

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΠΙΟΥ

Διερεύνηση της επίδρασης των υποστρωμάτων των
φυτοκαλυμμένων δωμάτων στην ανάπτυξη των φυτών και στο
συντελεστή θερμοπερατότητας αυτών

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΓΕΩΡΓΙΟΥ Α. ΚΟΤΣΙΡΗ



ΥΠΟΒΛΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΑΣ

ΑΘΗΝΑ 2012

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΠΙΟΥ

Διερεύνηση της επίδρασης των υποστρωμάτων των
φυτοκαλυμμένων δωμάτων στην ανάπτυξη των φυτών και στο
συντελεστή θερμοπερατότητας αυτών

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΓΕΩΡΓΙΟΥ Α. ΚΟΤΣΙΡΗ

ΥΠΟΒΛΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΑΣ

ΑΘΗΝΑ 2012

Η έγκριση της παρούσας διατριβής από το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθήνας δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932 άρθρο 202, παρ.2).

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΑΣ

ΜΕΛΗ

ΑΙΚ. ΧΡΟΝΟΠΟΥΛΟΥ - ΣΕΡΕΛΗ, ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΑΣ

ΜΑΡΙΑ ΠΑΠΑΦΩΤΙΟΥ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΑΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΑΙΚ. ΧΡΟΝΟΠΟΥΛΟΥ -ΣΕΡΕΛΗ, ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΑΣ

Γ. ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΑΣ

Μ. ΠΑΠΑΦΩΤΙΟΥ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΑΣ

Π. ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΑΣ

Α. ΔΗΜΟΥΔΗ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΡΑΚΗΣ

Γ. ΚΑΡΓΑΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΑΣ

Α. ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΥ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΑΣ

ἐδιζησάμην ἑμεωυτόν

Ἡράκλειτος 475 π.χ.

στην οικογένεια μου

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Παναγιώτη Νεκτάριο, για την ωρίμανση της διδακτορικής μου διατριβής, την εκπαίδευση σε μεθόδους και τεχνικές και την επιμονή στη λεπτομέρεια. Τον Μηχανολόγο Μηχανικό Μ.Sc. του ΚΑΠΕ κ. Ανδρέα Ανδρουτσόπουλο, για την πολύχρονη συναδελφική συνεργασία, τη Μηχανολόγο Μηχανικό Μ.Sc. του ΚΑΠΕ κ.Ελπίδα Πολυχρόνη για τη συνεργασία στο λογισμικό TRNSYS. Ευχαριστώ τους σπουδαστές μου από το ΤΕΙ Καλαμάτας για την προσφορά εργασίας στο αγρό του ΓΠΑ και το ΚΑΠΕ. Πρωτίστως τους Γεώργιο Ευθυμιάτο και Έλληνα-Γεώργιο Μπούρκουλα. Την Κωνσταντίνα Πέρρου, Χρύσα Φραδέλου, Λίνα Γιαρμά και Ειρήνη Μανδράγου.

Ευχαριστώ τη Διεύθυνση του ΟΑΚΑ για την παραχώρηση των θαλαμίσκων Green-Tech για τη διεξαγωγή των πειραμάτων αγρού, την Λ. Καμπάνης Α.Ε. για την παραχώρηση του κόμποστ και την ΛΑΒΑ Α.Ε. για την χορηγία δημοσίευσης στο Hortscience. Ευχαριστώ το Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του ΓΠΑ και την ΕΜΥ για την παραχώρηση μετεωρολογικών δεδομένων και το Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών, για την παραχώρηση του φασματοφωτόμετρου για πολύμηνες μετρήσεις. Τέλος θερμά ευχαριστώ το προσωπικό του Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου και ιδιαίτερα τον υποψήφιο διδάκτορα, κ. Νικόλαο Ντούλα..

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

Στα πλαίσια της Διδακτορικής διατριβής και από τα αποτελέσματα των μελετών που διεξήγαγε, δημοσιεύτηκαν σε Διεθνή Επιστημονικά Συνέδρια με κριτές και έγκριτα Διεθνή Επιστημονικά περιοδικά, οι εξής εργασίες:

- Kotsiris, G., A. Androutsopoulos, and P.A. Nektarios. 2010α. Testing the thermal performance of planted roofs by the use of Test Cells. DYNASTEE (DYNAMIC Analysis, Simulation and Testing applied to the Energy and Environmental performance of buildings) International Workshop on Dynamic Methods for Building Energy Assessment 11-12 October 2010, Brussels. Proceedings on CD.
- Kotsiris, G., A. Androutsopoulos, and P.A. Nektarios. 2010β. Thermal performance of semi-intensive type, planted roofs in Greece. PALENC2010, 3rd International Conference, Rhodes, Greece. Proceedings on CD.
- Kotsiris, G., A. Androutsopoulos, E. Polychroni, and P.A. Nektarios. 2012. Dynamic U-value estimation and energy simulation for green roofs. *Energy and Buildings* 45: 240-249.
- Kotsiris, G., P.A. Nektarios, and A. T. Paraskevopoulou. 2012. *Lavandula angustifolia* growth and physiology is affected by substrate type and depth when grown under Mediterranean semi-intensive green roof conditions. *HortScience* 47(2):1-7.
- Kotsiris, G., and P.A. Nektarios. 2012. An adaptive approach of intensive green roofs in the Mediterranean climatic region. *Landscape and Urban Planning*. Under submission.
- Κοτσίρης, Γ., Α. Ανδρουτσόπουλος, και Π.Α. Νεκτάριος. 2011. Δυναμικός υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας σε ημι-εντατικού τύπου φυτεμένα δώματα με τη μέθοδο PASLINK. 25^ο Εθνικό Συνέδριο της ΕΕΕΟ, Λεμεσός Κύπρος. Αποδεκτό προς δημοσίευση.
- Κοτσίρης, Γ., Π.Α. Νεκτάριος. 2011. Επίδραση του τύπου και του βάθους υποστρώματος φυτοδώματος ημι-εντατικού τύπου στην ανάπτυξη του *Lavandula angustifolia*. 25^ο Εθνικό Συνέδριο της ΕΕΕΟ, Λεμεσός Κύπρος. Αποδεκτό προς δημοσίευση.
- Κοτσίρης, Γ., Π.Α. Νεκτάριος. 2011. Επίδραση του τύπου και του βάθους υποστρώματος φυτοδώματος ημι-εντατικού τύπου σε χλοοτάπητα *Festuca arundinacea*. 25^ο Εθνικό Συνέδριο της ΕΕΕΟ, Λεμεσός Κύπρος. Αποδεκτό προς δημοσίευση.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	12
ABSTRACT	14
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
1.1. Το σύγχρονο αστικό περιβάλλον	15
1.2. Βλάστηση και αστικό περιβάλλον	17
1.3. Ορισμός των Φυτεμένων δωματίων	18
1.4. Γενικότερα οφέλη από τα φυτεμένα δώματα	19
1.4.1. Περιβαλλοντικά	19
1.4.1.1. Βελτίωση μικροκλίματος περιοχής και μετριασμός του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας	19
1.4.1.2. Μείωση της φόρτισης αστικού δικτύου απορροής υδάτων	20
1.4.1.3. Φυσικό ενδιαίτημα για την τοπική πανίδα και χλωρίδα	20
1.4.1.4. Μείωση ηχορύπανσης	21
1.4.1.5. Δέσμευση σκόνης και ρύπων	21
1.4.1.6. Χρήση ανακυκλωμένων υλικών	22
1.4.1.7. Ρύθμιση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό των κτιρίων	22
1.4.2. Οικονομικά	22
1.4.2.1. Ενίσχυση τοπικών αγορών και ανάπτυξη ενός νέου κλάδου	22
1.4.2.2. Οικονομικές εκτιμήσεις	23
1.4.2.3. Μείωση κατανάλωσης για τη θέρμανση και ψύξη του κτιρίου	23
1.4.2.3. Προστασία κατασκευαστικών στρώσεων και υλικών του δώματος του κτιρίου	23
1.4.2.4. Εξοικονόμηση από την διαστασιολόγηση ηχομόνωσης κτιρίου	23
1.4.2.5. Οικονομικό όφελος από άμεσες και έμμεσες επιδράσεις	24
1.4.3 Κοινωνικά	24
1.4.3.1. Αισθητική βελτίωση των πόλεων και Ανάκτηση χώρων αναψυχής	24
1.5. Ιστορική αναδρομή στην τεχνολογία των φυτοδωματίων	25
1.6. Τύποι Φυτεμένων δωματίων	29
1.7. Κατασκευαστικές αρχές φυτοδωματίων	33
1.8. Εγκατάσταση φυτοδώματος	35
1.8.1. Φράγμα υδρατμών	35
1.8.2. Διαχωριστικό - εξισωτικό επίπεδο (προαιρετικό)	35
1.8.3. Θερμομονωτικό επίπεδο (προαιρετικό)	35
1.8.4. Κλίσεις δώματος	36
1.8.5. Στεγανωτική στρώση - αδιάβροχες μεμβράνες	36
1.8.6. Αντιριζική διάστρωση	38
1.8.7. Επίπεδο προστασίας	38
1.8.9. Αποστραγγιστική στρώση	39
1.8.10. Διαχωριστική στρώση	40
1.8.11. Χαρακτηριστικά υποστρωμάτων ανάπτυξης φυτών	40
1.9. Προβληματισμοί σε σχέση με την κατασκευή φυτικών δωματίων	41
1.10. Φυτεμένα δώματα και η ελληνική πραγματικότητα	41
1.11. Ο Τύπος των Υποστρωμάτων των Φυτοδωματίων	43
1.11.1. Διαθέσιμα υλικά για τη σύνθεση υποστρωμάτων	44
Άμμος	44
Διογκωμένη άργιλος	44
Γη Διατόμων	44
Περλίτης	45

Κίσηρη ή Ελαφρόπετρα _____	45
Χούμος _____	46
Τύρφη _____	47
1.12. Το βάθος των υποστρωμάτων _____	48
1.13. Επιλογή φυτικού υλικού _____	48
1.14. Έλλειψη ελληνικού προτύπου και εξειδικευμένων κατευθυντήριων οδηγιών - Προσαρμόσιμο μοντέλο φυτεμένων δωμαίων _____	52
1.15. Φυσική του κτιρίου _____	56
1.16. Θερμικές επιδράσεις των φυτοκαλυμμένων δωμαίων στα κτίρια _____	62
1.17. Θερμικό ισοζύγιο φυτεμένου δώματος _____	64
1.18. Συγκριτική εισαγωγή επί των μεθόδων υπολογισμού του U _____	66
1.18.1. Αριθμητικός υπολογισμός _____	66
1.18.2. Πειραματικός υπολογισμός U σε συνθήκες σταθερής κατάστασης _____	67
1.18.3. Μαθηματικά μοντέλα _____	67
1.18.3.1. Μοντέλο ενεργειακού ισοζυγίου Lazzarin _____	68
1.18.3.2. Μοντέλο ενεργειακού ισοζυγίου στο Energy Plus _____	70
1.18.3.3. Μοντέλο ενεργειακού- φυσιολογικού ισοζυγίου Feng _____	70
1.19. Πεδίο ανάπτυξης και στόχοι της Διατριβής _____	73
ΤΜΗΜΑ Α _____	76
ΜΕΛΕΤΕΣ ΑΓΡΟΥ _____	76
II. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΙΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΑΓΡΟΥ _____	77
2.1. Εγκατάσταση Πειραμάτων _____	77
2.2. Υλικά υποστρωμάτων _____	80
2.2.1. Περιβαλλοντικό αποτύπωμα υλικών υποστρωμάτων _____	81
2.3. Επιλογή φυτικού υλικού _____	83
2.4. Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των υποστρωμάτων _____	84
2.5. Προσδιορισμός εδαφικής υγρασίας υποστρώματος _____	84
2.6. Βιομετρικές μετρήσεις _____	85
2.7. Φυσιολογικές μετρήσεις _____	86
2.8. Αντίσταση στοματίων _____	87
2.9. Οπτική ποιότητα _____	87
2.10. Ανάλυση Δεδομένων _____	88
2.11. Άρδευση - Διαχείριση _____	88
2.12. Μετεωρολογικά δεδομένα _____	90
III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΑΓΡΟΥ _____	92
3. Πρώτη Μελέτη: Ανάπτυξη των <i>Olea europaea</i> 'Koroneiki' και <i>Pittosporum tobira</i> σε φυτοδώματα ημιεντατικού τύπου _____	92
3.1. Χαρακτηριστικά των Υποστρωμάτων _____	92
3.2. In situ μέτρηση της υγρασίας υποστρώματος _____	96
3.3. Ρυθμός ανάπτυξης των φυτών _____	97
3.3.1. Δείκτης ανάπτυξης _____	97

3.3.2.. Περίμετρος κορμού _____	101
3.4. Συγκέντρωση Χλωροφυλλών _{α+β} _____	102
3.5.Ο λόγος χλωροφυλλών α/β _____	105
3.6. Δείκτης πράσινου χρώματος - SPAD _____	107
4. Δεύτερη μελέτη: Επίδραση του βάθους και του είδους του υποστρώματος φυτοδώματος ημιεντατικού τύπου στην ανάπτυξη του <i>Lavandula angustifolia</i> . _	110
4.1. In situ μέτρηση της υγρασίας υποστρώματος _____	110
4.2. Ρυθμός ανάπτυξης των φυτών _____	111
4.2.1. Δείκτης ανάπτυξης GI _____	111
4.2.2. Ξηρό βάρος ριζικού συστήματος _____	114
4.3. Συγκέντρωση χλωροφυλλών _{α+β} _____	115
4.4. Λόγος χλωροφυλλών α/β _____	117
4.5. Δείκτης πράσινου χρώματος, SPAD _____	119
4.6. Αντίσταση στοματίων των φύλλων _____	120
5. Μελέτη Τρίτη: Επίδραση του βάθους και του είδους του υποστρώματος ημιεντατικού τύπου φυτοδώματος στην ανάπτυξη κλοοτάπητα <i>Festuca arundinacea</i> . _____	123
5.1. Χαρακτηριστικά υποστρωμάτων _____	123
5.2. In situ υγρασία υποστρώματος _____	125
5.3. Ξηρό βάρος υπολειμμάτων κοπής _____	128
5.4. Περιεχόμενο χλωροφυλλών _____	130
Λόγος χλωροφυλλών α/β _____	131
Δείκτης πράσινου χρώματος - SPAD _____	133
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΩΝ ΑΓΡΟΥ _____	134
6.1. Συμπεράσματα πρώτης μελέτης _____	134
Σύνοψη των συμπερασμάτων της πρώτης μελέτης _____	135
6.2. Συμπεράσματα δεύτερης μελέτης _____	135
Σύνοψη των συμπερασμάτων δεύτερης μελέτης _____	136
6.3. Συμπεράσματα τρίτης μελέτης _____	136
Σύνοψη των συμπερασμάτων τρίτης μελέτης _____	136
6.4. Κοινός τόπος των μελετών στον αγρό _____	137
ΜΕΡΟΣ Β. _____	139
ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΥΤΕΜΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΟΣ _____	139
VII. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΘΑΛΑΜΟ ΔΟΚΙΜΩΝ-ΚΑΠΕ. _____	140
7.1.1. Υποστρώματα φυτεμένων δωματίων που χρησιμοποιήθηκαν _____	140
7.1.2. Κατασκευή δοκιμίων φυτοδωμάτων _____	142
7.2. Εξοπλισμός και Μεθοδολογία _____	144
7.2.1. Ο Θάλαμος δοκιμών _____	144
7.3 Διαδικασία μετρήσεων και υπολογισμών _____	148
7.3.1. Καταγραφή δεδομένων _____	148

7.3.2.. Μοντέλο υπολογισμού _____	149
7.4. Μεθοδολογία ενεργειακής προσομοίωσης _____	152
7.4.1. Συντελεστής ηλιακής απορρόφησης _____	154
7.4.2. Προσδιορισμός Εξατμισοδιαπνοής _____	156
VIII. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΘΑΛΑΜΟ ΔΟΚΙΜΩΝ-ΚΑΠΕ	158
8.1. Προσδιορισμός συντελεστών θερμοπερατότητας _____	158
8.2. Συσχέτιση συντελεστών U και περιεχομένης υγρασίας στο υπόστρωμα _____	161
8.2.1. Σύγκριση δυναμικού και θεωρητικού υπολογισμού U _____	165
8.3. Εκτίμηση εξοικονόμησης ενέργειας _____	166
8.4. Ενεργειακή προσομοίωση μεταβολής της υγρασίας στο υπόστρωμα _____	172
8.5. Ποσοτικοποίηση της επίδρασης της εξατμισοδιαπνοής _____	173
IX. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΘΑΛΑΜΟ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΤΟ ΚΑΠΕ _____	174
X. ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ _____	176
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ _____	177
Αναφορές από το Διαδίκτυο _____	190
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I. _____	191
I.1. Δεδομένα πειραμάτων Αγρού _____	191
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II. _____	198
Δεδομένα Πειραμάτων ΚΑΠΕ _____	198

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η φυτική κάλυψη των δωματίων αποτελεί μια επίκαιρη επιλογή για την εγκατάσταση πρασίνου σε πυκνοδομημένους αστικούς χώρους. Ωστόσο υπάρχουν περιορισμένα ερευνητικά δεδομένα, αφενός για την επιλογή των υποστρωμάτων και αφετέρου για τη διαμόρφωση εγχώριων προδιαγραφών για τα φυτεμένα δώματα. Επιπλέον, ακόμα μικρότερη είναι η αξιολόγηση της συμβολής τους στην εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση των κτιρίων. Αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής εργασίας είναι η σύνθεση υποστρωμάτων φυτεμένων δωματίων από εγχώρια αδρανή υλικά διαβαθμισμένης κοκκομετρίας και η αξιολόγησή τους ως προς τα αγρονομικά και θερμικά χαρακτηριστικά τους.

Επιλεγμένα φυτικά είδη, τα χαρακτηριστικά των οποίων έχουν επαρκώς μελετηθεί για κηποτεχνικές εφαρμογές ή σε καλλιέργειες, εγκαταστάθηκαν σε πειραματικά φυτοδώματα προκειμένου να διερευνηθεί η καταλληλότητα των υποστρωμάτων να υποστηρίξουν την επιβίωση και την ανάπτυξη τους. Τα κριτήρια επιλογής των υποστρωμάτων ήταν το μικρό φαινόμενο ειδικό βάρος, το πορώδες, η ικανότητα συγκράτησης υγρασίας, η καλή αποστράγγιση και γενικά η σύγκρισή τους με υπάρχουσες προδιαγραφές φυτοδωματίων.

Η αξιολόγηση της επίδρασης των υποστρωμάτων στην ανάπτυξη των φυτών, βασίστηκε σε βιομετρικές και φυσιολογικές μετρήσεις, σε τρία διαφορετικά πειράματα αγρού ανάλογα με το είδος της φυτοκάλυψης. Χρησιμοποιήθηκε είτε χλοοτάπητας του είδους *Festuca arundinacea*, είτε *Lavandula angustifolia* είτε φυτευτικός συνδυασμός του *Pittosporum tobira* με *Olea europaea* “Koroneiki”. Τα υποστρώματα δοκιμάστηκαν στον αγρό μέσα σε θαλαμίσκους 1,2 x 1,2 m και σε δύο (2) διαφορετικά βάθη για κάθε μία διαφορετική φύτευση. Αυτά με φύτευση χλοοτάπητα σε βάθη 10 και 20 cm και τα β, με λεβάντα σε βάθη 20 και 30 cm και με πιττόσπορο και ελιά σε βάθη 30 και 40 cm.

Η ανάπτυξη στα φυτά αξιολογήθηκε υπολογίζοντας στο μεν χλοοτάπητα, το ξηρό βάρος των υπολειμμάτων κοπής, στα δε άλλα το δείκτη ανάπτυξης. Σε όλα τα φυτά υπολογίστηκε η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλες α και β και μετρήθηκε ο δείκτης SPAD. Επιπλέον μετρήθηκε η περίμετρος κορμού στα ελαιόδεντρα και η αντίσταση στοματίων στα φύλλα της λεβάντας. Οι μελέτες αγρού διήρκεσαν δύο έτη στα εντατικού τύπου πειραματικά φυτοδώματα (μεγάλου βάθους με θάμνους και δένδρα) και ένα έτος στα ημιεντατικού τύπου (μικρότερου βάθους με χλοοτάπητα ή λεβάντα). Επιπλέον καταγράφονταν η κατ’ όγκο περιεκτικότητα σε υγρασία των υποστρωμάτων και μετεωρολογικά στοιχεία (θερμοκρασία αέρα σε °C και ύψος βροχής σε mm).

Σε παράλληλο πείραμα στο Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, κατασκευάστηκαν οι ίδιοι τύποι φυτεμένων δωματίων που αφορούσαν το γρασίδι και τη λεβάντα, για βάθη

υποστρώματος 10 και 20 cm αντίστοιχα, στην οροφή ειδικού Θαλάμου Δοκιμών (test cell), τυποποιημένου από το διευρωπαϊκό πρόγραμμα PASLINK, προκειμένου να εκτιμηθεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U) των συστημάτων φυτοκάλυψης. Η εκτίμηση του συντελεστή θερμοπερατότητας (U) προέκυψε σε δυναμικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον, συνεκτιμώντας ταυτόχρονα διάφορες περιβαλλοντικές παραμέτρους. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U) που υπολογίζεται με αυτό τον τρόπο, είναι αφ' εαυτού κριτήριο για τη θερμική απόδοση των φυτεμένων δωματίων ως βιοκλιματικών συστημάτων, αλλά και εισαγόμενο στοιχείο σε λογισμικά ενεργειακών μελετών, προκειμένου να υπολογισθεί η εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση σε κάθε συγκεκριμένο κτίριο όπου εγκαθίστανται.

Τα υποστρώματα που δοκιμάστηκαν ήταν: α) πετροβάμβακας, β) $S_{30}:Per_{65}:Z_5$, γ) $Pum_{65}:P_{30}:Z_5$ και δ) $Pum_{65}:C_{30}:Z_5$ όπου S: αμμοπηλώδες έδαφος, Pum: κίσηρη, P: τύρφη, C: κόμποστ και Z: ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες. Το βάθος του υποστρώματος δείχθηκε ο επικρατέστερος παράγοντας επηρεασμού της ανάπτυξης όλων των φυτών και στα τρία πειράματα, με εξαίρεση το *Pittosporum tobira*. Όσον αφορά τον τύπο του υποστρώματος, το υπόστρωμα $Pum_{65}:C_{30}:Z_5$ το οποίο περιείχε κόμποστ ευνόησε την καλύτερη ανάπτυξη των φυτών σε σύγκριση με τα δύο άλλα υποστρώματα, καταρχήν και στα δύο πειράματα που εφαρμόστηκε, ενώ κατά τη θερινή περίοδο φάνηκε να αποτελεί μειονέκτημα για τη λεβάντα.

Από τις μετρήσεις του συντελεστή θερμοπερατότητας (U), δείχθηκε ότι αυξανόμενου του βάθους του υποστρώματος επιτυγχάνονται επίσης μειωμένες τιμές και άρα αυξημένη συμβολή στο θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου. Δείχθηκε επίσης ότι σε συνθήκες επαρκούς άρδευσης, οι τιμές U είναι σε θετική γραμμική συσχέτιση με την περιεχομένη κατ' όγκο υγρασία στο υπόστρωμα. Τέλος το υπόστρωμα με πετροβάμβακα 8 cm, σε περιεκτικότητα υγρασίας 37,5% v/v, δείχθηκε σε προσομοιώσεις στο λογισμικό θερμικής εξοικονόμησης κτιρίων (TRNSYS), να εξασφαλίζει τη μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση. Η εφαρμογή του ωστόσο προϋποθέτει επαρκή άρδευση, ενώ ανταγωνιστική ήταν και η απόδοση των υπολοίπων υποστρωμάτων στο βάθος των 20 cm.

ABSTRACT

Green roofs have recently received increased interest due to their environmental, social, and economic benefits. The present study aims to evaluate suitable, lightweight substrates for the installation of semi-intensive and intensive type green roofs and their effect on *Festuca arundinacea*, *Lavandula angustifolia*, *Pittosporum tobira* and *Olea europaea* ‘Koroneiki’, growth and physiological status under Mediterranean climatic conditions. Three experiments were conducted in field containers (1.2 × 1.2 m), and treatments included the use of two depths, 10 cm or 20 cm for *F. arundinacea*, 20 and 30 cm for *L. angustifolia* and 30 and 40 cm for the common planting of *P. tobira* and *O. europaea* var. Koroneiki.

Four different substrates were tested: a) pumice (Pum) mixed with peat (P) and zeolite (Z) in a volumetric proportion of 65:30:5 (Pum₆₅:P₃₀:Z₅), b) pumice mixed with compost (C) and zeolite in a volumetric proportion of 65:30:5 (Pum₆₅:C₃₀:Z₅), c) sandy loam soil (S) mixed with perlite (Per) and zeolite in a volumetric proportion of 30:65:5 (S₃₀:Per₆₅:Z₅), and d) rockwool boards.

A fourth experiment was conducted on a test-cell of the Center for Renewable Energy Sources and Saving (CRESES), including: a) rockwool boards of 8 cm depth, b) Pum₆₅:P₃₀:Z₅ and S₃₀:Per₆₅:Z₅ substrates of 10 cm depth, and c) Pum₆₅:P₃₀:Z₅ and S₃₀:Per₆₅:Z₅ substrates of 20 cm depth. The aim of the last test was to evaluate the thermal performance of substrates in terms of the thermal transmittance coefficient.

Substrate depth was the most influential factor therefore the deeper substrates provided higher growth to all plants, in all experiments, with the exception of *P. tobira*. Differences between substrate types were smaller compared to those of substrate depth. Nevertheless, in comparison with the other two substrates, Pum₆₅:C₃₀:Z₅ substrate improved spring growth of lavender plants planted in the plots, whereas during the summer stressful period it restricted lavender growth.

It was found that the green roof with rock wool substrate had a very low U-value. For a similar level of substrate moisture content, the other two green roof systems made from 8 cm deep coarse aggregate substrates provided higher U-values. In contrast, the same substrates with increased depth (20 cm) reduced the U-value. The relation between the estimated thermal transmittance and the substrate moisture content was found to be linear. The green roof systems were also simulated for a single-storey residential building in order to quantify their possible energy savings. The results showed that shallow substrates conserve building energy mainly during the hot period of the year, while rockwool and the deeper substrates (20 cm) exhibited significant cooling and thermal insulating capacity.

Ι.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Το σύγχρονο αστικό περιβάλλον

Η συνεχής και απρογραμμάτιστη ένταση της αστικοποίησης, που παρατηρείται τις τελευταίες δεκαετίες, έχει οδηγήσει στη δημιουργία αφιλόξενων πόλεων με υποβαθμισμένη ποιότητα ζωής για τους κατοίκους τους. Είναι η πολυδιάστατη λειτουργική δομή των πόλεων, η ευκολότερη και αμεσότερη κάλυψη των αναγκών των κατοίκων, όσον αφορά την περίθαλψη, τη μόρφωση, τη μεταφορά και τη διασκέδαση και η συσσώρευση εργασιακών ευκαιριών, που οδήγησαν τις τελευταίες δεκαετίες στην αύξηση του πληθυσμού τους, με δυσμενή αποτελέσματα στο περιβάλλον και στην ποιότητα ζωής (Χριστούλας κ.α., 1999).

Χαρακτηριστικό γνώρισμα των σημερινών μεγαλουπόλεων αποτελεί η εκτεταμένη έως καθολική έλλειψη βλάστησης, που απομονώνει τους κατοίκους από το φυσικό περιβάλλον. Η μείωση των επιφανειών με φυτική κάλυψη οδηγεί στην υποβάθμιση του αστικού μικροκλίματος, στη δημιουργία περιβαλλοντικών προβλημάτων και στη διατάραξη της φυσικής, αλλά και της ψυχικής υγείας των κατοίκων της πόλης (Duhl, 2002).

Το αστικό μικροκλίμα περιλαμβάνει περισσότερους ρύπους, είναι λιγότερο υγρό και πιο θερμό σε σύγκριση με γειτνιάζουσες μη δομημένες περιοχές. Η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι συνήθως χαμηλότερη, λόγω των έντονων διακυμάνσεων του ανάγλυφου που δημιουργούν τα κτίρια και η ροή του είναι περισσότερο τυρβώδης, γεγονός που οφείλεται στην αυξημένη επιφανειακή τραχύτητα, στην επίδραση ενός δαιδαλώδους πολεοδομικού δικτύου και την απουσία αστικών «φαραγγιών» κατά την διεύθυνση των κρατούντων ανέμων (Καρτάλης, 1999). Χαρακτηριστικά φαινόμενα του αστικού μικροκλίματος αποτελούν το «φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας» και η ένταση του «φαινομένου του θερμοκηπίου». Τα κέντρα των πόλεων παρουσιάζουν μέχρι και 12 °C αυξημένη θερμοκρασία (Santamouris, 2001) σε σύγκριση με τα προάστια και τη γειτονική ύπαιθρο, λόγω του «φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας», το οποίο εντείνεται ανάλογα με το μέγεθός τους.

Στη σημερινή Ευρώπη πολλά ουσιαστικά προβλήματα -κοινωνικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά- εμφανίζονται κυρίως στα αστικά κέντρα. Το 80% περίπου των Ευρωπαίων ζουν σε πόλεις. Αυτό καθιστά την Ευρωπαϊκή Ένωση από τις πλέον αστικοποιημένες περιοχές του κόσμου (Εμμανουήλ, 1999).

Η πόλη αντίθετα θα μπορούσε να παρέχει στους κατοίκους της ένα περιβάλλον αποδεκτής ποιότητας, στο οποίο θα μπορούσε να ζει κανείς με ασφάλεια, ευεξία και αποδοτικότητα. Αυτή η απαίτηση σχετίζεται άμεσα με τη διαχείριση των φυσικών πόρων

της πόλης (αέρας, νερό, έδαφος, ηχητικό περιβάλλον, πράσινο, ζωτικός χώρος κ.ά.), έτσι ώστε οι οικονομικές και αναπτυξιακές απαιτήσεις να εντάσσονται στη λογική της αιεφόρου ανάπτυξης. Την ίδια ώρα, η συντήρηση και η βελτίωση του περιβάλλοντος είναι ένας τομέας που παρέχει νέες μορφές απασχόλησης.

Στη σημερινή πραγματικότητα, που χαρακτηρίζεται από την παγκοσμιοποίηση της οικονομίας και τον συνακόλουθο διεθνή ανταγωνισμό, οι πόλεις, κυρίως οι μεγάλες, ανταγωνίζονται στο ίδιο πεδίο: της παροχής υπηρεσιών στις επιχειρήσεις, της προσφοράς προσωπικού με υψηλά προσόντα, των αποτελεσματικών υποδομών επικοινωνιών και χώρων εργασίας (Εμμανουήλ, 1999). Κτίρια και υποδομές σε μια διαλεκτική σχέση ανταγωνίζονται τους ανοικτούς χώρους και το πράσινο και ταυτόχρονα αναβαθμίζονται αισθητικά, λειτουργικά και οικονομικά (αξία γης) από την παρουσία τους. Απαιτείται γι' αυτό Περιβαλλοντικός σχεδιασμός που θα καθιστά τις πόλεις περισσότερο βιώσιμες από περιβαλλοντική άποψη και θα αποτρέπει επιβολή του αναπτυξιακού του κόστους στο άμεσο περιβάλλον τους.

Η ραγδαία ανοικοδόμηση πόλεων σαν την Αθήνα, στέρησε τη δυνατότητα δημιουργίας κοινόχρηστων χώρων πρασίνου, με σοβαρές δυσμενείς επιπτώσεις στον αερισμό και το φυσικό κλιματισμό τους και συνακόλουθα στην αύξηση των επιπέδων ρύπων και σκόνης. Στερήθηκαν έτσι και οι κάτοικοι των αναγκαίων χώρων αναψυχής, ποιότητας αέρα και μικροκλίματος με τα συνεπαγόμενα κοινωνικά προβλήματα.

Η ραγδαία εξάπλωση της χρήσης κλιματιστικών για τη βελτίωση της θερμικής άνεσης σε κατοικίες και υπηρεσίες, επιβαρύνει το περιβάλλον με απόρριψη θερμότητας σε ένα αλληλο-τροφοδοτούμενο κύκλο με συνέπεια την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας και της οικονομικής δαπάνης, για την επίτευξη θερμικά άνετου περιβάλλοντος και το διαρκή κίνδυνο για συσκότιση (black out) στο ηλεκτρικό δίκτυο. Το 36% των ενεργειακών πόρων της Ελλάδας καταναλώνεται στον οικιακό και στον τριτογενή τομέα (δημόσιες και ιδιωτικές υπηρεσίες) και οι τομείς αυτοί ευθύνονται για το 40% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα της χώρας (Ευθυμιόπουλος, 2005). Η ευρεία χρήση κλιματιστικών στα κτίρια αφενός αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας για ψύξη και για θέρμανση, αφετέρου εκπέμπει στο περιβάλλον μεγάλα ποσά θερμότητας, πολλές φορές ισοδύναμα με αυτά των άμεσων ηλιακών προσόδων (Watkins, 2000).

Παράλληλα το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, συνδυαζόμενο με την θερμοκρασιακή αναστροφή και το φωτοχημικό νέφος, απειλούν σοβαρά την υγεία των κατοίκων, αυξάνοντας για παράδειγμα τα περιστατικά άσθματος, ιδιαίτερα στα παιδιά και αυξάνουν συνολικά τη θνησιμότητα (Touloumi et al., 2010). Το 1987 εξ' αιτίας του θερμικού κύματος που έπληξε την Αθήνα, 926 θάνατοι αποδόθηκαν αποκλειστικά στο θερμικό φαινόμενο (Korpe et al., 2004). Έχει εκτιμηθεί ότι μια μείωση της εξωτερικής

θερμοκρασίας κατά 0,5-1,0 °C, μπορεί σε ανάλογες περιπτώσεις να μειώσει την θνησιμότητα κατά 10-20% (Kalkstein, 2005).

1.2. Βλάστηση και αστικό περιβάλλον

Βασική στρατηγική για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που περιγράφηκαν ανωτέρω είναι η δραματική αύξηση των χώρων πρασίνου (Ευθυμιόπουλος, 2005; Alexandri and Jones, 2006). Τα δέντρα επηρεάζουν το μικροκλίμα και την ενεργειακή κατανάλωση για ψύξη των κτιρίων με δύο τρόπους. Τα άμεσα οφέλη προκύπτουν από τη σκίαση που τα δέντρα παρέχουν στα κτίρια και τις ελεύθερες επιφάνειες. Εμποδίζουν έτσι την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και προστατεύουν τα κτιριακά κελύφη από την αύξηση της θερμοκρασίας σε επίπεδα πάνω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (Papadakis et al., 2001). Τα έμμεσα οφέλη σχετίζονται με τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα λόγω της εξατμισοδιαπνοής, ως λανθάνουσα θερμότητα. Όπως υποστηρίζει ο Ευθυμιόπουλος (2005) τα δέντρα προσφέρουν καλύτερη ηλιοπροστασία και συμβάλουν περισσότερο στη μείωση των ψυκτικών φορτίων απ' ό,τι άλλα εξωτερικά σκίαστρα, όπως για παράδειγμα, τα στόρια, οι περσίδες των παραθύρων, οι τέντες και οι ανακλαστικές επιφάνειες στα τζάμια. Από μετρήσεις που έχουν γίνει, προκύπτει ότι η σκίαση που παρέχουν τα δέντρα και γενικότερα τα φυτά σε κατάλληλα σημεία, μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση των συστημάτων κλιματισμού τη θερινή περίοδο από 15 έως και 30% και σε μερικές περιπτώσεις έως και 50% κάτω από ειδικές συνθήκες.

Οι χώροι πρασίνου και γενικότερα η βλάστηση είναι όροι άμεσα συνδεδεμένοι με τη διαμόρφωση του αστικού μικροκλίματος 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 στην βελτιστοποίηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας. Μέσω των βασικών φυσιολογικών λειτουργιών τους (αναπνοή, εξάτμιση, διαπνοή, φωτοσυνθετική ικανότητα) τα φυτά απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής 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, κατακρατώντας τη σκόνη και τα διάφορα αιωρούμενα σωματίδια, ελαττώνοντας την ταχύτητα των ανέμων και παρέχοντας ηχοπροστασία μέσω της απορρόφησης, της ανάκλασης και διάχυσης του ήχου (Parafotiou et al., 2004). Τέλος, η ύπαρξη βλάστησης είναι αρκετά σημαντική από αισθητικής άποψης αλλά και λόγω της συνεισφοράς της στην εξασφάλιση της ψυχικής υγείας και ευεξίας των κατοίκων των μεγάλων αστικών κέντρων (Duhl, 2002), 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.

Κατανοώντας την προσφορά της βλάστησης στο αστικό περιβάλλον, γίνεται σαφές πως η εγκατάσταση πρασίνου 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 εξάλειψης, των περιβαλλοντικών προβλημάτων που υφίστανται ή δύνανται να εμφανιστούν στο μέλλον.

1.3. Ορισμός των Φυτεμένων δωματίων

Η αύξηση των χώρων πρασίνου ωστόσο, δεν είναι εύκολο να είναι εκτατική σε πόλεις σαν την Αθήνα, όπου το κόστος της γης είναι υψηλό και σχεδόν κάθε χώρος έχει δομηθεί. Η ενεργός πολεοδομία είναι μια λύση, με μεγάλο όμως χρηματικό κόστος. Έτσι ως μια εφικτή και ρεαλιστική λύση προτείνεται η φύτευση των δωματίων. Με τον όρο Ενεργό Πολεοδομία εννοούμε την «επέμβαση για ανάπτυξη, κυρίως με οργανωμένη δόμηση, μιας περιοχής νέας ή ανάλογη δυναμική επέμβαση για την ανάπλαση μιας παλιάς» (Αραβαντινός, 1997). Απέκτησε δε το ουσιαστικό περιεχόμενο της με ν. 1337/83: "Επέκταση των πολεοδομικών σχεδίων, οικιστική ανάπτυξη και σχετικές ρυθμίσεις".

Χαρακτηριστικό φαινόμενο των σημερινών μεγαλουπόλεων είναι η μείωση της επιφάνειας της αστικής γης σε συνδυασμό με τον αυξανόμενο αριθμό των κτιρίων και συνεπώς την αυξανόμενη επιφάνεια των δωματίων, γεγονός που οδηγεί στην αναγκαιότητα της δημιουργικής χρήσης τους ως αντικατάσταση της «χαμένης γης».

Με τον όρο φυτεμένα δώματα εννοούμε την εγκατάσταση πρασίνου, το υπόστρωμα του οποίου εδράζεται σε κάποια κτιριακή κατασκευή. Η απόσταση από την επιφάνεια του φυσικού εδάφους μπορεί να ποικίλει από υπόγεια κτίσματα (π.χ. υπόγειοι χώροι στάθμευσης χωρίς άνω δόμηση) έως στην κορυφή ουρανοξυστών, που αποκαλούνται Sky gardens (Townshend and Duggie, 2007). Διάφορες ορολογίες έχουν επικρατήσει για τα φυτεμένα δώματα. Ο όρος 'πράσινα δώματα' (*green roofs*) χρησιμοποιείται για να περιγράψει κάθε τύπο φυτεμένου δώματος που προωθεί τις ιδέες της αειφορίας, σε αντιδιαστολή με τον όρο *roof garden* του οποίου τα χαρακτηριστικά περιορίζονται στην αισθητική (Wheeler and Osborne, 2010). Υπάρχει και ο όρος «οικολογικά δώματα» (*eco roof*) ο οποίος χρησιμοποιείται, συνήθως για να περιγράψει την εγκατάσταση μιας απλής υποδομής που ενθαρρύνει την φυσική εγκατάσταση φυτών (Kirby, 2003).

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

αρμονία αισθητική και οικολογική με τον περιβάλλοντα χώρο, αποτελώντας ταυτόχρονα και ένα ξεχωριστό αυτόνομο οικοσύστημα που δεν θα δημιουργεί προβλήματα στο κτίριο.

1.4. Γενικότερα οφέλη από τα φυτεμένα δώματα

Τα οφέλη από την κατασκευή των φυτεμένων δωμάτων διακρίνονται σε α) περιβαλλοντικά, β) κοινωνικά και γ) οικονομικά.

1.4.1. Περιβαλλοντικά

1.4.1.1. Βελτίωση μικροκλίματος περιοχής και μετριασμός του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας

Τα φυτεμένα δώματα συμβάλουν στη βελτίωση των συνθηκών του μικροκλίματος μέσω της εξατμισοδιαπνοής και της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας (Skinner, 2006). Πρόσθετα συμβάλουν στη μείωση των θερμικών προσόδων των κτιρίων κατά την διάρκεια του καλοκαιριού μέσω της σκίασης των επιφανειών των δωμάτων (Paradakis et al., 2001) και της ψύξης του κελύφους των κτιρίων με αγωγή (Theodosiou, 2003).

Η ύπαρξη ενός εκτεταμένου δικτύου φυτεμένων δωμάτων στο αστικό περιβάλλον έχει εκτιμηθεί πως συμβάλλει στη μείωση της θερμοκρασίας, λόγω της μείωσης των ηλιακών προσόδων από τις δομικές επιφάνειες και της παρεπόμενης θερμικής εκπομπής, θερμικής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος. Επιπλέον η αύξηση της ατμοσφαιρικής υγρασίας του περιβάλλοντος λόγω της εξάτμισης συντελεί στην ομαλότερη διακύμανση της θερμοκρασίας (Eumorfoglou and Aravantinos, 1998). Η επιφανειακή θερμοκρασία των φυτεμένων δωμάτων ποικίλει ανάλογα με το είδος της κάλυψης και ανάλογα με τα φυτικά είδη που έχουν επιλεγεί. Τα σημεία που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση, σκούρου χρώματος εμφανίζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από τα αντίστοιχα με την αραιή και ανοικτού χρώματος βλάστηση (Niachou et al., 2001), ενώ σε σημεία του δώματος που υπάρχει κάλυψη με χαλίκι έχει παρατηρηθεί αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι και 21 °C σε σύγκριση με φυτοκαλυμμένα σημεία (Kirby, 2003). Έρευνα (Liu and Baskaran, 2003), έδειξε ότι σε μία μέρα καύσωνα (35°C) το καλοκαίρι του 2001, η επιφάνεια του δώματος χωρίς πράσινο, έφτασε τους 70°C, ενώ στην επιφάνεια του φυτεμένου δώματος η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 25-30°C. Επίσης βρέθηκε ότι το καθημερινό εύρος διακύμανσης της θερμοκρασίας, μειώθηκε σημαντικά από τους 46°C στο μη φυτεμένο δώμα, στους 6°C στο φυτεμένο δώμα.

Γενικά, μέσω της εξατμισοδιαπνοής και της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας επιτυγχάνεται ρύθμιση του μικροκλίματος που μπορεί να μετριάσει το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας σε πυκνοδομημένες πόλεις εάν εφαρμοστούν σε ικανοποιητικά

μεγάλη έκταση (Akbari et al., 2001; Getter and Rowe, 2006; Alexandri and Jones, 2006). Τα οφέλη από τη φυτοκάλυψη των δωματίων μπορούν να ποσοτικοποιηθούν, τόσο όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας ενός κτιρίου, όσον και στον μετριασμό του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας. Έχει εκτιμηθεί πως μια συστηματική φυτοκάλυψη δωματίων και τοίχων στην Αθήνα θα μείωνε τα ψυκτικά φορτία, μια μέρα του Ιουλίου κατά 84% (Alexandri and Jones, 2006).

1.4.1.2. Μείωση της φόρτισης αστικού δικτύου απορροής υδάτων

Τα φυτεμένα δώματα επιβραδύνουν την απορροή νερού από τις οροφές των κτιρίων, παγιδεύοντας και συγκρατώντας το νερό των βροχοπτώσεων (Dunnnett and Kingsbury, 2004; VanWoert et al., 2005; Carter and Jackson, 2007). Η συγκράτηση του νερού που μπορεί να πραγματοποιηθεί είναι της τάξεως 15-90%, και εξαρτάται από το είδος της βλάστησης, από το ύψος και την ένταση της βροχόπτωσης (Ward and Robinson, 2000) και κυρίως τον τύπο και το βάθος του υποστρώματος (Maidment, 1993; Ward and Robinson, 2000). Η παρουσία των φυτών στα φυτεμένα δώματα συμβάλει στη μείωση της κινητικής ενέργειας των σταγονιδίων της βροχής και το υπόστρωμα στην περαιτέρω μείωση της ταχύτητας έκπλυσης, μέσω της προσρόφησης, της συγκράτησης τριχοειδούς και βαρυτικού νερού και της ταχύτητας διήθησης η οποία στη φάση του κορεσμού εξαρτάται από την υδραυλική αγωγιμότητα του μέσου. Έτσι η διήθηση των υδάτων γίνεται πιο ομαλή, το νερό φιλτράρεται, το φορτίο ομβρίων στο αποχετευτικό δίκτυο κλιμακώνεται στο χρόνο και επιτρέπει τη μείωση της διαστασιολόγησης του. Μέρος τέλος του νερού επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής και με αυτό τον τρόπο μειώνεται η συνολική επιβάρυνση των αποχετευτικών δικτύων των πόλεων.

Σε έρευνα των Mentensa et al. (2006), διαπιστώθηκε πως με την εγκατάσταση εκτατικών φυτοδωματίων σε ποσοστό 10% των κτιρίων της πόλης των Βρυξελλών θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της απορροής όμβριων της τάξης του 2,7% στο σύνολο της πόλης και 54% στο κτίριο ξεχωριστά. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν διαπιστωθεί και από άλλους ερευνητές. Οι VanWoert et al. (2005) στο Michigan State University εργαζόμενοι σε δώμα με κάλυψη σε τρεις παραλλαγές: 1) μόνο 2 cm χαλίκι έρματος, 2) επιπλέον υπόστρωμα 4 cm για εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα χωρίς φυτοκάλυψη και 3) με φυτοκάλυψη από είδη *Sedum*, υπολόγισαν τη συγκράτηση του νερού από τις βροχοπτώσεις για μια περίοδο 14 μηνών σε 27,2%, 50,4% και 60,6% αντίστοιχα.

1.4.1.3. Φυσικό ενδιαίτημα για την τοπική πανίδα και χλωρίδα

Η δημιουργία φυτεμένων δωματίων αποτελεί μια καλή ευκαιρία για διατήρηση και ανάπτυξη νέων, μικρών, τοπικών οικοσυστημάτων, τα οποία ενοποιημένα μεταξύ τους

αλλά και με τα περιστασιακά οικοσυστήματα μπορούν να αποτελέσουν ένα ενιαίο δυναμικό οικοσύστημα διατήρησης και διάδοσης της τοπικής χλωρίδας και πανίδας, ακόμα και στο δομημένο περιβάλλον των πόλεων. Σε μελέτη βιοποικιλότητας του Brenneisen (2003) σε 17 φυτεμένα δώματα της Βασιλείας στην Ελβετία εντοπίστηκαν μέσα στα πρώτα 3 χρόνια 78 διαφορετικά είδη αράχνης και 254 είδη σκαθαριών. Από τα είδη αράχνης και τα είδη σκαθαριών το 19% και 11%, αντίστοιχα ήταν σπάνια είδη ή υπό εξαφάνιση. Σε μελέτη του ίδιου ερευνητή το 2004 στην βορειανατολική Ελβετία εντοπίστηκαν σε ένα φυτεμένο δώμα 90 χρόνων 9 είδη ορχιδέας καθώς και άλλα σπάνια και υπό εξαφάνιση φυτικά είδη. Επιπροσθέτως, πολλά είδη πουλιών έχουν καταγραφεί να χρησιμοποιούν ως ενδιαίτημα τα φυτεμένα δώματα στη Γερμανία, Ελβετία και Αγγλία (Brenneisen, 2003; Gedge, 2003).

1.4.1.4. Μείωση ηχορύπανσης

Τα ενοχλητικά ηχητικά κύματα που παράγονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες στην πόλη μπορούν να απορροφηθούν, ή να ανακλαστούν από την εγκατάσταση βλάστησης στο δώμα των κτιρίων. Το μέγεθος του ελέγχου της διάδοσης του ήχου εξαρτάται από την επιλογή των κατάλληλων φυτικών ειδών και την κατάλληλη τοποθέτηση και πυκνότητα φύτευσης τους. Οι Parafotiu et al. (2004), συνέκριναν την επίδραση στη μείωση του κυκλοφοριακού θορύβου, εκτάσεων αφενός καλυμμένες με χλοοτάπητα και χαμηλή βλάστηση και αφετέρου με θάμνους και δένδρα, δείχνοντας ότι στη δεύτερη περίπτωση επιτυγχάνονταν μείωση του θορύβου μεγαλύτερη κατά 2 dB(A) με 4 dB(A). Ωστόσο και τα φυτά εδαφοκάλυψης και οι χλοοτάπητες μειώνουν αποτελεσματικά το θόρυβο, λόγω υψηλού συντελεστή απορρόφησης, ενώ τα σκληρά υλικά τον ανακλούν (Τσαλικίδης, 2008). Τα φυτά απορροφούν κυρίως υψηλής συχνότητας ηχητικά κύματα, που έχουν και μεγαλύτερη ακουστικότητα από τα χαμηλής (Bullen and Fricke, 1982). Το ποσοστό μείωσης του θορύβου εξαρτάται επίσης και από το βάθος του εδαφικού υποστρώματος καθώς και από τα κατασκευαστικά επίπεδα του φυτεμένου δώματος. Συγκεκριμένα το εδαφικό υπόστρωμα έχει την ικανότητα να απορροφά τις χαμηλές συχνότητες διάδοσης των ηχητικών κυμάτων (Peck and Kuhn, 2003). Οι Dunnett and Kingsbury (2004) αναφέρουν μείωση των επιπέδων θορύβου κατά 5 dB σε φυτεμένο δώμα με βάθος υποστρώματος 10 cm, στο αεροδρόμιο της Φρανκφούρτης στη Γερμανία.

1.4.1.5. Δέσμευση σκόνης και ρύπων

Ο αερισμός των πόλεων παρεμποδίζεται από το έντονο ανάγλυφο των αστικών χαραδρώσεων, ο οποίος ελαττώνει την ένταση του ανέμου και εγκλωβίζει τη θερμότητα σε θύλακες αέρα, με αποτέλεσμα οι ρυπαντές και η ατμοσφαιρική σκόνη να παραμένουν στο

αστικό περιβάλλον μέχρι να απομακρυνθούν από τις βροχοπτώσεις. Το CO₂ και άλλες, μεταφερόμενες με τον αέρα ρυπογόνες ουσίες, επικάθονται και ενίοτε απορροφούνται από τη φυλλική επιφάνεια της βλάστησης στα φυτεμένα δώματα, καθαρίζοντας την ατμόσφαιρα μέσω των φυσιολογικών τους διεργασιών. Οι Clark et al. (2005) υπολόγισαν πως αν στο 20% των εμπορικών και βιομηχανικών κτιρίων του Detroit των ΗΠΑ εγκαθίστανται φυτεμένα δώματα εκτατικού τύπου θα απομακρύνονταν περισσότερο από 800.000 kg ανά έτος NO₂ το οποίο αντιστοιχεί στο 0,5% των εκπομπών την περιοχής.

1.4.1.6. Χρήση ανακυκλωμένων υλικών

Πολλά από τα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά την εγκατάσταση φυτοδώματος, όπως μεμβράνες και καλύμματα αποστράγγισης, κατασκευάζονται από ανακυκλώσιμο πλαστικό. Το μέσο υποστήριξης, συχνά περιλαμβάνει ανακυκλωμένα δομικά υλικά, όπως θραυστό κεραμίδι, ενώ τα υποστρώματα ανάπτυξης μπορούν να αποτελούνται ως κάποιο ποσοστό από κομποστοποιημένα οικιακά, γεωργικά και κηπευτικά υπολείμματα (Kirby, 2003).

1.4.1.7. Ρύθμιση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό των κτιρίων

Η εγκατάσταση φυτεμένου δώματος σε ένα κτίριο συμβάλλει στη μείωση των θερμικών προσόδων του κτιρίου κατά την διάρκεια ηλιόλουστων ημερών επιτυγχάνοντας την εξουδετέρωση των θερμικών εντάσεων τόσο στον περιβάλλοντα χώρο όσο και στο εσωτερικό των κτιρίων (Ευμορφοπούλου, 1994; Niachou et. al., 2001). Έχει επίσης διαπιστωθεί πως η ημερήσια διακύμανση είναι μικρότερη και πιο ομαλή σε κτίρια όπου υπάρχουν φυτεμένα δώματα γεγονός που οδηγεί σε ένα σταθερό θερμικά περιβάλλον που είναι προϋπόθεση για την εξασφάλιση της θερμικής άνεσης των χρηστών (Κοτσίρης, 2007).

1.4.2. Οικονομικά

1.4.2.1. Ενίσχυση τοπικών αγορών και ανάπτυξη ενός νέου κλάδου

Η εγκατάσταση και διαχείριση των φυτεμένων δωματίων, δημιουργεί και συντηρεί ένα δίκτυο διάθεσης δομικών, φυτοκομικών και κατασκευαστικών προϊόντων, με εξέχουσα θέση σε αυτό το δίκτυο γηγενών αδρανών υλικών ορυκτής προέλευσης που απαιτούνται για την κατασκευή και τη διαχείριση των φυτεμένων δωματίων. Χαρακτηριστικά τέτοια υλικά είναι η κίσηρη και ο περλίτης που εξορύσσονται στα νησιά Μήλος, Κίμωλος και Νίσυρος και οι ζεόλιθοι που εξορύσσονται σε ορυχεία της Ροδόπης. Το δίκτυο αυτό μπορεί να συντηρεί και να δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας.

1.4.2.2. Οικονομικές εκτιμήσεις

Η παρουσία φυτεμένου δώματος σε ένα κτίριο, θεωρείται ότι προσθέτει στην αξία χρήσης του για ψυχαγωγία (Εικ. 1) και ενσωματώνει προστιθέμενη αξία στα πλαίσια ανάπτυξης της ιδιοκτησίας (Δ1).

1.4.2.3. Μείωση κατανάλωσης για τη θέρμανση και ψύξη του κτιρίου

Τα κτίρια όπου έχουν εγκατασταθεί φυτεμένα δώματα δεν υπόκεινται στις ίδιες επιδράσεις διακύμανσης θερμοκρασιών, επειδή το πολυεπίπεδο σύστημα στρώσεων αποτελούμενο από μεμβράνες, υπόστρωμα και φυτά, καλύπτει την επιφάνειά του δώματος και λειτουργεί ως μονωτικό στοιχείο, το οποίο σταθεροποιεί τις θερμοκρασίες στο εσωτερικό των κτιρίων, και κατά συνέπεια το αίσθημα θερμικής άνεσης των χρηστών, μειώνοντας με τον τρόπο αυτό τις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη (Niachou et al., 2001). Τα φυτά απορροφούν την ηλιακή ενέργεια, εκτός των άλλων, και ως λανθάνουσα θερμότητα κατά την εξατμισοδιαπνοή του υδατικού περιεχομένου των φύλλων σε υδρατμούς προς την ατμόσφαιρα και μαζί με την απευθείας εξάτμιση του νερού από το υπόστρωμα, ψύχουν το κέλυφος του κτιρίου κατά τους θερμούς μήνες, μειώνοντας την απαιτούμενη χρήση των κλιματιστικών. Η εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη αλλά και για θέρμανση που οφείλεται στα φυτεμένα δώματα, εξαρτάται από το πάχος, τη σύσταση και το ποσοστό συγκράτησης υγρασίας του υποστρώματος των φυτών, το είδος και την ανάπτυξη των φυτών, την τοποθεσία, τους κατασκευαστικούς παράγοντες και το μέγεθος του δώματος (Beattie and Berghage, 2001).

1.4.2.4. Προστασία κατασκευαστικών στρώσεων και υλικών του δώματος του κτιρίου και Εξοικονόμηση από την διαστασιολόγηση ηχομόνωσης κτιρίου

Η παρουσία του εδαφικού υποστρώματος και του φυτικού υλικού λειτουργεί ως προστατευτικό κάλυμμα για τα δομικά, κατασκευαστικά υλικά του κτιρίου. Η προστασία που παρέχεται από τις φθορές που μπορεί να προκληθούν λόγω της έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, τον αέρα, τις βροχοπτώσεις καθώς και από τις απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας συντελούν στην επιμήκυνση της διάρκειας ζωής των δομικών και των κατασκευαστικών υλικών (Peck and Kuhn, 2003). Επίσης, περιορίζεται ο κίνδυνος θραύσης των δομικών υλικών και η εμφάνιση διαφόρων μηχανικών καταστροφών που μπορεί να προκληθούν από τον πάγο ή το χιόνι. Η αύξηση της διάρκειας ζωής των δομικών υλικών και η μείωση των αναγκών για συντήρηση και αντικατάσταση τους αποτελεί ένα σημαντικό οικονομικό όφελος (Oberlander et al., 2002).

Στην προδιαγραφόμενη μελέτη ηχομόνωσης του κτιρίου, μπορεί να προβλεφθεί η ανάλογη μείωση των υλικών ή προσαρμογή προς τα κάτω της διαστασιολόγησής τους, από τη συμβολή του φυτεμένου δώματος. Κατ' αυτόν τον τρόπο προβλέπεται ένα ακόμα πεδίο εξοικονόμησης, με μείωση της κατασκευαστικής δαπάνης του κτιρίου (CIBSE, 2007).

1.4.2.5. Οικονομικό όφελος από άμεσες και έμμεσες επιδράσεις

Η κατασκευή φυτοκαλυμμένων δωματίων σχετίζεται με δείκτες εκροών που μπορούν να ποσοτικοποιηθούν και να αποτιμηθούν περαιτέρω οικονομικά, δίνοντας μια καλή εικόνα της αποδοτικότητας της κατασκευής. Τέτοιοι δείκτες εκροών είναι:

- Η εξοικονόμηση ενέργειας σε kWh ανά τετραγωνικό μέτρο δώματος . Οι Alcazar and Bass (2005) υπολόγισαν σε μια πολυκατοικία της Μαδρίτης, μείωση του φορτίου για ψύξη 6,2-6,4 % και για θέρμανση 0,12-0,2 %
- Η εξοικονόμηση ενέργειας σε kWh ανά πόλη. Ενδεικτικά 10-30% για ψύξη και θέρμανση (Alexandri and Jones, 2006)
- Μείωση κόστους συντήρησης ηλεκτρικού δικτύου πόλης σε εργατοώρες, από την μείωση της διάρκειας και της έντασης του χρόνου αιχμής
- Μείωση κόστους συντήρησης δικτύου αποχέτευσης ομβρίων της πόλης σε εργατοώρες, από τη μείωση της έντασης απορροής
- Μείωση έκτακτων περιστατικών στα νοσοκομεία, σε μέρες νοσηλείας, από τον μετριασμό της έντασης και της διάρκειας των θερμικών κυμάτων των καυσώνων
- Αύξηση επιφάνειας πρασίνου, σε τετραγωνικά μέτρα ανά κάτοικο
- Αύξηση έργων πρασίνου σε τετραγωνικά μέτρα ανά έτος
- Αύξηση παραγωγής Φυτωρίων σε αριθμό φυτών σε φυτοδοχεία
- Αύξηση απασχόλησης στον κλάδο σε απόλυτους αριθμούς
- Αύξηση εισροών εγχώριων υλικών στον κύκλο της κηποτεχνίας και μείωση των εισροών εισαγόμενων υλικών, σε m³ ή kg.

1.4.3 Κοινωνικά

1.4.3.1. Αισθητική βελτίωση των πόλεων και Ανάκτηση χώρων αναψυχής

Τα φυτεμένα δώματα αποτελούν έναν από τους λιγιστούς εναπομείναντες τρόπους επαναφοράς της βλάστησης στον αστικό χώρο. Οι συνδυασμοί φυτικού υλικού, τύπου φύτευσης και σχεδιαστικών προτάσεων προσφέρουν ποικίλες δυνατότητες στον Αρχιτέκτονα Τοπίου να δημιουργήσει, από εκτεταμένα σύνολα ποώδους χαμηλής φύτευσης, έως προσβάσιμους κήπους με καθιστικά, χώρους εστίασης, λίμνες, χώρους περιπάτου και άλλα. Η αισθητική αναβάθμιση των φυτεμένων δωματίων βελτιώνει, όπως

ήδη αναφέρθηκε, τη ψυχική υγεία των κατοίκων των πόλεων. Περαιτέρω τα φυτεμένα δώματα δίνουν λύση για δημιουργία πρόσθετου ανοικτού χώρου για αναψυχή (Skinner, 2006).

Μετατρέποντας το δώμα ενός κτιρίου σε προσβάσιμο κήπο, πέραν της οικονομικής και αισθητικής, έχει και μια διάσταση κοινωνική. Δημιουργείται ένας χρηστικός χώρος, δίνοντας τη δυνατότητα στους ενοίκους του να πραγματοποιήσουν πληθώρα δραστηριοτήτων σε αυτόν, παιχνιδιού ή αναψυχής (Εικ. 1.1.), ή αναπτύσσοντας διαπροσωπικές σχέσεις και την κοινωνικότητά τους.



Εικόνα 1.1. Ανάκτηση του δώματος ως χώρου παιχνιδιού και αναψυχής, σε μονοκατοικία του '60 στο Ίλιον (Αρχείο Κοτσίρης Γ.)

1.5. Ιστορική αναδρομή στην τεχνολογία των φυτοδωμάτων

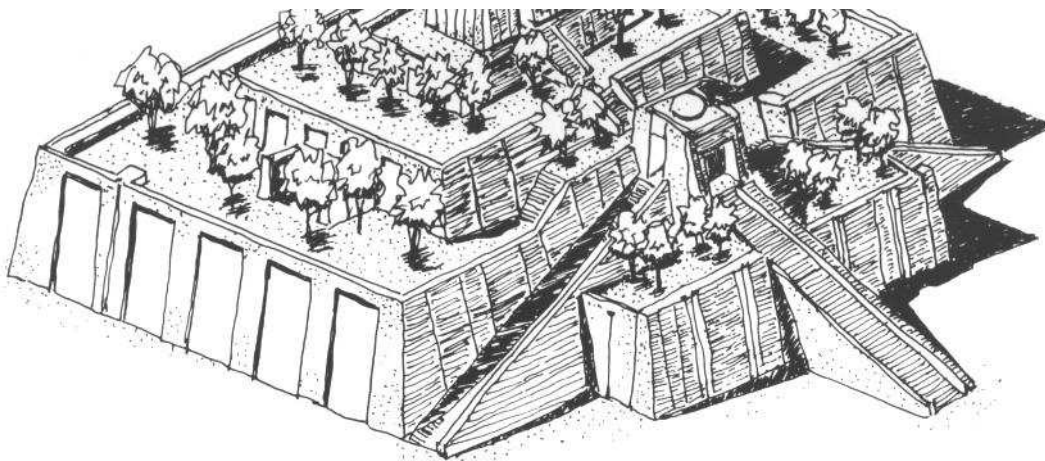
Η ιδέα της κατασκευής φυτοκαλυμμένων δωμάτων δεν θα πρέπει να θεωρείται μια πρωτοποριακή αντίληψη. Αντίθετα αποτελούσαν κατασκευαστικές πρακτικές που εφαρμόζαν πολλοί λαοί εδώ και χιλιάδες χρόνια ως προσαρμογή στο περιβάλλον το οποίο διαβιούσαν. Κάνοντας μια σε βάθος χρόνου αναδρομή, οι πρώτες κατασκευές φυτεμένων δωμάτων εντοπίζονται κατά την πρώιμη ιστορική εποχή. Φαίνεται ότι αποτελούσαν τη λύση στο πρόβλημα της ετήσιας πλημμύρας στην κοιλάδα μεταξύ των ποταμών Τίγρη και Ευφράτη λόγω των επακόλουθων προβλημάτων που αντιμετώπιζαν οι κάτοικοι. Από το 4.000 π.χ. στη Μεσοποταμία, μεγάλοι ναοί κτίζονταν επάνω σε τεράστιες βάσεις φτιαγμένες από πλίθρες, δημιουργώντας τα Ζιγκουράτ (Εικ. 1.2.). Η ύπαρξή τους

πιστεύεται ότι ήταν μάλλον η βάση για το μύθο του Πύργου της Βαβέλ και τον θρύλο των κρεμαστών κήπων της Βαβυλώνας, των πρώτων φυτεμένων δωμάτων.



Εικόνα 1.2. Ζιγκουράτ, ογκώδεις κατασκευές από πλίνθρες, που δέσποζαν στο αχανές πεδίο της Μεσοποταμίας από το 4.000 π.χ. (<http://www.mesopotamia.co.uk/ziggurats>)

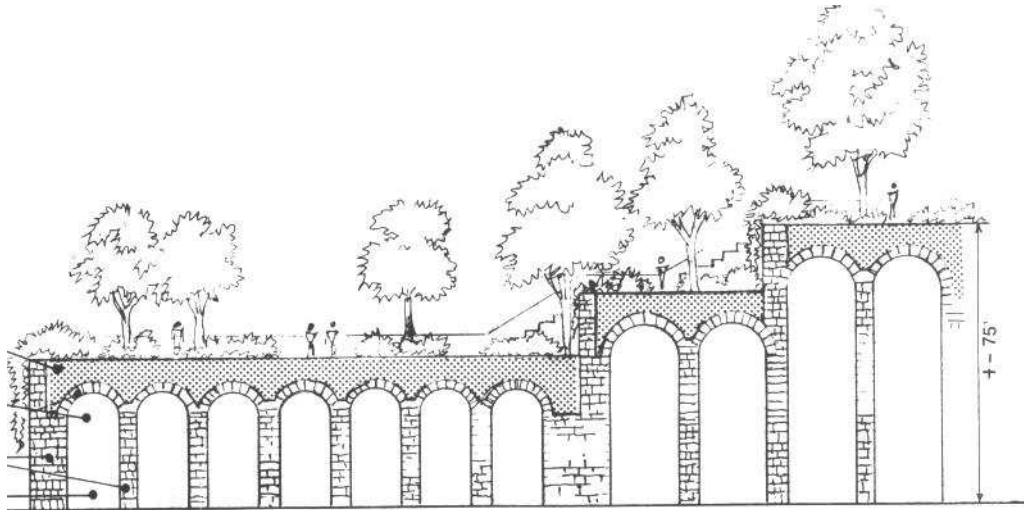
Φαίνεται ότι τα Ζιγκουράτ κατασκευάστηκαν από την ανάγκη ώστε κάποια σπουδαία κτίρια να ανυψωθούν πάνω από την πλημμυρισμένη πεδιάδα της Μεσοποταμίας (Δ2). Πολύ πιθανό μαζί με την ανέγερση ναών ή αποθηκών να εγκαταστάθηκαν και δέντρα και θάμνοι (Εικ. 1.3.).



Εικόνα 1.3. Φυτεμένο Ζιγκουράτ της αρχαίας πόλης Ούρ, που υπάρχει ακόμα σήμερα (Αναπαράσταση Βρετανικού Μουσείου[®], Δ2).

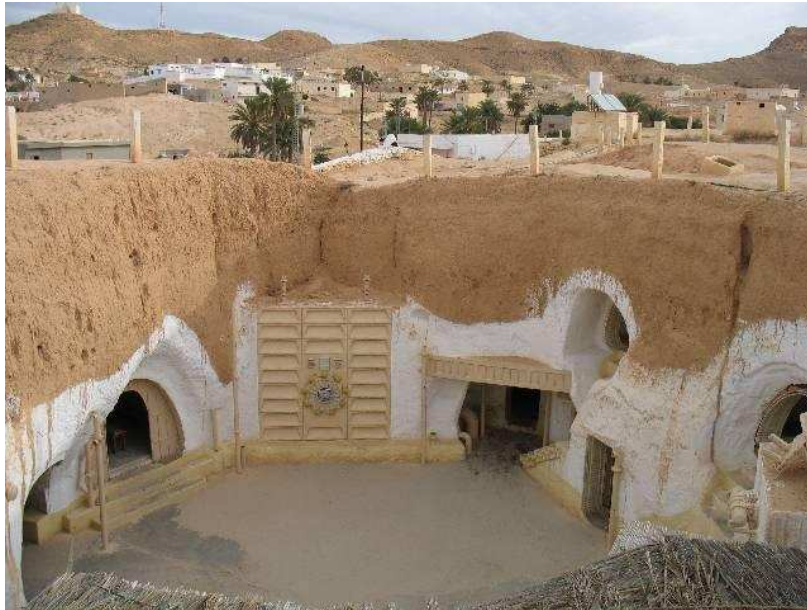
Η προσαρμογή στην πλημμυρισμένη πεδιάδα είναι μια λογική υπόθεση που υποστηρίζεται από την πραγματικότητα των Ζιγκουράτ. Οι κατασκευές αυτές λέγεται ότι ως το 500 π.χ. εξελίχθηκαν στους περίφημους κρεμαστούς κήπους της Βαβυλώνας, σύμφωνα με μια

αναφορά του ιερέα Βορόσσους το 290 π.χ. που αναπαράχθηκε από ιστορικούς της αρχαιότητας μεταξύ των οποίων και ο Διόδωρος ο Σικελός. Σύμφωνα με τις περιγραφές αυτές που ανακάλεσε ο Finkel (1998), έχει δημιουργηθεί η παρακάτω απεικόνιση (Εικ. 1.4.) από τον αρχαιολόγο Robert Koldewey (Osmundson, 1999). Αξιοσημείωτη είναι η χρήση πίσσας για την υδατοστεγάνωση της οροφής και φύλλων μόλυβδου για την παρεμπόδιση των ριζών να διαπεράσουν τις υποκείμενες στρώσεις.



Εικόνα 1.4. Αναπαράσταση σε τομή των «κρεμαστών» κήπων της Βαβυλώνας (500 π.χ) από τον αρχαιολόγο Robert Koldewey (Osmundson, 1999).

Περαιτέρω από την αρχαιότητα και τον Μεσαίωνα, είχε διαπιστωθεί ότι τα φυτά μαζί με το έδαφος αποτελούσαν ένα ικανό θερμομονωτικό στρώμα (Boyer, 1982). Αρχαίοι λαοί, όπως οι Ινδιάνοι στην Οκλαχόμα (Boyer, 1982) και οι Βέρβεροι στη Βόρεια Αφρική από την Ρωμαϊκή εποχή, κατασκεύαζαν υπόσκαφες κατοικίες (Εικ. 1.5.), αξιοποιώντας τη στρώση εδάφους ως θερμομόνωση απέναντι στις ακραίες ερημικές συνθήκες (Golany, 1988).



Εικόνα 1.5. Υπόσκαφα καταλύματα στην Ματμάτα της Τυνησίας, (http://en.wikipedia.org/wiki/Matmata,_Tunisia, 25-05-2012).

Οι Βίκινγκς κάλυπταν τους τοίχους και τις στέγες των σπιτιών τους με γρασίδι προκειμένου να προφυλαχθούν από το ψύχος και τη βροχή, ενώ κάποιες φορές χρησιμοποιούσαν και ξηρά φύκια ως μονωτικό υλικό οροφής (Donnelley, 1992).



Εικόνα 1.6. Πράσινη στέγη σε κατάλυμα των Βίκινγκς στην περιοχή L'Anse aux Meadows, Newfoundland. (Πηγή: www.hans27026.wordpress.com, 25-05-2012).

Στον Καναδά υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός παραδειγμάτων για κατασκευή πράσινων στεγών με χρήση χλοοτάπητα που αποδίδονται στους Βίκινγκς (Εικ. 1.6.) αλλά και τους Γάλλους (Donnelley, 1992). Η πρακτική αυτή ήταν διαδεδομένη μέχρι τον 19^ο αιώνα στην Ισλανδία και είναι σε χρήση μέχρι και σήμερα στις νήσους Φερόες.

Τα φυτεμένα δώματα λοιπόν, φαίνεται να αποτελούν την εξέλιξη των υπόσκαφων κατοικιών, όπως τα σπίτια των τρωγλοδυτών στα θερμά κλίματα και των πράσινων στεγών με γρασίδι σε ψυχρά κλίματα. Ο Osmondson (1999), αναφέρει πληθώρα κατασκευών φυτεμένων δωματίων με τη σημερινή έννοια του όρου, από την αρχαιότητα (79 μ.Χ.) μέχρι σήμερα. Από την σκοπιά της τεχνολογίας που χρησιμοποιήθηκε, παρατίθενται οι παρακάτω περιπτώσεις:

- Ο πύργος του Κρεμλίνου στη Μόσχα όπου το 1773 είχαν εγκατασταθεί κρεμαστοί κήποι σε δύο επίπεδα, συνολικής έκτασης 6,4 εκταρίων, για την υδατοστεγάνωση των οποίων είχαν χρησιμοποιηθεί 10 t μόλυβδου.

- Η επιλογή του κατασκευαστή Carl Rabitz, στο Βερολίνο στο τέλος του 19^{ου} αιώνα να χρησιμοποιήσει για την υδατοστεγάνωση ένα τροποποιημένο τσιμέντο με βουλκανισμένο καουτσούκ.

- Ο υαλόφρακτος βοτανικός κήπος στο Μόναχο της Γερμανίας που κατασκευάστηκε στην οροφή κτιρίου, η οποία μονώθηκε με φύλλα χαλκού, ωστόσο η υδατοστεγάνωση απέτυχε και κατεδαφίστηκε το 1897.

1.6. Τύποι Φυτεμένων δωματίων

Η κατασκευή των φυτοδωματίων με διαφορετικές απαιτήσεις ως προς τη χρήση, δημιούργησε την ανάγκη για το διαχωρισμό και την κατάταξή τους σε διαφορετικές κατηγορίες (Πίν. 1). Για την κάλυψη των αναγκών αυτών ο Γερμανικός Οργανισμός Έρευνας Ανάπτυξης και Αναβάθμισης του τοπίου (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau-FLL) δημιούργησε το 1998, διαφορετικούς τύπους πράσινων δωματίων (Πίν. 1.1.). Η βασική αρχή διαχωρισμού των πράσινων στεγών είναι το βάθος του υποστρώματος (Ngan, 2004), που είναι σε συνάφεια και με τα είδη φυτών που μπορεί να υποστηρίξει και τη συντήρηση που απαιτείται, όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 1 (FLL, 2008). Τα φυτεμένα δώματα εντατικού τύπου χαρακτηρίζονται από πολλά επίπεδα βλάστησης και απαιτούν εντατική διαχείριση (άρδευση και τακτική συντήρηση).

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

	Εκτατικό Σύστημα	Ημιεντατικό Σύστημα	Εντατικό Σύστημα
Βάθος Υποστρώματος	4-15 cm	12-25 cm	15 cm - πάνω από 1m
Βάρος κορεσμένο	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, μυρμηγκια, 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

Μπορούν να φιλοξενήσουν πόες, θάμνους, μικρά ή μεγάλα δένδρα και χλοοτάπητες, καθώς και ποικίλο εξοπλισμό και αρχιτεκτονικές κατασκευές σε διαμορφώσεις μικρών κήπων έως μεγάλων πάρκων, όπου είναι δυνατή η πρόσβαση του κοινού (Εικ. 1.7.).



Εικόνα 1.7. Εντατικού τύπου φυτοδώμα στον προαύλιο χώρο του Μεγάρου Μουσικής. (Πηγή: <http://www.megaron.gr>, 25-05-2012).

Στα ημιεντατικού τύπου φυτεμένα δώματα, η βλάστηση περιλαμβάνει φυτά εδαφοκάλυψης, γρασίδια και διάφορα είδη χλοοτάπητα, θάμνους και μικρά δένδρα συνήθως ξηροφυτικά είδη, ενώ το βάθος του υποστρώματος κυμαίνεται από 12 cm έως και πάνω από 25 cm. Το φορτίο που δέχεται ο φέροντας οργανισμός του κτιρίου είναι μέτριο και τέτοιου είδους δώματα χρειάζονται αραιή άρδευση και σποραδική διαχείριση (Εικ. 1.8). Η κατασκευή τους γίνεται συνήθως για λόγους περιβαλλοντικούς, εξοικονόμησης ενέργειας και αισθητικής και είναι δυνατή η χρήση τους από τους επισκέπτες και κατοίκους του κτιρίου. Το κόστος κατασκευής και συντήρησης τέτοιων συστημάτων είναι υψηλότερο από το αντίστοιχο των εκτατικών φυτοδωμάτων.



Εικόνα 1.8. Ημιεντατικού τύπου φυτοδώμα, σε πενταώροφη πολυκατοικία του '80, στο Ίλιον (Αρχείο: Κοτσίρη Γ.).

Τα εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα είναι κατασκευές που στοχεύουν σε μηδενική διαχείριση και το κοινό δεν έχει πρόσβαση σε αυτούς. Η βλάστηση των φυτοδωμάτων αυτής της κατηγορίας έχει υψηλή προσαρμοστικότητα στις ακραίες θερμοκρασίες, στους ισχυρούς ανέμους και στην έλλειψη άρδευσης και αποτελείται από ανθεκτικά φυτά εδαφοκάλυψης, συνήθως φυτά του γένους *Sedum* και αγριολούλουδα (Dunnett and Kingsbury, 2004). Τα φυτά αυτά είναι μικρής ανάπτυξης και έτσι το βάθος του υποστρώματος κυμαίνεται από 4 έως 15 cm (Εικ. 1.9. και 1.10.). Το φορτίο των εκτατικού τύπου φυτεμένων δωμάτων είναι ελαχιστοποιημένο, ενώ έχουν τη δυνατότητα να εγκατασταθούν σε μεγάλες εκτάσεις και σκεπές με κλίση μέχρι 30° (Oberlander et al., 2002). Το κόστος κατασκευής των φυτεμένων δωμάτων εκτατικού τύπου είναι κατά πολύ μικρότερο των άλλων κατηγοριών.



Εικόνα 1.9. Εκτατικού τύπου φυτοκάλυψη ηλικίας 11 ετών, όπου τον τόνο δίνουν φυτά *Delosperma* (οικ. *Aizoaceae*) (Αρχείο: Andrew Clemens, προσωπική επαφή).

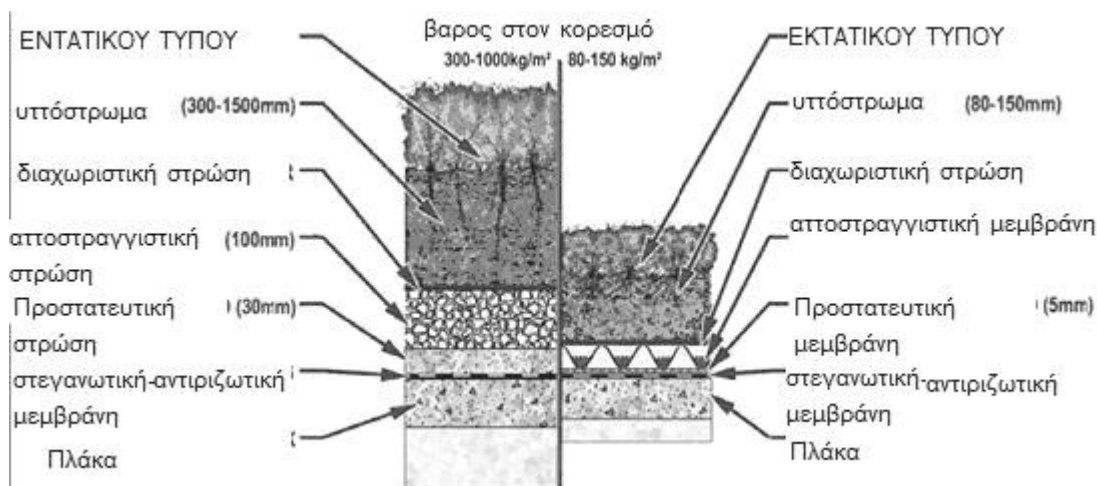


Εικόνα 1.10. Εκτατικού τύπου φυτεμένο δώμα. Σε πρώτο πλάνο φυτά *Sedum* sp. (Αρχείο: Andrew Clemens, προσωπική επαφή).

1.7. Κατασκευαστικές αρχές φυτοδωμάτων

Για την ορθή τεχνικά κατασκευή φυτεμένου δώματος θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ή να πραγματοποιηθεί η κατάλληλη στατική μελέτη. Ο τύπος που θα επιλεγεί, αποφασίζεται ανάλογα τις κλιματολογικές συνθήκες, τη χρήση για την οποία προορίζεται και την στατική επάρκεια ή το κόστος συμπληρωματικών κατασκευών για τη στήριξη του επιπλέον φορτίου.

Οι διαφορετικές στρώσεις ενός φυτεμένου δώματος στοχεύουν στην αειφορική λειτουργικότητα του, με την εξασφάλιση της επιθυμητής ροής αέρα και νερού, την αποφυγή έκπλυσης του υποστρώματος και δειόδυσης των ριζών σε βλάβη της υδατοστεγάνωσης. Όλα τα παραπάνω αποσκοπούν στην αύξηση της διάρκειας της λειτουργικότητας του φυτοδώματος και στη μείωση των τυχόν προβλημάτων. Οι διάφορες διαστρώσεις πιθανά διαφέρουν ανάμεσα στους τύπους του φυτεμένου δώματος (Εικ. 1.11.).

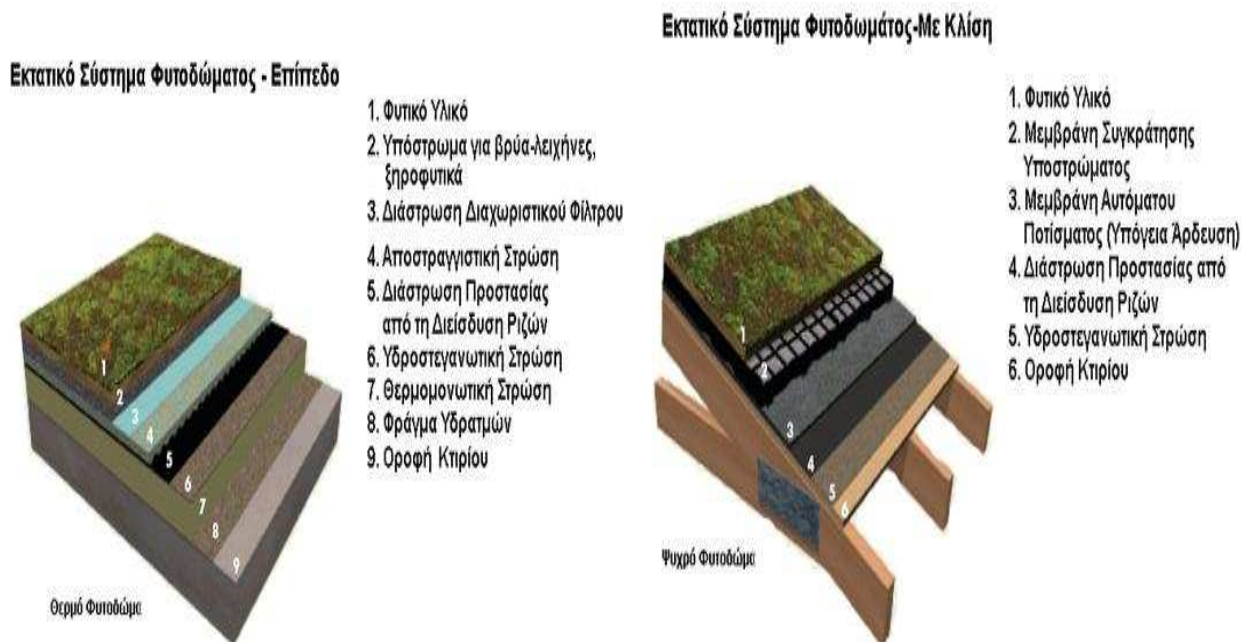


Εικόνα 1.11. Σύγκριση εντατικού (αριστερά) και εκτατικού (δεξιά) συστήματος φυτεμένων δωμάτων (Πηγή: <http://www.greenlinkintl.com/>, 25-03-2012.)

Έτσι, ανάλογα με τον τύπο της πράσινης στέγης που πρόκειται να κατασκευαστεί επιλέγεται ο συνδυασμός και ο τύπος των διαστρώσεων του. Ως παράδειγμα δίνεται μια άποψη για τη διαφορετική διάταξη των διαστρώσεων μεταξύ ενός επίπεδου και ενός επικλινούς εκτατικού φυτεμένου δώματος (Εικ. 1.12.).

Στην προκειμένη περίπτωση, στο εκτατικό σύστημα με κλίση, προβλέπεται υπόγειο σύστημα άρδευσης για την αποφυγή επιφανειακής απορροής του νερού και ειδικό κυψελωτό πλαίσιο συγκράτησης του υποστρώματος. Επίσης, ενώ στο επίπεδο φυτεμένο δώμα προβλέπεται διάστρωση αποστράγγισης, στο υπό κλίση όχι, προφανώς γιατί η μεγάλη κλίση ευνοεί την αποστράγγιση. Η τοποθέτηση επιπλέον φράγματος υδρατμών και

στεγανωτικής διάστρωσης, είναι απαραίτητη στην περίπτωση που εφαρμοστεί θερμομονωτική στρώση.



Εικόνα 1.12.: Εκτατικό σύστημα σε επίπεδη και επικλινή στέγη. (Πηγή: Liquid Plastics Limited, Lancashire, England, www.liquidplastics.co.uk, 25-05-2012).

Η επιλογή του φυτικού υλικού που θα εγκατασταθεί σε ένα φυτεμένο δώμα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες καθώς θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι συνθήκες της ευρύτερης περιοχής (κλίμα και μικροκλίμα), οι ακραίες κλιματολογικές συνθήκες που αναπτύσσονται στην επιφάνεια του δώματος, αλλά και ο τύπος φυτεμένου δώματος που έχει επιλεγεί. Γενικά τα φυτά που επιλέγονται για να χρησιμοποιηθούν στην εγκατάσταση ενός φυτεμένου δώματος, παρουσιάζουν ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά. Τα βασικότερα από αυτά είναι το σχετικά επιφανειακό ριζικό τους σύστημα, η ανθεκτικότητα που παρουσιάζουν στην άμεση έκθεσή τους στην ηλιακή ακτινοβολία, τους ισχυρούς ανέμους, την ξηρασία και τις ακραίες θερμοκρασίες. Η κατάλληλη επιλογή του φυτικού υλικού για τις εκάστοτε συνθήκες, εξασφαλίζει το επιθυμητό αισθητικό αποτέλεσμα μειώνοντας ταυτόχρονα σημαντικά τις δαπάνες διαχείρισης. Ο συνδυασμός των διαφόρων φυτικών ειδών και η επιλογή τους ανάλογα με τα εποχικά χαρακτηριστικά τους, δημιουργούν οπτικό ενδιαφέρον και συντελούν στην επίτευξη όλων εκείνων των θετικών επιπτώσεων που έχει ένα λειτουργικό και καλά διαμορφωμένο φυτεμένο δώμα (Oberlander et al., 2002).

