ότι τα νιτρικά συγκρατούνται από τη βλάστηση και ότι η συγκέντρωσή τους στην απορροή της πράσινης στέγης και στο νερό της βροχόπτωσης είναι περίπου η ίδια. Αντίθετα, οι Monterusso et al. (2005)

και Retzlaff (2008), ανέφεραν αυξημένη απορροή νιτρικών και συνολικών συγκεντρώσεων αζώτου από το φυτεμένο δώμα σε σύγκριση με το νερό της βροχόπτωσης.

6. Συμπεράσματα

Στην παρούσα μελέτη, διερευνήθηκε σε εκτατικά φυτοδώματα, η επίδραση του βάθους του υποστρώματος και του είδους της φυτοκάλυψης, στη διακύμανση της υγρασίας και της θερμοκρασίας του υποστρώματος, όπως επίσης και στην έκπλυση των νιτρικών. Χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά είδη φυτοκάλυψης, σε δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος.

Με βάση τα ευρήματα της παρούσας μελέτης συμπεραίνεται ότι το βάθος του υποστρώματος δύναται να επηρεάσει δραστικά την υγρασία αυτού. Τα υποστρώματα με βάθος 8 cm, επέδειξαν αυξημένη υγρασία σε σύγκριση με τα υποστρώματα βάθους 16 cm. Μάλιστα, μετά την εφαρμογή της άρδευσης, παρατηρήθηκε ότι στα ρηχά υποστρώματα και για 4-5 ώρες η υγρασία προσλαμβάνει ιδιαίτερα υψηλές τιμές. Παρ' όλα αυτά η μείωση της υγρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας ήταν παρόμοια μεταξύ των βαθύτερων και των πιο ρηχών υποστρωμάτων υποδηλώνοντας πως απαιτείται διαφορετική διαχείριση της εφαρμογής της άρδευσης μεταξύ των φυτεμένων δωματίων με διαφορετικά βάθη υποστρώματος.

Εκτός του βάθους του υποστρώματος, το είδος της φυτοκάλυψης βρέθηκε να επηρεάζει σημαντικά την υγρασία του υποστρώματος. Στα βαθιά υποστρώματα φυτοκαλυμμένα με *O. onites* ή με *F. arundinacea*, το καλοκαίρι η υγρασία μειωνόταν ταχύτατα και ελάμβανε ιδιαίτερα χαμηλές τιμές υποδεικνύοντας σημαντικές απώλειες μέσω της εξατμισοδιαπνοής. Αντίθετα, η φυτοκάλυψη με το παχύφυτο *S. sediforme* επέφερε ελάχιστη μείωση στην υγρασία του υποστρώματος καθώς διαθέτει μεταβολισμό τύπου CAM με αποτέλεσμα οι εξατμισοδιαπνευστικές του ανάγκες να είναι μειωμένες. Το *O. onites* εμφάνισε διττή απόκριση η οποία οφειλόταν στην ικανότητά του να εξατμισοδιαπνέει με έντονους ρυθμούς όταν υπήρχε υγρασία στο υπόστρωμα, ενώ εμφάνισε και ικανοποιητικότερη αντοχή στην υδατική καταπόνηση.

Τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούν να αποτελέσουν τη βάση ενός συστήματος λήψης αποφάσεων καθώς η υγρασία του υποστρώματος επηρεάζει τόσο την ανάπτυξη του φυτικού υλικού όσο και τη θερμοκρασία του υποστρώματος και την ικανότητα συγκράτησης των ομβρίων υδάτων.

Εκτός από την υγρασία, το βάθος του υποστρώματος βρέθηκε ότι επιδρά δραστικά και στη θερμοκρασία αυτού. Βρέθηκε ότι αύξηση του βάθους του

υποστρώματος από 8 cm στα 16 cm, επιφέρει μείωση των ακραίων τιμών και της διακύμανσης που δύναται να λάβει η θερμοκρασία του υποστρώματος κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου. Επομένως τα βαθύτερα υποστρώματα εξασφαλίζουν καλύτερες συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών και αναμένεται να συμβάλουν στη μακροζωία των κατασκευαστικών υλικών του δώματος, ενώ είναι πιθανόν να συνεισφέρουν και στην εξοικονόμηση των ενεργειακών αναγκών για ψύξη και θέρμανση του κτιρίου.

Επομένως, αν στο κτίριο στο οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί το φυτεμένο δώμα, δεν υπάρχουν περιορισμοί ως προς τη στατική αντοχή, είναι προτιμότερο να επιλεγεί υπόστρωμα βάθους 16 cm. Αντίθετα, εάν η μείωση των φορτίων είναι απολύτως απαραίτητη, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί το βάθος υποστρώματος των 8 cm, λαμβάνοντας υπόψη ότι θα απαιτηθεί επιλογή των φυτικών ειδών και υλικών του δώματος ανθεκτικότερων στις πιο ακραίες θερμοκρασίες που επικρατούν στο βάθος αυτό.

