



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ – ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:
«ΑΓΡΟΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ»**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**Επιλογή και ανάπτυξη φυτικού υλικού για χρήση σε
υδροπονικές κατασκευές ειδικού τύπου.
Η περίπτωση μίας υδροπονικής πέργκολας.**



Λαμπράκη Ελένη

Άρτα 2016

Εκπαιδευτικό Ίδρυμα / Τμήμα	Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων Τμήμα Χημείας ΤΕΙ Ηπείρου Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών: «Αγροχημεία, Βιολογικές καλλιέργειες & Αρωματικά Φυτά»
Τίτλος	Επιλογή και ανάπτυξη φυτικού υλικού για χρήση σε υδροπονικές κατασκευές ειδικού τύπου. Η περίπτωση μίας υδροπονικής πέργκολας
Φοιτήτρια	Λαμπράκη Ελένη
ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ	ΤΣΙΡΟΓΙΑΝΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Τμ. Τεχν. Γεωπόνων ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ
ΜΕΛΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ	<ol style="list-style-type: none"> 1. ΤΣΙΡΟΓΙΑΝΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ 2. ΚΑΡΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ 3. ΜΑΝΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Τόπος Έτος	ΑΡΤΑ 2016

Εικόνα εξωφύλλου:

Υδροπονική Πέργκολα στο αίθριο του κτηρίου ΑΑΤ στο ΤΕΙ Ηπείρου (2014, έργο Αρχιμήδης ΙΙΙ ΗSoB)

«Από τα φυτά που στρώνανε στο χώμα,
από τα κλαδιά που ξεμυτίζανε από τα δενδράκια,
κανένα δεν σερνόταν,
κανένα δεν απλωνόταν είτε σε καμπύλη
είτε σε οριζόντιο επίπεδο.
Όλα τους ανηφόριζαν κατά την επιφάνεια του Ωκεανού.
Ακόμα και οι λεπτότερες κορδέλες,
και οι λεπτότερες ίνες
ορθώνονταν ίσιες σαν σιδερένιες βέργες.
Τα φύκια και οι κληματίδες μεγάλωναν σε άκαμπτη γραμμή,
ανάλογα με το βαθμό της πυκνότητας
που είχε το στοιχείο που τα γεννούσε.
Στέκονταν όλα τους ασάλευτα.
Κι όταν τ' απομάκρυνες με το χέρι,
ξαναπαίρνανε μεμιάς την προηγούμενη θέση τους.
Εδώ πέρα βασίλευε η κάθετη γραμμή.»

20.000 Λεύγες κάτω από τη θάλασσα, Ιούλιος Βερν, 1959:105

Περίληψη

Καθώς ο αστικός πληθυσμός επεκτείνεται και περισσότεροι άνθρωποι σε όλο τον κόσμο ζουν σε μεγάλες πόλεις η ανάγκη για χώρους πρασίνου προκειμένου να βελτιωθούν οι συνθήκες διαβίωσης, έχει μεγάλη σημασία. Η ανάπτυξη εναλλακτικών κατασκευών υδροπονίας που τοποθετούνται πάνω στο έδαφος για την υποστήριξη των φυτών, θα μπορούσε να είναι ένα αποδοτικό φυσικό μέτρο, καθώς οι διαθέσιμοι ανοιχτοί χώροι είναι συχνά περιορισμένοι. Τα συστήματα αυτά μπορούν να διαμορφώσουν πράσινες επιφάνειες διαφόρων κλίσεων ή και να τοποθετηθούν σε απόσταση από τα κτίρια, πεζοδρόμια κ.λπ. Σε αυτή την εργασία, παρουσιάζονται και συζητούνται τα αποτελέσματα της μελέτης δύο ετών, που αποσκοπούν στην αξιολόγηση και απόδοση των δύο εναλλακτικών συστημάτων υδροπονίας για την υποστήριξη μιας ποικιλίας φυτών, την αξιολόγηση φυτών ώστε να δημιουργηθεί μία παλέτα για τον σχεδιαστή και τις επιπτώσεις των συστημάτων στο μικροκλίμα. Ειδικά διαμορφωμένοι πλαστικοί σωλήνες χρησιμοποιήθηκαν σαν φυτοδοχεία για την κατασκευή του κλειστού κυκλώματος της υδροπονικής πέργκολας. Δύο διαφορετικά - όσον αφορά τη διαχείριση του θρεπτικού διαλύματος- υδροπονικά συστήματα, κλειστού κυκλώματος, αξιολογήθηκαν για την καταλληλότητά τους. Οι σωληνωτοί φορείς φύτευσης είχαν μήκος 1m και χρησιμοποιήθηκαν για να δημιουργήσουν μια τμηματική μονάδα η οποία θα μπορούσε να δημιουργήσει φυτευτικές ενότητες. Οι κατασκευαστικές προδιαγραφές (σχεδιασμός, υλικά, υποστήριξη και λειτουργία υδροπονικού συστήματος κλπ) παρουσιάζονται μαζί με τα αποτελέσματα σχετικά με τις παραμέτρους ανάπτυξης των φυτών και των μικροκλιματικών επιδράσεων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μια τέτοια κατασκευή είναι εφικτή, εύκολη στη λειτουργία και τη συντήρησή της, έχοντας την δυνατότητα να επηρεάζει θετικά το μικροκλίμα του περιβάλλοντα χώρου, φιλοξενώντας μια μεγάλη ποικιλία φυτών και παρέχοντας σημαντική αισθητική αναβάθμιση στις αστικές περιοχές.

Λέξεις κλειδιά: Υποδομές αστικού πρασίνου, φυτά σκίασης, καλλωπιστικά φυτά, φυλλική επιφάνεια.

Abstract

As the urban population expands and more people around the world live in big cities the necessity for green spaces or just for more vegetation in cities in order to improve the living conditions is of great importance. The development of alternative hydroponic structures placed above the ground to sustain plants might be an efficient element of metro nature as the available open spaces are often limited. These systems can form green surfaces of various slopes in contact or in a distance from buildings, pavements etc. In this paper, the results of a two-year study, aiming at assessing the performance of two alternative hydroponic systems to support a variety of plants, the potential of plants to form a palette for the designer and the effects of the systems to microclimate are presented and discussed. Specially formed plastic tubes were used as plant containers for the construction of closed-loop hydroponic pergolas. Two different –regarding handling of the nutrient solution - closed-loop hydroponic systems were evaluated for their suitability. Pipe-type plant containers of 1m long were used to create a segmental unit which could create planted pixels. The structural parameters (design, materials, hydroponic system support and function etc.) are presented along with results regarding plant growth parameters and microclimatic effects. The results showed that such a structure is feasible, easy to operate and maintain, has the potential of positively influencing the microclimate in the surrounding area and as the relevant vegetation layer contains a variety of plants and is broadly visible, it also provide significant aesthetical upgrade to urban areas.

Keywords: Urban green infrastructure, Shading plants, Ornamental plants, Leaf area

Ευχαριστίες

Για την συγγραφή της διπλωματικής μου εργασίας ευχαριστώ θερμά τον υπεύθυνο καθηγητή μου κ. Δρ. Τσιρογιάννη Λ. Ιωάννη για το ενδιαφέρον, τις υποδείξεις και τη συνεχή καθοδήγησή του σε όλες τις φάσεις της εργασίας, από τον καθορισμό του θέματος ως και την τελική παρουσίαση και τον Δρ. Καρρά Γεώργιο για τις πληροφορίες και το υλικό που μου παρείχε στα θέματα αρμοδιότητάς του.

Επιπλέον, θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Μάντζο Νικόλαο, για τη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια του πειράματος και την κα Δήμου Δήμητρα, Γεωπόνου για τις εργαστηριακές αναλύσεις που πραγματοποίησε στο εργαστήριο Φαρμακολογίας του ΤΕΙ Ηπείρου.

Επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους μου, Κρέστα Κατσουλάκου, Παύλο Τομπουλίδη και Γιώργο Τενέδιο για την κατανόηση, την ενεργό συμπαράσταση, καθώς και τις ώρες γέλιου και χαλάρωσης που μου προσέφεραν.

Τέλος να ευχαριστήσω όλους τους συνεργάτες και συμφοιτητές που βοήθησαν στην υλοποίηση του πειράματος.

Περιεχόμενα	
Περίληψη	4
Abstract	5
Ευχαριστίες.....	6
ΜΕΡΟΣ Α - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	12
Εισαγωγή.....	12
Η ιστορία της υδροπονίας	12
Αστικό πράσινο και πράσινο σε κτήρια	14
Η ιδέα της υδροπονικής πέργκολας	17
Σχεδιασμός και κατασκευή υδροπονικής πέργκολας στο αίθριο του κτ. ΑΑΤ ΤΕΙ Ηπείρου.....	19
Σκελετός.....	19
Κανονισμοί σχεδιασμού και φορτίσεων που χρησιμοποιήθηκαν.....	20
Κατασκευή υδροπονικής πέργκολας	22
Διάταξη θρέψης – άρδευσης.....	24
Πράσινοι τοίχοι και υδροπονικοί πράσινοι τοίχοι	26
Πέργκολες και υδροπονικές πέργκολες.....	27
Υδροπονία	28
Σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων	28
Ηλεκτρική αγωγιμότητα και pH θρεπτικού διαλύματος.....	29
Υποστρώματα υδροπονικών καλλιεργειών	29
Ιδιότητες υποστρωμάτων που σχετίζονται με την άρδευση και επίπεδα υγρασίας	30
Εχθροί και ασθένειες/Φυτοπροστασία	31
ΜΕΡΟΣ Β – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΑΣΤΙΚΕΣ ΦΥΤΕΥΣΕΙΣ	35
Υλικά και μέθοδοι.....	35
Περιοχή εγκατάστασης	35
Κλιματολογικά στοιχεία περιοχής	36
Υποστρώματα	38
Θρεπτικά διαλύματα	38
Φυτικό υλικό.....	44
Περιγραφή εργασιών αξιολόγησης.....	46
Εκτίμηση εξέλιξης ανάπτυξης/σκίασης μέσω φωτογράφισης	50
Μετρητικός εξοπλισμός.....	52
Αποτελέσματα	54
Στατιστική ανάλυση	54
Καιρικές συνθήκες.....	54
Παράμετροι ανάπτυξης φυτών, ανάγκες σε νερό, ανάγκες φροντίδας	55

Επιδράσεις στο μικροκλίμα	60
Συζήτηση	64
Συμπεράσματα	65
Βιβλιογραφία.....	66
Παράρτημα I: Διάφορα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια και των δύο περιόδων αξιολόγησης.....	70
Παράρτημα II: Εναλλακτικές μορφές υδροπονικής πέργκολας.....	72
Παράρτημα III: Η υδροπονική πέργκολα ως καινοτομία	77

Εικόνες

Εικόνα 1: Άποψη σχετικά με τη μορφή των κρεμαστών κήπων (πηγή: www.wondersandmarvels.com).....	13
Εικόνα 2: Αθήνα, ένα «θερμικό νησί» (πηγή: www.tovima.gr).....	15
Εικόνα 3: Υδροπονική πέργκολα στο πανεπιστήμιο της Αλμερίας (φωτογραφία: Ι.Λ.Τσιρογιάννης, 2011).....	18
Εικόνα 4: Γενική κάτοψη υδροπονικής πέργκολας	19
Εικόνα 5: Δομοστατικό σχέδιο – κάτοψη (Χ. Τσούτσης)	20
Εικόνα 6: Δομοστατικό σχέδιο - βόρεια και νότια όψη (Χ. Τσούτσης)	21
Εικόνα 7: Δομοστατικό σχέδιο - ανατολική και δυτική όψη (Χ. Τσούτσης).....	21
Εικόνα 8: 3D Ανάπτυξη μοντέλου στο 3D studio max της Autodesk	22
Εικόνα 9: 3D απεικόνιση από ΝΔ (εικόνα:Χρήστος Μπουραντάς)	22
Εικόνα 10: 3D απεικόνιση από ΒΑ (εικόνα: Χρήστος Μπουραντάς)	22
Εικόνα 11: Πρώτη ημέρα κατασκευής της πέργκολας	23
Εικόνα 12: Ολοκλήρωση κατασκευής του σκελετού της πέργκολας	23
Εικόνα 13: Πάνω πλευρά φυτευτικού φορέα.....	23
Εικόνα 14: Κάτω πλευρά φυτευτικού φορέα	23
Εικόνα 15: Σχέδιο φυτευτικού φορέα	24
Εικόνα 16: Φυτευτικός φορέας εγκατεστημένος στην πέργκολα	24
Εικόνα 17: Σχεδιάγραμμα λειτουργίας αρδευτικού συστήματος (Σύστημα Α).....	25
Εικόνα 18: Σχεδιάγραμμα λειτουργίας αρδευτικού συστήματος (Σύστημα Β).....	26
Εικόνα 19: Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας υποστρωμάτων υδροπονίας (10 cm στήλης νερού=1 kPa=0,01bar)	31
Εικόνα 20: Χάρτης νομού Άρτας (πηγή: www.pigesartas.gr)	35
Εικόνα 21: Δορυφορική εικόνα της Τεχνόπολης του ΤΕΙ Ηπείρου στους Κωστακίους Άρτας (πηγή:GoogleEarth, 2014)	36
Εικόνα 22: Ομβροθερμικό διάγραμμα για την περιοχή της Άρτας με βάση τα κλιματολογικά στοιχεία της ΕΜΥ.....	37
Εικόνα 23: Περλίτης Perloflor Hydro	38
Εικόνα 24: Χάρτης της Ελλάδας με ζώνες ανθεκτικότητας.....	45
Εικόνα 25: Ταξινόμηση πάγκων θερμοκηπίου	46
Εικόνα 26: Σήμανση γραμμών φύτευσης.....	46
Εικόνα 27: Γέμισμα φυτευτικών φορέων με περλίτη	47
Εικόνα 28: Γεμισμένοι φυτευτικοί φορείς	47
Εικόνα 29: Φυτό σε γλάστρα	47
Εικόνα 30: Διαχωρισμός φυτού	47
Εικόνα 31: Αφαίρεση ρίζας.....	47
Εικόνα 32: Φυτά προς φύτευση.....	48
Εικόνα 33: Φύτευση φυτών στον φυτευτικό φορέα	48

Εικόνα 34: Πρόσθεση επιπλέον περλίτη για την καλύτερη στήριξη των φυτών.....	48
Εικόνα 35: Τοποθέτηση λογχών άρδευσης στα φυτά	48
Εικόνα 36: Έλεγχος φυτών στους φυτευτικούς φορείς.....	49
Εικόνα 37: Κατάσταση φυτών κατά την προσαρμογή τους στο θερμοκήπιο	49
Εικόνα 38: Τοποθέτηση νήματος για να βρούμε το ακριβές σημείο φωτογράφισης .	50
Εικόνα 39: Σημείο φωτογράφισης.....	50
Εικόνα 40: Κόκκινο νήμα τοποθετημένο ακριβώς κάτω από τους φυτευτικούς φορείς	51
Εικόνα 41: Αρχική εικόνα > άνοιγμα με Adobe Photoshop 7.0.....	51
Εικόνα 42: Image > Mode > Grayscale και Image > Adjust > Brightness/Contrast: Brightness=+50, Contrast=+100.....	51
Εικόνα 43: Image > Histogram: Μετακίνηση δείκτη (σταυρού) προς τα αριστερά έως το μαύρο (Level=0) και διαβάζω ποσοστό (π.χ. 10,43: σημαίνει 10,43% μαύρο).....	52
Εικόνα 44: Αισθητήρες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αέρα σε προστατευτικό κλωβό	53
Εικόνα 45: Πυρανόμετρο	53
Εικόνα 46: Datalogger.....	53
Εικόνα 47: Πεχάμετρο	53
Εικόνα 48: Αγωγιμόμετρο.....	53
Εικόνα 49:Προσβολή σε βλαστό Γερανιού (<i>Pelargonium zonale</i>) από το φυτοπαθογόνο βακτήριο <i>Erwinia sp.</i>	70
Εικόνα 50:Δείγματα βλαστού προς καλλιέργεια	70
Εικόνα 51:Καλλιέργεια δειγμάτων βλαστού σε άγαρ.....	70
Εικόνα 52:Χαρακτηριστική εξάπλωση του βακτηρίου <i>Erwinia sp.</i>	70
Εικόνα 53:Προσβολή Σερφίνιας (<i>Petunia surfinia</i>) από το Κοκκοειδές έντομο (<i>Icerya purchasi</i>)	71
Εικόνα 54:Προσβολή Γκαζάνιας (<i>Gazania rigens</i>) από Ωίδιο (<i>Oidium sp</i>) με αποτέλεσμα την ξήρανση της	71
Εικόνα 55:Ξήρανση Δενδρολίβανου έρπον (<i>Rosmarinus officinalis "Prostratus"</i>) λόγω αυξημένης υγρασίας του υποστρώματος.....	71
Εικόνα 56:Πέργκολα στο λιμάνι της Μάλαγας στην Ανδαλουσία της Ισπανίας σχεδιασμένη από τον Αρχιτέκτονα Jeronimo Junqueras (πηγή: www.ianthearchitect.org/making-waves-with-the-new-cruise-terminal-in-malaga/).....	72
Εικόνα 57:Πέργκολα στον τερματικό σταθμό του αεροδρομίου της πολιτείας Γκόα της Ινδίας (πηγή: ssmb.in/goa-airport/).....	73
Εικόνα 58:Πέργκολα στο αεροδρόμιο της Φρανκφούρτης στον τερματικό σταθμό 1 (πηγή: www.e-architect.co.uk/frankfurt-architecture)	73
Εικόνα 59:Μελέτη για κατασκευή πέργκολας στο AIDS Memorial Park στην Νέα Υόρκη προς υπενθύμιση για τα πολυάριθμα θύματα του AIDS (πηγή: inhabitat.com/nyc/studio-ai-reimagines-aids-memorial-park-design-as-a-fresh-green-triangular-canopy/)	74
Εικόνα 60:Τοποθετημένη πέργκολα στο κέντρο του Central Park της Νέας Υόρκης σχεδιασμένη από τον Φρέντερικ Λόου Όλμστεντ -Αρχιτέκτονας τοπίου- ο οποίος είναι και ο σχεδιαστής όλου του πάρκου (πηγή: www.olmstedparks.org/our-parks/central-park/).....	74
Εικόνα 61:Πέργκολα στο South Bank Parklands στο Brisbane της Αυστραλίας (πηγή: www.ronstantensilearch.com/southbank-arbour-greening-system/)	75
Εικόνα 62:Πέργκολα σε εστιατόριο στο Λονδίνο στην οροφή ενός κτιρίου (πηγή: blondeacrossthepond.com/pergola-on-the-roof/).....	76
Εικόνα 63:Πέργκολα σε Ελληνική παραδοσιακή ταβέρνα (πηγή: www.topzante.com/food-nightlife/tavern-to-ladofanaro-tou-farandou)	76