1.8. Εγκατάσταση φυτοδώματος

Από τη στιγμή όπου θα ολοκληρωθεί ο έλεγχος της στατικής επάρκειας του κτιρίου, μπορεί να προχωρήσει η εγκατάσταση του φυτεμένου δώματος. Μια πλήρης εγκατάσταση, που καλύπτει τις ανάγκες ενός εντατικού τύπου φυτεμένου δώματος περιλαμβάνει τις παρακάτω στρώσεις.

1.8.1. Φράγμα υδρατμών

Η χρησιμότητα του φράγματος αυτού έγκειται στην αναχαίτιση της διόδου των υδρατμών από την πλάκα του δώματος και αποτελείται από ασφαλτικά φύλλα ή φύλλα πολυαιθυλενίου ή συνθετικό καουτσούκ ή πολυισοβουτιλένιο. Ωστόσο η στρώση έχει νόημα όταν προστίθεται στρώση θερμομόνωσης (Εικ. 1.12.), διαφορετικά αυτή ταυτίζεται με τη στρώση υδατοστεγανότητας (Townshend and Duggie, 2007).

1.8.2. Διαχωριστικό - εξισωτικό επίπεδο (προαιρετικό)

Η διάστρωση αυτή, έχει την ιδιότητα να διαχωρίζει τον υποκείμενο φέροντα οργανισμό από τα ακόλουθα επίπεδα επικάλυψης της οροφής και αποτελείται από διάτρητες ασφαλτικές μεμβράνες οπλισμένες με ύαλούφασμα ή συνθετικές μεμβράνες. Η παρουσία του προαναφερόμενου επιπέδου μετριάζει την επίδραση του δομικού τμήματος του κτιρίου, όπως για παράδειγμα την επίδραση συστολών ή διαστολών, στα υπερκείμενα υλικά του.

1.8.3. Θερμομονωτικό επίπεδο (προαιρετικό)

Ως θερμομονωτική στρώση αξιοποιούνται υλικά όπως: αφρώδης πολυστερίνη, εξηλασμένη πολυστερίνη, αφρός πολυουρεθάνης, φαινολικός αφρός ρητινών, εμποτισμένος φελλός, αφρώδες γυαλί (Ευμορφοπούλου, 1994), αλλά και επιπλέον ξυλόμαλλο και πετροβάμβακας και συνδυασμός των δύο τελευταίων υλικών. Ωστόσο ορισμένες φορές, η θερμομόνωση του κτιρίου τοποθετείται κάτω από το επίπεδο της οροφής, με τη χρήση διαφορετικών υλικών (Osmudson, 1999). Είναι μια προαιρετική διάστρωση και εξαρτάται από τη θερμική απόδοση του υποστρώματος του φυτεμένου δώματος αν είναι αναγκαία.

1.8.4. Κλίσεις δώματος

Αν κριθεί απαραίτητο για την ομαλή αποστράγγιση του φυτεμένου δώματος, στην πλάκα διαμορφώνονται κλίσεις με προσθήκη ελαφριάς τσιμεντοκονίας, πορομπετόν ή κατά προτίμηση περλιτομπετόν, ως ελαφρύτερου από την τσιμεντοκονία και σταθερότερου στη συμπίεση από το πορομπετόν. Οι κλίσεις διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο φυτεμένου δώματος που έχει επιλεχθεί. Προκειμένου για φυτεμένα δώματα εκτατικού και ημιεντατικού τύπου, μια κλίση 2% θεωρείται επαρκής. Σε εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα, όταν η κλίση είναι μικρότερη του 2%, κρίνεται απαραίτητη η εγκατάσταση αποστραγγιστικής στρώσης. Στις περιπτώσεις όπου έχουμε συνδυασμό υψηλής υδατοϊκανότητας του υποστρώματος και συνολικά φτωχής στράγγισης από την υποδομή του φυτεμένου δώματος, ή περιορισμένες ανάγκες σε νερό από την εγκατεστημένη φυτεία, τότε είναι αναγκαία μια κλίση 5% τουλάχιστον (FLL, 2002). Στην περίπτωση θερμομονωτικής στρώσης, η επικάλυψη με μια στρώση ελαφριάς τσιμεντοκονίας ή περλιτομπετόν, είναι απαραίτητη αν η στεγανωτική στρώση είναι ασφαλική ή άλλη μεμβράνη η οποία εφαρμόζεται με θερμοκόλληση.

1.8.5. Στεγανωτική στρώση - αδιάβροχες μεμβράνες

Η στεγανωτική στρώση χρησιμεύει στην εξασφάλιση προστασίας του κτιρίου από τα νερά της βροχής ή της άρδευσης των φυτών του φυτεμένου δώματος.

Τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται ώστε να δημιουργηθεί η εν λόγω διάστρωση διακρίνονται σε ασφαλικά (ασφαλτικά φύλλα, πολυμερισμένες ασφαλικές μεμβράνες), συνθετικά θερμοπλαστικά (ECB, EVA, PEC, PIB, PVC) συνθετικά (CSM, EPDM, IIA) (Ευμορφοπούλου, 1994; Townshend and Duggie, 2007).

Όπως αναφέρει ο Osmudson (1999), οι τεχνικές και τα υλικά που χρησιμοποιούνται με σκοπό την επίτευξη προστασίας του κτιρίου από την διαβροχή, κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

Ενισχυμένες οροφές

Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό, καθώς είναι πολύ διαδεδομένη σε οικιακά, εμπορικά και βιομηχανικά κτίρια. Σε αυτήν χρησιμοποιούνται αλληλοεπικαλυπτόμενα στρώματα, με ασφαλικές ενισχύσεις μεμβρανών μεταξύ δύο επιπέδων ασφαλικής πίσσας. Οι μεμβράνες ενσωματώνουν ίνες κυτταρίνης ή γυαλιού, αποκτώντας μεγαλύτερη αντοχή στη φθορά. Όσον αφορά τη συγκεκριμένη μέθοδο το κυρίως αδιάβροχο τμήμα αποτελεί η ασφαλική πίσσα, ενώ η μεμβράνη έχει το ρόλο του ενισχυτικού και σταθεροποιητικού παράγοντα.

Μονές μεμβράνες

Μεμβράνες χυτές διαμορφωμένες σε φύλλα και τυλιγμένα σε ρολά, από πλαστικό ή συνθετικό καουτσούκ, ή ενισχυμένες ασφαλικές μεμβράνες, αλληλο-καλυπτόμενα και ενωμένα με θέρμανση ή με συγκολλητικές ουσίες. Ωστόσο, είναι γεγονός ότι ένα από τα μειονεκτήματα που δύνανται να παρουσιάσουν επικεντρώνεται στα σημεία συνένωσης, στα οποία συμβαίνουν διαρροές.

Τα ελαστομερή αυτά φύλλα τα οποία κατασκευάζονται από διάφορα υλικά και με διάφορες μεθόδους ούτως ώστε να κρίνεται κατάλληλη η χρήση τους στα φυτεμένα δώματα, πρέπει να ικανοποιούν τις εξής προϋποθέσεις: να είναι ανθεκτικά στη διείσδυση του ριζικού συστήματος των φυτών, στην έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, στις θερμοκρασιακές μεταβολές και στις περιβαλλοντικές επιδράσεις, να έχουν την κατάλληλη ελαστικότητα, ώστε να μπορούν να ακολουθούν τις μορφολογικές μεταβολές του δώματος, να αντέχουν στη φθορά κατά την εγκατάσταση, να μην επηρεάζονται από την παρουσία εντόμων, μικροοργανισμών και χημικών ουσιών και να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.

Μεμβράνες ρευστής εφαρμογής

Οι μεμβράνες αυτές είναι ελαστομερείς, θερμής ή ψυχρής υγρής μορφής, που ψεκάζονται ή βάζονται πάνω στην εκάστοτε επιφάνεια. Χάρη σε αυτήν την τεχνική αποφεύγεται η πρόκληση προβλημάτων διαρροών στις συνενώσεις των μεμβρανών, ενώ η εγκατάστασή τους αποτελεί μια εύκολη διεργασία, κυρίως όσον αφορά τις κάθετες επιφάνειες και τα γωνιακά σημεία.

Οποιοδήποτε είδος αδιάβροχης μεμβράνης και αν χρησιμοποιηθεί, από τη στιγμή που εγκατασταθεί, κρίνεται αναγκαίος ο έλεγχος της ικανότητας της υδατοστεγανότητάς της. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται με την κατάκλιση της οροφής με νερό, αφού ασφαλιστούν όλα τα φρεάτια αποστράγγισης. Εάν δεν είναι πιστοποιημένη η αντίσταση στην διείσδυση των ριζών των υδατοστεγανωτικών μεμβρανών, τότε είναι επιβεβλημένη μια ειδική στρώση παρεμπόδισης των ριζών. Αναλυτικότερα χρησιμοποιούνται:

- Ασφαλτικά πιλήματα και ασφαλτόπανα (αναγκαία πρόσθετη στρώση παρεμπόδισης ριζών) με περιορισμένη διάρκεια ζωής 15-20 έτη.

- Μονά φύλλα από πολυπροπυλένιο (EPDM), PVCs και θερμοπλαστικές πολυολεφίνες (TPOs) γενικά ανθεκτικές στις ρίζες, με τις τελευταίες να είναι και περιβαλλοντικά πιο αποδεκτές, ωστόσο η πιστότητά τους εξαρτάται από την άρτια εφαρμογή τους και καθαρές και ξηρές συνθήκες κατά την εφαρμογή τους.

- Φύλλα από επεξεργασμένη άσφαλτο, τροποποιημένη με θερμοπλαστικό πολυμερές και αναμιγμένη με χημικά για την παρεμπόδιση της διάτρησης τους από τις ρίζες.

Επιπλέον έχουν ενσωματωμένες πολυεστερικές ίνες και οι οποίες είναι πιο διαδεδομένες στην Ευρώπη για φυτεμένα δώματα εντατικού τύπου (Townshend and Duggie, 2007).

- Σε νεόκτιστα κτίρια και σε βαρέος τύπου φυτοδώματα, το ιδανικότερο θα ήταν να χρησιμοποιηθεί ένα διπλό σύστημα υδατοστεγάνωσης, το οποίο εκτός από τις διάφορες μεμβράνες θα προβλέπει τη χρήση σκυροδέματος αναμεμιγμένου με υδρόφοβα υλικά (Hydrophobic Poreblocking Ingredients, HPI) ή υλικά που αναπτύσσουν κρυστάλλους και φράζουν τους πόρους του σκυροδέματος. Σε υφιστάμενα κτίρια, συνιστανται αυτά τα ίδια υλικά να προστίθενται στα κονιάματα που χρησιμοποιούνται για διαμόρφωση κλίσεων ή επιπεδοποίηση (Townshend and Duggie, 2007).

1.8.6. Αντιριζική διάστρωση

Η χρήση ενός ειδικού προστατευτικού επιπέδου είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση της πλήρους προστασίας των υποκείμενων στρώσεων της οροφής και από πιθανή διάτρηση της υδατοστεγανωτικής στρώσης από το ριζικό σύστημα των φυτών. Αυτό μπορεί να αποτελείται από φύλλα PVC πάχους 1 mm, από πλαστικά φύλλα μεγάλου πάχους, ή απλά να είναι χημικά τροποποιημένες στεγανωτικές μεμβράνες. Στην περίπτωση φυτών με επιθετικό ριζικό σύστημα όπως δένδρα του γένους *Ficus* ή *Bambusa* και επίσης των γεννών *Populus*, *Salix*, *Robinia*, και ξυλοποιημένοι μακί θάμνοι, υιοθετείται ο συνδυασμός των μεμβρανών με φύλλα χαλκού (Osmundson, 1999; Townshend and Duggie, 2007).

1.8.7. Επίπεδο προστασίας

Η χρήση ενός ειδικού προστατευτικού επιπέδου είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση της πλήρους προστασίας των υποκείμενων στρώσεων της οροφής, από μηχανικές καταστροφές κατά την εγκατάσταση του φυτεμένου δώματος. Αυτό μπορεί να αποτελείται από μία τσιμεντένια πλάκα χαμηλού φορτίου (πορομπετόν ή περλιτομπετόν), ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που πρέπει να προστατευθεί μια θερμομονωτική στρώση, ή από άκαμπτα μονωτικά φύλλα, από πλαστικά φύλλα μεγάλου πάχους, από φύλλα χαλκού ή από συνδυασμό τους, ή απλά να είναι χημικά τροποποιημένες στεγανωτικές μεμβράνες. Συνήθως, σε εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα, πρόκειται για μη υφασμένο γεωϋφασμα πολυπροπυλενίου βάρους 150 g m^{-2} , που κλιμακώνεται σε $400\text{-}800 \text{ g m}^{-2}$ σε περιπτώσεις μεγαλύτερων φορτίων και τάσεων, ιδιαίτερα όταν η αποστραγγιστική στρώση συνίσταται από χονδρόκοκα υλικά (Townshend and Duggie, 2007).

1.8.9. Αποστραγγιστική στρώση

Εάν συμβεί η κλίση του δώματος να είναι μεγαλύτερη των 5° και το ύψος του φυτικού υλικού που έχει εγκατασταθεί να είναι χαμηλότερο των 25cm, η εγκατάσταση αποστραγγιστικού επιπέδου δύναται να παραληφθεί, ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση είναι αναγκαία (FLL, 2002). Θα μπορούσε ωστόσο ο σχεδιασμός να προβλέπει την εγκατάσταση ειδικής αποστραγγιστικής μεμβράνης ή άλλης δομής με κατάλληλες κοιλότητες, ώστε να λειτουργεί κυρίως ως αποθήκη νερού, ακόμα και για κλίσεις >5°. Τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο αποστραγγιστικό επίπεδο ενός φυτεμένου δώματος διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

α. συναθροιστικού τύπου υλικά, όπως χαλίκι, λάβα και ελαφρόπετρα, σπασμένη διασταλτική άργιλος και σχιστόλιθος, μη σπασμένη διασταλτική άργιλος και σχιστόλιθος και ανακυκλώσιμα συναθροιστικού τύπου υλικά όπως τούβλα, κεραμίδια, μεταλλική σκωρία, αφρώδες γυαλί.

β. αποστραγγιστικό φύλλο συνθετικό μη υφαντό, πλαστικό φύλλο με τρισδιάστατη δομή, ή φύλλο φυτικών ινών.

γ. αποστραγγιστικά πλαίσια από αφρώδη τεμάχια, καουτσούκ, ή τροποποιημένο αφρό.

Οι ιδιότητες που πρέπει να ικανοποιεί η αποστραγγιστική στρώση (FLL, 2002) είναι:

- Η κατάλληλη κοκκομετρία
- Η αντοχή στο ψύχος
- Η σταθερότητα της δομής
- Η αντοχή της σε φορτία
- Η υδατοπερατότητα
- Η ικανότητα συγκράτησης νερού
- Το pH
- Η περιεκτικότητα του σε ανθρακικά και διάφορα άλλα άλατα
- Η έλλειψη φυτοτοξικότητας
- Να είναι περιβαλλοντικά φιλική

Παράλληλα με το αποστραγγιστικό επίπεδο εξασφαλίζονται και οι αποχετεύσεις, κανάλια και φρεάτια, οι οποίες συγκεντρώνουν και εν συνεχεία απομακρύνουν το πλεονάζον νερό από το δώμα. Τα υλικά από το οποίο είναι κατασκευασμένα τα στοιχεία του αποστραγγιστικού δικτύου, είναι είτε από πλαστικό είτε από μέταλλο (ορείχαλκο ή σίδηρο) και συλλέγουν και οδηγούν το νερό στο κεντρικό αποστραγγιστικό σύστημα σωληνώσεων του κτιρίου.

1.8.10. Διαχωριστική στρώση

Η διαχωριστική στρώση ενεργεί σαν φίλτρο που επιτρέπει τη ροή του νερού, παρεμποδίζοντας την διήθηση των λεπτόκοκκων σωματιδίων του υποστρώματος και ως ένα βαθμό και για τη μερική προστασία από τη διείσδυση των ριζών προς την αποστραγγιστική διάστρωση.

Αποτελείται από ένα ή μπορεί και δύο επίπεδα μη υφαντού γεωυφάσματος. Το υλικό κατασκευής τους είναι ίνες, παράλληλα ή τυχαία πλεγμένες με μηχανικές, χημικές ή θερμικές διαδικασίες ή συνδυασμό τους. Τα άκρα της διαχωριστικής στρώσης πρέπει να αναδιπλώνονται ως την επιφάνεια του υποστρώματος.

Τα χαρακτηριστικά τους που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή και τοποθέτηση τους είναι τα εξής (FLL, 2002):

- Βάρος ανά μονάδα επιφάνειας
- Αποτελεσματικότητα μηχανικού φιλτραρίσματος

1.8.11. Χαρακτηριστικά υποστρωμάτων ανάπτυξης φυτών

Τα βασικά χαρακτηριστικά του υποστρώματος ανάπτυξης του φυτικού υλικού είναι τα εξής: μειωμένο φορτίο, ικανή αποστράγγιση και συγκράτηση νερού, μεγάλη διάρκεια ζωής και δημιουργία κατάλληλων συνθηκών αερισμού του ριζικού συστήματος, διατήρηση των απαραίτητων για τα φυτά θρεπτικών συστατικών, παρεμπόδιση διείσδυσης σωματιδίων τα οποία δύναται να προξενήσουν προβλήματα στις υποκείμενες στρώσεις εγκατάστασης, σταθερότητα και μειωμένο κόστος. Τα παραπάνω εξειδικεύονται σε φυσικές και χημικές ιδιότητες που ποσοτικοποιούνται (FLL, 2008) και αφορούν:

- Κοκκομετρική κατανομή
- Οργανικό περιεχόμενο
- Αντοχή της σε φορτία
- Υδατοπερατότητα
- Υδατοϊκανότητα
- Πορώδες
- Τιμές pH
- Περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία
- Περιεκτικότητα σε άλατα και EC
- Περιβαλλοντική συμβατότητα
- Παρεμπόδιση φωτιάς

1.9. Προβληματισμοί σε σχέση με την κατασκευή φυτικών δωματίων

Η οικονομική επιβάρυνση: Αναμφίβολα, η κατασκευή ενός φυτεμένου δώματος απαιτεί κάποιο επιπλέον κόστος, το οποίο στις σημερινές ελληνικές κατασκευές δε συμπεριλαμβάνεται. Το κόστος αυτό, αφορά τον αρχικό σχεδιασμό και τη διαμόρφωση του κήπου, το κατασκευαστικό κομμάτι του φυτεμένου δώματος και τέλος τη διαχείρισή του.

Η στατική επιβάρυνση φυτεμένων δωματίων: η απόφαση της κατασκευής ενός φυτεμένου δώματος, στηρίζεται αρχικά και μόνο σε αυτόν τον παράγοντα. Σε περίπτωση που η υπάρχουσα φέρουσα κατασκευή δεν μπορεί να δεχτεί την πρόσθετη στατική επιβάρυνση, τότε η κατασκευή του κήπου στο δώμα είναι προβληματική έως απαγορευτική.

Ο κίνδυνος αποτυχίας στεγανωτικής διάστρωσης: Αναμφίβολα ένας από τους κυριότερους λόγους για τους οποίους πολλοί έχουν αμφιβολίες για την ασφαλή εγκατάσταση φυτεμένων δωματίων, είναι ο κίνδυνος αστοχίας της στεγανωτικής διάστρωσης και τα προβλήματα υγρασίας που μπορούν να προκληθούν σε μια τέτοια περίπτωση. Αν και μπορεί να υπάρξει τοπική αποξήλωση των προβληματικών στρώσεων της κατασκευής και πάλι η διαδικασία δεν παύει να είναι ιδιαίτερα ανεπιθύμητη και αρκετά δαπανηρή.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις: Ένα πρόβλημα που μπορεί να προκύψει από την εγκατάσταση φυτοδωματίων εντατικού τύπου είναι η έκπλυση, μαζί με τα όμβρια ύδατα, υπολειμμάτων αγροχημικών ουσιών, όπως λιπάσματα και φυτοφάρμακα, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη συντήρηση του φυτικού υλικού (Nektarios et al., 2008; Nikologianni et al., 2009). Η κατάληξη αυτών των επικίνδυνων, πολλές φορές για τη δημόσια υγεία, ουσιών είναι ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας και υδάτινοι αποδέκτες και κυρίως η θάλασσα, στους οποίους καταλήγουν και τα όμβρια ύδατα δημιουργώντας προβλήματα τοξικότητας και ευτροφισμού.

1.10. Φυτεμένα δώματα και η ελληνική πραγματικότητα

Η Ελλάδα δεν είχε αναπτυχθεί σε θέματα κτιριακής θερμομόνωσης καθώς πάνω από τα 2/3 των κτιρίων στην Ελλάδα δεν διαθέτουν θερμομόνωση, ενώ μόνωση δαπέδου και διπλά τζάμια διαθέτει μόλις το 1 στα 10 σπίτια (Ευθυμιόπουλος, 2005). Ο οικιακός τομέας, που περιλαμβάνει το 75% του συνολικού κτιριακού αποθέματος της χώρας, αριθμεί πάνω από 2,8 εκ. κτίσματα, τα περισσότερα των οποίων κατασκευάστηκαν πριν από τη δεκαετία του '80 οπότε και άρχισε να ισχύει ο κανονισμός θερμομόνωσης. Ένα μεγάλο

μέρος της καταναλισκόμενης ενέργειας (περίπου 60%) προορίζεται για τη θέρμανση των χώρων.

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό πως τα οφέλη από τη δημιουργία φυτεμένων δωματίων στα κτίρια των μεγάλων αστικών κέντρων, είναι πολυάριθμα και πολυδιάστατα. Η εκμετάλλευση των δωματίων κατά αυτό τον τρόπο, αποτελεί μια οικολογικά αποδεκτή λύση, αφού μπορεί να θεωρηθεί ότι υποκαθιστούν κατά κάποιο τρόπο τη γη που χάνεται από την ανοικοδόμηση, με ταυτόχρονες θετικές, οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες (Ευμορφοπούλου, 1994). Το μέγεθος του οφέλους έχει διαπιστωθεί σε ορισμένα Ευρωπαϊκά κράτη, τα οποία με πολιτική φοροαπαλλαγών και επιδοτήσεων, προωθούν την κατασκευή αυτής της μορφής αστικού πρασίνου. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το Γερμανικό κράτος, στο οποίο στο 43% των πόλεων του προσφέρονται οικονομικά κίνητρα, στο 37% υιοθετούνται οικονομικά προγράμματα για την προώθηση της εγκατάστασης πρασίνου και στο 17%, η κατασκευή φυτοδωμάτων ανήκει στο πρόγραμμα της υδατικής διαχείρισης των πόλεων. Στα 29 από τα 193 μεγαλύτερα αστικά κέντρα της Γερμανίας οι οικονομικές επιδοτήσεις για την εγκατάσταση φυτοδωμάτων καλύπτουν το 25-100% του συνολικού κόστους εγκατάστασης, ενώ σε 13 από αυτές εφαρμόζονται και φοροαπαλλακτικές ρυθμίσεις (Osmudson, 1999).

Στην Ελλάδα η ανάπτυξη των φυτεμένων δωματίων βρίσκεται σε πολύ αρχικό στάδιο. Τα φυτεμένα δώματα στην χώρα μας δεν είναι ακόμα αρκετά διαδεδομένες κατασκευές, με αποτέλεσμα να υπάρχουν χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα ταρατσών από σκυρόδεμα ανεκμετάλλευτα, εγκαταλελειμμένα, χωρίς ουσιαστική χρήση και οι οποίες θα μπορούσαν ύστερα από σωστή μελέτη, να μετατραπούν σε νησίδες πρασίνου και να αποτελέσουν σημαντικό ρόλο στην αναβάθμιση της ποιότητας του περιβάλλοντος.

Το σημαντικότερο όμως πρόβλημα αφορά τη δυσκολία που υφίσταται όσον αφορά τη δημιουργία των φυτοδωμάτων σε τμήματα των πόλεων τα οποία είναι ασφυκτικά δομημένα και έχουν παντελή έλλειψη ελευθέρων χώρων και χώρων πρασίνου (Δυτικά Προάστια, Κέντρο της Αθήνας - Ομόνοια, κ.ά. όπως φαίνεται και στην Εικ. 1.13.), και τα οποία έχουν κατασκευαστεί στη βάση Γενικών Οικοδομικών Κανονισμών (ΓΟΚ), που δεν πρόβλεπαν ικανά φορτία επικαλύψεων στα δώματα των κτιρίων.

Το προφανές πρόβλημα έγκειται στην επικινδυνότητα που ενέχει μία κατασκευή φυτοδώματος πάνω σε φέροντα οργανισμό ο οποίος έχει κατασκευαστεί με προγενέστερους και απαρχαιωμένους ΓΟΚ. Η πρόκληση είναι οι περιορισμένες δυνατότητες εγκατάστασης φυτοδωμάτων στις περιοχές στις οποίες είναι κατ' εξοχήν απαραίτητα: μια πρόκληση που αναδεικνύει το χαμηλό ειδικό βάρος των υποστρωμάτων, σε πρωταρχικό κριτήριο.



Εικόνα 1.13. Δορυφορική εικόνα της περιοχής Πατησίων του Δήμου Αθήνας όπου είναι εμφανής η έλλειψη ελεύθερων χώρων και χώρων αστικού πρασίνου. Η πλειονότητα των οροφών είναι επίπεδες και προσφέρονται για φυτοκάλυψη (πηγή: Google earth).

1.11. Ο Τύπος των Υποστρωμάτων των Φυτοδωμάτων

Τα υποστρώματα των φυτεμένων δωματίων έχουν εξεταστεί αρκετά στον εκτατικό τύπο (Monterusso et al., 2005; Getter and Rowe, 2006) και λιγότερο στον εντατικό τύπο (Nektarios et al., 2003). Γενικά, απαιτείται να είναι ελαφριά, χημικά αδρανή και φυσικώς σταθερά, να συγκρατούν ικανή ποσότητα νερού και ανόργανων στοιχείων απαραίτητων για την ανάπτυξη των φυτών. Παράλληλα επιβάλλεται να αποστραγγίζουν γρήγορα ώστε να αποφεύγεται η παράταση της κατάστασης κορεσμού (Rowe et al., 2006). Έτσι στην πλειονότητα των υποστρωμάτων των φυτεμένων δωματίων τείνουν να επικρατήσουν τα μίγματα που βασίζονται στα ανόργανα συστατικά, στα συναθροιστικού τύπου αδρανή υλικά (Beattie and Berghage, 2004), με ένα μικρό μέρος οργανικής ουσίας που ποικίλει σύμφωνα με τον τύπο του φυτεμένου δώματος (FLL, 2002). Στην Ευρώπη τα ανόργανα υλικά περιλαμβάνουν θραυσμένο τούβλο και κεραμίδι, σκωρίες χαλυβουργίας και διογκωμένη αδρανή άργιλο (LECA: Light Expanded Clay Aggregate) (Dunnett and Kingsbury, 2004). Τα ίδια αυτά υλικά χρησιμοποιούνται σε ΗΠΑ και Καναδά και επιπλέον κίσηρη και θερμικά διογκωμένος σχιστόλιθος (Rowe et al., 2006). Στην Αυστραλία, λόγω έλλειψης προδιαγραφών και κατευθυντήριων γραμμών, στα εντατικού τύπου φυτοδωμάτια χρησιμοποιούνται μίγματα παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται στα φυτώρια για γλαστρικά φυτά και φυτά φυτοδοχείων (Williams et al., 2010). Στις περισσότερες

περιπτώσεις, η οργανική ουσία των υποστρωμάτων συνίσταται από τύρφη ενώ τα κόμποστ εισάγονται τα πρόσφατα χρόνια (Nektarios et al. 2011α, Περγαλιώτη και Παπαφωτίου, 2011α, 2011β) ως μια εναλλακτική λύση, σε μια προσπάθεια να ελαχιστοποιηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση της τύρφης στην κηποτεχνία και γενικά την φυτοκομία (Gruda and Schnitzler, 2006; Lamanna et al., 1991).

1.11.1. Διαθέσιμα υλικά για τη σύνθεση υποστρωμάτων

Για τη σύνθεση των κατάλληλων για κάθε περιβάλλον υποστρωμάτων, διατίθενται μια σειρά υλικών η χρήση των οποίων έχει εδραιωθεί στα εδαφικά μίγματα ή στην υδροπονία, η απασχολούν την έρευνα τα τελευταία χρόνια, όπως ο ζεόλιθος, που χρησιμοποιήθηκε και ως τεχνητό υπόστρωμα σε πειράματα καλλιέργειας στο διαστημικό σταθμό MIR (Mumpton, 1999).

Υλικά ανόργανης προέλευσης

Άμμος

Η άμμος αποτελεί ένα προϊόν το οποίο παρουσιάζει ποικίλη κοκκομετρική σύσταση. Κατασκευές όπου το φυτικό υπόστρωμα αποτελείται μόνο από άμμο δεν ενδείκνυται εξαιτίας του αυξημένου πορώδους της, που οδηγεί στη μειωμένη συγκράτηση νερού και θρεπτικών στοιχείων για την ανάπτυξη των φυτών.

Διογκωμένη άργιλος

Η διογκωμένη άργιλος αποτελείται από διογκωμένα και σφαιρικού σχήματος σώματα, που έχουν κατάλληλο πορώδες. Ωστόσο, εξαιτίας της μικρής συνοχής και της μικρής ικανότητας τους προς συσσωμάτωση, δεν κρίνονται κατάλληλα για μεμονωμένη χρήση και ιδιαίτερα σε εντατικού τύπου φυτεμένα δώματα, εφόσον δεν μπορεί να δημιουργήσει ανθεκτικό υπόστρωμα στη στήριξη του μεγάλου μεγέθους φυτών (Osmudson, 1999).

Θα πρέπει εδώ να αναφέρουμε ότι στη γερμανική αγορά η χρήση του υλικού είναι πολύ διαδεδομένη καθώς η σύστασή του συμβάλλει στην συγκράτηση 35% του όγκου του σε νερό και διαθέτει το 28% απ' αυτό, με αργή αποδέσμευση του στο ριζικό περιβάλλον (Osmudson, 1999).

Γη Διατόμων

Πρόκειται για τα υπολείμματα μονοκύτταρων θαλάσσιων οργανισμών τα οποία μετά από επεξεργασία αποτελούν ένα κοκκώδες σύστασης υλικό με πορώδες 81,5% και με επιφάνεια $27,8 \text{ m}^2 \text{ g}^{-3}$, ελαφρύ με φαινόμενο ειδικό βάρος $0,41 \text{ g cm}^{-3}$, και ορυκτώδους υφής με pH 8,55, το οποίο παρουσιάζει μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού, 30% κατ' όγκο, δεν συμπιέζεται και ελαχιστοποιεί την έκπλυση των θρεπτικών ιόντων, έχοντας ΙΑΚ ίση με $22,2 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$. Η σκληρότητά του είναι 5,0-6,0 της κλίμακας Mohs (Angini et al., 2011).

Περλίτης

Είναι υλικό φυσικής προέλευσης από διόγκωση ακατέργαστου περλίτη στους 1000-1200 °C. Η ενέργεια που δαπανάται για την διόγκωσή του, ανέρχεται στα 90-140 kWh m⁻³. Ο ακατέργαστος περλίτης είναι ένα ηφαιστειογενές υαλώδες αργιλλοπυριτικό πέτρωμα, κατά βάση χαλαζιακό, του οποίου η γενεσιουργός αιτία είναι η όξινη λάβα, που εγχύθηκε επιφανειακά ή υποθαλάσσια κατά τη διάρκεια ηφαιστειακών δραστηριοτήτων. Ο διογκωμένος περλίτης έχει ένα μοναδικό εύρος θερμοκρασίας σε δομικές και βιομηχανικές εφαρμογές, από -273 έως 750 °C (Παπαδόπουλος, 2004). Είναι ελαφρύς (90 kg m⁻³), χημικά αδρανής, δεν αλλοιώνεται και συγκρατεί 3-4 φορές το βάρος του σε νερό. Η χονδρόκοκη υφή του (0-5 mm τύπος για γεωργική χρήση) συνεπάγεται υψηλή διαπερατότητα για στράγγιση και αερισμό και θεωρείται ως εδαφοβελτιωτικό (Σάββας, 2003).

Κίσηρη ή Ελαφρόπετρα

Η ελαφρόπετρα (κίσηρη) είναι ένα αργιλλοπυριτικό ηφαιστειογενές, ελαφρύ αδρανές υλικό (ορυκτό) με εκτεταμένο πορώδες, 70-75%. Η Ελληνική ελαφρόπετρα έχει φαινόμενο ειδικό βάρος (ΦΕΒ) 0,6-0,8 kg L⁻¹ (Σάββας, 2003). Είναι φυσική πρώτη ύλη, άκαυστη, ηχοαπορροφητική, φιλική προς το περιβάλλον, ενώ έχει καλές θερμομονωτικές ιδιότητες.

Ζεόλιθος

Ο ζεόλιθος είναι ένα πορώδες ορυκτό με μεγάλη ιοντοανταλλακτική ικανότητα και λόγω αυτής, μπορεί να φιλτράρει το νερό και εδαφικά διαλύματα, δεσμεύοντας κατιόντα Ca, Na, Mg, K, Αμμωνιακό ιόν, βαρέα μέταλλα και οργανικές ενώσεις, ραδιενεργά στοιχεία όπως Cs⁺ και Sr⁺. Χρησιμοποιείται για απόσμηση εδαφικών, οργανικών μιγμάτων, απορρύπανση νερού, ρύθμισης του pH, και της αλατότητας (Διονυσίου, 2010). Το όνομά του το πήρε από τα αρχαία Ελληνικά, Ζέω = βράζω και Λίθος = πέτρα. Κι αυτό γιατί όταν θερμαίνεται χάνει άμεσα όλο το νερό του υπό μορφή φουσαλίδων, δίνοντας έτσι την εντύπωση ότι βράζει. Πλούσια σε κοιτάσματα ζεόλιθου είναι η Βουλγαρία και αρκετές περιοχές της Βόρειας Ελλάδας και των Κυκλάδων.

Ο ζεόλιθος έχει πολύ καλές ιδιότητες σαν υπόστρωμα. Με την ενσωμάτωσή του στο έδαφος, δεσμεύει το αμμώνιο και το κάλιο και τα διατηρεί κοντά στο ριζικό σύστημα των φυτών για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Διονυσίου, 2010). Έτσι, το νερό -ακόμα και έπειτα από μεγάλες βροχοπτώσεις- δεν μπορεί να τα παρασύρει σε μεγαλύτερο βάθος. Παράλληλα, η αφομοίωση των θρεπτικών συστατικών από τα φυτά πραγματοποιείται με φυσιολογικούς ρυθμούς. Επίσης βοηθάει στη συγκράτηση της υγρασίας ιδιαίτερα στα αμμώδη εδάφη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ποσότητες από 500 - 1.000 kg/στρέμμα στις υπαίθριες καλλιέργειες και σε ποσοστό 5%-10% στα μείγματα της χλοοταπήτων (Huang and Pelrović, 1996).

Πετροβάμβακας (Rockwool)

Είναι υλικό χημικά αδρανές, ομογενοποιημένο και αποστειρωμένο. Παρασκευάζεται με τη θέρμανση στους 1500 °C ενός μείγματος τριών φυσικών ακατέργαστων υλικών: του διαβάση (60%), του ασβεστολίθου (20%) και διαφόρων άλλων πετρωμάτων και άνθρακα (20%). Το μείγμα στροβιλίζεται με υψηλή ταχύτητα για να παραχθούν πολύ λεπτές ίνες. Η ενέργεια που καταναλίσκεται για το λιώσιμο των πετρωμάτων, κυμαίνεται μεταξύ 150-300 kWh m⁻³. Ακολουθεί ψύξη των ινών ενώ ταυτόχρονα προστίθεται μια φαινολική ρητίνη που λειτουργεί σαν σύνδεσμος μεταξύ των ινών. Στη συνέχεια ακολουθεί συμπίεση για τη διαμόρφωση πλακών διαφόρων μεγεθών. Το τελικό προϊόν έχει φαινόμενο ειδικό βάρος περίπου 70-150 kg m⁻³, 80 έως 95% ολικό πορώδες, 20% αέρα και 75% συγκράτηση νερού (Σάββας, 2003; Παπαδόπουλος, 2004). Η υδραυλική αγωγιμότητά του στον κορεσμό είναι πολύ μεγάλη, 0,77 mm s⁻¹, αλλά μειώνεται απότομα με την μείωση της περιεχόμενης υγρασίας (Da Silva et al., 1995).

Έχει λίγο υψηλό αρχικό pH (7,0-8,0), ενώ έχουν καταγραφεί και τιμές μέχρι και 9,5 κατά την ενυδάτωσή του. Από υγειονομική άποψη έχουν διατυπωθεί φόβοι για την απελευθέρωση ινών από τις πλάκες κατά τη μεταχείρισή τους. Η όποια παθογένεια δεν συσχετίζεται με την ορυστική προέλευση του πετροβάμβακα αλλά από το μέγεθος των ινών, ενώ θεωρείται ότι ίνες πυριτικού ασβεστίου με διάμετρο >5 μm δεν δημιουργούν πρόβλημα τοξικότητας (Μπουλανίκη, 2010). Ας σημειωθεί ότι η διάμετρος των ινών του πετροβάμβακα είναι περί τα 4-15 μικρά (Παπαδόπουλος, 2004).

Υλικά οργανικής προέλευσης

Κοκκοφοίνικας, Ίνες καρύδας (coco soil, cocopeat)

Το υπόστρωμα αυτό προέρχεται κυρίως από τη Σρι Λάνκα, τις Φιλιππίνες, την Ινδονησία, τη νότια Ινδία και τη Λατινική Αμερική. Ανατομικά, οι ίνες της καρύδας προέρχονται από το μεσοκάρπιο ιστό (φλοιό) των καρύδων. Έχει αυξημένη υδατοϊκανότητα και κυρίως διατηρεί πάντα μια πολύ καλή σχέση νερού και αέρα.

Περιέχει ένα μεγάλο αριθμό μυκήτων του γένους *Trichoderma* οι οποίοι δρώντας ανταγωνιστικά, αποτρέπουν την ανάπτυξη των γνωστών μυκητολογικών ασθενειών του ριζικού συστήματος των φυτών. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται στο 0,5 mS cm⁻¹ ή και χαμηλότερα και το pH από 5,5-6. Παρόμοιο υλικό με τον κοκκοφοίνικα, παραλαμβάνεται με επεξεργασία ινών κλωστικής κάνναβης (Δ3).

Χούμος

Ο χούμος, δηλαδή η επαρκώς αποσυντεθειμένη οργανική ουσία, είναι εδαφοβελτιωτικό, μεταπλαστικό και λιπαντικό στοιχείο των εδαφικών μιγμάτων, βελτιώνοντας μεταξύ άλλων την υδατοϊκανότητα του υποστρώματος και την περιεκτικότητά του σε θρεπτικά στοιχεία.

Τύρφη

Η τύρφη είναι αποτέλεσμα της μερικής αποσύνθεσης φυτικών ιστών (καλάμια, βρύα κ.ά.) υπό την επίδραση χαμηλών θερμοκρασιών και αναερόβιων ή ημι-αναερόβιων συνθηκών. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα σε κακώς αποστραγγιζόμενες περιοχές (έλη και τέλματα) με χαμηλό pH. Η περιεκτικότητα της σε οργανική ουσία είναι κατά μέσο όρο 85% επί του ξηρού βάρους. Αποτελεί ένα χαλαρό, οργανικό ίζημα, το οποίο σχηματίζεται από τη συσσώρευση αποσυντεθημένων φυτικών υπολειμμάτων. Συνιστά το πρόδρομο ίζημα των γαιανθράκων. Η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη ποικίλει με ελάχιστο όριο το 30 % επί ξηρού βάρους .

Έχει εκτεταμένο πορώδες (90-95 % του όγκου της) με καλή αναλογία μεταξύ μικρών και μεγάλων πόρων και ως εκ τούτου διακρίνεται από μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού, αλλά και επαρκή αεροπερατότητα. Έχει ικανοποιητική ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, όμως στην φυσική της κατάσταση τα αρνητικά φορτία των κολλοειδών είναι κορεσμένα κυρίως με ιόντα υδρογόνου, με συνέπεια να είναι φτωχή σε θρεπτικά στοιχεία και να έχει χαμηλό pH (3,5 - 4). Η τύρφη έχει μεγάλη υδατοϊκανότητα και συγκρατεί νερό 6-7 φορές το βάρος της. Είναι εδαφοβελτιωτικό και μεταπλαστικό (Σάββας, 2003).

Στην πραγματικότητα η τύρφη ανήκει στα απολιθωμένα καύσιμα και έχουν διατυπωθεί πολλές επιφυλάξεις για την χρήση της, τόσο για το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα (Defra, 2009; Papadopoulos, 2006; TIMSA, 2000; Dalgaard et al., 2006), όπως προκύπτει από την ανάλυση κύκλου ζωής της (LCA), όσο και από την περιβαλλοντική υποβάθμιση των τυρφώνων (peatlands) και των συνεπαγόμενων αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτής (Lamana et al., 1991; Arenas et al., 2002; Gruda and Schnitzler, 2006).

Οργανικοί Αφροί

Δυο υποστρώματα αφρού πολυουρεθάνης και μίγματος ουρίας φορμαλδεΐδης δημιουργούν κατάλληλες συνθήκες ανάπτυξης φυτικού υλικού, χωρίς την προϋπόθεση ύπαρξης εδάφους ή άλλων συστατικών.

Ο πρώτος αναπτύχθηκε μετά από αντίστοιχες έρευνες στη Γερμανία (Osmudson, 1999). Πρόκειται για ανάμειξη αφρού ελαστικής πολυουρεθάνης, δημιουργώντας ένα σύστημα σταθερής κατάστασης και χαμηλής πυκνότητας, στο οποίο εμποτίζονται σπόροι φυτικού υλικού. Σε περίπτωση φύτευσης, αφαιρείται τμήμα του υλικού και στη θέση του τοποθετείται το φυτό. Πρόκειται για πολύ ελαφρύ υλικό με ύψος που ποικίλει, ανάλογα με το είδος της φύτευσης, το οποίο συμβάλλει στη θερμική και ηχητική μόνωση του κτιρίου.

Όσον αφορά και τα δύο υπάρχουν επιφυλάξεις γιατί συγκαταλέγονται στα πετροχημικά. Η πολυουρεθάνη θρυμματίζεται όταν εκτεθεί στον ήλιο και απελευθερώνει χημικές ουσίες (Παπαδόπουλος, 2004) που χρησιμοποιήθηκαν ως μέσο διόγκωσης κατά

την φάση της παραγωγής, όπως το TDI (2,4-δινιτροτολουολίου). Το TDI ταξινομείται ως δυνητικώς καρκινογόνος ουσία για τον άνθρωπο και τοξική (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2008). Επιπλέον η ελεύθερη φορμαλδεΐδη θεωρείται τοξική και ο αφρός της πολυουρεθάνης εμπεριέχει αδέσμευτη φορμαλδεΐδη (Μπουλανίκη, 2010).

1.12. Το βάθος των υποστρώματων

Όσον αφορά το βάθος του υποστρώματος, οι Dunnett and Nolan (2002) εργαζόμενοι σε φυτεμένα δώματα ημιεντατικού τύπου με ποώδη φυτά, βρήκαν ότι στην περίπτωση που αρδεύονταν επαρκώς, τα φυτά αναπτύσσονταν καλά τόσο σε βάθος υποστρώματος 100 mm όσο και σε 200 mm. Μάλιστα τα φυτά χαμηλής ανάπτυξης, που συνήθως χρησιμοποιούνται σε τυπικές φυτεύσεις εκτατικού τύπου φυτεμένων δωματίων (*Sedum* sp.), απέδιδαν λιγότερο καλά σε πιο παραγωγικές συνθήκες. Οι Getter and Rowe (2007) βρήκαν σε μονοκαλλιέργεια *Sedum* sp, ότι το βάθος του υποστρώματος δεν επηρέασε την επιβίωση μοσχευμάτων *Sedum* σε τρία διαφορετικά βάθη υποστρώματων (2,5, 5 και 7,5 cm) που δοκίμασαν.

Σε επόμενη μελέτη οι Dunnett et al. (2008) έδειξαν ότι τα γενικά οικολογικά χαρακτηριστικά φυτείας με δεκαπέντε πολυετή ποώδη φυτά και γρασίδια, όπως η παραγωγικότητα, η πληθώρα και η ποικιλία των ειδών, ήταν βελτιωμένα σε βάθος υποστρώματος 200 mm από ότι σε 100 mm. Οι Benvenuti and Bacci (2010) έδειξαν ότι τα περισσότερα από τα 20 είδη προερχόμενα από ξηρά οικοσυστήματα, ανάπτυξαν πλέον εκτεταμένη φυτοκάλυψη και μεγαλύτερη ανάπτυξη σε βάθος υποστρώματος 150 mm σε σύγκριση με 100 mm.

1.13. Επιλογή φυτικού υλικού

Ο Αμερικανός αρχιτέκτων τοπίου, Commoner Barry (1971), δήλωνε εκλαϊκευτικά: «η φύση γνωρίζει καλύτερα», με έναν ακραιφνή νατουραλισμό με τον οποίο επηρέασε η Βουδιστική Κίνα τη μοντέρνα αρχιτεκτονική τοπίου.

Ασφαλώς βέβαια δε «γνωρίζει» η φύση, αλλά μια καλή ανάγνωσή της μας καθοδηγεί στα απαραίτητα βήματα προσαρμογής, έτσι ώστε ο σχεδιασμός μας να είναι επιτυχής στους στόχους του, η κατασκευή και η συντήρηση του φυτεμένου δώματος να επιτυγχάνεται με την ελάχιστη δυνατή δαπάνη ενέργειας, τεχνολογικής και ανθρώπινης και το σύστημα να αναπτύσσεται με ένα φυσικό τρόπο με την ελάχιστη δυνατή ανθρώπινη παρέμβαση.

Το φυτεμένο δώμα χαρακτηρίζεται γενικά από περιορισμένο χώρο, μικρά βάθη υποστρώματος, ελαφριά κοκκώδη μίγματα που αποστραγγίζουν εύκολα, συνήθως

περιορισμένης γονιμότητας, πλήρη έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, ανεμπόδιστη έκθεση στον άνεμο ή στους στροβίλους που δημιουργούνται από τα αστικά φαράγγια. Το περιβάλλον αυτό αναγνωρίζεται σε συγκεκριμένα οικοσυστήματα και η Μεσογειακή φύση καθοδηγεί τα απαραίτητα βήματα προσαρμογής μας, όσον αφορά την επιλογή του φυτικού υλικού.

Χασμόφυτα, φρύγανα, ξηροφυτικοί θάμνοι, ανθεκτικές στον άνεμο πόες και γρασίδια των νησιών, ιθαγενή παχύφυτα, ακόμα και αλόφυτα, είναι οι φυτικές ομάδες -δεξαμενή αναζήτησης των κατάλληλων φυτών, για τη φύτευση προσαρμοσμένων στο Μεσογειακό περιβάλλον φυτοδωμάτων. Τα φυτά των ομάδων αυτών έχουν ως κοινό γνώρισμα, ότι έχουν αναπτύξει διάφορους μηχανισμούς ελέγχου της απώλειας του κυτταρικού νερού και της εξατμισοδιαπνοής.

Η *Euphorbia acanthothamnus* (γαλατσίδα) αποτελεί κλασικό παράδειγμα φρυγανικού είδους, που στις ακραίες συνθήκες του καλοκαιριού (υψηλή θερμοκρασία και έλλειψη νερού) ρίχνει παντελώς τα φύλλα της (μηχανισμός διαφυγής) και περνά σε ληθαργική μορφή μέχρι την επόμενη φθινοπωρινή περίοδο των βροχών. Το είδος *Ammophila arenaria*, διαθέτει ειδικές προσαρμογές ξηροφυτικής διαβίωσης σε αμμοθίνες. Η εξωτερική επιδερμίδα στο άνω μέρος του φύλλου είναι παχιά και χωρίς στόματα. Αυτά βρίσκονται μόνο στην κάτω επιφάνεια του φύλλου (μηχανισμός αποφυγής), όπου προστατεύονται από τους ισχυρούς ανέμους που φυσούν στα περιβάλλοντα των αμμοθινικών συστημάτων (Bellamy, 1977).

Στη διεθνή έρευνα αλλά και πρακτική εφαρμογή, τα πλέον διαδεδομένα φυτά σε φυτοδωμάτια είναι είδη του γένους *Sedum*. Εκτεταμένα πειράματα έχουν γίνει στο Πανεπιστήμιο του Michigan (Monterusso et al., 2005), όπου δοκιμάστηκαν εννέα είδη *Sedum* αυτοφυή των Βορείων κλιμάτων που πολλαπλασιάστηκαν με σπόρο: *S. acre*, *S. album*, *S. kamtschaticum*, *S. ellacombeanum*, *S. pulchellum*, *S. reflexum*, *S. spurium* 'Coccineum', *S. middendorffianum* 'Diffusum' and *S. spurium* 'Royal Pink'. Παράλληλα δοκιμάστηκαν και 18 τάξα από ποώδη ετήσια ή πολυετή αυτοφυή φυτά και γρασίδια: *Agastache foeniculum* (lavender hyssop), *Allium cernuum* (nodding wild onion), *Aster laevis* (smooth aster), *Coreopsis lanceolata* (lanceleaf coreopsis), *Fragaria virginiana* (wild strawberry), *Juncus effusus* (spikerush), *Koeleria macrantha* (junegrass), *Liatris aspera* (rough blazingstar), *Monarda fistulosa* (bergamot), *Monarda punctata* (horsemint), *Opuntia humifusa* (prickly pear), *Petalostemum purpureum* (purple prairie clover), *Potentilla anserine* (silver feather), *Rudbeckia hirta* (black-eyed Susan), *Schizachyrium scoparium* (little bluestem), *Solidago rigida* (stiff goldenrod), *Sporobolus heterolepis* (prairie dropseed) and *Tradescantia ohiensis* (spiderwort). Στη μελέτη αυτή η διακοπή της άρδευσης τον Ιούλιο του δεύτερου έτους, οδήγησε μέχρι το τέλος του έτους να μην έχουν

επιβιώσει καθόλου, φυτά από τα είδη *A. foeniculum*, *A. laevis*, *F. virginiana*, *L. spicata*, *M. fistulosa*, *M. punctata*, *P. purpureum*, *P. anserina*, *R. hirta*, *S. scoparium*, and *S. Rigida* και να έχουν επιδείξει υψηλή θνησιμότητα τα: *C. lanceolata*, *J. effusus*, *K. macrantha*, and *S. heterolepis*. *Allium cernuum*, *O. humifusa*, *T. ohiensis*. Όλα ωστόσο τα είδη *Sedum* αποδείχθηκαν ανθεκτικά στη ξηρασία και μαζί με τα *Allium cernuum*, *Coreopsis lanceolata*, and *Tradescantia ohiensis* αποδείχθηκαν τα πλέον κατάλληλα για μη αρδευόμενα φυτεμένα δώματα (Monterusso et al., 2005).

Ανάλογα συμπεράσματα διατυπώθηκαν μετά από έρευνα στο εύκρατο ωκεάνιο κλίμα των Βρετανικών νήσων. Το γενικό συμπέρασμα ήταν ότι η φύτευση μόνο ειδών *Sedum* σε εκτατικό φυτοδώμα, καθιστά μη αναγκαία την εγκατάσταση αρδευτικού συστήματος, ενώ η φύτευση γρασιδιών και πλατύφυλλων μάλλον την επιβάλλει (Nagase and Dunnett, 2011).

Επιπλέον, από δοκιμές αγρού -όχι φυτοδώματος- στον Πειραματικό σταθμό της Πολιτείας Utah των Η.Π.Α., στον αγρό Γεωργικής έρευνας στο North Logan, διαπιστώθηκε ότι το *Penstemon barbatus* ήταν καλά προσαρμοσμένο σε ξηροφυτικές συνθήκες υποστηριζόμενο από ελαφρά άρδευση, ενώ τα *Penstemon mexicali* και *Lavandula angustifolia* ήταν καλύτερα προσαρμοσμένα σε συνθήκες μέτριας ξηρασίας και είχαν καλύτερη ανάπτυξη όταν ο διαθέσιμος εδαφικός όγκος δεν περιόριζε το ριζικό τους σύστημα (Zollinger et al., 2006).

Προκειμένου όμως για το Μεσογειακό κλίμα, τα δεδομένα πρέπει να υιοθετηθούν κριτικά και η αναζήτηση να επεκταθεί στα ξηροφυτικά είδη της ζώνης. Τα είδη *Sedum* φαίνεται να έχουν κάποιες δυσκολίες καταρχήν με τον πολλαπλασιασμό τους. Όπως αναφέρουν οι Benvenuti and Bacci (2010) ο σπόρος τους χρήζει μεταχείρισης για την διακοπή του λήθαργου, που είναι ισχυρός και επίσης έχουν πολύ αργή ανάπτυξη.

Στην Ελλάδα δεν υπάρχει σημαντική παραγωγή του φυτού και μάλιστα ουδόλως παράγεται σε μορφή που θα ήταν εφαρμόσιμη για φύτευση δώματος, όπως σε έτοιμο τάπητα ή σε τελάρα (modules), ενώ η χονδρική τιμή εισαγωγής του από Ολλανδία είναι περί τα 20€ ανά m² (Δ4).

Επιπλέον ο Feng et al. (2010) αναφέρει ότι ο συντελεστής διαπνοής των CAM φυτών είναι πολύ μικρότερος των C3 και C4 φυτών και κατά συνέπεια ανάλογα μικρότερο και το ψυκτικό φορτίο που παράγεται από την εξατμισοδιαπνοή του φυτού. Η ενεργειακή όμως και κλιματική συνεισφορά των φυτών στα φυτοδώματα είναι ακριβώς πολλαπλάσια στην κατεύθυνση της ψύξης (Alcazar and Bass, 2005) και άρα η επιλογή φυτών *Sedum* sp. και γενικά τύπου CAM, αποδυναμώνει το ρόλο του φυτοδώματος ως συστήματος παθητικού δροσισμού. Όταν μάλιστα η καλλιέργεια ουδόλως αρδεύεται, η ηλιακή θερμική πρόσδοος στον υποκείμενο όροφο φθάνει το 60% ενός τυπικά μονωμένου ορόφου, γιατί

ελαχιστοποιείται η εξατμισοδιαπνοή ενώ την ίδια ώρα μια αρδευόμενη καλλιέργεια *Sedum* sp. την περιορίζει στο 15%, (Feng et al., 2010).

Γενικά κάτω από συνθήκες έντονης και παρατεταμένης υδατικής καταπόνησης τα φυτά τύπου CAM μεταπίπτουν σχεδόν σε ληθαργική κατάσταση όπου ο μεταβολισμός λανθάνει, τα φύλλα τους μεταχρωματίζονται από τη σύνθεση ανθοκυανών, και η εξατμισοδιαπνοή ελαχιστοποιείται (Athar and Ashraf, 2005).

Έρευνα των Benvenuti και Bacci (2010), έδειξε ότι αρκετά ξηρόφυτα της Μεσογειακής ζώνης έχουν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά που τα καθιστούν χρήσιμα για χαμηλής συντήρησης φυτοδώματα, ωστόσο οι ερευνητές συνιστούν την εγκατάσταση αρδευτικού συστήματος για χρήση σε περιπτώσεις ακραίων συνθηκών. Διαπίστωσαν επίσης ότι φυτά που φυτεύτηκαν σε βαθύτερο υπόστρωμα (200 mm) παρήγαγαν περισσότερη βλάστηση, κάλυψη και ανάπτυξη, συγκρινόμενα με αυτά σε φυτεύτηκαν σε 150 mm. Δοκίμασαν αυτοφυή φυτά από διάφορα οικοσυστήματα. Από αμμοθίνες δοκιμάστηκαν τα: *Anthemis maritima*, *Glaucium flavum*, *Helichrysum stoechas*, *Otanthus maritimus*. Από εγκαταλειμμένα λατομεία τα: *Helichrysum italicum*, *Satureja Montana*, *Sedum rupestre*, *Calamintha nepeta*, *Centranthus ruber*, *Dianthus carthusianorum*, *Euphorbia characias*, *Leontodon tuberosus*. Από παρόδιες όχθες το *Scabiosa columbaria*. Από πετρώδη εδάφη τα: *Lavandula stoechas*, *Scrophularia canina*, *Verbascum thapsus* και τα παραθαλάσσια χασμόφυτα: *Armeria pungens*, *Euphorbia pithyusa*, *Helichrysum italicum subsp. microphyllum* και *Crithmum maritimum*.

Από τα παραπάνω, για μη αρδευόμενα φυτοδώματα μικρού βάθους, οι ερευνητές συνέστησαν μόνο τα *Sedum rupestre* ή *Helichrysum italicum subsp. Microphyllum* καθώς και βάθος υποστρώματος μεγαλύτερο των 200 mm. Σημειώνουν τέλος ότι η *Anthemis maritima* έχει χαρακτηριστικά κατάλληλα για χρήση σε φυτοδώματα στη Μεσογειακή ζώνη.

Η έρευνα στη χώρα μας έχει εστιασθεί σε αυτά αλλά και άλλα αυτοφυή είδη. Η καλλιέργεια των *Helichrysum italicum*, *Helichrysum orientale* σε συνθήκες φυτοδώματος και σε βάθη 7,5 και 15 cm, έδωσε γενικά καλύτερη ανάπτυξη σε υπόστρωμα βάθους 15 cm. Ωστόσο η αντικατάσταση της τύρφης στο υπόστρωμα με κόμποστ, από στέμφυλα είχε εξίσου καλά αποτελέσματα και στα 7,5 cm βάθος υποστρώματος (Περγαλιώτη και Παπαφωτίου, 2011α, 2011β).

Μια σειρά φρύγανα αρωματικά, τα *Origanum majorana*, *Origanum dictamnus* και *Santolina chamaecyparissus*, δοκιμαστήκαν επίσης στον αγρό του ΓΠΑ, σε δύο βάθη (7,5 και 15 cm) και σε διαφορετικά επίπεδα άρδευσης από 3 έως 7 ημέρες. Για τα *O. majorana* και *S. chamaecyparissus* το κοινό συμπέρασμα είναι ότι η αντικατάσταση της τύρφης στο υπόστρωμα, με κόμποστ από στέμφυλα, είχε εξίσου καλά αποτελέσματα και στα 7,5 cm

βάθος υποστρώματος και στην αραιή άρδευση, όπως στο βάθος των 15 cm και με συχνότερη άρδευση. Το μεγάλο βάθος πάντως ευνόησε το ύψος και τη διάμετρο της ματζουράνας (Παπαναστασάτος και Παπαφωτίου, 2011α, 2011β).

Αντίθετα το *O. dictamnus* δείχθηκε πιο απαιτητικό σε άρδευση, γεγονός που μπορούσε να μετριαστεί με το μεγαλύτερου βάθους (15 cm) υπόστρωμα με τύρφη ενώ επιβίωσή του τον Ιούλιο επηρεάστηκε αρνητικά από το κόμποστ στη σύνθεση του υποστρώματος (Τασούλα και Παπαφωτίου, 2011).

Σε πειράματα στον αγρό του ΓΠΑ, το αυτοφυές είδος *Dianthus fruticosus sub. fruticosus* φάνηκε να είναι ένα πολλά υποσχόμενο είδος για εκτατικά φυτοδώματα στον ξηροθερμικό όροφο της Μεσογείου. Η ανάπτυξη του ήταν καλύτερη στο βάθος υποστρώματος 15 cm, έχοντας όμως δυνατότητα ανάπτυξης ακόμα και στα 7,5 cm υπό συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης στο 15% της Εξάτμισης, μετρημένης με εξατμισόμετρο λεκάνης τύπου A (Nektarios et al., 2011α).

Περαιτέρω έχει διερευνηθεί η δυνατότητα εγκατάστασης στα φυτοδώματα θερμόφιλου χλοοτάπητα, *Zoysia matrella* 'Zeon', σε δύο βάθη (7,5 και 15 cm) δύο επίπεδα άρδευσης (3 και 6 mm), επί 4 υποστρωμάτων που συντέθηκαν από διαφορετικούς συνδυασμούς αμμοπηλώδους χώματος (S), κίσηρης (Pum), ζεόλιθου (Z) και τύρφης (P) ή κόμποστ (C). Βρέθηκε ότι τα υποστρώματα στα 15 cm και με κόμποστ στη σύνθεσή τους ευνόησαν την ταχύτητα εδαφοκάλυψης, ενώ κατά τη διάρκεια της καταπόνησης το θέρος, τη βέλτιστη κάλυψη παρουσίασε το βάθος των 15 cm, το μεγαλύτερο επίπεδο άρδευσης (6 mm) και ένα υπόστρωμα $S_{25}Pum_{60}P_{20}Z_5$ (Ντούλας κ.α., 2011).

1.14. Έλλειψη ελληνικού προτύπου και εξειδικευμένων κατευθυντήριων οδηγιών - Προσαρμόσιμο μοντέλο φυτεμένων δωματίων

Παρ' όλα τα αναμενόμενα οφέλη από την μετατροπή των ακάλυπτων δωματίων από σκυρόδεμα σε φυτεμένα πράσινα δώματα, δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελούν διαδεδομένες κατασκευές στις αστικοποιημένες Μεσογειακές περιοχές. Όπως υπογραμμίστηκε από τον Williams et al. (2010), ένα σημαντικό εμπόδιο είναι η απουσία περιφερειακών προδιαγραφών και κατευθυντήριων οδηγιών. Οι ελλείψεις αυτές συνδυάζονται με μυστικότητα και πατέντες που επιβάλλονται από την πλευρά των εταιρειών πράσινων στεγών, την ίδια ώρα που οι βασικές πληροφορίες έχουν από χρόνια δημοσιοποιηθεί από την FLL (Emilsson and Rolf, 2005).

Οι «Οδηγίες για Σχεδιασμό, Εκτέλεση και Συντήρηση Πράσινων Οροφών» (FLL, 2008) είναι μέχρι σήμερα το βασικό εργαλείο για την κατασκευή αξιόπιστων και υψηλής ποιότητας φυτεμένων δωματίων. Πρόσθετα η ASTM (American Society for Testing and Materials) έχει αναπτύξει έναν αριθμό προτύπων που αναφέρονται στα φυτεμένα δώματα

(ASTM, 2005) ενόσω η ANSI (Approved American National Standard) έχει πρόσφατα εγκρίνει δύο πρότυπα για φυτεμένα δώματα που αφορούν τον κίνδυνο από φωτιά και αποκόλληση από άνεμο (ANSI, 2010). Επιπλέον πρότυπα βρίσκονται υπό ανάπτυξη και αφορούν την μέθοδο ελέγχου της παρεμπόδισης της διάτρησης της στεγανωτικής στρώσης από τις ρίζες (root repellency), καθώς και πρότυπα απόδοσης για τις πολλαπλές λειτουργίες των υποστρωμάτων.

Οι προδιαγραφές της FLL ωστόσο, μειονεκτούν με την έννοια ότι έχουν διαμορφωθεί περισσότερο για τη Γερμανική αγορά και για βορειότερα κλίματα, παρά για την καθολική εφαρμογή τους και μάλιστα σε θερμότερες, ξηρές περιοχές.

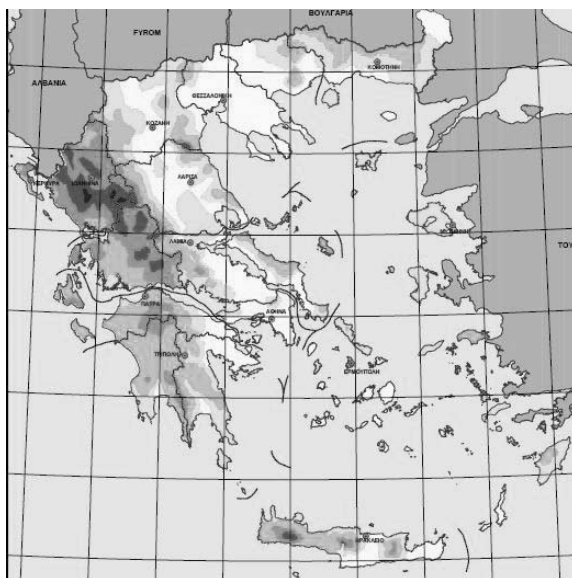
Στο Μεσογειακό περιβάλλον η υδατική καταπόνηση είναι μεγαλύτερη από ότι στις βόρειες χώρες και είναι ασαφές εάν και πότε είναι εφικτή η κατασκευή ξηρικών φυτεμένων δωματίων (Reñuelas et al., 2004). Κάτω από τέτοιες συνθήκες θα ήταν επιθυμητό ένα μεγαλύτερο βάθος του υποστρώματος με σκοπό την αυξημένη συγκράτηση νερού, θα είχε όμως το μειονέκτημα του αυξημένου στατικού φορτίου, ιδιαίτερα σε κατάσταση κορεσμού, όπως για παράδειγμα ύστερα από έντονη καταιγίδα. Γίνεται φανερό λοιπόν ότι το βάθος του υποστρώματος πρέπει να προκύπτει ως συνδυασμός των οικολογικών απαιτήσεων των φυτών και των κατασκευαστικών και οικονομικών ορίων του κάθε κτιρίου (Benvenuti and Bacci, 2010).

Επιπλέον έχει αναπτυχθεί μια κριτική σχετικά με την τυπική και αυστηρή ταξινόμηση των φυτεμένων δωματίων σε εκτατικού, απλού εντατικού ή ημιεντατικού και εντατικού τύπου και βασίζεται στο επίπεδο της απαιτούμενης διαχείρισης, η οποία θεωρείται ότι μπορεί να αλλάζει από τη μια περιοχή στην άλλη ανάλογα με το κλίμα της κάθε τοποθεσίας (Fioretti et al., 2010). Η κριτική αυτή φαίνεται να είναι ο προάγγελος μιας προσαρμόσιμης προσέγγισης στην τεχνολογία κατασκευής φυτεμένων δωματίων, σε αντίθεση με την επικρατούσα τυπική αντίληψη που είναι σήμερα κυρίαρχη στον κατασκευαστικό κλάδο των φυτεμένων δωματίων.

Τέλος οι προδιαγραφές που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα δεν καλύπτουν το ζήτημα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα υλικά που χρησιμοποιούνται και ειδικότερα το περιβαλλοντικό αποτύπωμα αυτών. Στον Πίνακα 2.1. επιχειρείται σύγκριση διαφόρων υλικών που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή εδαφικών μιγμάτων και υποστρωμάτων, βασισμένη στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA) για τον προσδιορισμό των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, εκφρασμένα σε $\text{kg CO}_2 \text{ eq t}^{-1}$.

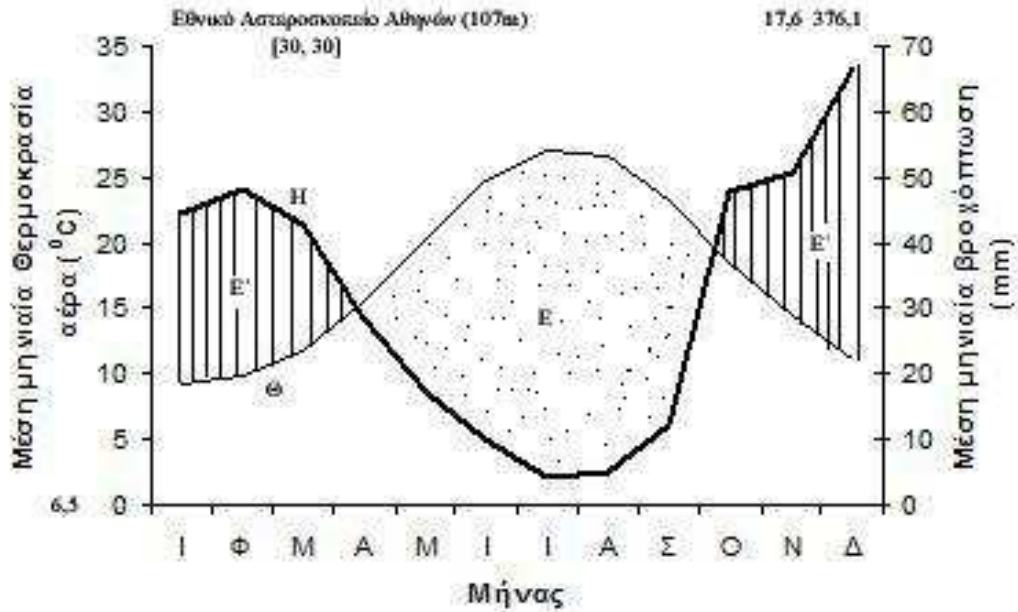
Οι λόγοι που αναφέρθηκαν σε συνδυασμό με τις αντίξοες κλιματικές συνθήκες, περιορίζουν την επέκταση των φυτεμένων δωματίων στην περιοχή της Μεσογείου, η οποία χαρακτηρίζεται από μειωμένες βροχοπτώσεις και εκτεταμένη ξηροθερμική περίοδο με υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι (Fioretti et al., 2010). Ακριβέστερα η εποχικότητα και

η γεωγραφική διακύμανση των βροχοπτώσεων είναι το κύριο χαρακτηριστικό του Μεσογειακού τύπου κλίματος, όπου τουλάχιστον το 65% και πολύ συχνά το 80% αυτών ή και περισσότερο, λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα (Gasith and Resh, 1999). Στην Ελλάδα, τόσο η εποχικότητα όσο ιδιαίτερα η γεωγραφική διακύμανση των βροχοπτώσεων εκδηλώνεται με έντονο τρόπο και κυμαίνεται από 275 έως και πάνω από 2000 mm (Εικ. 1.14.), με ξηρά περίοδο που σύμφωνα με το θερμοϋετόγραμμα σε πολλές περιοχές υπερβαίνει τους 4 μήνες. (Εικ. 1.15.).



Εικόνα 1.14. Ετήσια βροχόπτωση στην Ελλάδα που τοπικά κυμαίνεται από 400-600 mm (λευκό) έως 2000-2500 mm (σκούρο γκρι) (UNESCO, World Meteorological Organization, 1970)

Έτσι, μερικές περιοχές τις χώρας, όπως και πολλές της Μεσογείου κατατάσσονται στις ημερημικές με ετήσια βροχόπτωση που κυμαίνεται μεταξύ 200 και 500 mm (Χρονοπούλου-Σερέλη και Φλόκας, 2010), όπως η Αθήνα, η ανατολική Κρήτη, οι Κυκλάδες και περιοχές τις Κεντρικής Μακεδονίας, όπως η Θεσσαλονίκη. Πρόσθετα οι Μεσογειακές περιοχές καταπονούνται υδατικά μέσω της εξατμισοδιαπνοής, από την οποία οι ετήσιες αυξανόμενες απώλειες συγκρίνονται με τις εισροές από τις βροχοπτώσεις (Gasith and Resh, 1999).



Εικόνα 1.15. Θερμοϋετόγραμμα από μετρήσεις του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών για την περίοδο 1961-1990, παραχθέν κατά Χρονοπούλου-Σερέλη και Φλόκας (2010).

Στην Βόρεια Ευρώπη, όπου λαμβάνουν χώρα αυξημένες βροχοπτώσεις και γενικά ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, το αρδευτικό σύστημα για τα φυτεμένα δώματα εκτατικού τύπου είναι προαιρετικό, αλλά ακόμα και σε αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητο για τα δύο πρώτα χρόνια προκειμένου να υποστηρίξει τα φυτά κατά τη φάση της εγκατάστασης και να επιβιώσουν στην ξηρή περίοδο του έτους (Cantor, 2008). υνάγεται λοιπόν πως μια μετατόπιση στο γεωγραφικό πλάτος θα έπρεπε να επιφέρει ανάλογη μετατόπιση στη διάρκεια υποχρεωτικής λειτουργίας του αρδευτικού συστήματος στα φυτεμένα δώματα εκτατικού τύπου στην Μεσογειακή ζώνη. Ωστόσο η ποσότητα και η συχνότητα των αρδεύσεων, εξαρτάται από το συνδυασμό των βασικών παραγόντων ενός συστήματος φυτεμένου δώματος, παράγοντες όπως το είδος των φυτών, ο τύπος και το βάθος του υποστρώματος. Πρόσθετα έχει δειχθεί ότι η εφαρμογή άρδευσης καλύπτει τις δυσκολίες που ανακύπτουν για την ανάπτυξη των φυτών σε αβαθή υποστρώματα (Van Woert et al., 2005).

Η βιβλιογραφία για εντατικού και ημιεντατικού τύπου φυτεμένα δώματα ωστόσο, είναι περιορισμένη και προκειμένου να επεκταθούν οι κατασκευές πράσινων δωματίων στη Μεσογειακή ζώνη, είναι θεμελιώδες να επιλεγούν τα κατάλληλα υποστρώματα που θα ωθήσουν την ανάπτυξη των φυτών και θα υποστηρίξουν την επιβίωση τους κατά την διάρκεια της απαιτητικής θερμής περιόδου. Η σύνθεση των κατάλληλων υποστρωμάτων, πέραν των επιθυμητών υδραυλικών χαρακτηριστικών, όπως η συγκράτηση νερού,

συνιστά κυρίως μια προσαρμογή στην κλιματική ζώνη, τα τοπικά διαθέσιμα υλικά, στα εγκλιματισμένα φυτά της ζώνης, το προβλεπόμενο επίπεδο συντήρησης και τα στατικά φορτία που αναπτύσσονται (Getter and Rowe, 2006).

Ο βέλτιστος συνδυασμός όλων αυτών των παραγόντων, συνιστά μια προσαρμόσιμη προσέγγιση που στοχεύει στην εξοικονόμηση νερού και ενέργειας, ανεξάρτητα από τον τύπο του φυτεμένου δώματος· λαμβάνοντας υπόψη ότι το νερό είναι ένας υπό περιορισμό φυσικός πόρος για τη Μεσογειακή ζώνη και συχνά σε ανεπάρκεια για τη θερμή περίοδο του έτους και ότι αναμένεται να ενισχυθεί η εξοικονόμηση ενέργειας αυξανόμενου του βάθους του υποστρώματος και γενικότερα η θερμική απόδοση των κτιρίων (Wong et al., 2003).

Η υιοθέτηση ενός προσαρμόσιμου τύπου φυτεμένου δώματος είναι μια επιλογή στην κατεύθυνση ενίσχυσης της αξιοπιστίας της βιομηχανίας φυτοδωμάτων, γιατί θα εδραίωνε τη δυνατότητα να εκδηλωθεί όλο το φάσμα των πλεονεκτημάτων τους, με τρόπο εφικτό σε σχέση με τις υπάρχουσες κατασκευές και πόρους, που πιθανά θα ενθάρρυνε την εξάπλωση των φυτεμένων δωμάτων στις σύγχρονες πόλεις της Μεσογείου. Πλεονεκτήματα που αφορούν τη βελτίωση του μικροκλίματος μέσω της εξατμισοδιαπνοής και της απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας από τα φυτά (Skinner, 2006), του μετριασμού του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (Akbari et al., 2001; Getter and Rowe, 2006) και αμεσότερα της εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια όπου εγκαθίστανται, συν όλα τα κοινωνικά και άλλα οφέλη που έχουν ήδη αναφερθεί.

1.15. Φυσική του κτιρίου

Το κτίριο είναι ένα ανοικτό φυσικό σύστημα, που ανταλλάσει θερμική ενέργεια με το περιβάλλον του. Η θερμική ροή οφείλεται σε γενικές γραμμές, στην παροχή θερμότητας στο κτίριο, στην αποθήκευση θερμότητας στα δομικά του στοιχεία και η απώλεια ή απόρριψη θερμότητας προς το περιβάλλον. Θερμικές πρόσοδοι και απώλειες, καταγράφονται λογιστικά και αποτελούν το θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου (Ζαχαρόπουλος, 2001).

Τα κέρδη του χειμώνα ή οι πρόσοδοι του θέρους, είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η παραγομένη θερμότητα από τους ίδιους τους χρήστες, η παραγομένη θερμότητα από το φωτισμό και τη χρήση συσκευών και τέλος τα εγκατεστημένα συστήματα θέρμανσης ή δροσισμού με κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ή καυσίμων υλικών. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει στην επιφάνεια ενός υλικού, εν μέρει ανακλάται, απορροφάται και αποθηκεύεται ως θερμότητα ή το διαπερνά και η απορροφούμενη ενέργεια στη συνέχεια εκπέμπεται. Τα ποσοστά εξαρτώνται από την φύση του υλικού. Η μεταφορά της

θερμότητας μπορεί να λάβει χώρα με τρεις τρόπους: την αγωγή, την συναγωγή και την ακτινοβολία (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

1.15.1. Αγωγή

Με τον τρόπο αυτό η θερμότητα μεταδίδεται μέσα από στερεό ή ακίνητο ρευστό λόγω μοριακής ή ατομικής κίνησης. Η μεταφορά θερμοκρασίας γίνεται από τη θερμότερη περιοχή στην ψυχρότερη και ο ρυθμός της εκφράζεται από την ισότητα του Fourier :

$$Q = \lambda d^{-1} A (T_1 - T_2), \quad [1.1.]$$

Όπου: λ ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητα του σώματος ($W m^{-1} K^{-1}$), d το πάχος του υλικού (m), A η επιφάνεια της διατομής μέσω της οποίας η θερμότητα άγεται (m^2) και $T_1 - T_2$ η διαφορά θερμοκρασίας (βαθμοί Κέλβιν).

Από την παραπάνω σχέση φαίνεται ότι η θερμότητα που άγεται, αυξάνει με την αύξηση της διαφοράς θερμοκρασίας και τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού, αλλά μειώνεται όσο το πάχος του υλικού αυξάνει (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

1.15.2. Συναγωγή

Δεύτερος τρόπος μετάδοσης είναι η συναγωγή (ή μεταφορά), η οποία αφορά τα ρευστά (αέρας ή υγρά σε κίνηση) και γίνεται με τη μετακίνηση των σωματιδίων που έχουν τη μεγαλύτερη κινητική ενέργεια. Η μεταφορά θερμότητας με τον τρόπο αυτό αφορά την επιφάνεια ενός στερεού και ρευστού, που είναι σε επαφή και ο ρυθμός μεταφοράς της δίνεται από τον νόμο ψύξης του Newton και εκφράζεται ως εξής:

$$Q = A h (T_s - T_v) \quad [1.2.]$$

Όπου: A η έκταση της επιφάνειας (m^2), h ο συντελεστής θερμικής μεταφοράς με συναγωγή ($W m^{-2} K^{-1}$), $T_s - T_v$ η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας και του ρευστού (βαθμοί Κέλβιν).

1.15.3. Ακτινοβολία

Όσο αφορά την ακτινοβολία, είναι ο τρίτος τρόπος μεταφοράς της θερμικής ενέργειας, με τον οποίο ο ήλιος θερμαίνει τη γη. Γίνεται δηλαδή, διακίνηση της θερμότητας μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η ενέργεια μεταφέρεται μέσω του κενού από τον ήλιο και καταλήγει στη γη όπου ένα μέρος της απορροφάται θερμαίνοντας την επιφάνειά της. Σύμφωνα με την σχέση των Stefan and Boltzmann, η εκπεμπόμενη ενέργεια εξαρτάται από τη θερμοκρασία του μέλανος σώματος, που είναι ένας τέλειος πομπός και δέκτης της θερμικής ακτινοβολίας

$$R = \sigma T^4$$

[1.3.]

όπου: R= η εκπεμπόμενη με ηλεκτρομαγνητικά κύματα ενέργεια ($W m^{-2}$)

σ = η σταθερά του Stefan-Boltzmann ($5,6697 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$)

T= η θερμοκρασία του μέλανος σώματος (βαθμοί Κέλβιν)

Όταν η ακτινοβολία μειώνεται στην επιφάνεια ενός φυσικού σώματος (όχι μέλαν σώμα), ένα μέρος της ανακλάται, ένα μέρος απορροφάται και ένα μέρος περνάει μέσα από το σώμα αυτό (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

1.15.4. Το κτίριο ως αποθήκη θερμότητας

Η ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια της ημέρας περνά μέσα από τα ανοίγματα του κτιρίου, στο εσωτερικό του χώρου. Εκεί παγιδεύεται και μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια, ενώ στη συνέχεια απορροφάται από τα υλικά κατασκευής και τα αντικείμενα του χώρου. Ως «αποθηκευτές» θερμότητας δρουν οι τοίχοι, τα δάπεδα, οι οροφές, τα εσωτερικά χωρίσματα (Καραμουσαντάς, 2001).

Αυτή η ιδιότητα είναι χρήσιμη για το χειμώνα όπου η νύχτα είναι ψυχρή και έτσι η θερμότητα που αποθηκεύεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, αποδίδεται τη νύχτα. Είναι όμως χρήσιμη και το καλοκαίρι, όπου το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που συλλέγεται ως τη μεσημβρία, αποδίδεται στο χώρο αργότερα, όταν αρχίζουν να πνέουν πιο δροσεροί άνεμοι και έτσι αποφεύγεται η υπερθέρμανση του κτιρίου και η ανάγκη για κλιματιστικές συσκευές, καθορίζοντας με τον τρόπο αυτό την αποθήκευση της ενέργειας (Καραμουσαντάς, 2001).

Η συλλογή και μεταφορά της ηλιακής ενέργειας μέσα στο κτίριο, καθορίζεται από τα δομικά υλικά. Όλα τα δομικά υλικά έχουν την ιδιότητα να απορροφούν και να αποθηκεύουν θερμότητα, το καθένα όμως σε διαφορετικό βαθμό και ποσότητα, ανάλογα την πυκνότητα (ρ) της μάζας του, και την ειδική θερμότητα (c).

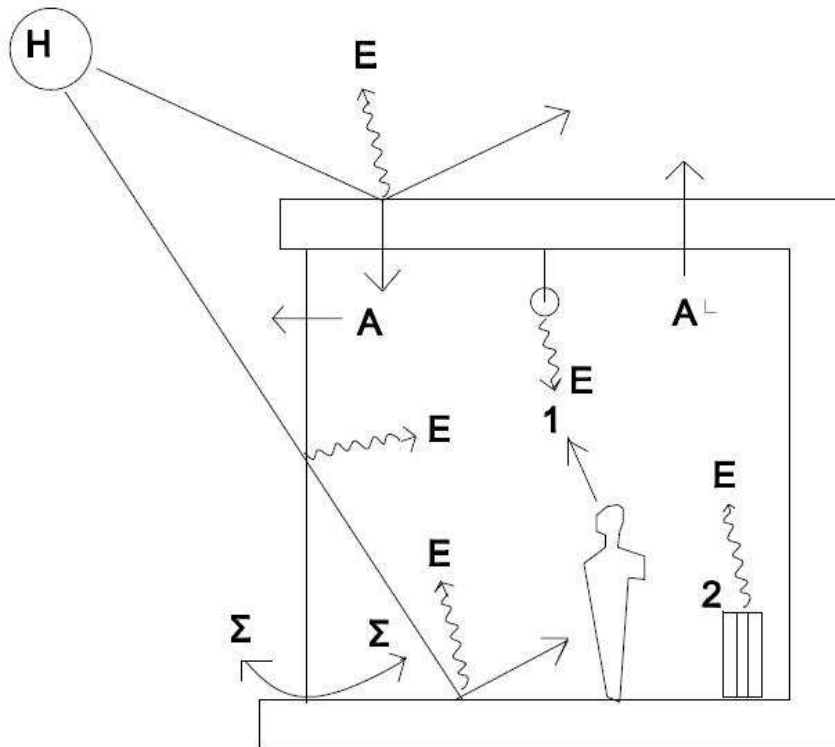
Για τις ενεργειακές απώλειες κατά τη διάρκεια του χειμώνα, κυριότερος ένοχος είναι ο ψυχρός αέρας και η διέλευσή του μέσα στο κτίριο (Συναγωγή). Από την άλλη, η ροή του αέρα το καλοκαίρι προκαλεί δροσισμό και μειώνει τις ανάγκες κλιματισμού. Επιπλέον τα κτίρια χάνουν θερμότητα με αγωγιμότητα μέσα από τοίχους, δάπεδα (Αγωγή), και τέλος, μέσω της ακτινοβολίας από το κέλυφος του κτιρίου όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες (Καραμουσαντάς, 2001).

1.15.5. Θερμικό ισοζύγιο κτιρίου

Στην Εικόνα 16 απεικονίζεται το θερμικό ισοζύγιο που παράχθηκε για μια σχηματική δομή κτιρίου, το οποίο αλγεβρικά μπορεί να γραφεί:

$$m_{air} \cdot c_{air} \cdot \frac{dT}{dt} = \sum Q_{gain} - Q_{loss}, \quad (\text{Ahmad et al., 2010}), \quad [1.4.]$$

όπου m_{air} η μάζα του εσωτερικού αέρα (kg), c_{air} η ειδική θερμότητα του αέρα ($J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$), t ο χρόνος (s), T η θερμοκρασία του αέρα και Q_{gain} και Q_{loss} , οι πρόσοδοι και τα οι θερμικές απώλειες αντίστοιχα.



Εικόνα 1.16. Το θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου, είναι μια λογιστική καταγραφή κερδών και απωλειών ενέργειας. Η ηλιακή πρόσοδος, A τα κέρδη και οι απώλειες με αγωγή, Σ τα κέρδη και απώλειες με συναγωγή από αερισμό ή διαφυγή αέρα, 1 τα εσωτερικά κέρδη από φωτισμό, χρήση συσκευών και ανθρώπινη παρουσία, 2 τεχνητή θέρμανση ή ψύξη. Τα E είναι εκπομπές ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος.