Το είδος της φυτοκάλυψης ή η απουσία αυτής, μπορεί επίσης να επηρεάσει δραστικά τη θερμοκρασία του υποστρώματος. Φυτοκαλυμμένα υποστρώματα με φυτά τύπου (CAM) ή μη φυτοκαλυμμένα υποστρώματα παρουσίασαν τις πλέον ακραίες τιμές και διακυμάνσεις στη θερμοκρασία υποστρώματος. Αντίθετα, τα υποστρώματα τα οποία ήταν καλυμμένα με χλοοτάπητα παρουσίασαν τη μικρότερη διακύμανση θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου.

Με βάση τα παραπάνω ευρήματα, είναι προφανές πως υπάρχει η δυνατότητα επιλογής του βάθους του υποστρώματος και του είδους της φυτοκάλυψης, ανάλογα με τους στόχους που καλείται να εκπληρώσει ένα φυτεμένο δώμα. Έτσι, για φυτεμένα δώματα από τα οποία προσδοκείται να έχουν σημαντική περιβαλλοντική συνεισφορά στο αστικό τοπίο, είναι προτιμότερο να διαθέτουν βάθος 16 cm και φυτοκάλυψη από *O. onites* ή *F. arundinacea* καθώς οι εξατμισοδιαπνευστικές τους απαιτήσεις αναμένεται να συμβάλλουν στην ψύξη του περιβάλλοντος χώρου και τη βελτίωση του μικροκλίματος. Ταυτόχρονα, ο συνδυασμός των βαθύτερων υποστρωμάτων σε συνδυασμό με χλοοτάπητα *F. arundinacea* επιφέρουν τις ελάχιστες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις και αναμένεται να συμβάλουν στη μακροζωία των υλικών κατασκευής και προστασίας του δώματος.

Όσον αφορά την περιβαλλοντική επιβάρυνση μέσω της έκπλυσης νιτρικών από τα φυτεμένα δώματα τα οποία δε λιπαίνονται, το βάθος του υποστρώματος δύναται να επηρεάσει δραστικά την έκπλυση νιτρικών μόνο στα μη φυτοκαλυμμένα δώματα. Αν και βρέθηκε ότι σε περιπτώσεις έντονων βροχοπτώσεων τα βαθύτερα μη φυτοκαλυμμένα υποστρώματα εκπλύνουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις νιτρικών σε σύγκριση με τα ρηχά, δεν πρέπει να παραβλεφθεί το γεγονός ότι και τα ρηχά εμφάνισαν εκπλύσεις νιτρικών της τάξεως των 45 mg L^{-1} , δηλαδή συγκεντρώσεις πολλαπλάσιες από το ανώτατο όριο των 10 mg L^{-1} που έχει θεσπίσει το USEPA για το πόσιμο νερό.

Αντίθετα, στα δώματα με φυτοκάλυψη δεν υπήρξε ουσιαστική διαφορά στην έκπλυση των νιτρικών μεταξύ των διαφορετικών βαθών των φυτοκαλυμμένων υποστρωμάτων. Το συμπέρασμα αυτό ισχύει ανεξάρτητα από το είδος της φυτοκάλυψης καθώς τα φυτά δε λιπαίνονταν οπότε οι συγκεντρώσεις των νιτρικών απορροφήθηκαν αποτελεσματικά από τα φυτά. Οι τιμές ποτέ δεν ξεπέρασαν τα 5 mg L^{-1} , με τις περισσότερες από αυτές να κυμαίνονται μεταξύ 1 mg L^{-1} και 3 mg L^{-1} . Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, συνάγεται το συμπέρασμα ότι η ύπαρξη βλάστησης στα φυτεμένα δώματα δύναται να ενεργήσει σαν αποδέκτης των νιτρικών ιόντων, μειώνοντας την περιβαλλοντική επιβάρυνση που μπορεί να προέλθει από αυτά.

Αντίθετα, η απορροή των νιτρικών στα μη φυτοκαλυμμένα τεμάχια που ήταν της τάξεως των 45 mg L^{-1} , οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μη φυτοκαλυμμένα δώματα ή φυτοκαλυμμένα δώματα στα αρχικά στάδια εγκατάστασης και με απουσία πλήρους φυτοκάλυψης, δύναται να συμβάλουν στην έκπλυση των νιτρικών. Αντίθετα, φυτοκαλυμμένα δώματα με πλήρη φυτοκάλυψη, τα οποία υπόκεινται σε ορθολογική διαχείριση, δεν αναμένεται να συμβάλουν στην έκπλυση των νιτρικών.