Εικόνα 64: Παρουσίαση της υδροπονικής πέργκολας, αριστερά φαίνεται ο φυτευτικός φορέας που είναι ένα από τα πολλά αποσπώμενα μέρη που φέρει τα φυτά.....	77
Εικόνα 65: Παρουσίαση της υδροπονικής πέργκολας στους κριτές του ideatree και στους υπόλοιπους διαγωνιζόμενους	78

Πίνακες

Πίνακας 1: Αναλογία χώρων πρασίνου ανά κάτοικο σε διάφορες πόλεις.....	16
Πίνακας 2: Μορφές θρεπτικών στοιχείων στα θρεπτικά διαλύματα.....	29
Πίνακας 3: Τα σημαντικότερα έντομα που προσβάλλουν τα καλλωπιστικά φυτά.....	32
Πίνακας 4: Τα σημαντικότερα βακτήρια που προσβάλλουν τα καλλωπιστικά φυτά..	33
Πίνακας 5: Οι σημαντικότεροι μύκητες που προσβάλλουν τα καλλωπιστικά φυτά ...	33
Πίνακας 6: Οι σημαντικότερες ιώσεις που προσβάλλουν τα καλλωπιστικά φυτά	33
Πίνακας 7: Τα σημαντικότερα ακάρεα που προσβάλλουν τα καλλωπιστικά φυτά	34
Πίνακας 8: Θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε κατά την 1 ^η περίοδο λειτουργίας της υδροπονικής πέργκολας (από 02/08/2012)	39
Πίνακας 9: Θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε κατά την 2 ^η περίοδο λειτουργίας της υδροπονικής πέργκολας (από 01/04/2014).....	40
Πίνακας 10: Θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε κατά την 2 ^η περίοδο λειτουργίας της υδροπονικής πέργκολας (από 10/06/2014)	41
Πίνακας 11: Θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε κατά την 2 ^η περίοδο λειτουργίας της υδροπονικής πέργκολας (από 06/08/2014 για το Σύστημα Α)	42
Πίνακας 12: Θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε κατά την 2 ^η περίοδο λειτουργίας της υδροπονικής πέργκολας (από 06/08/2014 για το Σύστημα Β)	43
Πίνακας 13: Θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε κατά την 2 ^η περίοδο λειτουργίας της υδροπονικής πέργκολας (από 10/09/2014 για το Σύστημα Β)	44
Πίνακας 16: Φυτικό υλικό που επιλέχθηκε και για τις δύο περιόδους λειτουργίας της υδροπονικής πέργκολας (2013 και 2014).....	46
Πίνακας 17: Εναέριοι παράμετροι περιβάλλοντος (T, T _{min} , T _{max} : μέση, μέση ελάχιστη και μέση μέγιστη θερμοκρασία σε οC, RH: μέση σχετική υγρασία σε % και ET _o μέση εξατμισοδιαπνοή σε mm day ⁻¹) με βάση τις μετρήσεις από τον μετεωρολογικό σταθμό του θερμοκηπίου. Οι τιμές συνοδεύονται από το τυπικό σφάλμα (±).....	54
Πίνακας 18: Αριθμός εμφάνισης παρεμβάσεων για τη ρύθμιση του θρεπτικού διαλύματος στα συστήματα Α και Β κατά τη διάρκεια της περιόδου αξιολόγησης. ...	56
Πίνακας 19: Απαιτήσεις σε ανθρωποώρες για την περιποίηση των φυτών κατά τη διάρκεια της περιόδου αξιολόγησης -μέσες τιμές για όλα τα φυτά του κάθε είδους- (3 φυτευτικοί φορείς x 2 φυτά ο καθένας). Οι τιμές συνοδεύονται από το τυπικό σφάλμα (±).....	56

Διαγράμματα

Διάγραμμα 1: Διακύμανση υγρασίας υποστρώματος για τα συστήματα Α και Β κατά την περίοδο αξιολόγησης, 2013 (πάνω) και 2014 (κάτω). Οι πάνω (κόκκινη) και οι κάτω (μπλέ) διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν την μέγιστη και την ελάχιστη υγρασία του υποστρώματος αντίστοιχα.....	55
Διάγραμμα 2: Μέση ημερήσια κατανάλωση θρεπτικού διαλύματος για τα συστήματα Α και Β κατά τη διάρκεια της περιόδου αξιολόγησης, 2013 (πάνω) και 2014 (κάτω). Οι τιμές συνοδεύονται από το τυπικό σφάλμα (±).....	57
Διάγραμμα 3: Ξηρό βάρος βλαστού και ρίζας των φυτών για τα συστήματα Α και Β κατά τη διάρκεια της περιόδου αξιολόγησης, 2013 (πάνω) και 2014 (κάτω). Οι τιμές	

για την <i>Dimorphoteca sinuata</i> έχουν διαιρεθεί δια 3. Οι τιμές συνοδεύονται από το τυπικό σφάλμα (\pm).	58
Διάγραμμα 4: Φυλλική επιφάνεια των φυτών για τα συστήματα A και B κατά τη διάρκεια της περιόδου αξιολόγησης, 2013 (πάνω) και 2014 (κάτω). Οι τιμές για την <i>Dimorphoteca sinuata</i> έχουν διαιρεθεί δια 3. Οι τιμές συνοδεύονται από το τυπικό σφάλμα (\pm).	59
Διάγραμμα 5: Εξέλιξη ποσοστού σκίασης από την πέργκολα για τα συστήματα A και B κατά τη διάρκεια των περιόδων αξιολόγησης, 2013 (πάνω) και 2014 (κάτω).	60
Διάγραμμα 6: Διαφορές μέσης θερμοκρασίας (ΔT σε $^{\circ}C$, αριστερά) και μέσης σχετικής υγρασίας (ΔRH σε %, δεξιά) για το έτος 2012 όταν δεν υπήρχε η πέργκολα στο αίθριο και για το 2013 και 2014 όταν εγκαταστάθηκε η πέργκολα στο αίθριο.	62
Διάγραμμα 7: Διαφορές μέσης ηλιακής ακτινοβολίας (R_s σε $W m^{-2}$) για το έτος 2012 όταν δεν υπήρχε η πέργκολα στο αίθριο και για το 2013 και 2014 όταν εγκαταστάθηκε η πέργκολα στο αίθριο.	63

ΜΕΡΟΣ Α - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Εισαγωγή

Η διπλωματική αυτή εργασία παρουσιάζει τα αποτελέσματα της επίδρασης μίας φυτικής επιφάνειας και συγκεκριμένα μίας υδροπονικής πέργκολας στο μικροκλίμα ενός έντονα δομημένου χώρου.

Από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ξεκίνησε η μετακίνηση μεγάλου μέρους του πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα. Σύμφωνα με τις προβλέψεις του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (Ο.Η.Ε) εκτιμάται ότι μέχρι το 2050, τα 2/3 του παγκόσμιου πληθυσμού θα συγκεντρωθεί στα αστικά κέντρα. Από αυτό προκύπτει η ανάγκη για ένα ποιοτικότερο περιβάλλον εντός του αστικού ιστού, το οποίο θα βελτιώσει το βιοτικό επίπεδο των πολιτών. Τα αστικά κέντρα θα πρέπει να αναπτύσσονται με γνώμονα την όσο το δυνατόν μικρότερη αλλοίωση στο φυσικό περιβάλλον, της προϋπάρχουσας βιοποικιλότητας και ο σχεδιασμός τους να συμβάλει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Η χρησιμοποίηση των κατάλληλων υλικών, ιδιαίτερα των ψυχρών υλικών και η χρήση της βλάστησης στη διαμόρφωση των υπαίθριων χώρων καθώς και στις επιφάνειες των κτηρίων (δώματα, φυτεμένες επιφάνειες, πράσινες προσόψεις) συμβάλλει αφενός στη βελτίωση των συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης του άμεσου περιβάλλοντος και αφετέρου στη δημιουργία ευνοϊκού μικροκλίματος, που συνεισφέρει στην εξοικονόμηση ενέργειας για τη θέρμανση και την ψύξη των κτηρίων και στη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης των κατοίκων.

Αναμφίβολα, η επαναφορά της φύσης στα σημερινά αστικά κέντρα, αποτελεί ένα δύσκολο εγχείρημα, η άσχημη εικόνα των οποίων είναι δύσκολο, αλλά όχι ακατόρθωτο να αναστραφεί. Ένας από τους λιγοστούς πλέον τρόπους παρέμβασης, είναι η δημιουργία δωματίων, οροφόκηπων και φυτεμένων επιφανειών κάθετων ή οριζόντιων.

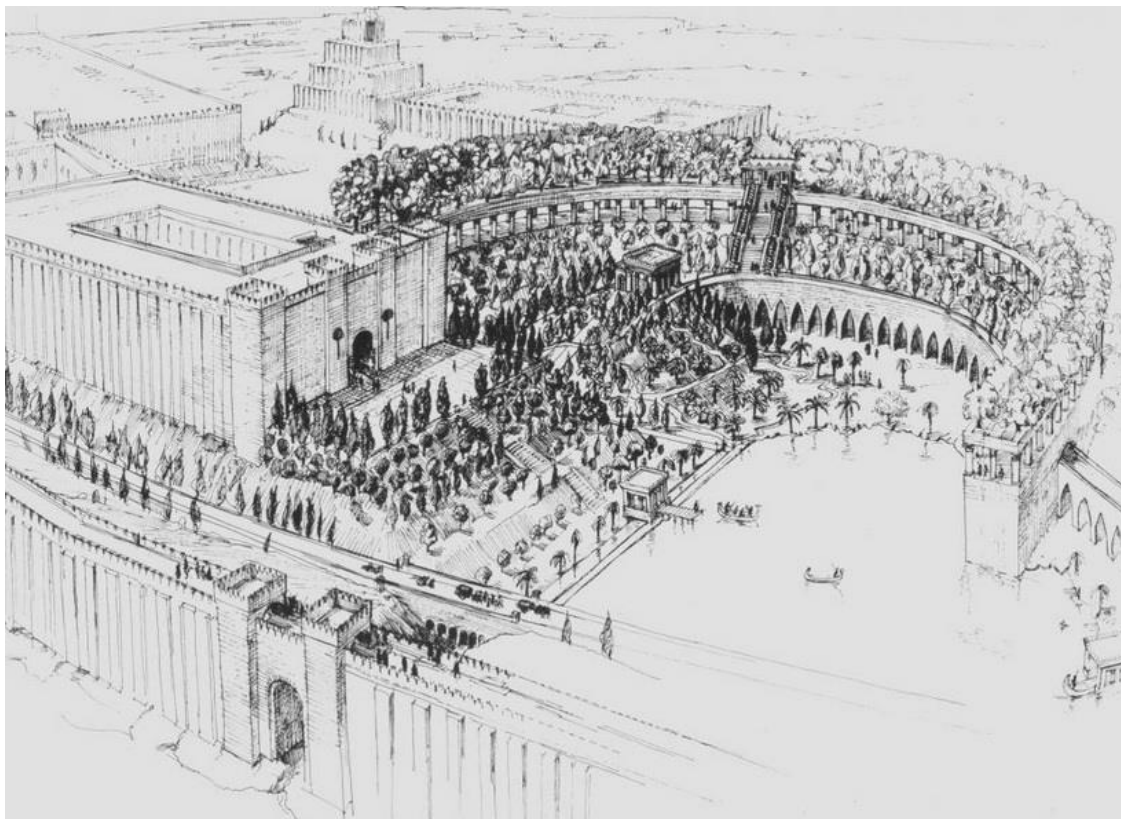
Οι φυτεμένες επιφάνειες και γενικά οι πράσινες κατασκευές συμβάλλουν στη συγκράτηση, εξυγίανση και πρόληψη της διάβρωσης των εδαφών, καθώς και στη ρύθμιση της ροής των ομβρίων, με αποτέλεσμα μια σειρά πλεονεκτημάτων, όπως τη συγκέντρωση και χρήση των ομβρίων, τη μείωση διοχέτευσης νερού στα δίκτυα αποχέτευσης έως και 50% και την αποφυγή πλημμυρών. Επιπλέον η άρδευση των φυτεμένων επιφανειών μπορεί να γίνεται και με την αξιοποίηση εναλλακτικών πηγών νερού διαφόρων προελεύσεων, όπως το γκριζο και το ανακυκλωμένο νερό καθώς τα φυτά δεν είναι και τόσο απαιτητικά όσο νομίζουμε και μπορούν να αναπτυχθούν και με νερό κατώτερης ποιότητας, που τόσα χρόνια το υποτιμούσαμε λόγω έλλειψης γνώσεων και εξειδίκευσης.

Η υδροπονική πέργκολα ήταν κατασκευασμένη με κλειστό σύστημα με αποτέλεσμα να γινόταν ανακύκλωση του υδατικού διαλλείματος και να υπήρχε η μέγιστη αποδοτικότητα του συστήματος άρδευσης με την ελάχιστη χρήση πόσιμου νερού.

Η ιστορία της υδροπονίας

Μολονότι μέχρι σήμερα η υδροπονία θεωρείται ως μια σύγχρονη μέθοδος σε ολόκληρο τον κόσμο, μια ανασκόπηση στο παρελθόν εντοπίζονται πολλά ενδιαφέροντα στοιχεία. Πιο συγκεκριμένα στην Αίγυπτο 4000 π.χ., είχαν χρησιμοποιηθεί γλάστρες με κάποιο είδος υποστρώματος για την καλλιέργεια και μεταφορά δένδρων σε μεγάλες αποστάσεις. Επίσης οι Αρχαίοι Κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας και αργότερα οι πλωτοί κήποι που δημιούργησαν οι Αζτέκοι στο Μεξικό (14^ο μέχρι 16^ο αιώνα μ.Χ.), ήταν καλλιέργειες που έφεραν κάποια από τα χαρακτηριστικά των σημερινών υδροπονικών καλλιεργειών. Στην περίπτωση των

Κρεμαστών Κήπων της Βαβυλώνας τα φυτά αναπτύσσονταν πάνω σε αναβαθμίδες γεμισμένες με μίγμα άμμου και χώματος. Η ύπαρξη του μνημείου αυτού, (που πιθανότατα κατασκευάστηκε τον 6ο π.χ. αιώνα) ουσιαστικά δεν αποδείχθηκε ποτέ. Η ύπαρξή του περιγράφεται σε κείμενα Ελλήνων ιστορικών της ελληνιστικής εποχής, ενώ σήμερα αρχαιολόγοι υποστηρίζουν ότι στην πραγματικότητα βρίσκονταν στην Νινευή (Dalley, 2013) (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Άποψη σχετικά με τη μορφή των κρεμαστών κήπων (πηγή: www.wondersandmarvels.com)

Τον 17^ο αιώνα χρησιμοποιούνταν κατασκευές που έμοιαζαν με θερμοκήπια, προκειμένου να διατηρούνται σε περιοχές με ψυχρά κλίματα, όπως συνέβη με κάποια εσπεριδοειδή στη Γερμανία. Η καλλιέργεια των φυτών σε δοχεία ολοένα και αυξανόταν για δύο λόγους. Ο ένας οφειλόταν στην κατανόηση των απαιτήσεων διατροφής τους και κυρίως το 1946 που Βρετανοί επιστήμονες ανέπτυξαν φυτά σε άμμο με χρήση θρεπτικών διαλυμάτων. Αργότερα βελτιώθηκε η σύσταση τους και μπόρεσαν να αυξήσουν την απόδοση των φυτών (Cooper, 1975; Verwer, 1976). Ένας δεύτερος λόγος ήταν η μείωση των ασθενειών και η ελαχιστοποίηση των εργασιών που απαιτούνται με την απολύμανση, σε σχέση με της καλλιέργεια στο έδαφος. Στην Αμερική την δεκαετία 1950 και 1960 χρησιμοποιήθηκαν σε φυτώρια διάφορες αναλογίες από τύρφη, πριονίδι, άμμο και άλλες οργανικές ουσίες για την διατήρηση των φυτών (Matkin και Chandler, 1957).