Η σχέση [1.4.] προκειμένου να καλύπτει και την αποθήκευση θερμότητας μπορεί να γραφεί:

$$m_{air} \cdot c_{air} \cdot \frac{dT}{dt} + m \cdot \rho_{material} \cdot c_{\rho(material)} \cdot \Delta T_{material} = \sum Q_{gain} - Q_{loss}, \quad [1.5.]$$

όπου: m η μάζα (kg) του υλικού (τοίχος, κλπ), $\rho_{material}$ η πυκνότητα του (kg m^{-3}) και $c_{\rho(material)}$ η ειδική θερμότητα του ($J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

Τα δεύτερο μέρος αναλύεται:

$$Q_{gain} = Q_{shell} + Q_{int\,emall} + Q_{heating\,cooling} \quad \text{και} \quad Q_{loss} = Q_{conduct} + Q_{convect} + Q_{emission} ,$$

όπου:

Q_{shell} , η πρόσδοδος μέσω των στοιχείων του κελύφους με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία

$Q_{int\,emall}$, οι ενεργειακές πρόσδοδοι από φωτισμό, μηχανήματα, ανθρώπους

$Q_{heating\,cooling}$, η ενεργειακή πρόσδοδος από θέρμανση ή δροσισμό

$Q_{conduct}$, η απώλεια λόγω θερμότητας με αγωγή

$Q_{convect}$, η απώλεια θερμότητας με συναγωγή

$Q_{emission}$, οι απώλειες με ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος.

Οι επιμέρους σχέσεις έχουν:

$$Q_{shell} = U_{shell} \cdot A_{shell} \cdot \Delta T, \quad \text{και} \quad \Delta T = (T_{sol_shell} - T_{air}) , \quad [1.6.]$$

όπου A η επιφάνεια του (m^2) και ΔT η διαφορά της θερμοκρασίας του κελύφους εξωτερικά του κτιρίου και εσωτερικού αέρα ($^{\circ}C$) και

$$T_{sol_shell} = \left[\frac{aRn}{h_0} + T_{air} - \frac{\varepsilon\Delta R}{h_0} \right] , \quad [1.7.]$$

όπου: $h_0 = h_{rad} + h_{convect}$, ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με ακτινοβολία και συναγωγή αντίστοιχα ($W\,m^{-2}\,K^{-1}$), R_n , η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία , ΔR η ανταλλαγή μεγάλου μήκους ακτινοβολίας μεταξύ επιφανείας κελύφους και ουρανού.

Όπου U ο συντελεστής θερμοπερατότητας του στοιχείου του κελύφους ($W\,m^{-2}\,K^{-1}$) και

$$U_{shell} = \left[\frac{1}{a_1} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{\alpha_2} \right] , \quad [1.8.]$$

όπου λ ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας κάθε στρώσης από την οποία απαρτίζεται το κέλυφος και α_1 και α_2 συντελεστές μετάβασης σε ή από αέρια φάση. Τα L είναι πάχη των στρώσεων.

$$Q_{convect} = v \cdot VHC_{air} \cdot \Delta T_{air} = v \cdot \rho_{air} \cdot c_{\rho(air)} \cdot \Delta T_{air} , \quad (1.9.)$$

Όπου: v ταχύτητα του αέρα, VHC η κατ όγκο ειδική θερμότητα του αέρα, ρ_{air} η πυκνότητα του αέρα ($kg\,m^{-3}$), $c_{\rho(air)}$ η ειδική θερμότητα του αέρα υπό σταθερή πίεση ($J\,kg^{-1}\,K^{-1}$) και ΔT_{air} η διαφορά της θερμοκρασίας του αέρα μέσα και έξω του κτιρίου.

$$Q_{emission} = \varepsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot T^4, \quad [1.10.] \text{ και}$$

$$Q_{emission} = \varepsilon_{1-2} \cdot A \cdot \sigma (T_1^4 - T_2^4), \quad [1.11.]$$

η ανταλλαγή ακτινοβολίας μεταξύ παράλληλων επιφανειών

$$\text{όπου: } \varepsilon_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}, \quad [1.12.]$$

ε: συντελεστής εκπομπής ακτινοβολίας, A επιφάνεια εκπομπής, ε_{1-2} ο συντελεστής εκπομπής μεταξύ δύο επιφανειών που ανταλλάσσουν ακτινοβολία.

Από τις σχέσεις 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.11, 1.12, η σχέση (1.4), γίνεται:

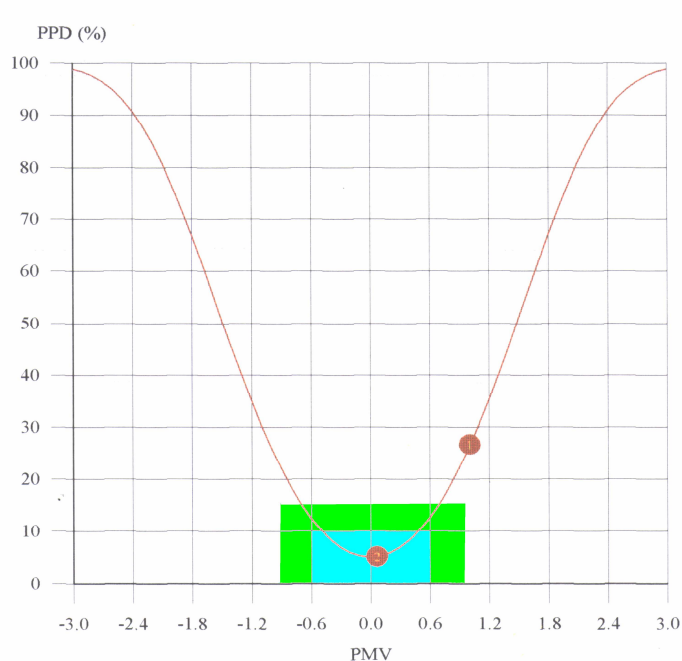
$$\begin{aligned} m_{air} \cdot c_{air} \cdot \frac{dT}{dt} + m \cdot \rho_{material} \cdot c_{\rho(material)} \cdot \Delta T_{material} &= Q_{shell} + Q_{int\ ernall} + Q_{heating\ cooling} - \\ Q_{conduct} - Q_{convect} - Q_{emission} &= \\ = \left[\frac{1}{\alpha_1} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{\alpha_2} \right] \cdot A_{shell} \cdot \left(\left[\frac{aRn}{h_0} + T_{air} - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_0} \right] - T_{air} \right) &+ Q_{int\ ernall} + Q_{heating\ cooling} - \\ v \cdot \rho_{air} \cdot c_{\rho(air)} \cdot \Delta T_{air} - \varepsilon_{1-2} \cdot A \cdot \sigma (T_1^4 - T_2^4), & \quad [1.13.] \end{aligned}$$

1.15.6. Θερμική άνεση

Πρωταρχικός στόχος του κτιρίου είναι η διασφάλιση θερμικής άνεσης στους χρήστες του. Αυτό συνίσταται βασικά στη διατήρηση ενός σταθερού θερμοκρασιακού εύρους, τέτοιου που σε συνδυασμό με τα επίπεδα υγρασίας και ταχύτητας του αέρα, το 95% των χρηστών να αισθάνονται θερμικά ουδέτερα (Ευαγγελινός, 2001).

Οι ροές θερμότητας που λαμβάνουν χώρα στο κτίριο επιδρούν στην αίσθηση θερμικής άνεσης των χρηστών, που αποτελεί και κριτήριο του μικροκλίματος ενός εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου. Το μικροκλίμα γίνεται αντιληπτό ως η καθολική έκφραση της αλληλεπίδρασης φυσικών παραμέτρων, οι οποίες επηρεάζουν τον άνθρωπο δια μέσου των θερμικών απωλειών και της αναπνοής του (Κοτσίρης, 2007).

Έχει δειχθεί ότι ο τελευταίος όροφος με το δώμα είναι αυτός που κυρίως δημιουργεί συνθήκες εκτός πλαισίου θερμικής άνεσης, σε σχέση με τους υποκείμενους ορόφους, λόγω την εκτεταμένης και εκτεθειμένης στις κλιματικές συνθήκες, επιφάνειας του δώματος, γεγονός που διαπιστώνεται σε λειτουργία του κτιρίου χωρίς κλιματισμό, κατά τις μεταβατικές εποχές του χρόνου (Εικ. 1.17.).



Εικόνα 1.17. Οι συνθήκες στον τελευταίο όροφο ενός κτιρίου (1) βρίσκονται εκτός ζώνης θερμικής άνεσης, σύμφωνα με το πρότυπο ISO7730 ($PPD < 10\%$, $-0,5 < PMV < 0,5$), που ορίζει τη γαλάζια ζώνη και με το πρότυπο EN 15251 Standards ($PPD < 15\%$, $-0,7 < PMV < 0,7$), που ορίζει την πράσινη ζώνη, ενώ το ισόγειο (2) βρίσκεται εντός της ζώνης άνεσης (Kotsiris and Androutsopoulos, 2008).

1.16. Θερμικές επιδράσεις των φυτοκαλυμμένων δωμάτων στα κτίρια

Η εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια είναι μεταξύ των συστάσεων της Θεματικής Στρατηγικής πάνω στο Αστικό Περιβάλλον της Ευρωπαϊκής ένωσης, σκοπεύοντας στη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα μέσω της κατασκευής αειφόρων κτιρίων στις σύγχρονες πόλεις (CEC, 2006). Ο σκοπός είναι σημαντικός ειδικά σε κλίματα με ήπια ψυχρό χειμώνα και θερμό καλοκαίρι, όπου ταυτόχρονα πρέπει να διασφαλιστούν και η θερμική μόνωση και η προστασία από υπερθέρμανση του κελύφους των κτιρίων. Σε τέτοιες κλιματικές ζώνες οι στέγες έχουν μεγάλες θερμικές προσόδους λόγω της έντασης και διάρκειας της ηλιακής ακτινοβολίας το καλοκαίρι και έτσι επιβαρύνεται σημαντικά η θερμική απόδοση των κτιρίων, με αποτέλεσμα συνθήκες υπερθέρμανσης και η θερμική άνεση στο εσωτερικό τους να μετατοπίζεται στη ζώνη της δυσφορίας (Kotsiris and Androutsopoulos, 2008).

Η διαδεδομένη χρήση του μηχανικού κλιματισμού στα κτίρια, αφενός αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση, αφετέρου προκαλεί την εκπομπή στο περιβάλλον μεγάλων ποσών θερμότητας και συχνά ισοδύναμες με τα άμεσα ηλιακά κέρδη (Watkins, 2000). Έχει από πολλά χρόνια ήδη υπογραμμισθεί ότι είναι επιτακτικό να

βρεθούν εναλλακτικές λύσεις στον μηχανικό κλιματισμό για την εξασφάλιση της θερμικής άνεσης στο εσωτερικό των κτιρίων, με την διερεύνηση των τρόπων ταπείνωσης ή μηδενισμού των ψυκτικών φορτίων τους (Iosifides, 1998). Η παραγωγή βιοκλιματικού χάρτη, έδειξε πως ακόμα και σε ένα πολύ καλά σχεδιασμένο και μονωμένο κτίριο, είναι δυνατόν να επεκταθεί η ζώνη θερμικής άνεσης των χρηστών, με τη χρήση τεχνικών άμεσου και έμμεσου δροσισμού με εξάτμιση (Kotsiris and Androutsopoulos, 2008).

Η φυτοκάλυψη των δωματίων, είναι μία τεχνολογία, η οποία χάρη στην υγρασία του υποστρώματος και της διάστρωσης αποθήκευσης νερού, προκαλεί την ψύξη του κελύφους του κτιρίου. Οι μηχανισμοί για την ψύξη είναι η αγωγή της θερμότητας από το κτιριακό κέλυφος με συνακόλουθη άνοδο της αισθητής θερμότητας του υποστρώματος, η εξάτμιση από το υπόστρωμα, οπότε η θερμότητα απορροφάται ως λανθάνουσα θερμότητα με αποτέλεσμα την ψύξη του κελύφους και η διαπνοή και φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών, που απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία και ελαχιστοποιούν την ηλιακή πρόσοδο. Η θετική συνεισφορά της φυτοκάλυψης στη μείωση των θερμικών προσόδων στο κτίριο επιτυγχάνεται επίσης και από την σκίαση του κελύφους από τα φυτά (Papadakis et al., 2001), με σημαντική συνεισφορά της πυκνότητας της φυλλικής επιφανείας (Wong, 2003; Theodosiou, 2003).

Τελικά όταν το υπόστρωμα συγκρατεί νερό, όχι μόνο εκμηδενίζονται οι θερμικές πρόσοδοι, από την ανάκλαση, την απορρόφηση, τη φωτοσύνθεση και την εξατμισοδιαπνοή των φυτών, αλλά λαμβάνει χώρα και ροή θερμότητας προς το περιβάλλον, έτσι ώστε ένα σύστημα φυτοκάλυψης να λειτουργεί σαν παθητικός ψύκτης (Lazzarin et al., 2005; Feng et al., 2010).

Όμως, φαίνεται πως βελτιστοποιώντας την επίδοση της φυτοκάλυψης για την καλοκαιρινή περίοδο γίνεται λιγότερο αποδοτική για τον χειμώνα (Del Barrio, 1998) και τα ενεργειακά οφέλη είναι περιορισμένα το χειμώνα σε καλά μονωμένα κτίρια και σε συνήθη βάθη υποστρωμάτων (Niachou et al., 2001). Μελετητές από τη Σιγκαπούρη (Wong et al., 2003) έδειξαν ότι μια καλή φύτευση με υψηλό LAI (Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας) μειώνει δραστικά έως και μηδενίζει τις θερμικές προσόδους από το δώμα και πως οι θερμομονωτικές ιδιότητες του φυτοδώματος αυξάνονται με μεγάλα βάθη υποστρώματος, γεγονός όμως που αυξάνει τα στατικά φορτία στο κτίριο. Τα αναμενόμενα θερμικά οφέλη των κτιρίων από τα φυτεμένα δώματα υποστηρίχθηκαν περαιτέρω από τους Kotsiris et al. (2009) που έδειξαν μια μείωση της θερμοκρασίας του ταβανιού κατά 2°C σε φυτεμένο δώμα σε σύγκριση με ένα ακάλυπτο δώμα, επαρκούς ωστόσο συμβατικής θερμομόνωσης.

Εναλλακτικές τεχνολογίες προτείνουν την χρήση ψυχρών επικαλύψεων (με δείκτη ανακλαστικότητας περί το 85%) σε συμβατικά κτίρια κατοικίας και έχει δειχθεί πως συμβάλλουν σε μια μεγάλη μείωση των ψυκτικών φορτίων για δροσισμό των κτιρίων. Τα

συμβατικά δώματα και στέγες έχουν δείκτη ανακλαστικότητας 0,05 έως 0,25 (USEPA, 2006). Το χειμώνα όμως οι ψυχρές επικαλύψεις προκαλούν μια μείωση των ηλιακών θερμικών κερδών από το κέλυφος του κτιρίου, ωστόσο αυτή η ενεργειακή επιβάρυνση (heating penalty) είναι λιγότερο σημαντική συγκρινόμενη με τη μείωση του ψυκτικού φορτίου το καλοκαίρι (Synnefa et al., 2007).

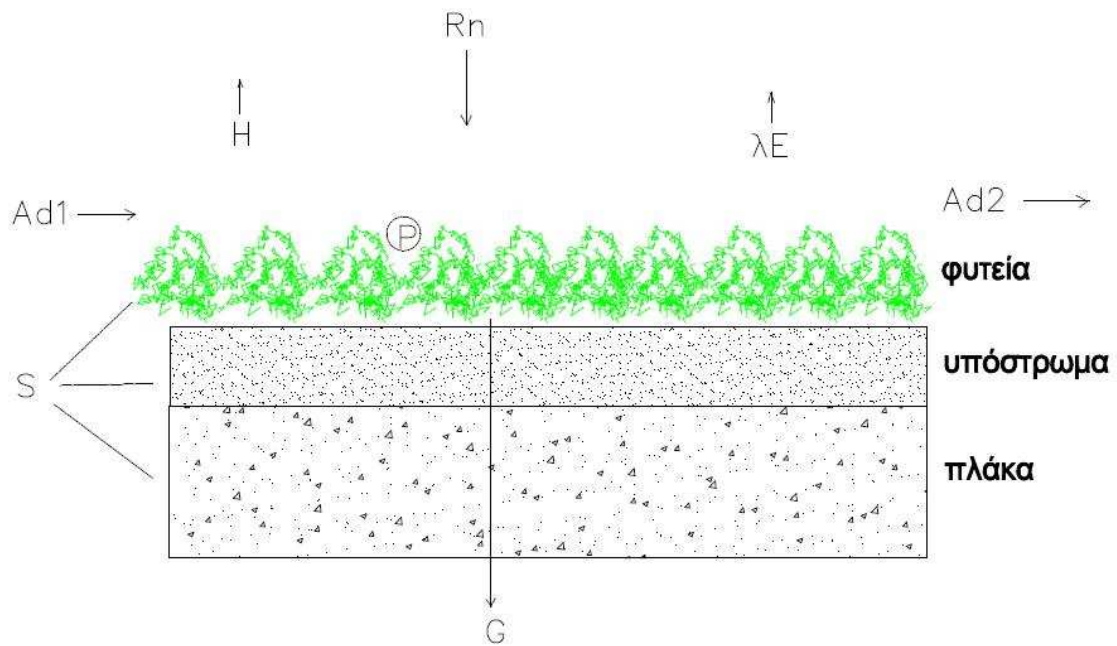
Σε σύγκριση με τις ανακλαστικές βαφές, τα φυτοκαλυμμένα δώματα ενσωματώνοντας αναπτυσσόμενα φυτά στα κτίρια, αντικαθιστούν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα (μείωση ανοικτού χώρου) από την κατασκευή τους. Προσομοιάζουν με τις άλλες τεχνολογίες στο ότι έχουν ένα υψηλό δείκτη ανακλαστικότητας και απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας (κυμαινόμενο από 0,7 -0,85) και πρόσθετα εξαρτώνται από τη διαθεσιμότητα νερού (Gaffin et al., 2005). Ωστόσο το νερό είναι απαραίτητο και για τον καθαρισμό των ψυχρών επικαλύψεων των οποίων η ανακλαστικότητα μειώνεται έως και 11% από τη συσσώρευση σκόνης και υπολειμμάτων και επιπλέον ο δροσισμός που επιτυγχάνεται με τα φυτεμένα δώματα, είναι ανταγωνιστικός με την εφαρμογή ψυχρών (ανακλαστικών) υλικών νέας τεχνολογίας στο δώμα και μάλιστα με το πλεονέκτημα και της θερμομόνωσης κατά την χειμερινή περίοδο (Kotsiris et al., 2009).

Η κατασκευή φυτεμένων δωματίων εντατικού τύπου με ελαφριά υποστρώματα και περιορισμένες εισροές νερού, ίσως είναι η καλύτερη λύση για τη ρύθμιση του αστικού μικροκλίματος στη θερμή και ξηρή Μεσογειακή ζώνη, καθ' όσον τα εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα, με ρηχά βάθη υποστρώματος έχουν περιορισμένη συμβολή στην θερμική μόνωση των κτιρίων (Niachou et al., 2001).

Συνολικά τα ενεργειακά οφέλη από τα φυτεμένα δώματα είναι καλά γνωστά από μια γενική ποιοτική θεώρηση (Santamouris, 2001; Onmura et al., 2001; Wong et al., 2003; Theodosiou, 2003; Takebayashi and Moriyama, 2007; Kotsiris and Androutsopoulos, 2008) αλλά μια ουσιώδης αξιολόγηση με ποσοτικούς όρους, παρέμενε μια πρόκληση (Fioretti et al., 2010).

1.17. Θερμικό ισοζύγιο φυτεμένου δώματος

Ένα απλουστευμένο θερμικό ισοζύγιο φυτεμένου δώματος δίδεται από τον Maidment (1993) και απεικονίζεται στην Εικόνα 1.18.



Εικόνα 1.18. Θερμικό ισοζύγιο φυτεμένου δώματος κατά Shuttleworth (Maidment, 1992).

Όπου:

R_n = η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ($W m^{-2}$).

λE = η απορροφούμενη λανθάνουσα θερμότητα από την εξατμισοδιαπνοή ($MJ m^{-2}$)

H = η μεταβολή της αισθητής θερμότητας των στρώσεων του φυτεμένου δώματος ($^{\circ}C$)

G = η θερμική πρόσδοδος στο εσωτερικό του κτιρίου λόγω αγωγής ($W m^{-2}$).

S = η προσωρινά αποθηκευμένη θερμότητα κατ' αναλογία με την μεταβολή της θερμοκρασίας στις στρώσεις του φυτεμένου δώματος και της αλλαγής της ατμοσφαιρικής υγρασίας. Συνήθως παραλείπεται ως αμελητέα (Thom, 1972).

P = η καθαρή φωτοσύνθεση

$Ad = Ad_2 - Ad_1$ = απώλεια θερμότητας λόγω συναγωγής από την οριζόντια κίνηση του αέρα.

Σημαντική μόνο για την κατάσταση «όασης», συνήθως παραλείπεται.

Το θερμικό ισοζύγιο σε αυτή την περίπτωση περιγράφεται από την σχέση:

$$\lambda E + H = R_n - G - S - P - Ad, \quad MJ m^{-2} d^{-1} \quad [1.14.]$$

Πρόσθετα η θερμική πρόσδοδος στο εσωτερικό του κτιρίου με αγωγή είναι ανάλογη της μεταβολής της θερμοκρασίας της κάθε διάστρωσης, του πάχους της και της θερμοχωρητικότητας:

$$G = c_l d_l (T_2 - T_1) \Delta t \quad [1.15.]$$

όπου Δt είναι το χρονικό διάστημα της μεταβολής, c_l η ειδική θερμότητα ($J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$) και d_l το πάχος της κάθε διάστρωσης.

Το ύψος των θερμικών προσόδων το καλοκαίρι, επιδρά στο ύψος της δαπάνης ενέργειας για τον δροσισμό του κτιρίου, ενώ αντίστροφα το χειμώνα που έχει αρνητικό πρόσημο, επιδρά στο ύψος των θερμικών απωλειών του κτιρίου και της δαπάνης ενέργειας για θέρμανση, προκειμένου και στις δύο περιπτώσεις να επιτευχθεί η θερμική άνεση των χρηστών. Μάλιστα το δώμα είναι υπεύθυνο για το μεγαλύτερο ποσοστό θερμικών προσόδων (Εικ. 1.17.).

Για τον υπολογισμό της ροής θερμότητας στα στοιχεία του κελύφους του κτιρίου, των θερμικών προσόδων ή απωλειών συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται ο υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας του κάθε στοιχείου (U), ο οποίος είναι ανάλογος του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και του πάχους της κάθε διάστρωσης του στοιχείου. Γενικά με τον υπολογισμό του U , εκτιμάται η θερμική απόδοση ενός στοιχείου, του φυτεμένου δώματος στην προκειμένη περίπτωση ή ολόκληρου του κτιρίου.

1.18. Συγκριτική εισαγωγή επί των μεθόδων υπολογισμού του U

Ο υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας σε φυτεμένα δώματα μέχρι σήμερα, έχει βασιστεί είτε σε αριθμητικούς υπολογισμούς όπως ακριβώς υπολογίζονταν ο U ενός στοιχείου ή ολόκληρου κτιρίου (Niachou et al., 2001) ή πειραματικά σε συνθήκες σταθερής κατάστασης (Wong et al., 2003), είτε εκτιμάται η θερμική τους απόδοση με μοντέλα προσομοίωσης (Del Barrio, 1998, 1999; Lazzarin et al., 2005; Alexandri and Jones, 2007; Sailor, 2008).

1.18.1. Αριθμητικός υπολογισμός

Εδώ προκειμένου για ένα στοιχείο (π.χ. ένας τοίχος), χρησιμοποιούνται βασικές σχέσεις (Βιάζης, 2002), όπως η:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{L_n}{\lambda_n} + \frac{1}{a_o}} \quad [1.16.]$$

όπου U ο συντελεστής θερμοπερατότητας ($W m^{-2} K^{-1}$) λ ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ($W m^{-1} K^{-1}$), κάθε στρώσης από την οποία απαρτίζεται το στοιχείο και α_1 και α_2 συντελεστές μετάβασης σε ή από αέρια φάση. Τα L είναι πάχη (cm) των στρώσεων. Το ενδιαφέρον εστιάζεται στο λ , που ναι μεν υπάρχουν πλούσιες βιβλιοθήκες για κάθε δομικό υλικό, αλλά, αφενός για τα υποστρώματα θα πρέπει να υπολογισθεί σε συνάρτηση με την περιεχομένη υγρασία τους, μετά της οποίας μεταβάλλεται γραμμικά (De Rijck, 1996) και αφετέρου για τη στρώση της φυτείας, είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστούν. Τέλος, ακόμη και αν αυτά τα εμπόδια προσπεραστούν με χονδρικές παραδοχές, παραμένει η πολυπλοκότητα και η αλληλεπίδραση των στρώσεων ενός φυτεμένου δώματος.

1.18.2. Πειραματικός υπολογισμός U σε συνθήκες σταθερής κατάστασης

Είναι δυνατόν με επί τόπου μετρήσεις 2-3 παραμέτρων να υπολογισθεί ο U από την σχέση: $U = |F| \cdot |t_{ae} - t_{ai}|^{-1}$ [1.17.]

όπου μετράται η ροή θερμότητας F και η διαφορά θερμοκρασίας εκατέρωθεν του στοιχείου ($t_{ae} - t_{ai}$, όπου t_{ae} = θερμοκρασία εξωτερικού αέρα και t_{ai} = θερμοκρασία εσωτερικού αέρα), σε συνθήκες σταθερής κατάστασης και υπολογίζεται το πηλίκον τους συνήθως με τη βοήθεια ενός καταγραφικού, συνδεδεμένου με αισθητήρες για την καταγραφή περιβαλλοντικών παραμέτρων, που επιπλέον διαθέτει και πρόγραμμα επίλυσης κάποιων απλών αλγόριθμων. Η μέθοδος είναι μεν ολιστική, δηλαδή αντιμετωπίζει το φυτεμένο δώμα ως όλον, αλλά η λήψη μετρήσεων σε συνθήκες σταθερής κατάστασης (χωρίς την μεταβλητή του χρόνου, δηλαδή πως εξελίσσεται το φυσικό σύστημα ως συνάρτηση του χρόνου), περιορίζουν δραματικά το εύρος εφαρμογής του U που υπολογίζεται. Κατά το ISO9869/1994 (Thermal insulation building elements-in situ measurements of thermal resistance and transmittance), η εφαρμογή αυτής της μεθόδου απαιτεί λήψη μετρήσεων επί 48 συνεχόμενες ώρες.

1.18.3. Μαθηματικά μοντέλα

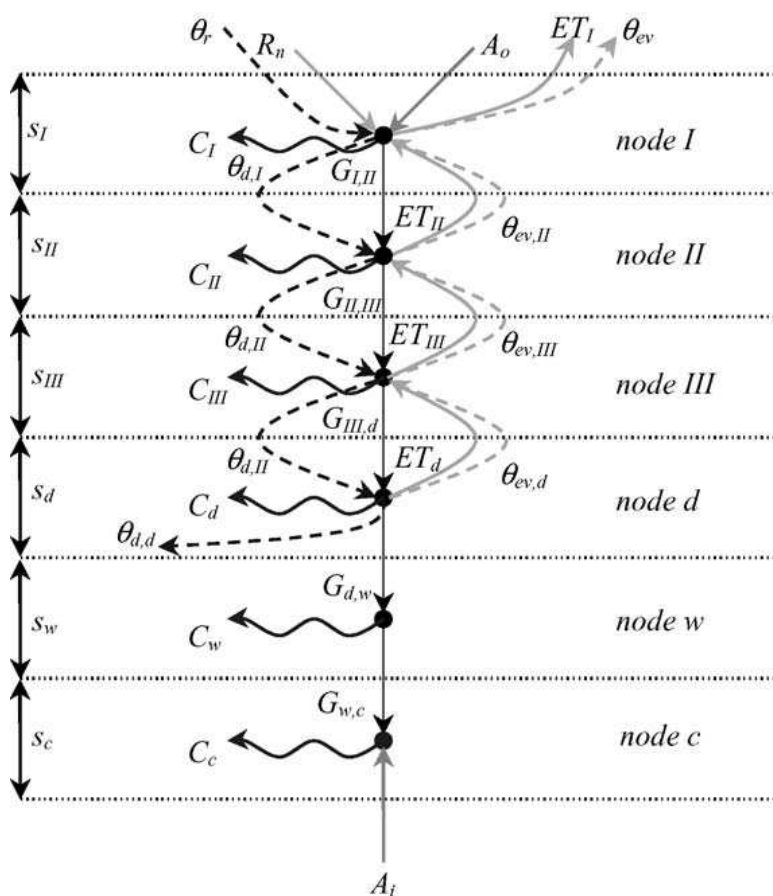
Όπως αναφέρει η ίδια η Del Barrio (1999), τα μοντέλα προσομοίωσης ενσωματώνουν αυξημένες αμφιβολίες σχετικά με τα εισαγόμενα δεδομένα προκειμένου να διασφαλιστεί ένα ευρύ πεδίο εφαρμογής του μοντέλου. Περαιτέρω τα υπολογιστικά μοντέλα προσομοίωσης, περιέχουν περίπλοκα μαθηματικά ή πολύ ειδικές διαφορικές εξισώσεις που είναι δύσκολο να επιλυθούν.

Για παράδειγμα το μοντέλο της Del Barrio (1999), μόνο για το τμήμα της φυτείας πρέπει να μετρήσει πειραματικά ή να υπολογίσει δεκαεπτά παραμέτρους, για την επίλυση των οποίων υιοθετεί άλλες είκοσι τιμές συντελεστών και παραμέτρων από τα βιβλιογραφικά

δεδομένα. Όπως αναφέρουν οι Feng et al. (2010), τα μοντέλα αυτά χρειάζονται βελτίωση στην κατεύθυνση να αποκτήσουν μεγαλύτερη ακρίβεια και δυνατότητα πρακτικής εφαρμογής. Επειδή τα προβλήματα των μοντέλων επομένως παραμένουν δυσεπίλυτα για πάνω από μια δεκαετία, για αυτό επιχειρείται πιο κάτω μια πιο αναλυτική παρουσίαση των πιο βελτιωμένων από αυτά.

1.18.3.1. Μοντέλο ενεργειακού ισοζυγίου Lazzarin

Η Lazzarin et al. (2005) πρότείνει ένα μοντέλο ενεργειακού ισοζυγίου του συστήματος φυτεμένου δώματος, όπου διακριτοποιεί τις ροές ενέργειας σε τρεις κόμβους για το υπόστρωμα (I,II,III) και από έναν για κάθε άλλη στρώση (Εικ. 1.19.).



Εικόνα 1.19. Το μοντέλο φυτοδώματος ως φυσικού συστήματος πεπερασμένων διαφορών. Πηγή: Lazzarin et al. (2005)

Σε κάθε κόμβο (έστω στον I) το θερμικό ισοζύγιο μπορεί να γραφεί με όρους ειδικών ροών:

$$R_n / + A_0 + ET_{II} = G_{I-II} + ET_I + C_I, \quad [1.18.]$$

Όπου:

$$R_n / = R_n \cdot e^{-K_s LAI}, \quad [1.19.]$$

το κλάσμα δηλαδή της ηλιακής ακτινοβολίας που διαπερνά το φύλλωμα, όπου LAI ο δείκτης φυλλικής επιφανείας και K_s ο συντελεστής εξάλειψης της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας.

$$A_0 = \alpha_0 (T_{\text{ambient_air}} - T_{\text{external_surface}}), \quad [1.20.]$$

Όπου α_0 ο συντελεστής επιφανειακής συναγωγής ($W m^{-2} K^{-1}$), $T_{\text{ambient_air}}$ η θερμοκρασία ($^{\circ}C$) ατμοσφαιρικού αέρα και $T_{\text{external_surface}}$ η θερμοκρασία ($^{\circ}C$) εξωτερικής επιφανείας.

ET_I και ET_{II} , η εξατμισοδιαπνοή στους κόμβους I και II και G η ροή θερμότητας με αγωγή:

$$G_{I-II} = \frac{T_I - T_{II}}{\frac{s_I}{2\lambda_I} - \frac{s_{II}}{2\lambda_{II}}}, \quad [1.21.]$$

Όπου: T η θερμοκρασία ($^{\circ}C$), s τα πάχη και λ ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ($W m^{-1} K^{-1}$), στους κόμβους I και II, αντίστοιχα. Τέλος C_I η μεταβολή της αισθητής θερμότητας:

$$C_I = c_I \rho_I s_I \frac{T - T'}{\Delta t}, \quad [1.22.]$$

Όπου: c_I η ειδική θερμότητα ($J kg^{-1} K^{-1}$), ρ_I η πυκνότητα ($kg m^{-3}$), s_I το πάχος της στρώσης και $\frac{T - T'}{\Delta t}$ η μεταβολή της θερμοκρασίας ($^{\circ}C$) στο χρόνο (sec) που μεσολάβησε.

- Το μοντέλο χρησιμοποιεί τέσσερις γεωμετρικές και δεκαεπτά φυσικές μεταβλητές, συντελεστές ή μεταβλητές που μετρούνται πειραματικά (LAI, ολική προσπίπτουσα, ανακλώμενη, απορροφούμενη ακτινοβολία, κλπ)
- Προτείνει τρόπο υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής, από ημι-εμπειρική εξίσωση προσδιορισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET_0) και τελικά υπολογίζει την ενεργειακή πρόσοδο μέσα στο κτίριο.
- Το εύρημα εισάγεται ως συντελεστής στο λογισμικό ενεργειακής προσομοίωσης TRNSYS, έτσι ώστε να τονίσει το ρόλο της εξατμισοδιαπνοής των φυτών στο ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου.
- Το μοντέλο αυτό τόνισε το ρόλο της εξατμισοδιαπνοής, όμως έχει απλοποιηθεί για στρώσεις που θεωρεί ότι δεν έχουν σημαντική επίδραση, όπως π.χ. τις διαχωριστικές στρώσεις (συνήθως γεωϋφασμα) και δεν εξετάζει την αποστραγγιστική στρώση και ως αποθήκη νερού.

- Επιπλέον διατηρεί σημαντικό βαθμό πολυπλοκότητας και όσον αφορά τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας του συστήματος φυτεμένου δώματος από υπορουτίνα του TRNSYS, επαφίεται στον τυπικό αριθμητικό τρόπο, που ήδη προσδιορίσαμε τις δυσκολίες που ενέχει η στρώση της φυτείας στον υπολογισμό.

1.18.3.2. Μοντέλο ενεργειακού ισοζυγίου στο Energy Plus

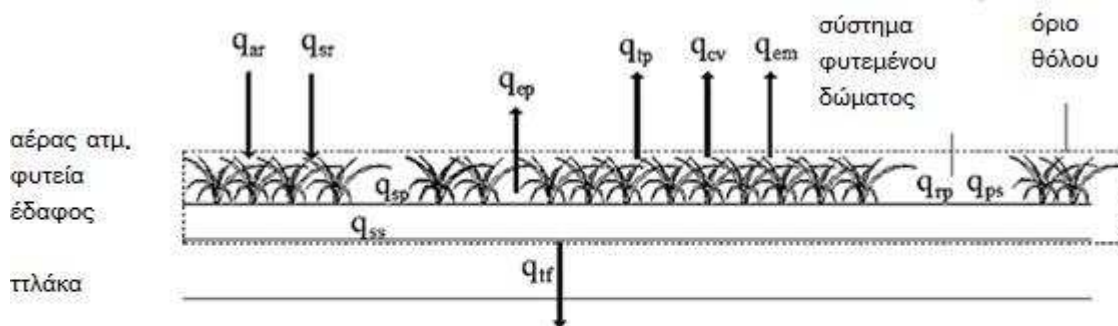
Ο Sailor (2008), σε μια εξελιγμένη προσέγγιση, συνδύασε ένα μοντέλο των Αγρονόμων του Σώματος Στρατού των ΗΠΑ (Frankenstein and Koenig, 2004), με το πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης Energy Plus.

- Η έκδοση Energy Plus v.6 , δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη, να εισαγάγει τιμές για τις παρακάτω παραμέτρους: του βάθους και των θερμικών ιδιοτήτων του υποστρώματος και επιπλέον, κάτι που δεν κάνει το TRNSYS, του δείκτη φυλλικής επιφανείας της φυτείας (LAI), του ύψους των φυτών και της πυκνότητας φυτοκάλυψης, της ανακλαστικότητα, της αντίστασης στομάτων από την οποία εκτιμάται η δυνατότητα διαπνοής των φυτών και η υγρασία του υποστρώματος.

- Η επίδραση ωστόσο της αποστραγγιστικής στρώσης και των λοιπών μεμβρανών δε συνεκτιμάται μέσα στην υπορουτίνα του λογισμικού που περιγράφει το σύστημα του φυτεμένου δώματος, αλλά οι στρώσεις αυτές περιγράφονται μαζί με τα δομικά υλικά.

1.18.3.3. Μοντέλο ενεργειακού- φυσιολογικού ισοζυγίου Feng

Πρόσφατα οι Feng et al., (2010), υποστήριξαν ότι όλα τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν μέχρι σήμερα απέτυχαν να προσμετρήσουν κάθε πιθανό βιολογικό μονοπάτι, όπως η φωτοσύνθεση και η αναπνοή των φυτών στον τρόπο που επηρεάζουν το ενεργειακό ισοζύγιο. Ανέπτυξαν έτσι ένα μοντέλο ενεργειακού ισοζυγίου ενός απλοποιημένου φυτεμένου δώματος εκτατικού τύπου (Εικ. 1.20.).



Εικόνα 1.20. Θερμικό ισοζύγιο απλοποιημένου φυτεμένου δώματος (Feng et al., 2010).

Σε αντιστοιχία με τη διαγραμματική απεικόνιση το μοντέλο που πρότειναν είναι ένα θερμοφυσιολογικό μοντέλο, το οποίο περιγράφεται παρακάτω:

$$Q_{sr} + Q_{lr} + Q_{cv} + Q_{em} + Q_{tr} + Q_{ep} + Q_{sp} + Q_{ss} + Q_{tf} + Q_{rs} + Q_{rp} = 0 \quad [1.23.]$$

Όπου:

Q_{sr} η πρόσδοος από την ηλιακή ακτινοβολία, ($W m^{-2}$)

Q_{lr} η πρόσδοος από την μεγάλη μήκους ακτινοβολία, ($W m^{-2}$)

Q_{cv} ροή θερμότητας με συναγωγή, ($W m^{-2}$)

Q_{em} , απώλεια θερμότητας με εκπομπή, ($W m^{-2}$)

Q_{tr} απώλεια θερμότητας με την διαπνοή, ($W m^{-2}$)

Q_{ep} απώλεια θερμότητας με εξάτμιση, ($W m^{-2}$)

Q_{sp} αποθήκευση θερμότητας από τα φυτά, ($W m^{-2}$)

Q_{ss} αποθήκευση θερμότητας από το έδαφος, ($W m^{-2}$)

Q_{tf} μεταφορά θερμότητας στο δωμάτιο, ($W m^{-2}$)

Q_{rs} ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από την φωτοσύνθεση, ($W m^{-2}$)

Q_{rp} παραγωγή θερμότητας από την αναπνοή, ($W m^{-2}$)

Η τελική μορφή του θερμικού ισοζυγίου, φυτεμένου δώματος απλού εκτατικού τύπου, μετά την αντικατάσταση των παραμέτρων από βασικές σχέσεις της φυσικής και της φυσιολογίας παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$\begin{aligned}
& \alpha_s \int_{\tau}^{\tau+\Delta\tau} q_{sri} d\tau + \alpha_l \sigma \int_{\tau}^{\tau+\Delta\tau} (t_a + 273.15)^4 (0.802 + 0.004t_d) d\tau \\
& + \int_{\tau}^{\tau+\Delta\tau} (5.7 + 3.8v)(t_p - t_a) d\tau + \sigma \varepsilon \int_{\tau}^{\tau+\Delta\tau} (t_p + 273.15)^4 d\tau \\
& + l \int_{\tau}^{\tau+\Delta\tau} R_{et} d\tau + \rho_p \int_{t_p}^{t_p+\Delta t_p} c_p dt_p + \rho_s \int_{t_s}^{t_s+\Delta t_s} c_s dt_s \\
& + \int_{\tau}^{\tau+\Delta\tau} q_{tf} d\tau + \frac{\int_{\tau}^{\tau+\Delta\tau} q_{sri}(\tau) d\tau}{\int_0^{24h} q_{sri}(\tau) d\tau} \frac{6.5}{TC(1 + (R_{ep}/R_{tp}))} l \int_0^{24h} \\
& R_{et} d\tau = 0
\end{aligned}$$

[1.24.]

Το οποίο επιλύεται με την επί τόπου μέτρηση οκτώ παραμέτρων και τη χρήση έντεκα συντελεστών. Οι παράμετροι είναι ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής (R_{et}) υπολογιζόμενος με εξατμισόμετρο ή υγρόμετρα, η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (Q_{sri}), η ροή θερμότητας στο επίπεδο του ταβανιού (Q_{tf}), οι θερμοκρασίες αέρα (T_a), σημείου δρόσου (T_d), φυτών (T_p), εδάφους (T_s) και η ταχύτητα του αέρα υπεράνω της φυτείας (v). Οι συντελεστές που πρέπει να εξειδικευτούν κατά περίπτωση και να εισαχθούν είναι: Η απορρόφηση μικρού μήκους ακτινοβολίας από το γρασίδι (α_s), η απορρόφηση μεγάλου μήκους ακτινοβολίας από το γρασίδι (α_l), ο συντελεστής εκπομπής του γρασιδιού (ε), θεωρώντας ότι το γρασίδι είναι ένα γκρίζο εκπέμπον σώμα, η πυκνότητα (ρ_p) της φυτοκάλυψης σε (kg m^{-2}), η οποία ως σημειωθεί είναι καταστροφική μέθοδος, η πυκνότητα (ρ_s) του εδάφους (kg m^{-2}), η ειδική θερμότητα φυτών (c_p) και εδάφους (c_s), ο συντελεστής διαπνοής (TC) και το πηλίκο του ρυθμού εξατμισοδιαπνοής και διαπνοής (R_{ep}/R_{tp}). Η σχέση επιλύεται και για στιγμιαία μέτρηση όταν το Δt τείνει στο μηδέν. Ωστόσο για έγκυρους υπολογισμούς της εξατμισοδιαπνοής χρειάζεται ο μέσος όρος 24ωρου.

Το μοντέλο τελικά υπολογίζει, όπως και των Lazzarin et al. (2005), την ενεργειακή πρόσοδο μέσα στο κτίριο. Τόνισε επίσης το ρόλο της εξατμισοδιαπνοής και όλων των φυσιολογικών λειτουργιών του φυτού, επιδιώκοντας μια πλέον λεπτομερή προσέγγιση του ενεργειακού ισοζυγίου στη βάση όμως ενός υπερβολικά απλοποιημένου συστήματος φυτεμένου δώματος.

Ταυτόχρονα οι μετρήσεις που διεξήγαγε προϋποθέτουν ένα μικρό εργαστήριο πλήρως εξοπλισμένο και διαθέσιμο επί τόπου. Έτσι δεν έχει τη δυνατότητα πρόβλεψης, αλλά εκτιμά εκ των υστέρων, ενώ η διενέργεια των μετρήσεων γίνεται κάτω από σταθερή κατάσταση συνθηκών.

Επιπλέον το εύρημα, λίαν σημαντικό όταν χρησιμοποιηθεί σε κάποιο πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης, θα προσπεράσει με τον ίδιο χονδρικό τρόπο το ζήτημα του

υπολογισμού του συντελεστή θερμοπερατότητας του συστήματος φυτεμένου δώματος, όπως το αντιμετώπισε και οι Lazzarin et al. (2005).

Συνολικά όλα τα μοντέλα αυτά επιχειρούν μια χονδρική στον ένα ή τον άλλο βαθμό προσέγγιση της πραγματικής πολυεπίπεδης δομής και λειτουργίας των φυτοδωμάτων, η οποία αδυνατεί να τα αντιμετωπίσει ως όλον και στην προσπάθεια απλοποίησης των μοντέλων, τα αναλύει ως άθροισμα -κάποιων εκ- των μερών τους.

Η προσέγγιση αυτή υποτιμά, αφενός τη λεπτομερή πολυεπίπεδη κατασκευή των φυτοδωμάτων και λειτουργία τους και ειδικότερα εσωτερικές διεργασίες, όπως η κυκλοφορία του αέρα, η παγίδευση αέρα, πρόσθετες ποσότητες νερού στις κοιλότητες της αποστραγγιστικής στρώσης και την επίδραση του ριζικού συστήματος στις φυσικές ιδιότητες του υποστρώματος (Εικ 1.21.).



Εικόνα 1.21. Το ριζικό σύστημα εξαπλώνεται και κάτω από την στρώση διαχωρισμού του γεωϋφάσματος, γεμίζοντας τα κενά των κοιλοτήτων των στοιχείων της αποστράγγισης.

Ουσιαστικά αυτό που διακρίνεται στην Εικόνα 1.21., είναι η δημιουργία μιας πρόσθετης στρώσης.

1.19. Πεδίο ανάπτυξης και στόχοι της Διατριβής

Ο Οδηγός (Agenda) 21- προϊόν της Διεθνούς Διάσκεψης του Ρίο- αποτέλεσε ένα ολοκληρωμένο και δεσμευτικό πλαίσιο δράσης για την μετάβαση στην βιώσιμη ή αιεφόρο ανάπτυξη. Η Ελλάδα, σε επίρρωση κανονισμών της Ε.Ε., απέκτησε συνολικό περιβαλλοντικό νομοθέτημα, το νόμο για την προστασία του περιβάλλοντος, Ν. 1650/86. Έκτοτε δύο κείμενα σηματοδοτούν την πορεία προς την υλοποίηση των αρχών της

αιφορίας στην πόλη: η Χάρτα του Aalborg το 1994 και η Νέα Χάρτα της Αθήνας το 1998 (Παπαγιάννης, 1999). Η τελευταία διακηρύσσει ότι ο πολεοδομικός σχεδιασμός πρέπει - μεταξύ άλλων- να ενθαρρύνει:

- τη διατήρηση των μη ανανεούμενων πόρων
- την εξοικονόμηση ενέργειας και την μη ρυπογόνο τεχνολογία
- τη μείωση της ρύπανσης
- τη διατήρηση των οικοσυστημάτων
- κτίρια με υψηλή ενεργειακή απόδοση
- μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου

Πολλά Ευρωπαϊκά προγράμματα και Εθνικές δράσεις, URBAN, SWANS, Αττική SOS, επιδοτούσαν μεταξύ άλλων τις αναπλάσεις δημοσίων χώρων.

Στον τελευταίο ΓΟΚ εντάσσονται, με ένα πολύ γενικό τρόπο είναι αλήθεια και τα φυτεμένα δώματα, ενώ είναι υποχρεωτική η φύτευση και άρα ανάλογη στατική μελέτη των υπόγειων χώρων στάθμευσης με ακάλυπτη πλάκα. Τέλος με την υπ. αριθμ. 911/09.01.2012 Απόφαση του Αναπληρωτή Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΦΕΚ 14/11.01.2012, Τεύχος Β'), ετέθησαν «Όροι, προϋποθέσεις και διαδικασία κατασκευής φυτεμένων επιφανειών σε δώματα, στέγες και υπαίθριους χώρους κτηρίων», ενώ τα πλαίσια της ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων και του κανονισμού ενεργειακής απόδοσης (ΚΕΝΑΚ), επιλέγεται και η εγκατάσταση φυτοδωμάτων ως ένα σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας (Δ5), δράση που δανειοδοτείται ευνοϊκά- όπως και τα λοιπά συστήματα- από τραπεζικά προγράμματα. Έτσι την ίδια ώρα αρχίζουν να τίθενται από τον τεχνικό και κατασκευαστικό κόσμο, αιτήματα για μια ποσοτικοποιημένη έκφραση της συμβολής τους στο θερμικό ισοζύγιο των κτιρίων. Η ζήτηση στα πλαίσια του προγράμματος ενεργειακής μελέτης κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) για αξιόπιστους συντελεστές θερμοπερατότητας των συστημάτων φυτεμένων δωμαίων είναι ήδη επί τάπητος.

Η παρούσα Διατριβή συνάδει με τα πλαίσια των Ευρωπαϊκών και Ελληνικών αρχών και εντός του θεσμικού πλαισίου και τεχνικών προκλήσεων που έχουν τεθεί στοχεύει:

1) Να μελετήσει και να αξιολογήσει την σύνθεση υποστρωμάτων κατάλληλων, για τις Μεσογειακές συνθήκες, ελαφροβαρών και με τις κατάλληλες φυσικές και χημικές ιδιότητες, για την κατασκευή φυτεμένων δωμαίων ημιεντατικού και εντατικού τύπου, χρησιμοποιώντας τοπικά διαθέσιμα υλικά.

2) Να διερευνήσει τις επιδράσεις του τύπου και του βάθους του υποστρώματος στην ανάπτυξη επιλεχθέντων θάμνων και δένδρων και χλόης, με την αξιολόγηση σειράς βιομετρικών και φυσιολογικών παραμέτρων.

3) Να πραγματοποιήσει δυναμικό υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας (U) με την μέθοδο PASLINK, για σειρά δοκιμίων φυτεμένων δωμαίων, που βασίζονται στα

υποστρώματα που παρασκευάστηκαν και να αξιολογήσει τη θερμική τους απόδοση, σαν επιπλέον επικάλυψη στα δώματα κτιρίων.

Ο τρίτος στόχος της Διατριβής εξειδικεύεται περαιτέρω: α) Στις ρυθμίσεις και το σχεδιασμό της πειραματικής και υπολογιστικής διαδικασίας για το δυναμικό υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας (U) συστημάτων φυτεμένων δωματίων. β) Στη σύγκριση του U που υπολογίζεται με την πειραματική δυναμική μέθοδο PASLINK, για ορισμένα συστήματα φυτοδωματίων, με εκείνα ενός συμβατικά μονωμένου δώματος και ενός κτιρίου με ενισχυμένη θερμομόνωση, αλλά και με τις τιμές U των ίδιων φυτεμένων δωματίων, οι οποίες θα υπολογίζονταν θεωρητικά. γ) Στη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των τιμών U και της περιεχομένης στα υποστρώματα υγρασίας. δ) Στην ποσοτική εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας, με προσομοίωση κτιρίων αναφοράς, στο λογισμικό TRNSYS.

Επιπρόσθετα στα πλαίσια της διατριβής εξετάστηκε η χρήση ανακυκλώσιμων υλικών, κατάλληλων για τη σύνθεση υποστρωμάτων φυτεμένων δωματίων, που βρίσκονται σε φυσική αφθονία και έχουν μικρή ενσωματωμένη ενέργεια, λαμβάνοντας υπόψη το ενεργειακό αποτύπωμα τους (Anderson et al., 2009).

Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα σε δύο παράλληλα εκτελούμενες πειραματικές μελέτες. Η πρώτη (Α) εγκαταστάθηκε στο αγρό του Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής τοπίου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθήνας και η δεύτερη (Β) στο Θάλαμο δοκιμών του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Τα κεφάλαια που αφορούν υλικά και μεθόδους, αποτελέσματα και συζήτηση, καθώς και συμπεράσματα παρατίθενται χωριστά για την ενότητα των πειραμάτων αγρού και χωριστά για τα πειράματα στο ΚΑΠΕ, ενώ παρατίθεται στο τέλος ενιαίο κεφάλαιο συμπερασμάτων.

ΤΜΗΜΑ Α
ΜΕΛΕΤΕΣ ΑΓΡΟΥ

II. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΙΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΑΓΡΟΥ

2.1. Εγκατάσταση Πειραμάτων

Οι πειραματικές μελέτες αγρού εγκαταστάθηκαν στο Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθήνας (37° 58'55'' N και 23° 32'14'' E). Συνολικά έλαβαν χώρα 3 πειραματικές μελέτες με 3 διαφορετικά είδη φυτοκαλύψεων, όπου η κάθε μία περιλάμβανε 30 πειραματικά τεμάχια (Εικ. 2.1). Οι φυτοκαλύψεις ήταν α) χλοοτάπητας, β) φρύγανο και γ) συνδυασμός δένδρων και θάμνων. Η εγκατάσταση των πειραματικών τεμαχίων ολοκληρώθηκε την 5^η Οκτωβρίου 2009 και οι μετρήσεις διήρκεσαν έως την 8^η Αυγούστου 2010, την 19^η Νοεμβρίου 2010 και την 4^η Οκτωβρίου 2011, για τη μελέτη των χλοοταπήτων, του φρύγανου και του συνδυασμού δένδρων και θάμνων αντίστοιχα.



Εικόνα 2.1. Άποψη του πειραματικού αγρού όπου διακρίνονται α) τα πειραματικά τεμάχια με *Festuca arundinacea*, β) *Lavandula angustifolia* και γ) *Olea europaea* και *Pittosporum tobira*.

Ως πειραματικά τεμάχια χρησιμοποιήθηκαν Ολοκληρωμένοι Θαλαμίσκοι (GreenTech Inc., VA, USA), διαστάσεων 1,2 X 1,2 m και σταθερού ύψους 22 cm, τα οποία συνιστούν δομές από σκληρό πολυαιθυλένιο (PE). Σε κάθε μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τρία (3) υποστρώματα, σε 2 διαφορετικά βάθη. Η πρώτη και η δεύτερη πειραματική μελέτη

περιλάμβαναν τρία διαφορετικά υποστρώματα τα οποία δημιουργήθηκαν από τοπικά υλικά εκτός της τύρφης, σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω υποστρώματα:

1. Μίγμα αμμοπηλώδους εδάφους 30%, περλίτη 65% και ζεόλιθου 5% ($S_{30}:Per_{65}:Z_5$)
2. Μίγμα κίσηρης 65%, τύρφης 30% και ζεόλιθου 5% ($Pum_{65}:P_{30}:Z_5$) και
3. Μίγμα κίσηρης 65%, κόμποστ 30% και ζεόλιθου 5% ($Pum_{65}:C_{30}:Z_5$).

Στην πρώτη μελέτη το υπόστρωμα τοποθετήθηκε σε δύο διαφορετικά βάθη (30 και 40 cm) και φυτεύτηκε με φυτάρια του *Pittosporum tobira* και διετή δενδρύλλια του *Olea europaea* 'Koroneiki' (Εικ. 2.2.) προσομοιάζοντας συστήματα εντατικού φυτοδώματος.



Εικόνα 2.2. Πειραματικά τεμάχια εντατικού φυτοδώματος με συνδυασμένη φύτευση από *Pittosporum tobira* και *Olea europaea* 'Koroneiki'.

Στη δεύτερη μελέτη τα υποστρώματα τοποθετήθηκαν σε δύο διαφορετικά βάθη (20 και 30 cm) και φυτεύτηκε με φυτάρια του αρωματικού φρύγανου *Lavandula angustifolia* (Εικ. 2.3.), προσομοιάζοντας ημιεντατικά συστήματα φυτοδωμάτων.



Εικόνα 2.3. Πειραματικά τεμάχια ημιεντατικού φυτοδώματος με φύτευση φυταρίων του αρωματικού φρύγανου *Lavandula angustifolia*.

Η τρίτη πειραματική μελέτη περιλάμβανε τρία (3) διαφορετικά υποστρώματα τα οποία δημιουργήθηκαν από τοπικά υλικά εκτός της τύρφης, σε κατ' όγκο αναλογίες οι οποίες υποδηλώνονται από τους δείκτες:

- 1) πετροβάμβακα
- 2) μίγμα αμμοπηλώδους εδάφους 30%, περλίτη 65% και ζεόλιθου 5% ($S_{30}:Per_{65}:Z_5$)
- 3). μίγμα κίσηρης 65%, τύρφης 30% και ζεόλιθου 5% ($Pum_{65}:P_{30}:Z_5$)

Τα υποστρώματα τοποθετήθηκαν σε δύο διαφορετικά βάθη (10 και 20 cm) και φυτοκαλύφθηκαν με έτοιμο χλοοτάπητα του είδους *Festuca arundinacea* (Εικ. 2.4.) προσομοιάζοντας ημιεντατικά συστήματα φυτοδωμάτων.

Η διαφοροποίηση του βάθους των υποστρωμάτων στις διάφορες μελέτες επιτεύχθηκε με τη χρήση πλευρικών στηριγμάτων στις πλευρές των θαλαμίσκων από πολυκαρβονικά φύλλα. Η κυψελωτή βάση των θαλαμίσκων βάθους 12 cm πληρώθηκε με γαρμπίλι το οποίο σε συνδυασμό με τις κυψέλες των ολοκληρωμένων θαλαμίσκων σχημάτιζε τη αποστραγγιστική στρώση, η οποία διαχωριζόταν από το υπόστρωμα με την παρεμβολή μιας διαχωριστικής στρώσης αποτελούμενης από μη υφασμένο γεώφασμα πολυπροπυλενίου πάχους 0,8 mm (PET, Polyester, Drenotex AC3, Fraudenberg Politex S.a.s., Como, Italy) και υδραυλική αγωγιμότητα $100 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$.



Εικόνα 2.4. Πειραματικά τεμάχια ημιεντατικού φυτοδώματος με εδαφοκάλυψη από *Festuca arundinacea*.

2.2. Υλικά υποστρωμάτων

Η κίσηρη (ΛΑΒΑ ΑΕ, Αθήνα, Ελλάς) είχε κατανομή μεγέθους σωματιδίων μεταξύ 0,06-8 mm, ενώ ο ζεόλιθος (S & B Industrial Minerals S.A., Αθήνα, Ελλάς) και ο περλίτης (Perloflor, ISOCON S.A., Αθήνα, Ελλάς) είχαν 0,8-2,5 mm και 1-5 mm αντίστοιχα. Ο ζεόλιθος ήταν της κατηγορίας κλινοπιτιλόλιθων και έχει δειχθεί ότι συμβάλλει στην καλή ανάπτυξη των φυτών, στην επίτευξη υψηλότερων συγκεντρώσεων NH_4^+ και K^+ στους ιστούς των φυτών, καθώς και ότι μειώνει την έκπλυση του K^+ (Gül et al., 2005) χάρις στην ειδική δομή του, η οποία αποτελείται από συρίγγια διαμέτρου 2-7 nm. Ο περλίτης, η κίσηρη και ο ζεόλιθος επιλέχθηκαν ως συναθροιστικού τύπου αδρανή υλικά που παράγονται και είναι διαθέσιμα τοπικά. Η τύρφη ήταν Λιθουανικής προέλευσης από βρύα sphagnum (Novobalt Lithuania) με pH 3,75.

Το κόμποστ είχε παραχθεί τοπικά από την εταιρεία Λ. ΚΑΜΠΑΝΗΣ Α.Ε. (Πικέρμι, Αττικής, Ελλάς), χρησιμοποιώντας άχυρο, πριονίδι, ροκανίδι και κομμένο γρασίδι αναμιγμένα με κοπριά από αγελάδες γαλακτοπαραγωγής και αλόγων, ενώ ένα μικρό μέρος τους προερχόταν από όρνιθες και χρησιμοποιήθηκε σαν εναλλακτική λύση της τύρφης.

Τα κριτήρια για την επιλογή υλικών ήταν η εγχώρια παραγωγή και η τοπική διαθεσιμότητα, το μικρό ειδικό βάρος τους, η κοκκομετρία τους και η εμπειρία από την έως τώρα χρήση τους στην φυτοκομία. Πρόσθετα η σύνθεση υποστρωμάτων από τα

επιλεγμένα υλικά, στόχευε στη συμφωνία με τμήμα των προδιαγραφών της FLL (FLL, 2002).

Ο πετροβάμβακας χρησιμοποιήθηκε σε αντικατάσταση των συναθροιστικού τύπου αδρανών υποστρωμάτων και προκειμένου να διερευνηθούν οι επιδόσεις ενός υποστρώματος, που επί σειρά ετών χρησιμοποιείται στην υδροπονία και έχει ήδη δοκιμασθεί και στα φυτεμένα δώματα (Onmura et al., 2001), ενώ κυκλοφορούν και σχετικά προϊόντα για φυτοδώματα στην αγορά (Grodan και NOPHADRAIN BV, Ολλανδία). Ο πετροβάμβακας έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στα φυτεμένα δώματα προκειμένου να διερευνηθεί η συμβολή του στην βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς του δώματος της οροφής του κτιρίου χωρίς να επιβαρύνει το στατικό φορτίο τους (Kotsiris et al., 2009), ενώ ως προϊόν για υδροπονία έχει διεξοδικά εξεταστεί (Bougol et al., 2005). Στις μελέτες που διεξήχθησαν χρησιμοποιήθηκε πετροβάμβακας με πυκνότητα 150 kg m^{-3} , πάχους 8 cm και σε πλάκες με διαστάσεις 0.6 x 1.2 m (Geolan, Fibran, Θεσσαλονίκη).

2.2.1. Περιβαλλοντικό αποτύπωμα υλικών υποστρωμάτων

Σχετικά με το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των υποστρωμάτων παράγονται και διατίθεται τοπικά στα πλαίσια της ελληνικής αγοράς, με μόνη εξαίρεση την τύρφη, η οποία ουσιαστικά χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας προκειμένου να συγκριθεί με το κόμποστ. Στον Πίνακα 2.1. επιχειρείται σύγκριση διαφόρων υλικών που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή εδαφικών μιγμάτων και υποστρωμάτων, βασισμένη σε Ανάλυση Κύκλου Ζωής (LCA) για τον προσδιορισμό των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, εκφρασμένα σε $\text{kg CO}_2 \text{ eq t}^{-1}$.

Η ταξινόμηση βασίστηκε στις παρακάτω παραδοχές:

- Η επίπτωση των φυτικών κόμποστ και των φυτικών υπολειμμάτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους, ισοδυναμεί και άρα μηδενίζεται, από την δέσμευση CO_2 που έλαβε χώρα κατά την διάρκεια ανάπτυξης των φυτών απ' όπου προήλθαν.

- Η παραδοχή αυτή δεν ισχύει για την τύρφη η οποία κατατάσσεται στα απολιθωμένα καύσιμα. Το CO_2 που είχε δεσμεύσει, συνέβη σε γεωλογικούς χρόνους και αφορά την σωρευμένη δέσμευση χιλιάδων ετών. Αυτό ισχύει εννοείται πρωτίστως για τα τυπικά απολιθωμένα καύσιμα, τους υδρογονάνθρακες και τα υποπροϊόντα τους, τους διάφορους αφρούς.

- Τέλος υποτίθεται ότι το αποτύπωμα της χοιρινής κοπριάς είναι ισοδύναμο με της αλογίσιας και ότι έχει ληφθεί υπόψη ότι το κόμποστ που χρησιμοποιήθηκε στα υποστρώματα της μελέτης είναι κατά 20% αλογίσια κοπριά και κατά 80% φυτικά υπολείμματα.

- Για τη συμβολή της μεταφοράς στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα χρησιμοποιήθηκε ο Πίνακας 2.2. (Defra, 2009).

Πίνακας 2.1. Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από διάφορα υλικά υποστρωμάτων στο τελικό στάδιο χρήσης, εκφρασμένες κατά βάρος ($\text{kg CO}_2\text{eq t}^{-1}$) [η χρήση της '\', υποδεικνύει το εύρος του πεδίου τιμών].

Υλικό	Εξόρυξη και συλλογή	Επεξεργασία	Μεταφορά	Τέλος ζωής εξαιρώντας τη δέσμευση CO_2 κατά την ανάπτυξη	Ολική εκπομπή CO_2
Τύρφη	36	24	331\412	543	934\1.015
Φυτικά Κόμποστ	37	408	51\132	358-358=0	496\577
Χοιρινή Κοπριά	37	578	51\132	0	629\710
Κόμποστ μελέτης	37	493	51	0	581
Ίνες Κοκκοφοίνικα	4\160	40	331\412	294-294=0	375\612
Φλοιός	4	13	331\412	793-793=0	348\429
Ίνες ξύλου	5	32	72\273	661-661=0	109\310
Περλίτης	65	536	24\64	—	625\665
Βερμικουλίτης	65	536	24\64	—	625\665
Κίσηρη	65	—	24\64	—	99\129
Ζεόλιθος	65	—	24\64	—	99\129
Πετροβάμβακας	65	1455	24\64	—	1.544\1.584
Αφροί (EPS)		1752	331\412	2630	4.713\4.794

*Ο Πίνακας 2.1. είναι αναθεώρηση αντίστοιχου πίνακα της Defra (2009) για τις Ελληνικές συνθήκες, ο οποίος εμπλουτίστηκε με σχετικά δεδομένα άλλων αναφορών (Papadopoulos 2006; TIMSA 2000; Dalgaard et al., 2006).

Πίνακας 2.2. Απευθείας εκπομπές CO₂ από καύσιμα για ενέργεια και μεταφορές. (Defra, 2009).

Καύσιμο ή διαδικασία	Kg CO ₂ e
Ντίζελ (l)	2,63
Ηλεκτρισμός (kWh)	0,527
Φυσικό αέριο (kWh)	0,206
Ναυσιπλοΐα, μικρό Χύδην φορτίο (t km ⁻¹)	0,014
Ναυσιπλοΐα, μεγάλο Χύδην φορτίο (t km ⁻¹)	0,007
Σιδηρόδρομος (t km ⁻¹)	0,03
Οδικές μεταφορές (t km ⁻¹)	0,138
Επιβατικό αυτοκίνητο (km)	0,20

Σύμφωνα λοιπόν με το Πίνακα 2.1., ο ζεόλιθος και η κίσηρη έχουν χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, ο περλίτης και το κόμποστ έχουν μέτριο, ενώ η τύρφη και ο πετροβάμβακας υψηλό και οι οργανικοί αφροί πολύ ψηλό.

2.3. Επιλογή φυτικού υλικού

Στην πρώτη μελέτη, η *O. europaea* L. ‘Κορονεϊκή’ και το *Pittosporum tobira* (Thunb.) επιλέχθηκαν λόγω της χαμηλής απαίτησής τους σε νερό και της αφθονίας της παρουσίας τους στο αστικό και περιαστικό τοπίο, αμφότερα στη ζώνη της Ελιάς (γενικά έως 600 m υψόμετρο). Η ελιά ειδικότερα έχει αξιολογηθεί ως ανθεκτικό στην ξηρασία είδος (Lo Gullo and Salleo, 1988), που εκδηλώνει προσαρμοσμένες αντιδράσεις (όπως οσμωτική ρύθμιση) κάτω από ξηρές συνθήκες (Larcher et al., 1981). Ομοίως το πιττόσπορο έχει χαμηλή κατανάλωση νερού (Still and Davies, 1993), ενώ θεωρείται ένα προσαρμοσμένο είδος για τη φύτευση ημιεντατικού τύπου πράσινων δωματίων (Wheeler and Osborne, 2010). Τα ελαιόδεντρα ήταν ηλικίας δύο ετών σε γλάστρες διαμέτρου 24 cm με εδαφικό μίγμα αποτελούμενο από αμμοπηλώδες έδαφος 40%, 30% τύρφη και 30% περλίτη. Τα πιττόσπορα ήταν ενός έτους, σε πλαστική σακούλα 1.5 L, με εδαφικό μίγμα από αμμοπηλώδες έδαφος και 10% τύρφη. Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο της πρώτης μελέτης φυτεύτηκε ένα ελαιόδεντρο στο μέσον και περιμετρικά τέσσερα πιττόσπορα σε κάναβο 60 × 60 cm.

Στη δεύτερη μελέτη, το φυτό *L. angustifolia*, επιλέχθηκε ως ένα αντιπροσωπευτικό είδος της Μεσογειακής χλωρίδας κατάλληλο για ημιεντατικού τύπου φυτεμένα δώματα, με

μικρή απαίτηση σε νερό (Costello et al., 2000) και πλούσια παρουσία στο αστικό τοπίο. Τα φυτά ήταν σε γλαστρίδια τύρφης 8 cm και ύψους 15 cm . Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο φυτευτήκαν στις 4 Σεπτεμβρίου 2010 τέσσερα φυτά σε κάναβο 60 × 60 cm.

Στη τρίτη μελέτη, η δοκιμή του πετροβάμβακα μεταξύ των υποστρωμάτων, επέβαλε την επιλογή άμεσης και πλήρους εδαφοκάλυψης. Από τους διαθέσιμους τύπητες στην αγορά επιλέχθηκε μίγμα από πέντε ποικιλίες του είδους *F. arundinacea*, με την εμπορική επωνυμία «Ηρακλής» (Hellasod ΕΠΕ, Αλιάρτος, Βοιωτία), το οποίο είναι το ανθεκτικότερο από τα ψυχρόφιλα είδη γρασιδιών στην καταπόνηση από έλλειψη υγρασίας (Karcher et al., 2008) και σχηματίζει το λιγότερο απαιτητικό σε διαχείριση χλοοτάπητα. Η εγκατάσταση του έτοιμου χλοοτάπητα έγινε την 5^η Σεπτεμβρίου 2009.

2.4. Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των υποστρωμάτων

Ηλεκτρική αγωγιμότητα και pH: Για την καταγραφή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Consort C 835 πολυκαναλικός αναλυτής (Consort nv, Belgium), σε 1:2 κατ' όγκο αραιώση του δείγματος με απιονισμένο νερό.

Οργανική ουσία: Για τον καθορισμό της κατά βάρος οργανικής ουσίας των υποστρωμάτων με τύρφη και κόμποστ, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της αφαίρεσης με καύση (Loss on ignition, LOI) κατά την οποία πραγματοποιείται καύση κάθε οργανικής ουσίας σε πυραντήριο, με θέρμανση στους 450⁰ C και για 24 ώρες, ενός προ-ζυγισμένου ξηρού δείγματος υποστρώματος 10 g, το οποίο είχε ξηρανθεί στους 75⁰ C για 24 ώρες (ASTM, 2000).

Μηχανική ανάλυση: Μετά την αφαίρεση της οργανικής ουσίας, έγινε μηχανική ανάλυση των υποστρωμάτων με τη μέθοδο του ξηρού κοσκινίσματος, σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D422-63 (2007) και με τη χρήση συσκευής κραδασμού κόσκινων (AS 200, Retsch GmbH, Γερμανίας). Τα κόσκινα ήταν διαμέτρων 4, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,1, 0,05 mm.

Άλλα χαρακτηριστικά: Προσδιορίστηκαν οι χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας, το φαινόμενο ειδικό βάρος σε ξηρό και κορεσμένο δείγμα από κάθε υπόστρωμα, σύμφωνα με τους Nektarios et al. (2011b και 2011a, αντίστοιχα).

2.5. Προσδιορισμός εδαφικής υγρασίας υποστρώματος

Η υγρασία των υποστρωμάτων μετρήθηκε στον αγρό (in situ), με τη χρήση του διηλεκτρικού αισθητήρα WET-2 (Delta-T devices, Cambridge CB25 0EJ UK) σε σύνδεση με τον μετρητή υγρασίας HH2. Ο αισθητήρας WET έχει μήκος ραβδίων 6,5 cm και μετρά την κατ' όγκο υγρασία θ σε ένα όγκο υποστρώματος 65 × 40 mm περίπου και με ακρίβεια ± 3%. Η βαθμονόμηση του οργάνου έγινε με την μέθοδο των ξεχωριστών δειγμάτων ομοιογενούς υγρασίας (Kargas et al., 2011), και τα a_0 και a_1 που μετρήθηκαν ήταν

αντίστοιχα 1,37 και 7,21 για το υπόστρωμα Ρum₆₅:C₃₀:Z₅ , 1,21 και 12,27 για το υπόστρωμα S₃₀:Per₆₅:Z₅ και 1,3 και 8,5 για το υπόστρωμα Ρum₆₅:P₃₀:Z₅.

Οι μετρήσεις στην πρώτη μελέτη με φυτεύσεις ελιάς και πιττόσπορου, ελήφθησαν από 18 Μαΐου 2010 έως 4 Οκτωβρίου 2011. Στη δεύτερη μελέτη με φυτεύσεις λεβάντας, οι μετρήσεις της υγρασίας του υποστρώματος ελήφθησαν από τις 18 Μαΐου μέχρι 19 Νοεμβρίου 2010, ενώ στην τρίτη μελέτη με φυτοκάλυψη χλοοτάπητα οι μετρήσεις της υγρασίας του υποστρώματος διήρκεσαν από 25 Μαΐου έως 8 Αυγούστου 2010. Όλες οι μετρήσεις διεξάγονταν ανά δύο εβδομάδες και περί της 12:00 μμ. Στις δύο πρώτες μελέτες ο αισθητήρας εφαρμοζόταν σε απόσταση 15 cm από το σταλλάκτη και σε βάθος 10 cm υπεράνω του γεωυφάσματος και για τα δύο βάθη υποστρωμάτων, ενώ στην τρίτη μελέτη ο αισθητήρας εφαρμοζόταν στην επιφάνεια χωρίς πρόσθετη βύθιση, αλλά με αφαίρεση ίσης διατομής χλοοτάπητα. Η βύθιση του αισθητήρα εντός του υποστρώματος γινόταν με τη βοήθεια μεταλλικού κυλίνδρου όπου αφαιρείτο υπόστρωμα και επανατοποθετείτο πάλι μετά την μέτρηση. Κατά το δεύτερο έτος, της πρώτης μελέτης, οι μετρήσεις διεξήχθησαν με το υγρασιόμετρο Field Scout TM TDR 300 (Spectrum Technologies Inc., USA). Ο υπολογισμός της θ έγινε σύμφωνα με την προτεινόμενη βαθμονόμηση της εταιρείας κατασκευής. Ο αισθητήρας είχε ακρίβεια ±3.0% και το μήκος της ράβδου του ήταν 20 cm.

2.6. Βιομετρικές μετρήσεις

Στην πρώτη μελέτη, η επίδραση των δύο παραγόντων του υποστρώματος που μελετήθηκαν (τύπος και βάθος), στην ανάπτυξη των φυτών, εκτιμήθηκε με τον προσδιορισμό των παρακάτω παραμέτρων:

1. Του δείκτη ανάπτυξης (Growth Index, G.I.) της κόμης των φυτών πιττόσπορου και ελιάς και

2. Της ανάπτυξης της περιμέτρου του κορμού των ελαιόδεντρων οι οποίες γίνονταν σε ύψος 60 cm από το σημείο επαφής του λαιμού του κορμού με το υπόστρωμα.

Ο δείκτης ανάπτυξης υπολογίσθηκε ως ο μέσος όρος της διαμέτρου της κόμης του φυλλώματος (D_1) που λαμβάνονταν διαρκώς από την νότια πλευρά, μιας δεύτερης διαμέτρου (D_2) κάθετης στην πρώτη και του ύψους της κόμης (Z_f) λαμβανομένου από τη συμβολή κορμού και βραχιόνων (Ruter, 1996). Ο δείκτης ανάπτυξης εκφράζεται με την εξίσωση [2.1.] :

$$GI = (D_1 + D_2 + Z_f) / 3 \quad [2.1.]$$

Στη δεύτερη μελέτη, η επίδραση των δύο παραγόντων του υποστρώματος που μελετήθηκαν (τύπος και βάθος) στο ρυθμό ανάπτυξης των φυτών, εκτιμήθηκε με τον προσδιορισμό του δείκτη ανάπτυξης της κόμης των φυτών λεβάντας, μετρούμενου με τον

ίδιο τρόπο. Οι μετρήσεις του δεύτερου πειράματος διήρκεσαν ένα χρόνο και μετά την περάτωσή τους, μετρήθηκε το ξηρό βάρος του ριζικού συστήματος της λεβάντας με καταστροφική δειγματοληψία τριών φυτών από κάθε επέμβαση. Τα φυτά αφαιρέθηκαν από τα πειραματικά τεμάχια αφού προηγήθηκε κατάκλιση με νερό και εν συνεχεία αποκόπηκε το υπέργειο μέρος από τη ρίζα. Ακολούθως αφαιρέθηκε το υπόστρωμα με αρχικό τίναγμα και κατόπιν εντοπισμένη χρήση συσκευής αναρρόφησης και τέλος επιμελές κοσκίνισμα για τη λήψη όλων των τμημάτων της ρίζας. Περαιτέρω έγινε με το χέρι διαλογή και αφαίρεση τυχόν υπολειμμάτων υποστρώματος και ξέπλυμα με νερό. Η ξήρανση του ριζικού συστήματος έγινε σε ξηραντήριο στους 70°C για 48 h.

Στην τρίτη μελέτη, η επίδραση των δύο παραγόντων του υποστρώματος που μελετήθηκαν (τύπος και βάθος), στο ρυθμό ανάπτυξης των φυτών, εκτιμήθηκε με τον προσδιορισμό του ξηρού βάρους των υπολειμμάτων κοπής του χλοοτάπητα. Χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρική χλοοκοπτική μηχανή (Bosch A.S.M 32), με πλάτος κοπής 32,5 cm και ύψος κοπής ρυθμισμένο στα 5 cm. Τα δείγματα μεταφέρονταν για ζύγιση σε ζυγό ακριβείας τύπου METTLER PJ 3600 Delta range (Toledo, Spain). Για να λάβουμε το ξηρό βάρος τα δείγματα τοποθετούνταν σε ξηραντήριο στους 70°C για 48 h και επαναλαμβανόταν η ζύγιση επί τόπου, για να μην απορροφούν τα δείγματα υγρασία του αέρα και αλλοιωθεί η μέτρηση του ξηρού βάρους. Χημική ζιζανιοκτονία δεν απαιτήθηκε, λόγω ομοιομορφίας και συμπαγούς ανάπτυξης του χλοοτάπητα, έγιναν όμως ελαφρά βοτανίσματα με το χέρι.

2.7. Φυσιολογικές μετρήσεις

Προσδιορίστηκαν οι παρακάτω φυσιολογικές παράμετροι:

1. Η περιεκτικότητα σε Χλωροφύλλες $a+b$ και η μεταβολή του λόγου τους a/b , σε όλες τις μελέτες, όχι όμως στον δεύτερο έτος της πρώτης μελέτης.
2. Ο δείκτης διαβάθμισης του πράσινου χρωματισμού των φύλλων (SPAD) που σχετίζεται με την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλες, σε όλες τις μελέτες.
3. Η αντίσταση των στοματίων, μόνο στη δεύτερη μελέτη.

Περιεκτικότητα Χλωροφυλλών $a+b$ και SPAD

Η Περιεκτικότητα Χλωροφυλλών $a+b$ προσδιορίστηκε χρωματομετρικά. Πιο συγκεκριμένα από ένα αρχικό, τυχαία επιλεγμένο, δείγμα νωπών φύλλων, λήφθηκε ποσότητα 0,5 g, ομογενοποιήθηκε και φιλτραρίστηκε διαμέσου ενός φίλτρου 1001±125 Whatman. Οι Χλωροφύλλες εκχειλίστηκαν σε σκοτεινό χώρο με υδατικό διάλυμα ακετόνης 80% μέχρι πληρώσεως φλασκιδίων όγκου 50 mL. Οι μετρήσεις ελήφθησαν επί του ως άνω διαλύματος, με ένα φασματοφωτόμετρο (Lamda 1A, Perkin Elmer, USA) με ρύθμιση στα

φάσματα 645 and 663 nm. Η μέθοδος προσδιορισμού των Χλωροφυλλών_{a+b} εκτελέστηκε σύμφωνα με τη μέθοδο του Arnon (1949) από τις εξισώσεις [2.2] και [2.3].

$$Chl_a = (12.7 \times D_{663} - 2.69 \times D_{645}) \times \frac{V}{1000} \times w \quad (\text{mg g}^{-1}) \quad [2.2] \text{ και}$$

$$Chl_b = (22.9 \times D_{645} - 4.68 \times D_{663}) \times \frac{V}{1000} \times w \quad (\text{mg g}^{-1}) \quad [2.3]$$

όπου, D= η πυκνότητα (mg L⁻¹) στα αντίστοιχα μήκη κύματος 663 and 645, V= ο όγκος του διαλύματος και w= το βάρος του δείγματος φύλλων.

Από τις εξισώσεις [2.2] και [2.3] παράγεται το ολικό περιεχόμενο των Χλωροφυλλών σαν το άθροισμα:

$$Chl_{a+b} = Chl_a + Chl_b \quad [2.4]$$

Διαφοροποιήσεις στο πράσινο χρώμα των φυτών προσδιορίστηκαν και με το δείκτη SPAD (SPAD-502DL Plus, Minolta division, USA). Η μέθοδος αυτή είναι μη καταστροφική μέτρηση της διαβάθμισης του πράσινου χρωματισμού του φυλλώματος ή της σχετικής περιεκτικότητας σε χλωροφύλλες μέσω οπτικής ανάλυσης (Kariya et al., 1982; Inada, 1985). Οι μετρήσεις SPAD λαμβάνονταν ως ο μέσος όρος έξι επαναλήψεων επί έξι διαφορετικών φύλλων από κάθε φυτό περιοδικά κάθε 15 ημέρες κατά την περίοδο του καλοκαιριού.

2.8. Αντίσταση στοματίων

Στη λεβάντα, επειδή εφαρμόστηκε εντονότερα ελλειμματική άρδευση σε σχέση με την ελιά και το πιττόσπορο και προκειμένου να εξηγηθούν ιδιαίτερα ευρήματα ως προς την ανάπτυξη των φυτών, μετρήθηκε επίσης ο δείκτης αντίστασης των στοματίων στην διάχυση αερίων (υδρατμών και CO₂). Η αντίσταση στοματίων (stomatal resistance), μετρήθηκε με τη χρήση πορόμετρου AP4 (Delta-T devices, UK), το οποίο μετρά τη δυνατότητα της επιδερμίδας των φύλλων και κυρίως των στοματίων να διακινούν αέρια με διάχυση. Το πορόμετρο αποδίδει τις μετρήσεις του με εύρος τιμών 0,2-40 s cm⁻¹ και ακρίβεια >90%.

Οι μετρήσεις ελήφθησαν από τις 30 Ιουλίου μέχρι 30 Σεπτεμβρίου του 2010, ανά δύο εβδομάδες και περί της 12:00 μμ.

2.9. Οπτική ποιότητα

Στην τρίτη μελέτη έγινε επίσης αξιολόγηση της οπτικής ποιότητας του χλοοτάπητα μετά από έντονη υδατική καταπόνηση, με τη χρησιμοποίηση εννεάβαθμης κλίμακας

(Morris, 2009). Η βαθμολόγηση ελάμβανε υπόψη το χρώμα και την πυκνότητα του κλοοτάπητα. Η βαθμίδα 1 αντιστοιχεί σε τελείως αποξηραμένο κλοοτάπητα και η βαθμίδα 6,5 στο ελάχιστο αποδεκτό ποιοτικό επίπεδο. Αναλυτικότερα: 1=100% ξερά φύλλα, 2=80% ξερά φύλλα, 3=60% ξερά φύλλα, 4=50% ξερά φύλλα, 5=40% ξερά φύλλα, 6=20% ξερά φύλλα και 7, 8 είναι ποιοτική διαβάθμιση χωρίς καθόλου ξερά φύλλα. Η βαθμίδα 9 αντιστοιχούσε σε ένα ιδανικό κλοοτάπητα με άριστη ανάπτυξη όσον αφορά το χρώμα και την πυκνότητα των φύλλων, την απουσία ασθενειών και μη παρασιτικών ασθενειών. Ως ελάχιστο επίπεδο ποιοτικής αποδοχής ορίζεται στην κλίμακα το 6,5.

2.10. Ανάλυση Δεδομένων

Τα πειραματικά τεμάχια διευθετήθηκαν σύμφωνα με το εντελώς τυχαίοποιημένο σχέδιο. Σε κάθε πείραμα διερευνήθηκαν δύο παράγοντες. Ο παράγοντας υπόστρωμα είχε 3 επίπεδα (3 τύποι υποστρώματος) ενώ ο παράγοντας βάθος είχε 2 επίπεδα (2 βάθη), έχοντας ως σύνολο έξι μεταχειρίσεις. Σε κάθε πείραμα υπήρχαν πέντε επαναλήψεις, έχοντας συνολικά 30 πειραματικά τεμάχια το καθένα.

Στις βιομετρικές μετρήσεις (δείκτης ανάπτυξης και περίμετρος κορμού) θεωρώντας ότι ακολουθούν το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων, εφαρμόστηκε Ανάλυση Διακύμανσης (ANOVA), με τη χρήση του λογισμικού JMP[®] ver.8 statistical software (SAS Institute Inc., USA), ακολουθώντας το σχέδιο των Υπό-Υπό-Διαιρεμένων τεμαχίων, όπου η επέμβαση του τύπου των υποστρωμάτων ήταν το κύριο τεμάχιο, το βάθος το υπο-τεμάχιο και ο χρόνος (η ημερομηνία μέτρησης) το υπό-υπό-τεμάχιο.

Σε όλες τις υπόλοιπες μετρήσεις το κύριο ερευνητικό ενδιαφέρον εστιάστηκε στις επιδράσεις του τύπου και του βάθους του υποστρώματος σε κάθε ξεχωριστή ημερομηνία δειγματοληψίας. Ως εκ τούτου εφαρμόστηκε πολλαπλή Ανάλυση Διακύμανσης MANOVA πάνω στα δεδομένα που συλλέχθηκαν, εξετάζοντας και την πιθανότητα αλληλεπίδρασης των δύο παραγόντων. Οι μέσοι όροι των επεμβάσεων συγκρίθηκαν μεταξύ τους με τη χρήση της μεθόδου Fisher's, της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς και για επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$.

2.11. Άρδευση -Διαχείριση

Για την άρδευση των πειραματικών τεμαχίων εγκαταστάθηκε αυτόματο σύστημα. Στο πρώτο και δεύτερο πείραμα, τα φυτά αρδεύονταν με τη χρήση αυτορρυθμιζόμενων σταλακτών για πιέσεις 0,5 έως 4,5 atm και παροχής 3 L h⁻¹. Συγκεκριμένα τοποθετήθηκαν από ένας σταλάκτης σε κάθε φυτό λεβάντας και πιττόσπορου και δύο σταλάκτες σε κάθε ελαιόδεντρο, τοποθετημένους σε ισοποχή με τα πιττόσπορα. Κατά τη διάρκεια της άνοιξης, η άρδευση διακόπτονταν από κάθε αξιολογικό συμβάν βροχόπτωσης, με τη

βοήθεια αισθητήρα βροχόπτωσης (Mini click, Hunter Industries, USA) ρυθμισμένου στα 3 mm.