Βιβλιογραφία

- Aitkenhead-Peterson, J.A., Dvorak, B.D, Voider, A., and Stanley, N.C. 2011. Chemistry of growth medium and leachate from green roof systems in south-central Texas. *Urban Ecosys*, 14(1): 17–33.
- Akbari, H., Davis, S., Dosano, S., Huang, J., and Winnett, S. 1992. *Cooling Our Communities: A Guidebook on Tree Planting and Light-colored Surfacing*, United States Environmental Protection, Agency, Washington, D.C. Also Report No. LBL-31587, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA.
- Baker, J.P., Schofield, C.L. 1982. Aluminium toxicity to fish in acidic waters. *Water Air Soil Poll*, 18: 289-293.
- Berardi, U., GhaffarianHoseini, A. H., and GhaffarianHoseini, A. 2014. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy*, 115: 411-428.
- Berghage, R. D., Beattie, D., Jarrett, A. R., Thuring, C., and Razaee F., 2009. *Green Roofs for Stormwater Runoff Control*. EPA/600/R-09/026 February, 2009.
- Berghage R., Jarrett Al., Beattie D., Kelley K., Husain S., Razaee F., Long, B., Negassi, A., Cameron R., and Hunt, W. 2007. Quantifying evaporation and transpirational water losses from green roofs and green roof media capacity for neutralizing acid rain, 5-1-5-3, 5-14-519.
- Benvenuti, S. and Bacci, D. 2010. Initial agronomic performances of Mediterranean xerophytes in simulated dry green roofs. *Urban Ecosystems*, 13: 349-363
- Bernatzky, A. 1975. Gardens for Stepped Terrace Housing, 1974, *Urban Ecology*, 1: 49-62.
- BGL (Bundesverband Garten, Landschafts und Sportplatzbau e.V.). (2002). *Jahrbuch Dachbegrünung 2002*, Thalacker Medien, Braunschweig.
- Boivin, M., Lamy, M., Gosselin, A., and Dansereau, B. 2001. Effect of artificial substrate depth on freezing injury of six herbaceous perennials grown in a green roof system. *HortTechnology*, 11: 409–412.

- Bouma, T.J., Nielsen, K.L., Eissenstat, D.M., and Lynch, J.P. 1997. Estimating Respiration of roots in soil: Interactions with soil CO₂, soil temperature and soil water content. *Plant Soil*, 195: 221–232.
- Branham, B., Miltner, E., and Rieke, P. 1995. Potential groundwater contamination from pesticides and fertilizers used on golf courses. *USGA Green Section Record*. January/February 1995, pp.: 33-37.
- Brenneisen, L. 2003 The benefits of biodiversity from green roofs: Key desing concequences, p. 323 - 329. In *Proc. of 1st North American GreenRoof Conference: Greening rooftops for sustainable communities*, Chicago.
- Bunt, A.C. 1988. *Media and mixes for container-grown plants*. Unwin Hayman, London.
- Cantor, S. 2008. *Green roofs in sustainable landscape design*. 1st ed. New York: W.W. Norton et Co., p. 320.
- Carter, T.L. and Rasmussen, T.C. 2006. Hydrologic behavior of vegetated roofs. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 42: 1261–1274.
- Γεωργόπουλος, Α., 1998. *Γη ένας Μικρός και Εύθραυστος Πλανήτης*. Εκδόσεις Gutenberg, Θεσσαλονίκη.
- Γιάννας, Σ. 2001. Βιοκλιματικές αρχές πολεοδομικού σχεδιασμού, στο Σπύρος Αμούργης, επιμ., *Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Πόλεων και Ανοικτών Χώρων*. Τόμος Α. Περιβαλλοντική Τεχνολογία, Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, σ. 184.
- Γιαννούλη, Δ. 2007. *Φυτοκάλυψη και Περιβαλλοντικός σχεδιασμός*. Μεταπτυχιακή μελέτη, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ.
- Clark, C., Talbot, B., Burkley, J., and Adriaens, P. 2005. Optimization of green roofs for air polution mitigation, pp. 482-597. In *Proc. of the 3rd North American Green Roof Conference Greening rooftops for sustainable communities*, Washington, DC. 4-6 May 2005.
- Clay, R., Wild, N., Hopkins, G., and Goodwin, C. 2012. Determining and understanding thermal characteristics of green roofs in the City of Adelaide. *World Green Roof Congress (3rd : (2012) : Copenhagen, Denmark)*.