Πολλοί ερευνητές αρχικά προσπάθησαν μέσω της υδροπονίας να μελετήσουν τον τρόπο λειτουργίας και θρέψης των ριζών. Η αυτοματοποίηση και γενικότερα ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια έδωσε νέα δεδομένα στην καλλιέργεια εκτός εδάφους. Σήμερα υπάρχουν διάφορα είδη συστημάτων στα οποία καλλιεργείται μεγάλη ποικιλία καλλωπιστικών και κηπευτικών φυτών (Ravin and Lieth, 2008). Οι Γερμανοί φυσιολόγοι Sachs (1859,1861) και Knop (1860) ήταν οι

πρώτοι που καλλιέργησαν φυτά μέσα σε τεχνητό θρεπτικό διάλυμα, του οποίου η σύσταση σε ανόργανα θρεπτικά στοιχεία καθορίστηκε από τους παρασκευαστές του, με στόχο να συμφωνεί με τις ανάγκες θρέψης των φυτών και επιτεύχθηκε με προσθήκη συγκεκριμένων ποσοτήτων ανόργανων αλάτων σε μία ποσότητα φυσικού νερού. Γι αυτό και δίκαια σήμερα θεωρείται ότι οι Sachs και Knop είναι εκείνοι που έθεσαν τις επιστημονικές βάσεις της υδροπονίας.

Σημαντικές αναφορές έχουν γίνει για υδροπονικές καλλιέργειες που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια του Β΄ παγκοσμίου πολέμου. Αμερικανοί στρατιώτες που διέμεναν σε νησιά του Ειρηνικού Ωκεανού, καλλιέργησαν φυτά εκτός εδάφους για την παραγωγή φρέσκων λαχανικών με μοναδικό σκοπό να εφοδιάζεται με τρόφιμα ο στρατός (Eastwood, 1947).

Από τις αρχές της δεκαετίας του 70 το ενδιαφέρον για την εφαρμογή της υδροπονίας σε επιχειρηματικές καλλιέργειες σε θερμοκήπια, αναζωπυρώνεται κυρίως στην Αγγλία και την Ολλανδία. Στην Αγγλία ο Cooper (1975, 1979), εφαρμόζει με επιτυχία την τεχνική της λεπτής θρεπτικής στοιβάδας (Nutrient Film Technique) που υιοθετείται από τους παραγωγούς σε μεγάλη κλίμακα. Στην Ολλανδία ανακαλύπτονται οι θαυμάσιες ιδιότητες του πετροβάμβακα (Verwer, 1976 και 1978) σαν αδρανές υπόστρωμα, το οποίο δίνει λύση στην έξαρση των εδαφογενών ασθενειών καθώς και τα προβλήματα που δημιουργούσαν οι συνεχείς απολυμάνσεις του εδάφους με βρωμιούχο μεθύλιο.

Πρωτοπόρος των υδροπονικών συστημάτων για την δημιουργία κάθετων κήπων, στην σημερινή τους εκδοχή, είναι ο Γάλλος βοτανολόγος και ερευνητής στο Εθνικό Κέντρο Ερευνών του Παρισιού Patrick Blanc, ο οποίος χρησιμοποίησε την τεχνολογία της υδροπονίας για την δημιουργία των κάθετων κήπων. Το παράδειγμά του έχουν ακολουθήσει έκτοτε και πολλοί άλλοι από την Αμερική, την Ευρώπη και την Ιαπωνία.

Αστικό πράσινο και πράσινο σε κτήρια

Σε κάθε τοποθεσία, ο άνθρωπος μπορεί να παρέμβει προκειμένου να τροποποιήσει το περιβάλλον γύρω από τα κτήρια, δημιουργώντας συνθήκες που συνιστούν το μικροκλίμα. Ο ρόλος της βλάστησης σε ένα δομημένο περιβάλλον είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Τα φυτά σκιάζουν το κτήριο και έτσι παρέχουν πολύτιμη ηλιοπροστασία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, μειώνοντας τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα. Επίσης, μέσω των βασικών λειτουργιών των φυτών για φωτοσύνθεση, διαπνοή και εξάτμιση, παρέχεται σημαντικός δροσισμός. Η αποβολή νερού από τα φύλλα με τη μορφή υδρατμών γίνεται με τη βοήθεια θερμότητας που αντλείται από τον αέρα του περιβάλλοντος με αποτέλεσμα την τοπική μείωση της θερμοκρασίας.

Ιδιαίτερα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπου εμφανίζεται το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (Urban Heat Island) και της αστικής οδικής χαράδρας (Urban Street Canyon), η βλάστηση είναι αναγκαία. Σύμφωνα με τα φαινόμενα αυτά, η θερμοκρασία του αέρα είναι ιδιαίτερα υψηλή στις πόλεις λόγω του μικροκλίματος που δημιουργείται από το υπερδομημένο περιβάλλον και τις ανθρώπινες επεμβάσεις. Οι αστικές περιοχές με χαμηλή ποιότητα κλίματος, που είναι περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι, μεγάλο πληθυσμό, κυκλοφοριακό πρόβλημα, αυξημένο δομημένο περιβάλλον και μειωμένους πράσινους χώρους, χρησιμοποιούν περισσότερο ποσό ενέργειας για κλιματισμό από τις μη αστικές περιοχές. Η πόλη της Αθήνας χαρακτηρίζεται από το έντονο φαινόμενο αστικής θερμικής νησίδας και της αστικής οδικής χαράδρας, λόγω της αυξημένης βιομηχανικής δραστηριότητας και της αστικοποίησης των τελευταίων χρόνων. Το φαινόμενο εμφανίζεται τόσο το καλοκαίρι, όσο και το χειμώνα, με μέση ημερήσια ένταση που κυμαίνεται μεταξύ 6-12°C για τις κεντρικές ζώνες. Οι φυτεμένες στέγες και η φύτευση βλάστησης μπορούν να επιδράσουν θετικά στο

κλίμα της πόλης και στο εσωτερικό κλίμα των κτηρίων, προστατεύοντας τα από την ηλιακή ακτινοβολία και μειώνοντας το φαινόμενο της θερμικής νησίδας.



Εικόνα 2: Αθήνα, ένα «θερμικό νησί» (πηγή: www.tovima.gr)

Οι αστικές περιοχές στην πλειονότητα τους στερούνται ακάλυπτων χώρων μεγάλης έκτασης, οπότε πρέπει να επιδιωχθεί η αξιοποίηση κάθε προσφερόμενης για φυτοκάλυψη επιφάνειας. Η κατάσταση στις ελληνικές πόλεις όσον αφορά την ύπαρξη χώρων πρασίνου δεν είναι καλή σε σχέση με τις ευρωπαϊκές, αφού οι πόλεις επεκτείνονται χωρίς σχέδιο εις βάρος των ελεύθερων χώρων. Η ταχεία οικοδομική ανασυγκρότηση της χώρας μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, τα κίνητρα που δόθηκαν στην οικοδομική δραστηριότητα, η πολιτική της αντιπαροχής και η μεγαλύτερη δυνατή εκμετάλλευση των οικοπέδων σε κάλυψη και ύψος δεν επέτρεψαν τη δημιουργία ελεύθερων κοινόχρηστων χώρων πρασίνου. Ωστόσο ακόμα και τα τελευταία χρόνια η κατάσταση επιδεινώθηκε λόγω της πληθώρας των οικοδομήσεων και έργων οδοποιίας και της καταπάτησης δημόσιων ελεύθερων χώρων.

Αποτέλεσμα αυτής της πολιτικής ήταν να διαθέτει η Αθήνα σήμερα 2,55 m² και η Θεσσαλονίκη 2,73 m² πρασίνου ανά κάτοικο σε αντίθεση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Ωστόσο σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, το επιθυμητό μέγεθος των χώρων αστικού πρασίνου είναι 8m². Ο πίνακας που παρατίθεται σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής αλλαγής είναι ενδεικτικός των αντιστοιχιών που υπάρχουν μεταξύ της Αθήνας και των άλλων πόλεων, με την πρώτη να προσφέρει στους κατοίκους της τη χαμηλότερη αναλογία πρασίνου ανά κάτοικο.

Πίνακας 1: Αναλογία χώρων πρασίνου ανά κάτοικο σε διάφορες πόλεις

Πόλη	m ² /κάτοικο
Αθήνα	2,55
Θεσσαλονίκη	2,73
Λονδίνο	9
Παρίσι	8,54
Ρώμη	9
Βιέννη	20
Βαρσοβία	18
Άμστερνταμ	27
Ρότερνταμ	28
Χάγη	27
Ζυρίχη	10
Βόνη	35
Μπορντό	2
Βερολίνο	13
Ουάσιγκτον	50

Η ανάγκη δημιουργίας φυτοδωμάτων εμφανίστηκε όταν οι περισσότεροι υπαίθριοι χώροι οικοδομήθηκαν άναρχα στα μεγάλα αστικά κέντρα, λόγω της αστικοποίησης και της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού, χωρίς να προβλεφθεί η ύπαρξη χώρων πρασίνου. Μετατρέποντας τις οροφές των κτιρίων σε πράσινο αναμένεται η βελτίωση του περιβάλλοντος και κατ' επέκταση βελτιώνονται οι συνθήκες διαβίωσης των κατοίκων.

Οι πράσινες στέγες – εκτατικού, ημιεντατικού ή εντατικού τύπου- έχει αποδειχθεί ότι αναβαθμίζουν αισθητικά και λειτουργικά τα κτήρια, βελτιώνουν το μικροκλίμα των αστικών περιοχών, μειώνουν την απορροή βρόχινου νερού, μειώνουν την ηχορύπανση, τη σκόνη, το νέφος και την κατανάλωση ενέργειας, ενισχύουν και προστατεύουν τη μόνωση του δώματος και δημιουργούν κατάλληλο περιβάλλον για φιλοξενία πανίδας και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας της περιοχής. Ακόμη βοηθούν τους κατοίκους των πόλεων να ξεπεράσουν το άγχος της καθημερινότητας, να αναπτύξουν κοινωνικές σχέσεις και περιβαλλοντική ευαισθησία (Wilmers, 1988; Luvall και Holbo, 1989, Bass και Baskaran, 2003; Santamouris και Georgakis, 2003; Hoffman και McDonough, 2004; Cantor, 2008).

Η χρησιμοποίηση μιας φυτικής επιφάνειας στην οροφή ενός κτιρίου συμβάλει αποφασιστικά στη διαμόρφωση του εσωτερικού του κλίματος. Η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία μειώνονται καθώς διέρχονται από τη φυτική επιφάνεια που καλύπτει την οροφή. Τα φυτά μέσω των φυσιολογικών τους λειτουργιών (φωτοσύνθεση, αναπνοή, διαπνοή και εξάτμιση) μεταβάλλουν σημαντικά τα ισοζύγια ενέργειας και μάζας που διέρχονται στο εσωτερικό του κτιρίου (Monteith και Unsowrth, 2008; Alexandri και Jones, 2008). Έως τώρα ερευνητικές προσπάθειες έχουν δείξει ότι η υιοθέτηση πράσινης στέγης μπορεί να συμβάλλει αποφασιστικά στην επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με το φαινόμενο της «θερμικής νησίδας» την αύξηση των επιπέδων ρύπανσης των πόλεων τη βιοποικιλότητα και την ορθολογική διαχείριση υδάτινων πόρων στα σύγχρονα αστικά κέντρα (Robbert κ.α., 2009; Fang Fang 2008; Takebayashi και Moriyama, 2007). Η επίδραση των φυτεμένων οροφών στο εσωτερικό κλίμα των κτιρίων έχει μελετηθεί στο παρελθόν

κυρίως με αναλυτικές και πειραματικές μεθόδους (Sailor 2008; Santamouris κ.α. 2007, Elazzarin κ.α., 2005).

Σχετικά με τους οροφόμενους, έχει ήδη αναπτυχθεί σημαντική τεχνολογία όσο αφορά τα υλικά και τα συστήματα που συνδυάζουν την ελαφριά κατασκευή με την ανάπτυξη καλαίσθητων και λειτουργικών χώρων πράσινου: σύγχρονα εξειδικευμένα υλικά, κατάλληλα συστήματα αποστράγγισης, ειδικά μείγματα ανάπτυξης – υποστρώματα, κατάλληλοι τύποι συστημάτων άρδευσης κοκ (Παγκάλου, 2005). Από την άλλη δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες σχετικά με τις κατακόρυφες και τις αναρτημένες φυτεύσεις παρόλο που ως τεχνικές είναι εξίσου παλαιές.

Τα κτήρια έχουν συνήθως πολύ μεγάλο λόγο επιφάνειας τοίχων προς οροφή, και οι τοίχοι επηρεάζουν το μικροκλίμα όπως και οι οροφές. Έχουν ήδη παρουσιαστεί αποτελέσματα ερευνών σχετικά με τις θετικές επιδράσεις των κατακόρυφων φυτεύσεων στο αστικό μικροκλίμα και το εσωτερικό περιβάλλον των κτηρίων, είτε με χρήση παραδοσιακών λύσεων –πλέγματα με αναρριχώμενα φυτά- (Hoyano, 1988) είτε σε περιπτώσεις σύνθετων φυτεύσεων (Wilmers, 1988; Holm, 1989; Bass και Baskaran, 2003). Τα τελευταία χρόνια διάσημοι –κυρίως για το αισθητικό τους αποτέλεσμα- είναι οι κατακόρυφοι κήποι του Πατρίκ Μπλαν (Blanc, 2009) οι οποίοι όμως εφαρμόζονται σχεδόν αποκλειστικά σε ψυχρές και υγρές περιοχές.

Σημαντικό ζητούμενο αποτελεί επίσης και η δημιουργία σκιερών χώρων που να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ανθρώπους το οποίο είναι δύσκολο να επιτευχθεί με τα φυτά που χρησιμοποιούνται συνήθως σε οροφόμενους. Η χρήση πέργολας ως κατασκευής κήπου για στήριξη φυτών είναι γνωστή και εφαρμόζεται από παλαιά. Δημοσιευμένα στοιχεία σχετικά με την επίδραση μιας υδροπονικής πέργολας (Montero και Salas, 2009) έδειξαν ότι παρέχει υψηλό αισθητικό επίπεδο φύτευσης παράλληλα με σκίαση και βελτίωση του μικροκλίματος.

Η συνέχιση της μελέτης των επιδράσεων τους στο εξωτερικό και εσωτερικό κλίμα των κτηρίων σε πόλεις με Μεσογειακό κλίμα έχει τονιστεί από πολλούς ερευνητές (Eumorphou και Aravantinos, 1998; Νεκτάριος, 2007). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η μελέτη των κοινωνικών παραμέτρων που σχετίζονται με την εγκατάσταση πράσινου στις οροφές, στους τοίχους αλλά και σε κατασκευές των κτηρίων. Τέτοιου είδους μελέτες θεωρούνται ιδιαίτερα χρήσιμες για την λήψη σχεδιαστικών αποφάσεων σε έργα πράσινου (Ανθόπουλος και Τζώρτζη, 2006).

Η ιδέα της υδροπονικής πέργκολας

Η πτυχιακή εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου HSoB¹ το οποίο αποσκοπούσε στην ανάπτυξη τεχνολογίας σχετικά με το σχεδιασμό, την διαχείριση και τις επιδράσεις πράσινων κατασκευών σε αστικά κτήρια υπό μεσογειακές συνθήκες.