Στην τρίτη μελέτη, για την εξασφάλιση ομοιομορφίας διαβροχής του κλοοτάπητα *F. arundinacea*, εγκαταστάθηκε στα πειραματικά τεμάχια αρδευτικό δίκτυο με τετραγωνικό κάναβο 2,4 x 2,4 m. Το πρόγραμμα άρδευσης ξεκίνησε στο αρχές Οκτωβρίου 2009, διακόπηκε κατά τη διάρκεια του χειμώνα και επανεκκίνησε στις 3 Μαρτίου 2010. Στα πειραματικά τεμάχια με τα φυτά λεβάντας και πιττόσπορου μαζί με ελιές, η άρδευση εφαρμόζονταν για τρεις ημέρες την εβδομάδα και για διάρκεια 30 min. Κατ' αυτόν τον τρόπο κάθε σταλάκτης παροχέτευε 1,5 L νερό σε κάθε Λεβάντα ή 6 L σε κάθε πειραματικό τεμάχιο με λεβάντες που αντιστοιχούσε στο 55% της μέσης τιμής εξατμισοδιαπνοής του φυτού (ET_c) για τους μήνες Ιούλιο - Αύγουστο. Κάθε πειραματικό τεμάχιο με πιττόσπορα και ελιές αρδεύονταν με 9 L, που αντιστοιχούσε στο 79 και 86% αντίστοιχα της μέσης τιμής εξατμισοδιαπνοής των φυτών (ET_c) για τους μήνες Ιούλιο - Αύγουστο. Στον κλοοτάπητα εφαρμόστηκε άρδευση 15 min ημερησίως, δηλαδή με $5,0 \text{ L m}^{-2}$ ή mm d^{-1} , η οποία ισοδυναμεί με το 100% της εξατμισοδιαπνοής του φυτού (ET_c) για τους μήνες Ιούλιο - Αύγουστο.

Ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής των φυτών, υπολογίστηκε από τις επόμενες σχέσεις:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad [2.5.]$$

όπου ET_c = η εξατμισοδιαπνοή της κάθε καλλιέργειας, ET_o = η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς και K_c = ένας αδιάστατος συντελεστής που σχετίζεται με τη φύση και το φαινολογικό στάδιο ανάπτυξης του φυτού, ο οποίος για την καλοκαιρινή περίοδο, καθορίστηκε σε 0,9 για το κλοοτάπητα (Doorenbos and Pruitt, 1977; Costello et al., 2000), 0,65 για τη λεβάντα (Costello et al., 2000) 0,8 για το πιττόσπορο (Costello et al., 2000) και 0,6 για την ελιά (Villalobos et al., 2000).

Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς υπολογίστηκε από πολυετή δεδομένα εξάτμισης, από την σχέση:

$$ET_o = E \cdot K_p \quad [2.6.]$$

όπου E είναι η εξάτμιση που μετρήθηκε σε εξατμισόμετρο τύπου A Class Pan και K_p είναι συντελεστής που εξαρτάται από περιβαλλοντικές παραμέτρους και τον περιβάλλοντα χώρο του εξατμισίμετρου. Για τις τρέχουσες πειραματικές συνθήκες το K_p υπολογίστηκε ίσος με 0,7.

Τα δεδομένα για την εξάτμιση ελήφθησαν από την ΕΜΥ για την περίοδο 1974-2004 στην Αθήνα και είχαν καταγραφεί με εξατμισόμετρο τύπου Piche (Εξάτμιση Ιουλίου-Αυγούστου: $7,91 \text{ mm d}^{-1}$) και τροποποιήθηκαν με τον κατάλληλο συντελεστή ίσο με 0,9 (Messing, 1998; Giora and Kidirou, 2005) σε δεδομένα εξατμισίμετρου τύπου A Class Pan. Πρόσθετα

τα δεδομένα εξάτμισης διασταυρώθηκαν με δεδομένα του Εργαστηρίου Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του ΓΠΑ, για την περίοδο 1991-2001, που είχαν καταγραφεί με ένα εξατμισόμετρο τύπου Wild (Εξάτμιση Ιουλίου-Αυγούστου: $3,72 \text{ mm d}^{-1}$) και τροποποιήθηκαν με τον κατάλληλο συντελεστή ίσο με 0.52 (Neuwirth, 1981). Η ΕΤ₀ υπολογίστηκε τελικά σε $4,99 \text{ mm d}^{-1}$ για την περίοδο Ιουλίου - Αυγούστου με τα δεδομένα της ΕΜΥ και σε $5,01$ με τα δεδομένα από το Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του ΓΠΑ.

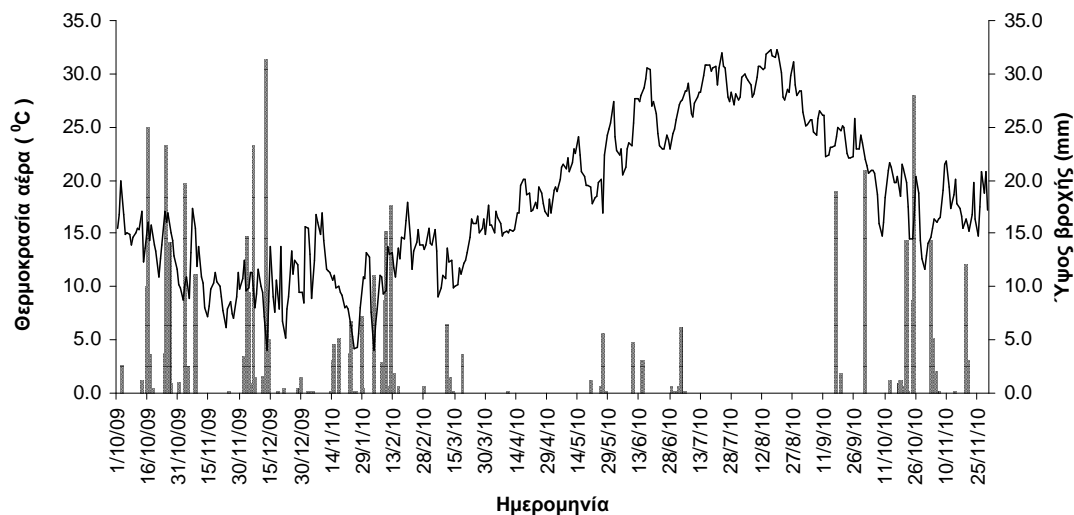
Επί κεφαλής του αρδευτικού δικτύου τοποθετήθηκε δοχείο υδρολίπανσης 200 L, εξοπλισμένο με μία αναλογική αντλία Bernoulli (MixRite type, Tefen Advanced Plastic Solutions, Israel) η οποία παρείχε στη γραμμή άρδευσης σταθερό διάλυμα 0,8% του βασικού διαλύματος, έτσι ώστε τα φυτά να δέχονται μια μόνιμη - ανά άρδευση-συντηρητική υδρολίπανση με 80 mg L^{-1} λιπάσματος.

Το λίπασμα που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή του βασικού διαλύματος στο δοχείο ήταν κατάλληλο για υδροπονική καλλιέργεια, τύπου 5-5-9, έχοντας 2% NO_3^- άζωτο, 0,5% NH_4^+ άζωτο, 2% οργανικό άζωτο, 5,1% διαλυτό P_2O_5 , 9% διαλυτό K_2O που δίνει 4,5 N - 2,2 P - 7,4 K εκφρασμένο στοιχειακά, (Αυχεπολ, VIORYL A.D., Ελλάς) και περιείχε όλα τα απαραίτητα μακρο και μικροστοιχεία, καθώς και αμινοξέα και φυτικά εκχυλίσματα. Στον χλοοτάπητα συνολικά η υδρολίπανση προσέφερε $1,05 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ N για όλη την περίοδο της μελέτης, στην λεβάντα $0,45 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ N για όλη την περίοδο της μελέτης και στα πιττόσπορα -ελαιόδεντρα $0,675 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$.

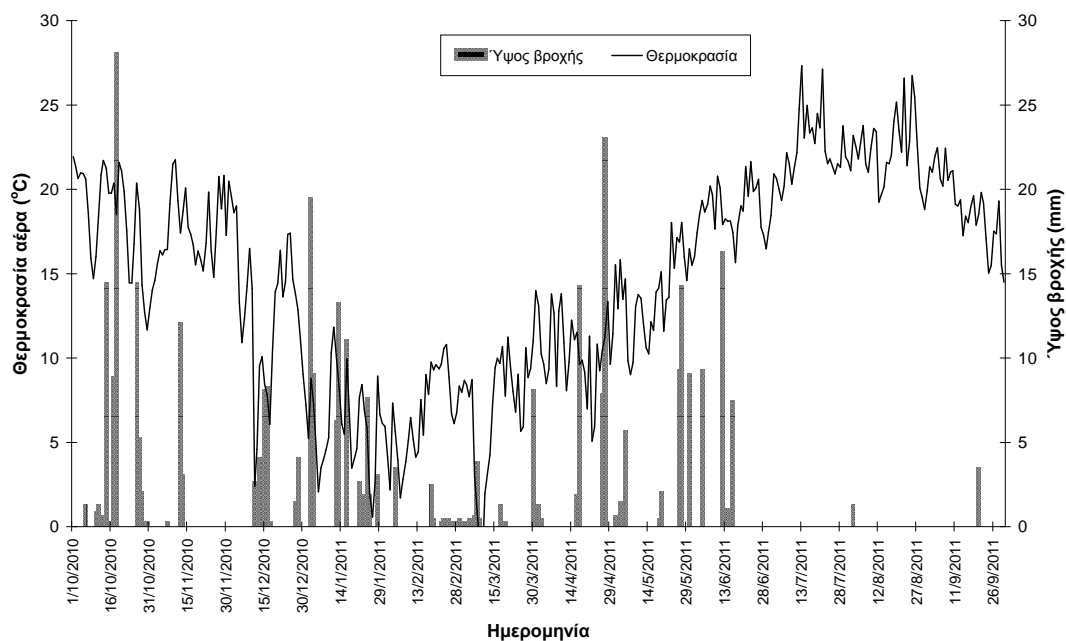
Επιπρόσθετα στις 18 Μαΐου 2010 εφαρμόστηκε λίπασμα αργής αποδέσμευσης του τύπου 16-7-15 και 2% MgO και 9% SO_2 καθώς και ιχνοστοιχεία (Floramil permanent, COMPO Hellas). Το λίπασμα αργής αποδέσμευσης εκφρασμένο στοιχειακά ήταν 16N-3,1P-12,5K +1,2 Mg + 3,6 S με 2,1% NO_3^- -N, 7,9% NH_4^+ -N, 6% N'-(2-methylpropylidene)-bis-urea. Η δοσολογία ήταν 35 g ανά φυτό λεβάντας και πιττόσπορου και ανά τετραγωνικό μέτρο χλοοτάπητα (ισοδύναμο με εφαρμογή $5,6 \text{ g N m}^{-2}$) και 70 g για κάθε Ελιά. Τα επίπεδα λίπανσης που εφαρμόστηκαν στην λεβάντα βασίστηκαν σε ευρήματα που αναφέρονται από τους Zollinger et al. (2006) και Biesiada et al. (2008). Για το πιττόσπορο ο Stamps (2009), είχε προτείνει μια συνολική δόση αζώτου $16-64 \text{ g m}^{-2}$. Τα ελαιόδεντρα μαζί με τα πιττόσπορα, δέχθηκαν την ίδια λίπανση και τη δεύτερη χρονιά μετρήσεων.

2.12. Μετεωρολογικά δεδομένα

Η μέση θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση για την περίοδο 2009-2011 καταγράφηκαν και παραχωρήθηκαν από το Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας (Διάγ. 2.1. και 2.2.).



Διάγραμμα 2.1. Διακύμανση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας του αέρα και η βροχόπτωση κατά την περίοδο των μετρήσεων 2009 - 2010. (Πηγή: Εργ. Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας ΓΠΑ).



Διάγραμμα 2.2. Διακύμανση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας του αέρα και η βροχόπτωση κατά την περίοδο των μετρήσεων 2010 - 2011. (Πηγή: Εργ. Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας ΓΠΑ).

III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΑΓΡΟΥ

3. Πρώτη Μελέτη: Ανάπτυξη των *Olea europaea* 'Koroneiki' και *Pittosporum tobira* σε φυτοδώματα ημιεντατικού τύπου

3.1. Χαρακτηριστικά των Υποστρωμάτων

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.1., η περιεχόμενη οργανική ουσία στα υποστρώματα Rum₆₅:C₃₀:Z₅, Rum₆₅:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅, προσδιορίστηκε σε 6,68 %, 4,72 % και 0,63% w/w αντίστοιχα, ή ισοδύναμα σε 101,75, 72,0 και 9,61 g L⁻¹ αντίστοιχα. Η κατ' όγκο περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των υποστρωμάτων συνάδει με τις προδιαγραφές της FLL (2002), όπου για εντατικού τύπου φυτεμένο δώμα προβλέπεται όπως η περιεχόμενη οργανική ουσία να είναι ≤ 12% κατά βάρος, για υποστρώματα με φαινόμενο ειδικό βάρος ≤ 0,8.

Πίνακας 3.1. Φυσικά, χημικά και θρεπτικά χαρακτηριστικά των υποστρωμάτων (στην έναρξη των πειραμάτων) Rum₆₅:P₃₀:Z₅, Rum₆₅:C₃₀:Z₅, S₃₀:Per₆₅:Z₅.

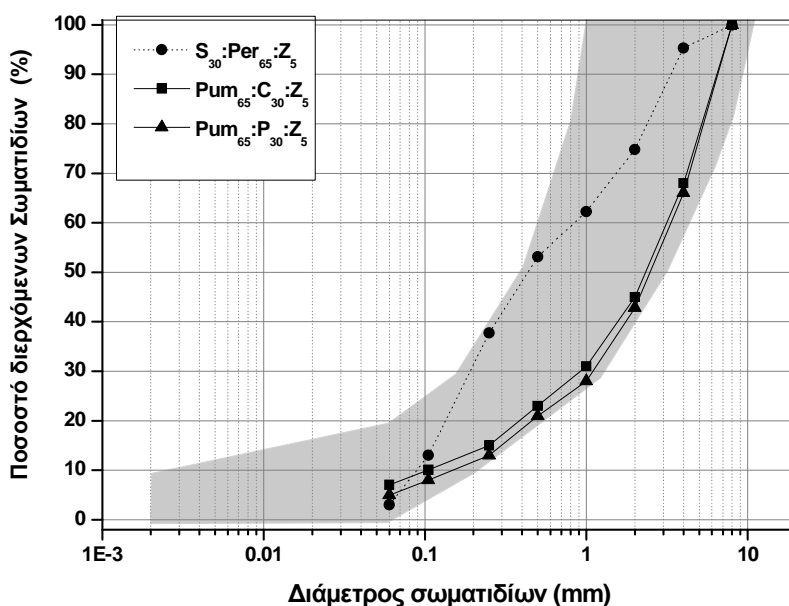
Υπόστρωμα	Rum ₆₅ :P ₃₀ :Z ₅	Rum ₆₅ :C ₃₀ :Z ₅	S ₃₀ :Per ₆₅ :Z ₅	Μέθοδος ανάλυσης
Οργανική ουσία (% κ.β.)	4,72	6,68	0,63	Loss on ignition (LOI)
Ολικό N (% κ.β.)	0,132	0,101	0,036	Kjeldahl method
Διαλυτός P (mg·kg ⁻¹)	56,68	202,8	8,90	Colorimetrically, Hitachi U2001 spectrophotometer
Διαλυτό Κ (mg·kg ⁻¹)	945,0	2129,0	560,0	Atomic absorption spectrophotometry (GBC 932A/A)
ανταλλάξιμο Mg (mg·kg ⁻¹)	249,0	605,0	99,0	Atomic absorption spectrophotometry (GBC 932A/A)
Ανταλλάξιμο Ca (mg·kg ⁻¹)	2496	2.793	2.535	Atomic absorption spectrophotometry (GBC 932A/A)
ανταλλάξιμο Na (mg·kg ⁻¹)	261,0	627,0	171,0	Atomic absorption spectrophotometry (GBC 932A/A)
pH	7,34	7,43	8,40	Consort C 835 Multi-channel Analyser
Ηλεκτρική	567	1.517	149	Consort C 835

αγωγιμότητα ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)				Multi-channel Analyser
ΦΕΒ στον κορεσμό (g cm^{-3})	1,144±32	1,213±38	1,222±43	Λυσίμετρο
ΦΕΒ (g cm^{-3})	0,655±14	0,779±21	0,668±18	Λυσίμετρο
Ολικό Πορώδες (%)	44,8	47,2	53,0	Λυσίμετρο

Σύμφωνα όμως με τις οδηγίες FLL (2008), συνιστάται περιεκτικότητα $\leq 90 \text{ g L}^{-1}$, οπότε το υπόστρωμα $\text{Pum}_{65}:\text{C}_{30}:\text{Z}_5$ κείται, οριακά, πάνω του συνιστώμενου ορίου. Το pH ήταν επίσης εντός των πλαισίων των οδηγιών της FLL (2008), που είναι 8,5. Το μεγάλο εύρος διακύμανσης του pH του πετροβάμβακα παρατηρείται μόνο κατά την αρχική διαβροχή του ως τον κορεσμό (Σάββας, 2003), ενώ στη συνέχεια μειώνεται. Τέλος ικανοποιείται και η οδηγία για το ολικό πορώδες το οποίο οφείλει να είναι μεγαλύτερο από 25% v/v.

Επιπλέον στον Πίνακα 3.1. φαίνεται το υψηλό θρεπτικό περιεχόμενο του υποστρώματος $\text{Pum}_{65}:\text{C}_{30}:\text{Z}_5$, με ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) $1500 \mu\text{S cm}^{-1}$, ενώ το ανώτατο όριο από την FLL προτείνεται στα $4.900 \mu\text{S cm}^{-1}$, ωστόσο η περιεκτικότητα σε ιόντα σε K και Mg, είναι ιδιαίτερα αυξημένη στο υπόστρωμα $\text{Pum}_{65}:\text{C}_{30}:\text{Z}_5$ και λιγότερο στο $\text{Pum}_{65}:\text{P}_{30}:\text{Z}_5$.

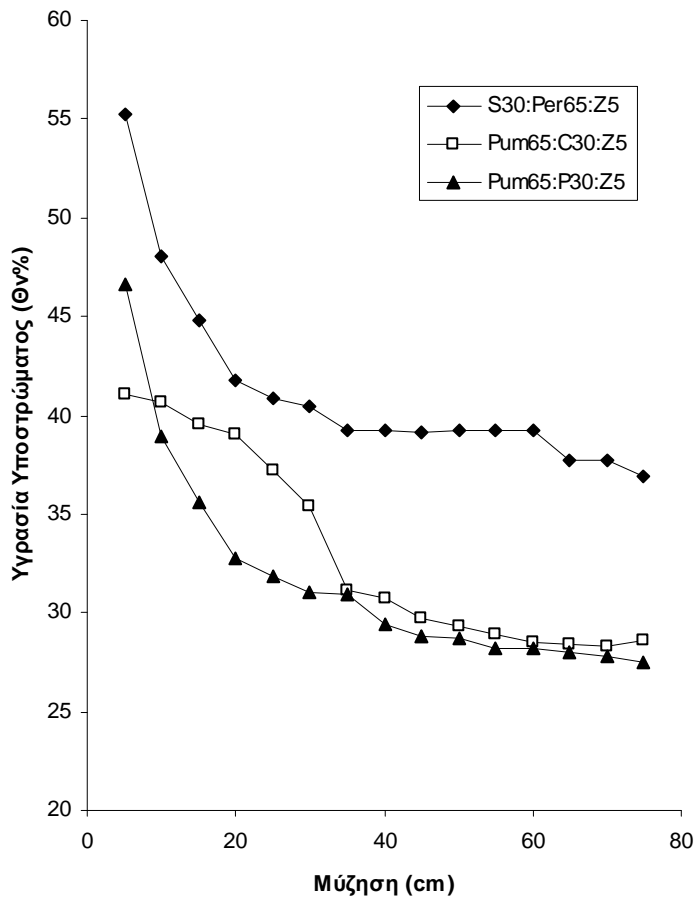
Από τη μηχανική ανάλυση των υποστρωμάτων παράχθηκε το αντίστοιχο διάγραμμα μηχανικής σύστασης (Διάγ. 3.1.) το οποίο συνέκρινε την κοκκομετρική διαβάθμιση των υποστρωμάτων σύμφωνα με το προτεινόμενο από τον FLL (2002) εύρος κοκκομετρικής διασποράς. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι όλα τα υποστρώματα που συντέθηκαν και όσον αφορά την κοκκομετρική τους διαβάθμιση, βρίσκονται εντός του πεδίου που προτείνει ο FLL, προκειμένου για υποστρώματα υποδοχής βλάστησης σε εντατικού τύπου πράσινες στέγες και επίσης βελτιώνουν την κοκκομετρική διαβάθμιση του εδάφους.



Διάγραμμα 3.1. Κοκκομετρικές καμπύλες των υποστρωμάτων $S_{30}:Per_{65}:Z_5$, $Pum_{65}:C_{30}:Z_5$ και $Pum_{65}:P_{30}:Z_5$, (όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Pum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κομπόστα, Z=ζεόλιθος) επί του πλαισίου κοκκομετρικής κατανομής που προτείνεται από την FLL (2002) για υποστρώματα φύτευσης σε εντατικού τύπου φυτοδώματα.

Επιπλέον ο FLL (2008) συνιστά όπως το ποσοστό των σωματιδίων με μέγεθος $<0,063$ mm, να είναι μικρότερο του 20%, συνθήκη που ικανοποιείται επίσης μιας και στα υποστρώματα που συντέθηκαν το ποσοστό αυτό είναι $< 10\%$. Γενικά όλα τα υποστρώματα που συντέθηκαν ήταν ελαφριά ($\Phi_{EB} < 0.8$), ωστόσο συγκρατούσαν ικανή ποσότητα νερού σε όλες τις εφαρμοζόμενες μυζήσεις (Διάγ. 3.2.).

Από το Διάγραμμα 3.2. φαίνεται ότι για όλο το εύρος της μύζησης, το υπόστρωμα $S_{30}:Per_{65}:Z_5$, με περλίτη στη σύστασή του, συγκρατούσε μεγαλύτερη ποσότητα νερού σε σύγκριση με τα υποστρώματα $Pum_{65}:C_{30}:Z_5$ και $Pum_{65}:P_{30}:Z_5$. Διαφορές εμφανίζονται επίσης και μεταξύ των υποστρωμάτων $Pum_{65}:P_{30}:Z_5$ και $Pum_{65}:C_{30}:Z_5$ όπου το υπόστρωμα με τύρφη έδειξε μειωμένη συγκράτηση νερού και η υδατοϊκανότητα του μειώνονταν γρηγορότερα αυξανόμενης της μύζησης έως τα πρώτα 45 cm, συγκρινόμενο με το υπόστρωμα με κόμποστ.

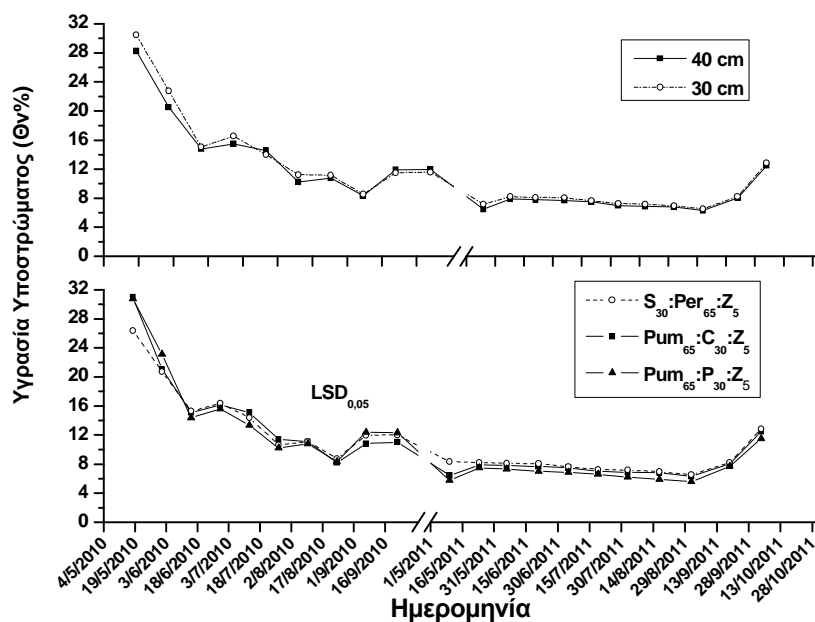


Διάγραμμα 3.2. Χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας για τα υποστρώματα Pum₆₅:C₃₀:Z₅ , Pum₆₅:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅ (όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Pum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κομπόστα, Z=ζεόλιθος).

Η τάση της ταχείας μείωσης της περιεκτικότητας υγρασίας μετά της αύξησης της μύζησης, που σχηματοποιούν τα εξεταζόμενα υποστρώματα με κίσηρη στη σύστασή τους, διαμορφώνεται από το αυξημένο μακροπορώδες τους και έχει παρατηρηθεί και από άλλους ερευνητές (Nektarios et al., 2011a). Αυτό το χαρακτηριστικό αποτελεί πλεονέκτημα κατά τη διάρκεια των βροχοπτώσεων και των καταιγίδων του χειμώνα, τόσο για την προστασία του κτιρίου από αυξημένα στατικά φορτία, όσο και των φυτών από τις συνθήκες ανοξίας, αλλά και για τη διατήρηση της επίδρασης του φυτεμένου δώματος στη θερμική μόνωση του κτιρίου. Ουσιαστικά η θερμομονωτική ικανότητα ενός υποστρώματος εξαρτάται από την περιεκτικότητά του σε ακίνητο αέρα και σε νερό. Ο ακίνητος αέρας έχει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (λ) ίσο με $0,025 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ενώ το νερό ίσο με $0,6 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ (TOTEE 20701-2/2010).

3.2. In situ μέτρηση της υγρασίας υποστρώματος

Από το Διάγραμμα 3.3. παρατηρείται ότι το κατ' όγκο υδατικό περιεχόμενο των υποστρωμάτων (Θν %) μειωνόταν βαθμιαία από τα μέσα Μαΐου έως τον Σεπτέμβριο του 2010, σαν αποτέλεσμα της ελλειμματικής άρδευσης, που ήταν σταθερή στο 86% και 79% της εξατμισοδιαπνοής της ελιάς και του πιττόσπορου αντίστοιχα, για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Έτσι το καλοκαίρι καθίστατο ελλειμματική και σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα (Διάγ. 2.1.) επέβαλε στα φυτά καθεστώς αυξανόμενης υδατικής καταπόνησης. Για την ίδια περίοδο, την ίδια πορεία ακολούθησε η εδαφική υγρασία και το 2011. Η πτώση της περιεχόμενης εδαφικής υγρασίας αναστράφηκε στις αρχές Σεπτεμβρίου 2010, ύστερα από την βροχόπτωση της 11^{ης} του μηνός και την πτώση της θερμοκρασίας αέρα (Διάγ. 2.1.) και μετά την βροχόπτωση της 20^{ης} Σεπτεμβρίου το 2011 (Διάγ. 2.2.).



Διάγραμμα 3.3. Η διακύμανση της εδαφικής υγρασίας σε συνάρτηση με το βάθος (30 και 40 cm) και τον τύπο των τριών υποστρωμάτων (Pum₆₅:C₃₀:Z₅, Pum₆₅:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Pum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος) εγγύς των φυτών *Pittosporum tobira* και *Olea europaea* 'Koroneiki'. Οι τιμές είναι οι μέσοι 5 επαναλήψεων. Οι κάθετοι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας P<0,05.

Την ίδια ώρα δεν καταγράφηκαν διαφορές στο περιεχόμενο εδαφικής υγρασίας σε σχέση με τα βάθη και τον τύπο των υποστρωμάτων καθόλη την διάρκεια της μελέτης.

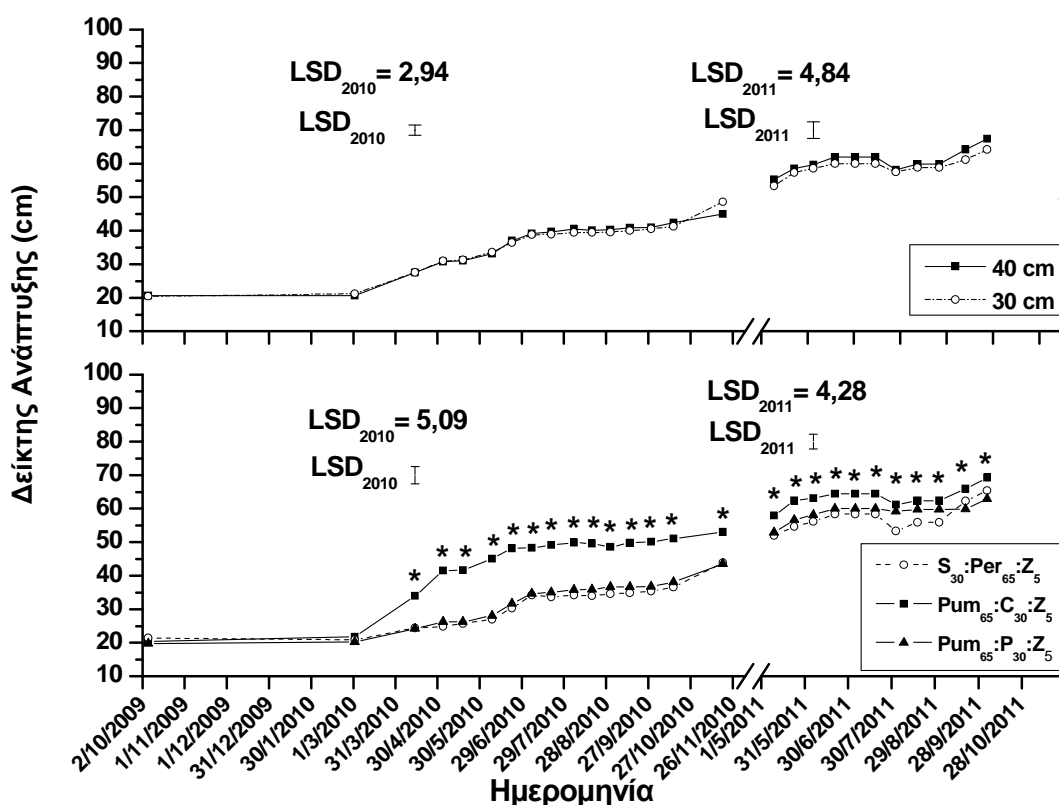
3.3. Ρυθμός ανάπτυξης των φυτών

3.3.1. Δείκτης ανάπτυξης

Ο Δείκτης ανάπτυξης τόσο στους θάμνους *P. tobira* όσο και στα δένδρα *O. europaea*, ευνοήθηκε από το υπόστρωμα Ρ₁₀₀:C₃₀:Z₅, συγκρινόμενος με τα δύο άλλα υποστρώματα (Διαγ. 3.4. και 3.5. και Εικ. 3.4).

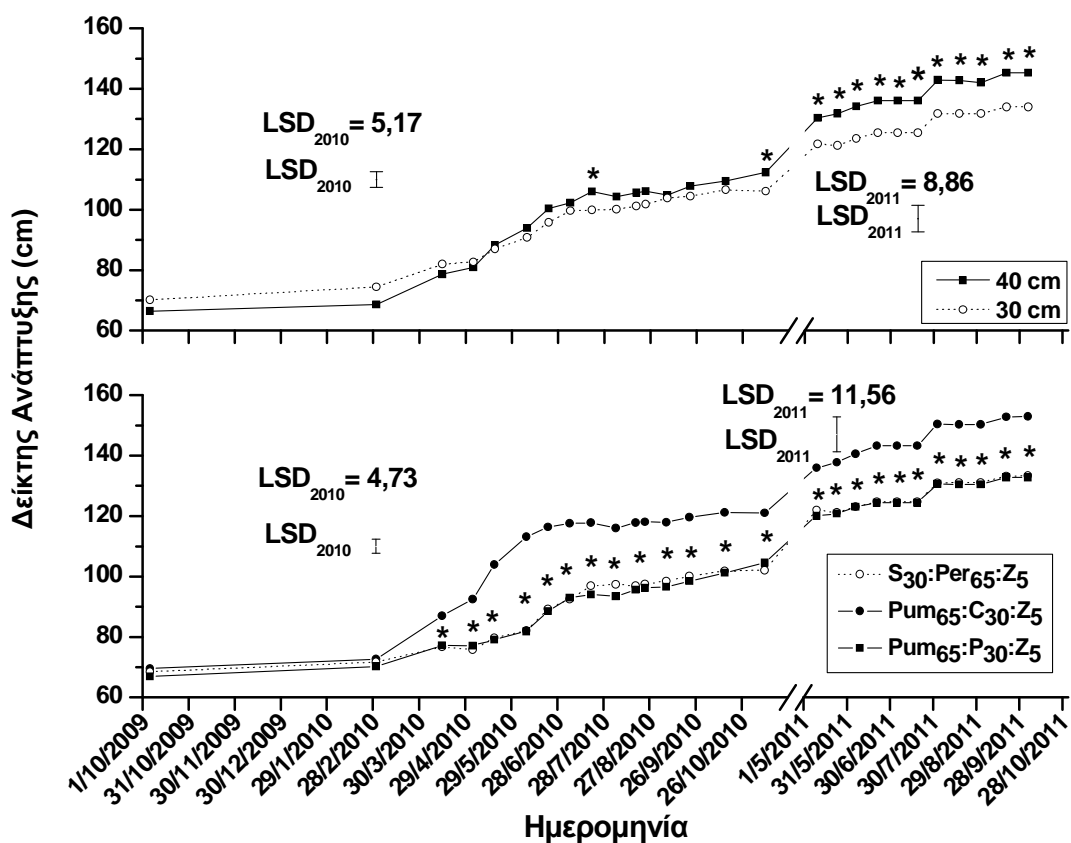


Εικόνα 3.4. Μερική όψη των πειραματικών τεμαχίων με φυτά *Olea europaea* ‘Κορονεϊκή’ και *Pittosporum tobira*, την 5^η Μαΐου 2010, οπότεν ήταν εμφανείς οι διαφορές στα διαφορετικά υποστρώματα. Αριστερά πειραματικό τεμάχιο με υπόστρωμα Ρ₁₀₀:C₃₀:Z₅ (με κόμποστ) και δεξιά S₃₀:Per₆₅:Z₅ (με περλίτη).



Διάγραμμα 3.4. Επίδραση του βάθους (30 και 40 cm) και του τύπου του υποστρώματος ($Pum_{65}:C_{30}:Z_5$, $Pum_{65}:P_{30}:Z_5$ και $S_{30}:Per_{65}:Z_5$, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Pum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος) στο δείκτη ανάπτυξης του *Pittosporum tobira*. Οι τιμές είναι οι μέσοι 5 επαναλήψεων. Οι κάθετοι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$ ακολουθώντας το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων ανά έτος. Ο αστερίσκος αντιπροσωπεύει στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων των επεμβάσεων σε διακριτές ημερομηνίες μέτρησης.

Όπως φαίνεται από τα Διαγράμματα 3.4 και 3.5., αμφότερα τα φυτά ανέκοψαν την ανάπτυξή τους, τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, ένεκα της ελλειμματικής άρδευσης και άλλων κλιματικών συνθηκών που επιδεινώθηκαν, όπως η αύξηση της θερμοκρασίας και η εξάτμιση και της θερινής καταπόνησης που όλα μαζί προξένησαν.



Διάγραμμα 3.5. Επίδραση του βάθους (30 και 40 cm) και του τύπου του υποστρώματος (Pum₆₅:C₃₀:Z₅ , Pum₆₅:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Pum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος) στο δείκτη ανάπτυξης του *Olea europaea* 'Koroneiki'. Οι τιμές είναι οι μέσοι 5 επαναλήψεων. Οι κάθετοι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) ακολουθώντας το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων σε επίπεδο σημαντικότητας P<0,05. Ο αστερίσκος αντιπροσωπεύει στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων των επεμβάσεων σε διακριτές ημερομηνίες μέτρησης.

Επιπλέον σε τρεις μετρήσεις στα ελαιόδεντρα (27 Ιουλίου και 24 Αυγούστου 2010 και 2 Αυγούστου 2011) και δύο στα Πιττόσπορα (24 Αυγούστου 2010 και 2 Αυγούστου 2011) εμφανίστηκε μια μικρή μείωση του Δείκτη ανάπτυξης, που συμπίπτει με πολύ μικρές τιμές εδαφικής υγρασίας που επίσης καταγράφηκαν στις ίδιες ημερομηνίες (Διάγ. 3.3.). Η εξήγηση είναι ότι τα ελαιόδεντρα προκειμένου να ανταπεξέλθουν σε περίοδο υδατικής καταπόνησης, αναπτύσσουν προσαρμόσιμες αντιδράσεις όπως οσμωτικές ρυθμίσεις (Larcher et al., 1981). Όπως αναφέρει ο Lakso (1985), η απώλεια συμπλαστικού νερού στους ιστούς των φυτών γενικά, προκαλεί μια μείωση του όγκου των κυττάρων. Πρόσθετα η υδατική καταπόνηση στα ελαιόδεντρα προκαλεί ανατομικές παραμορφώσεις

των φύλλων και μειώνει το μέγεθός τους (Bosabalidis and Kofidis, 2002). Ωστόσο τα φυτά επιβίωσαν και επανέκαμψε η ανάπτυξη, όταν επανέκαμψε και το υδατικό περιεχόμενο των υποστρωμάτων.

Σε σχέση με τον τύπο των υποστρωμάτων, η παρουσία του κόμποστ (Pum₆₅:C₃₀:Z₅) εξασφάλισε υψηλότερο περιεχόμενο θρεπτικών στο υπόστρωμα που συμμετείχε, που αποδείχθηκε επικρατέστερο πλεονέκτημα για τα συγκεκριμένα φυτά, έναντι της μεγαλύτερης συγκράτησης νερού του υποστρώματος S₃₀:Per₆₅:Z₅, καθόσον το πλεονέκτημα αυτό ακυρώνονταν από την ύπαρξη άρδευσης. Ακόμα και κατά τη διάρκεια των συνθηκών καταπόνησης του καλοκαιριού, η χαμηλότερη περιεκτικότητα υγρασίας δεν ήταν ο περιοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξή τους, γιατί και τα δύο φυτά είναι υψηλής αποτελεσματικότητας στη χρήση του νερού (water use efficient, WUE), (Larcher et al., 1981; Still and Davies, 1993). Μεταξύ των υποστρωμάτων Pum₆₅:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅, δεν καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές, πλην μιας στις 2 Αυγούστου 2011, με το πιττόσπορο στο υπόστρωμα Pum₆₅:P₃₀:Z₅, να καταγράφει μεγαλύτερη τιμή.

Όσον αφορά την επίδραση του βάθους των υποστρωμάτων στον Δείκτη Ανάπτυξης, καταγράφηκαν στα μεν ελαιόδεντρα στο υπόστρωμα των 40 cm, μόνο δύο σημαντικές διαφορές στις 20 Ιουλίου και στις 10 Νοεμβρίου του 2010 και σε όλες τις μετρήσεις του 2011, στο δε πιττόσπορο καμιά. Φαίνεται πως το ριζικό σύστημα των ελαιόδεντρων, εκμεταλλεύτηκε το διαθέσιμο όγκο υποστρώματος από το πρώτο καλοκαίρι της μελέτης και διαρκώς από το φθινόπωρο του 2010 και μετά (Benvenuti and Bacci, 2010).

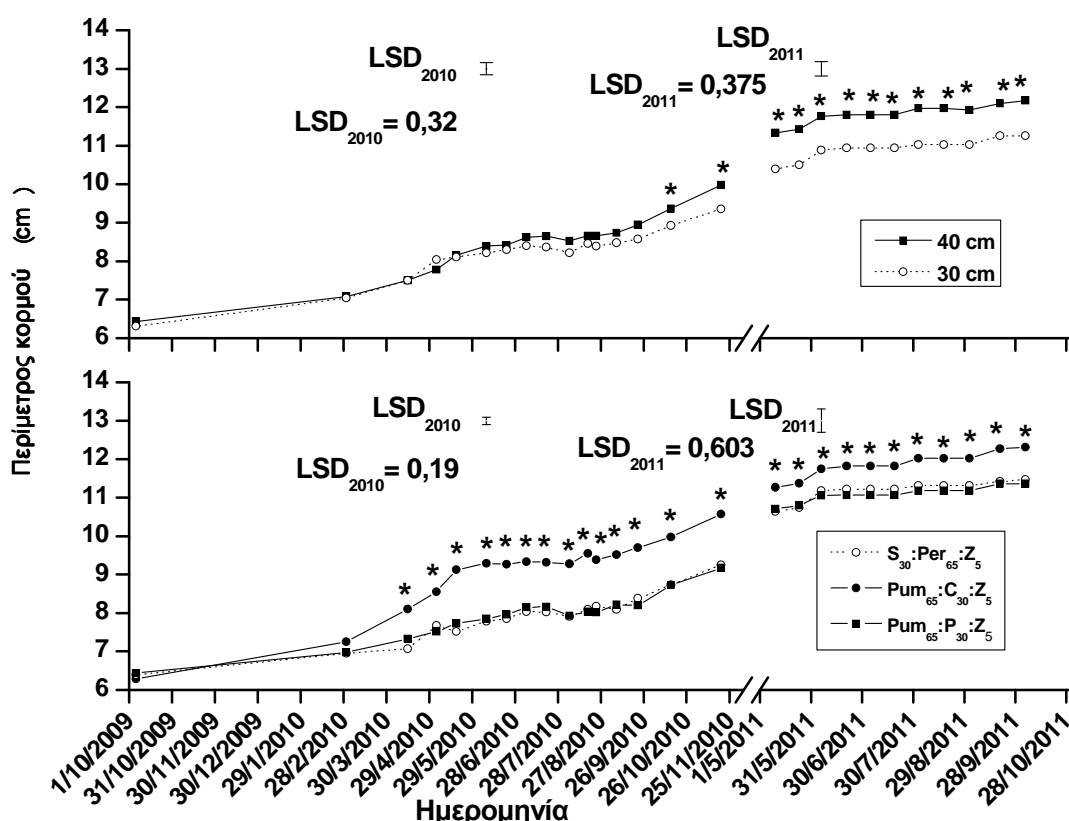
Το φθινόπωρο, με την πτώση της θερμοκρασίας του αέρα και την έλευση βροχοπτώσεων άρχισε ένας νέος κύκλος ανάπτυξης, όπου το ριζικό σύστημα των ελαιόδεντρων είχε πλέον αναπτυχθεί αρκετά ώστε να εκμεταλλευτεί το μεγαλύτερο βάθος στα υποστρώματα και έτσι στα μέσα Νοεμβρίου καταγράφηκε το πλεονέκτημα που αυτό προσέφερε. Η τάση αυτή εδραιώθηκε το 2011 και η ευνοϊκή επίδραση του βάθους στην ανάπτυξη των ελαιόδεντρων καταγράφηκε σε όλες τις μετρήσεις. Στο πιττόσπορο ωστόσο δεν καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με την επίδραση του βάθους στην ανάπτυξη του φυτού, ανάμεσα στα βάθη 30 και 40 cm και στα δύο έτη διάρκειας των μετρήσεων.

Οι διαφορά αυτή μεταξύ των δύο ειδών, μπορεί να αποδοθεί στην αυξημένη ανθεκτικότητα των ελαιόδεντρων στην ξηρασία (Costello et. al., 2000) και βεβαίως στη φύση του ριζικού συστήματος της ελιάς που ποσώς καθορίζει και το πρώτο (Connor, 2005). Προφανώς μεγαλύτερο βάθος υποστρώματος σημαίνει αύξηση του διαθέσιμου όγκου για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, μεγαλύτερες ποσότητες θρεπτικών και νερού, μείωση της διακύμανσης της θερμοκρασίας μετά του βάθους και αύξηση της μέγιστης τιμής αυτής (Boivin et al., 2001), ωστόσο είναι γενετικά καθορισμένο σε ποιο

πλαίσιο μπορεί να εκδηλώσει την ευρωστία του το κάθε είδος ή ποικιλία (Porovic et al., 1999). Η διακύμανση των περιβαλλοντικών παραμέτρων μπορεί να επιταχύνει η να επιβραδύνει την εκδήλωση της δυνάμενης ευρωστίας.

3.3.2.. Περίμετρος κορμού

Εξετάζοντας την εξέλιξη της ανάπτυξης της περιμέτρου στα ελαιόδεντρα (Διάγ. 3.6.), αποκομίζονται παρόμοια συμπεράσματα. Το υπόστρωμα $P_{um65}:C_{30}:Z_5$ αύξησε την περίμετρο των κορμών των ελαιόδεντρων που ποσοστιαία εκφράστηκε συνολικά σε 12,9% και 12,4% σε σύγκριση με τα υποστρώματα $S_{30}:Per_{65}:Z_5$, και $P_{um65}:P_{30}:Z_5$ αντίστοιχα.



Διάγραμμα 3.6. Επίδραση του βάθους (30 και 40 cm) και του τύπου του υποστρώματος ($P_{um65}:C_{30}:Z_5$, $P_{um65}:P_{30}:Z_5$ και $S_{30}:Per_{65}:Z_5$, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, P_{um} =κίσηρη, Per =περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος) στην περίμετρο κορμού του *Olea europaea* 'Koroneiki'. Οι τιμές είναι οι μέσοι 5 επαναλήψεων. Οι κάθετοι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) ακολουθώντας το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0.05$. (Ο αστερίσκος αντιπροσωπεύει στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων των επεμβάσεων σε διακριτές ημερομηνίες μέτρησης).

Παράλληλα παρατηρήθηκε αναστολή έως μηδενισμού της ανάπτυξης της περιμέτρου του κορμού σε καθεστώς υδατικής καταπόνησης και μια αξιοπρόσεκτη συρρίκνωση της διαμέτρου του κορμού σε μία μέτρηση στις 24 Αυγούστου 2010, που συσχετίζεται με την καταγραφή της ελάχιστης τιμής που καταγράφηκε για το υδατικό περιεχόμενο των υποστρωμάτων.

Παρόμοια αποτελέσματα έχουν διατυπωθεί και από άλλους ερευνητές. Οι Moriana and Fereres (2002) αναφέρουν ότι η ανάπτυξη του κορμού σε ελαιόδεντρα δύο ετών ήταν η πιο ευαίσθητη μέτρηση στην υδατική καταπόνηση μεταξύ των δεικτών που εξετάστηκαν, και η μείωση ήταν αξιοσημείωτη δέκα ημέρες μετά τη έναρξη της υδατικής καταπόνησης.

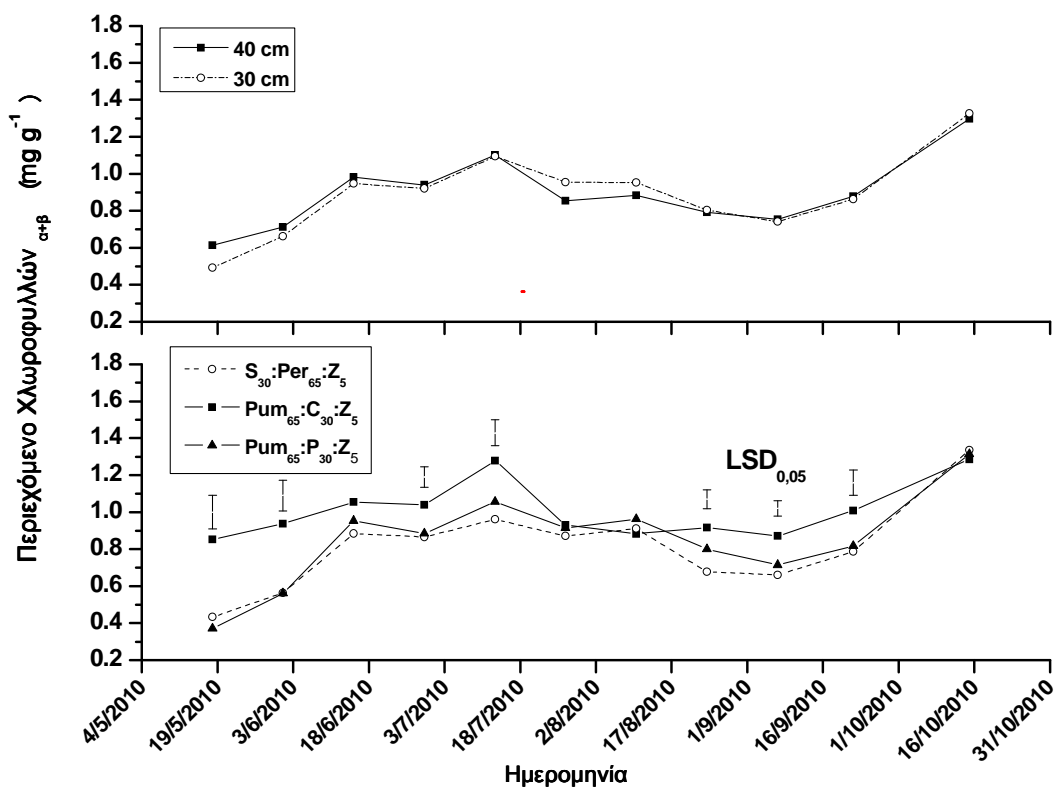
Επιπρόσθετα με τον τύπο των υποστρωμάτων και το βάθος των υποστρωμάτων επέδρασε στην περίμετρο του κορμού, καταγράφοντας μεγαλύτερες τιμές στο βάθος των 40 cm. Οι διαφορές αυτές εξελίχθηκαν σε σημαντικές στις δύο τελευταίες μετρήσεις του 2010 (15 Οκτωβρίου και 19 Νοεμβρίου, 2010, ενώ ήταν οριακή και στις 22 Σεπτεμβρίου) και σε όλη την διάρκεια του 2011.

Η βελτιωμένη ανάπτυξη των ελαιόδεντρων όσον αφορά το δείκτη ανάπτυξης και την περίμετρο κορμού σε βαθύτερα υποστρώματα, μπορεί να αποδοθεί στη δυνατότητα εκμετάλλευσης μεγαλύτερου όγκου υποστρώματος από το ριζικό τους σύστημα και στην αύξηση του διαθέσιμου νερού (Connor, 2005; Benvenuti and Bacci, 2010).

Η καθυστερημένη θετική απόκριση των ελαιόδεντρων στα βαθύτερα υποστρώματα για φυτεμένα δώματα, πιθανολογείται ότι οφείλονταν στον αναγκαίο χρόνο που απαιτούσε η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος μετά τη μεταφύτευση, προκειμένου να καλύψει ολόκληρο τον όγκο του υποστρώματος. Δείχθηκε ότι με την πάροδο του χρόνου και το βάθος αποβαίνει ένας παράγοντας επηρεασμού της ανάπτυξης της ελιάς, όπως άλλωστε έχει εδραιωθεί από άλλους ερευνητές για την ανάπτυξη των εδαφοκαλυπτικών παχύφυτων και των πολυετών ποωδών φυτών στα φυτεμένα δώματα (Benvenuti and Bacci, 2010; Dunnett and Nolan, 2002; Dunnett et al., 2008; Getter and Rowe, 2007; Nektarios et al., 2011a).

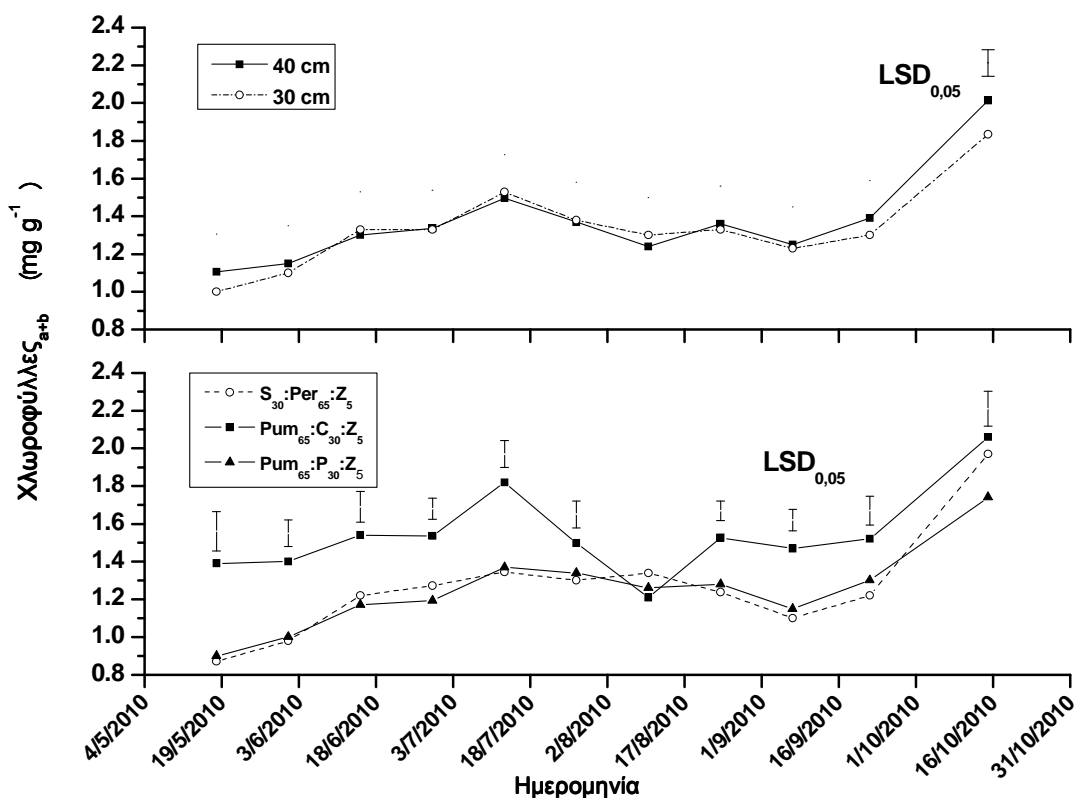
3.4. Συγκέντρωση Χλωροφυλλών_{a+b}

Το περιεχόμενο των χλωροφυλλών και στα δύο φυτά ακολούθησε αυξητικό ρυθμό μέχρι τα μέσα Ιουλίου και στη συνέχεια ακολούθησε πτωτική πορεία ως τις αρχές Σεπτεμβρίου, ακολουθώντας την πτώση της εδαφικής υγρασίας στα υποστρώματα (Διαγ. 3.7. και 3.8.).



Διάγραμμα 3.7. Επίδραση του βάθους (30 και 40 cm) και του τύπου του υποστρώματος (Pum₆₅:C₃₀:Z₅ , Pum₆₅:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Pum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος), στο ολικό περιεχόμενο σε Χλωροφύλλες_{α+β} του *Pittosporum tobira*. Οι τιμές είναι οι μέσοι 5 επαναλήψεων. Οι κάθετοι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας P<0,05.

Η ελλειμματική άρδευση που εφαρμοζόταν (στο 79% και 86% της ET_c, για τα πιττόσπορα και τις ελιές αντίστοιχα, για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο), φαίνεται ότι το θέρος δημιούργησε συνθήκες καταπόνησης στα φυτά. Ο Guerfel et al. (2009) έδειξαν ότι έκθεση ελαιόδεντρων σε ελλειμματική άρδευση οδηγεί σε χαμηλότερα επίπεδα περιεκτικότητας Χλωροφυλλών_{α+β}. Παρόμοια αποτελέσματα σε ελαιόδεντρα δύο ετών κατέγραψαν και οι Goldhamer et al. (1999), Hsiao (1973) και οι Moriana and Fereres (2002). Γενικά έχει δειχθεί ότι η υδατική καταπόνηση επιφέρει σημαντική μείωση της συγκέντρωσης χλωροφυλλών (Kirnak et al., 2001) και ο Kaiser (1987) αναφέρει ότι η φωτοσύνθεση είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην αφυδάτωση.



Διάγραμμα 3.8. Επίδραση του βάθους (30 και 40 cm) και του τύπου του υποστρώματος (Pum₆₅:C₃₀:Z₅ , Pum₆₅:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Pum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος), στο ολικό περιεχόμενο σε χλωροφύλλες_{α+β} του *Olea europaea* 'Koroneiki'. Οι τιμές είναι οι μέσοι 5 επαναλήψεων. Οι κάθετοι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας P<0,05.

Στις 11 Σεπτεμβρίου 2010 έλαβε χώρα βροχόπτωση, ύψους βροχής 23 mm και μετά από δύο εβδομάδες και σε συνδυασμό με την πτώση της θερμοκρασίας αέρα (Διάγ. 2.1), η περιεχόμενη υγρασία των υποστρωμάτων αυξήθηκε, οπότε παράλληλα αυξήθηκε και η συγκέντρωση των χλωροφυλλών. Τα αποτελέσματα είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα άλλων εργασιών. Οι Moriana and Fereres (2002) σε μετρήσεις που διήρκεσαν από 9 Ιουνίου έως 16 Νοεμβρίου (Κόρδοβα, Ισπανίας, 38° N, 4·8° W, υψόμετρο 110 m), έδειξαν ότι το έλλειμμα νερού σε νεαρά ελαιόδεντρα δύο ετών επηρέασε παράλληλα την αγωγιμότητα των στοματίων και τη φωτοσύνθεση για το διάστημα από 29 Ιουνίου έως 7 Σεπτεμβρίου οπότε και επανέκαμψαν. Επίσης οι Angeloroulos et al. (1996) έδειξαν ότι σε ελαιόδεντρα υποκείμενα σε ήπια και μέτρια υδατική καταπόνηση, η

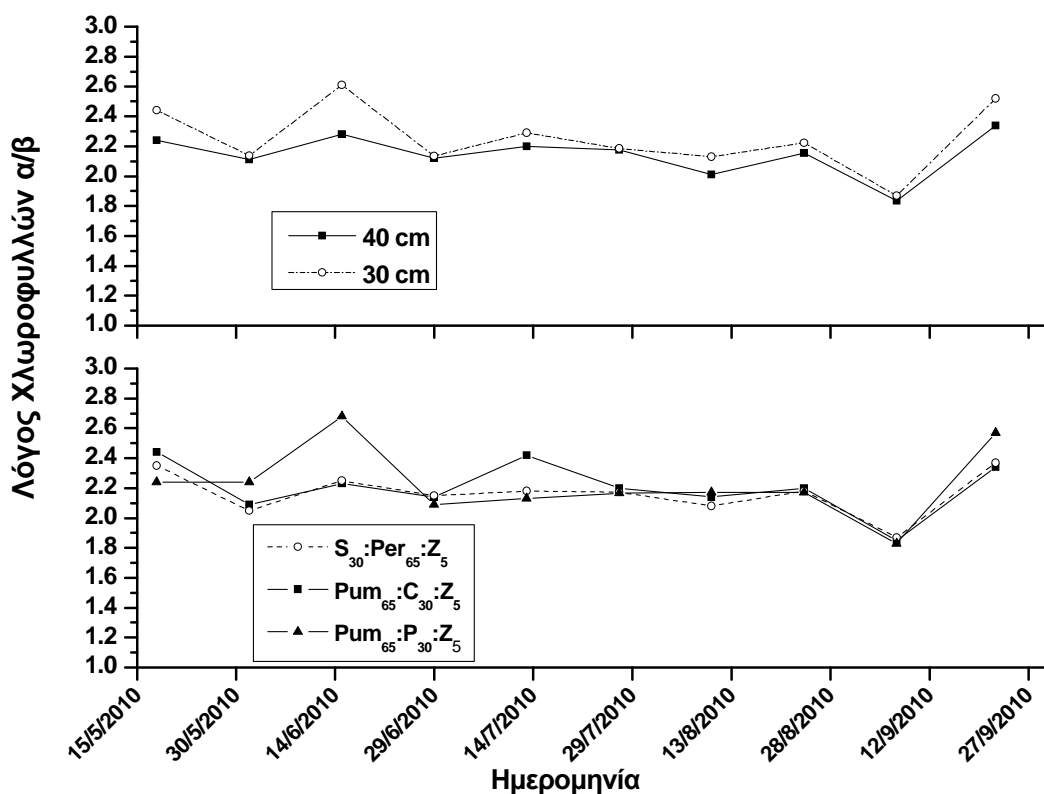
φωτοσύνθεση μειώνονταν, ενώ ύστερα από μια περίοδο αύξησης της εδαφικής υγρασίας, η φωτοσυνθετική δραστηριότητα επανέκαμπε.

Εξετάζοντας την επίδραση του τύπου του υποστρώματος στη συγκέντρωση χλωροφυλλών, το υπόστρωμα $\text{Pm}_{65}:\text{C}_{30}:\text{Z}_5$ με κόμποστ στη σύνθεσή του, επέδειξε αυξημένη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλες $_{\alpha+\beta}$ και στα δύο φυτά, συγκρινόμενο με τις επιδόσεις των φυτών στα δύο άλλα υποστρώματα (Διαγ. 3.7 και 3.8). Καταγράφηκαν ωστόσο και μετρήσεις όπου δε σημειώθηκαν διαφορές, μια στα ελαιόδεντρα και τρεις στα πιττόσπορα που συσχετίζονται με τις ελάχιστες τιμές της εδαφικής υγρασίας και την υψηλή θερμοκρασία αέρα (Μέγιστη $31,9^{\circ}\text{C}$) στο τέλος Ιουλίου και στις αρχές Αυγούστου 2010. Συνάγεται ότι κατά τη διάρκεια αυτής της κρίσιμης περιόδου, το θρεπτικό πλεονέκτημα του υποστρώματος με κόμποστ δεν ήταν αρκετό να διατηρήσει τις διαφορές με τα δύο άλλα υποστρώματα, εξ αιτίας της πολύ χαμηλής εδαφικής υγρασίας που έδρασε ως περιοριστικός παράγοντας.

3.5.0 λόγος χλωροφυλλών α/β

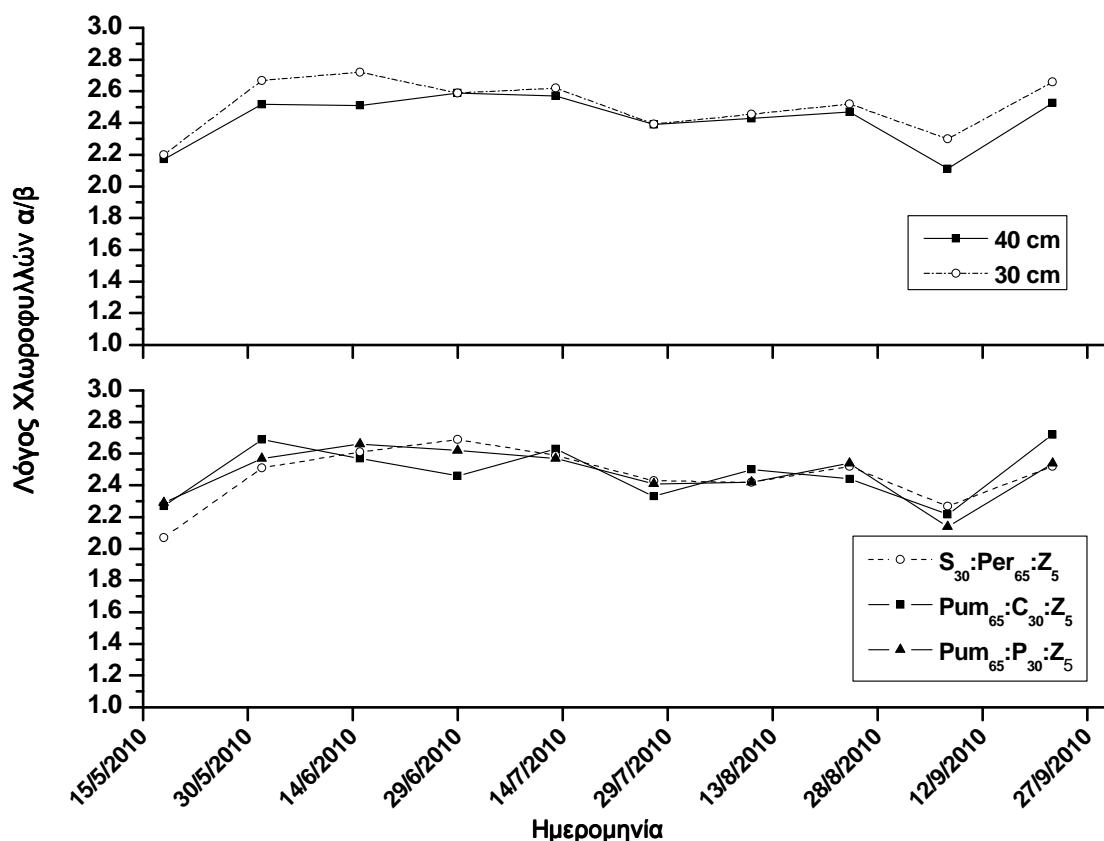
Καθόλη την διάρκεια της υδατικής καταπόνησης, ο λόγος των χλωροφυλλών α/β και στα δύο φυτά δεν διέφερε, τόσο ως προς τον τύπο όσο και ως προς το βάθος των υποστρωμάτων (Διαγρ. 3.9 και 3.10).

Ωστόσο είναι αξιοσημείωτο ότι στις 7 Σεπτεμβρίου 2010, δύο εβδομάδες μετά την 24^η Αυγούστου όπου καταγράφηκαν οι ελάχιστες τιμές του υδατικού περιεχομένου των υποστρωμάτων, έλαβε χώρα μια απότομη πτώση του λόγου, λόγω της πτώσης της παραγωγής Χλωροφύλλης $_{\alpha}$ (Παράρτημα I, Διαγρ. I.1., I.2.). Οποσδήποτε η υδατική καταπόνηση οδηγεί στο κλείσιμο των στοματίων και στη μείωση του διαπνοϊκού ρεύματος που μεταφέρει N και θρεπτικά συστατικά στα φύλλα. Μικρότερη συγκέντρωση N έχει ως συνεπακόλουθο μείωση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης $_{\alpha}$ (Boussadia et al., 2010).



Διάγραμμα 3.9. Επίδραση του βάθους (30 και 40 cm) και του τύπου του υποστρώματος (Pum₆₅:C₃₀:Z₅ , Pum₆₅:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Pum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος), στο λόγο χλωροφυλλών α/β του *Pittosporum tobira*. Οι τιμές είναι οι μέσοι 5 επαναλήψεων.

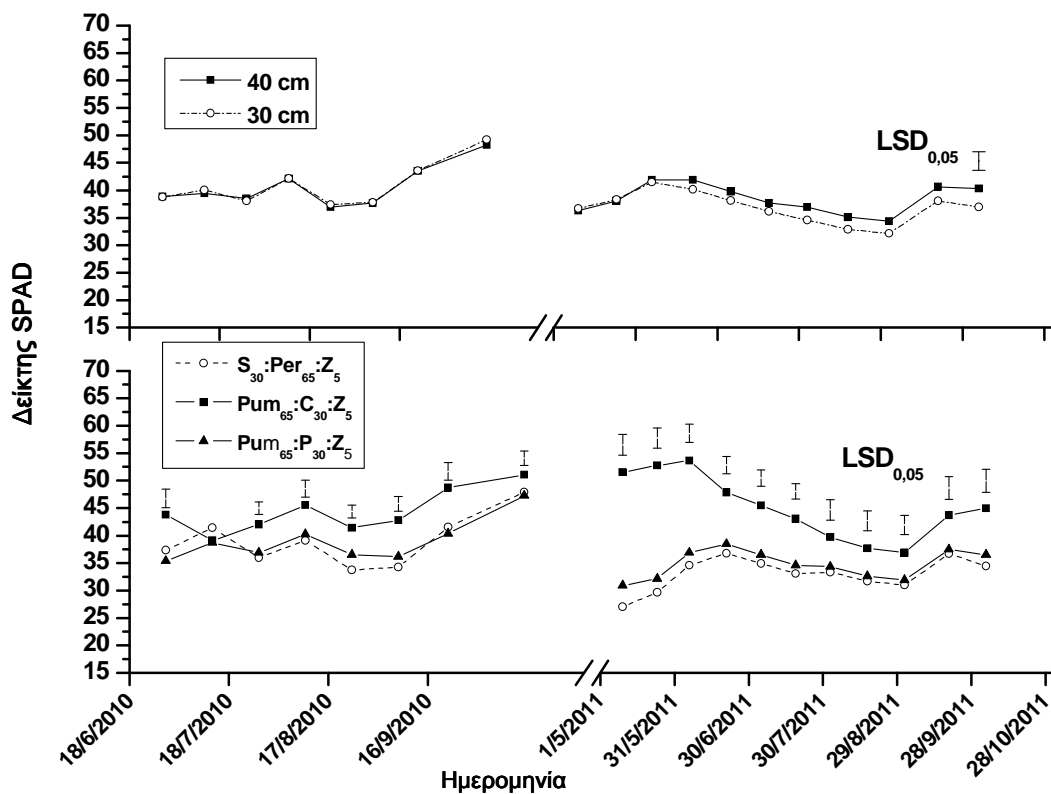
Αυτό σημαίνει μια συνολική μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φυτών, γιατί όλες οι συμπληρωματικές χρωστικές μεταφέρουν την ενέργεια που απορροφούν στην χλωροφύλλη_α την οποία δεν μπορούν να αντικαταστήσουν στην φωτοσύνθεση (Ridge, 2005). Η αναλογία χλωροφυλλών επανήλθε κατά την διάρκεια του Σεπτεμβρίου και αφού σημειώθηκε η βροχόπτωση της 11^{ης} Σεπτεμβρίου 2010 και η αντίστοιχη πτώση της θερμοκρασίας αέρα.



Διάγραμμα 3.10. Επίδραση του βάθους (30 και 40 cm) και του τύπου του υποστρώματος (Pum₆₅:C₃₀:Z₅, Pum₆₅:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Pum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος), στο λόγο χλωροφυλλών α/β της *Olea europaea* 'Koroneiki'. Οι τιμές είναι οι μέσοι 5 επαναλήψεων.

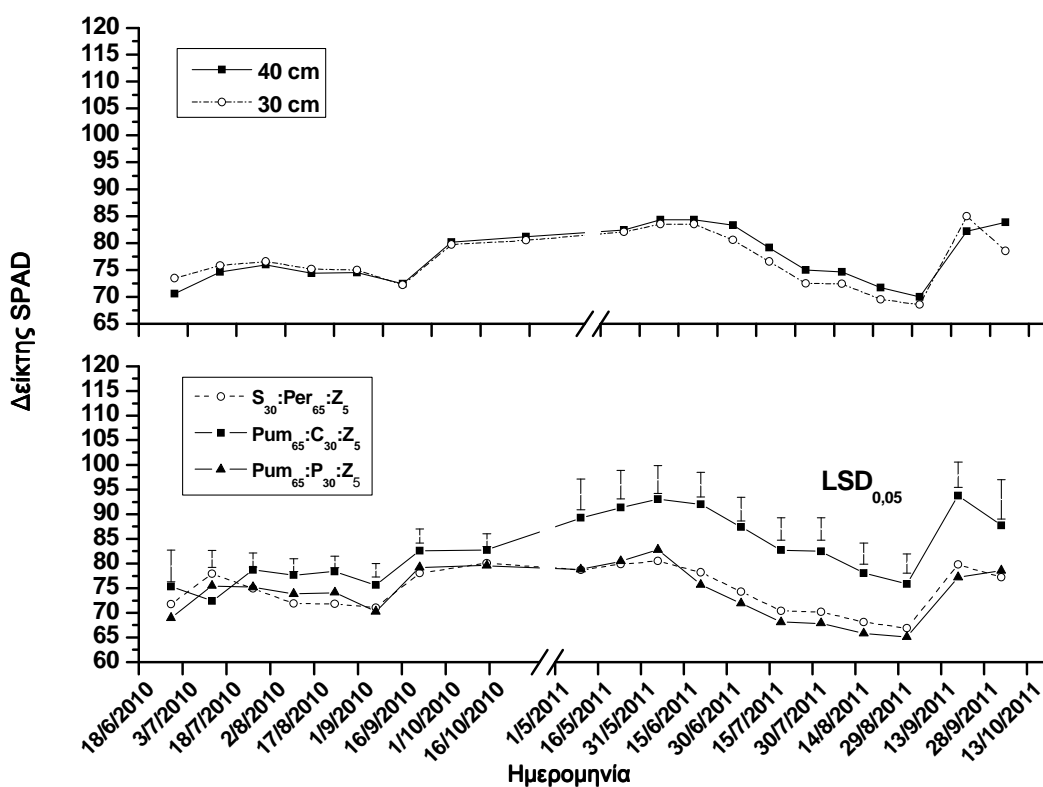
3.6. Δείκτης πράσινου χρώματος - SPAD

Στις μετρήσεις που λήφθηκαν, καταγράφηκε μείωση του δείκτη SPAD κατά τη θερινή περίοδο και στα δύο έτη της μελέτης, σε αμφότερα τα φυτά τόσο ως προς το βάθος και των τύπο των υποστρωμάτων (Διαγ. 3.11 και 3.12.) σε συσχέτιση με τη μείωση του υδατικού περιεχομένου των υποστρωμάτων, το οποίο έχει επιβεβαιώσει και οι Kaewkong and Sdoodee (2005).



Διάγραμμα 3.11. Επίδραση του βάθους (30 και 40 cm) και του τύπου του υποστρώματος ($Pum_{65}:C_{30}:Z_5$, $Pum_{65}:P_{30}:Z_5$ και $S_{30}:Per_{65}:Z_5$, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Pum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος), στο δείκτη SPAD του *Pittosporum tobira*. Οι τιμές είναι οι μέσοι 5 επαναλήψεων. Οι κάθετοι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$.

Στη συνέχεια και σε συσχέτιση με την άνοδο της εδαφικής υγρασίας, ο δείκτης SPAD κατέγραψε αυξανόμενες τιμές. Ο δείκτης SPAD και το περιεχόμενο χλωροφυλλών_{α+β} ήταν θετικά γραμμικά συσχετισμένοι το 2010, με R^2 ίσο με 0.6 και 0.47 για τα πιττόσπορα και τα ελαιόδεντρα αντίστοιχα (Παράρτημα I., Διαγ. I.5. και I.6.) και για το λόγο αυτό, συνεχίστηκε ως αντιπροσωπευτική μέτρηση των χλωροφυλλών και κατά το 2011. Ομοίως ο Loh et al. (2002) βρήκε σημαντική μεν αλλά μικρή γραμμική συσχέτιση μεταξύ των δύο αυτών παραμέτρων στον *Ficus benjamina*.



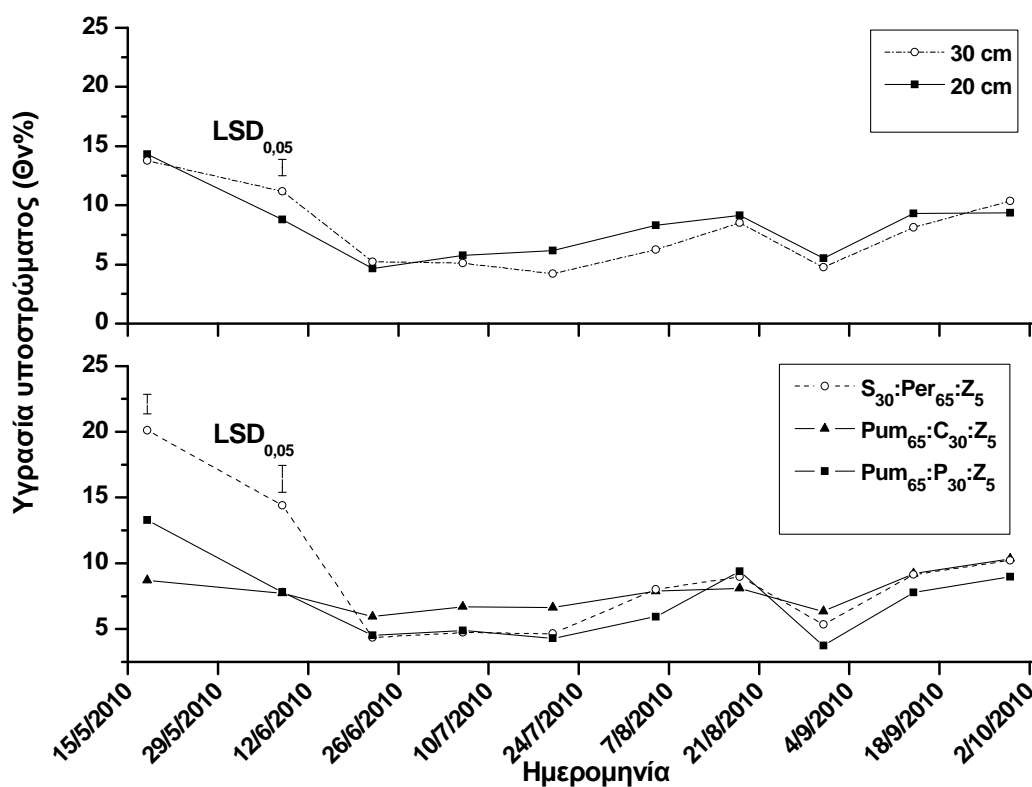
Διάγραμμα 3.12. Επίδραση του βάθους (30 και 40 cm) και του τύπου του υποστρώματος (P_{um65}:C₃₀:Z₅ , P_{um65}:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, P_{um}=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος), στο δείκτη SPAD του *Olea europaea* 'Koroneiki'. Οι τιμές είναι οι μέσοι 5 επαναλήψεων. Οι κάθετοι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας P<0,05.

Όσον αφορά την επίδραση του τύπου του υποστρώματος στις τιμές SPAD των φυτών πιττόσπορου και ελιάς, καταγράφηκαν μεγαλύτερες τιμές στο υπόστρωμα P_{um65}:C₃₀:Z₅ που περιείχε κόμποστ στη σύνθεσή του, οι οποίες σε όλη τη διάρκεια της μελέτης ήταν υψηλότερες από τις τιμές των δύο άλλων υποστρωμάτων εκτός από μία ημερομηνία δειγματοληψίας, στα μέσα Ιουλίου 2010. Το διάγραμμα των τιμών SPAD από τις μετρήσεις που έλαβαν χώρα το 2011 κατά το δεύτερο έτος της μελέτης, αναπτύχθηκε με το ίδιο υπόδειγμα όπως και το 2010, όσον αφορά την επίδραση του βάθους και τύπου των υποστρωμάτων και στα δύο φυτά.

4. Δεύτερη μελέτη: Επίδραση του βάθους και του είδους του υποστρώματος φυτοδώματος ημιεντακτικού τύπου στην ανάπτυξη του *Lavandula angustifolia*.

4.1. In situ μέτρηση της υγρασίας υποστρώματος

Επί τόπου μετρήσεις της υγρασίας των υποστρωμάτων (Θν%), παρουσίασαν μια γρήγορη μείωση της περιεκτικότητας από τα μέσα Μαΐου μέχρι τέλος Ιουνίου 2010, η οποία παρέμεινε σε χαμηλά επίπεδα έως τα μέσα Σεπτεμβρίου 2010 οπότε και άρχισε να ανακάμπει (Διάγ. 4.1.). Η διακύμανση αυτή είναι αποτέλεσμα της πλήρους έλλειψης βροχοπτώσεων και της αύξουσας εξατμισοδιαπνοής το καλοκαίρι στο ίδιο διάστημα, η οποία αναπληρώνονταν ελλειμματικά από την άρδευση.



Διάγραμμα 4.1. Διακύμανση της υγρασίας του υποστρώματος σε συνάρτηση με το βάθος (20 και 30 cm) και τον τύπο των τριών υποστρωμάτων (Pum₆₅:C₃₀:Z₅, Pum₆₅:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅ όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Pum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος) στα φυτά *Lavandula angustifolia*. Οι τιμές είναι οι μέσοι 5 επαναλήψεων. Οι κάθετοι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας P<0,05.

Ο τύπος του υποστρώματος δεν επηρέασε σημαντικά το υδατικό περιεχόμενο πλην δύο μόνο μετρήσεων στις αρχές Ιουνίου όπου το υπόστρωμα με περλίτη συγκράτησε

περισσότερη υγρασία, το πλεονέκτημά του όμως αναιρέθηκε τους επόμενους μήνες, Ιούλιο και Αύγουστο, όταν λόγω της ελλειμματικής άρδευσης το επίπεδο της υγρασίας των υποστρωμάτων ήταν πολύ χαμηλό (5-7 % v/v) και παρόμοιο μεταξύ όλων των επεμβάσεων.

Όσον αφορά το βάθος των υποστρωμάτων δεν καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές παρά μόνο σε μια μέτρηση τον Ιούνιο του 2010, όπου το υπόστρωμα με το μεγαλύτερο βάθος (30 cm) είχε αυξημένη υγρασία σε σχέση με το βάθος των 20 cm.

Το δεδομένο που μπορεί να αξιολογηθεί από τις μετρήσεις αυτές, είναι τα χαμηλά επίπεδα περιεκτικότητας σε υγρασία που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου. Σχετικά οι Benvenuti and Bacci (2010), διαπίστωσαν όχι μόνο επιβίωση αλλά και ομαλή ανάπτυξη σε 20 Μεσογειακά ξηρόφυτα, μεταξύ αυτών η *Lavandula stoechas* σε υδατικό δυναμικό $\Psi = -15$ bars ή -1471 KPa κατά τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο.

4.2. Ρυθμός ανάπτυξης των φυτών

4.2.1. Δείκτης ανάπτυξης GI

Στην πρώτη μέτρηση του Οκτωβρίου 2009 δεν καταγράφηκαν διαφορές για κανέναν από τους δύο παράγοντες (βάθος και τύπος υποστρώματος) υποδεικνύοντας την ομοιογένεια του εγκατεστημένου φυτικού υλικού. Στη συνέχεια παρατηρήθηκε μία συνεχής αυξητική τάση των φυτών από νωρίς τον Μάρτιο 2010, η οποία συνεχίστηκε σε όλη την περίοδο μελέτης μέχρι αρχές Οκτωβρίου 2010, σημειώνοντας μια ελαφρά κάμψη του ρυθμού μέσα στο καλοκαίρι.

Στις επόμενες τέσσερις μετρήσεις (από 1 Μαρτίου έως 4 Μαΐου 2010) το υπόστρωμα με κόμποστ στη σύνθεσή του επέδειξε μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης σε σύγκριση με τα υπόλοιπα 2 υποστρώματα (Εικ. 4.1 και Διάγ. 4.2). Οι διαφορές αυτές αποδίδονται στο υψηλότερο θρεπτικό επίπεδο του εφοδιασμένου με κόμποστ υποστρώματος ($P_{165}:C_{30}:Z_5$), συγκρινόμενου με τα τροποποιημένα με τύρφη και έδαφος υποστρώματα όπως ευκρινώς εμφανίζεται στον Πίνακα 3.1.

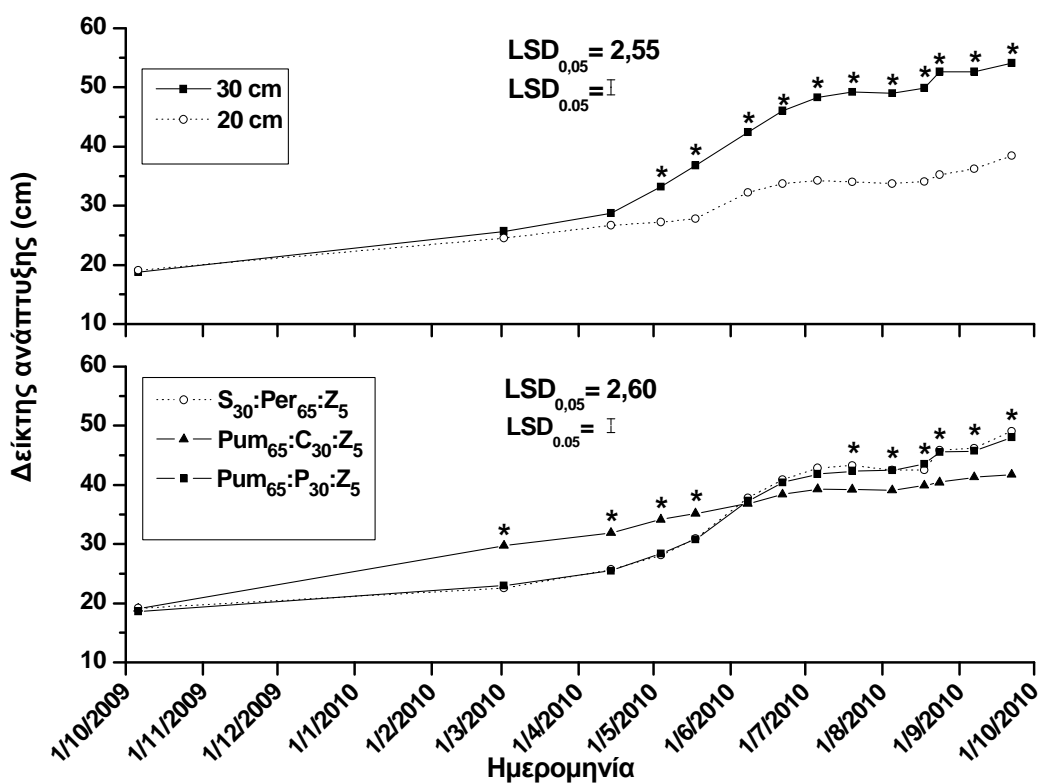


Εικόνα 4.1. Τα πειραματικά τεμάχια με τις λεβάντες την 2^α Μαρτίου 2010. Διακρίνεται ο χαρακτηριστικός τύπος («μαξιλάρι» ή «σωρός») ανάπτυξης της λεβάντας, ενώ είναι ήδη εμφανείς και οι διαφορές ανάπτυξης στα διαφορετικά υποστρώματα. Διακρίνονται τα πειραματικά τεμάχια: $R_{um65}:C_{30}:Z_5$ (με κόμποστ), $R_{um65}:P_{30}:Z_5$ (με τύρφη) και $S_{30}:Per_{65}:Z_5$ (με περλίτη).

Ωστόσο μετά την εφαρμογή λίπανσης με το λίπασμα μακράς διάρκειας (18 Μαΐου 2012) άρθηκε το πλεονέκτημα του υποστρώματος με κόμποστ. Αντίθετα ο δείκτης ανάπτυξης (GI) στα υποστρώματα $S_{30}:Per_{65}:Z_5$ και $R_{um65}:P_{30}:Z_5$ επέδειξε μια σιγμοειδή εξέλιξη, με μια φάση γρήγορης αύξησης, σε αντίθεση με την γραμμική εξέλιξη του GI του υποστρώματος $R_{um65}:C_{30}:Z_5$. Αυτή η διαφορετική τάση εξέλιξης, είχε ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη αύξηση του GI στα υποστρώματα χωρίς κόμποστ από τις 20 Ιουλίου 2010 μέχρι το τέλος της μελέτης.