- Cresswell, D. and Miro and Sims, V. (2007). Green roof substrate using aerated concrete waste. The green roof centre, University of Sheffield, http://www.smartwaste.co.uk/filelibrary/GreenRoof_Aeratedconcrete.pdf.
- Donnelley, M. 1992. Architecture in the Scandinavian Countries. The MIT PRESS, p. 401.
- Dunnett, N. and Kingsbury, N. 2004. Planting green roofs and living walls. Timber Press, Inc., Oregon, USA.
- Eney, A.B. and Petzold, D.E. 1987 The problem of acid rain: an overview. Environmentalist, 7: 95-110.
- English Nature Research Reports, 2003. Green Roofs: Their Existing Status and Potential for Conserving Biodiversity in Urban Areas. Report Number 498, EcoScenes Ltd.
- EPA. 1997. Innovative uses of compost: erosion control, turf remediation, and landscaping. United States environmental protection agency. Washington, USA.
- Erdman, L. K., Sofiev, M., Subbotin, S., Dedkova, I., Afinogenova, O., Chwsukina, T., Pavloskaya, L., and Soudine, A., 1994. Assessment of airborne pollution of the Mediterranean Sea by sulphur and nitrogen compounds and heavy metals (1991). MAP technical report series, UNEP/WMO, 85, Athens (304pp).
- Ευαγγελίου Χ., Αλούπης Η., Κρεμαλή, Ζ., και Βραχόπουλος, Μ 2008. Τα φυτεμένα δώματα ως οικολογική αναγκαιότητα . Νέα υλικά και τεχνικές για την εφαρμογή τους και την εξέλιξη τους σε σύγχρονους αστικούς πνεύμονες . 10 Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και στοιχείων, ΤΕΕ Αθήνα, 21 - 23 Μαΐου .
- Ευθυμιόπουλος, Η. 2005. Κτίριο και περιβάλλον. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Eumorfoulou, E. and Aravantinos, D. 1998. The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece. Energy and Buildings, 27: 29-36.
- Ευμορφοπούλου Α., 1992. Οι κήποι στα δώματα των κτιρίων , η συμβολή τους στο οικοσύστημα των αστικών κέντρων, οι κατασκευαστικές λύσεις και δυνατότητες εφαρμογής στον Ελληνικό χώρο . Διδακτορική Διατριβή Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ.

- Ευμορφοπούλου, Α. 1994. Οικολογική παρέμβαση στο δομημένο περιβάλλον με διαμόρφωση κήπων στα δώματα των κτιρίων. *Τεχνικά Χρονικά*, 14(3): 249-256.
- Ζαχαροπούλου, Α. 2004. Μελέτη των μεθοδολογιών ανάπτυξης φυτοκάλυψης σε δώματα και εφαρμογές στο σχεδιασμό τους. Μεταπτυχιακή Μελέτη, τμήμα Φυτικής Παραγωγής, εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Fioretti, R., Palla, A., Lanza, L.G., and Principi, P. 2010. Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building and Environment*, 45: 1890-1904.
- FLL. 1995. Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green-Roofs Sites with Methods to Be Employed when Investigating Vegetation Substrates and Aggregate-Type Drainage Materials Used at Roof-Greening Sites and Procedure for Investigating Resistance to Roof Penetration at Green Roof Sites. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung e.V., The Landscaping and Landscape Development Research Society.
- FLL. 1998. Bewertung von Dachbegrünung. Empfehlungen zur Bewertung in der Bauleitplanung, bei der Baugenehmigung und bei der Bauabnahme. Forschungsgesellschaft.
- FLL. 2002. Richtlinie für die Planung, Ausführung and Pflege von Dachbegrünungen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), Bonn.
- FLL. 2008. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau . Guideline for the Planning, Execution and Upkeep of green-roof Sites (English ed.).
- FLL. 2008 Guidelines for the Planning Construction and Maintenance of Green Roofing - Green Roofing Guidelines.
- Fonteno, W.C. 1989. An approach to modeling air and water status of horticultural substrates. *Acta Hort.*, 238: 67-74.
- Fonteno, W.C. 1996. Growing media: Types and physical/chemical properties. In: Reed, D.W. (Ed.): *Water, Media, and Nutrition for Greenhouse Crops*. Ball Publishing, Batavia, Illinois, USA.