Στόχος ήταν η αξιολόγηση των επιδράσεων (μικροκλιματικές, ενεργειακές κοκ) από την χρήση φυτεύσεων σε κτήρια και η απόκτηση τεχνολογίας σχετικά με το σχεδιασμό, φύτευση και διαχείριση πράσινων κατασκευών. Στο πλαίσιο αυτό αξιολογήθηκε πειραματικά μία υδροπονική πέργκολα. Η υδροπονική πέργκολα πλεονεκτεί όσο αφορά τη σχεδίαση σε σχέση με τις σχετικές συμβατικές κατασκευές υπό την έννοια ότι δίνουν τη δυνατότητα σχεδιαστικής έκφρασης σε επίπεδο αρχιτεκτονικής τοπίου και το φυτικό σύνολο μπορεί να αποτελεί σύνθεση διαφόρων φυτών με αποτέλεσμα παρόμοιο με αυτό ενός κήπου.

Στο πανεπιστήμιο της Αλμερίας (Ισπανία) πραγματοποιήθηκε ένα παρόμοιο πείραμα υδροπονικής πέργκολας το 2010 από τους Mc Salas και J.L. Montero (Εικόνα 3) το οποίο αποτέλεσε πηγή έμπνευσης για το πείραμα της υδροπονικής πέργκολας στο ΤΕΙ Ηπείρου (Άρτα) . Βέβαια οι συνθήκες ήταν λίγο διαφορετικές από της Άρτας

¹ Hydroponic Structures on Buildings

καθώς η Αλμερία μπορεί να βρίσκεται στη Μεσόγειο αλλά οι συνθήκες κλίματος διαφέρουν καθώς η πόλη της Αλμερίας βρίσκεται σε παραθαλάσσια περιοχή με ισχυρούς ανέμους και έλλειψη βροχόπτωσης καθόλη τη διάρκεια του χρόνου, σε αντίθεση με την Άρτα η οποία έχει από τα υψηλότερα ποσοστά βροχόπτωσης πανελλαδικός και πολύ υψηλό ποσοστό υγρασίας του αέρα.



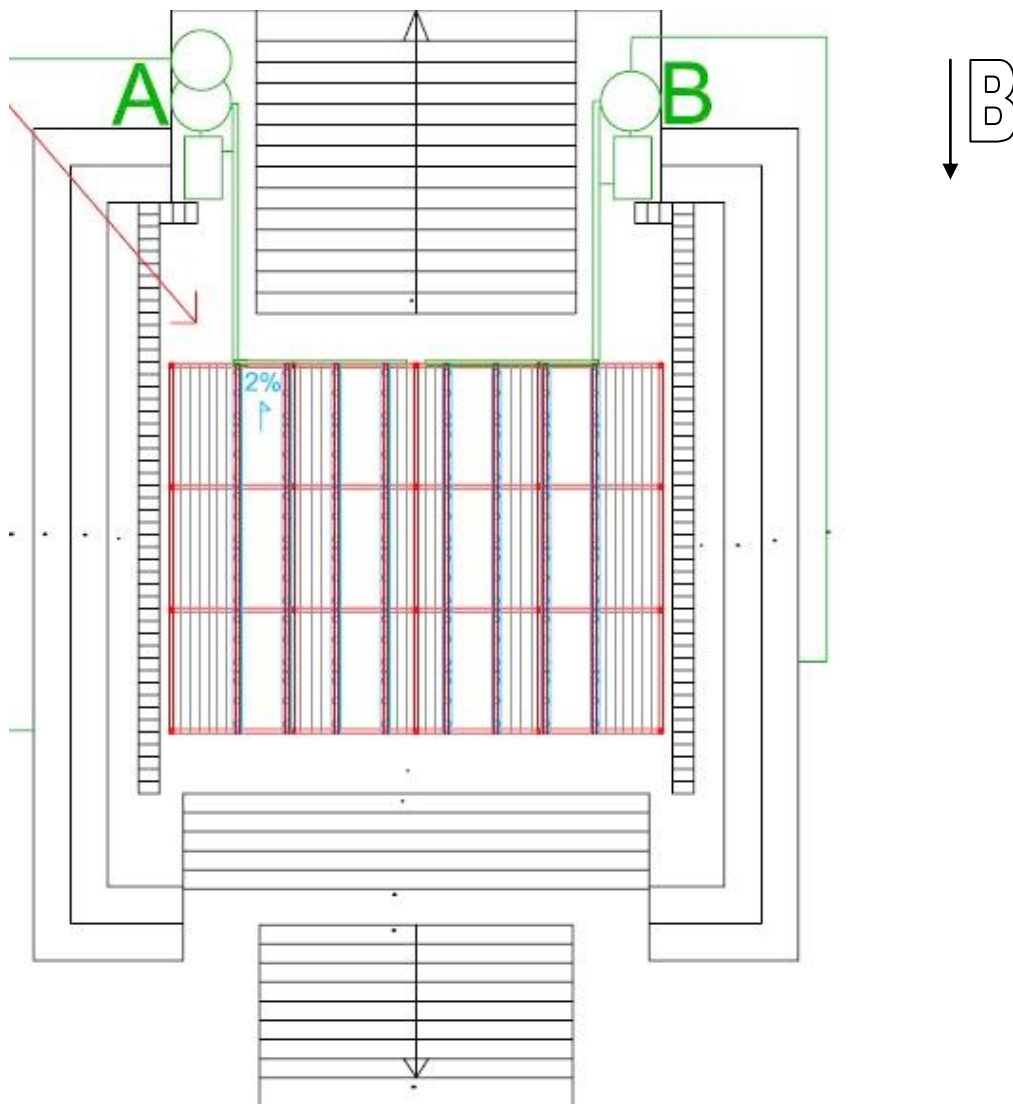
Εικόνα 3: Υδροπονική πέργκολα στο πανεπιστήμιο της Αλμερίας (φωτογραφία: Ι.Λ.Τσιρογιάννης, 2011)

Το πείραμα της υδροπονικής πέργκολας υλοποιήθηκε στον αίθριο χώρο του κτηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου (ΤΕΙ Ηπείρου) διότι εκεί δημιουργούνται συνθήκες παρόμοιες με αυτές έντονα δομημένου αστικού περιβάλλοντος.

Σχεδιασμός και κατασκευή υδροπονικής πέργκολας στο αίθριο του κτ. ΑΑΤ ΤΕΙ Ηπείρου

Σκελετός

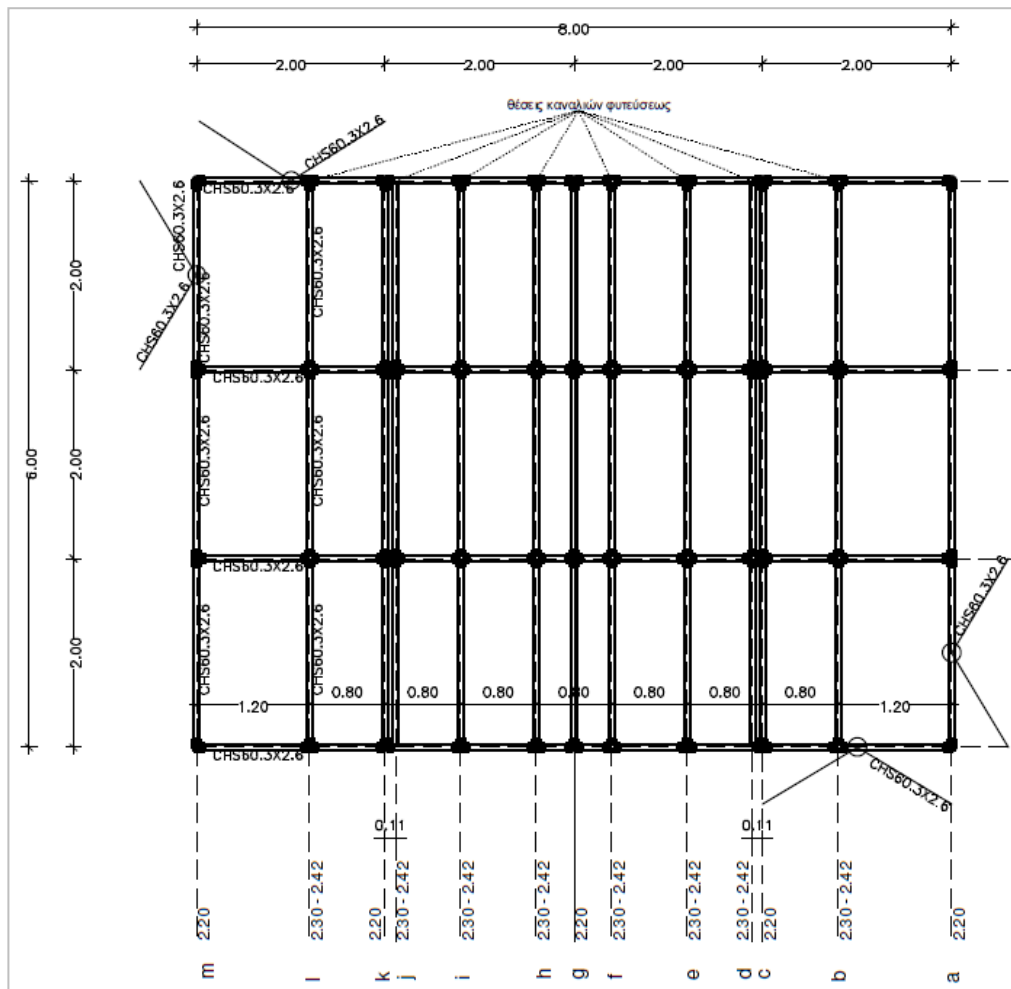
Ο σκελετός της υδροπονικής πέργκολας σχεδιάστηκε από τον Πολιτικό Μηχανικό κ. Τσούτση Χ. (συνεργάτη του έργου ΗSoB) σύμφωνα με τους όρους και προϋποθέσεις κατασκευής επιφανειών σε υπαίθριους χώρους δημόσιων κτηρίων από έμπειρο προσωπικό σε τεχνικό, δομικό, σχεδιαστικό, αρδευτικό και γεωπονικό επίπεδο, σε 2D και 3D μορφή.(Εικόνα 4, Εικόνα 5, Εικόνα 6, Εικόνα 7, Εικόνα 8, Εικόνα 9 και Εικόνα 10).



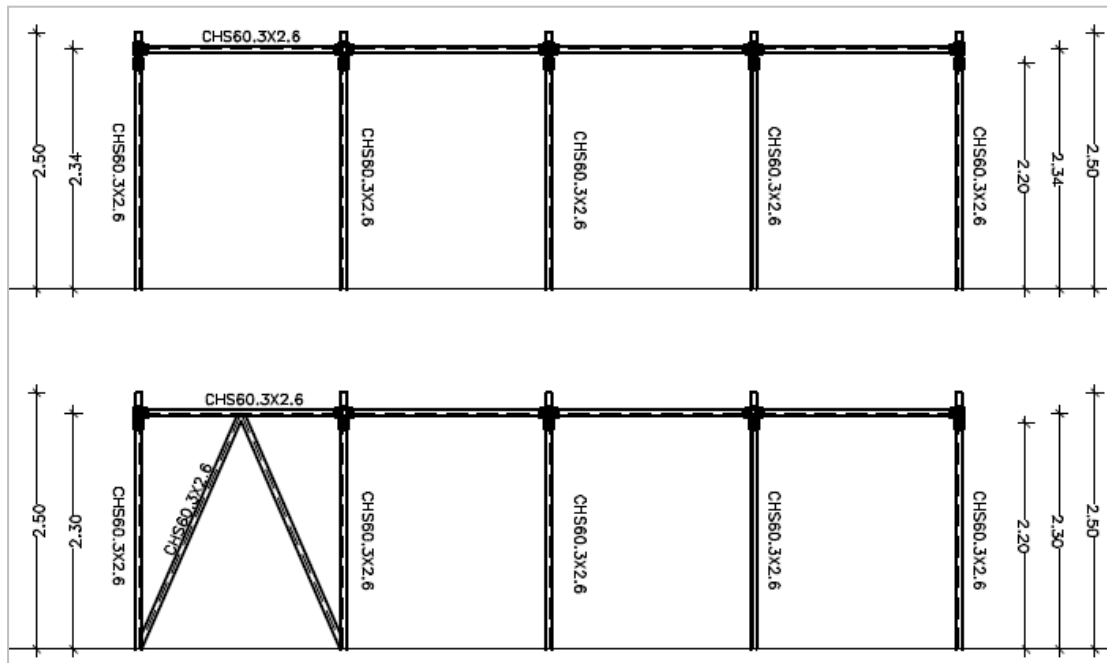
Εικόνα 4: Γενική κάτοψη υδροπονικής πέργκολας

Κανονισμοί σχεδιασμού και φορτίσεων που χρησιμοποιήθηκαν

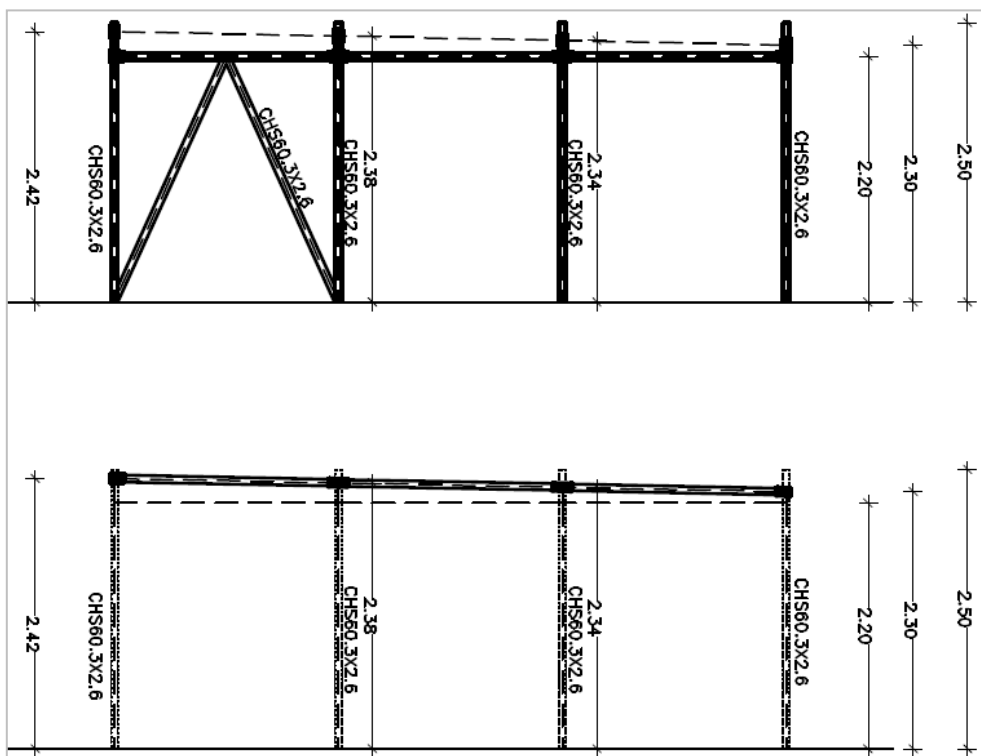
- ENV 1991-1-1:1994 Eurocode 1: Basis of design and actions on structures-Part 1: Basis of design (EC1)
- ENV 1991-2-1:1995 Eurocode 1: Basis of design and actions on structures-Part 2-1: Actions on structures – Densities, self-weight and imposed loads (EC1)
- ENV 1991-2-5: Eurocode 1: Basis of design and actions on structures-Part 2.5: Thermal actions (EC1)
- ENV 1993 –1-1:1992 Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings & Εθνικό κείμενο Εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3 (απόφαση ΥΠΕΧΩΔΕ Δ11β/031/9.5.1996 και ΦΕΚ 383B/24.5.96) (EC3)
- EN 13031-1 - Greenhouses - Design and construction - Part 1: Commercial production greenhouses. (ΕΛΟΤ EN 13031.01 Θερμοκήπια: Σχεδιασμός και κατασκευή - Μέρος 1: Θερμοκήπια παραγωγής) (EN13031)
- Αντισεισμικός Κανονισμός: ΕΑΚ 2003 (ΕΑΚ 2003)



Εικόνα 5: Δομοστατικό σχέδιο – κάτοψη (Χ. Τσούτσης)



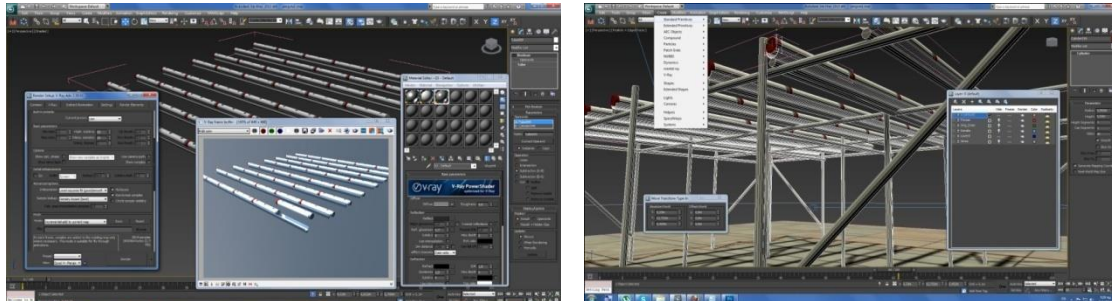
Εικόνα 6: Δομοστατικό σχέδιο - βόρεια και νότια όψη (Χ. Τσούτσης)