Εκτιμάται ότι η πρώιμη μεγάλη ανάπτυξη των φυτών λεβάντας στο εμπλουτισμένο με κόμποστ υπόστρωμα, κατέστησε τα φυτά περισσότερο ευπαθή στις συνθήκες καταπόνησης του καλοκαιριού, γεγονός που φαίνεται να εδράζεται στην προτίμηση του φυτού σε μέτρια επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (Biesiada et al., 2008) και μικρής γονιμότητας εδάφης. Στον Πίνακα 3.1 φαίνεται η αυξημένη περιεκτικότητα, σε σχέση με τις οδηγίες της FLL, του υποστρώματος $R_{um65}:C_{30}:Z_5$ και σε διαλυτό K και ανταλλάξιμο Mg, ενώ το ολικό Αζώτο στο κόμποστ (Ανάλυση εργαστηρίου ARAL αριθ.Χ09-273) ήταν σε

υψηλά επίπεδα (2,09 w/w). Οι Nagase and Dunnett (2011), έδειξαν ότι σε καλλιέργεια των φυτών *Allium schoenoprasum*, *Limonium latifolium*, *Melica ciliata* και *Nepeta x faassenii* σε συνθήκες επαρκούς άρδευσης, το αυξημένο οργανικό περιεχόμενο (>25% v/v, κόμποστ από απόβλητα) στο υπόστρωμα προκάλεσε άφθονη βλάστηση που οδήγησε σε μείωση της ανάπτυξης κατά την διάρκεια της ξηράς περιόδου. Παρόμοιο επίσης εύρημα αναφέρεται από τις Τασούλα και Παπαφωτίου (2011) σε καλλιέργεια του φρύγανου *Origanum dictamnus*, η επιβίωσή του οποίου επηρεάστηκε αρνητικά τον Ιούλιο, από κόμποστ στη σύνθεση του υποστρώματος. Το κόμποστ που χρησιμοποίησαν ήταν προϊόν ζύμωσης στέμφυλων και το υπόστρωμα όπου συμμετείχε είχε EC= 143,6 $\mu\text{S cm}^{-1}$ και 0,25% κ.β. ολικό N.



Διάγραμμα 4.2. Επίδραση του βάθους (20 και 30 cm) και του τύπου του υποστρώματος (Pum₆₅:C₃₀:Z₅ , Pum₆₅:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Pum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος), στο Δείκτη ανάπτυξης του φυτού *Lavandula angustifolia*. Οι τιμές είναι οι μέσοι 5 επαναλήψεων. Η κάθετη ράβδος αντιπροσωπεύει την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας P<0,05 ακολουθώντας το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων. Ο αστερίσκος αντιπροσωπεύει στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων των επεμβάσεων σε διακριτές ημερομηνίες μέτρησης.

Όσον αφορά την επίδραση του βάθους των υποστρωμάτων, το μεγαλύτερο βάθος (30 cm) ευνόησε το ρυθμό ανάπτυξης των φυτών συγκρινόμενο με το βάθος των 20 cm, από νωρίς τον Μάιο έως την 29^η Σεπτεμβρίου 2010. Αυτό αποδίδεται στην ανάπτυξη μεγαλύτερου ριζικού συστήματος στο βαθύτερο υπόστρωμα η οποία υποστηρίζεται από το αυξημένο ξηρό βάρος του, που προσδιορίστηκε μετά το τέλος των μετρήσεων των βιομετρικών και φυσιολογικών δεικτών (Πίνακα 4.1.).

4.2.2. Ξηρό Βάρος ριζικού συστήματος

Τα φυτά λεβάντας ανέπτυξαν μεγαλύτερο ριζικό σύστημα στα υποστρώματα με μεγάλο βάθος. Όσον αφορά τον τύπο του υποστρώματος δε διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, αν και το ξηρό βάρος του ριζικού συστήματος στη λεβάντα σε υπόστρωμα με κόμποστ, κατέγραψε διακριτά μεγαλύτερη μέση τιμή (Πίν. 4.1. και Παράρτημα Ι. Πίν. Ι.1).

Πίνακας 4.1. Το ξηρό βάρος των ριζών του *Lavandula angustifolia*, όπως επηρεάζεται από το βάθος (20 ή 30 cm) και τον τύπο του υποστρώματος (Pum₆₅:P₃₀:Z₅, Pum₆₅:C₃₀:Z₅, S₃₀:Per₆₅:Z₅, όπου Pum=κίσηρη, P=τύρφη, C=κόμποστ, S=αμμοπηλώδες έδαφος, Per=περλίτης, Z=ζεόλιθος). Οι τιμές είναι οι μέσοι 3 επαναλήψεων. Η τιμή LSD αντιπροσωπεύει την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας P<0,05.

Επέμβαση	Ξηρό Βάρος (g)
Βάθος [D]	
20 cm	51,3
30 cm	66,2
LSD	11,82
Σημαντικότητα	*
Τύπος [S]	
Pum ₆₅ :P ₃₀ :Z ₅	57,9
Pum ₆₅ :C ₃₀ :Z ₅	61,0
S ₃₀ :Per ₆₅ :Z ₅	57,4
LSD	16,89
Σημαντικότητα	NS
[D] × [S]	NS

* στατιστικά σημαντική διαφορά των μέσων σε επίπεδο σημαντικότητας P ≤ 0,05.

NS: Μη σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων σε επίπεδο σημαντικότητας P ≤ 0,05.



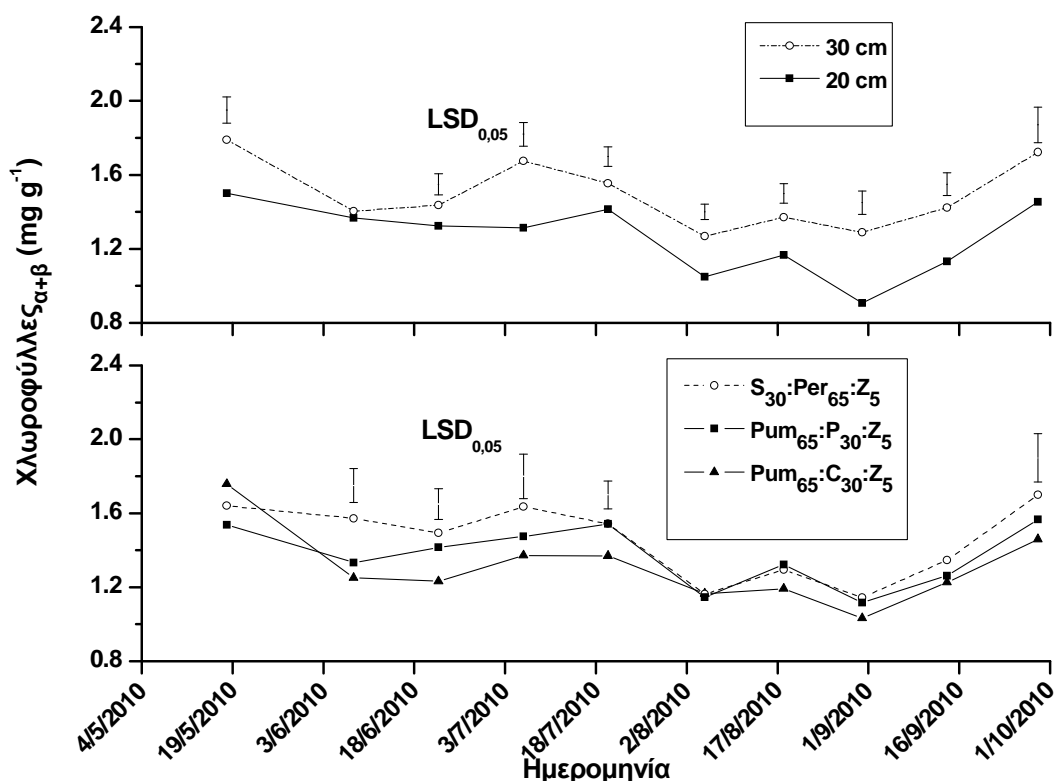
Εικόνα 4.1. Ενδεικτικός όγκος και υφή του ριζικού συστήματος της Λεβάντας κατά την καταστροφική δειγματοληψία, μετά το πέρας του πειράματος σε επέμβαση με υπόστρωμα $S_{30}:Per_{65}:Z_5$.

Οι Zollinger et al. (2006), αναφέρουν ότι το είδος *L. angustifolia* όπως πολλά Μεσογειακά φρύγανα και θάμνοι, έχουν ριζικό σύστημα το οποίο διαθέτει επιφανειακές και βαθιές ρίζες ταυτόχρονα. Το γεγονός αυτό αποτελεί μια περιβαλλοντική προσαρμογή της Λεβάντας στη ξηρασία, η οποία της επιτρέπει να προσλαμβάνει επιφανειακή και βαθύτερη εδαφική υγρασία.

4.3. Συγκέντρωση χλωροφυλλών_{α+β}

Το ολικό περιεχόμενο των φυτών σε χλωροφύλλες μειώνονταν σταθερά από το Μάιο 2010 και μέχρι το τέλος της θερινής καταπόνησης (Διάγ. 4.3), το οποίο συνέπιπτε με την έναρξη των βροχοπτώσεων του Σεπτεμβρίου, (11 Σεπτεμβρίου 2010, Διάγ. 2.1). Η

ανάκαμψη των ολικών χλωροφυλλών επιτεύχθηκε μετά την παρέλευση δύο εβδομάδων από την έναρξη των βροχοπτώσεων του Σεπτεμβρίου 2010.



Διάγραμμα 4.3. Επίδραση του βάθους (20 ή 30 cm) και του είδους του υποστρώματος ($Pum_{65}:C_{30}:Z_5$, $Pum_{65}:P_{30}:Z_5$ και $S_{30}:Per_{65}:Z_5$, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Pum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος), στην ολική συγκέντρωση χλωροφυλλών_{α+β} των φυτών *Lavandula angustifolia*. Οι τιμές είναι οι μέσοι 5 επαναλήψεων. Οι κάθετοι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$.

Γενικά έχει δειχθεί ότι η υδατική καταπόνηση επιφέρει σημαντική μείωση της συγκέντρωσης των χλωροφυλλών (Kirnak et al., 2001) και ο Kaiser (1987) αναφέρει ότι η φωτοσύνθεση είναι μία φυσιολογική λειτουργία η οποία είναι ευαίσθητη στην αφυδάτωση. Ωστόσο η επανάκαμψη των ολικών χλωροφυλλών στα ίδια επίπεδα του Μαΐου μετά από την άρση της υδατικής καταπόνησης, υποδεικνύει ότι η επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών της Λεβάντας ήταν αναστρέψιμη.

Σε όλη την περίοδο των μετρήσεων καταγράφηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς τον παράγοντα βάθος, με τα βαθύτερα υποστρώματα των 30 cm να ευνοούν μεγαλύτερη συγκέντρωση σε ολικές χλωροφύλλες_{α+β} (Διάγ. 4.3).

Όσον αφορά την επίδραση του τύπου του υποστρώματος στην πρώτη μέτρηση πριν την λίπανση όλα τα υποστρώματα είχαν παρόμοια συγκέντρωση χλωροφυλλών. Μετά την εφαρμογή της λίπανσης αργής αποδέσμευσης που έλαβε χώρα στις 18 Μαΐου 2010 και για τις επόμενες 4 μετρήσεις το υπόστρωμα με περλίτη και σε μια μέτρηση και το υπόστρωμα με τύρφη κατέγραψαν μεγαλύτερες τιμές έναντι του υποστρώματος με κόμποστ. Κατά τη διάρκεια της υδατικής καταπόνησης που επήλθε ένεκα της ελλειμματικής άρδευσης, στα τέλη Ιουλίου, τον Αύγουστο και στις αρχές του Σεπτεμβρίου 2010, αναιρέθηκαν οι διαφορές στο περιεχόμενο χλωροφυλλών μεταξύ των τριών υποστρωμάτων.

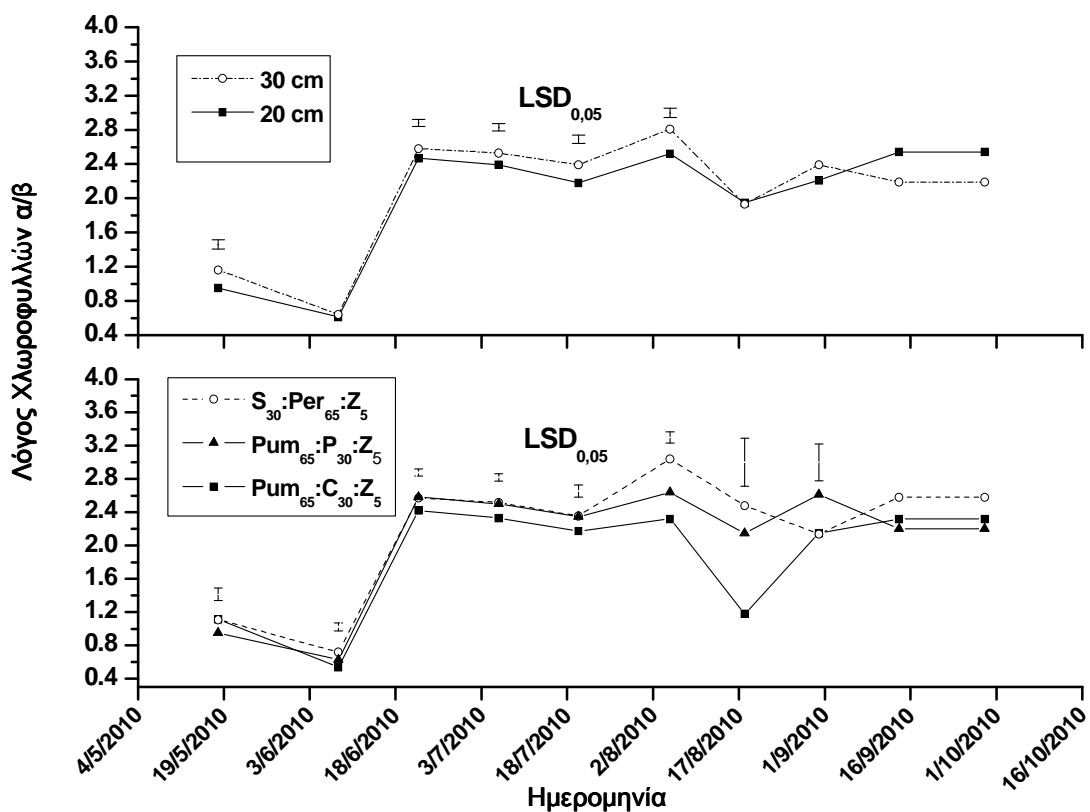
Στη συνέχεια τον Οκτώβριο οπότε η υγρασία του υποστρώματος είχε αυξηθεί λόγω των βροχοπτώσεων και της μείωσης της θερμοκρασίας, τα φυτά λεβάντας είχαν μεγαλύτερη συγκέντρωση χλωροφυλλών_{α+β} στο υπόστρωμα με περλίτη σε σύγκριση με το υπόστρωμα το οποίο περιείχε κόμποστ, ενώ γενικά αυξήθηκε η συγκέντρωση των χλωροφυλλών σε όλα τα υποστρώματα, δείχνοντας ότι δεν είχε επηρεαστεί η φωτοσυνθετική ικανότητα στα φυτά κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης. Ανάλογες διαπιστώσεις έκαναν και οι Nogues and Alegre (2002), πειραματιζόμενοι με τα φυτά *Rosmarinus officinalis* και *Lavandula stoechas*.

Συνοψίζοντας, φαίνεται ότι όσον αφορά την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλες_{α+β}, ο πιο αποφασιστικός παράγοντας ήταν το βάθος του υποστρώματος που έδινε τη δυνατότητα στα φυτά λεβάντας να αξιοποιήσουν το πλούσιο ριζικό τους σύστημα.

4.4. Λόγος χλωροφυλλών α/β

Σχετικά με την επίδραση του βάθους των υποστρωμάτων στο λόγο χλωροφυλλών, σε όλη την περίοδο των μετρήσεων έως τις αρχές Αυγούστου 2010, στα βαθύτερα υποστρώματα (30 cm) καταγράφηκαν μεγαλύτερες τιμές. (Διάγ. 4.4). Στη συνέχεια ο λόγος των χλωροφυλλών στα φυτά, συνέκλινε και στα δύο βάθη.

Όσον αφορά την επίδραση του τύπου των υποστρωμάτων στον λόγο των χλωροφυλλών των φυτών, στο υπόστρωμα με περλίτη ο λόγος χλωροφυλλών_{α/β} ήταν μεγαλύτερος από αυτόν στο υπόστρωμα με κόμποστ. Επίσης και στο υπόστρωμα με τύρφη ο λόγος ήταν μεγαλύτερος σε 5 μετρήσεις σε σχέση με το υπόστρωμα με κόμποστ. Οι διαφορές παρέμειναν όλη την περίοδο του θέρους, αλλά αναιρέθηκαν στην πρώτη μέτρηση του Σεπτεμβρίου 2010 (Διάγ. 2.1).



Διάγραμμα 4.4. Επίδραση του βάθους (20 ή 30 cm) και του είδους του υποστρώματος (Pum₆₅:C₃₀:Z₅ , Pum₆₅:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Pum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος), στο λόγο χλωροφυλλών α/β, του *Lavandula angustifolia*. Οι τιμές είναι οι μέσοι 5 επαναλήψεων. Οι κάθετοι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας P<0,05.

Σημειώνεται ότι στις 18 Αυγούστου 2010, έλαβε χώρα μια απότομη πτώση του λόγου σε κάθε βάθος και τύπο υποστρώματος. Η πτώση αυτή οφείλεται σε μια ιδιαίτερη πτώση της παραγωγής Χλωροφύλλης_α (Παράρτημα Ι., Διάγ. Ι.3). Το ίδιο φαινόμενο παρατηρήθηκε σε όλα τα φυτά της μελέτης και στο πιττόσπορο, την ελιά και στο χλοοτάπητα. Η πτώση αυτή μπορεί να συσχετισθεί με τις ψηλές θερμοκρασίες της περιόδου (Διαγ. 2.1.) και την κατάσταση ελλειμματικής άρδευσης. Οι Manivannan et al. (2007), έδειξαν ότι η υδατική καταπόνηση σε φυτά *Helianthus annuus*, προκάλεσε μεγάλη πτώση της χλωροφύλλης_α και της ολικής περιεκτικότητας χλωροφυλλών_{α+β}.

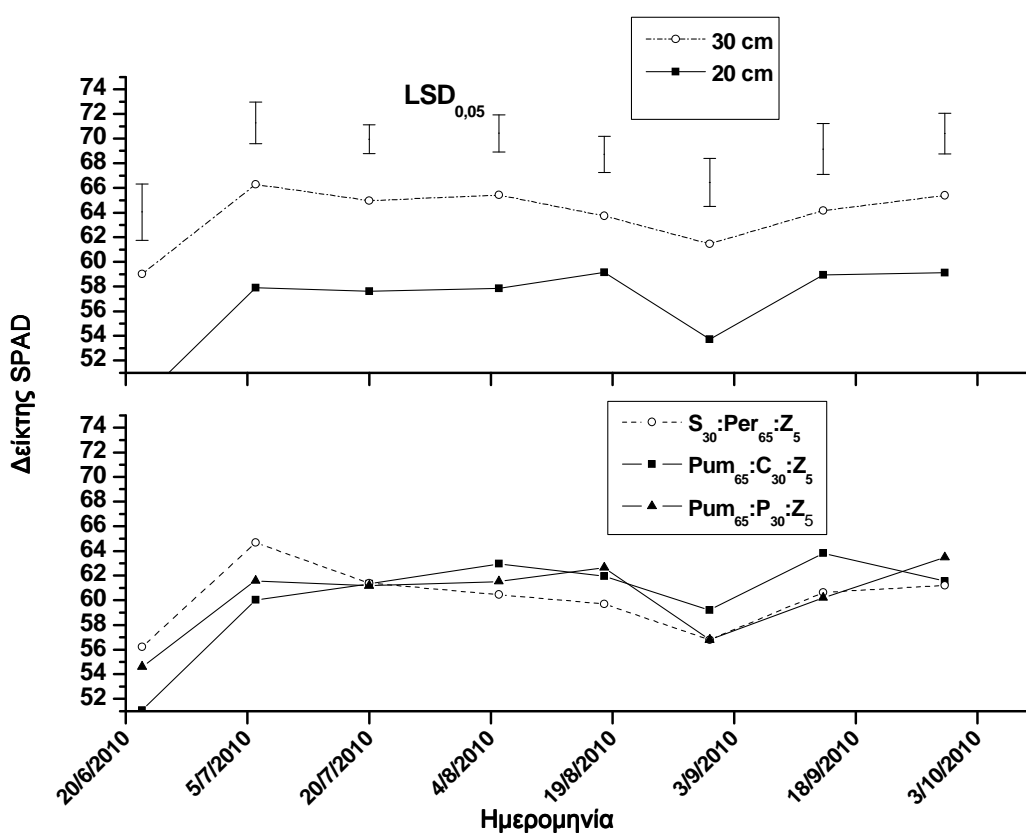
Όπως έχει ήδη αναφερθεί η μείωση της Χλωροφύλλης_α, σημαίνει μια συνολική μείωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών, γιατί όλες οι συμπληρωματικές

χρωστικές μεταφέρουν την ενέργεια που απορροφούν στην χλωροφύλλη_a την οποία δεν μπορούν να αντικαταστήσουν στην φωτοσύνθεση (Ridge, 2005).

4.5. Δείκτης πράσινου χρώματος, SPAD

Ο δείκτης SPAD, όπως και η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλες_{a+b}, ήταν μεγαλύτερος στα φυτά ήταν εγκατεστημένα στα υποστρώματα με το μεγαλύτερο βάθος των 30 cm.

Ως προς τον τύπο των υποστρωμάτων, δεν καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές (Διάγ. 4.5.) όπως αντίθετα έγινε ως ένα βαθμό, με την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλες_{a+b}. Για το λόγο αυτό, συνολικά ο δείκτης SPAD και η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλες_{a+b} στην λεβάντα, δεν είχαν γραμμική σχέση ($R^2 = 0,06$), (Παράρτημα Ι, Διάγ. Ι.7).



Διάγραμμα 4.5. Επίδραση του βάθους (20 ή 30 cm) και του είδους του υποστρώματος (Pum₆₅:C₃₀:Z₅ , Pum₆₅:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Pum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος), στο δείκτη SPAD του *Lavandula angustifolia*. Οι τιμές είναι οι μέσοι 5 επαναλήψεων. Οι κάθετοι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας P<0,05.

Οι Nektarios et al. (2011a), διαπίστωσαν ότι ο δείκτης SPAD ήταν πιο ευαίσθητος σε σύγκριση με τον χρωμομετρικό προσδιορισμό της συγκέντρωσης χλωροφύλλης στο

Dianthus fruticosus ssp. *fruticosus*, αναπτυσσόμενου σε εκτατικού τύπου φυτοδώματα, τόσο ως προς το βάθος όσο και ως προς τον τύπο των υποστρωμάτων.

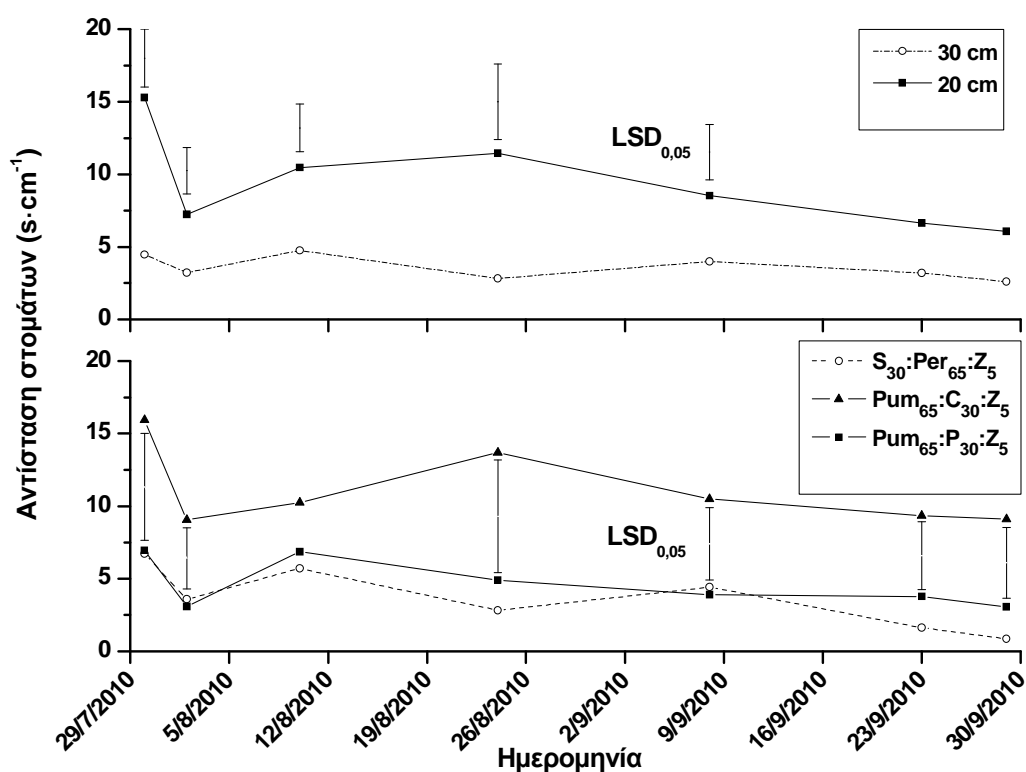
Φαίνεται ότι η διαπίστωση έλλειψης πλήρους και καθολικής ταύτισης των δύο μεθόδων είναι κοινή εμπειρία και άλλων ερευνητών. Οι Uddling et al. (2007) διαπίστωσαν σε τρία φυτικά είδη (*Betula pendula*, *Triticum spp.* και *Solanum tuberosum*), ότι η συσχέτιση μεταξύ των δύο μεθόδων ήταν μη γραμμική και επιπλέον ασθενής για το *S. Tuberosum*, ενώ αντίθετα ήταν ισχυρή για τα υπόλοιπα δύο είδη.

Σημειώνεται ότι δείκτης SPAD, κατέγραψε τη μικρότερη τιμή του (για το δίμηνο Ιουλίου-Αυγούστου) στις 31 Αυγούστου 2010, οπότε καταγράφηκε η ελάχιστη τιμή του υδατικού περιεχομένου των υποστρωμάτων και οι ελάχιστες τιμές συγκέντρωσης χλωροφυλλών_{a+b}, τόσον όσον αφορά το βάθος, όσο και τον τύπο των υποστρωμάτων.

4.6. Αντίσταση στοματίων των φύλλων

Κατά την περίοδο λήψης των μετρήσεων, η οποία χαρακτηριζόταν από χαμηλά επίπεδα υγρασίας υποστρώματος (Θν%), υψηλές θερμοκρασίες (μεταξύ τέλη Ιουλίου και τέλη Αυγούστου, Διάγ. 2.1) καταγράφηκαν διαφορές ως προς την επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην αντίσταση στοματίων των φύλλων των φυτών για πέντε συνεχόμενες μετρήσεις. Πιο συγκεκριμένα τα φυτά στα αβαθή υποστρώματα (20 cm) είχαν μεγαλύτερη αντίσταση στοματίων (Διάγ. 4.6). Αντίθετα στις μετρήσεις του Σεπτεμβρίου, οι διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων δεν ήταν σημαντικές καθώς είχαν αρθεί οι κλιματολογικές συνθήκες καταπόνησης.

Τα ευρήματα αυτά είναι σύμφωνα και τους Nogues and Baker (2000), οι οποίοι διαπίστωσαν επίσης, ότι τα φύλλα λεβάντας επιδεικνύουν αυξημένη αντίσταση στοματίων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού κάτω από συνθήκες διακοπής της άρδευσης για 2,3 ή και 4 εβδομάδες, ύστερα από 8 εβδομάδες άρδευσης ημέρα παρά ημέρα, σε συνθήκες θερμοκηπίου και θερμοκρασίες που κυμάνθηκαν μεταξύ 19-23 °C, στη Βρετανία.



Διάγραμμα 4.6. Επίδραση του βάθους (20 ή 30 cm) και του είδους του υποστρώματος (Pum₆₅:C₃₀:Z₅ , Pum₆₅:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Pum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κόμποστ, Z=ζεόλιθος), στο δείκτη αντίστασης στοματίων του *Lavandula angustifolia*. Οι κάθετοι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας P<0,05.

Ως προς την επίδραση του τύπου του υποστρώματος, τα φυτά που αναπτύσσονταν στο υπόστρωμα με περλίτη και στο υπόστρωμα με τύρφη εμφάνισαν μικρότερες τιμές αντίστασης των στοματίων των φύλλων σε όλες τις μετρήσεις, σε σύγκριση με αυτές των φυτών που αναπτύσσονταν σε υπόστρωμα με κόμποστ. Η αυξημένη αντίσταση των στοματίων της λεβάντας στο υπόστρωμα με κόμποστ, επιβεβαιώνει ότι η λεβάντα καταπονήθηκε περισσότερο σε αυτό το υπόστρωμα, κατά τη διάρκεια του θέρους. Τα ευρήματα αυτά είναι σύμφωνα και τους Nogues and Baker (2000), οι οποίοι διαπίστωσαν επίσης, ότι τα φύλλα λεβάντας επιδεικνύουν αυξημένη αντίσταση στοματίων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού κάτω από συνθήκες διακοπής της άρδευσης.

Το εύρημα συνδυάζεται με τα γενικά, σε όλα τα υποστρώματα, χαμηλά επίπεδα υγρασίας κατά τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο 2010 και την εκτίμηση ότι η υψηλή περιεκτικότητα του κομποστ σε άζωτο ενθάρρυνε την ανάπτυξη των φυτών κατά τη διάρκεια της άνοιξης, η οποία στη συνέχεια οδήγησε σε μείωση της αντοχής των φυτών

λεβάντας κατά τη θερινή καταπόνηση (Nagase and Dunnnett, 2011). Ο συνδυασμός των παραμέτρων όπως καταγράφηκε, οδήγησε στη γραμμική αύξηση με μικρή κλίση του ρυθμού ανάπτυξης των φυτών λεβάντας, που αναπτύσσονταν σε υπόστρωμα κόμποστ ($P_{65}:C_{30}:Z_5$). Αντίθετα από τα μέσα Αυγούστου και έως αρχές Οκτωβρίου 2010, στα δύο άλλα υποστρώματα ($P_{65}:P_{30}:Z_5$ και $S_{30}:P_{65}:Z_5$) ο ρυθμός ανάπτυξης ήταν ταχύτερος και διέγραφε μια σιγμοειδή καμπύλη ανάπτυξης.

Αναλυτικότερα, οι Nagase and Dunnnett (2011), έδειξαν ότι σε καλλιέργεια των φυτών *Allium schoenoprasum*, *Limonium latifolium*, *Melica ciliate* και *Nepeta x faassenii* σε συνθήκες επαρκούς άρδευσης, το αυξημένο οργανικό περιεχόμενο (>25% v/v, κόμποστ από απόβλητα) στο υπόστρωμα προκάλεσε άφθονη βλάστηση που οδήγησε σε μείωση της ανάπτυξης κατά την διάρκεια της ξηράς περιόδου. Το γεγονός φαίνεται να εδράζεται στην προτίμηση της λεβάντας σε πτωχά από άποψη θρεπτικών συστατικών υποστρώματα, και μέτρια επίπεδα αζωτούχου λίπανσης (Biesiada et al., 2008).

Παρόμοιο επίσης εύρημα αναφέρεται από τις Τασούλα και Παπαφωτίου (2011) σε καλλιέργεια του φρύγανου *Origanum dictamnus*, η επιβίωσή του οποίου επηρεάστηκε αρνητικά τον Ιούλιο, από κόμποστ στη σύνθεση του υποστρώματος.

5. Μελέτη Τρίτη: Επίδραση του βάθους και του είδους του υποστρώματος ημιεντατικού τύπου φυτοδώματος στην ανάπτυξη χλοοτάπητα *Festuca arundinacea*.

Τα βάθη των υποστρωμάτων που διερευνηθήκαν στην τρίτη μελέτη ήταν μικρά, τα οποία τυπικά κατατάσσονται στα εκτατικού ή ημιεντατικού τύπου (10 και 20 cm). Η άρδευση που εφαρμόστηκε κυμάνθηκε στα επίπεδα της υδατοϊκανότητας και παραπέμπει σε εντατική διαχείριση. Ως εκ τούτου ο συνδυασμός των παραπάνω θα μπορούσε από τυπική άποψη να χαρακτηριστεί ως φυτοδώμα ημιεντατικού τύπου.

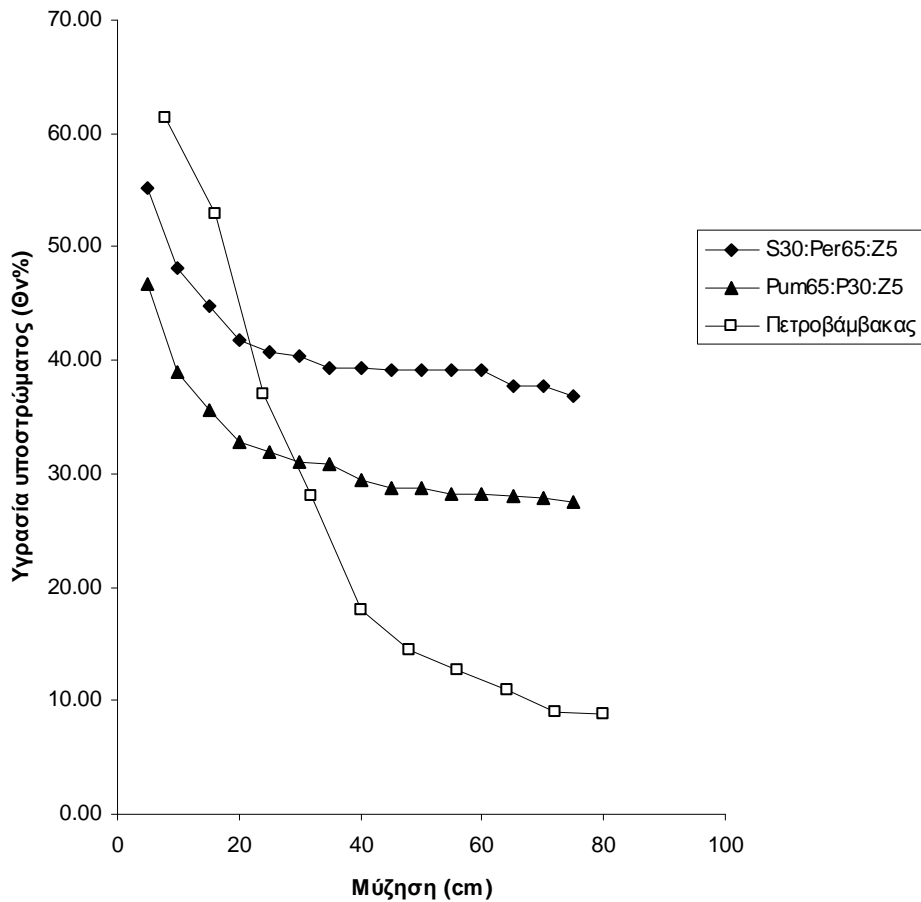
5.1. Χαρακτηριστικά υποστρωμάτων

Στα υποστρώματα του χλοοτάπητα χρησιμοποιήθηκαν δύο βάθη (10 και 20 cm) και χρησιμοποιήθηκε πετροβάμβακας στη θέση του υποστρώματος με κόμποστ, με σκοπό να διερευνηθεί η δυνατότητα ανάπτυξης ελαφρών υποστρωμάτων, κατάλληλων για κτίρια με χαμηλή πρόβλεψη όσον αφορά τα φορτία επικαλύψεων του δώματος. Τα δύο άλλα υποστρώματα παρέμειναν ίδια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη και δεύτερη μελέτη, δηλαδή $P_{um65}:P_{30}:Z_5$ και $S_{30}:P_{er65}:Z_5$ όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, P_{um} =κίσηρη, P_{er} =περλίτης, Z=ζεόλιθος, σε κατ' όγκο αναλογίες οι οποίες υποδεικνύονται από τους αντίστοιχους δείκτες. Με αυτό τον τρόπο συγκρίθηκαν υποστρώματα πολύ πτωχά έως παντελώς αδρανή όσον αφορά τα θρεπτικά συστατικά. Τα χαρακτηριστικά των υποστρωμάτων δίνονται στον Πίνακα 5.1.

Όσον αφορά τη συγκράτηση υγρασίας των υποστρωμάτων βρέθηκε ότι ο πετροβάμβακας συγκρατούσε μεγαλύτερη ποσότητα υγρασίας στον κορεσμό και μέχρι τα πρώτα 20 cm φορτίου σε σύγκριση με τα άλλα δύο υποστρώματα (Διάγ. 5.1). Το υπόστρωμα με περλίτη στη σύστασή του διέθετε μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας σε σύγκριση με το υπόστρωμα με τύρφη σε όλο το εύρος φόρτισης από 0-85 cm. Επιπλέον τα δύο υποστρώματα επέδειξαν μεγαλύτερη ρυθμιστική ικανότητα έναντι του πετροβάμβακα όσον αφορά τη συγκράτηση νερού ιδιαίτερα για τάσεις μεγαλύτερες των 50 cm, καθώς ο πετροβάμβακας επιδείκνυε ταχεία απορροή και απότομη πτώση της ποσότητας νερού που συγκρατούσε, σε μύζηση μεγαλύτερη των 30 cm.

Πίνακας 5.1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες υποστρωμάτων.

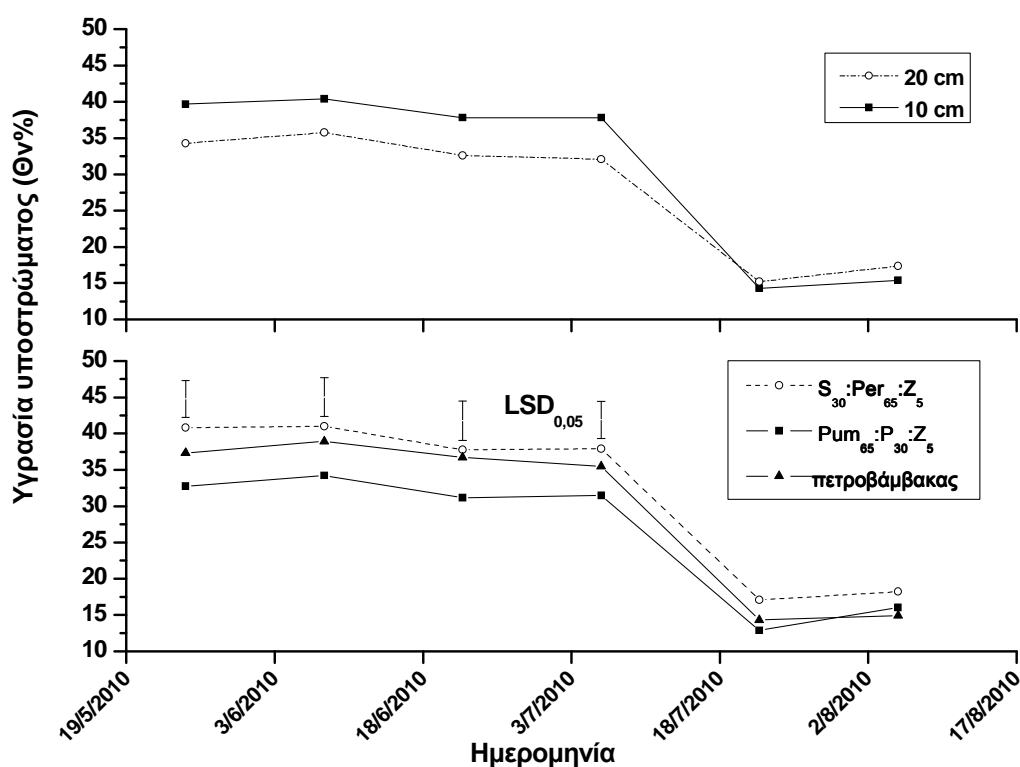
Υπόστρωμα	P _{um65} :P ₃₀ :Z ₅	S ₃₀ :P _{er65} :Z ₅	Πετροβάμβακας	Μέθοδος ανάλυσης
Οργανική ουσία (% κ.Β.)	4,72	0,63	–	Loss on ignition (LOI)
Ολικό N (% κ.Β.)	0,132	0,036	–	Kjeldahl method
Διαλυτός P (mg·kg ⁻¹)	56,68	8,90	–	Colorimetrically, Hitachi U2001 spectrophotometer
Διαλυτό Κ (mg kg ⁻¹)	945,0	560,0	–	Atomic absorption spectrophotometry (GBC 932A/A)
ανταλλάξιμο Mg (mg kg ⁻¹)	249,0	99,0	–	Atomic absorption spectrophotometry (GBC 932A/A)
Ανταλλάξιμο Ca (mg kg ⁻¹)	2.496,0	2.535,0	–	Atomic absorption spectrophotometry (GBC 932A/A)
Ανταλλάξιμο Na (mg kg ⁻¹)	261,0	171,0	–	Atomic absorption spectrophotometry (GBC 932A/A)
pH	7,34	8,40	7,0-9,2	Consort C 835 Multi-channel Analyser
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (Ms cm ⁻¹)	567	149	–	
ΦΕΒ στον κορεσμό (g cm ⁻³)	1,144±32	1,222±43	0,77	Τεμαχιζόμενη στήλη και Ογκομετρικά
ΦΕΒ (g cm ⁻³)	0,655±14	0,668±18	0,162	Τεμαχιζόμενη στήλη και Ογκομετρικά
Εύκολα διαθέσιμο νερό (EAW)(%v/v)	10,3	8,86	40,2	Τεμαχιζόμενη στήλη και Ογκομετρικά
Ολικό Πορώδες (%)	44,8	53,0	80	Ογκομετρικά



Διάγραμμα 5.1. Χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας για τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν (πετροβάμβακας, Ρum₆₅:Ρ₃₀:Ζ₅ και S₃₀:Ρer₆₅:Ζ₅, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, Ρ=τύρφη, Ρum=κίσηρη, Ρer=περλίτης, Ζ=ζεόλιθος).

5.2. In situ υγρασία υποστρώματος

Η άρδευση στο 100% της εξατμισοδιαπνοής του κλοστάπητα, εξασφάλισε αρχικά υπερεπάρκεια υγρασίας σε όλα τα υποστρώματα, σε επίπεδα 35-40%, η οποία εξομοίωνε την υγρασία των πειραματικών τεμαχίων με αυτήν των δοκιμίων που εγκαταστάθηκαν στο ΚΑΠΕ και όπου οι μετρήσεις διενεργήθηκαν το χειμώνα. Από τις αρχές Ιουλίου 2010, η άρδευση που εφαρμοζόταν εξισορροπούσε τις ημερήσιες απώλειες της εξατμισοδιαπνοής με αποτέλεσμα τη μείωση του ποσοστού της εδαφικής υγρασίας περίπου στο 15% v/v (Διάγ. 5.2).



Διάγραμμα 5.2. Διακύμανση της εδαφικής υγρασίας σε συνάρτηση με το βάθος (10 και 20 cm) και τον τύπο των τριών υποστρώματων (πετροβάμβακας, Rum₆₅:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Rum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κομπόστα, Z=ζεόλιθος) σε κλοστάπητα *Festuca arundinacea*. Οι τιμές είναι οι μέσοι 5 επαναλήψεων. Οι κάθετοι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας P<0,05.

Η εδαφική υγρασία δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές ως προς το βάθος, ενώ ως προς τον τύπο του υποστρώματος, αυτό που περιείχε περλίτη στη σύνθεσή του συγκράτησε περισσότερη υγρασία σε σύγκριση με αυτό που περιείχε κόμποστ, κατά την περίοδο της υπερεπάρκειας και μέχρι τις αρχές Ιουλίου. Στη συνέχεια η υγρασία μειώθηκε σε όλα τα υποστρώματα, εξαλείφοντας τις διαφορές μεταξύ των υποστρώματων (Διάγ. 5.2). Στο τέλος Ιουλίου 2010 διακόπηκε παντελώς η άρδευση, με σκοπό να διαπιστωθεί το εύρος του χρονικού διαστήματος στο οποίο, τα αδρανή υποστρώματα και ιδιαίτερα ο πετροβάμβακας, μπορούν να υποστηρίξουν την ποιότητα και την επιβίωση του κλοστάπητα. Μετά την πάροδο πέντε ημερών, οι βλάβες στα πειραματικά τεμάχια και ιδιαίτερα τον πετροβάμβακα ήταν τόσο σοβαρές (Εικ. 5.1.), ώστε μετά τις 8 Αυγούστου διακόπηκαν οι μετρήσεις.

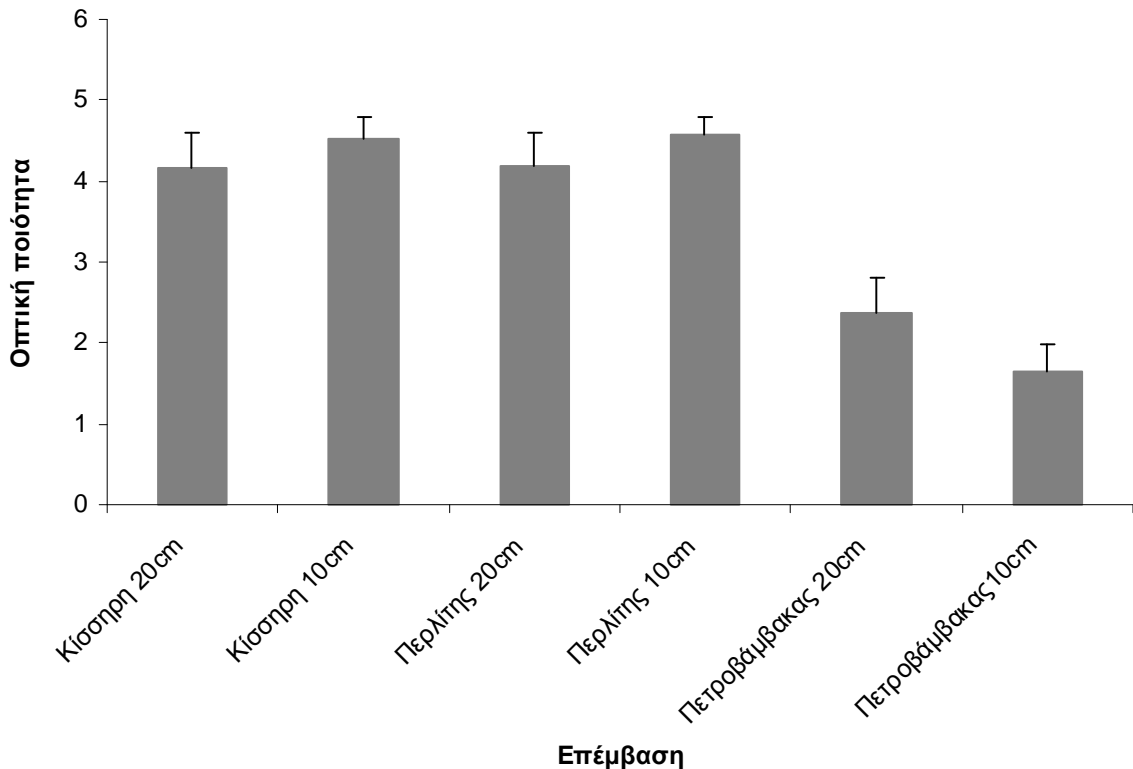


Εικόνα 5.1. Οπτική ποιότητα του χλοοτάπητα στα διάφορα πειραματικά τεμάχια μετά από πενήμερη διακοπή της άρδευσης. Διακρίνονται: πετροβάμβακας, $P_{um65}:P_{30}:Z_5$ (με κίσσηρη) και $S_{30}:Per_{65}:Z_5$ (με περλίτη). Τα πιο έντονα κίτρινα έως αποξηραμένα πειραματικά τεμάχια, είναι αυτά με υπόστρωμα πετροβάμβακα.

Για την εκτίμηση της επίδρασης της διακοπής της άρδευσης στην ποιότητα της φυτοκάλυψης, αξιολογήθηκε η οπτική ποιότητα του χλοοτάπητα σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε κλίμακα εννέα (Διάγ. 5.3) βαθμών (Morris, 2009). Η μέση τιμή και τυπική απόκλιση για τις επεμβάσεις με τη σειρά που παρουσιάζονται στο διάγραμμα ήταν: $4,6 \pm 0,89$, $4,8 \pm 0,55$, $4,6 \pm 0,84$, $4,6 \pm 0,45$, $4,8 \pm 0,45$, $2,8 \pm 0,84$, $2 \pm 0,71$.

Από το Διάγραμμα 5.3, συνάγεται το συμπέρασμα ότι η έντονη υδατική καταπόνηση με διακοπή της άρδευσης για 5 ημέρες κατά την ξηρή περίοδο, επέφερε δραματική ξήρανση της φυλλικής επιφάνειας του χλοοτάπητα στο υπόστρωμα με πετροβάμβακα, σε ποσοστό 80%, σχεδόν διπλάσια αυτής των άλλων δύο υποστρωμάτων. Αξιοσημείωτο είναι επίσης, πως σε συνθήκες φυτοδώματος με υπόστρωμα πάχους 10 και 20 cm, ουδέν από τα εξεταζόμενα υποστρώματα διασφάλισε το ελάχιστο βέλτιστο της οπτικής ποιότητας σε χλοοτάπητα 11 μηνών, κατά τη θερινή διακοπή της άρδευσης για 5 ημέρες, ενώ η επιδείνωση ήταν ραγδαία τις δύο τελευταίες ημέρες διακοπής της άρδευσης.

Ο πετροβάμβακας, όπως φαίνεται και από την χαρακτηριστική του καμπύλη υγρασίας (Διαγ. 5.1), επιδεικνύει υψηλή συγκράτηση νερού σε χαμηλή μύζηση, αλλά το υδατικό του περιεχόμενο μειώνεται απότομα καθώς η μύζηση αυξάνει. Είναι χαρακτηριστικό πως το Εύκολα Διαθέσιμο Νερό (EAW) αποτελεί το 40% της κατ όγκο συγκρατούμενης υγρασίας, ενώ για τα $P_{um65}:P_{30}:Z_5$ και $S_{30}:Per_{65}:Z_5$, είναι 10,3% και 8,86%, αντίστοιχα (Πίν. 5.1).



Διάγραμμα 5.3. Αξιολόγηση της οπτικής ποιότητας χλοοτάπητα την 8^η Αυγούστου 2010. Οι κάθετες ράβδοι είναι η τυπική απόκλιση του μέσου όρου.

Οι Savvas and Passam (2002) αναφέρουν μια παρόμοια καμπύλη συγκράτησης νερού από πετροβάμβακα σε δοχείο, το οποίο ωστόσο σε μύζηση 5 KPa (50 cm) δεν συγκρατούσε πλέον νερό. Αυτό δεν συμβαίνει στον πετροβάμβακα της παρούσας μελέτης, ο οποίος στα 50 cm συγκρατεί υγρασία 10% κατ' όγκο.

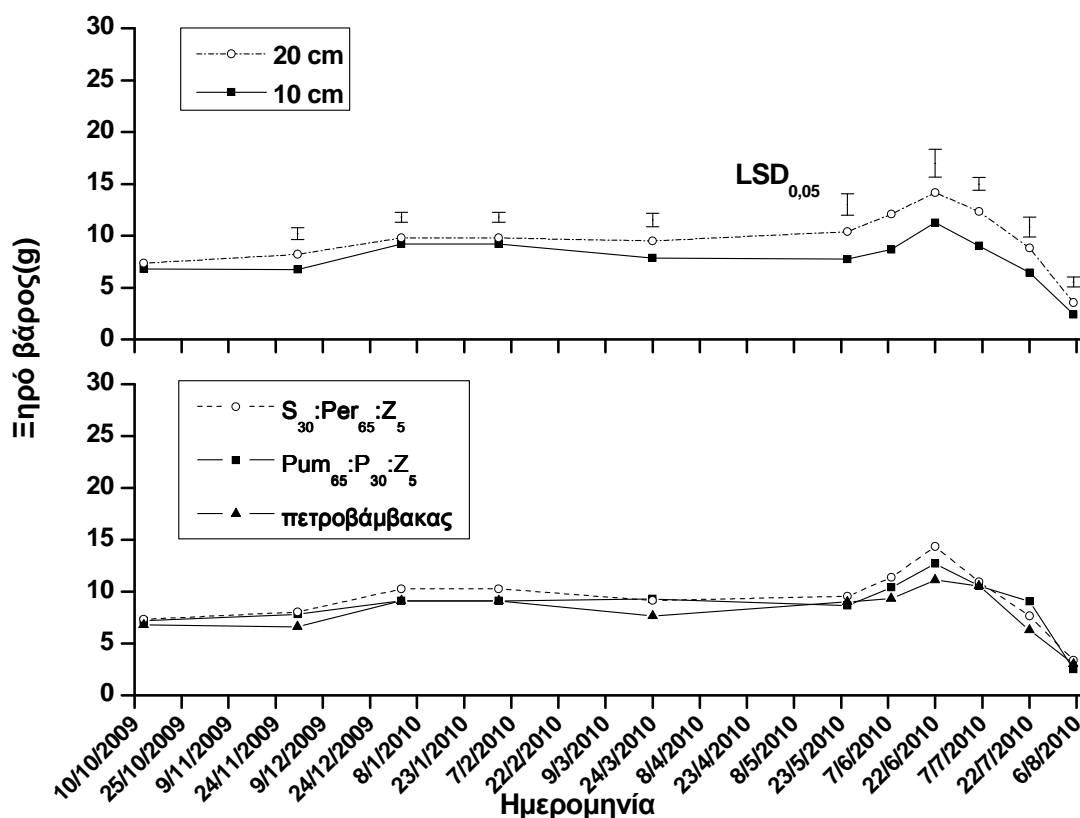
Η διαφορά προκύπτει από τη διαφορά πυκνότητας του πετροβάμβακα, καθώς στην παρούσα μελέτη το ειδικό του βάρος είναι 150 kg m^{-3} , ενώ της αναφοράς 55 kg m^{-3} . Σε κάθε περίπτωση ο πετροβάμβακας πρέπει καταρχήν να χρησιμοποιείται σε κατάσταση πλησίον του κορεσμού σε νερό, σε τάση μεταξύ 0 και 20 cm και να αποφεύγεται η υπερβολική ξήρανσή του μέσω ενός προγράμματος συχνών και μικρής διάρκειας αρδεύσεων (Bougol et al., 2005). Ενδιαφέρον ωστόσο θα είχε η μελέτη συνδυασμού πετροβάμβακα και παχύφυτων τύπου CAM, τα οποία έχουν τη δυνατότητα επιβίωσης και ανάπτυξης σε πολύ μικρότερες περιεκτικότητες νερού.

5.3. Ξηρό βάρος υπολειμμάτων κοπής

Τόσο κατά την εγκατάσταση του χλοοτάπητα και τη φάση της πρώτης ανάπτυξης το φθινόπωρο του 2009, όσο και κατά την φάση ανάπτυξης την άνοιξη 2010, περίοδος κατά

την οποία τα φυτά δέχονταν συντηρητική υδρολίπανση με 80 ppm λιπάσματος, η παραγωγή υπολειμμάτων κοπής, μετρούμενη ως ξηρό βάρος, κατέγραψε ένα βραδύ έως στάσιμο ρυθμό ανάπτυξης. Μετά τη λίπανση της 18^{ης} Μαΐου 2010 με λίπασμα βραδείας αποδέσμευσης, συγκομίστηκαν αυξημένες ποσότητες υπολειμμάτων κοπής χωρίς να υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών υποστρώματων (Διάγρ.5.4).

Ακολούθως από τα τέλη Ιουνίου, καταγράφηκε μείωση του ξηρού βάρους υπολειμμάτων κοπής και στα τρία υποστρώματα, η οποία μειώθηκε περαιτέρω ως αποτέλεσμα της διακοπής της άρδευσης που εφαρμόστηκε στο τέλος Ιουλίου (Διάγ. 5.4). Σε κάθε στάδιο ωστόσο δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών τύπων υποστρώματος.



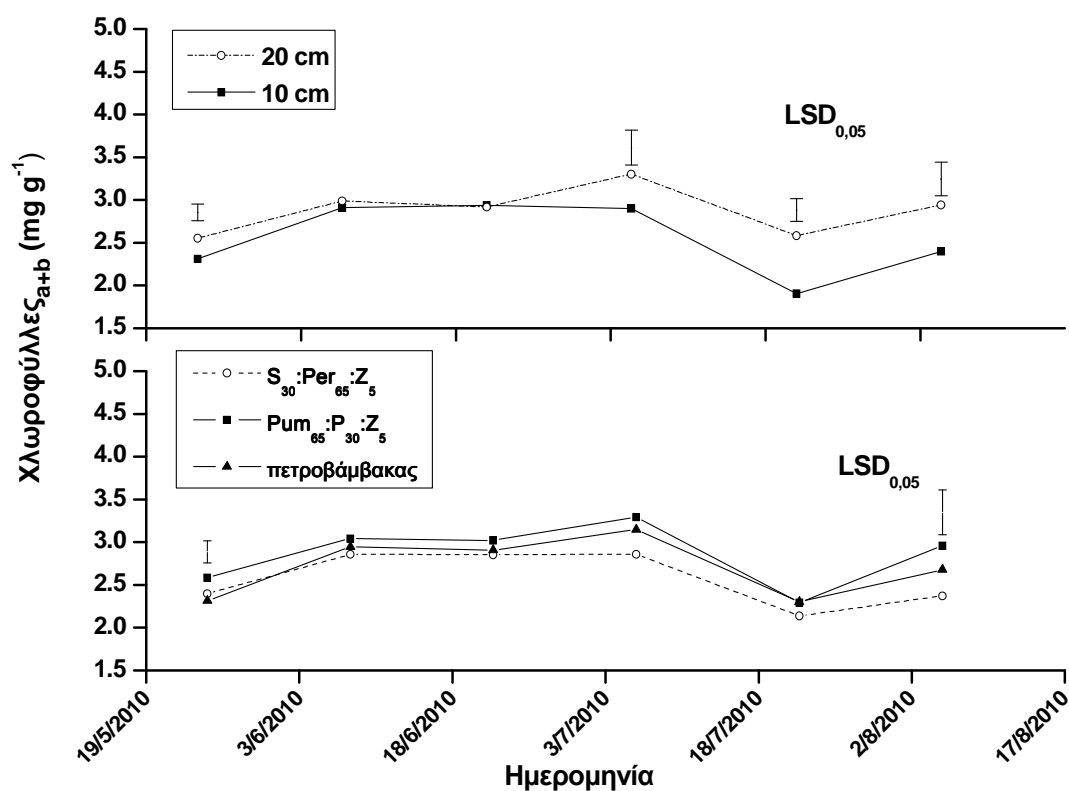
Διάγραμμα 5.4. Επίδραση του βάθους (10 ή 20 cm) και του είδους του υποστρώματος (πετροβάμβακας, Rum₆₅:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Rum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κομπόστα, Z=ζεόλιθος), στο ξηρό βάρος κοπής στο χλοοτάπητα *Festuca arundinacea*. Οι τιμές είναι οι μέσοι 5 επαναλήψεων. Οι κάθετοι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας P<0,05.

Όσον αφορά τον παράγοντα βάθος, τα υποστρώματα στο μεγαλύτερο βάθος των 20 cm, έδωσαν μεγαλύτερα ξηρά βάρη υπολειμμάτων κοπής σε όλη την διάρκεια της μελέτης (Διάγ. 5.4). Επειδή η άρδευση ήταν στο 100% της ET_c , η διαφορά δεν εξηγείται από τη διαφορετική συγκράτηση υγρασίας και ούτε καταγράφηκαν διαφορετικά επίπεδα υγρασίας σε σχέση με το βάθος (Διαγρ. 5.2.). Ως εκ τούτου εικάζεται ότι η αύξηση του ξηρού βάρους των υπολλειμμάτων κοπής στα βαθύτερα υποστρώματα βασίζεται στο γεγονός ότι ο χλοοτάπητας *F. arundinacea*, έχει τη δυνατότητα να εκμεταλλεύεται την υγρασία σε βαθύτερα υποστρώματα κυρίως μέσω της ανάπτυξης βαθύτερου ριζικού συστήματος. Όπως αναφέρουν οι Harris et al. (2003), το είδος *F. arundinacea* είναι εκ φύσεως βαθύρριζο και αναπτύσσεται καλύτερα στα βαθιά εδάφη.

5.4. Περιεχόμενο χλωροφυλλών

Από το Διάγραμμα 5.5., φαίνεται ότι η συγκέντρωση των χλωροφυλλών του χλοοτάπητα επηρεάστηκε θετικά με την αύξηση του βάθους του υποστρώματος. Σε βάθος 20 cm καταγράφηκαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ολικών χλωροφυλλών_{a+b} σε 4 από τις 6 μετρήσεις και την τάση να συστηματικοποιείται στις μετρήσεις Ιουλίου-Αυγούστου. Όσον αφορά τον τύπο του υποστρώματος φαίνεται πως το υπόστρωμα με τύρφη ευνόησε για περιορισμένο χρόνο τη συγκέντρωση των χλωροφυλλών, αφού διαφορές καταγράφηκαν μόνο σε δύο από τις έξι μετρήσεις και πάντως όχι την περίοδο Ιουλίου-Αυγούστου.

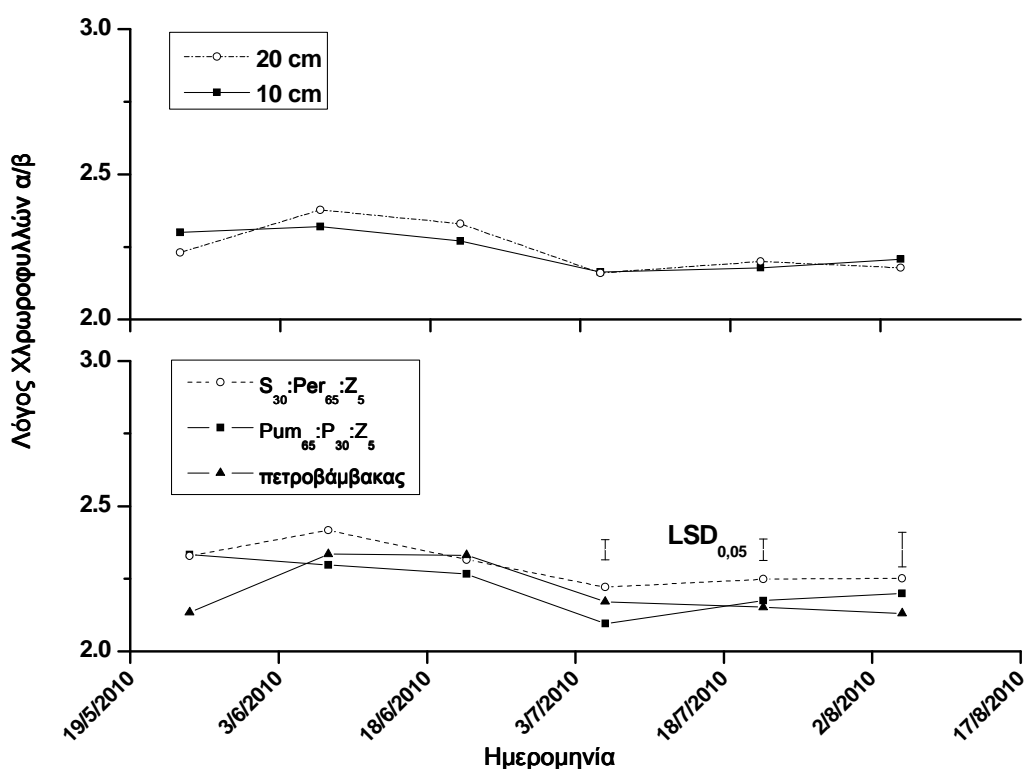
Γενικά η διακύμανση του περιεχομένου χλωροφυλλών φάνηκε να συσχετίζεται ($R^2=0,36$) με τη διακύμανση της εδαφικής υγρασίας (Παράρτημα 1.8), με ελάχιστη τιμή στις 22 Ιουλίου, οπότε είχε σημειωθεί η χαμηλότερη τιμή εδαφικής υγρασίας και μια από τις μεγαλύτερες μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες αέρα, ($30.5^{\circ}C$, Διάγ. 2.1.). Στην παρούσα μελέτη δεν διαμορφώθηκαν βεβαίως συνθήκες υδατικής καταπόνησης, έχει όμως εδραιωθεί (Kaiser, 1987), ότι η φωτοσύνθεση είναι μία φυσιολογική διαδικασία ευαίσθητη στην αφυδάτωση.



Διάγραμμα 5.5. Επίδραση του βάθους (10 ή 20 cm) και του είδους του υποστρώματος (Πετροβάμβακας, Rum₆₅:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Rum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κομπόστα, Z=ζεόλιθος), στο ολικό περιεχόμενο σε χλωροφύλλες_{a+b} στο χλοοτάπητα *Festuca arundinacea*. Οι κάθετοι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας P<0,05.

Λόγος χλωροφυλλών α/β

Ο λόγος χλωροφυλλών α/β, επηρεάστηκε από τον τύπο των υποστρωμάτων και ουδόλως από το βάθος, με τη χλόη στο υπόστρωμα με περλίτη να καταγράφει τρεις στις έξι, υψηλότερες τιμές και οι τρεις μετρήσεις βρίσκονταν χρονολογικά στην περίοδο Ιουλίου-Αυγούστου (Διάγ. 5.6.).



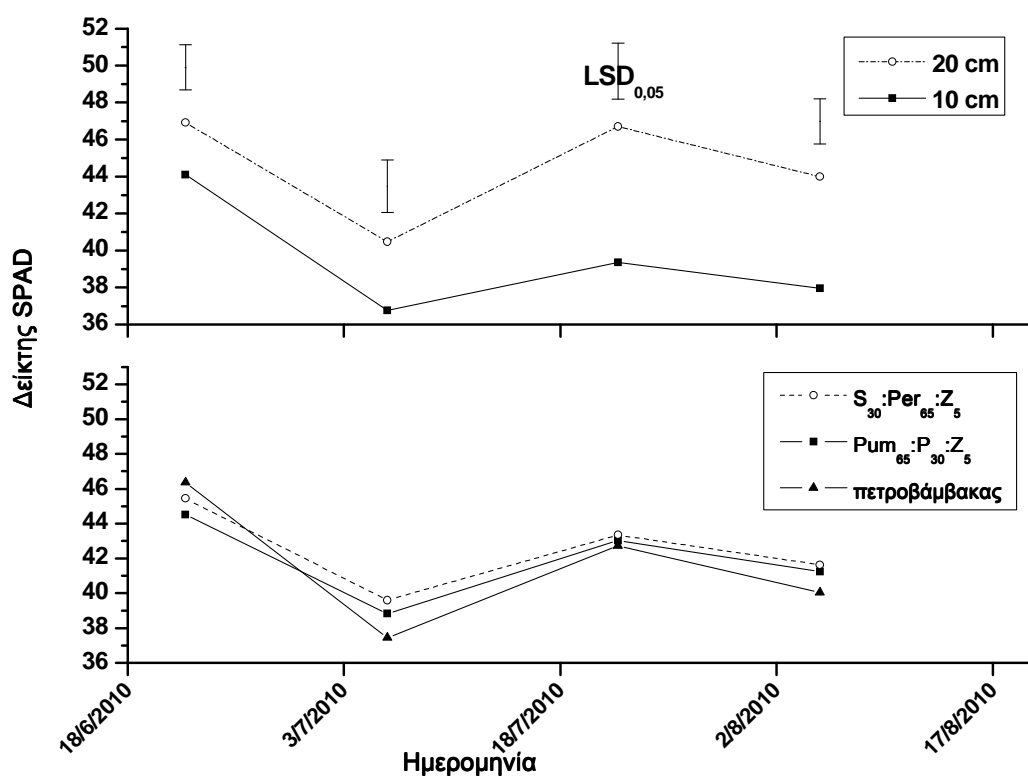
Διάγραμμα 5.6. Επίδραση του βάθους (10 ή 20 cm) και του είδους του υποστρώματος (Πετροβάμβακας, Rum₆₅:P₃₀:Z₅ και S₃₀:Per₆₅:Z₅, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, P=τύρφη, Rum=κίσηρη, Per=περλίτης, C=κομπόστα, Z=ζεόλιθος), στο λόγο χλωροφυλλών α/β στο κλοοτάπητα *Festuca arundinacea*. Οι κάθετοι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας P<0.05.

Όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα 5.6., μειώθηκε γενικά ο λόγος και στα τρία υποστρώματα κατά την περίοδο του Ιουλίου-Αυγούστου, δείχνοντας μια μεγαλύτερη μείωση της χλωροφύλλης α σε σχέση με την χλωροφύλλη β (Παράρτημα Ι., Διάγ. Ι.4) και κατά συνέπεια συνολική μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φυτών (Ridgce, 2005) όπως και στη λεβάντα (Παράρτημα Ι., Διάγ. Ι.3).

Φαίνεται ότι η βιοσύνθεση χλωροφύλλης_α ευνοήθηκε, από την υψηλότερη διαθεσιμότητα (αν και όχι στατιστικά σημαντική) υγρασίας στο υπόστρωμα με περλίτη, έτσι την περίοδο Ιουλίου-Αυγούστου και συγκεκριμένα στις 22 Ιουλίου οπότε και καταγράφηκε η απότομη πτώση της υγρασίας (Διαγ. 5.2) σε όλα τα υποστρώματα και σε συνδυασμό με μια από τις υψηλότερες θερμοκρασίες (30 °C) του θέρους (Διαγ. 2.1), σημείωσε μικρότερη πτώση (Παράρτημα Ι., Διάγ. Ι.4).

Δείκτης πράσινου χρώματος - SPAD

Ο δείκτης SPAD (Διάγ. 5.9), όμοια όπως και το περιεχόμενο χλωροφυλλών_{α+β}, επηρεάστηκε από το βάθος του υποστρώματος και όχι από τον τύπο αυτού. Η συσχέτιση ανάμεσα στο περιεχόμενο χλωροφυλλών και τον δείκτη SPAD ήταν ικανοποιητική με $R^2=0.64$ (Παράρτημα Ι.12) και βρίσκεται σε συμφωνία με άλλους ερευνητές (Loh et al., 2002; Nektarios et.al., 2011_α) για τα φυτά *Ficus benjamina* και *Dianthus fruticosus* ssp *fruticosus*, αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5.9. Επίδραση του βάθους (10 ή 20 cm) και του είδους του υποστρώματος (Πετροβάμβακας, Ρυμ₆₅:Ρ₃₀:Ζ₅ και S₃₀:Ρε₆₅:Ζ₅, όπου S=αμμοπηλώδες έδαφος, Ρ=τύρφη, Ρυμ=κίσηρη, Ρε=περλίτης, C=κομπόστα, Ζ=ζεόλιθος), στο δείκτη SPAD του *Festuca arundinacea*. Οι τιμές είναι οι μέσοι 5 επαναλήψεων. Οι κάθετοι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά κατά Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $P<0,05$.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΩΝ ΑΓΡΟΥ

6.1. Συμπεράσματα πρώτης μελέτης

Η αυξημένη περιεκτικότητα σε θρεπτικά στο υπόστρωμα με κόμποστ, ευνόησε τον ρυθμό ανάπτυξης, το δείκτη SPAD και τη συγκέντρωση χλωροφυλλών σχεδόν σε όλες τις μετρήσεις, κατά την διάρκεια και των δύο ετών της μελέτης. Η ελλειμματική άρδευση ανέκοψε την ανάπτυξη των φυτών κατά τη διάρκεια του θέρους, χωρίς όμως μόνιμες επιπτώσεις και τούτο γιατί τα πιττόσπορα έχουν υψηλό δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης νερού (WUE), (Still and Davies, 1993) ή λόγου διαπνοής (μονάδες διαπνεόμενου νερού που αντιστοιχούν σε μονάδες δεσμευόμενου CO₂) και τα ελαιόδεντρα είναι ανθεκτικά στην ξηρασία, καθώς κάτω από ξηρές συνθήκες αναπτύσσουν προσαρμοσμένες αντιδράσεις που αφορούν οσμωτικές ρυθμίσεις, έτσι ώστε τα κύτταρα να παραμένουν ενεργά (Larcher et al., 1981).

Το συμπέρασμα είναι ότι το κόμποστ μπορεί να αντικαταστήσει την τύρφη, ως οργανική ουσία στα υποστρώματα για φυτεμένα δώματα εντατικού τύπου με φυτά πιττόσπορου και ελιάς και δημιουργεί προσδοκίες και για πλήθος άλλων Μεσογειακών φυτών με ανάλογα χαρακτηριστικά. Τα μίγματα στη σύνθεση των οποίων συμμετέχει το κόμποστ, έχουν εφάμιλλα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά, καλύτερη συγκράτηση νερού σε όλες τις μζήσεις, όπως φαίνεται και από τις χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας, και πρόσθετα πλεονεκτούν στο θρεπτικό περιεχόμενο, ενθαρρύνοντας υψηλότερο ρυθμό ανάπτυξης και μεγαλύτερες συγκεντρώσεις χλωροφυλλών, τόσο σε συνθήκες επάρκειας νερού, όσο και σε συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης. Το συμπέρασμα υποστηρίζει το ζητούμενο για μείωση της χρήσης της τύρφης, λόγω των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεών της.

Το υπόστρωμα βάθους 30 cm, σε συνάρτηση με την εφαρμογή άρδευσης, δείχθηκε επαρκές για την υποστήριξη της ανάπτυξης θάμνων και μικρών δένδρων. Περαιτέρω σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης ή και σε συνάρτηση με την πάροδο του χρόνου, το βάθος του υποστρώματος αναδεικνύεται σε παράγοντα που επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη των ελαιόδεντρων. Για τα πιττόσπορα βάθος μεγαλύτερο των 30 cm, δεν δείχθηκε παράγοντας επηρεασμού της ανάπτυξης και της φυσιολογίας τους ακόμα και μετά δύο έτη καλλιέργειας.

Η απουσία διαφορών στα πιττόσπορα και τα ελαιόδενδρα, στον δείκτη ανάπτυξης σε συνάρτηση με το βάθος των υποστρωμάτων το πρώτο έτος των μετρήσεων (2010) και οι σημαντικές διαφορές που καταγράφηκαν στα Ελαιόδενδρα καθόλο το δεύτερο έτος (2011), θα πρέπει να αποδοθούν στα αγρονομικά χαρακτηριστικά του κάθε φυτού, που έχουν να κάνουν με τον ρυθμό ανάπτυξης του ριζικού συστήματος του κάθε είδους και στον απαιτούμενο χρόνο που απαιτεί αυτό προκειμένου να εκμεταλλευτεί το διαθέσιμο

όγκο του υποστρώματος, λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη ότι η ελιά αναμένεται να καταπονήθηκε λιγότερο από το πιττόσπορο από την ελλειμματική άρδευση στις συνθήκες του Αθηναϊκού θέρους.

Σύνοψη των συμπερασμάτων της πρώτης μελέτης

- Όλα τα υποστρώματα που συντέθηκαν υποστήριξαν την ανάπτυξη και την επιβίωση ελιάς και πιττόσπορου, σε προσομοίωση εντατικού τύπου φυτεμένου δώματος και σε συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης, χωρίς απώλειες.
- Το κόμποστ μπορεί να αντικαταστήσει την τύρφη σε υποστρώματα φυτεμένων δωμάτων εντατικού τύπου υπό συνθήκες επαρκούς άρδευσης την άνοιξη ή και ελλειμματικής άρδευσης το θέρους.
- Βάθος υποστρώματος μεγαλύτερο των 30 cm είναι παράγοντας επηρεασμού της ανάπτυξης νεαρών ελαιόδεντρων, είτε σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης, είτε με την πάροδο του χρόνου.

6.2. Συμπεράσματα δεύτερης μελέτης

Η χρησιμοποίηση τοπικά διαθέσιμων υλικών για τη σύνθεση υποστρωμάτων κατάλληλων για φυτεμένα δώματα ημιεντατικού τύπου δείχθηκε ότι είναι εφικτή και αποδοτική, αφενός γιατί βρίσκεται σε συμφωνία με τις βασικές οδηγίες του FLL και αφετέρου γιατί υποστήριξε επαρκώς την ανάπτυξη φυτών λεβάντας κατά τη διάρκεια όλων των εποχών και ιδιαίτερα στις σκληρές συνθήκες του Μεσογειακού θέρους, με ελλειμματική άρδευση στο 55% της ET_c . Όλοι οι τύποι υποστρωμάτων υποστήριξαν την ανάπτυξη των φυτών και την επιβίωσή τους κάτω από τις σκληρές συνθήκες του μεσογειακού καλοκαιριού.

Το βάθος του υποστρώματος ήταν ο πιο αποφασιστικός παράγοντας που επηρέασε την ανάπτυξη των φυτών συγκρινόμενος με τον τύπο του υποστρώματος. Τα φυτά της λεβάντας που φυτεύτηκαν στο βάθος των 30 cm είχαν καλύτερη ανάπτυξη συγκρινόμενα με τα υποστρώματα με βάθος 20 cm, καθώς είχαν αυξημένο ριζικό σύστημα, όπως εκφράστηκε με τη μέτρηση του ξηρού βάρους του, είχαν μεγαλύτερο δείκτη ανάπτυξης καθώς και καλύτερους φυσιολογικούς δείκτες όπως η αντίσταση στοματίων, η ολική συγκέντρωση χλωροφυλλών και ο δείκτης SPAD.

Ο τύπος του υποστρώματος αποδείχθηκε λιγότερο σημαίνων και είχε μια διαφοροποιημένη επίδραση, καθώς το υπόστρωμα με κόμποστ ($P_{um65}:C_{30}:Z_5$) ευνόησε την ανάπτυξη των φυτών κατά τη διάρκεια της άνοιξης, τάση που αντιστράφηκε μετά την λίπανση του Μαΐου. Επειδή αυτό ερμηνεύεται από τις μικρές-μέτριες απαιτήσεις τις

λεβάντας σε άζωτο και γενικά από την προτίμησή της σε πτωχά σε θρεπτικά συστατικά εδάφη, θα παρουσίαζε ενδιαφέρον η μελέτη της ανάπτυξης της λεβάντας σε υποστρώματα με κόμποστ και χωρίς την εφαρμογή πρόσθετης λίπανσης.

Σύνοψη των συμπερασμάτων δεύτερης μελέτης

- Όλα τα υποστρώματα που συντέθηκαν υποστήριξαν την επιβίωση και την ανάπτυξη λεβάντας, σε προσομοίωση ημιεντατικού τύπου φυτεμένου δώματος και σε συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης, χωρίς απώλειες.
- Η χρήση κόμποστ είναι ανταγωνιστική της τύρφης, ωστόσο στην επιλογή για καλλιέργεια λιτοδίαιτων φυτών τύπου λεβάντας, η περιορισμένη χρήση του φαίνεται η ενδεικνυόμενη τακτική.
- Το μεγαλύτερο βάθος υποστρώματος, είναι παράγοντας θετικού επηρεασμού της ανάπτυξης της λεβάντας, είτε την άνοιξη με επαρκή άρδευση είτε το θέρος με ελλειμματική άρδευση.

6.3.Συμπεράσματα τρίτης μελέτης

Δύο πλήρως αδρανή υποστρώματα και ένα τρίτο με 30% τύρφη στη σύστασή του, υποστήριξαν ανταγωνιστικά την επιβίωση και ανάπτυξη χλοοτάπητα *Festuca arundinacea*, σε συνθήκες πλήρους άρδευσης και σταθερά εφαρμοζόμενης υδρολίπανσης.

Ο χλοοτάπητας ποικιλιών *Festuca arundinacea* σε τρία αρδευόμενα υποστρώματα, βάθους 20 και 10 cm , δείχνει να επηρεάζεται κυρίως από τον παράγοντα βάθος και συγκεκριμένα ως προς το ξηρό βάρος υπολειμμάτων κοπής, το περιεχόμενο χλωροφυλλών_{a+b} και το δείκτη SPAD. Και τα τρία υποστρώματα υποστήριξαν ανταγωνιστικά την ανάπτυξη του χλοοτάπητα σε συνθήκες πλήρους άρδευσης.

Σε δοκιμή καταπόνησης με διακοπή της άρδευσης, ο χλοοτάπητας σε υπόστρωμα με πετροβάμβακα υπέστη διπλάσιας έντασης βλάβη της οπτικής του ποιότητας σε σχέση με τα δύο άλλα υποστρώματα και κυρίως το μικρό βάθος (10 cm) σε σχέση με το μεγάλο (20 cm).

Σύνοψη των συμπερασμάτων τρίτης μελέτης

- Όλα τα υποστρώματα, είτε κοκκώδη αδρανή είτε πλήρως αδρανείς ανόργανες ινώδεις πλάκες πετροβάμβακα που δοκιμάστηκαν, υποστήριξαν την επιβίωση και την ανάπτυξη του χλοοτάπητα, σε προσομοίωση ημιεντατικού τύπου φυτεμένου δώματος και σε συνθήκες πλήρους άρδευσης, χωρίς απώλειες.
- Η υδρολίπανση συντήρησε και υποστήριξε επιτυχώς την ανάπτυξη χλοοτάπητα στα αδρανή υποστρώματα.

- Το μεγαλύτερο βάθος υποστρώματος, είναι παράγοντας θετικού επηρεασμού της ανάπτυξης χλοοτάπητα, σε συνθήκες πλήρους άρδευσης.

6.4. Κοινός τόπος των μελετών στον αγρό

Η αντιμετώπιση των φυτεμένων δωμαίων εντατικού και ημιεντατικού τύπου με όρους εκτατικού τύπου, σε σχέση με τα υλικά, την επιλογή φυτών και την ελαχιστοποίηση της συντήρησης, συνιστά μια προσαρμόσιμη στο Μεσογειακό κλίμα προσέγγιση.

Βάθος υποστρώματος

Όσον αφορά τον παράγοντα βάθος, τα βαθύτερα υποστρώματα, χαρακτηριστικό των εντατικού και ημιεντατικού τύπου φυτεμένων δωμαίων, δείχνουν στην ελιά, τη λεβάντα και τον χλοοτάπητα καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τα μικρότερου βάθους, όσον αφορά δείκτες ανάπτυξης των φυτών (GI, ξηρό βάρος, περίμετρο κορμού), μέσω της στρατηγικής της αποφυγής με καλύτερη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και εκμετάλλευση του διαθέσιμου όγκου υποστρώματος.

Τα βαθύτερα υποστρώματα έδειξαν επίσης αυξημένη περιεκτικότητα χλωροφυλλών και τιμών του δείκτη SPAD στη λεβάντα, κάτω από συνθήκες επαρκούς άρδευσης την άνοιξη και καταπόνησης το καλοκαίρι.

Τύπος υποστρώματος

Όσον αφορά τον τύπο των υποστρωμάτων καταγράφηκε μικρή διαφοροποίηση μόνο στον τον χλοοτάπητα, στο υπόστρωμα με περλίτη στη σύστασή του και μόνο κατά τη διάρκεια της άνοιξης, όταν τα πειραματικά τεμάχια υπεραρδεύονταν. Ωστόσο ήταν το υπόστρωμα με κόμποστ που προσέφερε σαφές πλεονέκτημα στην ελιά και το πιττόσπορο σχετικά με τους δείκτες ανάπτυξης (GI ή περίμετρο κορμού) και αποτελεί εναλλακτική λύση για την τύρφη κάτω από συνθήκες επαρκούς ή ελλειμματικής άρδευσης.

Στη λεβάντα, το κόμποστ ευνόησε την ανάπτυξη μόνο την άνοιξη, ενώ κατά τη θερινή καταπόνηση, στα υποστρώματα με περλίτη και τύρφη στη σύστασή τους καταγράφηκαν μεγαλύτερες τιμές του δείκτη ανάπτυξης, όχι όμως και της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλες.

Στον χλοοτάπητα δεν δοκιμάστηκε το κόμποστ, αλλά τη θέση του στο πειραματικό σχέδιο πήρε ο πετροβάμβακας, ο οποίος επέδειξε ανταγωνιστική συμπεριφορά ως υπόστρωμα ανάπτυξης της *Festuca arudinaceae*, κάτω από συνθήκες επαρκούς άρδευσης δεχόμενος ίδιες ποσότητες νερού και λιπασμάτων με τα δύο άλλα υποστρώματα, αλλά όχι σε μεγάλο μεσοδιάστημα άρδευσης. Με διακοπή της άρδευσης για πλέον των πέντε ημερών κατέγραψε μη αντιστρεπτή ξήρανση.

Γενικά το συμπέρασμα είναι ότι η κατασκευή φυτεμένων δωμαίων βασισμένη σε υποστρώματα από τοπικά διαθέσιμα ελαφρά υλικά, που μπορεί να αναμιχθούν έτσι ώστε

να έχουν υψηλή υδατοϊκανότητα, σε συνδυασμό με ανθεκτικά στην ξηρασία φυτά και σε συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης, συνιστούν μια προσαρμόσιμη προσέγγιση, η οποία υπηρετεί μια αειφορική εκδοχή για τα σύγχρονα κτίρια και πόλεις στη Μεσογειακή ζώνη. Ενδιαφέρον θα είχε η μελέτη συνδυασμού πετροβάμβακα και παχύφυτων τύπου CAM τα οποία έχουν τη δυνατότητα επιβίωσης και ανάπτυξης σε πολύ μικρότερες περιεκτικότητες νερού.

ΜΕΡΟΣ Β.
ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΥΤΕΜΕΝΟΥ ΔΩΜΑΤΟΣ

VII. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΘΑΛΑΜΟ ΔΟΚΙΜΩΝ-ΚΑΠΕ.

Τρία διαφορετικά υποστρώματα τα οποία συντέθηκαν και δοκιμάστηκαν αγρονομικά στο ΓΠΑ, αξιολογήθηκαν για τη συμβολή τους στη βελτίωση της θερμικής απόδοσης των κτιρίων. Για τον σκοπό αυτό, πέντε συστήματα φυτεμένων δωμάτων, συνδυασμός τριών υποστρωμάτων σε βάθος 10 cm με φύτευση χλόης καθώς και των δύο εξ αυτών σε βάθος 20 cm και με φύτευση λεβάντας, εγκαταστάθηκαν στη θέση μετακινούμενης οροφής (Εικ. 7.1.), Θαλάμου Δοκιμών του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο Πικέρμι Αττικής (37°58'N, 23°55'E, 130 m), ο οποίος αναπτύχθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στο πλαίσιο του προγράμματος PASSYS (PASsive Solar Components and Systems Testing) το 1986.