- Freda, J. 1986. The influence of acidic pond water on amphibians: a review. *Water Air Soil Poll*, 30: 439-443.
- Gagen, C.J. and Sharpe, W.E. 1987. Net sodium loss and mortality of three salmonid species exposed to a stream acidified by atmospheric deposition. *Bull Environ Contam Toxicol*, 39: 7-12.
- Gedge, D., Dunnett, N., Grant, G., and Jones R. 2006. Living roofs. English Nature, London, UK.
- Gedge, D. and Kadas, G. 2005. Green roofs and biodiversity. *Biologist*, 52(3): 162-169.
- Getter, K.L., Rowe, D.B., and Andresen, J.A. 2007. Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. *Ecol. Eng.*, 31: 225–231.
- Getter, K. L., Rowe, D. B., and Cregg B. M. 2009. Solar radiation intensity influences extensive green roof plant communities. *Urban Forestry and Urban Greening*, 8 (4) (2009), pp. 269–281.
- Gilmour, C.C. and Henry, E.A. 1991. Mercury methylation in aquatic systems affected by acidic deposition. *Environ Poll*, 71: 243-248.
- Hartig, T., Mang, M., and Evans, G. W. 1991 Restorative effects of natural environment experiences. *Environment and Behavior*, 23: 3–26.
- Hathaway, A.M., Hunt, W.F., and Jennings, G.D., 2008. A field study of green roof hydrologic and water quality performance. *Transactions of the ASABE*, 51(1): 37–43.
- Heim, A. and Lundholm, J. 2014 *Cladonia* lichens on extensive green roofs: evapotranspiration, substrate temperature, and albedo, 2: 274.
- Henry, J. 2006. Breath analysis 3: integration of a green roof. Signal Hill Professional center, 41-44.
- Holtze, K.E. and Hutchinson, N.J. 1989. Lethality of low pH and Al to early life stages of six fish species inhabiting PreCambrian Shield waters in Ontario. *Can J Fish. Aquat Sci*, 46: 1188-1193.
- Huckabee, J.W., Mattice, J.S., Pitelka, L.F., and Porcella, D.B. 1989. Goldstein RA. An assessment of the ecological effects of acidic precipitation. *Arch Environ Contam Toxicol*, 18: 3-10.

- Hussein, A.S., Cantor, A.H., and Johnson, T.H. 1989. Effect of dietary aluminium on calcium and phosphorus metabolism and performance of laying hens. *Poultry Sci*, 68: 706-712.
- Hutchinson, D., Abrams, P., Retzlaff, R., and Liptan, T. 2003. Stormwater monitoring of two ecoroofs in Portland, Oregon, USA. *In Proceedings of Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Green Roofs for Healthy Cities, Chicago.*
- Jeffries, D.S. 1991. Southeastern Canada: an overview of the effect of acidic deposition on aquatic resources. In: Charles DF, ed. *Acidic Deposition and Aquatic Ecosystems*. Springer-Verlag, New York: 273.
- Jickells, T. D. 2002. Emissions from the oceans to the atmosphere, deposition from the atmosphere to the oceans and the interactions between them. *Proceedings of the globalchange open science conference, Amsterdam, 2001*, pp. 93-96.
- Johnson, A.H. and Siccama, T.G. 1983. Acid deposition and forest decline. *Environ Sci Technol*, 17: 294A-305A.
- Johnson, J. and Newton, J. 1995. *Building Green: A Guide to Using Plants on Roofs, Wall and Pavements*, London Ecology Unit.
- Johnston, J. and Newton, J. 2004. *Building green A guide to using plants on roofs, walls and pavements*. Greater London Authority, London. May 2004.
- Juergens-Gschwind, S. 1989. Ground water nitrates in other developed countries (Europe) - relationships to land use patterns. Chapter 4. Pp. 75-138. In: R.F. Follett. (ed.) *Nitrogen Management and Ground Water Protection*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science B.V.
- Καλλιάνου, Χ. 2005. Σημειώσεις Γενικής Εδαφολογίας ΙΙ. Εκδόσεις Γ.Π.Α. Σελ. 1-2.
- Kanellopoulou, K. 2008 Cooling performance of green roofs. *PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008.*
- Kohler, M. and Keeley, M. 2005. *Berlin:green roof technology and development*. EarthPledge. *Green roofs: Ecological design and construction*. pp. 108-112. Schiffer Books, Atglen, Pa.
- Κοσμάς, Κ. 1998. Σημειώσεις Γενικής Εδαφολογίας Ι. Εκδόσεις Γ.Π.Α. Σελ. 4-6, 20-1.