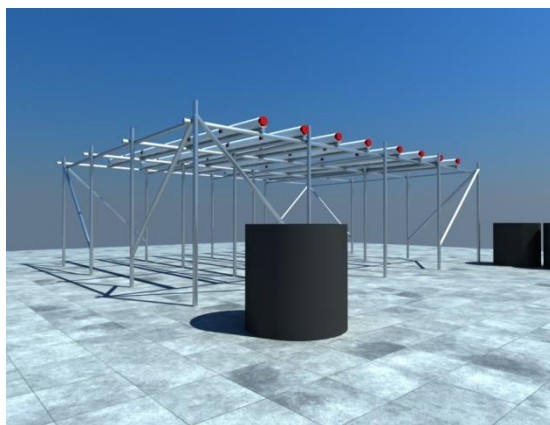
Εικόνα 7: Δομοστατικό σχέδιο - ανατολική και δυτική όψη (Χ. Τσούτσης)

Οι διαστάσεις του πλαισίου είναι (ΠΧΜΧΥ σε m): 6Χ8Χ2,3. Είναι κατασκευασμένο από γαλβανισμένους χαλυβδοσωλήνες κατασκευών, κυκλικής διατομής διαμέτρου 60.3 και πάχους 2.6mm. Δημιουργήθηκε επίπεδο στήριξης των καναλιών το οποίο στηρίζεται σε κάναβο υποστυλωμάτων 2x2m. Η στήριξη του πλαισίου στο δάπεδο

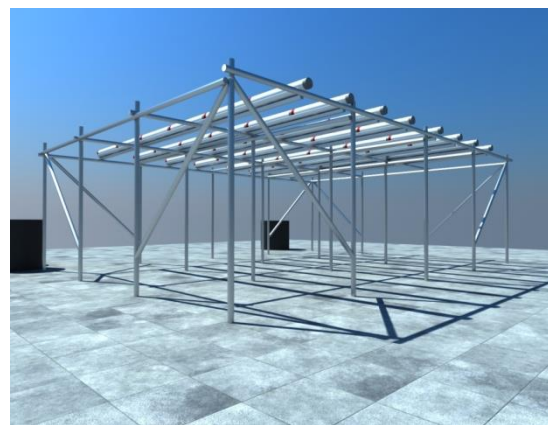
καθώς και η σύνδεση των σωλήνων έγινε με χρήση γαλβανισμένων μεταλλικών συνδέσμων λυόμενων κατασκευών.



Εικόνα 8: 3D Ανάπτυξη μοντέλου στο 3D studio max της Autodesk (εικόνες: Χρήστος Μπουραντάς)



Εικόνα 9: 3D απεικόνιση από ΝΔ (εικόνα:Χρήστος Μπουραντάς)



Εικόνα 10: 3D απεικόνιση από ΒΑ (εικόνα: Χρήστος Μπουραντάς)

Κατασκευή υδροπονικής πέργκολας

Πάνω στο πλαίσιο τοποθετήθηκαν 8 κανάλια μήκους 6m. Η βάση κάθε καναλιού είναι σωλήνας PVC ανοικτής υδρορροής βαρέως τύπου, χρώματος λευκού, ημικυκλικής διατομής διαμέτρου 125mm και πάχους 2,3mm (οι σωλήνες αυτές είναι διαθέσιμες συνήθως σε μήκος 3m και η σύνδεση γίνεται με ειδικά εξαρτήματα και χρήση ειδικής κόλλας PVC). Η κατά μήκος κλίση της υδρορροής είναι 2%. Στο υψηλότερο άκρο κάθε καναλιού είναι τοποθετημένο τερματικό υδρορροής ενώ στο χαμηλότερο άκρο κάθε καναλιού υπάρχει παροχέτευση σε αγωγό PVC Ø40. Τα κανάλια είναι χωρισμένα σε δύο ομάδες των τεσσάρων όσο αφορά την συλλογή της απορροής. Ένας αγωγός PVC, λευκός Ø40 συγκεντρώνει το σύνολο των απορροών από τα κανάλια κάθε ομάδας και τα οδηγούσε στην αντίστοιχη δεξαμενή.

Περιμετρικά του χώρου των καναλιών και στο ίδιο επίπεδο είναι εγκατεστημένες γραμμές από γαλβανισμένο κοινό μαλακό σύρμα (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**), διατομής 2mm ανά 30cm και τα σύρματα είναι τεντωμένα με χρήση μεταλλικών εντατήρων.

Η κατασκευή του σκελετού ολοκληρώθηκε σε διάστημα 2 εβδομάδων (Εικόνα 11, Εικόνα 12).



Εικόνα 11: Πρώτη ημέρα κατασκευής της πέργολας



Εικόνα 12: Ολοκλήρωση κατασκευής του σκελετού της πέργολας

Πάνω σε κάθε κανάλι είναι τοποθετημένοι 6 ανεξάρτητοι σωληνωτοί φορείς φύτευσης (Εικόνα 13). Κάθε φορέας είναι ουσιαστικά ένας σωλήνας PVC Ø125mm, πάχους τοιχώματος 3mm και μήκους 1m (συνολικό μήκος με τάπες). Τα άκρα των σωλήνων είναι κλεισμένα με τάπες. Η συνδέσεις είναι με ειδική κόλλα συγκολλήσεως PVC). Στο πάνω μέρος κάθε φορέα φύτευσης υπάρχουν τρεις οπές (ανά 33,3cm και 16,6cm από τα άκρα) διαμέτρου 5cm για τη φύτευση των φυτών. Στο κάτω μέρος κάθε φορέα φύτευσης υπάρχουν 30 οπές στράγγισης διαμέτρου 5mm διατεταγμένες σε τρεις σειρές (Εικόνα 14)

Συνολικά απαιτήθηκαν 60 φορείς φύτευσης (48 για την πέργκολα και άλλοι 12 για πιθανές αντικαταστάσεις).

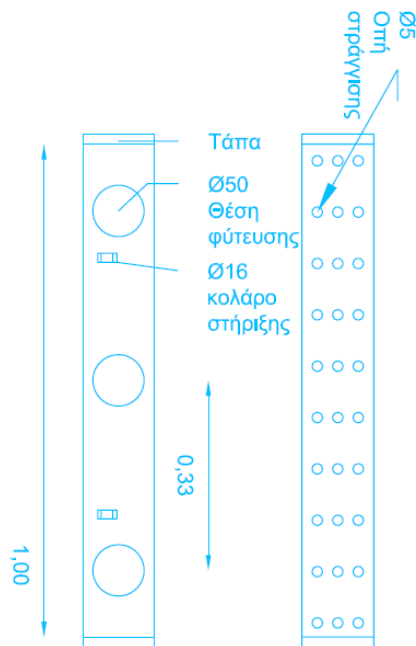
Οι φορείς φύτευσης (Εικόνα 15, Εικόνα 16) στηρίχθηκαν με το βάρος τους πάνω στα κανάλια (υδρορροές)



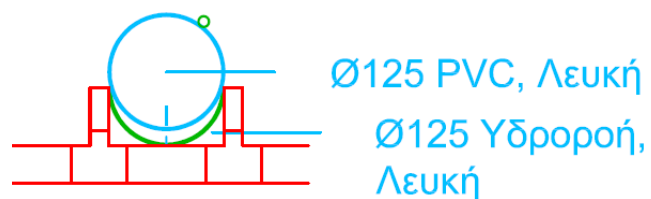
Εικόνα 13: Πάνω πλευρά φυτευτικού φορέα



Εικόνα 14: Κάτω πλευρά φυτευτικού φορέα



Εικόνα 15: Σχέδιο φυτευτικού φορέα



Εικόνα 16: Φυτευτικός φορέας εγκατεστημένος στην πέργολα

Διάταξη θρέψης – άρδευσης

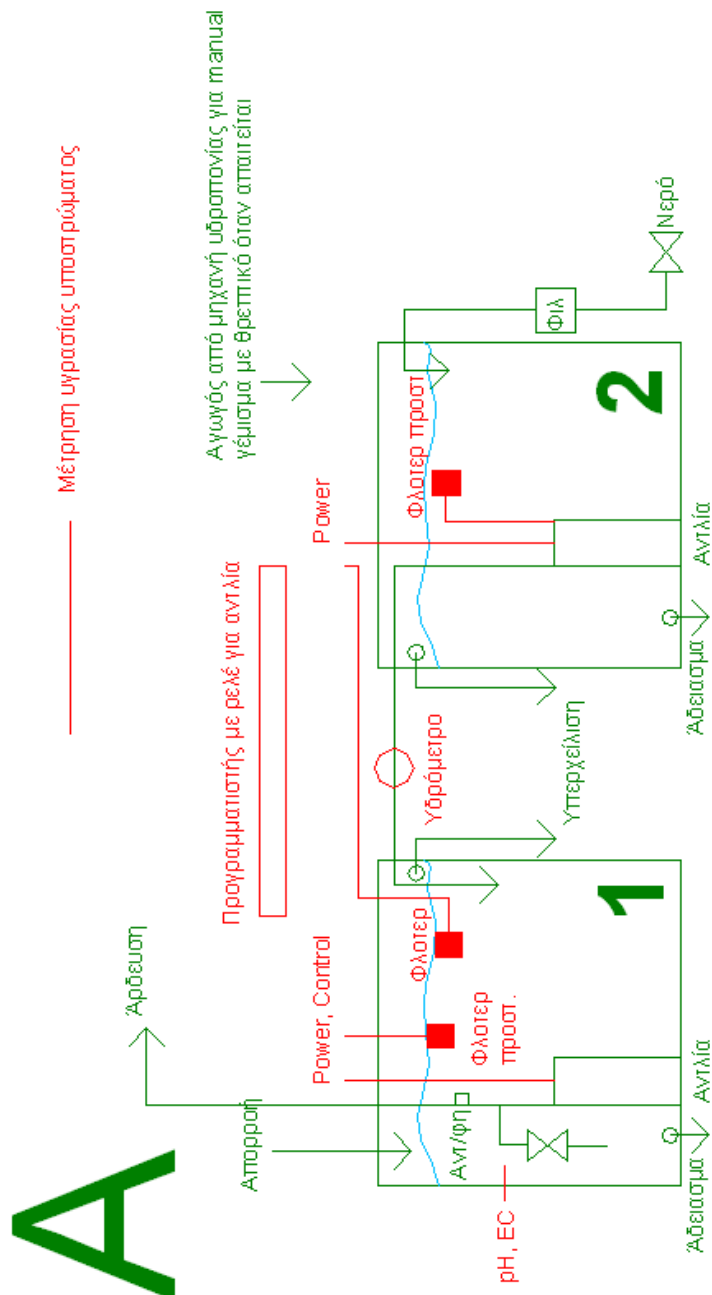
Η άρδευση (διανομή θρεπτικού διαλύματος) έγινε με σύστημα αγωγών εφαρμογής PE Ø16. Οι σωλήνες αυτοί είναι συνδεδεμένοι με κατάλληλο σύνδεσμο με κάθε σωληνωτό φορέα φύτευσης. Φέρουν ανά 33cm αυτορυθμιζόμενους σταλάκτες συνολικής παροχής 4lph με σταυρό 2 θέσεων από όπου ξεκινούσαν σωληνάκια Ø3,2 μήκους 33cm τα οποία καταλήγουν σε λόγχες υδροπονίας (2lph). Σε κάθε φυτό αντιστοιχούν 1-2 λόγχες (έτσι υπήρχε ασφάλεια ως προς την άρδευση ή και 2 εναλλακτικές ως προς την δόση άρδευσης). Όλοι οι αγωγοί εφαρμογής συνδέθηκαν μαζί σε αγωγό PE Ø20, ο οποίος ξεκινά από αντεπίστροφη βαλβίδα (ορειχάλκινη Ø20) και καταλήγει στην αντλία. Για τις συνδέσεις απαιτήθηκαν τερματικά, γωνίες, ται κλπ.

Το σύστημα παρασκευής και παροχής θρεπτικού διαλύματος Α (Εικόνα 17) αποτελείται από τα ακόλουθα:

1. Κάδος (PE, μαύρος) 750lt (ανοικτός σε όλη τη διάμετρο επάνω, ύψους έως 0,95cm μαζί με το καπάκι) από όπου θα γίνεται η άρδευση και όπου θα συγκεντρώνεται η απορροή. Θα υπάρχει υπερχειλίση Ø20 και βαλβίδα αδειάσματος Ø20.
2. Κάδος (PE, μαύρος) 750lt (ανοικτός σε όλη τη διάμετρο επάνω, ύψους έως 0,95cm μαζί με το καπάκι) όπου θα προετοιμάζεται χειρονακτικά όταν απαιτείται νέο θρεπτικό διάλυμα. Θα υπάρχει βαλβίδα αδειάσματος Ø20. Ο κάδος προετοιμασίας θρεπτικού θα είναι συνδεδεμένη με παροχή νερού μέσω αγωγού Ø20 με χειροκίνητη βάνα.
3. Προγραμματιστής ρεύματος 2 στάσεων (ο προγραμματιστής έχει τη δυνατότητα σύνδεσης με τέτοιο τρόπο ώστε ο έλεγχος της αντλίας άρδευσης να είναι ανεξάρτητος από τον έλεγχο της Η/Β), ρελέ έναρξης και προστασίας αντλίας, υποβρύχια αντλία 0,5HP, ονομαστικής παροχής 500lph και πίεσης 2,5bar και φλοτέρ εγκατεστημένο στον κάδο απορροής/άρδευσης, το οποίο

θα επιτρέψει τη διόδο νερού για επαναπλήρωση του κάδου (μέσω φίλτρου γραμμής σίτας). Ο προγραμματιστής έχει τοποθετηθεί σε πλαστικό στεγανό (IP56) κουτί κατάλληλου μεγέθους.

4. Υποβρύχια αντλία 0,5HP, ονομαστικής παροχής 500lph και πίεσης 2,5bar με σκοπό την επαναπλήρωση του κάδου άρδευσης με θρεπτικό διάλυμα (το ρεύμα για την αντλία θα περνά από το φλοτέρ του κάδου άρδευσης).



Εικόνα 17: Σχεδιάγραμμα λειτουργίας αρδευτικού συστήματος (Σύστημα Α).

Το σύστημα παρασκευής και παροχής θρεπτικού διαλύματος Β (Εικόνα 18) αποτελείται από τα ακόλουθα:

1. Κάδος (PE, μαύρος) 750lt (ανοικτός σε όλη τη διάμετρο επάνω, ύψους έως 0,95cm μαζί με το καπάκι) από όπου θα γίνεται η άρδευση και όπου θα

Οι «πράσινες προσόψεις» είναι οι πράσινοι τοίχοι στους οποίους αναπτύσσονται, μέσω σχεδιασμένων υποστηρικτικών δομών, αναρριχώμενα φυτά ή φυτά που έχουν την ικανότητα να κρέμονται. Οι ρίζες των φυτών βρίσκονται είτε στις βάσεις των δομών αυτών, είτε στο έδαφος, είτε στις στέγες, είτε ενδιάμεσα στους τοίχους σε ειδικές γλάστρες. Για να επιτευχθεί πλήρης κάλυψη του τοίχου απαιτούνται τρία έως πέντε χρόνια. Οι πράσινες προσόψεις μπορούν να στηριχθούν σε ήδη υπάρχοντες τοίχους ή μπορούν να υπάρξουν και ως μεμονωμένες κατασκευές, όπως φράχτες ή κολώνες.

Οι «ζωντανοί τοίχοι» αποτελούνται από φυτεμένα πάνελ ή φυτεμένες επιφάνειες που εφαρμόζονται κάθετα σε τοίχο ή πλαίσιο. Τα πάνελ αυτά μπορεί να είναι κατασκευασμένα από πλαστικό, διογκωμένη πολυστερίνη, συνθετικό ύφασμα, πηλό, μέταλλο ή σκυρόδεμα και είναι ικανά να υποστηρίξουν μεγάλη ποσότητα και ποικιλία φυτικών ειδών. Τα φυτά τα οποία συνήθως χρησιμοποιούνται είναι εδαφοκαλυπτικά, φτέρες, πολυετή λουλούδια, χαμηλοί θάμνοι κ.τ.λ. Λόγω αυτής της ποικιλομορφίας αλλά και της πυκνότητας χρειάζονται πιο εντατική συντήρηση συγκριτικά με τις «πράσινες προσόψεις».