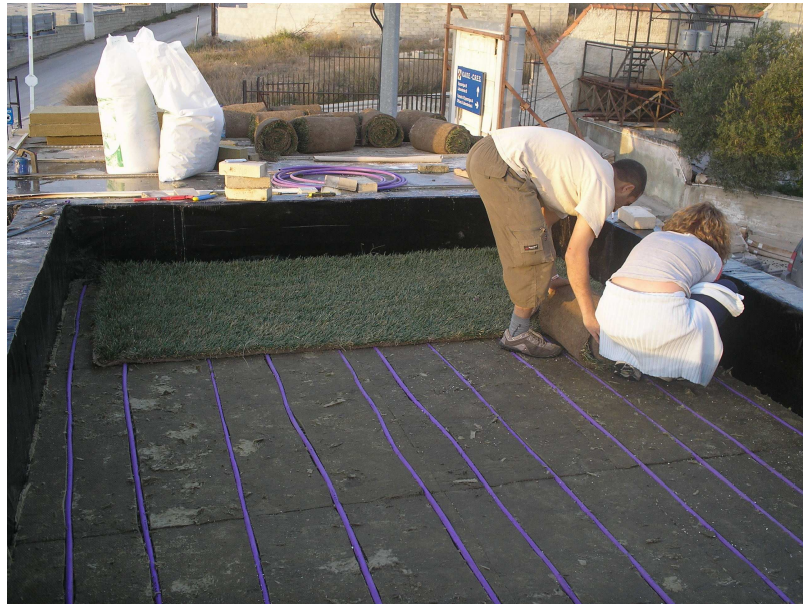
Εικόνα 7.1. Αφαίρεση της μετακινούμενης οροφής, στο θάλαμο δοκιμών PASSYS του ΚΑΠΕ.

7.1.1. Υποστρώματα φυτεμένων δωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν

Τα πέντε διαφορετικά συστήματα φυτοδωμάτων που δοκιμάστηκαν ήταν: 1 πετροβάμβακας πάχους 8 cm και πυκνότητας $150 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ + 2 cm έδαφος με έτοιμο χλοοτάπητα *Festuca arundinacea* (Εικ. 7.2.). 2. Μίγμα Κίσηρης 65% + Τύρφης 30% + Ζεόλιθου 5% ($\text{P}_{65}:\text{P}_{30}:\text{Z}_5$), βάθους 8 cm + 2 cm έδαφος με χλοοτάπητα *Festuca arundinacea* (Εικ. 7.3.). 3. μίγμα εδάφους 30%, Περλίτη 65% και Ζεόλιθου 5% ($\text{S}_{30}:\text{P}_{65}:\text{Z}_5$) βάθους 8 cm + 2 cm έδαφος με έτοιμο χλοοτάπητα *Festuca arundinacea* (Εικ. 7.4.). Το 4^ο και 5^ο υπόστρωμα ήταν επανάληψη του 2^{ου} και 3^{ου} αλλά με βάθος 20 cm και με φύτευση *Lavandula angustifolia* (Εικ. 7.5.).

Στον Πίνακα 5.1 δίδονται οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων αυτών, στο Διάγραμμα 3.1 η κατανομή της κοκκομετρίας τους, ενώ στο Διάγραμμα 5.1. οι

χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας τους. Αναλυτικότερα τα υποστρώματα και τα κριτήρια επιλογής τους έχουν ήδη περιγραφεί στα πειράματα αγρού



Εικόνα 7.2. Εγκατάσταση του πρώτου δοκιμίου φυτεμένου δώματος με υπόστρωμα πετροβάμβακα , υπόγειο σύστημα στάγδην άρδευσης και εδαφοκάλυψη έτοιμου χλοοτάπητα από μίγμα ποικιλιών *Festuca arundinacea*. Λήψη 26/02/2008.



Εικόνα 7.3. Εγκατάσταση δεύτερου δοκιμίου επί της οροφής του Θαλάμου δοκιμών στο ΚΑΠΕ, με υπόστρωμα μίγμα κίσηρης, τύρφης και ζεόλιθου και φύτευση πάλι από χλοοτάπητα αποτελούμενου από μίγμα ποικιλιών *Festuca arundinacea*. Με βέλος σημειώνεται το κανάλι απορροής των στραγγισμάτων.



Εικόνα 7.4. Εγκατάσταση του τρίτου δοκιμίου φυτεμένου δώματος επί της οροφής του Θαλάμου δοκιμών στο ΚΑΠΕ, με υπόστρωμα μίγμα περλίτη, εδάφους και ζεόλιθου και φύτευση έτοιμου χλοοτάπητα αποτελούμενου από ποικιλίες του είδους *Festuca arundinacea*.



Εικόνα 7.5. Εγκατάσταση δοκιμίου φυτεμένου δώματος επί της οροφής του Θαλάμου δοκιμών στο ΚΑΠΕ, με υπόστρωμα βάθους 20 cm και φύτευση με *Lavandula angustifolia*.

7.1.2. Κατασκευή δοκιμών φυτοδωμάτων

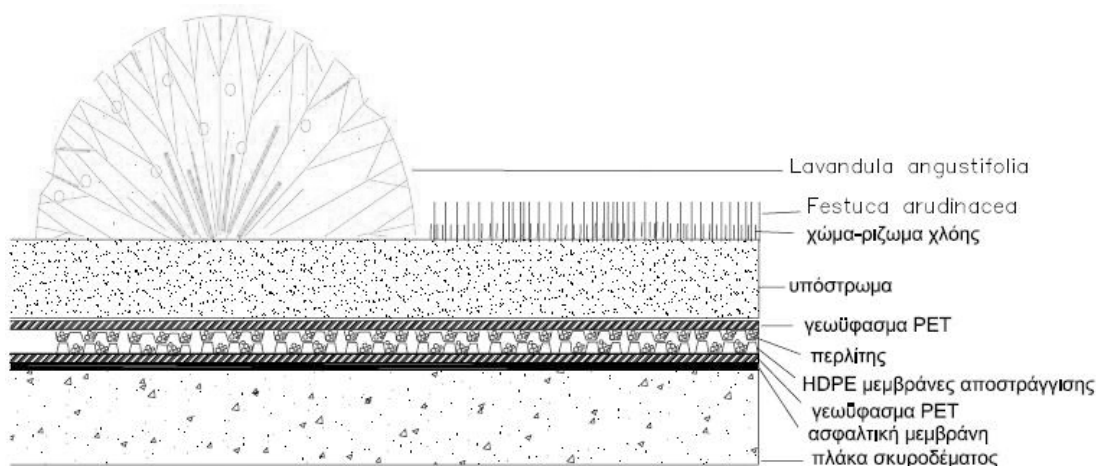
Το στοιχείο που μετρήθηκε ήταν το κάθε σύστημα φυτεμένου δώματος πάνω σε πλάκα σκυροδέματος 12 cm, που τοποθετήθηκε στη θέση της μετακινούμενης οροφής του θαλάμου (Εικ. 7.6.).



Εικόνα 7.6. Τοποθέτηση πλάκας σκυροδέματος πάχους 12 cm, ως οροφή του θαλάμου δοκιμών, επί του κατάλληλου ξυλότυπου. Λήψη 12/01/2008.

Συνολικά μετρήθηκαν πέντε στοιχεία, δηλαδή κατασκευάστηκαν σε πραγματική κλίμακα 5 διαφορετικά συστήματα φυτοδωμάτων, διαφοροποιούμενα ως προς τον τύπο ή το βάθος του υποστρώματος, τηρουμένων ίδιων των λοιπών επιπέδων διαστρωμάτωσης της υποδομής. Και τα πέντε συστήματα φυτεμένων δωματίων κατασκευάστηκαν με τον ίδιο βασικό τρόπο. Το σύστημα απαρτίζεται από πολυεπίπεδη διάστρωση υλικών για τον επαρκή αερισμό και στράγγιση του ριζικού συστήματος των φυτών (Εικ. 7.7.).

Το υδατοστεγανωτικό επίπεδο αποτελούνταν από μια διπλή στρώση ασφαλικών μεμβρανών. Κάθε ασφαλική μεμβράνη είχε πάχος 4 mm, βάρος 4 kg m^{-2} και συνίστατο από επεξεργασμένη άσφαλτο, τροποποιημένη με θερμοπλαστικό πολυμερές και αναμιγμένη με ένα ειδικό χημικό (Preventol B2), για την παρεμπόδιση της διάτρησης τους από τις ρίζες. Επιπλέον είχαν ενσωματωμένες πολυεστερικές ίνες σε ποσότητα 200 g m^{-2} . Η πρώτη στρώση εφαρμόστηκε ύστερα από επάλειψη της επιφάνειας του δώματος με ασφαλικό βερνίκι και επικόλληση με θέρμανση. Η δεύτερη στρώση εφαρμόστηκε ύστερα από πλήρη θέρμανση της πρώτης υποκείμενης στρώσης. Στη συνέχεια για τη μηχανική προστασία της υδατοστεγανωτικής στρώσης, διαστρώθηκε μη υφασμένο γεωύφασμα από PET (Polyester), παρασκευασμένο με τυχαία διάταξη των ινών και βάρους 150 g m^{-2} .



Εικόνα 7.7. Τομή του στοιχείου που μετρήθηκε, όπου διακρίνεται η πλάκα σκυροδέματος μαζί με το πολυ-επίπεδο σύστημα φυτεμένου δώματος.

Το αποστραγγιστικό επίπεδο του συστήματος κατασκευάστηκε με την εφαρμογή δύο στρώσεων αποστραγγιστικών μεμβρανών από πεπαχυμένο HDPE, οι κενές κοιλότητες των οποίων λειτουργούσαν ως αποθήκη νερού και επιπλέον είχαν γεμισθεί με περλίτη για να διαχειρίζεται αποδοτικότερα το αποθηκευμένο νερό. Το αποστραγγιζόμενο νερό απομακρύνονταν στη συνέχεια από το δώμα, μέσω τεσσάρων καναλιών απορροής, ένα σε κάθε γωνία της οροφής του θαλάμου δοκιμών (Εικ. 7.3.). Το αποστραγγιστικό επίπεδο διαχωρίστηκε από το υπόστρωμα με τη διάστρωση μη υφασμένου γεωυφάσματος από PET (Polyester), επίσης βάρους 150 g m^{-2} .

Η άρδευση και η λίπανση του χλοοτάπητα και των φυτών λεβάντας υποστηρίχθηκε από κλειστό βρόγχο αρδευτικού δικτύου σταλακτοφόρων αγωγών διαμέτρου $d=\varnothing 16 \text{ mm}$, αυτορρυθμιζόμενης ομοιομορφίας παροχής σε εύρος πιέσεων λειτουργίας από 0,5 έως 4 bar. Στο χλοοτάπητα το δίκτυο εγκαταστάθηκε υπόγεια και στα δοκίμια εφαρμόστηκε υδρολίπανση όπως στις μελέτες αγρού.

7.2. Εξοπλισμός και Μεθοδολογία

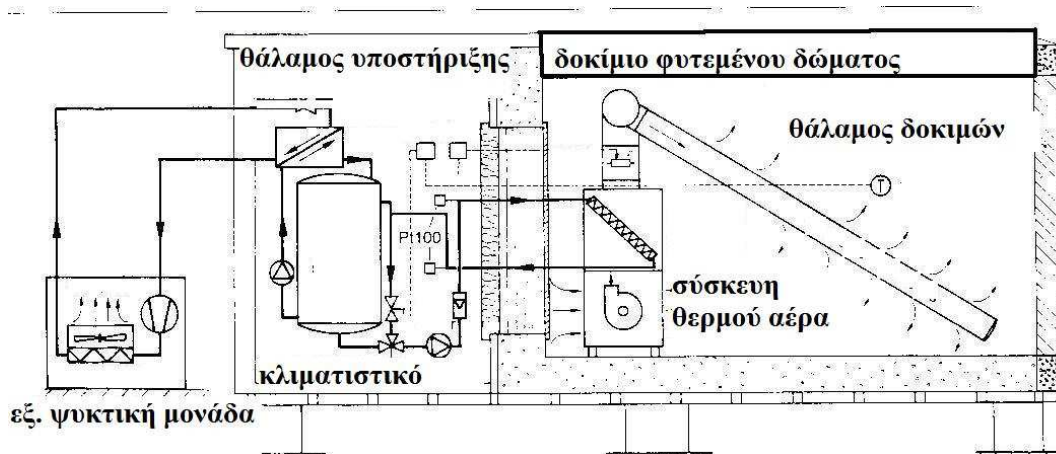
7.2.1. Ο Θάλαμος δοκιμών

Οι μετρήσεις δεν ήταν ούτε ταυτόχρονες ούτε συνεχείς, καθώς η κατασκευή κάθε συστήματος φυτεμένου δώματος ακολουθούσε μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων στο προηγούμενο. Ωστόσο αυτό δεν είναι πρόβλημα επειδή το σύστημα στο οποίο λαμβάνονται οι μετρήσεις είναι ανοικτό στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες και με δυναμικά μεταβαλλόμενες συνθήκες στο εσωτερικό του. Έτσι, οι μετρήσεις εξελίσσονται συνολικά κάτω από δυναμικές συνθήκες, ενώ ταυτόχρονα λαμβάνονταν αποτελεί μια

σειρά μετρήσεων περιβαλλοντικών παραμέτρων προκειμένου να συλλεχθούν τα δεδομένα που ακολούθως θα εισάγονταν στο κατάλληλο λογισμικό, για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας (U), το οποίο αποτελεί μέτρο της θερμικής απόδοσης του κάθε συστήματος.

Ο Θάλαμος Δοκιμών, αφορά τυποποιημένη διάταξη ελέγχου δομικών στοιχείων και χρησιμοποιείται η μεθοδολογία για τη θερμική αξιολόγηση υλικών και συστημάτων του κελύφους των κτιρίων (Dimoudi et al., 2006), που αναπτύχθηκε από το διευρωπαϊκό πρόγραμμα PASLINK (Wouters and Vandaele, 1995). Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα ψευδοαδιαβατικό κέλυφος που ελαχιστοποιεί τις θερμικές απώλειες από όλες τις πλευρές του Δωματίου δοκιμών εκτός αυτής που εξετάζεται, που στην περίπτωση μας είναι η οροφή. Με άλλα λόγια είναι ένας υψηλοτάτης θερμομόνωσης, πρακτικά θερμικά αδιαβατικός θάλαμος τοποθετημένος στο εξωτερικό περιβάλλον, με διαστάσεις 8.4 m x 3.8 m x 3.6 m.

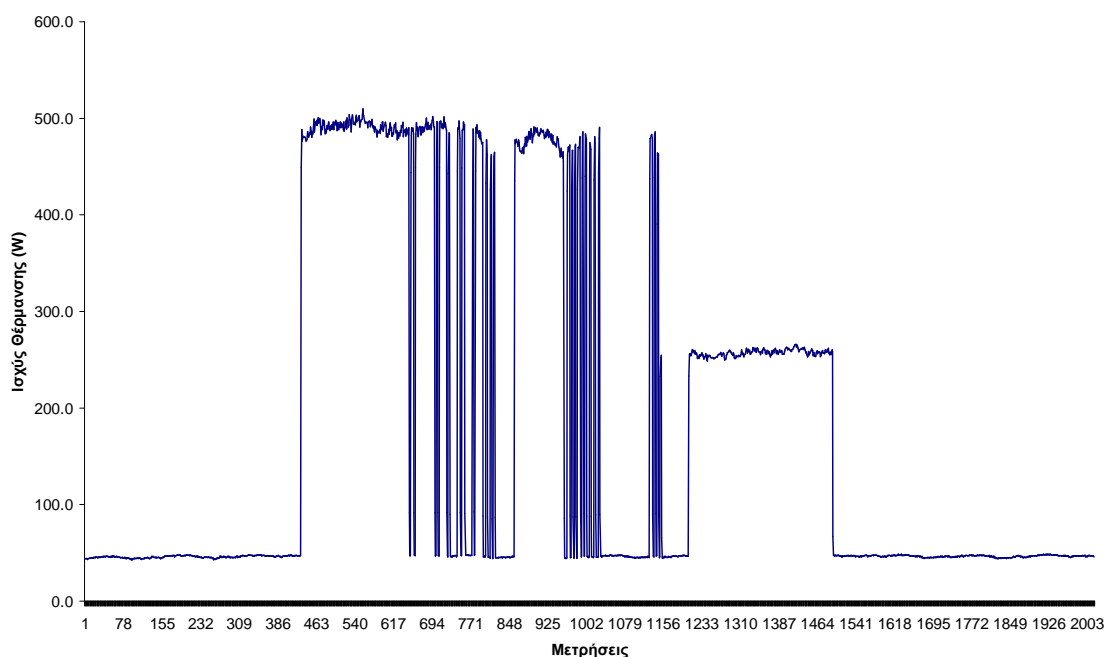
Ο Θάλαμος δοκιμών αποτελείται από δύο τμήματα: το καθαυτό Θάλαμο ελέγχου με διαστάσεις 2,75 m x 2,75 m x 5,00 m , εμβαδού 13,75 m² , όσο και το εμβαδόν του κάθε φυτεμένου δώματος που κατασκευάζεται, και το βοηθητικό θάλαμο ο οποίος φιλοξενεί βοηθητικό εξοπλισμό για την εκτέλεση των διαδικασιών ελέγχου (Εικ. 7.8.). Στο Θάλαμο δοκιμών οι ροές θερμότητας μετρούνται στο στοιχείο που έχει αντικατασταθεί, τοίχος ή παράθυρο σε οποιαδήποτε πλευρά ή και στην οροφή.



Εικόνα 7.8. Διαγραμματική απεικόνιση του θαλάμου δοκιμών του ΚΑΠΕ με το σύστημα ψύξης και δροσισμού. Τροποποιημένη εικόνα από το εγχειρίδιο του προγράμματος PASSYS.

Το κύριο χαρακτηριστικό του θαλάμου δοκιμών είναι οι πλήρως ελεγχόμενες θερμικές συνθήκες στο θάλαμο ελέγχου. Ο θάλαμος δοκιμών είναι εξοπλισμένος με ένα εξελεγμένο

σύστημα θέρμανσης και ψύξης, ελεγχόμενο από μια Μονάδα Συλλογής Δεδομένων και Ελέγχου για την εκτέλεση μιας ειδικά σχεδιασμένης ακολουθίας δυναμικών δοκιμών. Η ακολουθία αυτή συνίσταται σε μια σειρά προκαθορισμένων θερμικών διεγέρσεων (Διάγ. 7.2.), ειδικά σχεδιασμένων να καλύψουν όλα τα σταθερές και δυναμικής κατάστασης χαρακτηριστικά των μετρούμενων στοιχείων και να διασφαλίσουν ότι όλες οι επιδράσεις των περιβαλλοντικών επιρροών, είναι αποσυσχετισμένες (Παράρτημα, Π2. Θερμική ακολουθία). Αυτό δηλαδή που επιτυγχάνει η ακολουθία θερμικών διεγέρσεων, είναι μεγάλη παραλλακτικότητα στο θερμικό ισοζύγιο του θαλάμου, σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.



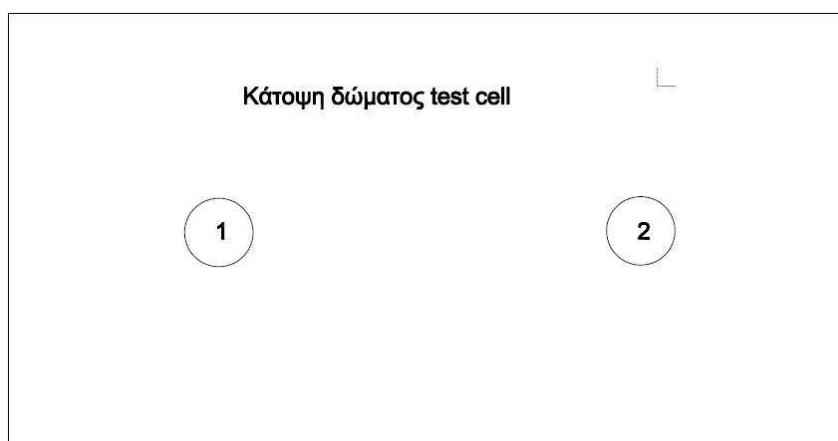
Διάγραμμα 7.2. Χαρακτηριστική ακολουθία θερμικών διεγέρσεων μέσω προκαθορισμένης διακύμανσης της ισχύος θέρμανσης.

Οι εξωτερικές συνθήκες, καταγράφονταν μέσω μιας σειράς αισθητήρων για την μέτρηση των παρακάτω παραμέτρων: α) Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, β) διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου, γ) σχετική υγρασία. Οι περιβαλλοντικές παράμετροι ελήφθησαν από σταθμό ηλιακών και μετεωρολογικών μετρήσεων του ΚΑΠΕ, όπου χρησιμοποιήθηκαν τα όργανα που περιγράφονται στο Παράρτημα Π.3.

Ο μόνιμος εξοπλισμός αισθητήρων του Θαλάμου Δοκιμών χρησιμοποιούνταν για την παρακολούθηση της θερμικής απόδοσης αυτού καθαυτού του Δωματίου Ελέγχου. Καταγράφονταν με βήμα δεκάλεπτου οι παρακάτω παράμετροι: α) οι θερμοκρασίες αέρα και επιφανειών μέσα και έξω από το θάλαμο, β) Η καταναλισκόμενη ισχύς για θέρμανση ή

ψύξη. Οι συνθήκες των θαλάμων ήταν υπό παρακολούθηση και πλήρως ελεγχόμενες μέσω μιας σειράς αισθητήρων συνδεδεμένων με το σύστημα θέρμανσης και ψύξης. Ο μόνιμος εξοπλισμός αναφέρεται στο Παράρτημα ΠΙΙ.5. και οι θέσεις των αισθητήρων του τυπικού εξοπλισμού, παρουσιάζονται στις Εικόνες Π.9 και Π.10. (Παράρτημα ΙΙ.3.) Για το σκοπό της ανάλυσης έχει υποθεθεί ότι η ροές θερμότητας από το κέλυφος του θαλάμου δοκιμών έχουν άθροισμα μηδέν. Για την ακρίβεια η διαφορά θερμοκρασίας εγκάρσια των τοιχωμάτων του, ελέγχονταν μεταξύ -0.15 και $+0.10$ °C.

Περαιτέρω για την αξιολόγηση της θερμικής απόδοσης του συστήματος φυτεμένου δώματος, εγκαταστάθηκαν πρόσθετοι αισθητήρες. Δύο αισθητήρες θερμοκρασίας επιφανείας: Θερμοζεύγη Τ-τύπου (Χαλκού-Κωνσταντάνης) με εύρος λειτουργίας -250 έως 400 °C και τάση εξόδου 42 mV/°C (UTEKO A.B.E.E., Πειραιάς), εφαρμοσμένοι στο ταβάνι του Θαλάμου Ελέγχου και δύο αισθητήρες ροής θερμότητας κατασκευής του Ινστιτούτου TNO-BOUW (Laan van Westenenk 501. P.O. Box 342. Apeldoorn . 7300 AH. Netherlands). Στο υπόστρωμα του κάθε φυτεμένου δώματος τοποθετήθηκαν δύο αισθητήρες υγρασίας τύπου ML2X (Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK), οι οποίοι μετρούν τάση ηλεκτρικού ρεύματος (mV), η οποία μετατρέπονταν (Whalley, 1993) στη συνέχεια σε περιεκτικότητα υγρασίας κατ' όγκο (Θν%). Η τοποθέτηση των αισθητήρων έγινε συμμετρικά στα κέντρα 1 και 2, δύο τμημάτων της επιφάνειας του δώματος στα οποία χωρίστηκε νοητά (Εικ. 7.9.). Γενικά οι μετρήσεις στο θάλαμο δοκιμών έγιναν φθινόπωρο, χειμώνα, άνοιξη.



Εικόνα 7.9. Κάτοψη του δώματος του θαλάμου ελέγχου. Στις θέσεις 1 και 2 τοποθετήθηκαν, εσωτερικά οι αισθητήρες ροής θερμότητας και θερμοκρασίας εσωτερικής επιφάνειας και εξωτερικά, θερμοκρασίας διαστρώσεων, θόλου φυτείας και υγρασίας υποστρώματος, έτσι ώστε ο καθένας να επαναλαμβάνεται δύο φορές.

7.3 Διαδικασία μετρήσεων και υπολογισμών

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε τρία στάδια:

Στάδιο 1: Σκοπός αυτού του σταδίου ήταν να ληφθούν μετρήσεις παραμέτρων που σχετίζονται με τις θερμικές ιδιότητες των υπό δοκιμή στοιχείων (των πέντε διαφορετικών συστημάτων φυτεμένων δωματίων), που θα επέτρεπαν την αξιολόγηση της θερμικής τους απόδοσης με κριτήριο τον συντελεστή θερμοπερατότητας U .

Στάδιο 2: Στο στάδιο αυτό υπολογίστηκαν τα U των δοκιμών, με τη χρήση ειδικού λογισμικού και επίσης προσδιορίστηκαν το U μιας τυπικής οροφής κτιρίου σύμφωνα με το πρότυπο EN 6946 και τον Ελληνικό κανονισμό για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) και το U της οροφής του βιοκλιματικού κτιρίου του ΚΑΠΕ, λαμβανομένου ως παράδειγμα κτιρίου με υψηλή θερμομόνωση, με σκοπό να συγκριθούν με τα U που υπολογίστηκαν για τα συστήματα φυτεμένων δωματίων.

Στάδιο 3: Στο στάδιο αυτό υπολογίστηκε η επίδραση των διαφόρων τύπων φυτεμένων δωματίων στο θερμικό ισοζύγιο βασικών τύπων κτιρίων και η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας από την εγκατάστασή τους, με την χρήση του λογισμικού ενεργειακής προσομοίωσης φυσικών συστημάτων, TRNSYS.

7.3.1. Καταγραφή δεδομένων

Όλες οι μετρήσεις από τον Θάλαμο Δοκιμών συλλέγονταν από ένα κεντρικό Καταγραφικό HP-DAS 3852A (Εικ. 7.10.) ανά λεπτό και δεκάλεπτο. Η παρακολούθηση της καταγραφής και ο έλεγχος του εξοπλισμού γινόταν μέσω ειδικού λογισμικού επικοινωνίας (interface) που αναπτύχθηκε ειδικά για το σκοπό αυτό, πάνω στην πλατφόρμα προγραμματισμού Agilent VEE (Telemetry O.E., Αθήνα) και αντικατέστησε το πεπαλαιωμένο λογισμικό SADAT που είχε αναπτυχθεί από το πρόγραμμα PASLINK.



Εικόνα 7.10. Το καταγραφικό (HP-DAS 3852A) και παρακολούθηση των μετρήσεων και των εντολών ελέγχου μέσω λογισμικού interface στο PC.

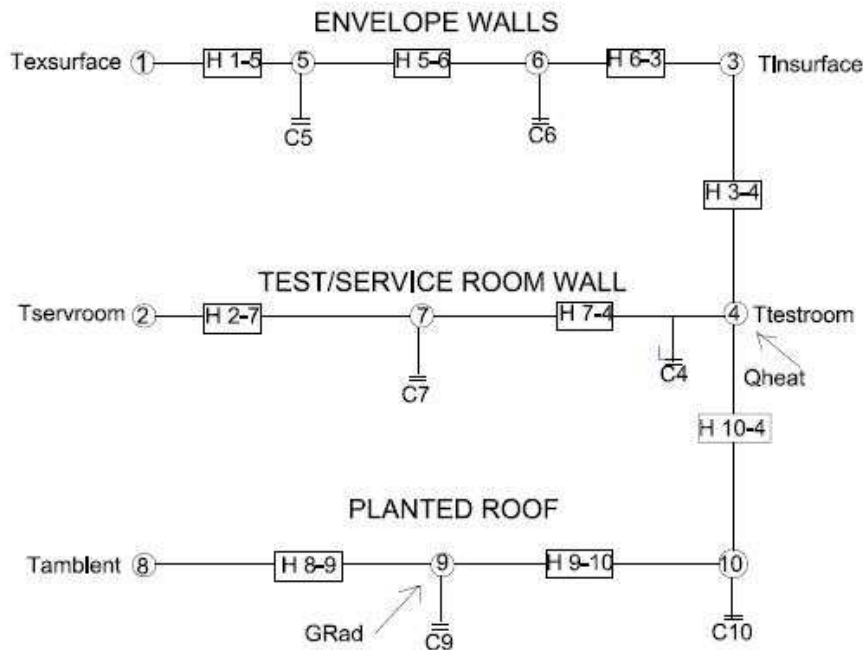
7.3.2.. Μοντέλο υπολογισμού

Οι μετρήσεις μετά από επεξεργασία εισάγονταν σε ειδικό λογισμικό (LORD), το οποίο επίσης αναπτύχθηκε στα πλαίσια του διευρωπαϊκού προγράμματος PASLINK, για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας U. Για την εφαρμογή του προγράμματος μοντελοποιήθηκε η θερμική συμπεριφορά του θαλάμου και του φυτεμένου δώματος σαν ένα RC δίκτυο (αντίστοιχο του ηλεκτρικού κυκλώματος αντίστασης-πυκνωτή), όπου διακρίτοποιείται το πεδίο θερμοκρασιών διαμέσου της οροφής ή του τοίχου, με τον ορισμό ενός ορισμένου αριθμού κόμβων, που ο καθένας έχει την δική του θερμοκρασιακή εξέλιξη σε συνάρτηση με το χρόνο. Οι κόμβοι χαρακτηρίζονται από θερμικές αγωγιμότητες ($H=MJ K^{-1}$) και έχουν ορισμένες χωρητικότητες θερμότητας ($C=W K^{-1}$) και το μεταξύ τους πεδίο θερμοκρασιών θεωρείται γραμμικό. Αγωγιμότητες και χωρητικότητες των κόμβων των στοιχείων του κελύφους, έχουν υπολογισθεί κατά τη διαδικασία στάθμισης του Θαλάμου Δοκιμών του προγράμματος PASILK και εμπεριέχονται στο LORD. Κάθε πρόσθετη πηγή θερμότητας (από θέρμανση ή ηλιακή ακτινοβολία, κ.ά.), ή ροή, μετρείται και εισάγεται στον κατάλληλο κόμβο για την κάθε περίπτωση με την ανάλογη διαμόρφωση του μοντέλου RC.

Τα δεδομένα από τις μετρήσεις και την επεξεργασία τους, που χρησιμοποιήθηκαν ως εισαγόμενα για την ανάλυση στο LORD, ήταν τα ακόλουθα:

- T_{tr} : εσωτερική θερμοκρασία αέρα στο Δωμάτιο Ελέγχου (μέσος όρος 7 αισθητήρων)
- T_{sr} : εσωτερική θερμοκρασία αέρα στο βοηθητικό Δωμάτιο
- T_{exsur} : εξωτερική θερμοκρασία επιφανειών Δωματίου ελέγχου (μέσος όρος 27 αισθητήρων)
- T_{insur} : εσωτερική θερμοκρασία επιφανειών στο Δωμάτιο Ελέγχου (μέσος όρος 27 αισθητήρων)
- T_{amb} : Θερμοκρασία αέρα περιβάλλοντος
- Q_{he} : Ολική ισχύς θερμότητας προσφερόμενης στο Δωμάτιο ελέγχου
- H_{flux} : Ρυθμός Ροής θερμότητας μέσω του στοιχείου συστήματος φυτεμένου δώματος
- $GIHRad$: Ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο

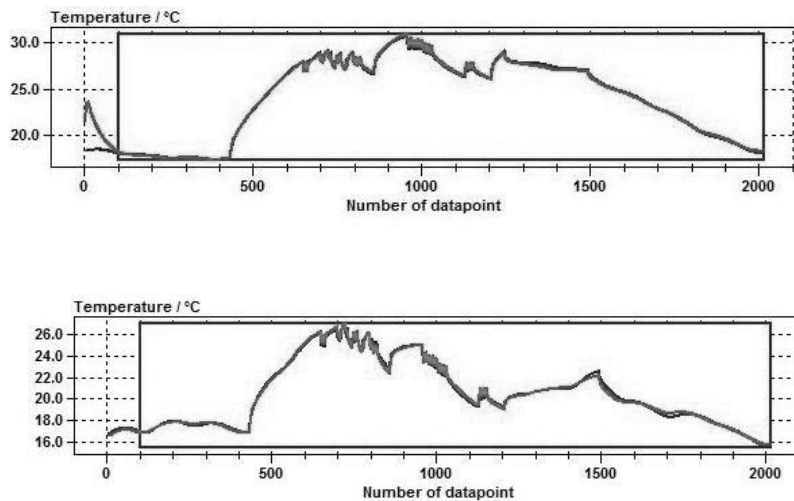
Το μοντέλο RC-δικτύου που παράχθηκε και στη βάση του οποίου έκανε τους υπολογισμούς το LORD, παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.11. Αυτό το μοντέλο αναπτύχθηκε για τα συγκεκριμένα πειράματα ως τροποποίηση υφισταμένου μοντέλου που αναπτύχθηκε από το πρόγραμμα PASLINK για δομικά στοιχεία.



Εικόνα 7.11: Το μοντέλο RC-δικτύου, βάσει του οποίου το λογισμικό LORD υπολόγισε το συντελεστή θερμοπερατότητας U. Αποτελεί τροποποίηση του μοντέλου που αναπτύχθηκε από το πρόγραμμα PASLINK για δομικά στοιχεία.

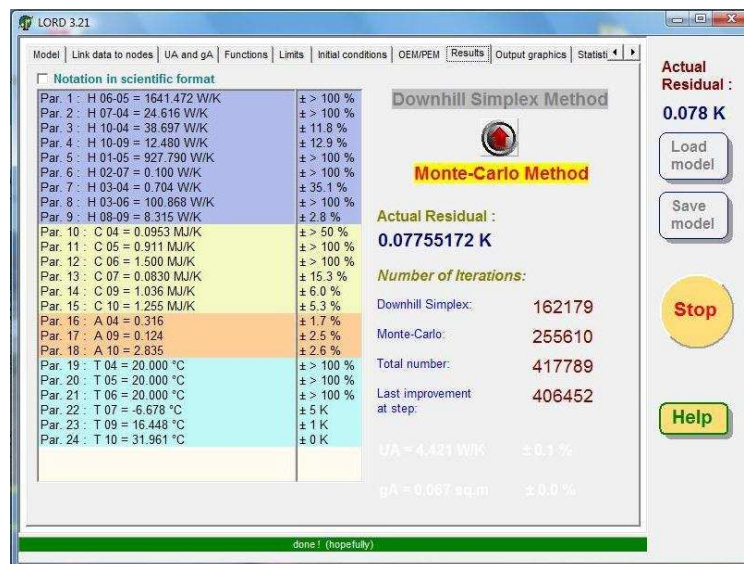
Το λογισμικό χρησιμοποιεί δύο μη-ντετερμινιστικές μεθόδους. Την μέθοδο Downhill Simplex και την μέθοδο Monte-Carlo. Αυτές οι μέθοδοι ανήκουν σε μια κατηγορία υπολογιστικών αλγορίθμων κατάλληλων για ηλεκτρονικούς υπολογιστές που βασίζονται σε ένα επαναλαμβανόμενο τυχαίο δείγμα για υπολογίσουν το αποτέλεσμα. Η μέθοδος βρίσκει εφαρμογή οπουδήποτε προκύπτει ο σκόπελος της εκθετικής υπολογιστικής πολυπλοκότητας (ένα ολοκλήρωμα με πολλές παραμέτρους-μεταβλητές) και το υπό ανάλυση μοντέλο υπάγεται σε διαδικασίες κανονικής κατανομής και ανάλυσης με τυχαίους αριθμούς. Η βασική ιδέα της μεθόδου είναι ότι μπορούμε να αντικαταστήσουμε ένα ντετερμινιστικό πρόβλημα με ένα πιο απλό πιθανοκρατικό, αντίστοιχο.

Προκειμένου να επιβεβαιωθεί η εγκυρότητα των υπολογισμών, το λογισμικό LORD υπολογίζει παράλληλα μια παράμετρο που έχει ήδη μετρηθεί με αισθητήρα και στο προκείμενο, τη θερμοκρασία του Θαλάμου Ελέγχου, και δίνει την συμφωνία (επικάλυψη) τους σε διαγράμματα (Διάγ. 7.3.) και αριθμητικά (υπόλοιπο) σε ειδικό παράθυρο για τα αποτελέσματα (Εικ. 7.12.).



Διάγραμμα 7.3. Σύγκριση μετρούμενης και υπολογιζόμενης θερμοκρασίας αέρα στο εσωτερικό του Δωματίου Ελέγχου. Το επάνω διάγραμμα αφορά τη σύγκριση στο στοιχείο συστήματος φυτεμένου δώματος με υπόστρωμα περλίτη και το κάτω στο στοιχείο με υπόστρωμα κίσηρη. Τα διαγράμματα προέρχονται από τους υπολογισμούς του λογισμικού LORD.

Η Εικόνα 7.12., δείχνει την ολοκλήρωση μιας διαδικασίας υπολογισμού του U μετά από 400 χιλιάδες περίπου επαναλήψεις επίλυσης του αλγόριθμου και με υπόλοιπο, τη διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας αέρα του Θαλάμου Ελέγχου που μετρήθηκε και αυτής που υπολογίστηκε, σε 0,078 K. Το χαμηλό υπόλοιπο είναι επίσης κριτήριο της ακρίβειας των υπολογισμών.



Εικόνα 7.12. Παράθυρο του λογισμικού LORD, που εμφανίζει την ολοκλήρωση μιας διαδικασίας υπολογισμού του U, μετά από 400 χιλιάδες περίπου επαναλήψεις επίλυσης του αλγόριθμου και με υπόλοιπο μεταξύ θερμοκρασίας αέρα Δωματίου Ελέγχου που μετρήθηκε και αυτής που υπολογίστηκε σε 0,078 K.

7.4. Μεθοδολογία ενεργειακής προσομοίωσης

Οι υπολογισμοί έγιναν με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού για ενεργειακή προσομοίωση φυσικών συστημάτων TRNSYS. Αρχικά σχεδιάστηκε ο τύπος του κτιρίου που το λογισμικό χρησιμοποίησε ως μοντέλο φυσικού συστήματος. Επιλέχθηκε μια συμβατική κατασκευή μονώροφου κτιρίου, χωρίς θερμομόνωση στους τοίχους, με μονά υαλοστάσια σε πλαίσιο αλουμινίου και χωρίς σκίαση των ανοιγμάτων. Τα ανοίγματα (πόρτες και παράθυρα), χωροθετήθηκαν με στοιχειώδη βιοκλιματική λογική, δηλαδή η ελάχιστη επιφάνεια στο βορρά και η μέγιστη στο νότο, ενώ συνολικά το κτίριο ήταν προσανατολισμένο στο νότο (Εικ. 7.13.). Συγκεκριμένα τα ανοίγματα καταλάμβαναν το 12%, 15%, 24% and 40% της ολικής επιφάνειας των πλευρών του κτιρίου βόρεια, δυτικά, ανατολικά και νότια αντίστοιχα, ενώ για το καλοκαίρι, σχεδιάστηκε και πρόγραμμα νυκτερινού αερισμού.

Το κτίριο, διαστάσεων 10m X 10m X 3 m (μήκος X πλάτος X ύψος), προσομοιώθηκε σε δύο διαφορετικές εκδοχές (σενάρια) του στοιχείου της οροφής. Η πρώτη χωρίς καθόλου θερμομόνωση και η δεύτερη με θερμομόνωση της οροφής σύμφωνα με το πρότυπο EN 6946 και κατά KENAK (Εικ.7.14), που απαιτεί U οροφής $\leq 0,45 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ για την κλιματική ζώνη Β. Για τις διάφορες διαστρώσεις των στοιχείων χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη του TRNSYS και για οτιδήποτε επιπλέον, όπως παραδοχές για τα χαρακτηριστικά της φυτικής στρώσης, οι τιμές Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010. Όλες οι παράμετροι των διαστρώσεων, δίνονται στο παράρτημα ΠΙΙ.6. (Πιν. ΠΙΙ.6. και Σενάρια 1-24).



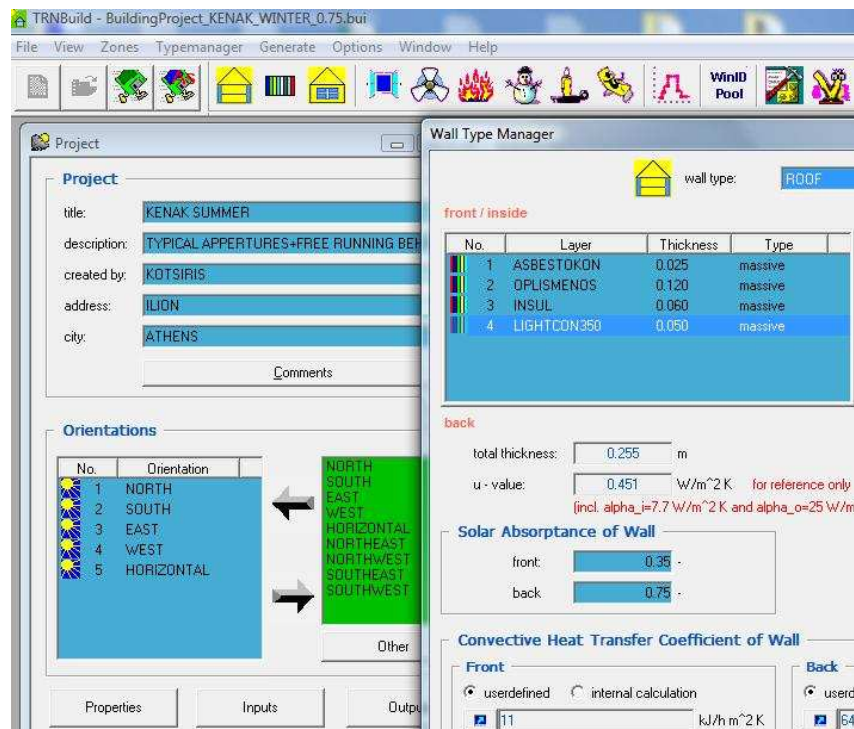
Εικόνα 7.13. ΝΑ και ΒΔ αξονομετρικό του κτιρίου αναφοράς που προσομοιώθηκε ενεργειακά στο TRNSYS.

Επιπρόσθετα προσομοιώθηκαν πέντε σενάρια, αντίστοιχα των πέντε συστημάτων φυτεμένων δωμαίων που εγκαταστάθηκαν και μετρήθηκαν στο Θάλαμο δοκιμών, επί αμόνωτης οροφής και πέντε επιπλέον με τα ίδια πέντε συστήματα φυτεμένων δωμαίων, αλλά επί μονωμένης κατά KENAK οροφής. Συνολικά προσομοιώθηκαν δώδεκα σενάρια, τα οποία ήταν τα εξής:

- 1) Οροφή χωρίς θερμομόνωση.

- 2) Οροφή μονωμένη κατά KENAK.
- 3) Φυτοδώμα με πετροβάμβακα πάχους 8 cm + 2 cm έτοιμο χλοοτάπητα.
- 4) Φυτοδώμα με μίγμα περλίτη πάχους 8 cm + 2 cm έτοιμο χλοοτάπητα.
- 5) Φυτοδώμα με μίγμα κίσηρης πάχους 8 cm + 2 cm έτοιμο χλοοτάπητα.
- 6) Φυτοδώμα με μίγμα κίσηρης πάχους 20 cm φυτοκαλυμμένο με λεβάντα.
- 7) Φυτοδώμα με μίγμα περλίτη πάχους 20 cm φυτοκαλυμμένο με λεβάντα.
- 8) Οροφή μονωμένη κατά KENAK + Φυτοδώμα με πετροβάμβακα πάχους 8 cm + 2 cm έτοιμο χλοοτάπητα.
- 9) Οροφή μονωμένη κατά KENAK + Φυτοδώμα με μίγμα περλίτη πάχους 8 cm + 2 cm έτοιμο χλοοτάπητα.
- 10) Οροφή μονωμένη κατά KENAK + Φυτοδώμα με μίγμα κίσηρης πάχους 8 cm + 2 cm έτοιμο χλοοτάπητα.
- 11) Οροφή μονωμένη κατά KENAK + Φυτοδώμα με μίγμα κίσηρης πάχους 20 cm φυτοκαλυμμένο με λεβάντα.
- 12) Οροφή μονωμένη κατά KENAK + Φυτοδώμα με μίγμα περλίτη πάχους 20 cm φυτοκαλυμμένο με λεβάντα.

Τα δώδεκα αυτά σενάρια εκτελέστηκαν τόσο για καλοκαίρι όσο και για το χειμώνα και οι θερμοκρασίες αναφοράς που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις ήταν 26 °C και 20 °C αντίστοιχα.



Εικόνα 7.14. Παράθυρο του TRNSYS, όπου φαίνεται ο συντελεστής U (=0,451), που προσομοιώθηκε για την κατά KENAK θερμομόνωση του δώματος, του κτιρίου αναφοράς και με το οποίο έγιναν οι συγκρίσεις όλων των σεναρίων φυτεμένων δωματίων.

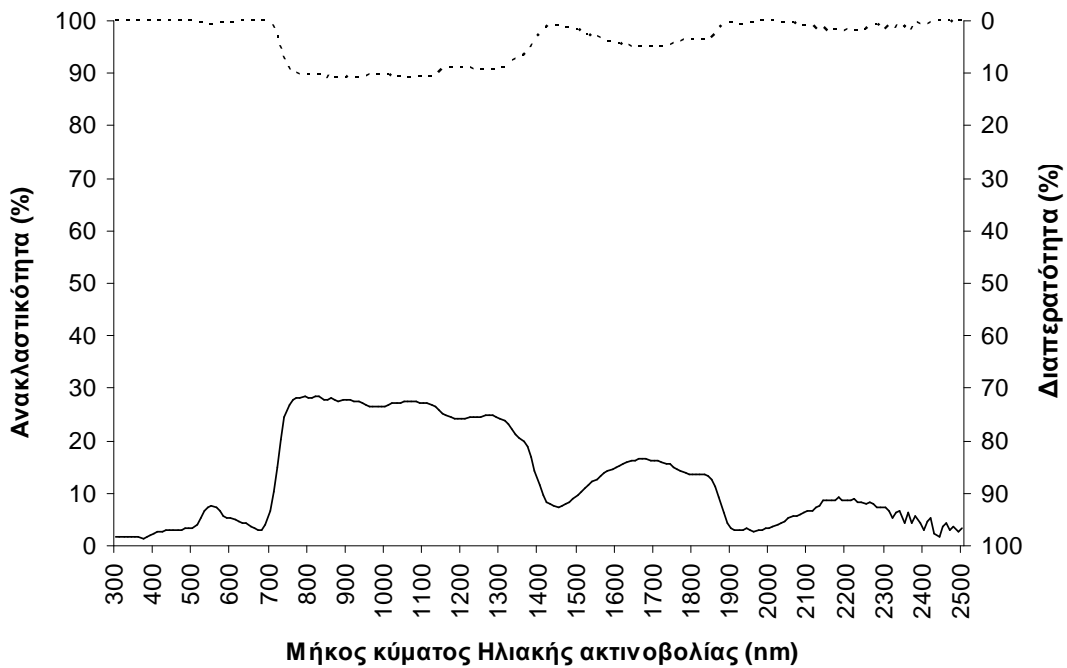
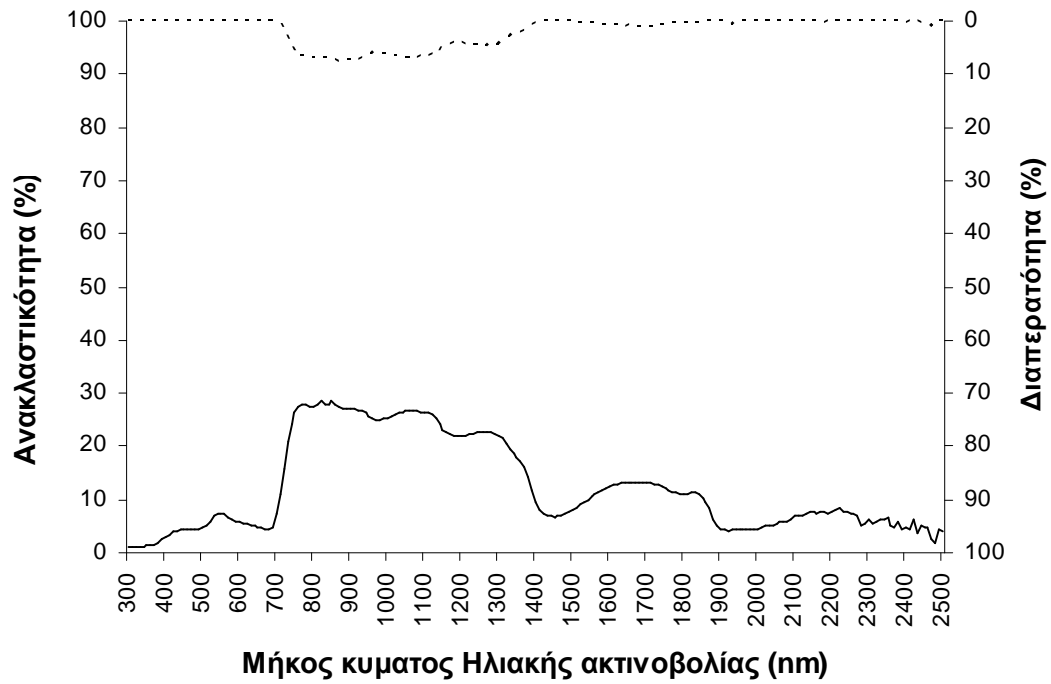
7.4.1. Συντελεστής ηλιακής απορρόφησης

Προκειμένου να εισαχθεί η σωστή τιμή της παραμέτρου της ηλιακής προσόδου από το στοιχείο της οροφής, αυτή τροποποιείται ανάλογα το σενάριο. Έτσι ήταν αναγκαίος ο υπολογισμός της ανακλώμενης, της απορροφούμενης και τελικά του ποσοστού της ηλιακής ακτινοβολίας που διαπερνά τη φυτεία και αποτελεί θερμική πρόσοδο στο κέλυφος του κτιρίου.

Ο προσδιορισμός αυτών των παραμέτρων για δύο φυτείες, κλοστάπητα και λεβάντας, πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Ενεργειακών Μετρήσεων του ΚΑΠΕ, με χρήση συσκευής φασματοφωτόμετρου Lambda 19 UV/VIS/NIR (Perkin Elmer). Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα για μήκος κύματος μεταξύ 300 nm και 2500 nm με βήμα 1 nm. Πριν τις μετρήσεις έγινε βαθμονόμηση και μηδενισμός του οργάνου με χρήση κατάλληλου πρότυπου (SRS-99-010-10279-A). Η διαδικασία μετρήσεων βασίσθηκε στο πρότυπο ASTM E 903-96. Η ανάκλαση και η διαπερατότητα της ηλιακής ακτινοβολίας υπολογίστηκε με μετρήσεις επί δέσμης δειγμάτων φύλλων, σε προσομοίωση φυτικής κάλυψης 100%, με την εισαγωγή τους στην κατάλληλη θέση σε σχέση με την παράμετρο που μετράται και εν συνεχεία λήψη των δεδομένων, απ' όπου και παρήχθησαν τα διαγράμματα. Η συνολική τιμή που δίνεται για κάθε φυτικό δείγμα, είναι η σταθμισμένη τιμή, ανά βήμα 10 nm, σύμφωνα με το πρότυπο που αναφέρθηκε.

Οι τιμές που μετρήθηκαν, διορθώθηκαν (πολλαπλασιάστηκαν) με το συνημίτονο της γωνίας του φυλλώματος που χαρακτηρίζει την κάθε φυτεία, που ήταν 67,5° και 48°, για την φεστούκα και την λεβάντα, αντίστοιχα (Deckmyn et al., 2000; Allen et al., 1994).

Στο Διάγραμμα 7.4., δίνεται υπό μορφή καμπύλης η μεταβολή της ανακλώμενης και της διερχομένης από το φύλλωμα ηλιακής ακτινοβολίας ως ποσοστό (%) της ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο, σε συνάρτηση με το μήκος κύματος αυτής στο φάσμα 300-2500 nm. Η ανάκλαση, η διαπερατότητα και απορρόφηση υπολογίστηκαν για την *Lavandula angustifolia* σε 13,6%, 2,4%, 84% αντίστοιχα, της ολικής προσπίπτουσας σε οριζόντιο επίπεδο ηλιακής ακτινοβολίας (R_n), και 23,5%, 6,85%, 69,65% για το *F. arundinacea*. Η ανάκλαση και η διαπερατότητα με απευθείας μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο και η απορρόφηση αλγεβρικά ως η διαφορά αυτών.



Διάγραμμα 7.4. Η ανακλώμενη (συνεχής γραμμή), η απορροφούμενη (η περιοχή μεταξύ των δύο καμπύλων) και η διερχομένη (στικτή γραμμή) ακτινοβολία στο *Lavandula angustifolia* (επάνω) και το *Festuca arundinacea* (κάτω).

Οι τιμές που υπολογίστηκαν και το διάγραμμα που παράχθηκε για την λεβάντα, συμφωνούν πλήρως με υπολογισμούς και το διάγραμμα (Παράρτημα Π.ΙΙ.4.) που

παρήγαγαν οι Robles et al. (2004), καθώς επίσης και δεδομένα του FAO56 (FAO, 1998). Οι τιμές που υπολογίστηκαν για το *F. arundinacea*, συμφωνούν με τα ευρήματα των Feng et al. (2010). Θεωρήθηκε ότι η ακτινοβολία που διαπερνά τα φυτά αποτελεί και την πρόσοδο στο εσωτερικό του κτιρίου. Έτσι οι συντελεστές ηλιακής απορρόφησης που εισαχθήκαν στο TRNSYS, ήταν 0,024 and 0,0685 για την λεβάντα και τη φεστούκα, αντίστοιχα (οι διαπερατότητες επι τοις εκατό που υπολογίστηκαν, 2,4% και 6,85% για την λεβάντα και τη φεστούκα αντίστοιχα, προσαρμοσμένες στην κλίμακα 0-1 του συντελεστή ηλιακής απορρόφησης του λογισμικού TRNSYS). Η μεγάλη μήκους ακτινοβολία εκπομπής από την φυτεία προς την επιφάνεια του υποστρώματος και αντίστοιχα δεν λήφθηκε υπόψη. Όπως αναφέρει η Αλεξανδρή (2010), η θερμοχωρητικότητα και η μάζα των φυτών είναι σχεδόν αμελητέα, σε σχέση με την θερμοχωρητικότητα των δομικών υλικών και οι επιφάνειες των φυτών δεν αποθηκεύουν θερμότητα. Ενώ η ίδια υπολόγισε την πρόσοδο στο κτίριο στο 80% της διερχομένης από τα φυτά.

7.4.2. Προσδιορισμός Εξατμισοδιαπνοής

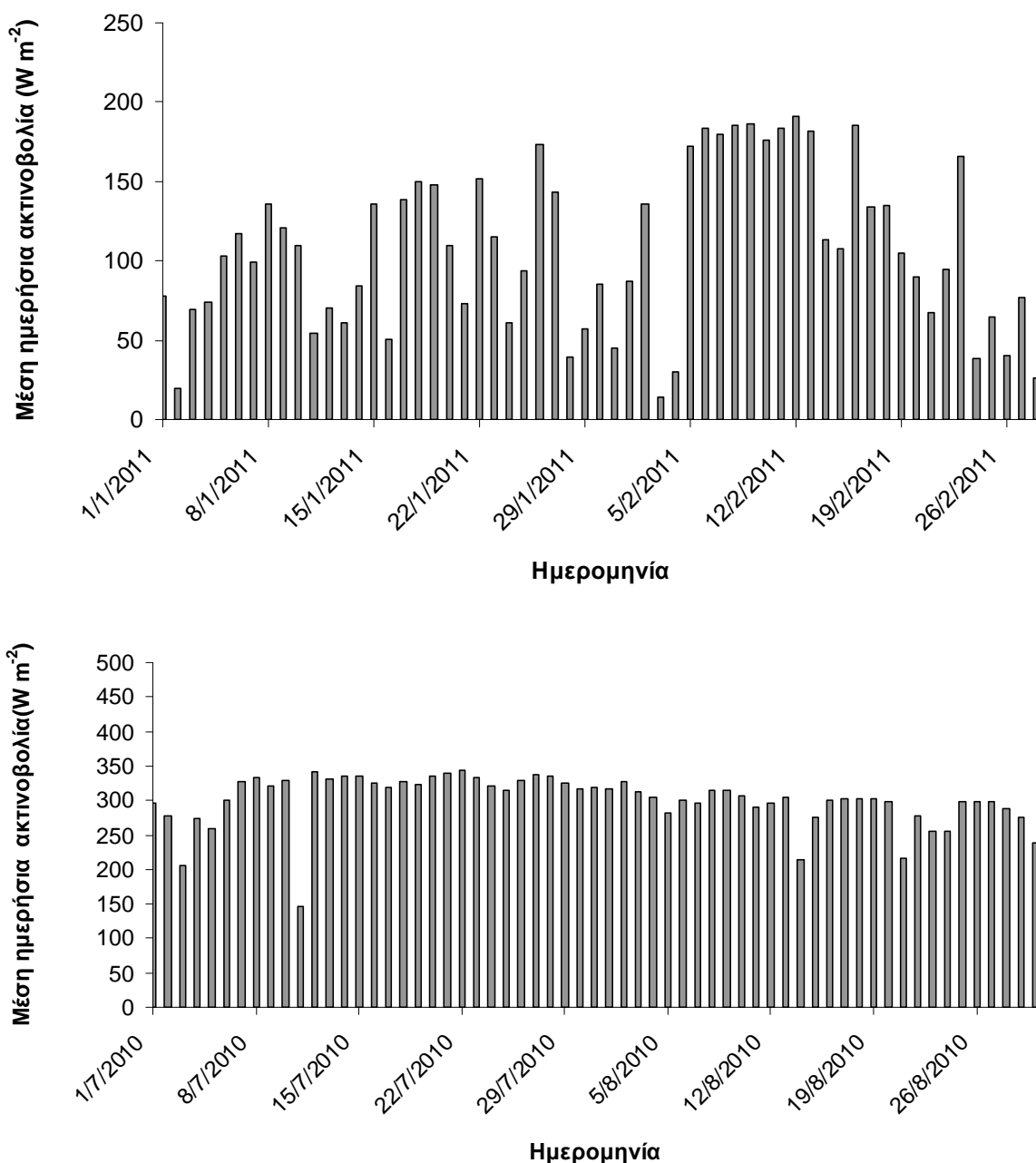
Επιπρόσθετα και προκειμένου να τονιστεί ο ρόλος της εξατμισοδιαπνοής στη μείωση των θερμικών προσόδων (και όχι σαν άμεσα εισαγόμενη παράμετρος στην ενεργειακή προσομοίωση με το λογισμικό TRNSYS) στην οροφή από την εγκατάσταση φυτεμένου δώματος, υπολογίστηκε η εξατμισοδιαπνοή για τη λεβάντα και τη φεστούκα για καλοκαίρι και χειμώνα, από την απορροφούμενη ως λανθάνουσα θερμότητα, με βάση την κλιματική παράμετρο της Εξάτμισης. Για τον ίδιο σκοπό λήφθηκαν μετρήσεις από τον μετεωρολογικό σταθμό του ΚΑΠΕ, της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο (R_n), για τον χειμώνα (Ιανουάριο-Φεβρουάριο) και το καλοκαίρι (Ιούλιο-Αύγουστο) και ήταν 106,8 και 301,7 $W m^{-2}$ αντίστοιχα (Διάγραμμα 7.5.), προκειμένου να υπολογισθεί η εξατμισοδιαπνοή ως ποσοστό αυτής. Τι βαρύτητα έχει δηλαδή η εξατμισοδιαπνοή στην απορρόφηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από τα φυτά.

Οι υπολογισμοί έγιναν με βάση θεμελιώδεις σχέσεις που αναφέρονται στο FAO No56 (FAO, 1998), τις ακόλουθες:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (mm \cdot d^{-1}) \quad [7.1.]$$

όπου ET_c είναι η εξατμισοδιαπνοή της συγκεκριμένης καλλιέργειας, ET_o είναι η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς σε $mm d^{-1}$ και είναι και αυτή μια κλιματική παράμετρος και K_c είναι ένας αδιάστατος συντελεστής που χαρακτηρίζει την κάθε συγκεκριμένη καλλιέργεια, σχετίζεται με την ηλικία της το φαινολογικό στάδιο και την εποχή και για τις ανάγκες των συγκεκριμένων υπολογισμών καθορίστηκε σε 0,8-0,9 για τη φεστούκα (Doorenbos and Pruitt, 1977; Costello et al., 2000) και 0,65-0,7 για τη λεβάντα (Costello et al., 2000), για

το καλοκαίρι και τον χειμώνα, αντίστοιχα.



Διάγραμμα 7.5. Οι μέσες ημερήσιες τιμές της ολική ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο (R_h), για τον χειμώνα (επάνω) και το καλοκαίρι (κάτω) αντίστοιχα, από τον μετεωρολογικό σταθμό του ΚΑΠΕ.

$$ET_o = E \cdot K_p \quad (\text{mm d}^{-1}) \quad [7.2.]$$

όπου E είναι η εξάτμιση μετρούμενη με ένα εξατμισίμετρο λεκάνης, τύπου A-class, K_p είναι ένας αδιάστατος συντελεστής, εξαρτώμενος από τη φύση της περιβάλλουσας επιφάνειας και περιβαλλοντικές παραμέτρους (συνθήκες έκθεσης της λεκάνης). Η τιμή του K_p

λήφθηκε από πίνακα (Χρονοπούλου-Σερέλη κ.α., 2001), ίσος με 0,7 τόσο για το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι.

Δεδομένα για την εξάτμιση ληφθήκαν από την ΕΜΥ για την περίοδο 1974-2004 στην Αθήνα, που μετρήθηκαν με ένα τύπου PICHE εξατμισίμετρο. Η μετατροπή τους σε δεδομένα εξατμισίμετρου λεκάνης A-class, έγιναν με συντελεστή 0,9 (Messing, 1998; Kidron, 2005). Τα δεδομένα αυτά διασταυρώθηκαν με δεδομένα από το Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του ΓΠΑ, που μετρήθηκαν με ένα τύπου Wild εξατμισίμετρο. Η μετατροπή τους σε δεδομένα εξατμισίμετρου λεκάνης A-class, έγιναν με συντελεστή 0,52 (Neuwirth, 1981).

Η ET_o υπολογίστηκε σε 1,17 και 4,99 $mm\ d^{-1}$ (από τα δεδομένα του ΓΠΑ), για το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα. Ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής, αντιπροσωπεύεται από την λανθάνουσα θερμότητα (λET) σε $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$, όπου λ είναι η ειδική λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού ίση με $2.260\ MJ\ kg^{-1}$.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι σε μη αρδευόμενες καλλιέργειες, όπως πιθανόν σε εκτατικού τύπου φυτοδώματα, η περιεχόμενη στο υπόστρωμα υγρασία, μπορεί να επηρεάζει τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής με τη χρήση του συντελεστή K_c . Σε αυτή την περίπτωση ο K_c , περιορίζεται από χαρακτηριστικές ιδιότητες του υποστρώματος, τη $\Theta\%$ και την υδραυλική αγωγιμότητα (Maidment, 1993). Οπότε η σχέση [7.1] θα γράφονταν:

$$ET_c = K_c K_s (\Theta\%) Et_o, \quad mm\ d^{-1} \quad [7.3.]$$

όπου K_s η υδραυλική αγωγιμότητα και $\Theta\%$, η % κατ' όγκο υγρασία του υποστρώματος.

VIII. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΘΑΛΑΜΟ ΔΟΚΙΜΩΝ-ΚΑΠΕ

8.1. Προσδιορισμός συντελεστών θερμοπερατότητας

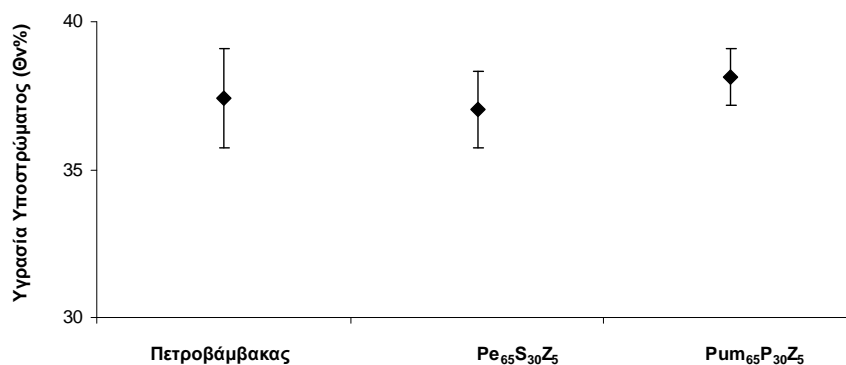
Στο Πίνακα 8.1. παρουσιάζονται οι συντελεστές θερμοπερατότητας U που υπολογίστηκαν (Παράρτημα, Π.ΙΙ.6.) για τα τρία συστήματα φυτεμένων δωματίων με επικάλυψη χλοοτάπητα και συνολικό πάχος υποστρώματος 10 cm. Παρατίθενται επίσης τα U για μια μονωμένη κατά ΚΕΝΑΚ οροφή και την οροφή του βιοκλιματικού κτιρίου του ΚΑΠΕ.

Το βιοκλιματικό κτίριο αναφέρεται σε πρότυπο επιδεικτικό κτίριο γραφείων του ΚΑΠΕ στο Πικέρμι Αττικής, υψηλής ενεργειακής απόδοσης ($\Delta 6$). Η οροφή για μια μονωμένη κατά ΚΕΝΑΚ οροφή κτιρίου, αναφέρεται σε μόνωση με κισσηρόδεμα πάχους 17 cm και με φαινόμενο ειδικό βάρος $0,44\ g\ cm^{-3}$ και μαλτεζόπλακες ($U_{max} < 0,45\ W\ m^{-2}\ K^{-1}$).

Πίνακας 8.1. Τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας (U) για τρία συστήματα πράσινων δωματίων με υπόστρωμα πάχους 10 cm υπολογισμένες με τη μέθοδο PASLINK και επιπλέον για μια μονωμένη κατά ΚΕΝΑΚ οροφή και για την οροφή του βιοκλιματικού κτιρίου

Στοιχείο	Τιμή U (W m ⁻² K ⁻¹)
Φυτ. δώμα με υπόστρωμα 10 cm πετροβάμβακα	0,38
Φυτ. δώμα με υπόστρωμα 8 cm περλίτη + 2cm χλοοτ.	0,651
Φυτ. δώμα με υπόστρωμα 8 cm κίσηρη + 2cm χλοοτ.	0,606
Κατά ΚΕΝΑΚ μονωμένη οροφή οροφή	0,454
Οροφή βιοκλιματικού κτιρίου	0,33

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων η κατ' όγκο περιεκτικότητα σε νερό (Θν%), των υποστρωμάτων των φυτεμένων δωματίων διακυμάνθηκε περί το 37,5% m³ m⁻³ (Διάγ. 8.1).



Διάγραμμα 8.1. Μέσες τιμές της κατ' όγκο περιεκτικότητας σε νερό (Θν%), των τριών υποστρωμάτων (πετροβάμβακας, S₃₀:Per₆₅:Z₅ και Pum₆₅:P₃₀:Z₅) των δοκιμών φυτεμένων δωματίων. Οι κάθετες ράβδοι είναι οι τυπικές αποκλίσεις, δείγματος 2.000 τιμών έκαστου δείγματος.

Η μέση εδαφική υγρασία (\pm την τυπική απόκλιση) για κάθε υπόστρωμα, ήταν: α) για τον πετροβάμβακα: $37,41 \pm 3,35$, β) για το υπόστρωμα με περλίτη: $37,02 \pm 2,59$ και γ) για το υπόστρωμα με κίσηρη: $38,12 \pm 1,92$. Κάτω από αυτές τις συνθήκες οι τιμές U που υπολογίστηκαν ήταν 0,38, 0,651 και 0,606 αντίστοιχα (Πίν. 8.1.). Η μεγαλύτερη διακύμανση του πετροβάμβακα θα πρέπει να οφείλεται στην ταχύτερη αποφόρτισή του από νερό.

Η υψηλή θερμική απόδοση του πετροβάμβακα και η επίτευξη τόσο χαμηλής τιμής U, από το σύστημα φυτεμένου δώματος όπου συμμετέχει ως υπόστρωμα, μπορεί να εξηγηθεί από αυξημένο πορώδες του, που υπολογίστηκε στο 80%v/v (Πίν. 5.1.) Έτσι σε επίπεδα συγκράτησης νερού περί το 37,5% του όγκου του, ένα μεγάλο ποσοστό των πόρων του

εξακολουθεί να καταλαμβάνεται από αέρα, ο οποίος έχει μεγάλη θερμική αντίσταση. Αντίθετα τα ρηχά υποστρώματα που συντέθηκαν από αδρανή χονδρόκοκα υλικά, στα ίδια, υψηλά επίπεδα υγρασίας, κατέγραψαν υψηλές τιμές U, διότι το πορώδες τους καταλαμβάνονταν από νερό. Ωστόσο επειδή τα επίπεδα υγρασίας τους, κυμαίνονται στα επίπεδα της υδατοϊκανότητας τους (Διαγ. 5.1), δεν πρέπει να αναμένεται ιδιαίτερη βελτίωση (μείωση) του συντελεστή θερμοπερατότητας τους, παρά μόνο σε άνομβρους χειμώνες.

Στη συνέχεια μετρήθηκαν υποστρώματα με μεγαλύτερα βάθη. Στον Πίνακα 8.2 παρουσιάζονται τα U που υπολογίστηκαν για δύο συστήματα φυτεμένων δωματίων με υπόστρωμα που περιείχε κίσηρη και στη συνέχεια αυτού που περιείχε περλίτη, αμφότερα με φύτευση λεβάντας και πάχος υποστρώματος 20 cm. Για να είναι συγκρίσιμες οι μετρήσεις αυτές, με τις τιμές U που καταγράφηκαν για τα συστήματα φυτεμένων δωματίων με πάχη υποστρωμάτων 10 cm, ελήφθησαν τιμές U για υγρασία 37,5%, από τις καμπύλες που παρήχθησαν από την παλινδρόμηση του U επί της μεταβολής της υγρασίας του υποστρώματος και στη βάση της γραμμικής σχέσης που θεμελιώνεται (Διαγ. 8.3 και 8.4). Παρατίθενται επίσης ξανά τα U για μια κατά ΚΕΝΑΚ μονωμένη οροφή και την οροφή του βιοκλιματικού κτιρίου του ΚΑΠΕ.

Πίνακας 8.2. Τιμές U για δύο συστήματα πράσινων δωματίων με υπόστρωμα πάχους 20 cm, για μια συμβατικά μονωμένη οροφή και για την οροφή του βιοκλιματικού κτιρίου

Στοιχείο	Τιμή U ($W m^{-2} K^{-1}$) προσδιορισμένη από Καμπύλες
Φυτ. δώμα με 20 cm υπόστρωμα περλίτη	0,393 ($\Theta_v=37,5\%$)
Φυτ. δώμα με 20 cm υπόστρωμα κίσηρη	0,417 ($\Theta_v=37,5\%$)
Κατά ΚΕΝΑΚ μονωμένη οροφή	0,454
Οροφή βιοκλιματικού κτιρίου	0,33

Επί της ουσίας, διαπιστώνεται ότι στα φυτοδώματα με υπόστρωμα πάχους 20 cm, βελτιώθηκε (μειώθηκε) ο συντελεστής θερμοπερατότητας U σε σχέση με αυτά πάχους 10 cm, κατά 39,6% στα μίγματα με περλίτη και 31,6% στα μίγματα με κίσηρη.

Ο Wong et al. (2003), έδειξαν ότι για κάθε 100 mm αύξηση του πάχους ξηρού

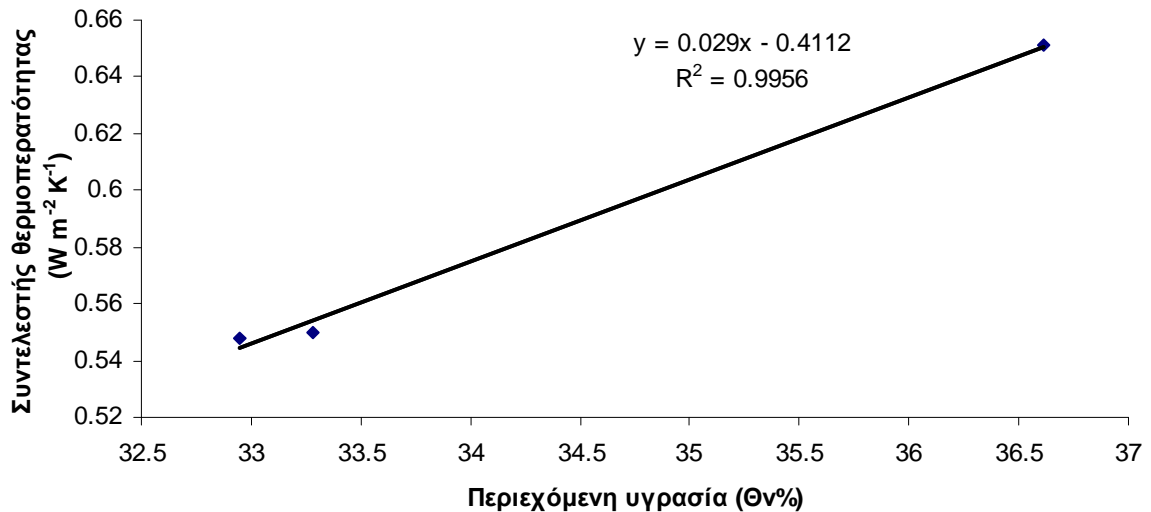
πηλώδους υποστρώματος, η θερμική του αντίσταση αυξάνονταν κατά $0,4 \text{ m}^2 \text{ K W}^{-1}$, ενώ για το ίδιο υπόστρωμα με 40% υγρασία αυξάνονταν κατά $0,063 \text{ m}^2 \text{ K W}^{-1}$. Όπως επίσης αναφέρει ο Castleton et al. (2010), η θερμική απόδοση φυτεμένου δώματος βελτιώθηκε με την αύξηση του πάχους του υποστρώματος.

Βρέθηκε λοιπόν ότι τα υποστρώματα φυτοδωμάτων αποτελούμενα από πετροβάμβακα υψηλής πυκνότητας ή από μίγματα περλίτη ή κίσηρης με βάθος 20 cm, σε συνθήκες υψηλής εδαφικής υγρασίας, έχουν χαμηλές τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας, επιτυγχάνοντας το όριο κατά ΚΕΝΑΚ. Όταν όμως τα βάθη των υποστρωμάτων με αδρανή, χονδρόκοκα, διαβαθμισμένης κοκκομετρίας υλικά, περιορίζονται στα 10 cm, καταγράφουν συντελεστές U, πολύ πιο πάνω από το μέγιστο κατά ΚΕΝΑΚ όριο.

8.2. Συσχέτιση συντελεστών U και περιεχομένης υγρασίας στο υπόστρωμα

Προκειμένου να διερευνηθεί η σχέση ανάμεσα στις τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας U και την περιεχόμενη υγρασία στα υποστρώματα, έγινε σειρά επαναληπτικών υπολογισμών επί των ίδιων δοκιμίων. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν τρεις έως πέντε διαδοχικές σειρές μετρήσεων σε κάθε ίδιο σύστημα φυτεμένου δώματος αλλά με διαφορετική εδαφική υγρασία υποστρώματος την κάθε φορά. Ο αριθμός των επαναλήψεων αφορά τις επιτυχημένες επαναλήψεις, γιατί πολλοί απροσδιόριστοι παράγοντες, όπως για παράδειγμα η εκδήλωση μιας καταιγίδας, οδήγησαν στην απώλεια δεδομένων και ακύρωσαν αρκετές μετρήσεις. Ας σημειωθεί ότι κάθε μέτρηση, μαζί με την προετοιμασία και την αναμονή, χρειάζονταν ένα διάστημα 1 έως 4 μηνών περίπου. Παρατίθενται στη συνέχεια τα δεδομένα που υπολογίστηκαν για τη σχέση ανάμεσα στην περιεχόμενη στο υπόστρωμα υγρασία και την υπολογιζόμενη τιμή U.

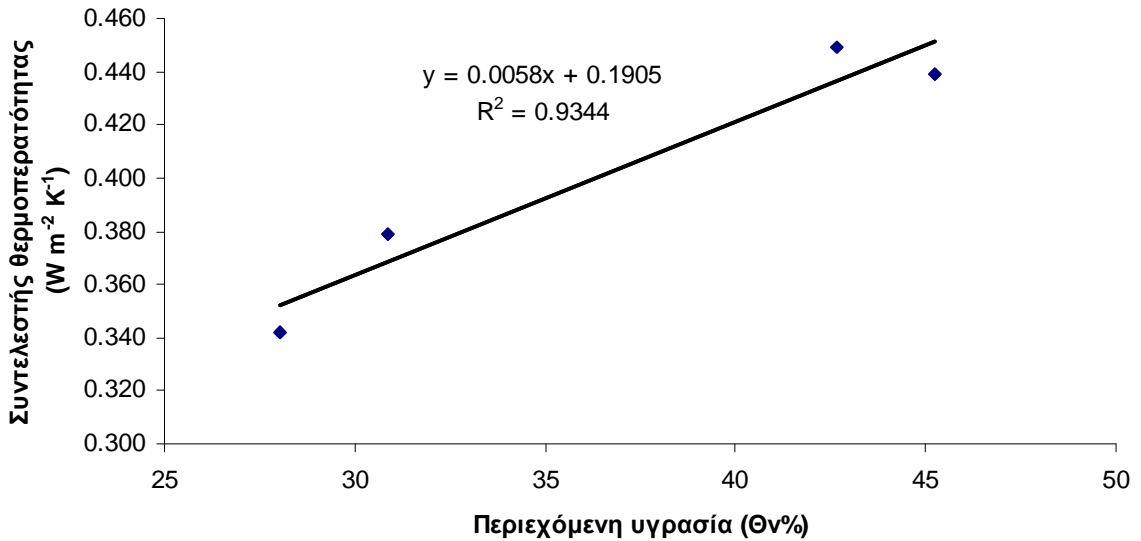
Στο υπόστρωμα με μίγμα περλίτη πάχους 10 cm, έγιναν τρεις επαναλήψεις, (Διάγ. 8.2). Οι τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας (U) που υπολογίστηκαν ήταν 0,651, 0,55, and $0,548 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, για επίπεδα υγρασίας 36,61%, 33,28% and 32,95% αντίστοιχα και η ανάλυση παλινδρόμησης ανάμεσα στις δύο παραμέτρους έδωσε στενή γραμμική σχέση όπου το R^2 ήταν 0,995.



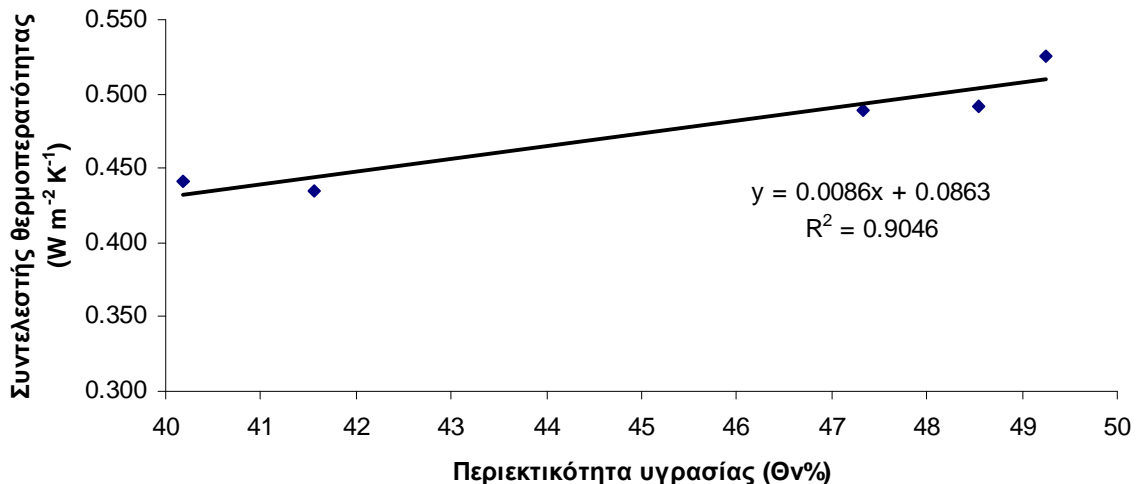
Διάγραμμα 8.2. Γραμμική σχέση μεταξύ των τιμών U που υπολογίστηκαν και των αντίστοιχων επιπέδων εδαφικής υγρασίας, σε φυτεμένα δώματα με το υπόστρωμα πάχους 10 cm, που περιείχε 65% περλίτη ($S_{30}:Per_{65}:Z_5$) και φύτευση χλοοτάπητα.

Στο υπόστρωμα με μίγμα κίσηρη πάχους 20 cm, έγιναν τέσσερις επαναλήψεις, προκαλώντας επίσης, διαφορετικό επίπεδο εδαφικής υγρασίας στην κάθε επανάληψη. Οι τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας (U) που υπολογίστηκαν για το υπόστρωμα με κίσηρη ήταν 0,342, 0,379, 0,449 και 0,439 για επίπεδα υγρασίας 28%, 30,9%, 42,68% και 45,25% αντίστοιχα και η ανάλυση παλινδρόμησης ανάμεσα στις δύο παραμέτρους έδωσε στενή γραμμική σχέση όπου το R^2 ήταν 0,934.

Για το υπόστρωμα με περλίτη πάχους 20 cm, υπολογίστηκαν τιμές U : 0,525, 0,492, 0,489, 0,435 και 0,441 για επίπεδα υγρασίας 49,26%, 48,54%, 47,35%, 41,56% και 40,18% αντίστοιχα και η ανάλυση παλινδρόμησης ανάμεσα στις δύο παραμέτρους έδωσε στενή γραμμική σχέση όπου το R^2 ήταν 0,905. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 8.3. και 8.4.



Διάγραμμα 8.3. Γραμμική σχέση μεταξύ των τιμών U που υπολογίστηκαν και των αντίστοιχων επιπέδων εδαφικής υγρασίας, σε φυτεμένο δώμα με υπόστρωμα πάχους 20 cm που περιείχε 65% κίσηρη.



Διάγραμμα 8.4. Γραμμική σχέση μεταξύ των τιμών U που υπολογίστηκαν και των αντίστοιχων επιπέδων εδαφικής υγρασίας, σε φυτεμένο δώμα με υπόστρωμα $S_{30}:Per_{65}:Z_5$, πάχους 20 cm που περιείχε 65% περλίτη.

Από τα διαγράμματα βλέπουμε σε κάθε περίπτωση να θεμελιώνεται μια γραμμική σχέση με ισχυρή συσχέτιση ανάμεσα στους συντελεστές θερμοπερατότητας που υπολογίστηκαν με τη δυναμική μέθοδο PASLINK και τα διαφορετικά επίπεδα περιεκτικότητας των υποστρωμάτων σε υγρασία. Ήταν ήδη γνωστό ότι ανάμεσα στην θερμική αγωγιμότητα και την περιεχόμενη στο υπόστρωμα υγρασία είχε καταγραφεί γραμμική σχέση (De Rijck,

1996; Castleton et al., 2010), έτσι μια ανάλογη σχέση αναμένονταν και με τον συντελεστή θερμοπερατότητας.

Γενικά όπως ήδη αναφέρθηκε, οι Wong et al. (2003) είχαν δείξει τη μεταβολή του U μετά της υγρασίας. Πιο συγκεκριμένα τη μεταβολή του συντελεστή θερμοπερατότητας U , μετά της εδαφικής υγρασίας έδειξαν οι Alcazar and Bass (2005), οι οποίοι χρησιμοποίησαν το λογισμικό πακέτο θερμικής προσομοίωσης ESP-r προκειμένου να εκτελέσουν προσομοιώσεις ροής θερμότητας σε ένα πολυώροφο κτίριο κατοικίας. Για μεταβολή της υγρασίας του υποστρώματος σε επίπεδα 0%, 20% και 80%, οι τιμές U κυμάνθηκαν σε 0,42 , 0,46 και 0,53 αντίστοιχα. Η σχέση είναι γραμμική ($R^2=0,98$) με πολύ χαμηλή κλίση ($b=0,0013$). Στην προκείμενη περίπτωση εντυπωσιάζει το εύρος της μεταβολής της υγρασίας του υποστρώματος που εξετάστηκε (0-80% Θν), ενώ της παρούσας μελέτης ήταν 28-49%.

Παρατηρείται επίσης ότι η κλίση μεταβολής του U είναι πολύ μικρή στα υποστρώματα πάχους 20 cm (Διάγ. 8.3. και 8.4) και πολλαπλάσια στο υπόστρωμα $S_{30}:Per_{65}:Z_5$ με πάχος 10 cm. Αυτό θα συνιστούσε ένα επιπλέον μειονέκτημα των αβαθών υποστρωμάτων, ωστόσο τα σχετικά δεδομένα είναι λίγα προκειμένου να θεμελιωθεί ένα τέτοιο συμπέρασμα και παραμένει ένα θέμα για διερεύνηση.

Έχοντας υπόψη μας αυτή τη γραμμική σχέση, θα μπορούσαμε να συμπεράνουμε ότι τα φυτοδώματα με αβαθή υποστρώματα αποτελούμενα από μίγματα χονδρόκοκκων αδρανών υλικών διαβαθμισμένης κοκκομετρίας, θα μπορούσαν να είναι πιο αποτελεσματικά όσον αφορά τη συμβολή τους στο θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου, σε συνθήκες μειωμένης εδαφικής υγρασίας. Αυτό μπορεί να συμβαίνει τη ξηρά περίοδο του έτους ή καθόλη την άνομβρη διάρκεια αυτού, συνθήκες που χαρακτηρίζουν πολλές ημερημικές περιοχές της Μεσογειακής ζώνης ή ζωνών.