- Kotsiris, G., Androutsopoulos, A., 2008, The contribution of a green roof to achieve thermal comfort and energy savings, Ag Eng, International Conference, Crete, Greece.
- Kotsiris, G., Nectarios, P.A., Ntoulas, N., and Kargas, G. 2013. An adaptive approach to intensive roofs in the Mediterranean climatic region. *Urban Forestry et Urban Greening*, 12(3): 380-392.
- Κοτσίρης, Γ. 2007. Θερμική άνεση. Εκδόσεις Ιων, σελ. 99. Αθήνα.
- Krahl-Urban, B., Papke, H.E, Peters, K., and Schimansky, C. 1989. Forest Decline. U.S. EPA and German Ministry. Res Tech, EPA, Corvallis, OR.
- Latshaw, K., Fitzgerald, J., and Sutton, R. 2009. Analysis of Green Roof Growing Media Porosity.
- Liesecke, H.J. 1998. Das retentionsvermogen von dachbegrunungen. nungen (In English: "The Retention of Green Roofs"). *Stadt Und Grun*, 47:46–53.
- Liu, K. and Baskaran, B. 2003. Thermal performance of green roofs through field evaluation. Proceedings for the First North American Green Roof Infrastructure Conference, Chicago, IL., May 2003.
- Liu, K. 2004. Engineering performance on rooftop gardens through field evaluation. *J. Roof Consultants Inst.*, 22(2): 4–12.
- Martin. Petrovic, A. 1990. The Fate of Nitrogenous Fertilizers Applied to Turfgrass. *J. Environ. Qual.*, 19: 1-14.
- Martin. Petrovic, A. 1993. Potential for natural zeolite uses on golf courses. USGA Green section record, January/Ferbruary 1993.
- McAuley, D.G, and Longcore, J.R. 1989. Foods of juvenile ring-necked ducks:relationships to wetland pH. *J Wildl Manage*, 52: 177-182.
- McNicol DK, McAuley DG. 1987. Influence of wetland acidity on avian breeding success. *Trans North Am. Wildlife Natural Research Conference*, 52: 628-632.
- Miller, R.W. and Donahue, R.L. 1990. *Soil: An Introduction to Soil and Plant Growth*. Prentice-Hall Inc.
- Mills, K.H. and Schindler, D.W. 1986. Biological indicators of lake acidification. *Water Air Soil Poll*, 30: 779-786.

- Μιχαλάκη, Μ. 2007. «Τα φυτεμένα δώματα και η συμβολή τους στον αστικό χώρο»,
Περιοδικό Monumenta, 21/06/07.
- Monterusso, M.A., Rowe, D.B., and Rugh, C.L. 2005 Establishment and persistence of
Sedum spp. and native taxa for green roof applications. HortScience, 40: 391-
396.
- Monterusso, M.A., Rowe, D.B., Rugh, C.L., and Russell, D.K. 2004. "Runoff water
quantity and quality from green roof systems." *Acta Hort.*, 639: 369-376.
- Morgan, S., Cooper, R., and Retzlaff, W. 2011. Nitrate in Green Roof Runoff
Conference: 2011 Low Impact Development Conference.
- Morton, T.G., Gold, A.J., and Sullivan, W.M. 1988. Influence of Overwatering and
Fertilization on Nitrogen losses from Home Lawns. J. Environ. Qual., 17: 124-
130.
- Μουρκίδης, Γ.Α. 1982. Γεωργική χημεία.
- Naddaf, Al., Livieratos, O., Stamatakis, A., Tsirogiannis, I., Gizas, G., and Savvas, D.
2011. Hydraulic characteristics of composted pig manure, perlite, and
mixtures of them, and their impact on cucumber grown on bags. Scientia
Horticulturae 129: 135–141.
- Nagase, A., and Dunnett, N. 2011. The relationship between percentage of organic
matter in substrate and plant growth in extensive green roofs. Landscape and
Urban Planning, 103(2): 230-236.
- NAPAP. 1990. National Acid Precipitation Assessment Program Integrated
Assessment Report. NAPAP, Washington DC, 1991.
- Nektarios, P.A., Tsiotsiopolou, P., and Chronopoulos, I. 2004. Comparison of
Different Roof Garden Substrates and their Impact on Plant Growth, Acta
Hort no 643.
- Nektarios, P.A., Amountzias, I., Kokkinou, I., and Ntoulas, N. 2011a. Green roof
substrate type and depth affects the growth of the native species Dianthus
fruticosus under reduced irrigation regimens. HortScience, 46: 1208-1216.
- Νεκτάριος, Π.Α., 2011. Εκτατικά Φυτοδώματα: Προϋποθέσεις επιτυχίας σε
ξηροθερμικά κλίματα (25^ο Συνέδριο Ελληνικής Εταιρίας Επιστήμης
Οπωροκηπευτικών Νοέμβριος 2011, Κύπρος).

- Νεκτάριος, Π.Α, 2015. Φυτοδώματα: μια σύγχρονη λύση για το αστικό τοπίο!
Περιοδικό <http://www.gardenguide.gr/> March 26, 2015.
- Nelson, W.O., Campbell, P.G.C. 1991. The effects of acidification on the geochemistry of Al, Cd, Pb and Hg in freshwater environments: a literature review. *Environ Poll*, 71: 91-98.
- Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A., and Mihalakakou, G. 2001. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance, *Energy and Buildings*, Vol 33, pp. 719-729.
- Nixon, S.W. 1993. Nutrients and coastal waters: too much of a good thing? *Oceanus*, Summer, 38-47.
- Ntoulas, N., Nektarios, P.A., Spaneas, K., and Kadoglou, N. 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.
- Ntoulas, N., Nektarios, P.A., Charalambus, E., and Prasoulis, A. 2013. *Zoysia matrella* cover rate and drought tolerance in adaptive extensive green roof system. *Urban Forestry and Urban Greening*, 12: 522-531.
- Oberlander, C.H., Whitelaw, E., and Matsuzaki E. 2002. Introductory manual for greening roofs. Public works and government services Canada.
- Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R.R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K.K.Y., and Rowe, B. 2007. Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. *BioScience*, 57(10): 823-833.
- Oke, T. R. 1995. *Boundary Layer Climates*, London and New York: Routledge, 291-292.
- Onmura, S., Matsumoto, M., and Hokoi S. 2001. Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens. *Energy and Buildings*, 33: 653-666.
- Osmudson, T. 1999. *Roof gardens: history, design, and construction*. W.W. Norton & Company, Inc. New York.