Παρόλα αυτά η κατασκευή ενός πράσινου τοίχου δεν είναι απλή υπόθεση, γι' αυτό δε θα πρέπει να παραλειφθούν παράμετροι οι οποίες θα οδηγήσουν στην επιτυχία ή μη της εγκατάστασης. Βασική προϋπόθεση είναι η καλή κατάσταση του κτιρίου, η μελέτη των καταλληλότερων φυτικών ειδών ανάλογα με το κλίμα της περιοχής και του προσανατολισμού της επιφάνειας που θέλουμε να καλύψουμε και η μελέτη σχετικά με την ποσότητα του νερού και του λιπάσματος που θα χρησιμοποιείται. Λόγω του αρκετά υψηλού κόστους οι πράσινοι τοίχοι θα πρέπει να κατασκευάζονται μόνο από ειδικούς. Παρόλα αυτά επειδή έχουν εκφραστεί ενστάσεις από μηχανικούς ως προς τις επιπτώσεις που έχουν οι κάθετοι κήποι στα κτίρια, θα ήταν ωφέλιμη η μελέτη και η επίβλεψη του έργου από μηχανικό.

Μία τόσο πρωτοποριακή ιδέα θα μπορούσε να βρει πρόσφορο έδαφος και στη χώρα μας και ειδικά στα μεγάλα αστικά κέντρα. Είναι καιρός να δοκιμάσουμε κάτι μοντέρνο και προπαντός καλαίσθητο που θα βοηθήσει τις άχαρες τσιμεντουπόλεις να αποκτήσουν μια πιο «ανθρώπινη» εικόνα.

Πέργκολες και υδροπονικές πέργκολες

Η χρήση πέργκολας ως κατασκευαστικό στοιχείο του κήπου για την στήριξη των φυτών είναι γνωστή και εφαρμόζεται από παλαιά.

Σύμφωνα με τον Νέο Οικοδομικό Κανονισμό (ΝΟΚ) του Ελληνικού κράτους (2012), η πέργκολα ορίζεται ως (§60 άρθρο 2): *«η εξωτερική ασκεπής σταθερή κατασκευή με μέγιστο ύψος τα 3μ., που προορίζεται για την αναρρίχηση των φυτών ή την τοποθέτηση προσωρινών σκιάστρων από ύφασμα, καλαμωτή και κινητά στοιχεία, αποκλεισμένων οποιωνδήποτε άλλων κατακόρυφων στοιχείων πλήρωσης του φέροντα οργανισμού της κατασκευής.»*

Υδροπονική πέργκολα είναι κάθε πέργκολα όπου τα φυτά καλλιεργούνται με χρήση ενός συστήματος υδροπονίας. Ο όρος υδροπονική πέργκολα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 2009 από τους Montero και Salas για την περιγραφή μίας κατασκευής φιλοξενίας φυτών που καλλιεργούνταν μέσω συστήματος υδροπονίας. Το σύστημα είναι εγκατεστημένο στο Πανεπιστήμιο της Αλμερία στην Ισπανία. Δημοσιευμένα στοιχεία σχετικά με την επίδραση μίας υδροπονικής πέργκολας (Montero και Salas, 2009; Montero κ.α., 2010) έδειξαν ότι παρέχει υψηλό αισθητικό επίπεδο φύτευσης παράλληλα με σκίαση και βελτίωση του μικροκλίματος.

Υδροπονία

Η υδροπονία είναι μια μέθοδος για την ανάπτυξη των φυτών που μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω τεχνικών όπως η υδροπονία ή εκτός εδάφους καλλιέργεια. Διεθνώς έχει επικρατήσει ο ελληνικός όρος υδροπονία (hydroponics) που ετυμολογείται ως: ύδωρ (νερό) και πόνος (κοπιαστική εργασία, μόχθος).

Στην υδροπονία οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται είτε σε υδατικό διάλυμα ανόργανων θρεπτικών στοιχείων (θρεπτικό διάλυμα), είτε σε στερεά πορώδη υποστρώματα και αρδεύονται μόνο με θρεπτικό διάλυμα.

Τα υδροπονικά συστήματα διαχωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το μέσον στο οποίο αναπτύσσεται το ριζικό σύστημα. Έτσι, οι βασικές κατηγορίες που είναι πιο διαδεδομένες είναι οι εξής:

- Καλλιέργεια σε στερεά υποστρώματα: Είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος. Χρησιμοποιούνται διάφορα υποστρώματα με συγκεκριμένες ιδιότητες όπως τα ελληνικά πολύ καλά υποστρώματα περλίτης και ελαφρόπετρα, αλλά και τα εισαγόμενα πετροβάμβακας, κοκοτύρφη κλπ.
- Καλλιέργεια σε λεπτή στοιβάδα θρεπτικού διαλύματος (NFT): Πρόκειται για ένα υδροπονικό σύστημα που δεν έχει την ανάγκη στερεού υποστρώματος καθώς οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται μέσα σε μια λεπτή μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος το οποίο βρίσκεται σε συνεχόμενη ροή.
- Αεροπονία: Η καλλιέργεια γίνεται με ψεκασμό του θρεπτικού διαλύματος στην ρίζα του φυτού, η οποία βρίσκεται στον αέρα, σε ειδικά κατασκευασμένο πλαίσιο. Τα φυτά απορροφούν νερό και θρεπτικά στοιχεία από την στοιβάδα διαλύματος που προσκολλάται στο ριζικό σύστημα. Η ανάπτυξη των φυτών είναι ταχύτατη και η μέθοδος αυτή προσφέρεται για φυλλώδη λαχανικά, αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά.
- Καλλιέργεια σε συστήματα βαθιάς επιπλεύσεως (DFT): Πρόκειται επίσης για ένα αρκετά προηγμένο υδροπονικό σύστημα που δεν έχει την ανάγκη στερεού υποστρώματος καθώς οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται μέσα σε ένα μεγάλο όγκο θρεπτικού διαλύματος. Η μέθοδος αυτή προσφέρεται για την παραγωγή υψηλής ποιότητας φυλλωδών λαχανικών, αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών, καθώς και για την παραγωγή πολλαπλασιαστικού υλικού.

Επίσης τα υδροπονικά συστήματα διαχωρίζονται σε ανοιχτά και κλειστά.

- Στα ανοιχτά συστήματα, τα υγρά της αποστράγγισης δεν ανακυκλώνονται αλλά απορρίπτονται. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα αυξημένες απώλειες λιπασμάτων με την απορροή και μόλυνση του εδάφους και του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.
- Στα κλειστά συστήματα το διάλυμα της απορροής ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται σε μεγάλο ποσοστό. Με τον τρόπο αυτό έχουμε οικονομία στην κατανάλωση λιπασμάτων και σημαντική μείωση της ρύπανσης. Για λόγους συγκράτησης της ισορροπίας στο διάλυμα ένα μικρό ποσοστό πρέπει πάντα να απορρίπτεται. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με συνεχή ποσοστιαία απόρριψη είτε με ολική απόρριψη του διαλύματος κατά αραιά χρονικά διαστήματα.

Σύνθεση θρεπτικών διαλυμάτων

Στην υδροπονία χρησιμοποιούνται πλήρη θρεπτικά διαλύματα, δηλαδή υδατικά διαλύματα που περιέχουν όλα τα απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών ανόργανα θρεπτικά στοιχεία, εκτός από τον άνθρακα που προσλαμβάνεται από την

ατμόσφαιρα ως CO₂. Το υδρογόνο και το οξυγόνο είναι συστατικά του νερού, ενώ οξυγόνο προσλαμβάνεται και από τον ατμοσφαιρικό αέρα για τις ανάγκες της αναπνοής. Ορισμένα στοιχεία κατά την παρασκευή ενός θρεπτικού διαλύματος προστίθενται σε μεγαλύτερες ποσότητες (N, P, S, K, Ca και Mg) και ονομάζονται μακροστοιχεία, ενώ τα υπόλοιπα προστίθενται σε πολύ μικρότερες ποσότητες (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo και το Cl) και ονομάζονται ιχνοστοιχεία. Το χλώριο εμπεριέχεται πάντοτε σε επαρκείς ποσότητες στο αρδευτικό νερό, καθώς επίσης και στις προσμείξεις των λιπασμάτων και για τον λόγο αυτό δεν προστίθεται. Επομένως, μόνο τα 12 από τα 16 απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών χημικά στοιχεία πρέπει να προστίθενται στο νερό, κατά την Παρασκευή ενός θρεπτικού διαλύματος. Τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία και η χημική μορφή με την οποία απαντώνται στα θρεπτικά διαλύματα και απορροφούνται από τη ρίζα, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Για την παρασκευή θρεπτικών διαλυμάτων χρησιμοποιούνται απλά υδατοδιαλυτά λιπάσματα, ορισμένα οξέα, ενώ ειδικά ο σίδηρος προστίθεται σε μορφή χηλικών ενώσεων, για την αποφυγή ιζημάτων.

Πίνακας 2: Μορφές θρεπτικών στοιχείων στα θρεπτικά διαλύματα

Μακροστοιχεία	Χημική μορφή	Ιχνοστοιχεία	Χημική μορφή
Άζωτο (N)	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	Σίδηρος (Fe)	Fe ²⁺
Φώσφορος (P)	H ₂ PO ₄ ⁻	Μαγγάνιο (Mn)	Mn ²⁺
Θείο (S)	SO ₄ ²⁻	Ψευδάργυρος (Zn)	Zn ²⁺
Κάλιο (K)	K ⁺	Χαλκός (Cu)	Cu ²⁺
Ασβέστιο (Ca)	Ca ²⁺	Βόριο (B)	H ₃ BO ₃
Μαγνήσιο (Mg)	Mg ²⁺	Μολυβδαίνιο (Mo)	MoO ₄ ²⁻

Ηλεκτρική αγωγιμότητα και pH θρεπτικού διαλύματος

Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (pH)

Το pH είναι το μέτρο της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου (H⁺) στο διάλυμα και η τιμή του επηρεάζει καθοριστικά τη διαλυτότητα και συνεπώς τη διαθεσιμότητα των περισσοτέρων θρεπτικών στοιχείων στην καλλιέργεια. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητο το pH των θρεπτικών διαλυμάτων να κυμαίνεται από 5,5-6,5.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC; Electrical Conductivity)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί μέτρο της συνολικής συγκέντρωσης αλάτων στο διάλυμα και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του βαθμού επάρκειας θρεπτικών στοιχείων σε αυτό. Έτσι, όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση αλάτων, τόσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των θρεπτικών διαλυμάτων με τα οποία τροφοδοτούνται τα περισσότερα καλλιεργούμενα φυτά στις υδροπονικές καλλιέργειες, πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1,5-2,5 dS/m.

Το pH και EC χρησιμοποιούνται ευρύτατα για τον καθημερινό έλεγχο της καταλληλότητας του θρεπτικού διαλύματος, χάρις στη δυνατότητα που υπάρχει να μετρούνται εύκολα και γρήγορα.

Υποστρώματα υδροπονικών καλλιεργειών

Η επιλογή του είδους του υποστρώματος που θα χρησιμοποιηθεί διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην όλη διαμόρφωση της μονάδας αλλά και επηρεάζει σημαντικά όλες τις άλλες παραμέτρους που συμμετέχουν στην οργάνωσή της. Σαν υπόστρωμα έχουν κατά καιρούς χρησιμοποιηθεί αρκετά υλικά φυτικής προέλευσης χωρίς να

έχουν εξαντληθεί όλες οι δυνατές επιλογές. Κριτήρια για την επιλογή ενός υλικού για χρήση ως υπόστρωμα αποτελούν:

- Η δυνατότητα εξεύρεσης του υλικού αυτού στις αναγκαίες ποσότητες.
- Το υλικό να μην παρουσιάζει τοξικές επιδράσεις στο υπό καλλιέργεια φυτό.
- Να μην υπάρχουν τοξικές ή και επικίνδυνες ουσίες για την ανθρώπινη υγεία.
- Το υλικό να είναι σχετικά αδρανές από πλευράς θρεπτικών στοιχείων ή οι συγκεντρώσεις να είναι τέτοιες που να μην επηρεάζουν το θρεπτικό ισοζύγιο του φυτού.
- Τα φυτικά χαρακτηριστικά να είναι τέτοια που να εξασφαλίζουν τη διατήρηση υγρασίας και αερισμού στις άριστες συνθήκες για την ανάπτυξη του φυτού.
- Το κόστος του υλικού να είναι σε χαμηλά επίπεδα.
- Να παρουσιάζει σταθερότητα στη δομή του για όλη την καλλιεργητική περίοδο.

Στην υδροπονία χρησιμοποιούνται είτε χημικά αδρανή ανόργανα υποστρώματα είτε ενεργά χημικά οργανικά υποστρώματα. Τα αδρανή υποστρώματα δεν έχουν την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων έναντι των οργανικών που έχουν σημαντική ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων.

Οργανικά υποστρώματα

- Τύρφη
- Φλοιοί δένδρων
- Κοκοφοίνικας
- Κομπόστ
- Βερμικουλίτης
- Ζεόλιθος

Ανόργανα υποστρώματα αδρανή

- Περλίτης
- Πετροβάμβακας
- Ελαφρόπετρα
- Άμμος
- Χαλίκι
- Βερμικουλίτης
- Διογκωμένη άργιλος
- Διογκωμένη πολυστερίνη

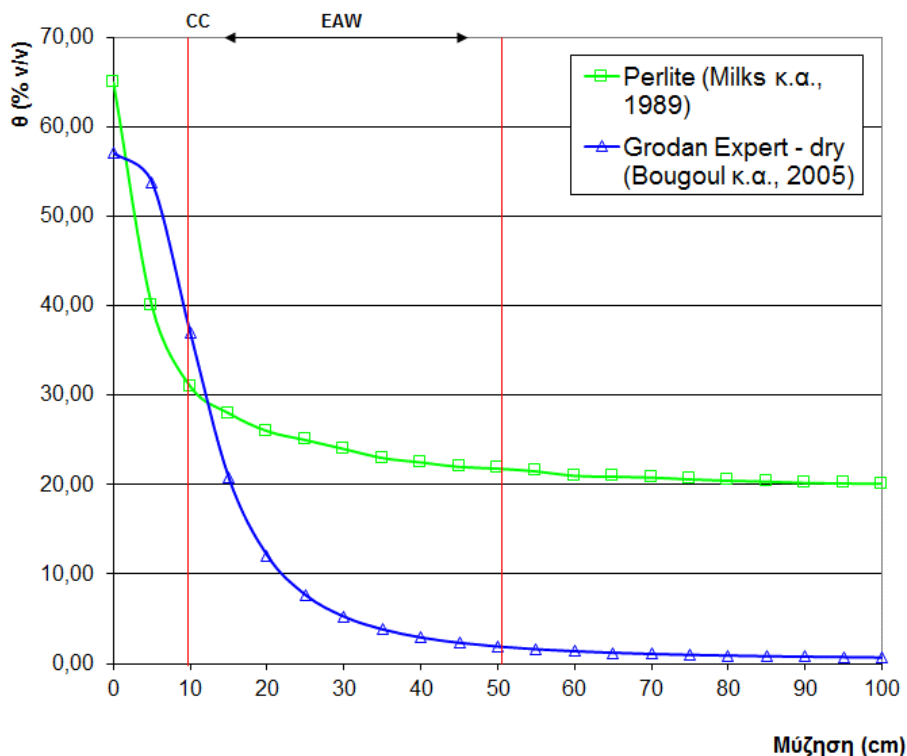
Ιδιότητες υποστρωμάτων που σχετίζονται με την άρδευση και επίπεδα υγρασίας

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν τα ακόλουθα:

- Κοκκομετρική κατανομή
- Υδατοϊκανότητα φυτοδοχείου: ισούται με την μέγιστη περιεκτικότητα (%) ενός υποστρώματος σε υγρασία σε συνθήκες ανεμπόδιστης στράγγισης. Συμβατικά η θ_{cc} λαμβάνεται ίση με την περιεκτικότητα του υποστρώματος σε υγρασία (με βάση την Χ.Κ.Υ.) σε μύζηση 10 cm στήλης νερού (1 kPa).
- Εύκολα διαθέσιμο νερό: η διαφορά μεταξύ της περιεκτικότητας ενός υποστρώματος σε υγρασία σε 10 και 50 cm στήλης νερού (1 και 5 kPa, αντίστοιχα).
- Ρυθμιστικό νερό: η διαφορά μεταξύ της περιεκτικότητας ενός υποστρώματος σε υγρασία σε 50 και σε 100 cm στήλης νερού (5 και 10 kPa, αντίστοιχα).
- Δύσκολα διαθέσιμο νερό: η διαφορά μεταξύ της περιεκτικότητας σε υγρασία σε 100 και σε 15.000 cm στήλης νερού (10 και 1500 kPa, αντίστοιχα).