Σε συνθήκες επαρκούς άρδευσης ή κατά την χειμερινή περίοδο, ο πετροβάμβακας φαίνεται να αποτελεί ένα υπόστρωμα με χαρακτηριστικά κατάλληλα να συμβάλλουν θετικά στη θερμική μόνωση του δώματος και κατά προέκταση στο θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου. Αυτό γιατί αφενός έχει χαμηλό U σε συνθήκες υψηλής εδαφικής υγρασίας και αφετέρου χάρις στην ιδιότητά του να αποφορτίζει γρήγορα το συγκρατούμενο νερό, όπως φαίνεται από την χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας του (Διάγ. 5.1.), ύστερα από υπερβολική άρδευση ή μια έντονη βροχόπτωση ή καταιγίδα, φαινόμενο που συμβαίνει συχνά στη Μεσογειακή ζώνη. Το τελευταίο αποτελεί πλεονέκτημα και από την άποψη της μείωσης του στατικού φορτίου.

Περαιτέρω όμως και όσον αφορά τον πετροβάμβακα, πρέπει να ληφθεί υπόψη και η αντίθετη περίπτωση, δηλαδή οι μειωμένες βροχοπτώσεις ή η περιορισμένη δυνατότητα άρδευσης, συνθήκες που επίσης χαρακτηρίζουν την Μεσογειακή ζώνη. Από τη χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας του προκύπτει όχι μόνο η ταχεία αποφόρτίσή του από

το συγκρατούμενο νερό στη ζώνη μύζησης 0-20 cm, αλλά και η περιορισμένη υδατοικανότητα του, που για μύζηση 50 cm, αντιστοιχεί σε 10% Θν. Προκειμένου να αποφευχθεί απότομη ξήρανση του υποστρώματος, με κίνδυνο υδατικής καταπόνησης ή ξήρανσης των φυτών, οι Bougoul et al. (2005), εργαζόμενοι με πετροβάμβακα που χρησιμοποιείται σε υδροπονικές καλλιέργειες, πυκνότητας μικρότερης των 55 g L⁻¹, πρότειναν ότι αφενός πρέπει να χρησιμοποιείται σε κατάσταση πλησίον του κορεσμού σε νερό, σε μύζηση μεταξύ 0 και 20 cm και αφετέρου να διατηρείται υγρός μέσω ενός προγράμματος συχνών και μικρής διάρκειας αρδεύσεων.

8.2.1. Σύγκριση δυναμικού και θεωρητικού υπολογισμού U

Επιπρόσθετα, υπολογίστηκαν και με θεωρητικό τρόπο οι συντελεστές θερμοπερατότητας για τα ίδια φυτοδώματα, χρησιμοποιώντας μια υπολογιστική υπορουτίνα του λογισμικού TRNSYS. Για κάθε διάστρωση του κάθε δοκιμίου χρησιμοποιήθηκαν είτε οι συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας (λ) και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά, που περιέχονται στην βιβλιοθήκη του και την χαρακτηρίζουν θερμικά, είτε εάν δεν υπήρχαν προστέθηκαν νέες, από την σχετική Τεχνική Οδηγία του ΤΕΕ (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010). Ως βάση των θεωρητικών υπολογισμών ήταν να τηρηθεί το ίδιο επίπεδο εδαφικής υγρασίας όπως αυτό που μετρήθηκε κατά τον δυναμικό υπολογισμό των U, προκειμένου δυναμικές και θεωρητικές τιμές να είναι συγκρίσιμες. Για το κατά ΚΕΝΑΚ κτιρίο αναφοράς, το προφίλ του δώματος σχεδιάστηκε έτσι ώστε η τιμή U να είναι να είναι η οριζόμενη επιτρεπτή για την κλιματική ζώνη Β (Εικ.7.16.). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.3.

Πίνακας 8.3. Σύγκριση τιμών U προσδιορισμένων με την δυναμική μέθοδο PASLINK και θεωρητικά υπολογισμένων.

Φυτοδώμα με:	Τρόπος εκτίμησης U		Διαφορά %
	Δυναμικά PASLINK	Θεωρητικά	
Πετροβάμβακας 8cm+χλόη 2cm	0,38	0,531	39,5
Μίγμα περλίτη 8cm+χλόη 2cm	0,651	0,830	27,5
Μίγμα κίσηρη 8cm+χλόη 2cm	0,606	0,808	33,3
Μίγμα περλίτη 20cm+λεβάντα	0,393	0,513	30,5
Μίγμα κίσηρη 20cm+λεβάντα	0,414	0,542	31

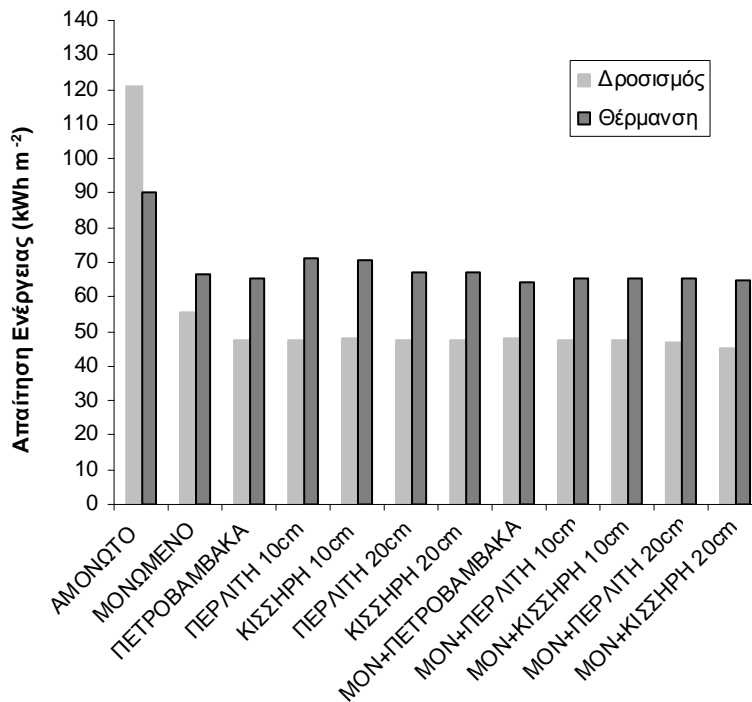
Τα δεδομένα του Πίνακα 8.3, δείχνουν ότι ο θεωρητικός υπολογισμός των συντελεστών θερμοπερατότητας, οδηγεί σε μια υπερεκτίμηση των τιμών U, που είναι μεγαλύτερες κατά 30-40%, αυτών που καθορίζονται με την δυναμική μέθοδο PASLINK. Αυτό προφανώς συμβαίνει γιατί κατά τον θεωρητικό υπολογισμό, οι στρώσεις του φυτεμένου δώματος εκλαμβάνονται μεμονωμένα, ως κοινά, σταθερής κατάστασης δομικά υλικά και όχι ως ένα σύστημα του οποίου τα μέρη αλληλεπιδρούν και είναι ευμετάβλητο σε ευρεία πεδία τιμών των φυσικών παραμέτρων που το χαρακτηρίζουν.

8.3. Εκτίμηση εξοικονόμησης ενέργειας

Οι τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας που υπολογίστηκαν (Πίν. 8.1. και 8.2.), εισαχθήκαν στο λογισμικό TRNSYS για την ενεργειακή μελέτη του μονώροφου κτιρίου αναφοράς (Εικ. 7.13) και την αξιολόγηση της εξοικονόμησης ενέργειας από την εγκατάσταση των συστημάτων φυτεμένων δωματίων που πραγματεύεται η μελέτη. Εντός του TRNSYS τροποποιήθηκε ο συντελεστής ηλιακής απορρόφησης, σύμφωνα με τις τιμές της διαπερατότητας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας (Διαγ. 7.4), οι οποίες είχαν υπολογισθεί σε 6,85 και 2,4 % για τον χλοοτάπητα και την λεβάντα αντίστοιχα. Τα ποσοστά αυτά, στην κλίμακα 0-1 του συντελεστή ηλιακής απορρόφησης, εισάχθηκαν ως 0,0685 και 0,024, αντίστοιχα.

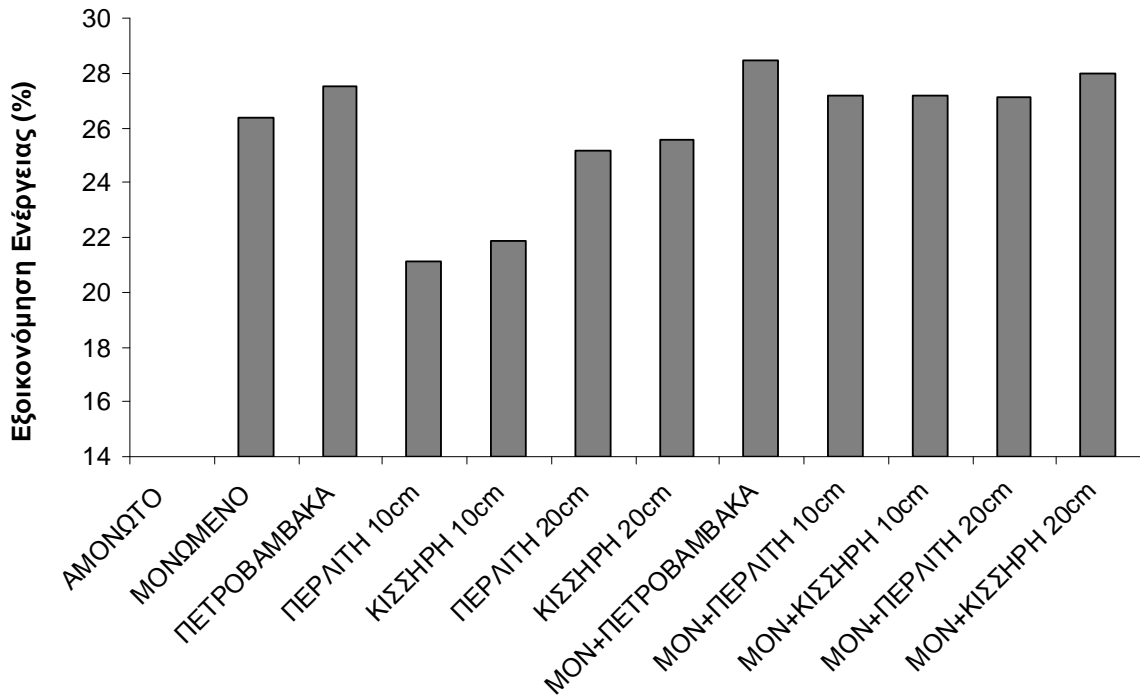
Με βάση αυτές τις τιμές παραμέτρων (συντελεστές θερμοπερατότητας, περιγραφή δομικών στοιχείων κτιρίου αναφοράς και συντελεστές ηλιακής απορρόφησης) υπολογίστηκε αρχικά η ενεργειακή απαίτηση του κτιρίου για ψύξη την θερμή περίοδο και θέρμανση την ψυχρή περίοδο του έτους, σε kWh m⁻² σε ετήσια βάση και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 8.5. Στο παράρτημα (ΠΙΙ.6.) παρατίθενται τα εισαγόμενα στοιχεία και οι υπολογισμοί για κάθε σενάριο προσομοίωσης.

Παρατηρείται ότι όλα τα σενάρια μόνωσης του δώματος ή εγκατάστασης φυτοδωματίων έχουν ως αποτέλεσμα πολύ χαμηλότερα ποσά απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση και ιδιαίτερα για δροσισμό, σε σχέση με το αμόνωτο δώμα. Επιπλέον διαφαίνονται και διαφορές μεταξύ των διαφόρων σεναρίων μόνωσης ή φυτοκάλυψης.



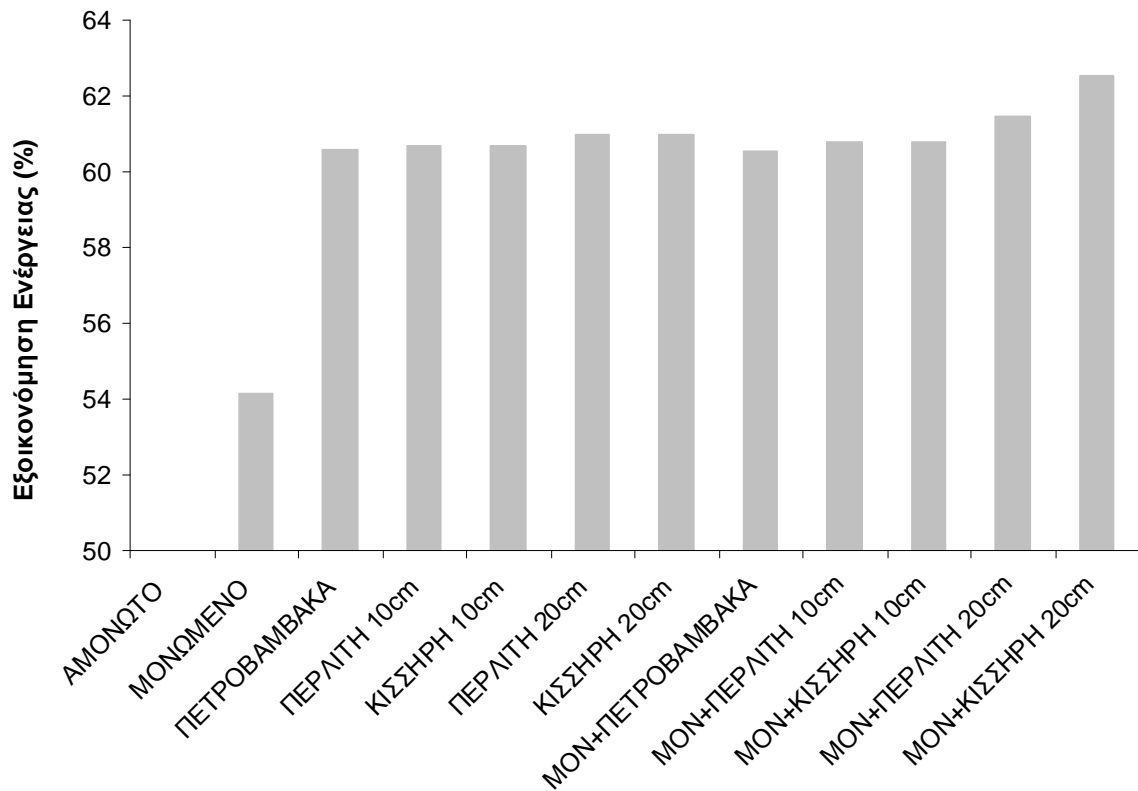
Διάγραμμα 8.5. Ενεργειακή ζήτηση μονώροφης κατοικίας για δώδεκα διαφορετικά σενάρια μόνωσης του δώματος. Χωρίς μόνωση, μόνωση κατά ΚΕΝΑΚ, φύτευση με υπόστρωμα πετροβάμβακα πάχους 8 cm, φύτευση με υπόστρωμα που περιέχει 65% κίσηρη πάχους 10 cm, φύτευση με υπόστρωμα που περιέχει 65% περλίτη πάχους 10 cm, φύτευση με υπόστρωμα που περιέχει 65% κίσηρη πάχους 20 cm, φύτευση με υπόστρωμα που περιέχει 65% περλίτη πάχους 20 cm και όλοι οι συνδυασμοί μονωμένου δώματος κατά ΚΕΝΑΚ μαζί με κάποιο τύπο φυτεμένου δώματος.

Οι διαφορές αυτές, μεταξύ των διαφόρων σεναρίων που προσομοιώθηκαν, φαίνονται παραστατικά στα Διαγράμματα 8.6. και 8.7. ως επί τοις εκατό εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη αντίστοιχα, σε σχέση με το αμόνωτο δώμα. Περαιτέρω οι διαφορές αποσαφηνίζονται με την ποσοτική παρουσίασή τους στον Πίνακα 8.4., στον οποίο τα σενάρια εγκατάστασης κάποιου συστήματος φυτοδώματος, συγκρίνονται και σε σχέση με το τυπικά μονωμένο δώμα.



Διάγραμμα 8.6. Η επί τοις εκατό εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση, με κάθε σενάριο.

Από τα διαγράμματα 8.6. και 8.7. φαίνεται καθαρά ότι όλα τα συστήματα φυτεμένων δωματίων εξοικονομούν ενέργεια για ψύξη περίπου κατά 60% σε σχέση με το αμόνωτο δώμα και υπερέρχουν σημαντικά και της επίδοσης (54%) του μονωμένου δώματος (Διάγ. 8.7). Αυτό εξηγείται από την εξατμισοδιαπνοή των φυτών και την μειωμένη έως μηδενισμού, της διερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στα φυτοδώματα, ενώ την ίδια ώρα η ηλιακή πρόσδοση στο συγκεκριμένο κτίριο αναφοράς προσδιορίζεται από το TRNSYS, στο 75% της προσπίπτουσας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας.



Διάγραμμα 8.7. Η επί τοις εκατό εξοικονόμηση ενέργειας για δροσίμο, με κάθε σενάριο.

Εξίσου φανερό είναι πως η εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση, από όλα τα σενάρια, είναι πολύ μικρότερη του μισού της εξοικονόμησης για δροσίμο (Διάγ. 8.6. και 8.7.). Φαίνεται επίσης και η υστέρηση των φυτοδωμάτων με ρηκά υποστρώματα αποτελούμενα από μίγματα περλίτη ή κίσσηρης, όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση σε σχέση με το μονωμένο δώμα (Διάγ. 8.6).

Επιπλέον από τη λεπτομερή παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις προσομοιώσεις (Πίν. 8.4.), όλα τα συστήματα φυτεμένου δώματος εξασφάλισαν μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση (21,1-28,4%) σε σχέση με το αμόνωτο δώμα. Ωστόσο σε σύγκριση με το μονωμένο κατά ΚΕΝΑΚ δώμα, τα φυτοδώματα με υπόστρωμα μικρού πάχους 10 cm, είχαν θερμική επιβάρυνση 17,1-19,9% ,γιατί το χειμώνα, η εξατμισοδιαπνοή και η φυτική κάλυψη συνολικά, μειώνουν την ηλιακή θερμική πρόσοδο, που είναι επιθυμητήενω ταυτόχρονα το U είναι πολύ υψηλό και δεν εξασφαλίζει επαρκή θερμομόνωση.

Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζουν ομοιότητες με τα ευρήματα των Niachou et al. (2001), που βρήκαν τη συμβολή των φυτεμένων δωμάτων στην εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση, σε αντίστροφη σχέση με το βαθμό θερμομόνωσης των δωμάτων.

Συγκεκριμένα, σε καλά μονωμένα κτίρια 8-9%, σε μέτρια μονωμένα 13% και σε αμόνωτα 45-46%.

Περαιτέρω, σε σύγκριση πάλι με το μονωμένο κατά ΚΕΝΑΚ δώμα, το φυτοδώμα με υπόστρωμα πετροβάμβακα, επέδειξε τη βέλτιστη απόδοση, αυξάνοντας κατά 4,4% την εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση. Τα φυτοδώματα με υπόστρωμα πάχους 20 cm, αποτελούμενο από μίγμα με αδρανή χονδρόκοκα υλικά, επέδειξαν ελαφρά μειωμένη απόδοση (-2,99%) σε σχέση με το μονωμένο δώμα.

Πίνακας 8.4. Εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη, κάθε δοκιμίου των φυτεμένων δωματίων σε σχέση με το αμόνωτο δώμα, το μονωμένο δώμα κατά ΚΕΝΑΚ και του συνδυασμού μονωμένου κατά ΚΕΝΑΚ και φυτεμένου δώματος μαζί.

Στοιχείο	Εξοικονόμηση ενέργειας % αμόνωτου		Εξοικονόμηση ενέργειας % ΚΕΝΑΚ	
	Θέρμανση	Ψύξη	Θέρμανση	Ψύξη
Αμόνωτο	-	-	-	-
Μονωμένο κατά ΚΕΝΑΚ	26,38	54,15	-	-
Φυτ.δωμά με πετροβάμβακα	27,54	60,59	4,42	11,89
Φυτ. δωμα με περλιτη 10cm	21,12	60,67	-19,92	12,04
Φυτ. δωμα με κισσηρη 10cm	21,84	60,67	-17,19	12,04
Φυτ. δωμα με περλιτη 20cm	25,18	60,96	-4,55	12,58
Φυτ. δωμα με κισσηρη 20cm	25,59	60,99	-2,99	12,64
Κατα ΚΕΝΑΚ + φυτ.δωμα με πετροβάμβακα	28,43	60,52	7,79	11,77
Κατα ΚΕΝΑΚ + φυτ. δωμα με περλιτη 10cm	27,19	60,79	2,85	12,27
Κατα ΚΕΝΑΚ + φυτ. δωμα με κισσηρη 10cm	27,20	60,80	3,02	12,29
Κατα ΚΕΝΑΚ + φυτ. δωμα με περλιτη 20cm	27,11	61,45	2,78	13,48
Κατα ΚΕΝΑΚ + φυτ. δωμα με κισσηρη 20cm	27,99	62,51	6,11	15,45

Εξετάζοντας περαιτέρω τα δεδομένα στον Πίνακα 8.4. είναι αξιοσημείωτο ότι η εγκατάσταση κάθε τύπου φυτοδώματος επάνω σε μονωμένο κατά ΚΕΝΑΚ δώμα, λίγο βελτίωσε την εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση. Ωστόσο διακριτές και σημαντικές είναι οι επιδόσεις, 7,8 και 6,1%, όταν το υπόστρωμα ήταν πετροβάμβακας ή μίγμα κίσηρης στα 20 cm, αντίστοιχα.

Στον Πίνακα 8.4. επίσης, παρατηρείται ότι όλα τα φυτεμένα δώματα εξασφάλισαν πολύ υψηλά επίπεδα εξοικονόμησης ενέργειας για δροσισμό (60,5-62,5%), σε σύγκριση με το αμόνωτο δώμα και σημαντικά αυξημένα κατά 11,9-12,6%, σε σχέση με το μονωμένο κατά ΚΕΝΑΚ. Επιπλέον διασφάλισαν εξοικονόμηση ενέργειας για δροσισμό κατά 12,0-15,5% , όταν εγκαταστάθηκαν επάνω σε ήδη μονωμένη οροφή, γιατί ουσιαστικά προσέθεσαν την επίδραση της εξατμισοδιαπνοής, η οποία ελαχιστοποίησε τις θερμικές προσόδους από το κτιριακό κέλυφος σε οριζόντιο επίπεδο.

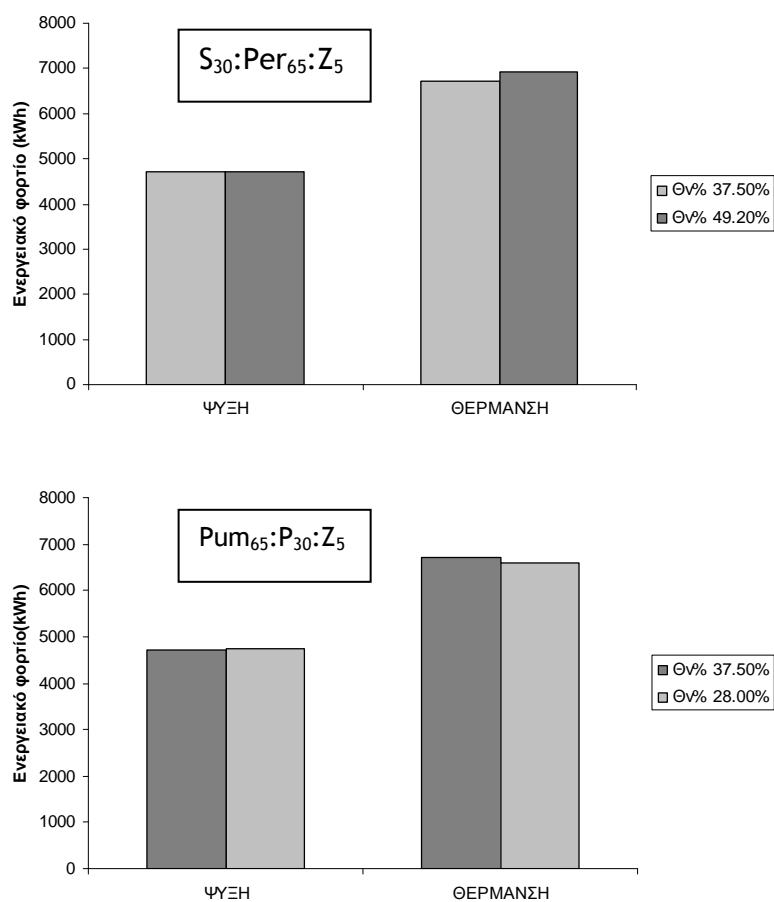
Τα αποτελέσματα αυτά είναι σε αντίθεση με τους υπολογισμούς των Niachou et al. (2001), ότι τα φυτεμένα δώματα έχουν 0% εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη, όταν εγκαθίστανται επί καλά μονωμένων δωματίων. Οι ερευνητές προσομοίωσαν το φυτεμένο δώμα στο λογισμικό TRNSYS, ως δομικό υλικό, χωρίς να λάβουν υπόψη τους το ρόλο της εξατμισοδιαπνοής. Σε αναλογία με τα ευρήματα της παρούσας μελέτης, οι Alcazar and Bass (2005) υπολόγισαν σε μια πολυκατοικία της Μαδρίτης, μείωση του φορτίου για ψύξη 6,2-6,4 % και για θέρμανση 0,12-0,2 %.

Ο Sailor (2008) υποστήριξε ότι τα υπάρχοντα μαθηματικά μοντέλα για τον υπολογισμό της ροής ενέργειας δια μέσου των φυτεμένων δωματίων απλουστεύουν την επίδραση της εξατμισοδιαπνοής. Πρόσφατες εργασίες που τονίζουν τον ρόλο της εξατμισοδιαπνοής στην επίδραση του φυτεμένου δωματίου στην μείωση των φορτίων για δροσισμό (Lazzarin et al., 2005; Feng et al., 2010) επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα που παρατίθενται στον Πίνακα 8.4. Επίσης οι Alcazar and Bass (2005) είχαν συμπεράνει, ότι είναι η σκίαση, οι φυσιολογικές διεργασίες των φυτών και η εξατμισοδιαπνοή, που επηρεάζουν περισσότερο τη θερμική απόδοση του δωματίου παρά αυξάνουν τη θερμική αντίσταση του.

Η θεώρηση πως γενικά δεν υπάρχει σημαντική συμβολή από την εγκατάσταση φυτοδωμάτων σε επαρκώς μονωμένες οροφές (Niachou et al., 2001; Castleton et al., 2010), διευκρινίζεται από τις παρούσες προσομοιώσεις ότι αφορά μόνο υποστρώματα αδρανών υλικών διαβαθμισμένης κοκκομετρίας μικρού βάθους (10 cm στο προκείμενο) και μόνον όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση κατά την χειμερινή περίοδο, σε συνθήκες με υψηλή περιεκτικότητα σε εδαφική υγρασία. Κάθε τύπος φυτοδωματίου έχει σημαντική συνεισφορά στον δροσισμό του κτιρίου, ενώ η συνεισφορά των φυτοδωμάτων στην μείωση και των θερμικών φορτίων κατά τη διάρκεια του χειμώνα, εξαρτάται από το είδος του υλικού του υποστρώματος, τα επίπεδα της εδαφικής υγρασίας και τεχνικές μείωσης της εξατμισοδιαπνοής. Όσον αφορά το τελευταίο θα μπορούσε να αναφερθεί η χρήση σε μεγάλο ποσοστό φυλλοβόλων φυτών, φυτών που το χειμώνα περιέρχονται σε λήθαργο (πχ θερμόφιλοι χλοοτάπητες) και η μείωση της φυλλικής επιφάνειας με αυστηρό κλάδεμα.

8.4. Ενεργειακή προσομοίωση μεταβολής της υγρασίας στο υπόστρωμα

Έχοντας υπόψη το ρόλο της υγρασίας στο εδαφικό υπόστρωμα, πραγματοποιήθηκαν τέσσερις επιπλέον προσομοιώσεις, προκειμένου να διερευνηθεί η ενεργειακή απαίτηση για θέρμανση και δροσισμό σε διαφορετικά επίπεδα εδαφικής υγρασίας. Οι προσομοιώσεις έγιναν σε περιεκτικότητες υγρασίας στο υπόστρωμα, που καταγράφηκαν ως οριακές στις παρούσα μελέτη.



Διάγραμμα 8.8. Η μετατόπιση της υγρασίας από 37,5 % σε 49,2 % στο υπόστρωμα $S_{30}:Per_{65}:Z_5$, στα 20 cm (επάνω), αύξησε το φορτίο θέρμανσης κατά 3,5 %. Η μετατόπιση της υγρασίας από 37,5% σε 28,0 % στο υπόστρωμα $Pum_{65}:P_{30}:Z_5$, στα 20 cm (κάτω) μείωσε το φορτίο θέρμανσης κατά 2,4 %.

Συγκεκριμένα η ελάχιστη εδαφική υγρασία που μετρήθηκε ήταν 28% v/v στο υπόστρωμα μίγμα κίσηρης και βάθος 20 cm και η μέγιστη ήταν 49,5 % v/v στο υπόστρωμα με μίγμα περλίτη και βάθος 20 cm, όταν η εδαφική υγρασία αναφοράς, που χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις προσομοιώσεις ήταν 37,5% και η οποία ουσιαστικά συμπίπτει με την υδατοϊκανότητα των αδρανών διαβαθμισμένης κοκκομετρίας υποστρωμάτων. Τα

αποτελέσματα παρατίθενται στο Διάγραμμα 8.8.

Τα αποτελέσματα από την προσομοίωση φυτεμένου δώματος στο κτίριο αναφοράς (παντελώς αμόνωτο κτίριο) με υπόστρωμα μίγμα κίσηρης σε βάθος 20 cm και Θν% ίση με 28%, έδειξε μια πολύ μικρή αύξηση του ψυκτικού φορτίου 0,2% και μια μείωση του θερμικού φορτίου κατά 2,4%. Την ίδια ώρα ο U μεταβλήθηκε κατά 25%, από 0,393 σε 0,523 .

Τα αποτελέσματα από την προσομοίωση φυτεμένου δώματος στο κτίριο αναφοράς με υπόστρωμα μίγμα περλίτη σε βάθος 20 cm και Θν% ίση με 49,5%, έδειξε μια μικρή μείωση του ψυκτικού φορτίου 0,4% και μια όχι αμελητέα αύξηση του θερμικού φορτίου κατά 3,5%. Την ίδια ώρα ο U μεταβλήθηκε κατά 18%, από 0,417 σε 0,343.

Επισημαίνονται τα εξής: Πρώτον ότι το θερμικό κέρδος ή επιβάρυνση από μεταβολή της υγρασίας του υποστρώματος κατά 10 ποσοστιαίες μονάδες, ήταν υπολογίσιμο. Δεύτερον, αν και η συμμεταβολή του U φυτεμένου δώματος και υγρασίας δείχθηκε γραμμική, δεν ισχύει το ίδιο και για τα φορτία ψύξης ή θέρμανσης του κτιρίου. Επίσης τα αποτελέσματα αυτά αν και ιχνογραφούν μια τάση, αφορούν το συγκεκριμένο κτίριο που προσομοιώθηκε. Κάθε ένα συγκεκριμένο κτίριο, θα παρουσιάζει τα δικά του φορτία για θέρμανση και ψύξη με διαφορετική απόκριση στον κάθε τύπο φυτεμένου δώματος, στο U που το χαρακτηρίζει και τη μεταβολή της υγρασίας του υποστρώματός του.

Συνοπτικά φαίνεται ότι μια μετατόπιση της περιεχομένης υγρασίας στο 28%, προκάλεσε όχι αμελητέα κέρδη για την θέρμανση, ενόσω άφησε ανεπηρέαστη την ενεργειακή απαίτηση για δροσισμό. Αντίθετα μια μετατόπιση της περιεχόμενης υγρασίας στο 49,5%, επέφερε πολύ μικρά κέρδη στον δροσισμό ενώ η ενεργειακή απαίτηση για θέρμανση αυξήθηκε αρκετά.

8.5. Ποσοτικοποίηση της επίδρασης της εξατμισοδιαπνοής

Όσον αφορά τον ρόλο της εξατμισοδιαπνοής, αξιολογήθηκε με την λανθάνουσα θερμότητα (ΛΕΤ) που απορροφά, η οποία υπολογίστηκε (Π.ΙΙ.7.) για μεν την λεβάντα στο 20% και 28% της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας (Rn) για τον χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα και για δε την φεστούκα στο 26% και 34,5% της Rn, για τον χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα. Αυτά τα ποσοστά αντιπροσωπεύουν το 24% και 33,3% της απορρόφησης της Rn για τον χειμώνα και το 37,3% και 49,5% της απορρόφησης της Rn για το καλοκαίρι, για την λεβάντα και την φεστούκα αντίστοιχα.

Έχοντας υπόψη ότι ένα μέρος της απορροφούμενης Rn, ίσο με 9,5% της Rn (Feng et al., 2010), δεσμεύεται από την φωτοσύνθεση, ο ρόλος της εξατμισοδιαπνοής στην απορρόφηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας έχει σε κάθε περίπτωση την μεγαλύτερη βαρύτητα και ειδικά για το καλοκαίρι είναι ο κυρίαρχος παράγοντας αυτής της

διαδικασίας. Οι Lazzarin et al. (2005) βρήκαν ότι η εξατμισοδιαπνοή δέσμευσε ως λανθάνουσα θερμότητα, το 25% και 65% της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας (R_n), για το καλοκαίρι και τον χειμώνα αντίστοιχα. Από άποψη κλίμακας, τα ποσοστά είναι παρόμοια, αλλά αντίθετα (μεγαλύτερη εξατμισοδιαπνοή το χειμώνα) σε σχέση με την παρούσα μελέτη (μεγαλύτερη -ως ποσοστό της R_n - εξατμισοδιαπνοή το καλοκαίρι). Τόπος διεξαγωγής των πειραμάτων τους ήταν η Vicenza της Ιταλίας ($45^{\circ} 35' 45''$ N και $11^{\circ} 23' 25''$ E, 58 m) και το φυτεμένο δώμα αποτελείτο από 20 cm εδάφους ($\rho=800-900 \text{ kg m}^3$), η αποστραγγιστική διάστρωση αποτελείτο από 11cm διογκωμένου PE και ήταν φυτοκαλυμμένο με είδη *Sedum sp.* Οι Feng et al. (2010), βρήκαν ότι η εξατμισοδιαπνοή δέσμευσε ως λανθάνουσα θερμότητα, 58,4% της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας (R_n) σε υγρό υπόστρωμα εδάφους πάχους 4cm και ήταν φυτοκαλυμμένο με είδη *Sedum sp.*, στο Guangzhou της ΝΑ Κίνας ($23^{\circ} 07' 45''$ N και $113^{\circ} 15' 52''$ E, 7m). Βρήκαν δηλαδή υψηλή εξατμισοδιαπνοή σε θερμή ζώνη.

ΙΧ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΘΑΛΑΜΟ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΤΟ ΚΑΠΕ

-Υπολογίστηκαν συντελεστές θερμοπερατότητας U , πέντε συστημάτων φυτεμένων δωματίων με τη δυναμική μέθοδο PSLINK, σε αδιαβατικό θάλαμο δοκιμών και σε πραγματική κλίμακα. Παράλληλος υπολογισμός των U με θεωρητικό τρόπο είχε απόκλιση (υπερεκτίμηση) κατά 30-40%.

-Από τα πειράματα βρέθηκε ότι το σύστημα φυτεμένου δώματος με υπόστρωμα πετροβάμβακα επέδειξε πολύ χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας (U) λόγω του αυξημένου πορώδους του και ήταν κοντά στο U της οροφής του βιοκλιματικού κτιρίου. Επειδή όμως αποστραγγίζει γρήγορα και σε χαμηλές μηζύσεις, απαιτεί συχνές μικρές αρδεύσεις με στόχο η περιεκτικότητά του σε νερό να παραμένει κοντά στη ζώνη κορεσμού. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το νερό στη Μεσογειακή ζώνη, είναι ένας πόρος σε περιορισμό κατά τη διάρκεια της ξηροθερμικής περιόδου, πρέπει σε κάθε περίπτωση να συνεκτιμώνται τα πλεονεκτήματά του σε σχέση με την ανάγκη περιορισμένης άρδευσης και εξοικονόμησης νερού.

-Τα δύο φυτεμένα δώματα με αδρανή διαβαθμισμένης κοκκομετρίας υποστρώματα, που περιείχαν περλίτη το ένα και κίσηρη το άλλο, σε μικρό βάθος 10 cm και με υγρασία κοντά στην υδατοϊκανότητα, επέδειξαν υψηλές τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας U , υψηλότερες από μια συμβατική οροφή αλλά και πάνω από τις μέγιστες που καθορίζει ο Ελληνικός κανονισμός θερμομόνωσης για την Β κλιματική ζώνη ($0,45 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$).

-Αυξάνοντας το βάθος του υποστρώματος στα 20 cm, διαπιστώθηκε ότι συστήματα

φυτεμένων δωμαίων με υποστρώματα αποτελούμενα από χονδρόκοκα αδρανή υλικά, επιτυγχάνουν τιμές U χαμηλότερες του μέγιστου απαιτούμενου από τον κανονισμό θερμομόνωσης. Επομένως, όσον αφορά αυτά τα δύο υποστρώματα, συνίσταται να χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερα βάθη.

-Δείχθηκε ότι οι τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας εξαρτώνται και είναι σε γραμμική σχέση από την περιεχόμενη στα υποστρώματα υγρασία, τουλάχιστον για επίπεδα 28-50% . Η διαπίστωση αυτή αφήνει περιθώρια βελτίωσης της θερμικής απόδοσης των φυτεμένων δωμαίων με χειρισμό της περιεχομένης υγρασίας των υποστρωμάτων.

-Από την προσομοίωση μονώροφου κτιρίου στο λογισμικό TRNSYS, δείχθηκε ότι με την εγκατάσταση όλων των τύπων φυτεμένων δωμαίων επιτεύχθηκε, σε σύγκριση με το αμόνωτο δώμα, εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση σε επίπεδα 25-30%. Σε σύγκριση ωστόσο με το κατά KENAK μονωμένο δώμα, μόνο το υπόστρωμα με πετροβάμβακα είχε αυξημένη απόδοση κατά 4,42%, ενώ τα βαθύτερα από αδρανή υλικά, χονδρόκοκα υποστρώματα υστερούσαν κατά 3-4,5% και τα ρηχά υστερούσαν πολύ σε απόδοση (17-20%).

-Είναι αξιοσημείωτο, ότι η φύτευση επάνω σε ήδη μονωμένο δώμα κατά KENAK, ελάχιστα μειώνει τα θερμικά φορτία του κτιρίου τον χειμώνα, πλην του υποστρώματος με πετροβάμβακα (7,8%) και με κίσσηρη στα 20 cm (6,1%). Στην περίπτωση του πετροβάμβακα λόγω του υψηλού πορώδους του και της συγκράτησης αέρα σε μεγάλο ποσοστό αυτού και στην περίπτωση της κίσσηρης, λόγω του μεγάλου πάχους του υποστρώματος και της χονδρόκοκκης υφής του, που επιτρέπει γρηγορότερη αποστράγγιση σε σχέση με τον περλίτη.

-Μια μετατόπιση της περιεχομένης υγρασίας στο υπόστρωμα με κίσσηρη στα 20 cm, από 37.5% σε 28%, προκάλεσε μείωση των θερμικών φορτίων κατά 2,4%. Συνεκτιμώντας τη γραμμική σχέση U και Θν%, εκτιμάται ότι και τα ρηχά υποστρώματα θα μπορούσαν να συμβάλουν στην μείωση των θερμικών φορτίων του κτιρίου σε χαμηλότερες περιεκτικότητες υγρασίας, θέμα που πρέπει να ερευνηθεί στην κατεύθυνση της μείωσης της υδατοϊκανότητας τους.

-Όλα τα σενάρια είχαν πολύ μεγάλη εξοικονόμηση για δροσισμό, σε σύγκριση με το αμόνωτο δώμα, σε επίπεδα 54-62%, αλλά και σε σύγκριση με το μονωμένο κατά KENAK κατά 12%, οφειλόμενη στην εξατμισοδιαπνοή των φυτών.

-Είναι επίσης αξιοσημείωτο, ότι η φύτευση επάνω σε ήδη μονωμένο κατά KENAK δώμα, επιφέρει πολύ σημαντική μείωση των ψυκτικών φορτίων το καλοκαίρι, περίπου 12% για όλα τα σενάρια και 15,45% για υπόστρωμα με κίσσηρη στα 20 cm.

Χ. ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ

Συνδυάζοντας τα συμπεράσματα, τόσο από τις μελέτες αγρού όσο και τα πειράματα στο ΚΑΠΕ, μπορεί να αναφερθεί ότι:

-Αυξανόμενου του βάθους υποστηρίζεται αποτελεσματικότερα η επιβίωση και η ανάπτυξη τόσο του κλοοτάπητα όσο και της λεβάντας, κυρίως μέσω της ανάπτυξης πλουσιότερου ριζικού συστήματος, ενώ από το δεύτερο έτος γίνεται παράγοντας επηρεασμού και για την ελιά. Σε αναλογία, τα υποστρώματα χονδρόκοκκων αδρανών υλικών σε αυξημένα βάθη (20 cm), επιτυγχάνουν συντελεστή θερμοπερατότητας χαμηλότερου του οριζόμενου μέγιστου από τον κανονισμό θερμομόνωσης, συμβάλλοντας έτσι αυτόνομα στην θερμική μόνωση των κτιρίων

-Υποστρώματα χονδρόκοκκων αδρανών υλικών σε μικρά βάθη (10 cm), υστερούσαν σημαντικά στους δείκτες ανάπτυξης καθώς και στην περιεκτικότητα σε χλωροφύλλες_{a+b} στον κλοοτάπητα. Κατ' αναλογία τα υποστρώματα χονδρόκοκκων αδρανών υλικών σε μικρά βάθη (10 cm) μόνο περιστασιακά (ξηρή περίοδο, άνομβρες περιόδους του χειμώνα) θα μπορούσαν ίσως να συμβάλλουν σε ανεκτά επίπεδα θερμικής μόνωσης των κτιρίων. Χρειάζεται να ερευνηθεί περαιτέρω η μεταβολή της υδατοϊκανότητας, σε σχέση με τον λόγο εξοικονόμησης ενέργειας για ψύξη προς εξοικονόμησης ενέργειας για θέρμανση και πάντα σε σχέση με τον τύπο και τη χρήση του κτιρίου. Αντίθετα ο πετροβάμβακας ως υπόστρωμα αφενός φιλοξενεί μια σχετικά απαιτητική βλάστηση (κλοοτάπητα) με ανταγωνιστικό τρόπο σε σχέση με τα μίγματα που δοκιμάστηκαν, αν εξασφαλίζεται πλήρης άρδευση, αφετέρου διασφαλίζει πολύ χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας, συμβάλλοντας έτσι αυτόνομα και αποφασιστικά στην βελτίωση της θερμικής μόνωσης των κτιρίων. Ωστόσο όπως έδειξε και η δοκιμασία έντονης υδατικής καταπόνησης, δεν προσφέρεται για συνθήκες όπου δεν εξασφαλίζεται ένα πρόγραμμα ήπιας τουλάχιστον άρδευσης και με συχνές επαναλήψεις. Εδώ θα μπορούσε να ερευνηθεί ο συνδυασμός πετροβάμβακα με CAM φυτά.

-Παράχθηκαν δεδομένα για το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας σε διάφορους τύπους κτιρίων, από την εγκατάσταση φυτεμένων δωματίων. Η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να κυμανθεί περί το 60% για δροσισμό και 21-28% για θέρμανση επί αμόνωτου δώματος και 12-15% για δροσισμό και 3-8% για θέρμανση επί μονωμένου κατά ΚΕΝΑΚ δώματος, ανάλογα τον τύπο του φυτεμένου δώματος και του κτιρίου στο οποίο εγκαθίσταται. Δείχθηκε έτσι ότι η κατασκευή φυτεμένων δωματίων βασισμένη σε υποστρώματα από τοπικά διαθέσιμα ελαφρά υλικά, που μπορεί να αναμιχθούν έτσι ώστε να έχουν την κατάλληλη υδατοϊκανότητα, σε συνδυασμό με ανθεκτικά στην ξηρασία φυτά, συνιστούν μια προσαρμόσιμη προσέγγιση, η οποία μπορεί να υπηρετήσει μια αειφορική εκδοχή για τα σύγχρονα κτίρια και πόλεις στη Μεσογειακή ζώνη.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ahmad, M.J., G.N. Tiwari, A.K. Singh, M. Sharma, and H.N. Singh. 2010. Heating cooling potential and carbon credit earned for dome shaped house. *International Journal of Energy and Environment* 1:133-148.
- Akbari, H., M., Pomerrantz, and H., Taha. 2001. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy* 70:295-310.
- Alcazar, S. and B. Bass. 2005. Energy Performance of Green Roofs in a Multi Storey Residential Building in Madrid. *Greening Rooftops for Sustainable Communities*, p. 569-582. *In Proc. of 3rd North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities*, Washington, DC. 4-6 May 2005. The Cardinal Group, Toronto.R.G.
- Allen, R.G., M. Smith, A. Perrier, and L.S. Pereira. 1994. An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin* 43:1-34.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. *Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)*. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Irrigation and Drainage Paper No. 56, p. 281. Rome, Italy.
- Alexandri, E. and P. Jones. 2006. Sustainable Urban Future in Southern Europe - What about the Heat Island Effect, *Proceedings CD of the European Regional Science Association Conference*. Volos, Greece.
- Alexandri, E. and P. Jones. 2007. Developing a one-dimensional heat and mass transfer algorithm for describing the effect of green roofs on the built environment: Comparison with experimental results. *Building and Environment* 42:2835-2849.
- Αλεξανδρή, Ε. 2010. Μετρίασμός του φαινόμενου θερμικής νήσου μέσω της φύτευσης δωμάτων και όψεων. *ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ ΤΕΕ*. Μάρτιος-Απρίλιος:35-82.
- ANSI, SPRI RP-14. 2010. Wind design standard for vegetative roofing systems: p. 36.
- Anderson, J., D. Shiers, and K. Sleele. 2009. *The Green Guide to Specification*. 4th Edition. Blackwell-Wiley & IHS, pp 226. Green Guide is part of the *BREEAM* and Code for Sustainable Homes programmes.
- Angelopoulos, K., B. Dichio, and C. Xiloyannis. 1996. Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europea* L.) during water stress and rewatering. *Journal of Experimental Botany* 47:1093-1100.
- Angini, I., M. Kose, and R. Aslantas. 2011. Effect of diatomite on growth of strawberry. *Pak. J. Bot.* 43:573-577.

- Αραβαντινός, Α. 1997. *Πολυεδαμικός σχεδιασμός*. Για μια βιώσιμη ανάπτυξη του αστικού χώρου., Συμμετρία, σελ. 564. Αθήνα.
- Arenas, M., C.S. Vavrina, J.A. Cornell, E.A. Hanlon, and G.J. Hochmuth. 2002. Coir as an alternative to peat in media for tomato transplant production. *HortScience* 37:309-312.
- ASTM. 2000. Standard test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils. Method D 2974-00. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA.
- ASTM, 2005. Book of Standards, E2397-05 E2396-05, E2398-05, E2397-05, E2396/E2399-05, E2400-05, v. 04-12. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA.
- ASTM, 2007. Method D422-63, American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA.
- Athar, H.P. and Ashraf, M. 2005. Photosynthesis under Drought Stress. In *Photosynthesis Handbook*, 2nd ed., editor Pessarakli M., CRC Press by Taylor & Francis Group LLC, p. 928.
- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol* 24:1-15.
- Beattie, J.D. and R.D. Berghage. 2001. Hitting the Roof. *American Nursery Magazine*. (hortweb.cas.psu.edu/research/greenroofcenter/press/greenroof.pdf)
- Beattie, D.J. and R.D. Berghage. 2004. Green Roof Media Characteristics: the Basics. In: *Proceedings of the Third Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show*. The Cardinal Group, Toronto, Portland.
- Bellamy, D. 1977. *Οικολογική Εγκυκλοπένδια*. Ο κόσμος των φυτών. Εκδόσεις Μπουκουμάνη, τ. 8, σελ. 144. Αθήνα.
- Benvenuti S. and D. Bacci. 2010. Initial agronomic performances of Mediterranean xerophytes in simulated dry green roofs. *Urban Ecosystems* 13:349-363.
- Βιάζης, Γ. 2002. Θερμομόνωση κτιρίων. *Νομοθεσία-Μελέτες*. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, σελ.112. Αθήνα.
- Biesiada, A., A. Sokol-Letowska, and A. Kucharska. 2008. The effect of nitrogen fertilization on yielding and antioxidant activity of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.). *Acta Scientiarum Polonorum* 7:33-40.
- Boivin, M.A., M.P. Lamy, A. Gosselin, and B. Dansereau. 2001. Effect of artificial substrate depth on freezing Injury of six herbaceous perennials grown in a green roof system. *HortTechnology* 11:409-412.

- Bosabalidis, A.M. and G. Kofidis. 2002. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. *Plant Sci.* 163:375-379.
- Bougol, S., S. Ruy, F. Groot, and T. Boulard. 2005. Hydraulic and physical properties of stonewool substrates in horticulture. *Scientia Horticulturae* 104:391-405.
- Boussadia, O., K. Steppe, H. Zgallui, S. Ben El Hadj, M. Braham, R. Lemeur, and M.C. Van Labeke. 2010. Effects of nitrogen deficiency on leaf photosynthesis, carbohydrate status and biomass production in two olive cultivars (Meski, Koroneiki). *Scientia Horticulturae* 123:336-342.
- Boyer, L. 1982. Energy and habitability aspects of earth sheltered housing in Oklahoma. Oklahoma State University. Stillwater. *Annual review of energy* 7:201-217.
- Brenneisen, S. 2003. The benefits of biodiversity from green roofs: Key design consequences, p. 323-329. In *Proc. of 1st North American GreenRoof Conference: Greening rooftops for sustainable communities*, Chicago.
- Bullen, R. and F. Fricke. 1982. Sound propagation through vegetation. *Journal of Sound and Vibration* 80:11-23.
- Cantor, S. 2008. *Green roofs in sustainable landscape design*. 1st ed. New York: W.W. Norton & Co., p. 320.
- Carter, T. and C.R. Jackson. 2007. Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales. *Landscape and Urban Planning* 80:84-94.
- Castleton, H.F., V. Stovinb, S.B.M. Beckc, and J.B. Davisonb. 2010. Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings* 42:1582-1591.
- CEC, Commission of the European Communities. 2005. Communication from the commission to the council and the European Parliament on Thematic Strategy on the urban environment. Brussels, 11 January 2006, COM 718.
- CIBSE. 2007. *Green Roofs*. CIBSE Knowledge Series. pp.34. UK.
- Clark, C., B. Talbot, J. Bulkley, and P. Adriaens. 2005. Optimization of green roofs for air pollution 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.
- Commoner, B. 1971. *The Closing Circle*. Bantam Books, p. 326. New York.
- Connor, C. 2005. Adaptation of olive (*Olea europaea* L.) to water-limited environments. *Australian Journal of Agricultural Research* 56:1181-1189.
- Costello, L.R., K.S. Jones, N.P. Matheny, and J.R. Clark. 2000. Estimating the irrigation water needs of landscape plantings in California: The Landscape Coefficient Method. *Water Use Classification of Landscape Species (WUCOLS III)*. University of California Cooperative Extension. Inc., Pleasanton, CA, 2000.

- Da Silva, F.F., R. Wllach, and Y. Chen. 1995. Hydraulic properties of rockwool slab used as substrates in horticulture. *Acta Horticulturae* 401:71-75.
- Dalgaard, R., N. Halberg, I.S. Kristensen, and I. Larsen. 2006. Modelling representative and coherent Danish farm types based on farm accountancy data for use in environmental assessments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 117: 223-237.
- Deckmyn, G., I. Nijs, and R. Ceulemans. 2000. A simple method to determine leaf angles of grass species. *Journal of Experimental Botany* 51: 1467-1470.
- Defra. 2009. Department for Environment, Food and Rural Affairs, U.K. A preliminary assessment of the greenhouse gases associated with growing media materials. Science Directorate, Management Support and Finance Team. Defra Project code: IF0154, Contractor Organisation University of Warwick, p. 30.
- Del Barrio, E.P. 1998. Analysis of green roof cooling potential in buildings. *Energy and Buildings* 27:179-193.
- Del Barrio, E.P. 1999. Roof components models simplification via statistical linearisation and model reduction techniques. *Energy and Buildings* 29:259-281.
- De Rijck, G., E. Schrevens, and J. de Baerdemaker. 1996. Thermal conductivity sensing for on-line monitoring and control of the moisture content in rock wool slabs. II IFAC/ISHS Workshop: Mathematical & Control Applications in Agriculture & Horticulture, Silsoe, U.K., 1994. *Scientia Horticulturae* 74:307-312.
- Dimoudi, A., S. Lykoudis, and A. Androutsopoulos. 2006. Thermal performance of an innovative roof component. *Renewable Energy* 31:2257-2271.
- Διονυσίου, Ο.Ν. 2010. Μελέτη της ικανότητας του τροποποιημένου Ζεόλιθου ως μέσο απορρύπανσης υδάτων άρδευσης, Διακτορική διατριβή, Γεωπονική Σχολή, ΑΠΘ.
- Donnelly, M. 1992. *Architecture in the Scandinavian Countries*. The MIT Press, p. 401
- Doorenbos, J. and W.O. Pruitt. 1977. Crop water requirements. FAO irrigation and Drainage Paper no. 24, pp. 281. Rome, Italy.
- Duhl, L. 2002. Health and greening the city. *J. Epidemiol. Community Health* 56:897-898.
- Dunnett, N., and A. Nolan. 2002. The effect of substrate depth and supplementary watering on the growth of nine herbaceous perennials in a semi-extensive green roof. ISHS International Conference on Urban Horticulture. *Acta Horticulturae* 643:305-309. http://www.actahort.org/books/643/643_40.htm
- Dunnett, N. and N. Kingsbury. 2004. *Planting green roofs and living walls*. Timber Press. Portland. Oregon.
- Dunnett N. and A. Nagase, A. Hallam. 2008. The dynamics of planted and colonising species on a green roof over six growing seasons 2001-2006: influence of substrate depth. *Urban Ecosystems* 11:373-384.

- Εμμανουήλ, Δ. 1999. Πληθυσμός και οικονομικές δραστηριότητες. Εισαγωγή στο Ανθρωπογενές περιβάλλον, τ.Β, κεφ. 2:67-114. ΕΑΠ, Πάτρα.
- Emilson, T. and K. Rolf. 2005. Comparison of establishment methods for extensive roofs in southern Sweden. *Urban Forestry & Urban Greening* 3:103-111.
- Ευαγγελινός, Ε. 2001. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων και Περιβάλλοντος χώρου. Τόμος Α, 1.2. ΕΑΠ. Πάτρα.
- Ευμορφοπούλου, Ε. and D. Aravantinos. 1998. The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece. *Energy and Buildings* 27:29-36.
- Ευθυμίουπουλος, Η. 2005. Κτίριο και περιβάλλον. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Ευμορφοπούλου, Α. 1994. Οικολογική παρέμβαση στο δομημένο περιβάλλον με διαμόρφωση κήπων στα δώματα των κτηρίων, *Τεχνικά Χρονικά* 14:249-265.
- Ζαχαρόπουλος, Η. 2001. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων και Περιβάλλοντος χώρου. Τόμος Α, 1.5. ΕΑΠ. Πάτρα.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1998. Irrigation and Drainage Paper No. 56, Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements) by R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, M. Smith, FAO, Rome, Italy.
- Feng, C., Q. Meng, and Zhang, Y. 2010. Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. *Energy and Buildings* 42:959-965.
- Fioretti, R., A. Palla, L.G. Lanza, and P. Principi. 2010. Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building and Environment* 45:1890-1904.
- Finkel, I. 1988. The hanging gardens of Babylon. In the seven Wonders of ancient world: pp.38-58. By Clayton, P., and M.J. Price. Dorset Press. New York.
- FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. 2002. Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Richtlinien für Dachbegrünungen (Guideline for the planning, execution and upkeep of green-roof sites). Selbstverlag, Troisdorf.
- FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. 2008. Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Richtlinien für Dachbegrünungen (Guideline for the planning, execution and upkeep of green-roof sites). Selbstverlag, Troisdorf.
- Frankenstein, S., and G. Koenig. 2004. Fast all-season strength (FASST), U.S. Army Engineer Research and Engineering Laboratory (ERDC/CRRL), Special Report SR-04-25.
- Gaffin, S., C. Rosenzweig, L. Parshall, D. Beattie, R. Berghage, G. O'Keefe, and D. Braman. 2005. Energy balance modeling applied to a comparison of white and green roof cooling efficiency. pp: 583-597. In Proc. of 3rd North American Green Roof

- Conference: Greening rooftops for sustainable communities. Washington DC. 4-6 May 2005. The Cardinal Group, Toronto.
- Gasith, A. and V.H., Resh. 1999. Streams in mediterranean climate regions: abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 30:51-81.
- Gedge, D. 2003. From rubble to redstarts. pp.233-241. In Proc. of 1st North American Green Roof Conference: Greening rooftops for sustainable communities, Chicago. 29-30 May 2003.
- Getter, K.L. and D. B. Rowe. 2006. The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience* 41:1276-1285.
- Getter, K.L. and D. B. Rowe. 2007. Effect of substrate depth and planting season on *Sedum* plug survival on green roofs. *J. Environ. Hort.* 25:95-99.
- Golany, G. 1988. Earth sheltered dwellings in Tunisia. University of Delaware Press, p. 164
- Goldhamer, D.A., E. Fereres, M. Mata, J. Girona, and M. Cohen. 1999. Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 124:437-444.
- Gruda, N. and W.H. Schnitzler. 2006. Wood fiber substrates as a peat alternative for vegetable productions. *Holz als Roh- und Werkstoff* 64:347-350.
- Guerfel, M., O. Baccouri, D. Boujnah, W. Chaibi, and M. Zarrouk. 2009. Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Science Horticulturae* 119:257-263.
- Gül, A., E. Deniz, and O. Ali Rıza. 2005. Comparison of the use of zeolite and perlite as substrate for crisp-head lettuce. *Scientia Horticulturae* 106:464-471.
- Harris, C., G. Innes, and J. Lowien. 2003. Tall Fescue. The State of New South Wales. Australia.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 24:519-570.
- Huang, A., and A.M. Petrovic. 1996. Clinoptilolite zeolite effect on evapotranspiration rate and shoot growth rate of creeping bentgrass on sand base greens. *J. Turf Mgmt.* 1:1-9.
- Inada, K. 1985. Spectral ratio of reflectance for estimating chlorophyll content of leaf. *Jpn. J. Crop Sci.* 54:261-265.
- Iosifides, M. 1998. Experience, problems and suggestions for buildings. Proceedings of the national conference on the implementation of renewable energy sources. NTUA-RENES network, Athens, 30 Nov. - 2 Dec.1998. pp: 18-26 (in Greek).

- Kalkstein, L.S., 2005. Climate and Human Health. *Encyclopaedia of World Climatology*, pp. 407-412. Springer: Dordrecht, Netherlands.
- Kaiser, W.M. 1987. Effects of water deficit on photosynthetic capacity. *Physiologia Plantarum* 71:142-9.
- Καραμουςαντάς, Δ. 2001, Σημειώσεις στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ΤΕΙ Καλαμάτας.
- Karcher, D.E., M.D. Richardson, K. Hignight, and D. Rush. 2008. Drought tolerance of tall fescue varieties selected for high root:shoot ratios. *Crop Sci.* 48:771-777.
- Kariya, K., A. Matsuzaki, and H. Machida. 1982. Distribution of chlorophyll content in leaf blade of rice plant. *Jpn. J. Crop Sci.* 51:134-135.
- Kaewkong, P. and S. Sdoodee. 2005. Evaluation of nitrogen status and total chlorophyll in longkong (*Aglaia dookoo* Griff.) leaves under water stress using a chlorophyll meter. *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 27:731-741.
- Kargas, G., P. Kerkides, M. Seyfried, and A. Sgoumbopoulou. 2011. Wet Sensor Performance in Organic and Inorganic Porous Media with heterogeneous moisture distribution. *Soil Sci. Soc Am. J.* 75:1244-1252.
- Καρτάλης, Κ. 1999. Μετεωρολογία, Εισαγωγή στο Φυσικό και Ανθρωπογενές περιβάλλον. Τόμος Α, κεφ. 4:209-273, ΕΑΠ, Πάτρα.
- Kidron, G.J. 2005. Measurements of evaporation with a novel mini atmometer in negef, *Weather* 60 (9).
- Kirby, K.J. 2003. English Nature Research Report No. 648. pp.62-116.
- Kirnak, H., C. Kaya, T. Tas, and D. Higgs. 2001. The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in eggplants. *Bulgarian J. Plant Physiology* 27:34-46.
- Koppe, C., S. Kovats, G. Jendritzky, and B. Menne. 2004. Health and Global Environmental Change; Heat-Waves: Risks and Responses. Series No. 2. p. 124. Energy, Environment and Sustainable Development, World Health Organization, Copenhagen.
- Κοτσιρης, Γ. 2007. Θερμική άνεση. Εκδόσεις ΙΩΝ, σελ. 99. Αθήνα.
- Kotsiris, G. and A. Androutsopoulos. 2008. The contribution of a green roof to achieve thermal comfort and energy savings. *Proceedings DVD, International Conference of AgEng*, pp. 340-344. Crete, Greece.
- Kotsiris, G., A. Androutsopoulos, and G. Kotopoulis. 2009. A Comparison of insulation characteristics between a planted roof and a roof varnished with a high performance reflective material, XXXIII CIOSTA-CIGR Conference, v. 3: 2047-2051. Reggio Calabria, Italy.

- Lamanna, D., M. Castelnuovo, and G. D'Angelo. 1991. Compost-based media as alternative to peat on ten pot ornamentals. II Symposium on Horticultural Substrates and their Analysis, XXIII IHC. ISHS Acta Horticulturae 294:125-130.
- Larcher, W., J.A.P.V. De Morales, and H. Bauer. 1981. Adaptive responses of leaf water potential, CO₂ gas exchange and water use efficiency of *Olea europea* during drying and rewatering. In: Margaris NS, Mooney HA, (Eds). Components of productivity of Mediterranean climate regions. Basic and applied aspects. The Hague: W. Junk Publishers, pp. 77-84.
- Lakso, A.N. 1985. The effects of water stress on physiological processes in fruit crops. Acta Horticulturae 171:275-290.
- Lazzarin, M.R., F. Castelliani, and F. Busato. 2005. Experimental measurement and numerical modeling of a green roof. Energy and Buildings 37:1260-1267.
- Liu, K. and B. Baskaran. 2003. Thermal performance of green roofs through field evaluation. Proceedings for the First North American Green Roof Infrastructure Conference, Awards and Trade show, Chicago, IL., May 29-30, pp. 1-10.
- Lo Gullo, M.A. and S. Salleo. 1988. Different strategies of drought resistance in three Mediterranean sclerophyllous trees growing in the same environmental conditions. New Phytologist 108:267-276.
- Loh, C.W.F., C.J. Grabosky, and N. Bassuk. 2002. Using the SPAD 502 meter to assess chlorophyll and nitrogen content of benjamin fig and cottonwood leaves. HortTechnology 12:682-686.
- Maidment, D.R. 1993. Handbook of Hydrology. (Ed.). McGraw-Hill INC. p.1424. New York.
- Manivannan, P., C.A. Jaleel, B. Sankar, A. Kishorekumar, R. Somasundaram, G.M. Alagu Lakshmanan, and R. Panneerselvam. 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. Colloids Surf. B: Biointerfaces. 59:141-149.
- Μαυρογιαννόπουλος, Γ.Ν. 2001. Θερμοκήπια. Σταμούλης, σελ. 719. Αθήνα.
- Mentensa, J., D. Raesa, and M. Hermy. 2006. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century. Landscape and Urban Planning 77:217-226.
- Messing, I. 1998. A simple practical evaporimeter: a comparison of Andersson evaporimeter with class A pan, Piche atmometer and Pennans evaporation. Arid soil research and rehabilitation 12:275-290.
- Monterusso, M.A., D.B. Rowe, and C.L. Rugh. 2005. Establishment and persistence of *Sedum* spp. and native taxa for green roof applications. HortScience 40:391-396.

- Moriana, A. and E. Fereres. 2002. Plant indicators for scheduling irrigation of young olive trees. *Irrigation Science* 21:83-90.
- Morris, N.K., (Ex. Dir.). 2009. A Guide to NTEP Turfgrass Ratings. Progress Report NTEP No. 10-8. National Turfgrass Evaluation Program (NTEP). USA.
- Μπουλανίκη, Π. 2010. Χημικές ουσίες στα κατασκευαστικά υλικά των σπιτιών. *Τεχνολογικά Χρονικά*. Τεύχος 23, σελ. 14-18. ΤΕΙ Αθήνας.
- Mumpton, F.A. 1999. La roca magica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*96:3463-3470.
- Nagase, A. and N. Dunnett. 2011. The relationship between percentage of organic matter in substrate and plant growth in extensive green roofs. *Landscape and Urban Planning* 103: 230-236.
- Nektarios, P., P. Tsiotsiopolou, and I. Chronopoulos. 2003. Soil amendments reduce roof garden weight and influence the growth rate of *Lantana*. *HortScience* 38:618-622.
- Nektarios, P. A., E. Nydrioti, G. Kotopoulis, G. Tsoggarakis, M. Papadopoulou, A. Nikologianni, P. Andreou, and A. Markoglou. 2008. Turfgrasses in green roofs: growth, water consumption and environmental fate of nutrients and pesticides. 1st European Turfgrass Society Conference, 19-20 May 2008, Pisa, Italy. pp. 27-32.
- Nektarios, P. A., I. Amountzias, I. Kokkinou, and N. Ntoulas. 2011a. Green roof substrate type and depth affects the growth of the native species *Dianthus fruticosus* under reduced irrigation regimens. *HortScience* 46:1208-1216.
- Nektarios, P. A., S. Kastritsis, N. Ntoulas, and P. Tsiotsiopolou. 2011b. Substrate amendment effects on potted plant production and dry weight partition of *Lantana camara*. *HortScience* 46:864-869.
- Neuwirth, F. 1981, *Meteorology and Atmospheric Physics*. Volume 30(1-2):119-133.
- Ngan, G. 2004. Green roof policies: tools for encouraging sustainable design. *Landscape Architecture Canada Foundation* Available at <http://www.gnla.ca/assets/Policy%20report.pdf>.
- Niachou, A., K. Papakonstantinou, M. Santamouris, A. Tsangrassoulis, and G. Mihalakakou. 2001. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings* 33:719-729.
- Nikologianni, A., P. Andreou, and P.A. Nektarios, and A.N. Markoglou. 2009. Metalaxyl-m Leaching from Different Substrates and Drainage Systems in Intensive Green Roofs. *Acta Horticulturae* 881:725-728.
- Nogués, S. and N.R. Baker. 2000. Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. *J. Exp. Bot.* 51:1309-1317.

- Nogues, S. and L. Alegre. 2002. An increase in water deficit has no impact on the photosynthetic capacity of field-grown Mediterranean plants. *Funct. Plant Biol.*29:621-630.
- Ντούλας, Ν., Π.Α. Νεκτάριος, Ε. Χαραλάμπους, Α. Ψαρούλης, και Δ. Χριστοφόρου . 2011. Επίδραση του είδους και βάθους υποστρώματος εκτατικού φυτοδώματος καθώς και της υδατικής καταπόνησης στην ανάπτυξη και εδαφοκάλυψη του *Zoysia matrella* ‘Zeon’. 25^ο Συνέδριο ΕΕΕΟ, 1-4 Νοεμβρίου, Λεμεσός Κύπρος. Αποδεκτή για δημοσίευση.
- Oberlander, C.H., E. Whitelaw, and E. Matsuzaki. 2002. Introductory manual for greening roofs. Public works and government services Canada, ftp://ftp.tech-env.com/pub/SERVICE_LIFE_ASSET_MANAGEMENT/PWGSC_GreeningRoofs_wLinks.pdf.
- Onmura, S., M. Matsumoto, and S. Hokoi. 2001. Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens, *Energy and Buildings* 33:653-666.
- Osmundson, Th. 1999. *Roof Gardens. History, Design, and Constuction*. W.W. Norton & Company, p.318. New York. London.
- Παπαγιάννης, Θ. 1999. Σχεδιασμός Πόλεων και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις. Τόμος Α, Κεφ. 1. σελ. 27-89. ΕΑΠ. Πάτρα.
- Paradakis, G., P. Tsamis, and S. Kyritsis. 2001. An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings. *Energy and Buildings* 33:831-836.
- Paradopoulos, A. 2006. Life cycle analysis of rockwood, Project Competitiveness (OPC) of the Third Community Support Framework. Part of the Action 4.5.1, Aristotelian University of Thessalonica.
- Παπαδόπουλος, Α. 2004. Α΄ φάσης του έργου “Σχεδιασμός & Ανάπτυξη Καινοτόμων Προϊόντων Πετροβάμβακα για την Ενεργειακή Αναβάθμιση Υφισταμένων & Νεόδμητων Κτιρίων”. ΕΠΑΝ, πράξη “ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ” .
- Παπαναστασάτος, Α.Ε. και Μ. Παπαφωτίου. 2011α. Επίδραση του είδους και βάθους υποστρώματος και συχνότητας άρδευσης στην ανάπτυξη του *Origanum majorana* L. σε συνθήκες φυτοδώματος. 25^ο Συνέδριο ΕΕΕΟ, 1-4 Νοεμβρίου, Λεμεσός Κύπρος. Αποδεκτή για δημοσίευση.
- Παπαναστασάτος, Α.Ε. και Μ. Παπαφωτίου. 2011β. Επίδραση του είδους και βάθους υποστρώματος και συχνότητας άρδευσης στην ανάπτυξη του *Santolina chamaecyparissus*, σε συνθήκες φυτοδώματος. 25^ο Συνέδριο ΕΕΕΟ, 1-4 Νοεμβρίου, Λεμεσός Κύπρος. Αποδεκτή για δημοσίευση.
- Parafotiu, M., J. Chronopoulos, A. Tsotsios, K. Mouzakis, and G. Balotis. 2004. The impact of Design on traffic noise control in an urban park. *Proc. IC on Urban Horticulture. ISHS 2004. Acta Horticulturae* 643:277-279.

- Peck, S. and M. Kuhn. 2003. Design Guidelines for Green Roofs. pp.22. Ontario Association of Architects.
- Peñuelas, J, C. Gordon, L. Llorens, T. Nielsen, A. Tietema, C. Beier, P. Bruna, B. Emmett, M. Estiarte, and A. Gorissen. 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 Μ. Παπαφωτίου. 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 Μ. Παπαφωτίου. 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.
- Popovic, M., D. Malevic, O. Gasic, and B. Lazovic, 1999. The influence of different nitrogen concentrations on NO₃ and protein content on olive leaves. Third International Symposium on Olive Growing, Chania, Crete, Greece, 22-26 Sep. 1997. *Acta-Horticulturae* 474:329-331.
- Ridge, I. 2005. *Plants*. Oxford University Press. p.352. The Open University.
- Robles, C., P. Vaughan, A. De Santis, and E. Chuvieco. 2004. Caracterización espectral de la vegetación mediante espectro-radiometría, cámara hiperespectral e imágenes del satélite Hyperion, Medio Ambiente, Recursos y Riesgos Naturales. *Análisis mediante Tecnología SIG y Teledetección* 1:411-420.
- Rowe, D.B., M.A. Monterusso, C.L. Rugh. 2006. Assessment of heat-expanded slate and fertility requirements in green roof substrates. *HortTechnology* 16:471-477.
- Ruter, J.M. 1996. Paclobutrazol application method influences growth and flowering of "new gold" lantana. *Hort Technology* 6:19-20.
- Σάββας, Δ. 2003. Γενική Ανθοκομία, εκδόσεις ΕΜΒΡΥΟ, σελ.316.
- Savvas, D. and Passam, H. 2002. (Eds). *Hydroponic production of vegetables and ornamentals*. Embryo Publications, p.463. Athens Greece.
- Sailor, D.J. 2008. A green roof model for building energy simulation programs. *Energy and Buildings* 40:1466-1478.
- Santamouris, M. 2001. *Energy and Climate in the Urban Built Environment*. (Eds.). James & James, p. 410. London.
- Skinner, C.J. 2006. Urban density. *Meteorology and Rooftops*. *Urban Policy and Research* 24:355-367.

- Still, W.D. and T.F.Jr. Davies. 1993. Water-use efficiency and growth analysis of selected woody ornamental species under a non-limiting water regime. *Scientia Horticulturae* 53:213-223.
- Synnefa, A., M. Santamouris, and H. Akbari. 2007. Estimating the effect of using cool coating on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions, *Energy and Buildings* 39:1167-1174.
- Takebayashi, H. and M. Moriyama. 2007. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment* 42:2971-2979.
- Τασούλα, Λ. και Μ. Παπαφωτίου. 2011. Επίδραση της σύστασης και του βάθους υποστρώματος και της συχνότητας άρδευσης στην ανάπτυξη του *Origanum dictamnus*, σε συνθήκες φυτοδώματος. 25^ο Συνέδριο ΕΕΕΟ, 1-4 Νοεμβρίου, Λεμεσός Κύπρος. Αποδεκτή για δημοσίευση.
- Theodosiou, Th. 2003. Summer period analysis of the performance of planted roof as passive cooling technique. *Energy and Buildings* 35:909-917.
- Thom, A. 1972. Momentum mass and heat exchange of vegetation. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society* 193:345-357.
- TIMSA -Thermal insulation Manufacturers and Suppliers Association. 2000. *Insulation industry handbook 1999/2000*.
- TOTEE 20701-2/2010. Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων. ΤΕΕ, σελ. 146.
- Touloumi, G., E. Samoli, and K. Katsouyanni. 2010. Analysis of health outcome timeseries in epidemiological studies of air pollution effects. Dept. of Hygiene, Epidemiology and Medical Statistics, Athens University Medical School, Greece. Symposium in Honor of Steve Lagakos. October 2010. Athens.
- Townshend, D. and A. Duggie. 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, Α.Ι. 2008. Αρχιτεκτονική τοπίου, εισαγωγή στη θεωρία και στην εφαρμογή. Εκδόσεις Επίκεντρο, σελ. 380. Θεσσαλονίκη.
- ΥΠΕΧΩΔΕ. 2008. Μέτρα περιορισμού των κινδύνων για το περιβάλλον από την παραγωγή και χρήση της χημικής ουσίας 2,4-δινιτροτολουόλιο. Εγκύκλιος Αριθ. Πρωτ. :158568/28 - 8 - 2008. Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος.
- Χριστούλας Δ., Κ. Νικολάου, και Α. Ανδρεαδάκης. 1999. Υποβάθμιση περιβάλλοντος και επιπτώσεις στον άνθρωπο. Εισαγωγή στο Ανθρωπογενές περιβάλλον. Τόμος Β, κεφ. 3: 111-135. ΕΑΠ. Πάτρα.

- Χρονοπούλου-Σερέλη, Α. και Α. Φλόκας. 2010. Μαθήματα Γεωργικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Εκδόσεις ΖΗΤΗ, σελ. 557. Θεσσαλονίκη.
- Χρονοπούλου-Σερέλη, Α., Ι. Τσίρος, και Α. Καμούτσης. 2001. Εργαστηριακές Ασκήσεις Μετεωρολογίας. Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας. ΓΠΑ, Αθήνα.
- Uddling, J., J. Gelang-Alfredsson, K. Piikki and H. Pleijel. 2007. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis Research* 91:37-46.
- UNESCO. 1970. World Meteorological Organization.
- USEPA. 2006, Cool roofs. <http://www.epa.gov/heatisland/strategies/coolroofs.html/>.
- VanWoert, N.D., D.B. Rowe, J.A. Andresen, C.L. Rugh, R.T. Fernandez, and L. Xiao. 2005. Green roof storm water retention: effects of roof surface, slope, and media depth. *Journal of Environmental Quality* 34:1036-1044.
- Villalobos, F.J., F. Orgaza, L. Testia, and E. Fereres. 2000. Measurement and modeling of evapotranspiration of olive (*Olea europaea* L.) orchards. *European Journal of Agronomy* 13:155-163.
- Ward, R. and M. Robinson. 2000. *Principles of Hydrology*. p.450. McGraw-Hill. London and New York.
- Watkins, R. 2000. The Impact of the Urban Environment on the Energy Demand for Cooling Buildings. Literature Review. Report, written as part of a research project carried out at Brunel University and the Building Research Establishment_Ltd. (<http://www.brunel.ac.uk/research/solvent/>).
- Whalley, W.R. 1993. Considerations on the use of time-domain reflectometry (TDR) for measurements soil moisture content. *Journal of Soil Science* 44:1-9.
- Wheeler, T. and J. Osborne. 2010. Sydney City Council Green Roof Resource Manual, p. 139.
- Williams, N.S.G., P.J. Rayner, and J.K. Raynor. 2010. Green roofs for a wide brown land: Opportunities and barriers for rooftop greening in Australia. *Urban Forestry and Urban Greening* 9:245-251.
- Wong, N.H., D.K.W. Cheong, H. Yan, J. Soh, C.L. Ong, and A. Sia. 2003. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Energy and Buildings* 35:353-364.
- Wouters, P. and L. Vandaele. 1995. COMPASS project. Final research report (JOU2-CT92-0216).
- Zollinger, N., R. Kjelgren, T. Cerny-Koenig, K. Kopp, and R. Koenig. 2006. Drought responses of six ornamental herbaceous perennials. *Scientia Horticulturae* 109:267-274.

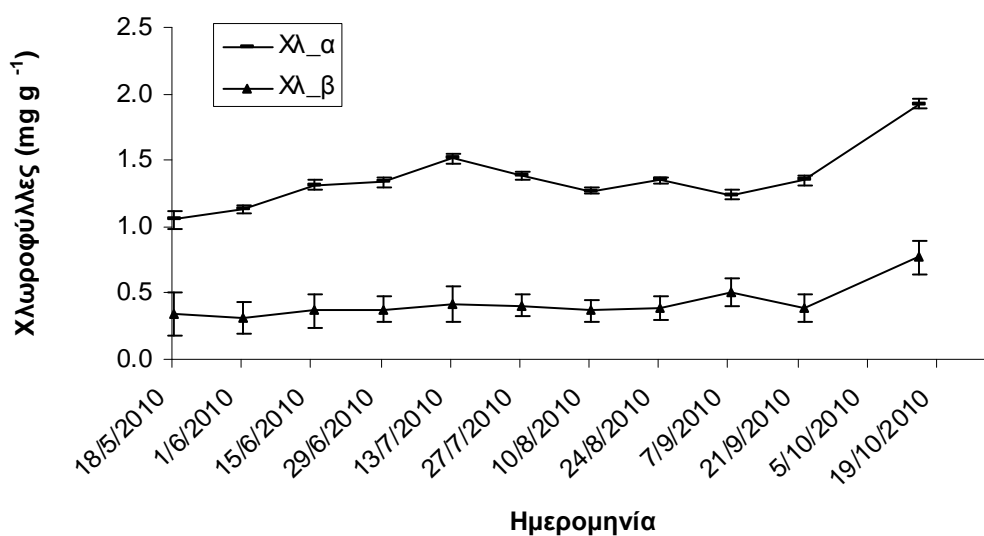
Αναφορές από το Διαδίκτυο

- Δ1. Building Magazine. 2006. <http://www.building.co.uk/>, (25-05-2012)
- Δ2. <http://www.britishmuseum.org/>, (25-05-2012)
- Δ3. <http://www.hemptraders.com/index.php?cPath=27/>, (25-05-2012)
- Δ4. <http://www.sedumdirect.nl/>, (25-05-2012)
- Δ5. <http://www.exoikonomisi.ypeka.gr/>, (25-05-2012)
- Δ6. <http://www.cres.gr/kape/pdf/download/bioclimate.pdf> /, (25-05-2012)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.

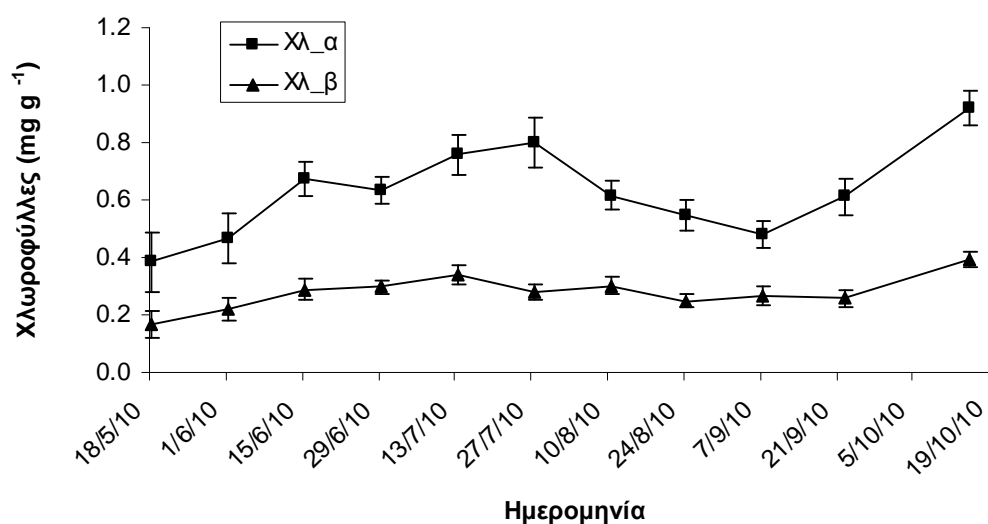
Ι.1. Δεδομένα πειραμάτων Αγρού

Ι.1.1. Τάση συγκέντρωσης χλωροφύλλης_α και χλωροφύλλης_β στην *Olea europaea*



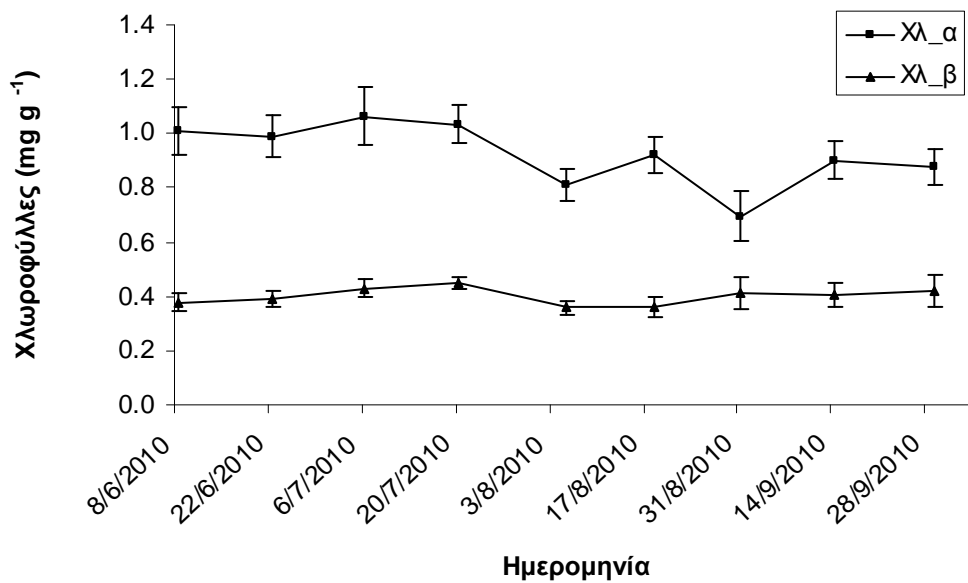
Διάγραμμα Ι.1. Μεταβολή της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη_α και σε χλωροφύλλη_β, στην *Olea europaea*. Οι τιμές του διαγράμματος, είναι ο μέσος όρος των τιμών όλων των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία μέτρησης. Οι κάθετες ράβδοι αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση του μέσου.

Ι.1.2. Τάση συγκέντρωσης χλωροφύλλης_α και χλωροφύλλης_β στο *Pittosporum tobira*



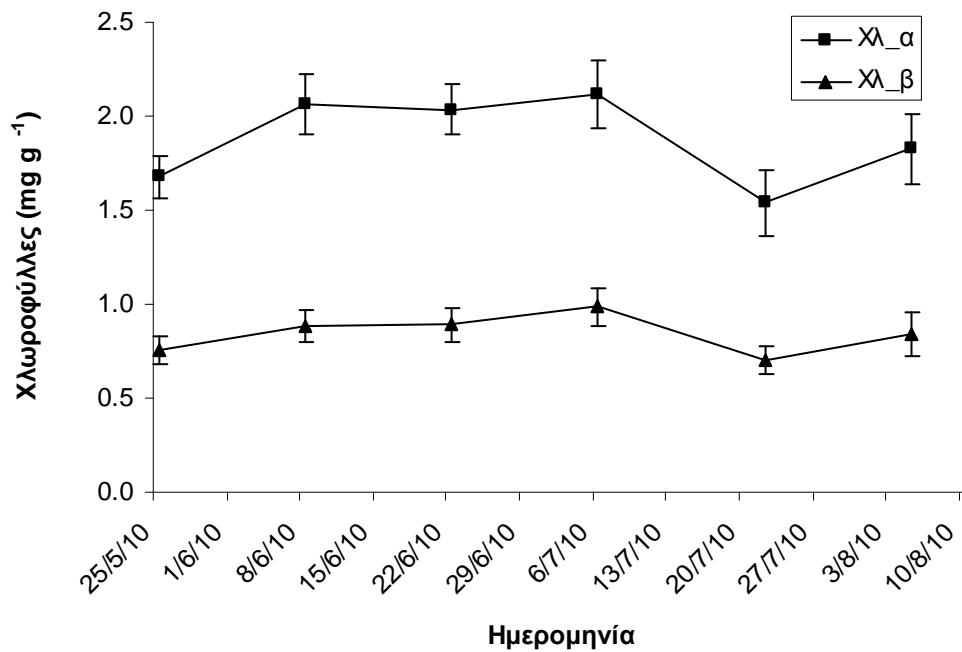
Διάγραμμα Ι.2. Μεταβολή της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη_α και σε χλωροφύλλη_β, στο *Pittosporum tobira*. Οι τιμές του διαγράμματος, είναι ο μέσος όρος των τιμών όλων των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία μέτρησης. Οι κάθετες ράβδοι αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση του μέσου.