- Paerl, H.W. and Whitall, D.R. 1999. Anthropogenically derived atmospheric nitrogen deposition, marine eutrophication and harmful algal bloom expansion: is there a link? *Ambio*, 28: 307-311.
- Papadakis, G., Tsamis, P., and Kyritsis, S. 2001. An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control buildings. *Energy and Buildings*, 33: 831-836.
- Πατρώνη, Ε., 2013. Η σπείρα στην αρχιτεκτονική. Ερευνητική εργασία, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Δ.Π.Θ.
- Pearce, F. 1987. *Acid Rain. What is it and What is it Doing to Us?* Penguin, London.
- Penuelas, J., Gordon, C., Llorens, L., Nielsen, T., Tietema, A., Beier, C., Bruna, P., Emmett, B., Estiarte, M., and Gorissen, A. 2004. Non-intrusive field experiments show different plant responses to warming and drought among sites seasons and species in a North South European gradient. *Ecosystems*, 7: 598-612.
- Περγαλιώτη, Ν. και Παπαφωτίου, Μ. 2011α. Επίδραση του είδους και βάθους υποστρώματος και συχνότητας άρδευσης στην ανάπτυξη του *Helichrysum italicum* Roth. σε συνθήκες φυτοδώματος. 25^ο Συνέδριο ΕΕΕΟ, 1-4 Νοεμβρίου, Λεμεσός Κύπρος. Αποδεκτή για δημοσίευση.
- Περγαλιώτη, Ν. και Παπαφωτίου, Μ. 2011β. Μελέτη της ανάπτυξης του *Helichrysum orientale* Roth. σε συνθήκες φυτοδώματος υπό την επίδραση διαφορετικού είδους και βάθους υποστρώματος και συχνότητας άρδευσης. 25^ο Συνέδριο ΕΕΕΟ, 1-4 Νοεμβρίου, Λεμεσός Κύπρος. Αποδεκτή για δημοσίευση.
- Πολυράκης, Ι. 2003. Περιβαλλοντική Γεωργία, Εκδόσεις Ψυχάλου, Αθήνα σελ. 50-78.
- Prasad, P.V., Craufurd, P.W., and Summerfield, R.J. 2000. Effect of high air and soil temperature on dry matter production, pod yield and yield components of groundnut. *Plant Soil*, 222: 231–239.
- Prinz, B. 1987. Causes of forest damage in Europe. *Environment*, 29: 11-37.
- Hauhs M, Wright RF.(1986) , Regional pattern of acid deposition and forest decline along a cross section through Europe. *Water Air Soil Pollut*, 3: 463-74.
- Puia, G. 2008. Green roof technology in Germany and the United Kingdom. *Small Business Institute*, 35: 179-186.

- Riepen, B. and Held, T. 2000. Grunddächer. Stadt und Grün, 10: 676-680.
- Rowe, D.B., Rugh, C.L., VanWoert, N., Monterusso, M.A., and Russell, D.K. 2003. Green roof slope, substrate depth, and vegetation influence runoff. *In* Proceedings of Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Green Roofs for Healthy Cities, Chicago.
- Rowe, D.B., Monterusso, M.A., and Rugh, C.L. 2006. Assessment of heat-expanded slate and fertility requirements in green roof substrates. *Hort Technology*, 16: 471-477.
- Rowe, D.B. 2011. Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution*, 159, 2100-2110.
- Russell, D.K. and Schickedantz, R. 2003. Ford Rouge Centre green roof project. *In* Proceedings of Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Green Roofs for Healthy Cities, Chicago.
- Sailor, D., Spolek, G., and Ervin, D. 2008. ANNUAL REPORT 2008 to the Ecoworks Foundation, City of Portland, and Gerding Edlen: DEVELOPING DESIGN TOOLS FOR ESTIMATING THE ENERGY AND WATER PERFORMANCE OF GREEN ROOFS.
- Σανταμούρης, Μ., 2000. Οικολογική Δόμηση, Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα, Διεπιστημονικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Ερευνών, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Δ/ση Οικιστικής Πολιτικής και Κατοικίας, Ιούνιος 2000, σ. 22.
- Schell, V.A., and Kerekes, J.J. 1989. Distribution, abundance and biomass of benthic macro-invertebrates relative to pH and nutrients in eight lakes of Nova Scotia, Canada. *Water Air Soil Pollut*, 46 : 359-365.
- Scholz-Barth, K. 2001. Green Roofs : Stormwater Management from the Top Down .*Environmental Design and Construction* , Feature January / February .
- Shahidi, T. 2007. The properties of Air-crete: a possible new substrate for green roofs in Sheffield. The green roof centre, Sheffield.
- Skinner, C.J. 2006. Urban density. *Meteorology and Rooftops. Urban Policy and Research* 24: 355-367.
- Skoulikidis, T.N. 1983. Effects of primary and secondary air pollutants and acid deposition on ancient and modern buildings and monuments. Proc of the EEC symposium: Acid Deposition. A Challenge for Europe. Karlsruhe, : 193-226.