- Μη διαθέσιμο νερό: εκατοστιαία περιεκτικότητα σε νερό που συγκρατείται με μύζηση μεγαλύτερη από 15.000 cm (1500 kPa 1,5 MPa 15 At)
- Υδραυλική αγωγιμότητα

Από την Εικόνα είναι φανερό ότι ο πετροβάμβακας μπορεί να συγκρατήσει περισσότερο νερό από τον περλίτη (Υδατοϊκανότητα φυτοδοχείου -10cm). Ο περλίτης συγκρατεί ισχυρότερα το νερό όμως και έτσι η διαφορά όσο αφορά το εύκολα διαθέσιμο νερό είναι ακόμη μεγαλύτερη. Επομένως ο περλίτης απαιτεί συχνότερα ποτίσματα.



Εικόνα 19: Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας υποστρωμάτων υδροπονίας (10 cm στήλης νερού=1 kPa=0,01bar)

Εχθροί και ασθένειες/Φυτοπροστασία

Οι εχθροί και οι ασθένειες των καλλιεργούμενων καλλωπιστικών φυτών ποικίλλουν ανάλογα με τη δραστηριότητά τους, δηλαδή ανάλογα με τα φυτικά είδη που προσβάλλουν. Τα αποτελέσματα από τις προσβολές είναι άμεσες και έμμεσες, είτε καταστρέφουν το ίδιο το φυτό ή είναι φορείς ιώσεων ή ασθενειών τις οποίες μεταφέρουν στα φυτά. Μερικά από τα αποτελέσματα – συνέπειες της άμεσης προσβολής των φυτών από τους εχθρούς είναι η ζημιά στην ποιότητα και στην ποσότητα της παραγωγής, η απώλεια της καλλωπιστικής αξίας των φυτών καθώς και η ταχεία αποδιοργάνωση του φυτικού ιστού και των παραγόμενων αγαθών. Στους πίνακες που ακολουθούν αναφέρονται τα σημαντικότερα έντομα, μύκητες, βακτήρια, ιοί και ακάρεα που προσβάλλουν τα καλλωπιστικά φυτά.

Η καταπολέμηση των φυτοπαθογόνων προβλημάτων των καλλωπιστικών φυτών γίνεται με τους εξής τρόπους:

- Χημική καταπολέμηση

- Βιολογική καταπολέμηση
- Ολοκληρωμένη καταπολέμηση

Πίνακας 3: Τα σημαντικότερα έντομα που προσβάλλουν τα καλλωπιστικά φυτά

ΚΟΙΝΗ ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΕΙΔΟΣ	ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ	ΤΑΞΗ
Αλευρώδης	<i>Dialeurodes citri</i>	Aleyrodidae	Hemiptera
Αλευρώδης εριώδης	<i>Aleurothrix floccosus</i>	Aleyrodidae	Hemiptera
Αλευρώδης θερμοκηπίου	<i>Trialeurodes vaporariorum</i>	Aleyrodidae	Hemiptera
Αλευρώδης καπνού	<i>Bemisia tabacii</i>	Aleyrodidae	Hemiptera
Αφίδα	<i>Aphis sp.</i>	Aphididae	Hemiptera
Θρίπας	<i>Gynaikothrips ficorum</i>	Phloeothripidae	Thysanoptera
Θρίπας	<i>Frankiniella occidentalis</i>	Thripidae	Thysanoptera
Ισέρυα	<i>Icerya purchasi</i>	Margarodidae	Hemiptera
Κηροπλάστης	<i>Ceroplastes sp.</i>	Coccidae	Hemiptera
Κηροπλάστης	<i>Ceroplastes rusci</i>	Coccidae	Hemiptera
Κόκκινη Ψώρα	<i>Aonidiella aurantii</i>	Diaspididae	Hemiptera
Κοκκοειδή	<i>Coccus sp</i>	Coccidae	Hemiptera
Λυριόμυζα	<i>Liriomyza stigata</i>	Agromyzidae	Diptera
Λυριόμυζα	<i>Liriomyza trifolii</i>	Agromyzidae	Diptera
Λυριόμυζα μπιζελιού	<i>Liriomyza huidobrensis</i>	Agromyzidae	Diptera
Λυριόμυζα τομάτας	<i>Liriomyza bryoniae</i>	Agromyzidae	Diptera
Μαύρη ψώρα	<i>Lepidosaphes ulmi</i>	Diaspididae	Hemiptera
Μυτιλόμορφη ψώρα	<i>Lepidosaphes beckii</i>	Diaspididae	Hemiptera
Πιτυοκάμπια	<i>Thaumetopoea pityocampa</i>	Thaumetopoeidae	Lepidoptera
Τζιτζικάκι	<i>Empoasca sp.</i>	Jassidae	Hemiptera
Τίγρης	<i>Tingis pyri</i>	Tingidae	Hemiptera
Φυλλοκνίστης	<i>Phyllocnistis citrella</i>	Gracillariidae	Lepidoptera
Χρυσομέλα	<i>Chrysomela americana</i>	Chrysomelidae	Coleoptera
Ψευδόκοκκος	<i>Pseudococcus citri</i> <i>P. adinidum</i>	Pseudococcidae	Hemiptera
Ψευδολεκάνιο	<i>Pseudolecanium sp.</i>	Coccidae	Hemiptera

Πίνακας 4: Τα σημαντικότερα βακτήρια που προσβάλλουν τα καλλωπιστικά φυτά

A/A	ΚΟΙΝΗ ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΕΙΔΟΣ
1	Αδροβακτηρίωση	<i>Erwinia sp.</i>
2	Καρκίνος	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>
3	Κηλιδώσεις, Έλκη	<i>Pseudomonas sp.</i>
4	Βακτηριακή κηλίδωση	<i>Xanthomonas sp.</i>

Πίνακας 5: Οι σημαντικότεροι μύκητες που προσβάλλουν τα καλλωπιστικά φυτά

A/A	ΚΟΙΝΗ ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΕΙΔΟΣ
1	Σκωρίαση	<i>Uromyces dianthi</i>
2	Φουζάριο	<i>Fusarium oxysporum</i>
3	Αλτερνάρια	<i>Alternaria dianthi</i>
4	Κλαδοσπορίωση	<i>Mycosphaerella dianthi</i>
5	Περονόσπορος	<i>Peronospora dianthicola sp.</i>
6	Ωίδιο	<i>Oidium sp.</i>
7	Σεπτορίωση	<i>Septoria dianthi</i>
8	Φυτόφθορα	<i>Phytophthora sp.</i>
9	Βοτρύτης	<i>Botrytis cinerea</i>
10	Βερτισίλλιο	<i>Verticillium dahliae</i>
11	Ριζοκτόνια	<i>Rhizoctonia solani</i>
12	Πύθιο	<i>Pythium sp.</i>
13	Στεμφύλιο	<i>Stemphylium botryosum</i>

Πίνακας 6: Οι σημαντικότερες ιώσεις που προσβάλλουν τα καλλωπιστικά φυτά

A/A	ΚΟΙΝΗ ΟΝΟΜΑΣΙΑ
1	Ιός του κίτρινου μωσαϊκού του φασολιού (BYMV)
2	Ιός του κίτρινου μωσαϊκού της αγγουριάς(CMV)
3	Ιός της δακτυλιωτής κηλιδώσεως της τομάτας(ToRSV)
4	Ιός της δακτυλιωτής κηλιδώσεως του καπνού(TRSV)
5	Ιός του κηλιδωτού μαρασμού της τομάτας(TSWV)
6	Ιός του μωσαϊκού του καπνού(TMV)
7	Ιός της ασπερμίας της τομάτας(TAV)

Πίνακας 7: Τα σημαντικότερα ακάρεα που προσβάλλουν τα καλλωπιστικά φυτά

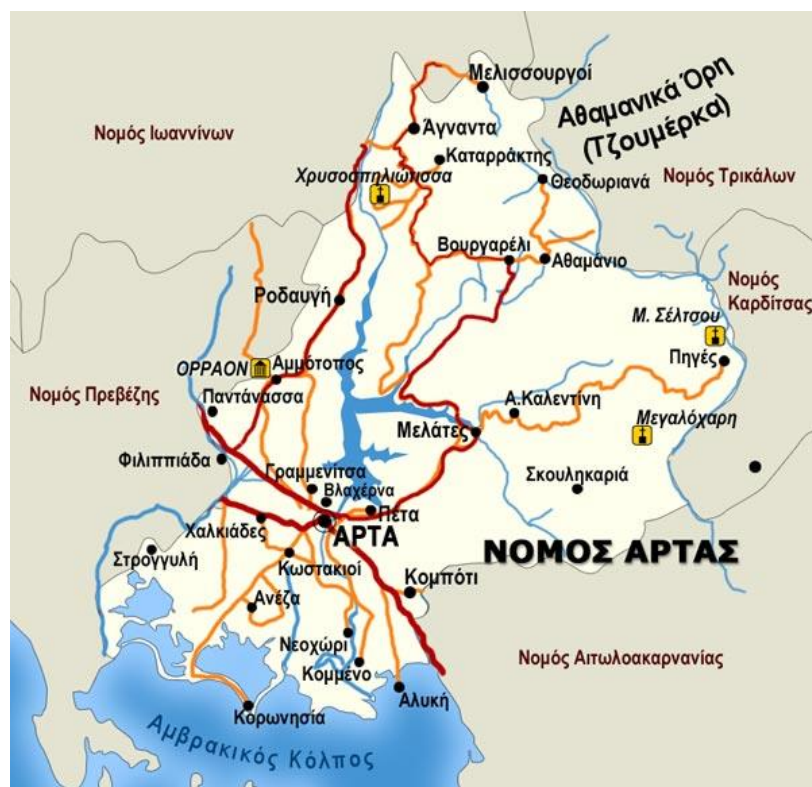
A/A	ΚΟΙΝΗ ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΕΙΔΟΣ
1	Πρασινωπή αράχνη	<i>Tetranychus urticae</i>
2	Κόκκινος τετράνυχος των ξινών	<i>Panonychus citri</i>
3	Τετράνυχος	<i>Eriophyes pyri</i>

ΜΕΡΟΣ Β – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΑΣΤΙΚΕΣ ΦΥΤΕΥΣΕΙΣ

Υλικά και μέθοδοι

Περιοχή εγκατάστασης

Ο νομός Άρτας βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της Ελλάδας και ανήκει γεωγραφικά και διοικητικά στην Ήπειρο, καταλαμβάνει το ΝΑ τμήμα της Ηπείρου (Εικόνα 20).



Εικόνα 20: Χάρτης νομού Άρτας (πηγή: www.pigesartas.gr)

Η τεχνόπολη (campus) του ΤΕΙ Ηπείρου, στους Κωστακίους Άρτας έχει μια δομημένη κεντρική περιοχή έκτασης περίπου σαράντα στρεμμάτων, με μέσο υψόμετρο +10,5m, ενώ οι συντεταγμένες κέντρου της εν λόγω περιοχής σε ΕΓΣΑ'87 είναι οι εξής: X= 235.743,575 Y= 4.334.481,659 (Εικόνα 21).

Η πειραματική αξιολόγηση υλοποιήθηκε στο αίθριο του κτηρίου του τμήματος Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου (ΤΕΙ Ηπείρου) διότι εκεί δημιουργούνται συνθήκες παρόμοιες με αυτές ενός έντονα δομημένου αστικού περιβάλλοντος. Η αξιολόγηση της υδροπονικής πέργκολας πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια δύο ετών, από τον Ιούνιο έως τον Οκτώβριο του 2013 και από τον Ιούνιο έως τον Οκτώβριο του 2014.



Εικόνα 21: Δορυφορική εικόνα της Τεχνόπολης του ΤΕΙ Ηπείρου στους Κωστακίους Άρτας (πηγή:GoogleEarth, 2014)

Κλιματολογικά στοιχεία περιοχής

Τα κλιματικά στοιχεία που παρουσιάζονται προέρχονται από την ΕΜΥ (2014) αφορούν τα έτη 1976-1997. Το κλίμα της περιοχής της Άρτας, με ξηρό θέρος, υγρό αλλά όχι ψυχρό χειμώνα χαρακτηρίζεται σαν ήπιο μεσογειακού τύπου.

Τα κλιματικά στοιχεία μιας περιοχής παρουσιάζουν πάντοτε διακυμάνσεις μέσα στον χρόνο, κατά τις οποίες φθάνουν σε απόλυτα μέγιστες και απόλυτα ελάχιστες τιμές. Είναι φυσικό όμως ότι, για να πλησιάζουν τις πραγματικές τιμές, μέσα στις οποίες διακυμαίνεται το στοιχείο αυτό, απαιτείται σειρά μακράς χρονικής περιόδου κλιματικών παρατηρήσεων. Η γνώση των απόλυτα μέγιστων και ελάχιστων τιμών της θερμοκρασίας έχει μεγάλη σημασία, τόσο από κλιματικής άποψης, όσο και από πρακτικής εφαρμογής. Η ηλιοφάνεια φθάνει περίπου τις 2500 ώρες το χρόνο. Ο μέσος ετήσιος αριθμός ημερών ηλιοφάνειας ανέρχεται σε 121,1 ημέρες. Απόλυτα ελάχιστες θερμοκρασίες σημειώνονται συνήθως τον Ιανουάριο και οι απόλυτα μέγιστες ξηροθερμικούς μήνες, δηλαδή τον Ιούλιο και τον Αύγουστο.

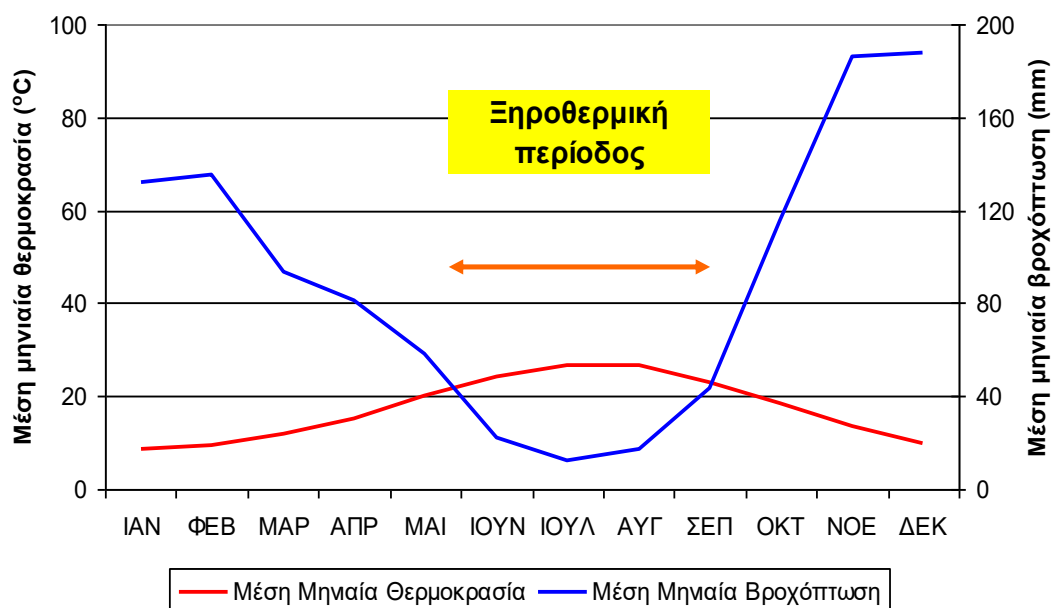
Σε γενικές γραμμές η ετήσια πορεία της σχετικής υγρασίας ακολουθεί την ετήσια πορεία των βροχών και είναι αντίστροφη σχεδόν με την ετήσια πορεία της θερμοκρασίας και της ηλιοφάνειας. Οι βροχές στην περιοχή διακρίνονται από άνιση κατανομή στην διάρκεια του έτους, χαρακτηριστικό εξάλλου του Μεσογειακού κλίματος. Έτσι διαμορφώνονται δύο τελείως διαφορετικές περίοδοι, μια πολύμυρη από τα μέσα του φθινοπώρου μέχρι τα μέσα της άνοιξης και μια σχεδόν άνομυρη το θέρος. Οι πρώτες βροχές συμβαίνουν συνήθως στα μέσα Σεπτεμβρίου ή αργότερα στα νότια πεδινά. Συνήθως ακολουθεί μια μικρή περίοδος με ηλιόλουστες και σχετικά ζεστές φθινοπωρινές ημέρες, το γνωστό μικρό καλοκαιράκι και από τα μέσα σχεδόν

του Οκτωβρίου αρχίζουν οι έντονες και παρατεταμένες βροχές, που διατηρούνται μέχρι τα μέσα της άνοιξης σχεδόν. Από τον Οκτώβριο και μέχρι τον Ιανουάριο οι βροχές είναι άφθονες.