ΠΙ.1.3. Τάση συγκέντρωσης χλωροφύλλης_α και χλωροφύλλης_β στην *Lavandula angustifolia*



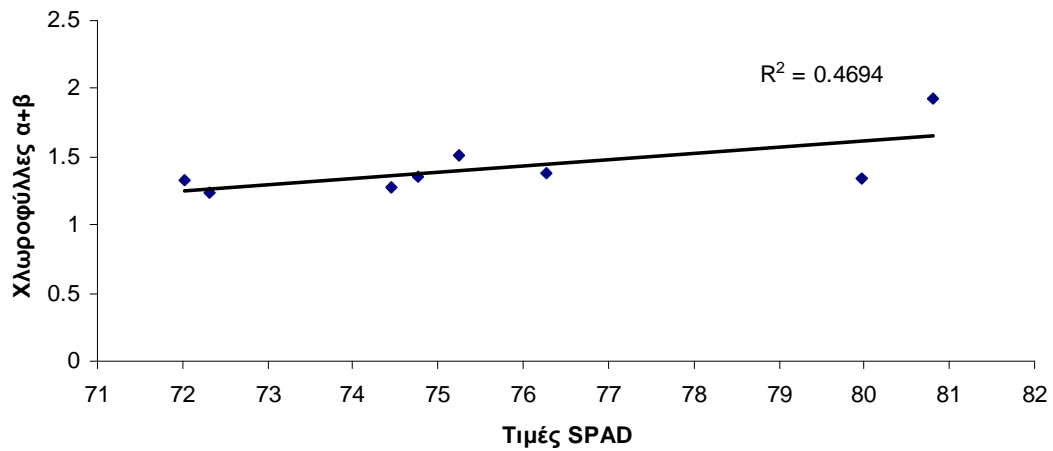
Διάγραμμα 1.3. Μεταβολή της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη_α και σε χλωροφύλλη_β , στην *Lavandula angustifolia*. Οι τιμές του διαγράμματος, είναι ο μέσος όρος των τιμών όλων των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία μέτρησης. Οι κάθετες ράβδοι αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση του μέσου.

ΠΙ.1.4. Τάση συγκέντρωσης χλωροφύλλης_α και χλωροφύλλης_β στον *Festuca arundinacea*



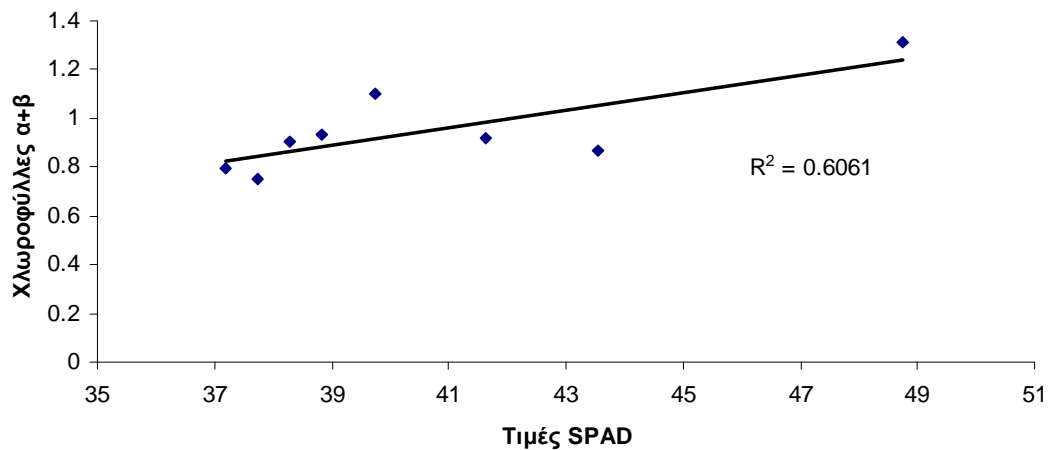
Διάγραμμα Ι.4. Μεταβολή της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη_α και σε χλωροφύλλη_β, στη *Festuca arundinacea*. Οι τιμές του διαγράμματος, είναι ο μέσος όρος των τιμών όλων των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία μέτρησης. Οι κάθετες ράβδοι αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση του μέσου.

ΠΙ.1.5. Συσχέτιση περιεκτικότητας χλωροφυλλών_{α+β} και δείκτη SPAD *Pittosporum tobira*



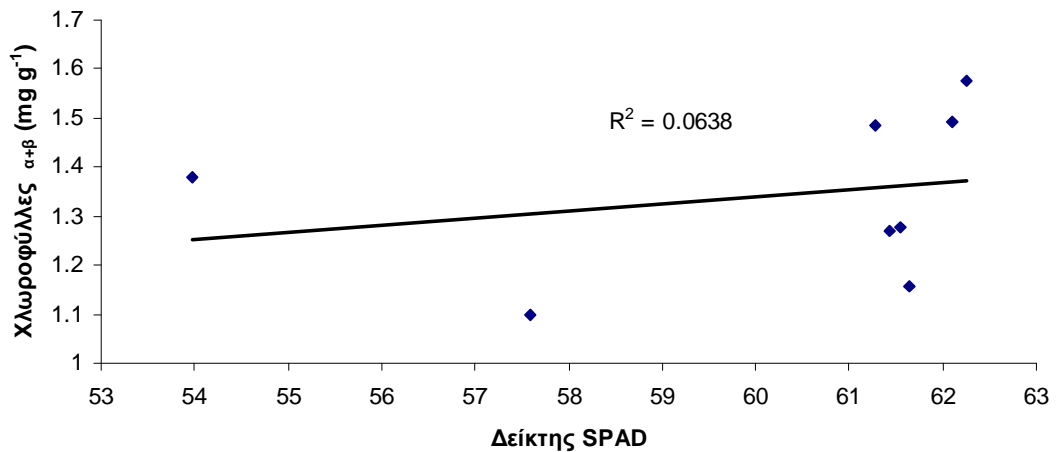
Διάγραμμα 1.5. Συσχέτιση περιεκτικότητας χλωροφυλλών_{α+β} και τιμών δείκτη SPAD στο *Pittosporum tobira*. Οι τιμές στους άξονες είναι ο μέσος όρος των τιμών όλων των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία μέτρησης.

ΠΙ.1.6. Συσχέτιση περιεκτικότητας χλωροφυλλών_{α+β} και δείκτη SPAD στο *Olea europaea*



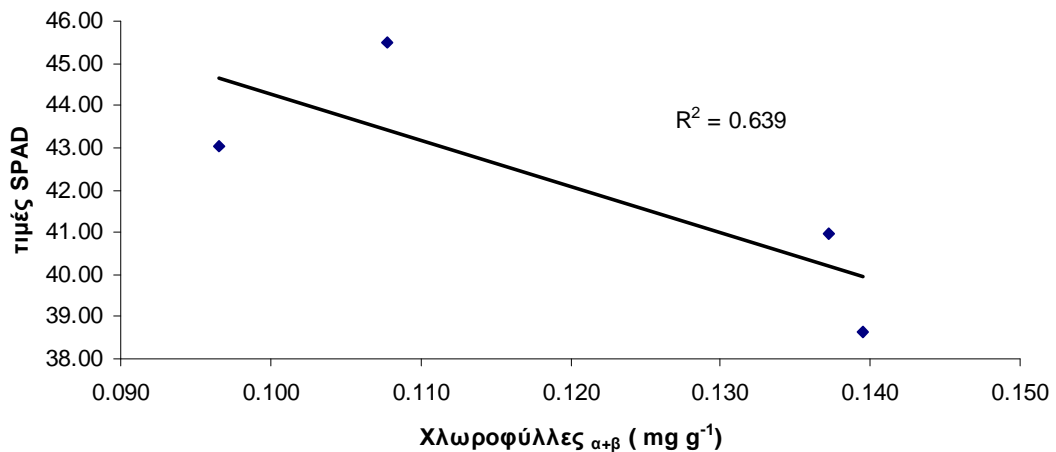
Διάγραμμα 1.6. Συσχέτιση περιεκτικότητας χλωροφυλλών_{α+β} και τιμών δείκτη SPAD στο *Olea europaea*. Οι τιμές στους άξονες είναι ο μέσος όρος των τιμών όλων των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία μέτρησης.

ΠΙ.1.7. Συσχέτιση περιεκτικότητας χλωροφυλλών_{α+β} και δείκτη SPAD στο *Lavandula angustifolia*



Διάγραμμα Ι.7. Συσχέτιση περιεκτικότητας χλωροφυλλών_{α+β} και τιμών δείκτη SPAD στο *Lavandula angustifolia*. Οι τιμές στους άξονες είναι ο μέσος όρος των τιμών όλων των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία μέτρησης. Δεν υπάρχει συσχέτιση.

ΠΙ.1.8. Συσχέτιση περιεκτικότητας χλωροφυλλών_{α+β} και δείκτη SPAD στο *Festuca arundinacea*



Διάγραμμα Ι.8. Συσχέτιση περιεκτικότητας χλωροφυλλών_{α+β} και τιμών δείκτη SPAD στο *Festuca arundinacea*. Οι τιμές στους άξονες είναι ο μέσος όρος των τιμών όλων των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία μέτρησης. Η συσχέτιση είναι αρνητική.

Πίνακας I.1. Ανάλυση Διακύμανσης Πολλαπλών παραγόντων και Πίνακας Μέσων του ξηρού βάρους του ριζικού συστήματος του *Lavandula angustifolia* από τους παράγοντες βάθος (20 or 30 cm) και τύπο υποστρώματος (Pum₆₅:P₃₀:Z₅, Pum₆₅:C₃₀:Z₅ or S₃₀:Per₆₅:Z₅, όπου Pum=κίσσηρη, P=τύρφη, C=κόμποστ, S=πηλοαμμώδες έδαφος, Per=περλίτης, Z=ζεόλιθος).

Πηγή παραλλακτικότητας	N	Άθροισμα τετραγώνων (SS)	Βαθμοί ελευθερίας Df	Μέσα τετράγωνα (MS)	λόγοςF	Τιμή P
Βάθος [B]		1336,68	1	1336,68	7,04	0,0162
Τύπος [T]		61,90	2	30,95	0,16	0,8509
Αλληλεπίδραση [B × T]		784,50	2	392,25	2,06	0,1558
Υπόλοιπο		3419,23	18	189,96		
Σύνολο		5602,33	23			

Πίνακας Μέσων

Βάθος [B]	N	Ξηρό βάρος -----g---	Τύπος [T]	N	Ξηρό βάρος -----g---
20 cm	12	51,3	Pum ₆₅ :P ₃₀ :Z ₅	8	57,9
30 cm	12	66,2	Pum ₆₅ :C ₃₀ :Z ₅	8	61,0
		2,62	S ₃₀ :Per ₆₅ :Z ₅	8	57,4
τ _{πειραματικό}		2,08	LSD		16,89
τ _{κριτηρίου}		*	Σημαντικότητα		NS

*, Σημαντικότητα σε $P < 0,05$

NS, όχι Σημαντικότητα σε $P < 0,05$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.

Δεδομένα Πειραμάτων ΚΑΠΕ

Π.ΙΙ.1. Προκαταρτικές εργασίες

- Επισκευάστηκαν εξωτερικά τα test cell (Εικ. Π1).



Εικόνα Π1. Εξωτερική Επισκευή του Test Cell στο ΚΑΠΕ

- Τοποθετήθηκαν ικριώματα (μεταλλικοί πύργοι και ξύλινοι δοκοί), για την ανάρτηση και μόνιμη στήριξη πλάκας σκυροδέματος και του βάρους των δοκιμών φυτοκάλυψης, σύμφωνα με την τεχνική ξυλοτύπων για σκυρόδεμα (Εικ. Π2).



Εικόνα Π2. Εσωτερική στήριξη με ξυλότυπο, για την υποδοχή της πλάκας οροφής στο Test Cell. Διακρίνονται οι επί ορθοστάτη αναρτημένοι, αισθητήρες θερμοκρασίας αέρα, θαλάμου δοκιμών.

- Αφαιρέθηκε η μετακινούμενη οροφή του θαλάμου test cell με τη βοήθεια ισχυρού γερανοφόρου οχήματος και εν συνεχεία τοποθετήθηκε έτοιμη πλάκα σκυροδέματος (Εικ. Π3α και β).

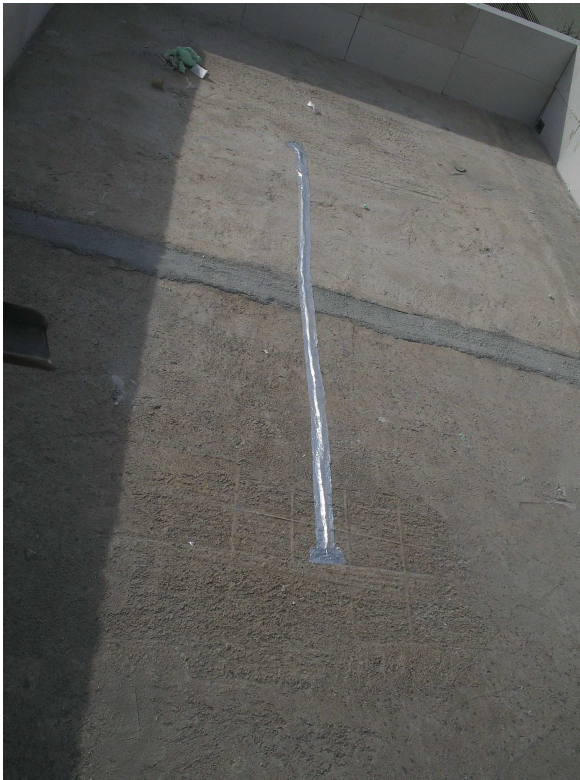


Εικόνα Π3α. Αφαίρεση της μετακινούμενης οροφής του θαλάμου test cell.



Εικόνα Π4β. Τοποθέτηση έτοιμης πλάκας σκυροδέματος.

- Κτίστηκε το στηθαίο του δώματος και τοποθετήθηκαν οι αισθητήρες θερμοκρασίας επί της οροφής εξωτερικά (Εικ. Π4).



Εικόνα Π5. Κατασκευή στηθαίου και τοποθέτηση αισθητήρων θερμοκρασίας επί της οροφής

- Στεγανοποιήθηκε το δώμα με αντιριζική ασφαλτική μεμβράνη (Εικ. Π6).



Εικόνα Π6. Στεγανοποίηση του δώματος με αντιριζική ασφαλτική μεμβράνη.

- Παράλληλα εγκαταστάθηκαν 10 Αισθητήρες θερμοκρασίας επιφανείας, δύο αισθητήρες ροής θερμότητας και δύο Αισθητήρες εδαφικής υγρασίας . Έγινε σύνδεση των αισθητήρων με τις κατάλληλες καλωδιώσεις με μονάδα Καταγραφής Δεδομένων.
- Εξετάστηκε περαιτέρω το διαθέσιμο hardware και software και διαπιστώθηκε η αναγκαστική επιλογή της ανανέωσης του (PC 386 , λειτουργικό MS-DOS και κατεστραμμένη κάρτα επικοινωνίας με το Data Logger), το οποίο και έγινε.
- Ολοκληρώθηκε η παραγωγή (σε συνεργασία με την Telemetrics) Λογισμικού Εφαρμογής (interface) σε περιβάλλον VEE, για τη λήψη σειράς μετρήσεων μέσω του καταγραφικού HP-DAS5832A και το έλεγχο των μονάδων, σύμφωνα με το ημερήσιο πρόγραμμα που θα προσδιορίζει ο χρήστης και το διευρωπαϊκό πρόγραμμα PASSYS που επέχει θέση Προτύπου (ROLBS programming sequence) .
- Τοποθετήθηκε επίσης κάρτα GPIB, επικοινωνίας του Η/Υ με το καταγραφικό.
- Για την στάθμιση των αισθητήρων υγρασίας, κατασκευάστηκαν 10 δοκίμια πετροβάμβακα, δημιουργήθηκε παραλλακτικότητα σε περιεκτικότητα σε νερό, η οποία υπολογίστηκε επακριβώς με διαδοχικές ζυγίσεις προ και μετά από ξήρανση, μετρήθηκε η τάση - με την βοήθεια καταγραφικού Stylitis100 και των αισθητήρων Theta probe-και κατασκευάστηκε διάγραμμα $\Theta_n (m^3 m^{-3})=f \Theta(mV)$. Από την ανάλυση παλινδρόμησης υπολογίστηκαν τα α και β που θα ελαχιστοποιούν το σφάλμα, όταν θα αντιστοιχίζουμε πραγματικές μετρήσεις με περιεκτικότητα σε νερό (Εικ. Π7). Για τα αδρανή υλικά υπήρχαν τιμές από τον κατασκευαστή του αισθητήρα.



Εικόνα Π7. Στάθμιση αισθητήρα για τη μέτρηση υγρασίας στον πετροβάμβακα. Μετρήθηκε η τάση - με την βοήθεια καταγραφικού Stylitis-100 και των αισθητήρων Theta probe ML2X και η πραγματική περιεχομένη υγρασία, με ζυγίσεις προ και μετά την ξήρανση.

Π.ΙΙ.2. Όργανα μετεωρολογικού σταθμού

Ο μετεωρολογικός σταθμός του ΚΑΠΕ, χρησιμοποιούσε τα παρακάτω όργανα:

- Για τη μέτρηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας , πυρανόμετρο της Kipp&Zonnen CM11 το οποίο συμβαδίζει με τα χαρακτηριστικά των secondary standards πυρανομέτρων σύμφωνα με τη WMO. Το πυρανόμετρο αυτό είναι thermopile type
- Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος καθώς και για τη μέτρηση της σχετικής υγρασίας , ο αισθητήρας της Delta OHM HD 9009 TR
- Για τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης , ο αισθητήρας PTB101B της Campbell Scientific
- Για τη μέτρηση της ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου, το όργανο F460 Climatronics , που αποτελείται από τον αισθητήρα ταχύτητας ανέμου P/N 100075, αισθητήρα διεύθυνσης ανέμου P/N 100076, και το στέλεχος στήριξης των οργάνων M101994

Οι μετρήσεις αυτές καταγράφονταν από το datalogger CR10 (+AM416 Relay Multiplexer) της Campbell Scientific ανά 10λεπτο. Οι μετρήσεις αφορούν 10λεπτες μέσες τιμές στιγμιαίων μετρήσεων ανά 2 λεπτά, εκτός από τις μετρήσεις ανέμου που αφορούν δεκάλεπτες μέσες τιμές μετρήσεων ανα 10 δευτερόλεπτα.

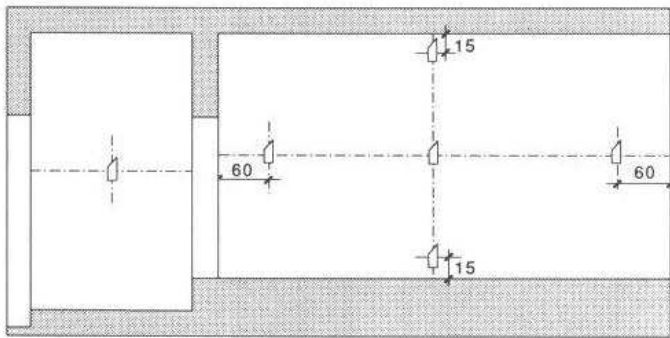
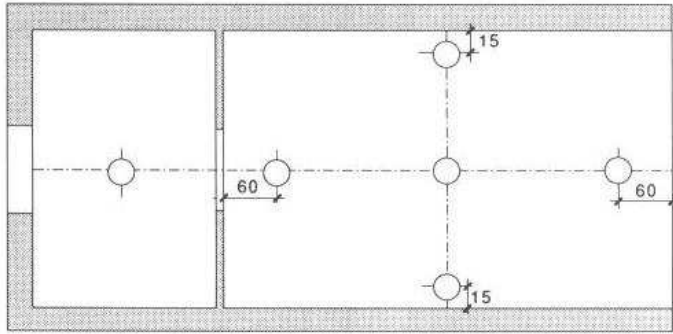
Για τη συγγραφή του προγράμματος, επικοινωνία με το datalogger, και συλλογή και επεξεργασία μετρήσεων, χρησιμοποιείται το πακέτο λογισμικού LoggerNet της Campbell Scientific.

ΠΙΙ.3. Αισθητήρες Θαλάμου δοκιμών

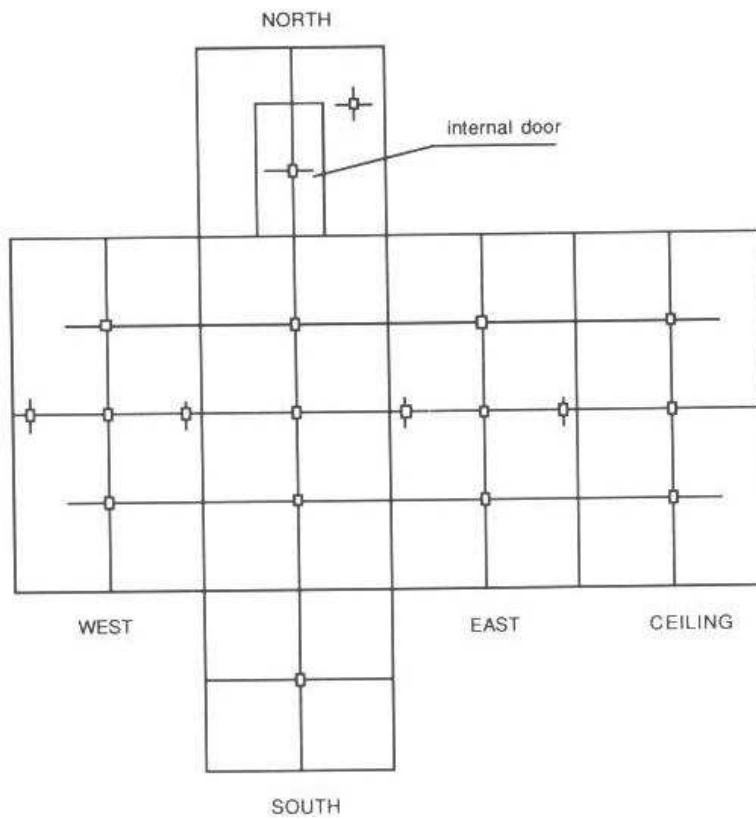
- Για την θερμοκρασία του αέρα χρησιμοποιήθηκαν προστατευμένοι αισθητήρες PT 100 (LSI-Lastem, 20090 Settala, Milano), επί ορθοστατών σε διαφορετικά ύψη 15 και 60 cm, (Εικ. Π8).



Εικόνα Π.8. Σε διαφορετικά ύψη επί ορθοστατών, τοποθετήθηκαν κεκαλυμμένοι οι αισθητήρες θερμοκρασίας αέρα του θαλάμου ελέγχου.



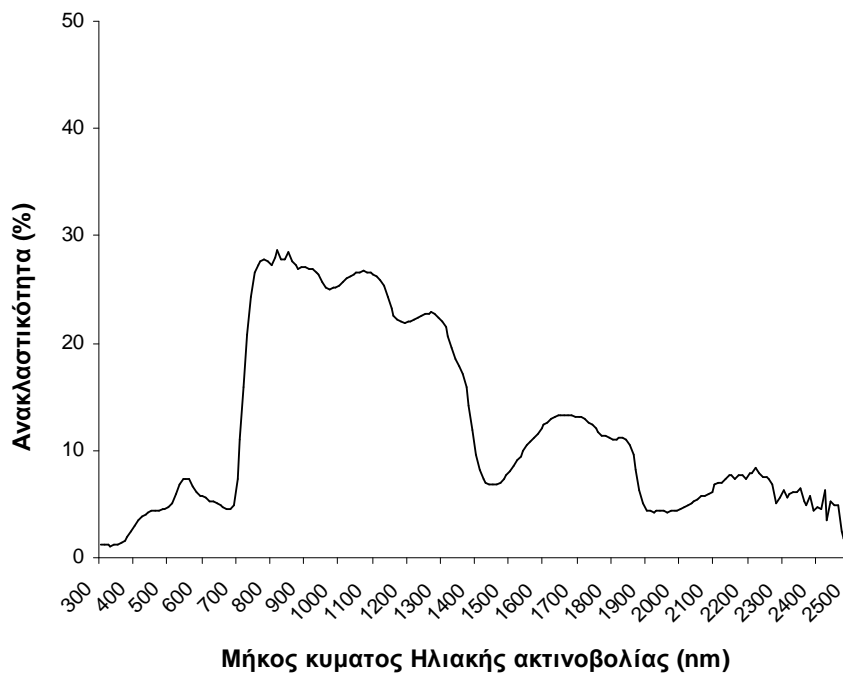
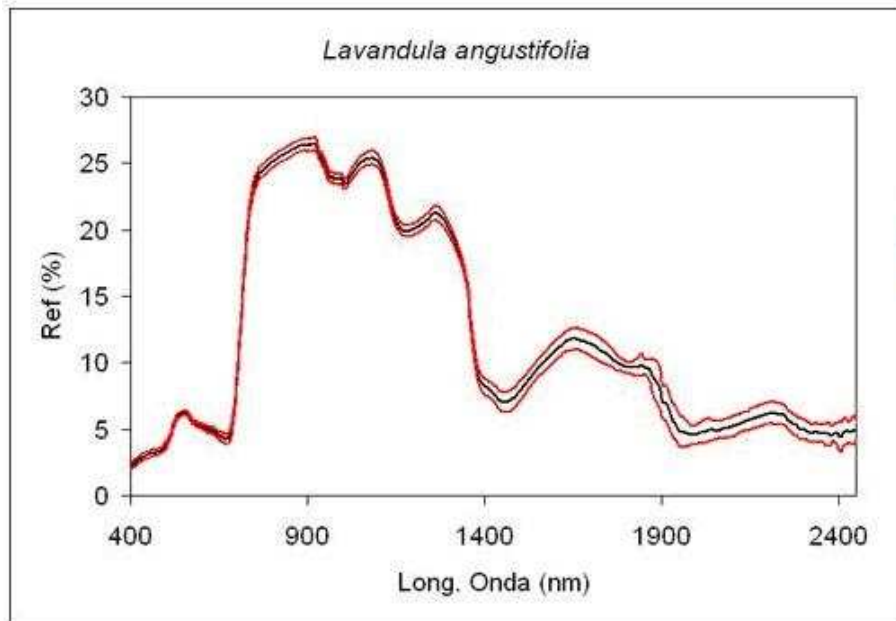
Εικόνα Π.9. Οι θέσεις των αισθητήρων θερμοκρασίας, σε οριζόντια (επάνω) και κάθετη (κάτω) τομή, του θαλάμου ελέγχου.



Εικόνα Π.10. Θέσεις των εσωτερικών και εξωτερικών αισθητήρων θερμοκρασίας επιφανείας

ΠΙΙ.4.

Resultados del radiometro Ger 2600



Εικόνα ΠΙΙ.5. Η εντυπωσιακή σύμπτωση των διαγραμμάτων που παράχθηκαν από τους Robles et al. (2004) επάνω και στην παρούσα μελέτη, κάτω, για τη ανακλαστικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας από το *Lavandula angustifolia*.

Π.ΙΙ.5. Υπολογισμοί στο LORD

Στοιχείο: Πετροβάμβακας 8 cm + χλοοτάπητας 2cm, σε 37,41 Θν%

Log-File, created by LORD

=====
Date: 29/7/2010

Time: 11:22:17 μμ

Time step: 10.00 minutes

Fitting window:

number 1 - from 100 to 2015
=====

Model and start values
=====

Columns in the data file and links to nodes

Node number 1 ----> temperature "Texsur"

Node number 2 ----> temperature "Tsr"

Node number 3 ----> temperature "Tinsur"

Node number 4 ----> temperature "Ttr"

Node number 8 ----> temperature "Tamb"

Node number 4 ----> flux "Qhe"

Node number 9 ----> flux "GIHRad"

Node number 10 ----> flux "HFLux"

Outputs

No.1: Temperature "Ttr" at node 4, weight = 1.00

Initial temperatures were identified.
=====

Results
=====

Iterations

Downhill Simplex Method: 750422

Monte Carlo Method: 2156000

Total number of iterations: 2906422

Last improvement at step: 2902530

Residual at end of calculation : 0.06918100 K

UA and gA

Interior node: Node number 4

Exterior node: Node number 8

Column with vertical radiation: GIHRad

UA = 5.233 W/K ± 0.0 %

gA = 0.141 sq.m ± 0.0 %

Στοιχείο: S₃₀:Per₆₅:Z₅ 8 cm + κλοοτάπητας 2cm, σε υγρασία 37,02 Θν%

Log-File, created by LORD

=====
Date: 24/12/2010

Time: 6:37:18 μμ

Time step: 10.00 minutes

Fitting window:

number 1 - from 100 to 2015
=====

Model and start values
=====

Columns in the data file and links to nodes

Node number 1 ----> temperature "Texsur"

Node number 2 ----> temperature "Tsr"

Node number 3 ----> temperature "Tinsur"

Node number 4 ----> temperature "Ttr"

Node number 8 ----> temperature "Tamb"

Node number 4 ----> flux "Qhe"

Node number 9 ----> flux "GIHRad"

Node number 10 ----> flux "Hflux"

Outputs

No.1: Temperature "Ttr" at node 4, weight = 1.00

Initial temperatures were identified.
=====

Results
=====

Iterations

Downhill Simplex Method: 414977

Monte Carlo Method: 1337010

Total number of iterations: 1751987

Last improvement at step: 1751665

Residual at end of calculation : 0.08208201 K

UA and gA

Interior node: Node number 4

Exterior node: Node number 8

Column with vertical radiation: GIHRad

UA = 8.959 W/K ± 0.0 %

gA = 0.079 sq.m ± 0.0 %

Στοιχείο: P_{um65}:P₃₀:Z₅ 8 cm + χλοοτάπητας 2cm, σε υγρασία 38,12 Θν%

Log-File, created by LORD

=====
Date: 26/12/2010

Time: 5:58:21 μμ

Time step: 10.00 minutes

Fitting window:

number 1 - from 100 to 1700

Columns in the data file and links to nodes

Node number 1 ----> temperature "Texsur"

Node number 2 ----> temperature "Tsr"

Node number 3 ----> temperature "Tinsur"

Node number 4 ----> temperature "Ttr"

Node number 8 ----> temperature "Tamb"

Node number 4 ----> flux "Qhe"

Node number 9 ----> flux "GIHRad"

Node number 10 ----> flux "HFLux"

Outputs

No.1: Temperature "Ttr" at node 4, weight = 1.00

Initial conditions

Initial temperatures were identified.

=====
Results

Iterations

Downhill Simplex Method: 592117

Monte Carlo Method: 1204670

Total number of iterations: 1796787

Last improvement at step: 1793499

Residual at end of calculation : 0.16312920 K

UA and gA

Interior node: Node number 4

Exterior node: Node number 8

Column with vertical radiation: GIHRad

UA = 8.337 W/K ± 0.2 %

gA = 0.105 sq.m ± 1.5 %

Στοιχείο: S₃₀:Per₆₅:Z₅ 20 cm, με λεβάντα, σε υγρασία 41,5 Θv%

Log-File, created by LORD

=====
Date: 29/8/2011
Time: 10:42:02 μμ
Time step: 10.00 minutes
Fitting window:
number 1 - from 200 to 1800
=====

Model and start values
=====

Columns in the data file and links to nodes

Node number 1 ----> temperature "Texsur"
Node number 2 ----> temperature "Tsr"
Node number 3 ----> temperature "Tinsur"
Node number 4 ----> temperature "Ttr"
Node number 8 ----> temperature "Tamb"
Node number 4 ----> flux "Qhe"
Node number 9 ----> flux "GIHRad"
Node number 10 ----> flux "HFLux"

Outputs

No.1: Temperature "Ttr" at node 4, weight = 1.00
Initial temperatures were identified.

=====
Results
=====

Iterations

Downhill Simplex Method: 90660
Monte Carlo Method: 1122720
Total number of iterations: 1213380
Last improvement at step: 1210875

Residual at end of calculation : 0.07310415 K

UA and gA

Interior node: Node number 4
Exterior node: Node number 8
Column with vertical radiation: GIHRad
UA = 5.957 W/K ± 0.0 %
gA = 0.007 sq.m ± 0.0 %

Στοιχείο: S₃₀:Per₆₅:Z₅ 20 cm, με λεβάντα, σε υγρασία 49,26 Θν%

Log-File, created by LORD

=====
Date: 11/4/2011
Time: 2:33:22 μμ
Time step: 10.00 minutes
Fitting window:
number 1 - from 2 to 1989
=====

Model and start values
=====

Columns in the data file and links to nodes

Node number 1 ----> temperature "Texsur"
Node number 2 ----> temperature "Tsr"
Node number 3 ----> temperature "Tinsur"
Node number 4 ----> temperature "Ttr"
Node number 8 ----> temperature "Tamb"
Node number 4 ----> flux "Qhe"
Node number 9 ----> flux "GIHRad"
Node number 10 ----> flux "HFLux"

Outputs

No.1: Temperature "Ttr" at node 4, weight = 1.00
Initial temperatures were identified.

=====
Results
=====

Iterations

Downhill Simplex Method: 325130
Monte Carlo Method: 451000
Total number of iterations: 776130
Last improvement at step: 776098

Residual at end of calculation : 0.23569264 K

UA and gA

Interior node: Node number 4
Exterior node: Node number 8
Column with vertical radiation: GIHRad
UA = 7.229 W/K ± 0.5 %
gA = 0.091 sq.m ± 0.0 %

Στοιχείο: S₃₀:Per₆₅:Z₅ 20 cm, με λεβάντα, σε υγρασία 47,33 Θν%

Log-File, created by LORD

=====
Date: 11/4/2011

Time: 2:26:33 μμ

Time step: 10.00 minutes

Fitting window:

number 1 - from 100 to 2000
=====

Model and start values
=====

Columns in the data file and links to nodes

Node number 1 ----> temperature "Texsur"

Node number 2 ----> temperature "Tsr"

Node number 3 ----> temperature "Tinsur"

Node number 4 ----> temperature "Ttr"

Node number 8 ----> temperature "Tamb"

Node number 4 ----> flux "Qhe"

Node number 9 ----> flux "GIHRad"

Node number 10 ----> flux "HFLux"

Outputs

No.1: Temperature "Ttr" at node 4, weight = 1.00

Initial temperatures were identified.
=====

Results
=====

Iterations

Downhill Simplex Method: 212862

Monte Carlo Method: 701000

Total number of iterations: 913862

Last improvement at step: 913520

Residual at end of calculation : 0.10819078 K

UA and gA

Interior node: Node number 4

Exterior node: Node number 8

Column with vertical radiation: GIHRad

UA = 6.729 W/K

gA = 0.031 sq.m

Στοιχείο: S₃₀:Per₆₅:Z₅ 20 cm, με λεβάντα, σε υγρασία 48,55 Θν%

Log-File, created by LORD

=====
Date: 29/8/2011

Time: 11:05:09 μμ

Time step: 10.00 minutes

Fitting window:

number 1 - from 200 to 1800
=====

Model and start values
=====

Columns in the data file and links to nodes

Node number 1 ----> temperature "Texsur"

Node number 2 ----> temperature "Tsr"

Node number 3 ----> temperature "Tinsur"

Node number 4 ----> temperature "Ttr"

Node number 8 ----> temperature "Tamb"

Node number 4 ----> flux "Qhe"

Node number 9 ----> flux "GIHRad"

Node number 10 ----> flux "HFLux"

Outputs

No.1: Temperature "Ttr" at node 4, weight = 1.00

Initial temperatures were identified.
=====

Results
=====

Iterations

Downhill Simplex Method: 122696

Monte Carlo Method: 1395020

Total number of iterations: 1517716

Last improvement at step: 1517657

Residual at end of calculation : 0.07462067 K

UA and gA

Interior node: Node number 4

Exterior node: Node number 8

Column with vertical radiation: GIHRad

UA = 6.767 W/K ± 0.0 %

gA = 0.007 sq.m ± 0.0 %

Στοιχείο: S₃₀:Per₆₅:Z₅ 20 cm, με λεβάντα, σε υγρασία 40,18 Θν%

Log-File, created by LORD

=====
Date: 31/8/2011

Time: 1:00:05 πμ

Time step: 10.00 minutes

Fitting window:

number 1 - from 200 to 1800
=====

Model and start values
=====

Columns in the data file and links to nodes

Node number 1 ----> temperature "Texsur"

Node number 2 ----> temperature "Tsr"

Node number 3 ----> temperature "Tinsur"

Node number 4 ----> temperature "Ttr"

Node number 8 ----> temperature "Tamb"

Node number 4 ----> flux "Qhe"

Node number 9 ----> flux "GIHRad"

Node number 10 ----> flux "HFLux"

Outputs

No.1: Temperature "Ttr" at node 4, weight = 1.00

Initial temperatures were identified.
=====

Results
=====

Iterations

Downhill Simplex Method: 15531

Monte Carlo Method: 329470

Total number of iterations: 345001

Last improvement at step: 344022

Residual at end of calculation : 0.12922119 K

UA and gA

Interior node: Node number 4

Exterior node: Node number 8

Column with vertical radiation: GIHRad

UA = 6.067 W/K ± 0.0 %

gA = 0.141 sq.m ± 0.0 %

Στοιχείο: Pum₆₅:P₃₀:Z₅ 20 cm , με λεβάντα, σε υγρασία 42,68 Θν%

Log-File, created by LORD

=====
Date: 24/12/2010

Time: 10:00:07 μμ

Time step: 10.00 minutes

Fitting window:

number 1 - from 100 to 2015
=====

Model and start values

Columns in the data file and links to nodes

Node number 1 ----> temperature "Texsur"

Node number 2 ----> temperature "Tsr"

Node number 3 ----> temperature "Tinsur"

Node number 4 ----> temperature "Ttr"

Node number 8 ----> temperature "Tamb"

Node number 4 ----> flux "Qhe"

Node number 9 ----> flux "GIHRad"

Node number 10 ----> flux "HFLux"

Outputs

No.1: Temperature "Ttr" at node 4, weight = 1.00

Initial conditions

Initial temperatures were identified.
=====

Results

Iterations

Downhill Simplex Method: 372247

Monte Carlo Method: 1529250

Total number of iterations: 1901497

Last improvement at step: 1900030

Residual at end of calculation : 0.08790207 K

UA and gA

Interior node: Node number 4

Exterior node: Node number 8

Column with vertical radiation: GIHRad

UA = 6.181 W/K ± 0.2 %

gA = 0.019 sq.m ± 0.0 %

Στοιχείο: Pum₆₅:P₃₀:Z₅ 20 cm , με λεβάντα, σε υγρασία 45,25 Θν%

Log-File, created by LORD

=====
Date: 22/8/2010
Time: 8:01:31 μμ
Time step: 10.00 minutes
Fitting window:
number 1 - from 400 to 1570
=====

Model and start values
=====

Columns in the data file and links to nodes

Node number 1 ----> temperature "Texsur"
Node number 2 ----> temperature "Tsr"
Node number 3 ----> temperature "Tinsur"
Node number 4 ----> temperature "Ttr"
Node number 8 ----> temperature "Tamb"
Node number 4 ----> flux "Qhe"
Node number 9 ----> flux "GIHRad"
Node number 10 ----> flux "HFLux"

Outputs

No.1: Temperature "Ttr" at node 4, weight = 1.00
Initial temperatures were identified.

=====
Results
=====

Iterations

Downhill Simplex Method: 398440
Monte Carlo Method: 752901
Total number of iterations: 1151341
Last improvement at step: 1151340

Residual at end of calculation : 0.96768479 K

UA and gA

Interior node: Node number 4
Exterior node: Node number 8
Column with vertical radiation: GIHRad

UA = 6.041 W/K
gA = 0.031 sq.m

Στοιχείο: Pum₆₅:P₃₀:Z₅ 20 cm , με λεβάντα, σε υγρασία 30,89 Θν%

Log-File, created by LORD

=====
Date: 19/8/2010

Time: 12:31:39 πμ

Time step: 10.00 minutes

Fitting window:

number 1 - from 100 to 2015
=====

Model and start values
=====

Columns in the data file and links to nodes

Node number 1 ----> temperature "Texsur"

Node number 2 ----> temperature "Tsr"

Node number 3 ----> temperature "Tinsur"

Node number 4 ----> temperature "Ttr"

Node number 8 ----> temperature "Tamb"

Node number 4 ----> flux "Qhe"

Node number 9 ----> flux "GIHRad"

Node number 10 ----> flux "HFLux"

Outputs

No.1: Temperature "Ttr" at node 4, weight = 1.00

Initial temperatures were identified.
=====

Results
=====

Iterations

Downhill Simplex Method: 395228

Monte Carlo Method: 828500

Total number of iterations: 1223728

Last improvement at step: 1223728

Residual at end of calculation : 0.81049380 K

UA and gA

Interior node: Node number 4

Exterior node: Node number 8

Column with vertical radiation: GIHRad

UA = 5.209 W/K

gA = 0.007 sq.m

Στοιχείο: Ρum₆₅:Ρ₃₀:Ζ₅ 20 cm , με λεβάντα, σε υγρασία 28,0 Θν%

Log-File, created by LORD

=====
Date: 21/8/2010
Time: 8:48:39 μμ
Time step: 10.00 minutes
Fitting window:
number 1 - from 100 to 1994
=====

Model and start values
=====

Columns in the data file and links to nodes

Node number 1 ----> temperature "Texsur"
Node number 2 ----> temperature "Tsr"
Node number 3 ----> temperature "Tinsur"
Node number 4 ----> temperature "Ttr"
Node number 8 ----> temperature "Tamb"
Node number 4 ----> flux "Qhe"
Node number 9 ----> flux "GIHRad"
Node number 10 ----> flux "HFLux"

Outputs

No.1: Temperature "Ttr" at node 4, weight = 1.00
Initial temperatures were identified.
=====

Results
=====

Iterations

Downhill Simplex Method: 810721
Monte Carlo Method: 1116237
Total number of iterations: 1926958
Last improvement at step: 1926958

Residual at end of calculation : 0.19426043 K

UA and gA

Interior node: Node number 4
Exterior node: Node number 8
Column with vertical radiation: GIHRad
UA = 4.701 W/K ± 0.2 %
gA = 0.007 sq.m ± 39.7 %

ΠΙΙ.6. Δεδομένα εισαγωγής και υπολογισμοί για κάθε σενάριο φυτεμένου δώματος επί αμόνωτου και μονωμένου κατά ΚΕΝΑΚ δώματος.

Πίνακας ΠΙΙ.6. Φυσικά χαρακτηριστικά διαστρώσεων στοιχείων κτιρίου

Στοιχείο- Στρώσεις	Πάχος (m)	Θερμική αγωγιμότητα ($\text{kJ h}^{-1} \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	Θερ/χωρητικότητα ($\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)	Πυκνότητα (kg m^{-3})
Εξ. τοίχος				
Ασβεστοκονίαμα	0,025 +0,025	3,13	1	1800
Οπτοπλινθόλιθοι	0,180	3,56	0,9	1800
Εσ. Τοιχός				
Ασβεστοκονίαμα	0,025 +0,025	3,13	1	1800
Οπτοπλινθόλιθοι	0,090	3,56	0,9	1800
Πάτωμα				
Σκυρόδεμα καθαριότητας	0,100	5,94	1	2200
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,150	9	1	2400
μονωτικό	0,040	0,18	1,44	80
πλακες	0,050	5,4	1	2100
Δοκοί				
Ασβεστοκονίαμα	0,025 +0,025	3,13	1	1800
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,300	9	1	2400
Πλάκα δώματος				
Ασβεστοκονίαμα	0,025	3,13	1	1800
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0,120	9	1	2400
Μόνωση δώματος				
Μονωτικό	0,060	0,139	1,45	40
Πορομπετόν	0,050	0,432	0,84	350

Σενάρια ΠΙΙ.6. Φυσικά χαρακτηριστικά επιστρώσεων του δώματος του κτίριο σε κάθε σενάριο που προσομοιώθηκε

Μονάδες:

Θερμική αγωγιμότητα (conductivity): $\text{kJ h}^{-1} \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$

Θερμοχωρητικότητα (capacity) : $\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$

Πυκνότητα (density): kg m^{-3}

1. Σενάριο: αμόνωτο κτίριο τον χειμώνα

* L a y e r s

LAYER PLAKIDIADA
CONDUCTIVITY= 5.4 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2100
LAYER OPLISMENOS
CONDUCTIVITY= 9 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2400
LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTHAS
CONDUCTIVITY= 5.94 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2200
LAYER ASBESTOKON
CONDUCTIVITY= 3.13 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1800
LAYER OPTOPLIN80
CONDUCTIVITY= 3.56 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 1800
*-----

*

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***
(incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL GROUND	U= 3.087 W/m2K
WALL OUTWALL	U= 2.442 W/m2K
WALL INTWALL	U= 3.140 W/m2K
WALL ROOF	U= 4.053 W/m2K
WALL OUTWALLCONC	U= 2.878 W/m2K

2. Σενάριο: Κτίριο μονωμένο κατά ΚΕΝΑΚ τον χειμώνα

L a y e r s

LAYER INSUL
CONDUCTIVITY= 0.139 : CAPACITY= 1.45 : DENSITY= 40
LAYER PLAKIDIADA
CONDUCTIVITY= 5.4 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2100
LAYER OPLISMENOS
CONDUCTIVITY= 9 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2400
LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTHAS
CONDUCTIVITY= 5.94 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2200
LAYER ASBESTOKON
CONDUCTIVITY= 3.13 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1800

LAYER OPTOPLIN80
 CONDUCTIVITY= 3.56 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 1800
 LAYER LIGHTCON350
 CONDUCTIVITY= 0.432 : CAPACITY= 0.84 : DENSITY= 350

*-----

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***
 (incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL GROUND	U= 3.087 W/m2K
WALL OUTWALL	U= 2.442 W/m2K
WALL INTWALL	U= 3.140 W/m2K
WALL ROOF	U= 0.451 W/m2K
WALL OUTWALLCONC	U= 2.878 W/m2K

3. Σενάριο: Κτίριο με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με περλίτη 8 cm και χλοοτάπητα 2 cm, τον χειμώνα.

Layers

*-----

LAYER PLAKIDIADA
 CONDUCTIVITY= 5.4 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2100
 LAYER OPLISMENOS
 CONDUCTIVITY= 9 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2400
 LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTHAS
 CONDUCTIVITY= 5.94 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2200
 LAYER ASBESTOKON
 CONDUCTIVITY= 3.13 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1800
 LAYER OPTOPLIN80
 CONDUCTIVITY= 3.56 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 1800
 LAYER ASFALTIKA
 CONDUCTIVITY= 0.828 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1100
 LAYER GEWYFASMA
 CONDUCTIVITY= 0.162 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 150
 LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO
 CONDUCTIVITY= 1.8 : CAPACITY= 1.8 : DENSITY= 980
 LAYER PERLITIS128
 CONDUCTIVITY= 0.25 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 90
 LAYER XWMA12
 CONDUCTIVITY= 7.2 : CAPACITY= 1.6 : DENSITY= 1800
 LAYER PERLITEWATER
 CONDUCTIVITY= 0.937 : CAPACITY= 2.117 : DENSITY= 426.7
 LAYER GRASS
 CONDUCTIVITY= 1.56 : CAPACITY= 3.49 : DENSITY= 83

*-----

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***

(incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL GROUND	U=	3.087 W/m2K
WALL OUTWALL	U=	2.442 W/m2K
WALL INTWALL	U=	3.140 W/m2K
WALL ROOF	U=	0.651 W/m2K
WALL OUTWALLCONC	U=	2.878 W/m2K

4. Σενάριο: Κτίριο με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με κίσσηρη 8 cm και χλοοτάπητα 2 cm, τον χειμώνα.

*-----
*-----
* Layers
*-----

LAYER PLAKIDIADA	CONDUCTIVITY=	5.4	CAPACITY=	1	DENSITY=	2100
LAYER OPLISMENOS	CONDUCTIVITY=	9	CAPACITY=	1	DENSITY=	2400
LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTAS	CONDUCTIVITY=	5.94	CAPACITY=	1	DENSITY=	2200
LAYER ASBESTOKON	CONDUCTIVITY=	3.13	CAPACITY=	1	DENSITY=	1800
LAYER OPTOPLIN80	CONDUCTIVITY=	3.56	CAPACITY=	0.9	DENSITY=	1800
LAYER ASFALTIKA	CONDUCTIVITY=	0.828	CAPACITY=	1	DENSITY=	1100
LAYER GEWYFASMA	CONDUCTIVITY=	0.162	CAPACITY=	1	DENSITY=	150
LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO	CONDUCTIVITY=	1.8	CAPACITY=	1.8	DENSITY=	980
LAYER XWMA12	CONDUCTIVITY=	7.2	CAPACITY=	1.6	DENSITY=	1800
LAYER PERLITEWATER	CONDUCTIVITY=	0.937	CAPACITY=	2.117	DENSITY=	426.7
LAYER PUMICEMIX	CONDUCTIVITY=	0.25	CAPACITY=	0.9	DENSITY=	650
LAYER GRASS	CONDUCTIVITY=	1.56	CAPACITY=	3.49	DENSITY=	83

*-----
*-----

***** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES *****

(incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL GROUND	U=	3.087 W/m2K
WALL OUTWALL	U=	2.442 W/m2K
WALL INTWALL	U=	3.140 W/m2K
WALL ROOF	U=	0.607 W/m2K
WALL OUTWALLCONC	U=	2.878 W/m2K

5. Σενάριο: Κτίριο με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με περλίτη 20 cm, τον χειμώνα.

*-----
*-----
* Layers
*-----

LAYER PLAKIDIADA
CONDUCTIVITY= 5.4 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2100
LAYER OPLISMENOS
CONDUCTIVITY= 9 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2400
LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTAS
CONDUCTIVITY= 5.94 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2200
LAYER ASBESTOKON
CONDUCTIVITY= 3.13 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1800
LAYER OPTOPLIN80
CONDUCTIVITY= 3.56 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 1800
LAYER ASFALTIKA
CONDUCTIVITY= 0.828 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1100
LAYER GEWYFASMA
CONDUCTIVITY= 0.162 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 150
LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO
CONDUCTIVITY= 1.8 : CAPACITY= 1.8 : DENSITY= 980
LAYER PERLITIS128
CONDUCTIVITY= 0.25 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 90
LAYER XWMA12
CONDUCTIVITY= 7.2 : CAPACITY= 1.6 : DENSITY= 1800
LAYER PERLITEWATER
CONDUCTIVITY= 0.93 : CAPACITY= 2.12 : DENSITY= 426.7
LAYER LEVANter
CONDUCTIVITY= 1.41 : CAPACITY= 3.26 : DENSITY= 181

*-----
*-----

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***
(incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL GROUND	U=	3.087 W/m2K
WALL OUTWALL	U=	2.442 W/m2K
WALL INTWALL	U=	3.140 W/m2K
WALL ROOF	U=	0.523 W/m2K
WALL OUTWALLCONC	U=	2.878 W/m2K

6. Σενάριο: Κτίριο με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με κίσηρη 20 cm, τον χειμώνα

*-----

* Layers

*-----

LAYER PLAKIDIADA
CONDUCTIVITY= 5.4 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2100
LAYER OPLISMENOS
CONDUCTIVITY= 9 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2400
LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTAS
CONDUCTIVITY= 5.94 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2200
LAYER ASBESTOKON
CONDUCTIVITY= 3.13 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1800
LAYER OPTOPLIN80
CONDUCTIVITY= 3.56 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 1800
LAYER ASFALTIKA
CONDUCTIVITY= 0.828 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1100
LAYER GEWYFASMA
CONDUCTIVITY= 0.162 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 150
LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO
CONDUCTIVITY= 1.8 : CAPACITY= 1.8 : DENSITY= 980
LAYER PERLITIS128
CONDUCTIVITY= 0.25 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 90
LAYER XWMA12
CONDUCTIVITY= 7.2 : CAPACITY= 1.6 : DENSITY= 1800
LAYER LEVANTER
CONDUCTIVITY= 1.58 : CAPACITY= 3.49 : DENSITY= 83

*-----

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***
(incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL GROUND	U= 3.087 W/m2K
WALL OUTWALL	U= 2.442 W/m2K
WALL INTWALL	U= 3.140 W/m2K
WALL ROOF	U= 0.343 W/m2K
WALL OUTWALLCONC	U= 2.878 W/m2K

7. Σενάριο: Κτίριο με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με πετροβάμβακα 8 cm, τον χειμώνα

*-----

* Layers

*-----

AYER PLAKIDIADA
CONDUCTIVITY= 5.4 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2100
LAYER OPLISMENOS

CONDUCTIVITY= 9 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2400
 LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTAS
 CONDUCTIVITY= 5.94 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2200
 LAYER ASBESTOKON
 CONDUCTIVITY= 3.13 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1800
 LAYER OPTOPLIN80
 CONDUCTIVITY= 3.56 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 1800
 LAYER ASFALTIKA
 CONDUCTIVITY= 0.828 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1100
 LAYER GEWYFASMA
 CONDUCTIVITY= 0.162 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 150
 LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO
 CONDUCTIVITY= 1.8 : CAPACITY= 1.8 : DENSITY= 980
 LAYER PETROBAMBAKAS613
 CONDUCTIVITY= 0.15 : CAPACITY= 0.84 : DENSITY= 150
 LAYER PERLITEWATER
 CONDUCTIVITY= 0.93 : CAPACITY= 2.117 : DENSITY= 426.7
 LAYER GRASS
 CONDUCTIVITY= 1.56 : CAPACITY= 3.49 : DENSITY= 83.1

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***
 (incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL GROUND	U= 3.087 W/m2K
WALL OUTWALL	U= 2.442 W/m2K
WALL INTWALL	U= 3.140 W/m2K
WALL ROOF	U= 0.379 W/m2K
WALL OUTWALLCONC	U= 2.878 W/m2K

8. Σενάριο: Κτίριο μονωμένο κατά KENAK, με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με περλίτη 8 cm και χλοοτάπητα 2 cm, τον χειμώνα.

*-----

* Layers

*-----

LAYER INSUL
 CONDUCTIVITY= 0.139 : CAPACITY= 1.45 : DENSITY= 40
 LAYER PLAKIDIADA
 CONDUCTIVITY= 5.4 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2100
 LAYER OPLISMENOS
 CONDUCTIVITY= 9 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2400
 LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTAS
 CONDUCTIVITY= 5.94 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2200
 LAYER ASBESTOKON
 CONDUCTIVITY= 3.13 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1800
 LAYER OPTOPLIN80
 CONDUCTIVITY= 3.56 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 1800
 LAYER ASFALTIKA
 CONDUCTIVITY= 0.828 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1100
 LAYER GEWYFASMA

CONDUCTIVITY= 0.162 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 150
 LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO
 CONDUCTIVITY= 1.8 : CAPACITY= 1.8 : DENSITY= 980
 LAYER PERLITIS128
 CONDUCTIVITY= 0.25 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 90
 LAYER XWMA12
 CONDUCTIVITY= 7.2 : CAPACITY= 1.6 : DENSITY= 1800
 LAYER PERLITEWATER
 CONDUCTIVITY= 0.937 : CAPACITY= 2.117 : DENSITY= 426.7
 LAYER LIGHTCONCR
 CONDUCTIVITY= 0.432 : CAPACITY= 0.84 : DENSITY= 350
 LAYER GRASS
 CONDUCTIVITY= 1.56 : CAPACITY= 3.49 : DENSITY= 83

*-----

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***
 (incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL GROUND	U= 3.087 W/m2K
WALL OUTWALL	U= 2.442 W/m2K
WALL INTWALL	U= 3.140 W/m2K
WALL ROOF	U= 0.285 W/m2K
WALL OUTWALLCONC	U= 2.878 W/m2K

9. Σενάριο: Κτίριο μονωμένο κατά KENAK, με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με κίσηρη 8 cm και χλοοτάπητα 2 cm, τον χειμώνα.

*-----

* Layers

*-----

LAYER INSUL
 CONDUCTIVITY= 0.139 : CAPACITY= 1.45 : DENSITY= 40
 LAYER PLAKIDIADA
 CONDUCTIVITY= 5.4 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2100
 LAYER OPLISMENOS
 CONDUCTIVITY= 9 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2400
 LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTAS
 CONDUCTIVITY= 5.94 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2200
 LAYER ASBESTOKON
 CONDUCTIVITY= 3.13 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1800
 LAYER OPTOPLIN80
 CONDUCTIVITY= 3.56 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 1800
 LAYER ASFALTIKA
 CONDUCTIVITY= 0.828 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1100
 LAYER GEWYFASMA
 CONDUCTIVITY= 0.162 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 150
 LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO
 CONDUCTIVITY= 1.8 : CAPACITY= 1.8 : DENSITY= 980
 LAYER XWMA12
 CONDUCTIVITY= 7.2 : CAPACITY= 1.6 : DENSITY= 1800

LAYER PERLITEWATER
 CONDUCTIVITY= 0.937 : CAPACITY= 2.117 : DENSITY= 426.7
 LAYER PUMICEMIX
 CONDUCTIVITY= 0.25 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 650
 LAYER LIGHTCONCR
 CONDUCTIVITY= 0.432 : CAPACITY= 0.84 : DENSITY= 350
 LAYER GRASS
 CONDUCTIVITY= 1.56 : CAPACITY= 3.49 : DENSITY= 83

*

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***
 (incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL GROUND	U= 3.087 W/m2K
WALL OUTWALL	U= 2.442 W/m2K
WALL INTWALL	U= 3.140 W/m2K
WALL ROOF	U= 0.285 W/m2K
WALL OUTWALLCONC	U= 2.878 W/m2K

10. Σενάριο: Κτίριο μονωμένο κατά ΚΕΝΑΚ, με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με περλίτη 20 cm, τον χειμώνα.

* Layers

LAYER INSUL
 CONDUCTIVITY= 0.139 : CAPACITY= 1.45 : DENSITY= 40
 LAYER PLAKIDIADA
 CONDUCTIVITY= 5.4 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2100
 LAYER OPLISMENOS
 CONDUCTIVITY= 9 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2400
 LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTAS
 CONDUCTIVITY= 5.94 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2200
 LAYER ASBESTOKON
 CONDUCTIVITY= 3.13 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1800
 LAYER OPTOPLIN80
 CONDUCTIVITY= 3.56 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 1800
 LAYER ASFALTIKA
 CONDUCTIVITY= 0.828 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1100
 LAYER GEWYFASMA
 CONDUCTIVITY= 0.162 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 150
 LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO
 CONDUCTIVITY= 1.8 : CAPACITY= 1.8 : DENSITY= 980
 LAYER PERLITIS128
 CONDUCTIVITY= 0.25 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 90
 LAYER XWMA12
 CONDUCTIVITY= 7.2 : CAPACITY= 1.6 : DENSITY= 1800
 LAYER PERLITEWATER
 CONDUCTIVITY= 0.93 : CAPACITY= 2.12 : DENSITY= 426.7
 LAYER LIGHTCONCR
 CONDUCTIVITY= 0.432 : CAPACITY= 0.84 : DENSITY= 350

LAYER LEVANter

CONDUCTIVITY= 1.56 : CAPACITY= 3.49 : DENSITY= 83

*

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***

(incl. $\alpha_i=7.7$ W/m² K and $\alpha_o=25$ W/m² K)

WALL GROUND	U=	3.087 W/m ² K
WALL OUTWALL	U=	2.442 W/m ² K
WALL INTWALL	U=	3.140 W/m ² K
WALL ROOF	U=	0.229 W/m ² K
WALL OUTWALLCONC	U=	2.878 W/m ² K

11. Σενάριο: Κτίριο μονωμένο κατά KENAK, με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με κίσηρη 20 cm, τον χειμώνα

* Layers

*

LAYER INSUL

CONDUCTIVITY= 0.139 : CAPACITY= 1.45 : DENSITY= 40

LAYER PLAKIDIADA

CONDUCTIVITY= 5.4 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2100

LAYER OPLISMENOS

CONDUCTIVITY= 9 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2400

LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTAS

CONDUCTIVITY= 5.94 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2200

LAYER ASBESTOKON

CONDUCTIVITY= 3.13 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1800

LAYER OPTOPLIN80

CONDUCTIVITY= 3.56 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 1800

LAYER ASFALTIKA

CONDUCTIVITY= 0.828 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1100

LAYER GEWYFASMA

CONDUCTIVITY= 0.162 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 150

LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO

CONDUCTIVITY= 1.8 : CAPACITY= 1.8 : DENSITY= 980

LAYER XWMA12

CONDUCTIVITY= 7.2 : CAPACITY= 1.6 : DENSITY= 1800

LAYER PERLITEWATER

CONDUCTIVITY= 0.93 : CAPACITY= 2.12 : DENSITY= 426.7

LAYER PUMICEMIX

CONDUCTIVITY= 0.25 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 650

LAYER LIGHTCONCR

CONDUCTIVITY= 0.432 : CAPACITY= 0.84 : DENSITY= 350

LAYER LEVANter

CONDUCTIVITY= 1.56 : CAPACITY= 3.49 : DENSITY= 83

*-----

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***
(incl. $\alpha_i=7.7$ W/m² K and $\alpha_o=25$ W/m² K)

WALL GROUND	U=	3.087 W/m ² K
WALL OUTWALL	U=	2.442 W/m ² K
WALL INTWALL	U=	3.140 W/m ² K
WALL ROOF	U=	0.233 W/m ² K
WALL OUTWALLCONC	U=	2.878 W/m ² K

12. Σενάριο: Κτίριο μονωμένο κατά KENAK, με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με πετροβάμβακα 8 cm, τον χειμώνα

* Layers

*-----

LAYER INSUL	CONDUCTIVITY=	0.139	: CAPACITY=	1.45	: DENSITY=	40
LAYER PLAKIDIADA	CONDUCTIVITY=	5.4	: CAPACITY=	1	: DENSITY=	2100
LAYER OPLISMENOS	CONDUCTIVITY=	9	: CAPACITY=	1	: DENSITY=	2400
LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTAS	CONDUCTIVITY=	5.94	: CAPACITY=	1	: DENSITY=	2200
LAYER ASBESTOKON	CONDUCTIVITY=	3.13	: CAPACITY=	1	: DENSITY=	1800
LAYER OPTOPLIN80	CONDUCTIVITY=	3.56	: CAPACITY=	0.9	: DENSITY=	1800
LAYER ASFALTIKA	CONDUCTIVITY=	0.828	: CAPACITY=	1	: DENSITY=	1100
LAYER GEWYFASMA	CONDUCTIVITY=	0.162	: CAPACITY=	1	: DENSITY=	150
LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO	CONDUCTIVITY=	1.8	: CAPACITY=	1.8	: DENSITY=	980
LAYER PETROBAMBAKAS613	CONDUCTIVITY=	0.15	: CAPACITY=	0.84	: DENSITY=	150
LAYER LIGHTCONCR	CONDUCTIVITY=	0.432	: CAPACITY=	0.84	: DENSITY=	350
LAYER PERLITEWATER	CONDUCTIVITY=	0.94	: CAPACITY=	2.117	: DENSITY=	426.7
LAYER GRASS	CONDUCTIVITY=	1.56	: CAPACITY=	3.49	: DENSITY=	83

*-----

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***

(incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL GROUND	U=	3.087 W/m2K
WALL OUTWALL	U=	2.442 W/m2K
WALL INTWALL	U=	3.140 W/m2K
WALL ROOF	U=	0.212 W/m2K
WALL OUTWALLCONC	U=	2.878 W/m2K

13. Σενάριο: αμόνωτο κτίριο το καλοκαίρι

* Layers
*-----

LAYER PLAKIDIADA
CONDUCTIVITY= 5.4 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2100
LAYER OPLISMENOS
CONDUCTIVITY= 9 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2400
LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTAS
CONDUCTIVITY= 5.94 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2200
LAYER ASBESTOKON
CONDUCTIVITY= 3.13 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1800
LAYER OPTOPLIN80
CONDUCTIVITY= 3.56 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 1800
*-----

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***

(incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL GROUND	U=	3.087 W/m2K
WALL OUTWALL	U=	2.442 W/m2K
WALL INTWALL	U=	3.140 W/m2K
WALL ROOF	U=	4.053 W/m2K
WALL OUTWALLCONC	U=	2.878 W/m2K

14. Σενάριο: Κτίριο μονωμένο κατά ΚΕΝΑΚ το καλοκαίρι

*-----
* Layers
*-----

LAYER INSUL
CONDUCTIVITY= 0.139 : CAPACITY= 1.45 : DENSITY= 40
LAYER PLAKIDIADA
CONDUCTIVITY= 5.4 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2100
LAYER OPLISMENOS
CONDUCTIVITY= 9 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2400
LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTAS

CONDUCTIVITY= 5.94 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2200
 LAYER ASBESTOKON
 CONDUCTIVITY= 3.13 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1800
 LAYER OPTOPLIN80
 CONDUCTIVITY= 3.56 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 1800
 LAYER LIGHTCON350
 CONDUCTIVITY= 0.432 : CAPACITY= 0.84 : DENSITY= 350

*

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***
 (incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL GROUND	U= 3.087 W/m2K
WALL OUTWALL	U= 2.442 W/m2K
WALL INTWALL	U= 3.140 W/m2K
WALL ROOF	U= 0.451 W/m2K
WALL OUTWALLCONC	U= 2.878 W/m2K

15. Σενάριο: Κτίριο με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με περλίτη 8 cm και χλοοτάπητα 2 cm, το καλοκαίρι.

* Layers

*

LAYER PLAKIDIADA
 CONDUCTIVITY= 5.4 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2100
 LAYER OPLISMENOS
 CONDUCTIVITY= 9 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2400
 LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTHAS
 CONDUCTIVITY= 5.94 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2200
 LAYER ASBESTOKON
 CONDUCTIVITY= 3.13 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1800
 LAYER OPTOPLIN80
 CONDUCTIVITY= 3.56 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 1800
 LAYER ASFALTIKA
 CONDUCTIVITY= 0.828 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1100
 LAYER GEWYFASMA
 CONDUCTIVITY= 0.162 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 150
 LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO
 CONDUCTIVITY= 1.8 : CAPACITY= 1.8 : DENSITY= 980
 LAYER PERLITIS128
 CONDUCTIVITY= 0.25 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 90
 LAYER XWMA12
 CONDUCTIVITY= 7.2 : CAPACITY= 1.6 : DENSITY= 1800
 LAYER PERLITEWATER
 CONDUCTIVITY= 0.937 : CAPACITY= 2.117 : DENSITY= 426.7
 LAYER GRASS
 CONDUCTIVITY= 1.56 : CAPACITY= 3.49 : DENSITY= 83.1

*

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***

(incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL GROUND	U=	3.087 W/m ² K
WALL OUTWALL	U=	2.442 W/m ² K
WALL INTWALL	U=	3.140 W/m ² K
WALL ROOF	U=	0.651 W/m ² K
WALL OUTWALLCONC	U=	2.878 W/m ² K

16. Σενάριο: Κτίριο με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με κίσσηρη 8 cm και χλοοτάπητα 2 cm, το καλοκαίρι.

* Layers

*

LAYER PLAKIDIADA	CONDUCTIVITY=	5.4	CAPACITY=	1	DENSITY=	2100
LAYER OPLISMENOS	CONDUCTIVITY=	9	CAPACITY=	1	DENSITY=	2400
LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTHAS	CONDUCTIVITY=	5.94	CAPACITY=	1	DENSITY=	2200
LAYER ASBESTOKON	CONDUCTIVITY=	3.13	CAPACITY=	1	DENSITY=	1800
LAYER OPTOPLIN80	CONDUCTIVITY=	3.56	CAPACITY=	0.9	DENSITY=	1800
LAYER ASFALTIKA	CONDUCTIVITY=	0.828	CAPACITY=	1	DENSITY=	1100
LAYER GEWYFASMA	CONDUCTIVITY=	0.162	CAPACITY=	1	DENSITY=	150
LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO	CONDUCTIVITY=	1.8	CAPACITY=	1.8	DENSITY=	980
LAYER XWMA12	CONDUCTIVITY=	7.2	CAPACITY=	1.6	DENSITY=	1800
LAYER PERLITEWATER	CONDUCTIVITY=	0.937	CAPACITY=	2.117	DENSITY=	426.7
LAYER PUMICEMIX	CONDUCTIVITY=	0.25	CAPACITY=	0.9	DENSITY=	650
LAYER GRASS	CONDUCTIVITY=	1.56	CAPACITY=	3.49	DENSITY=	83

*

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***

(incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL GROUND	U=	3.087 W/m ² K
WALL OUTWALL	U=	2.442 W/m ² K
WALL INTWALL	U=	3.140 W/m ² K
WALL ROOF	U=	0.607 W/m ² K
WALL OUTWALLCONC	U=	2.878 W/m ² K

17. Σενάριο: Κτίριο με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με περλίτη 20 cm, το καλοκαίρι.

* Layers

LAYER PLAKIDIADA	CONDUCTIVITY= 5.4	CAPACITY= 1	DENSITY= 2100
LAYER OPLISMENOS	CONDUCTIVITY= 9	CAPACITY= 1	DENSITY= 2400
LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTAS	CONDUCTIVITY= 5.94	CAPACITY= 1	DENSITY= 2200
LAYER ASBESTOKON	CONDUCTIVITY= 3.13	CAPACITY= 1	DENSITY= 1800
LAYER OPTOPLIN80	CONDUCTIVITY= 3.56	CAPACITY= 0.9	DENSITY= 1800
LAYER ASFALTIKA	CONDUCTIVITY= 0.828	CAPACITY= 1	DENSITY= 1100
LAYER GEWYFASMA	CONDUCTIVITY= 0.162	CAPACITY= 1	DENSITY= 150
LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO	CONDUCTIVITY= 1.8	CAPACITY= 1.8	DENSITY= 980
LAYER PERLITIS128	CONDUCTIVITY= 0.25	CAPACITY= 0.9	DENSITY= 90
LAYER XWMA12	CONDUCTIVITY= 7.2	CAPACITY= 1.6	DENSITY= 1800
LAYER PERLITEWATER	CONDUCTIVITY= 0.93	CAPACITY= 2.12	DENSITY= 426.7
LAYER LEVANTER	CONDUCTIVITY= 1.41	CAPACITY= 3.26	DENSITY= 181

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***

(incl. $\alpha_i=7.7$ W/m² K and $\alpha_o=25$ W/m² K)

WALL GROUND	U= 3.087 W/m ² K
WALL OUTWALL	U= 2.442 W/m ² K
WALL INTWALL	U= 3.140 W/m ² K
WALL ROOF	U= 0.524 W/m ² K
WALL OUTWALLCONC	U= 2.878 W/m ² K

18. Σενάριο: Κτίριο με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με κίσηρη 20 cm, το καλοκαίρι

* Layers

LAYER PLAKIDIADA	CONDUCTIVITY= 5.4	CAPACITY= 1	DENSITY= 2100
LAYER OPLISMENOS	CONDUCTIVITY= 9	CAPACITY= 1	DENSITY= 2400
LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTAS			

CONDUCTIVITY= 5.94 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2200
 LAYER ASBESTOKON
 CONDUCTIVITY= 3.13 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1800
 LAYER OPTOPLIN80
 CONDUCTIVITY= 3.56 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 1800
 LAYER ASFALTIKA
 CONDUCTIVITY= 0.828 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1100
 LAYER GEWYFASMA
 CONDUCTIVITY= 0.162 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 150
 LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO
 CONDUCTIVITY= 1.8 : CAPACITY= 1.8 : DENSITY= 980
 LAYER XWMA12
 CONDUCTIVITY= 7.2 : CAPACITY= 1.6 : DENSITY= 1800
 LAYER PERLITEWATER
 CONDUCTIVITY= 0.93 : CAPACITY= 2.12 : DENSITY= 426.7
 LAYER PUMICEMIX
 CONDUCTIVITY= 0.25 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 650
 LAYER LEVANTER
 CONDUCTIVITY= 1.41 : CAPACITY= 3.2 : DENSITY= 181

*-----

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***
 (incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL GROUND	U= 3.087 W/m2K
WALL OUTWALL	U= 2.442 W/m2K
WALL INTWALL	U= 3.140 W/m2K
WALL ROOF	U= 0.343 W/m2K
WALL OUTWALLCONC	U= 2.878 W/m2K

19. Σενάριο: Κτίριο με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με πετροβάμβακα 8 cm, το καλοκαίρι

* Layers

*-----

LAYER PLAKIDIADA
 CONDUCTIVITY= 5.4 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2100
 LAYER OPLISMENOS
 CONDUCTIVITY= 9 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2400
 LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTAS
 CONDUCTIVITY= 5.94 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2200
 LAYER ASBESTOKON
 CONDUCTIVITY= 3.13 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1800
 LAYER OPTOPLIN80
 CONDUCTIVITY= 3.56 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 1800
 LAYER ASFALTIKA
 CONDUCTIVITY= 0.828 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1100
 LAYER GEWYFASMA

CONDUCTIVITY= 0.162 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 150
 LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO
 CONDUCTIVITY= 1.8 : CAPACITY= 1.8 : DENSITY= 980
 LAYER PETROBAMBAKAS613
 CONDUCTIVITY= 0.15 : CAPACITY= 0.84 : DENSITY= 150
 LAYER PERLITEWATER
 CONDUCTIVITY= 0.93 : CAPACITY= 2.117 : DENSITY= 426.7
 LAYER GRASS
 CONDUCTIVITY= 1.56 : CAPACITY= 3.49 : DENSITY= 83.1

*-----

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***
 (incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL GROUND	U= 3.087 W/m2K
WALL OUTWALL	U= 2.442 W/m2K
WALL INTWALL	U= 3.140 W/m2K
WALL ROOF	U= 0.379 W/m2K
WALL OUTWALLCONC	U= 2.878 W/m2K

20. Σενάριο: Κτίριο μονωμένο κατά ΚΕΝΑΚ, με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με περλίτη 8 cm και χλοοτάπητα 2 cm, το καλοκαίρι.

* Layers

*-----

LAYER INSUL
 CONDUCTIVITY= 0.139 : CAPACITY= 1.45 : DENSITY= 40
 LAYER PLAKIDIADA
 CONDUCTIVITY= 5.4 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2100
 LAYER OPLISMENOS
 CONDUCTIVITY= 9 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2400
 LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTAS
 CONDUCTIVITY= 5.94 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2200
 LAYER ASBESTOKON
 CONDUCTIVITY= 3.13 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1800
 LAYER OPTOPLIN80
 CONDUCTIVITY= 3.56 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 1800
 LAYER ASFALTIKA
 CONDUCTIVITY= 0.828 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1100
 LAYER GEWYFASMA
 CONDUCTIVITY= 0.162 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 150
 LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO
 CONDUCTIVITY= 1.8 : CAPACITY= 1.8 : DENSITY= 980
 LAYER PERLITIS128
 CONDUCTIVITY= 0.25 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 90
 LAYER XWMA12
 CONDUCTIVITY= 7.2 : CAPACITY= 1.6 : DENSITY= 1800
 LAYER PERLITEWATER
 CONDUCTIVITY= 0.937 : CAPACITY= 2.117 : DENSITY= 426.7

LAYER LIGHTCONCR
CONDUCTIVITY= 0.432 : CAPACITY= 0.84 : DENSITY= 350
LAYER GRASS
CONDUCTIVITY= 1.56 : CAPACITY= 3.49 : DENSITY= 83

*-----

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***
(incl. $\alpha_i=7.7$ W/m² K and $\alpha_o=25$ W/m² K)

WALL GROUND	U= 3.087 W/m2K
WALL OUTWALL	U= 2.442 W/m2K
WALL INTWALL	U= 3.140 W/m2K
WALL ROOF	U= 0.285 W/m2K
WALL OUTWALLCONC	U= 2.878 W/m2K

21. Σενάριο: Κτίριο μονωμένο κατά KENAK, με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με κίσηρη 8 cm και χλοοτάπητα 2 cm, το καλοκαίρι.

* Layers

*-----

LAYER INSUL
CONDUCTIVITY= 0.139 : CAPACITY= 1.45 : DENSITY= 40
LAYER PLAKIDIADA
CONDUCTIVITY= 5.4 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2100
LAYER OPLISMENOS
CONDUCTIVITY= 9 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2400
LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTHAS
CONDUCTIVITY= 5.94 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2200
LAYER ASBESTOKON
CONDUCTIVITY= 3.13 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1800
LAYER OPTOPLIN80
CONDUCTIVITY= 3.56 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 1800
LAYER ASFALTIKA
CONDUCTIVITY= 0.828 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1100
LAYER GEWYFASMA
CONDUCTIVITY= 0.162 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 150
LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO
CONDUCTIVITY= 1.8 : CAPACITY= 1.8 : DENSITY= 980
LAYER XWMA12
CONDUCTIVITY= 7.2 : CAPACITY= 1.6 : DENSITY= 1800
LAYER PERLITEWATER
CONDUCTIVITY= 0.937 : CAPACITY= 2.117 : DENSITY= 426.7
LAYER PUMICEMIX
CONDUCTIVITY= 0.25 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 650
LAYER LIGHTCONCR
CONDUCTIVITY= 0.432 : CAPACITY= 0.84 : DENSITY= 350
LAYER GRASS
CONDUCTIVITY= 1.56 : CAPACITY= 3.49 : DENSITY= 83

*-----
-----*

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***
(incl. $\alpha_i=7.7$ W/m² K and $\alpha_o=25$ W/m² K)

WALL GROUND	U=	3.087 W/m ² K
WALL OUTWALL	U=	2.442 W/m ² K
WALL INTWALL	U=	3.140 W/m ² K
WALL ROOF	U=	0.285 W/m ² K
WALL OUTWALLCONC	U=	2.878 W/m ² K

22. Σενάριο: Κτίριο μονωμένο κατά KENAK, με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με περλίτη 20 cm, το καλοκαίρι.

Layers

*-----
-----*

LAYER INSUL	CONDUCTIVITY=	0.139	CAPACITY=	1.45	DENSITY=	40
LAYER PLAKIDIADA	CONDUCTIVITY=	5.4	CAPACITY=	1	DENSITY=	2100
LAYER OPLISMENOS	CONDUCTIVITY=	9	CAPACITY=	1	DENSITY=	2400
LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTHAS	CONDUCTIVITY=	5.94	CAPACITY=	1	DENSITY=	2200
LAYER ASBESTOKON	CONDUCTIVITY=	3.13	CAPACITY=	1	DENSITY=	1800
LAYER OPTOPLIN80	CONDUCTIVITY=	3.56	CAPACITY=	0.9	DENSITY=	1800
LAYER ASFALTIKA	CONDUCTIVITY=	0.828	CAPACITY=	1	DENSITY=	1100
LAYER GEWYFASMA	CONDUCTIVITY=	0.162	CAPACITY=	1	DENSITY=	150
LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO	CONDUCTIVITY=	1.8	CAPACITY=	1.8	DENSITY=	980
LAYER PERLITIS128	CONDUCTIVITY=	0.25	CAPACITY=	0.9	DENSITY=	90
LAYER XWMA12	CONDUCTIVITY=	7.2	CAPACITY=	1.6	DENSITY=	1800
LAYER PERLITEWATER	CONDUCTIVITY=	0.93	CAPACITY=	2.12	DENSITY=	426.7
LAYER LIGHTCONCR	CONDUCTIVITY=	0.432	CAPACITY=	0.84	DENSITY=	350
LAYER LEVANter	CONDUCTIVITY=	1.56	CAPACITY=	3.49	DENSITY=	83

*-----
-----*

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***
(incl. $\alpha_i=7.7$ W/m² K and $\alpha_o=25$ W/m² K)

WALL GROUND	U=	3.087 W/m2K
WALL OUTWALL	U=	2.442 W/m2K
WALL INTWALL	U=	3.140 W/m2K
WALL ROOF	U=	0.225 W/m2K
WALL OUTWALLCONC	U=	2.878 W/m2K

23. Σενάριο: Κτίριο μονωμένο κατά KENAK, με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με κίσηρη 20 cm, το καλοκαίρι

* Layers

LAYER INSUL	CONDUCTIVITY=	0.139	CAPACITY=	1.45	DENSITY=	40
LAYER PLAKIDIADA	CONDUCTIVITY=	5.4	CAPACITY=	1	DENSITY=	2100
LAYER OPLISMENOS	CONDUCTIVITY=	9	CAPACITY=	1	DENSITY=	2400
LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTAS	CONDUCTIVITY=	5.94	CAPACITY=	1	DENSITY=	2200
LAYER ASBESTOKON	CONDUCTIVITY=	3.13	CAPACITY=	1	DENSITY=	1800
LAYER OPTOPLIN80	CONDUCTIVITY=	3.56	CAPACITY=	0.9	DENSITY=	1800
LAYER ASFALTIKA	CONDUCTIVITY=	0.828	CAPACITY=	1	DENSITY=	1100
LAYER GEWYFASMA	CONDUCTIVITY=	0.162	CAPACITY=	1	DENSITY=	150
LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO	CONDUCTIVITY=	1.8	CAPACITY=	1.8	DENSITY=	980
LAYER XWMA12	CONDUCTIVITY=	7.2	CAPACITY=	1.6	DENSITY=	1800
LAYER PERLITEWATER	CONDUCTIVITY=	0.93	CAPACITY=	2.12	DENSITY=	426.7
LAYER PUMICEMIX	CONDUCTIVITY=	0.25	CAPACITY=	0.9	DENSITY=	650
LAYER LIGHTCONCR	CONDUCTIVITY=	0.432	CAPACITY=	0.84	DENSITY=	350
LAYER LEVANTER	CONDUCTIVITY=	1.41	CAPACITY=	3.26	DENSITY=	181

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***

(incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL GROUND	U=	3.087 W/m2K
WALL OUTWALL	U=	2.442 W/m2K
WALL INTWALL	U=	3.140 W/m2K
WALL ROOF	U=	0.234 W/m2K
WALL OUTWALLCONC	U=	2.878 W/m2K

24. Σενάριο: Κτίριο μονωμένο κατά KENAK, με φυτεμένο δώμα. Υπόστρωμα με πετροβάμβακα 8 cm, το καλοκαίρι

* Layers

LAYER INSUL	CONDUCTIVITY= 0.139 : CAPACITY= 1.45 : DENSITY= 40
LAYER PLAKIDIADA	CONDUCTIVITY= 5.4 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2100
LAYER OPLISMENOS	CONDUCTIVITY= 9 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2400
LAYER SKYRODEMAKATHARIOHTAS	CONDUCTIVITY= 5.94 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 2200
LAYER ASBESTOKON	CONDUCTIVITY= 3.13 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1800
LAYER OPTOPLIN80	CONDUCTIVITY= 3.56 : CAPACITY= 0.9 : DENSITY= 1800
LAYER ASFALTIKA	CONDUCTIVITY= 0.828 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 1100
LAYER GEWYFASMA	CONDUCTIVITY= 0.162 : CAPACITY= 1 : DENSITY= 150
LAYER HDPE_POLYAI8YLENIO	CONDUCTIVITY= 1.8 : CAPACITY= 1.8 : DENSITY= 980
LAYER PETROBAMBAKAS613	CONDUCTIVITY= 0.15 : CAPACITY= 0.84 : DENSITY= 150
LAYER LIGHTCONCR	CONDUCTIVITY= 0.432 : CAPACITY= 0.84 : DENSITY= 350
LAYER PERLITEWATER	CONDUCTIVITY= 0.94 : CAPACITY= 2.117 : DENSITY= 426.7
LAYER GRASS	CONDUCTIVITY= 1.56 : CAPACITY= 3.49 : DENSITY= 83

*** THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES ***

(incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL GROUND	U= 3.087 W/m2K
WALL OUTWALL	U= 2.442 W/m2K
WALL INTWALL	U= 3.140 W/m2K
WALL ROOF	U= 0.217 W/m2K
WALL OUTWALLCONC	U= 2.878 W/m2K

Π.ΙΙ.7 Υπολογισμός λανθάνουσας θερμότητας

Α. Για το καλοκαίρι

$$1. \text{ET}_{\lambda\epsilon\beta} = 4.99 \times 0.65 = 3.24 \text{ mm d}^{-1} \Rightarrow 3.24 \text{ L m}^{-2} \text{ d}^{-1}$$

$$\text{ET}_{\chi\lambda\omicron} = 4.99 \times 0.8 = 3.992 \text{ mm d}^{-1} \Rightarrow 3.992 \text{ L m}^{-2} \text{ d}^{-1}$$

$$2. \lambda\text{ET}_{\lambda\epsilon\beta} = 3.24 \text{ L m}^{-2} \text{ d}^{-1} \times L_{\text{water}} = 3.24 \times 2260 \text{ kJ Kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1} = 7322.4 \text{ kJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$$

$$0.35 \text{ kWh m}^{-2} \times 24\text{h} = 2.035/24 \text{ kW m}^{-2} = 84.8 \text{ W m}^{-2} \text{ (28.1\%)}$$

$$\lambda\text{ET}_{\chi\lambda\omicron} = 3.992 \text{ L m}^{-2} \text{ d}^{-1} \times L_{\text{water}} = 9021.92 \text{ KJ m}^{-2} \text{ d}^{-1} = 2.745 \text{ kWh m}^{-2} \times 24\text{h} = 2.508/24 \text{ KW m}^{-2} = 104.5 \text{ W m}^{-2} \text{ (34.63\%)}$$

Β. Για τον χειμώνα

$$1. \text{ET}_{\lambda\epsilon\beta} = 1.7 \times 0.7 = 0.819 \text{ mm d}^{-1} \Rightarrow 0.819 \text{ L m}^{-2} \text{ d}^{-1}$$

$$\text{ET}_{\chi\lambda\omicron} = 1.17 \times 0.9 = 1.053 \text{ mm d}^{-1} \Rightarrow 1.053 \text{ L m}^{-2} \text{ d}^{-1}$$

$$2. \text{LH}_{\lambda\epsilon\beta} = 0.819 \text{ L m}^{-2} \text{ d}^{-1} \times L_{\text{water}} = 0.819 \times 2260 \text{ kJ Kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1} = 1850.94 \text{ kJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$$

$$0.514 \text{ kWh m}^{-2} \times 24\text{h} = 0.514/24 \text{ kW m}^{-2} = 21.44 \text{ W m}^{-2} \text{ (20.07\%)}$$

$$\text{LH}_{\chi\lambda\omicron} = 1.053 \text{ L m}^{-2} \text{ d}^{-1} \times L_{\text{water}} = 2379.8 \text{ kJ Kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1} = 0.661 \text{ kWh m}^{-2} \times 24\text{h} = 0.661/24 \text{ kW m}^{-2} = 27.56 \text{ W m}^{-2} \text{ (25,8\%)}$$

Όπου:

$L_{\text{water}} = 2260 \text{ KJ kg}^{-1}$ (ειδική λανθάνουσα θερμότητα του νερού).

λET = λανθάνουσα θερμότητα

και $1\text{kWh} = 3600 \text{ kJ}$ ή $1\text{W} = 1\text{J/sec} \Rightarrow 1\text{Wh} = 3600\text{J}$

και εν τέλει $1\text{kJ} = 0.000278 \text{ kWh}$