- Σκουλικίδης, Θ.Ν. 2000. *Διάβρωση και Συντήρηση των Δομικών Υλικών των Μνημείων*. Εκδ. Παν/μίου Κρήτης, Ηράκλειο.
- Spry, D.J. and Wiener, J.G. 1991. Metal bioavailability and toxicity to fish in lowalkalinity lakes: a critical review. *Environ Pollut*, 71: 243-252.
- Stokes, P.M. 1986. Ecological effects of acidification on primary producers in aquatic systems. *Water Air Soil Poll*, 30: 421-428.
- Townshend, D. and Duggie, A. (2007). Study on green roof application in Hong Kong.. http://www.archsd.gov.hk/english/Knowledge_sharing/1355-Green-Roofs-Final-Report-2007-02-16-low-res.pdf.
- Τσαλικίδης, Ι. 2008. Αρχιτεκτονική τοπίου, εισαγωγή στην θεωρία και στην εφαρμογή. Εκδόσεις Επίκεντρο, σελ. 380. Θεσσαλονίκη.
- Tsiotsiourou, P., Nektarios, P., and Chronopoulos, I. 2003. Substrate temperature fluctuation and Dry-weight partitioning of Lantana grown in four green roof growing media, *Journal of Horticulture Science & Biotechnology* no 78, p. 904-910.
- Valigura, R. A., Alexander, R. B., Castro, M. S., Meyers, T. B., Paerl, H. W., Stacey, P. E., and Turner, R. E. 2001. Nitrogen loading in coastal waters bodies: atmosphere perspective. *American Geophysical Union Monograph*, 57, San Francisco.
- VanWoert, N.D., Rowe, D.B., Andresen, J.A., Rugh, C.L., Fernandez, R.T., and Xiao, L. 2005b. Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth. *Journal of Environmental Quality*, 34: 1036-1044.
- Vijayaraghavan, K., Joshi, U.M., and Balasubramanian R. 2012. A field study to evaluate runoff quality from green roofs. ARTICLE in WATER RESEARCH · MARCH 2012.
- Vollenweider, R. A., Rinaldi, A., Viviani, R., and Todini, E. 1996. Assesment of the state of eutrophication in the Mediterranean Sea. *Mediterranean action plan technical reports series*, No. 106.
- Waddington, D.V. 1992. Soils, soil mixtures, and soil amendments. In: *Turfgrass*. Ed. Waddington, Carrow and Shearmsn, ASA, Inc., CSSA, Inc., SSSA, Inc., pp.: 331-383.

- Watras, C.J. and Frost, T.M. 1989. Little Rock Lake (Wisconsin): perspectives on an experimental ecosystem approach to seepage lake acidification. *Arch Environ Contam Toxicol*, 18: 157-162.
- White, J.W. and Mastalerz, J.W. 1966. Soil moisture as related to container capacity. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 89, 758-765.
- Wiener, J.G. 1987. Metal contamination of fish in low pH lakes. *Trans N.A. Wild Nat Res Conference*, 52: 645-649.
- Wong, N.H., Chen Y., Cheong, H.Yan., Soh, J., Ong C.L., and Sia, A. 2003. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Energy and Buildings* 35: 353-364.
- Woods, E. 2010. Evaluation of the quantity and quality of storm water runoff released from various green roof systems. M.S. thesis. Southern Illinois Univ. Edwardsville, Edwardsville, IL.
- Worden, E., Guidry, D., Ng, A.A., and Schore A. 2004. Green roofs in urban landscapes. ENH 984 University of Florida, <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/EP/EP24000.pdf>.
- Wren, C.D. and Stephenson, G.L. 1991. The effect of acidification on the accumulation and toxicity of metals to freshwater invertebrates. *Environ Poll* 1991, 71:205-209; Freda J. The effects of aluminium and other metals on amphibians. *Environ Pollut*, 71: 305-310.