Όσο αφορά τη σχετική υγρασία, το μέγιστο σημειώνεται συνήθως κατά το Νοέμβριο και τον Δεκέμβριο που επικρατούν υψηλές βροχοπτώσεις και νότιοι άνεμοι. Το ελάχιστο σημειώνεται τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Από τον Ιανουάριο η σχετική υγρασία αρχίζει προοδευτική ελάττωση, η οποία γίνεται αλματώδης στο δίμηνο Μαΐου και Ιουνίου, και λαμβάνει τις μικρότερες τιμές τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Ο Ιούλιος και ο Αύγουστος διαφέρουν ελάχιστα και από το Σεπτέμβριο αρχίζει αλματώδης άνοδος μέχρι τα τέλη Νοεμβρίου. Κατά το Δεκέμβριο υπάρχει ελαφρά κάμψη της τιμής της υγρασίας και από τον Ιανουάριο αρχίζει προοδευτικά η ελάττωση. Το φαινόμενο δροσιάς παρατηρείται συνήθως την άνοιξη και στις αρχές φθινοπώρου, ενώ της πάχνης από τα μέσα φθινοπώρου μέχρι την αρχή της άνοιξης και ειδικότερα κατά τις πρωινές ώρες. Η ομίχλη παρουσιάζεται συνήθως τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες και κυρίως τις νυχτερινές και πρωινές ώρες.

Ολικοί παγετοί δεν παρατηρούνται στην περιοχή παρά μόνο μερικοί που διαρκούν λίγες ώρες και εμφανίζονται από τον Νοέμβριο μέχρι τον Μάρτιο και κυρίως τον Ιανουάριο με Φεβρουάριο. Οι ημέρες παγετού το χρόνο ανέρχονται σε 12,4 κατά μέσο όρο. Ζημιές από παγετούς παρατηρούνται μόνο στα εσπεριδοειδή για τα οποία λαμβάνονται μέτρα προστασίας. Χαλαζόπτωση παρατηρείται σπανίως κατά φθινοπωρινούς μήνες, είναι μικρής διάρκειας και με κόκκους μικρής διαμέτρου. Στην περιοχή επικρατούν βορειοανατολικοί άνεμοι και η έντασή τους κυμαίνεται από 4,6 μέχρι και 6,5 Beaufort (EMY, 2014). Με βάση τα δεδομένα της EMY μπορούμε να σχεδιάσουμε το ομβροθερμικό διάγραμμα από το οποίο προκύπτει ότι η ξηροθερμική εκτείνεται από Μάιο έως Σεπτέμβριο (Εικόνα 22 **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**).

Ομβροθερμικό διάγραμμα (Gaussen)



Εικόνα 22: Ομβροθερμικό διάγραμμα για την περιοχή της Άρτας με βάση τα κλιματολογικά στοιχεία της EMY

Υποστρώματα

Το υπόστρωμα που δοκιμάστηκε είναι ο περλίτης (χημικά αδρανής, με pH 6,5-7,5, κοκκομετρίας 1-5mm, ειδικού βάρους 80-110kg/m³, με υδατοϊκανότητα 250 – 300l νερό/m³).



Εικόνα 23: Περλίτης Perloflor Hydro

Είναι αργιλοπυριτικό ορυκτό ηφαιστιογενούς προέλευσης που θρυμματίζεται και θερμαίνεται στους 1000-1300°C για να διογκωθεί και παραχθεί ο γνωστός λευκός αφρώδης περλίτης που χρησιμοποιείται εκτός από την παρασκευή εδαφικών μειγμάτων ή υποστρωμάτων και σε οικοδομικές κατασκευές και άλλες χρήσεις (Εικόνα 23). Στην χώρα μας παράγεται σε αρκετές ηφαιστιογενές περιοχές όπως στη Νίσυρο, στη Μήλο, στη Κω και στην Αντίπαρο και είναι σχετικά φθηνό υλικό.

Θρεπτικά διαλύματα

Η κατάρτιση των θρεπτικών διαλυμάτων έγινε από τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών Δρ. Σάββα Δημήτριο και παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Το θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε στην 1^η περίοδο λειτουργίας της υδροπονικής πέργκολας παρέμεινε το ίδιο καθόλη τη διάρκεια του πειράματος. Στην 2^η περίοδο αξιολόγησης και κατόπιν μεταβολών του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας της 1^{ης} περιόδου λειτουργίας, αποφασίστηκε η αλλαγή του για την εξομάλυνση των pH και EC, με συνεννόηση και με τον Δρ. Σάββα. Αλλαγές του θρεπτικού διαλύματος πραγματοποιήθηκαν και κατά τη διάρκεια της δεύτερης περιόδου αξιολόγησης παρατηρώντας την διακύμανση του pH και EC.

Ο τύπος του θρεπτικού διαλύματος είναι για διάφορα καλλωπιστικά φυτά και για τη θερμή εποχή του έτους.

Πίνακας 8: Θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε κατά την 1^η περίοδο λειτουργίας της υδροπονικής πέργκολας (από 02/08/2012)

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ			
E.C.=		1,90	dS/m
pH=		5,60	
Πυκνό διάλυμα Α		10	ΛΙΤΡΑ
1	Νιτρικό ασβέστιο	0,308	Kg
2	Νιτρικό κάλιο	0,582	Kg
3	Νιτρικό αμμώνιο	0,067	Kg
4	Χηλικός σίδηρος	0,019	Kg
Πυκνό διάλυμα Β		10	ΛΙΤΡΑ
1	Νιτρικό κάλιο	0,000	Kg
2	Θειικό μαγνήσιο	0,194	Kg
3	Φωσφορικό μονοκάλιο	0,163	Kg
4	Θειικό κάλιο	0,000	Kg
5	Νιτρικό μαγνήσιο	0,027	Kg
6	Φωσφορικό οξύ	0,000	λίτρα
7	Π.Δ. Ιχνοστοιχείων	0,050	λίτρα
Πυκνό διάλυμα ιχνοστοιχείων		20	ΛΙΤΡΑ
1	Θειικό μαγγάνιο	594,88	g
2	Θειικός ψευδάργυρος	557,75	g
3	Θειικός χαλκός	69,92	g
4	Βορικό οξύ	0,00	g
5	Βόρακας	847,11	g
6	Solubor	0,00	g
7	Επταμολυβδαινικό αμμώνιο	0,00	g
8	Μολυβδαινικό νάτριο	48,38	g
9	Νιτρικό οξύ	0,04	λίτρα
Πυκνό διάλυμα οξέως		10	ΛΙΤΡΑ
1	Νιτρικό οξύ	0,193	λίτρα

Πίνακας 9: Θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε κατά την 2^η περίοδο λειτουργίας της υδροπονικής πέργκολας (από 01/04/2014)

Selected pumps	Target EC=	1,35	dS/m	
	Target pH=	5,6		
	Stock solution	W_{pn} , kg	V_{pn} , m^3	J_{pn} , l/h
	Stock Solution A			
6	Calcium nitrate	0,827	0,1	66,70
	Potassium nitrate	5,504	0,1	66,70
	Ammonium nitrate	1,090	0,1	66,70
	Iron chelate	0,335	0,1	66,70
Stock Solution B				
7	Magnesium sulphate	2,205	0,1	58,10
	Monopotassium phosphate	2,785	0,1	58,10
	Potassium sulphate	0,000	0,1	58,10
	Manganese sulphate	0,038	0,1	58,10
	Zinc sulphate	0,035	0,1	58,10
	Copper sulphate	0,004	0,1	58,10
	Sodium octaborate	0,024	0,1	58,10
	Ammonium heptamolybdate	0,002	0,1	58,10
Stock Solution of Acid				
13	Nitric Acid	5,56	0,1	60

Πίνακας 10: Θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε κατά την 2^η περίοδο λειτουργίας της υδροπονικής πέργκολας (από 10/06/2014)

Selected pumps	Target EC=	1,35	dS/m	
	Target pH=	5,6		
	Stock solution	W_{pn} , kg	V_{pn} , m^3	J_{pn} , l/h
	Stock Solution A			
6	Calcium nitrate	0,827	0,1	66,70
	Potassium nitrate	7,306	0,1	66,70
	Ammonium nitrate	1,090	0,1	66,70
	Iron chelate	0,335	0,1	66,70
Stock Solution B				
7	Magnesium sulphate	2,205	0,1	58,10
	Monopotassium phosphate	0,000	0,1	58,10
	Potassium sulphate	0,000	0,1	58,10
	Manganese sulphate	0,038	0,1	58,10
	Zinc sulphate	0,035	0,1	58,10
	Copper sulphate	0,004	0,1	58,10
	Sodium octaborate	0,024	0,1	58,10
	Ammonium heptamolybdate	0,002	0,1	58,10
Stock Solution of Acid				
13	Nitric Acid	42,21	0,1	7,90

Πίνακας 11: Θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε κατά την 2^η περίοδο λειτουργίας της υδροπονικής πέργκολας (από 06/08/2014 για το Σύστημα Α)

Selected pumps	Target EC=	1,35	dS/m	
	Target pH=	5,6		
	Stock solution	W_{pn} , kg	V_{pn} , m ³	J_{pn} , l/h
	Stock Solution A			
6A	Calcium nitrate	0,970	0,1	66,70
	Potassium nitrate	8,115	0,1	66,70
	Ammonium nitrate	0,806	0,1	66,70
	Iron chelate	0,335	0,1	66,70
Stock Solution B				
7A	Magnesium sulphate	2,301	0,1	58,10
	Monopotassium phosphate	0,000	0,1	58,10
	Potassium sulphate	0,000	0,1	58,10
	Manganese sulphate	0,038	0,1	58,10
	Zinc sulphate	0,035	0,1	58,10
	Copper sulphate	0,004	0,1	58,10
	Sodium octaborate	0,024	0,1	58,10
	Ammonium heptamolybdate	0,002	0,1	58,10
Stock Solution of Acid				
13	Nitric Acid	42,21	0,1	7,90

Πίνακας 12: Θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε κατά την 2^η περίοδο λειτουργίας της υδροπονικής πέργκολας (από 06/08/2014 για το Σύστημα Β)

Selected pumps	Target EC=	1,50	dS/m	
	Target pH=	5,6		
	Stock solution	W_{pn} , kg	V_{pn} , m^3	J_{pn} , l/h
	Stock Solution A			
6B	Calcium nitrate	1,741	0,1	66,70
	Potassium nitrate	7,340	0,1	66,70
	Ammonium nitrate	1,406	0,1	66,70
	Iron chelate	0,335	0,1	66,70
Stock Solution B				
7B	Magnesium sulphate	2,818	0,1	58,10
	Monopotassium phosphate	0,000	0,1	58,10
	Potassium sulphate	0,000	0,1	58,10
	Manganese sulphate	0,038	0,1	58,10
	Zinc sulphate	0,035	0,1	58,10
	Copper sulphate	0,004	0,1	58,10
	Sodium octaborate	0,024	0,1	58,10
	Ammonium heptamolybdate	0,002	0,1	58,10
Stock Solution of Acid				
13	Nitric Acid	42,21	0,1	7,90

Πίνακας 13: Θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε κατά την 2^η περίοδο λειτουργίας της υδροπονικής πέργκολας (από 10/09/2014 για το Σύστημα Β)

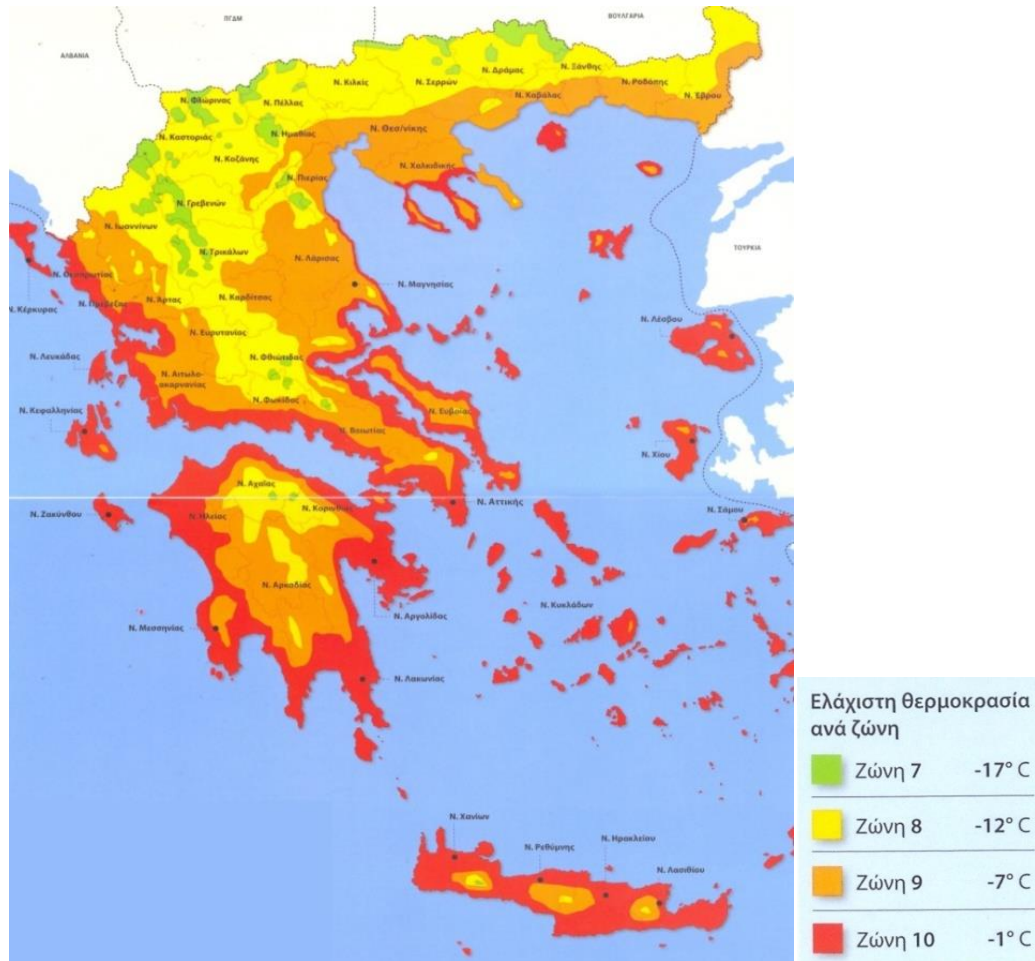
Selected pumps	Target EC=	1,72	dS/m	
	Target pH=	5,6		
	Stock solution	W_{pn} , kg	V_{pn} , m^3	J_{pn} , l/h
	Stock Solution A			
6B	Calcium nitrate	2,714	0,1	66,70
	Potassium nitrate	9,974	0,1	66,70
	Ammonium nitrate	1,560	0,1	66,70
	Iron chelate	0,335	0,1	66,70
Stock Solution B				
7B	Magnesium sulphate	3,480	0,1	58,10
	Monopotassium phosphate	0,000	0,1	58,10
	Potassium sulphate	0,000	0,1	58,10
	Manganese sulphate	0,038	0,1	58,10
	Zinc sulphate	0,035	0,1	58,10
	Copper sulphate	0,004	0,1	58,10
	Sodium octaborate	0,024	0,1	58,10
	Ammonium heptamolybdate	0,002	0,1	58,10
Stock Solution of Acid				
13	Nitric Acid	42,21	0,1	7,90

Φυτικό υλικό

Στην κατασκευή τοποθετήθηκε ποικιλία φυτών. Η τελική επιλογή εξαρτήθηκε από την περίοδο προμήθειας και τη ζώνη ανθεκτικότητας.

Ο όρος ζώνη ανθεκτικότητας σημαίνει τη γεωγραφική περιοχή στην οποία αναπτύσσετε ένα είδος φυτού με γνώμονα την ανθεκτικότητα του στις ελάχιστες θερμοκρασίες που μετριούνται σε αυτήν .

Σύμφωνα με το σύστημα που ανέπτυξε η διεύθυνση γεωργίας των ΗΠΑ και καθιερώθηκε παγκοσμίως ότι υπάρχουν 11 ζώνες ανθεκτικότητας, αλλά στην Ελλάδα εμφανίζονται μόνο 4 από αυτές (7, 8, 9 και 10) (Εικόνα 24**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**).



Εικόνα 24: Χάρτης της Ελλάδας με ζώνες ανθεκτικότητας

Πειραματικά δεδομένα και απόκτηση εγχώριας τεχνογνωσίας ήταν απαραίτητα για την περίπτωση ειδικών φυτεύσεων σε κτήρια (κατακόρυφες φυτεύσεις, φυτεμένες κατασκευές). Στο πλαίσιο αυτό ιδιαίτερο ενδιαφέρον είχε ο εντοπισμός κατάλληλων φυτών. Σχετικές εργασίες έχουν παρουσιαστεί τελευταία (Salas και Montero, 2009), ενώ ενδιαφέρον έχουν εργασίες με φυτά που φύονται φυσικά σε τοίχους (Benvenuti, 2009) αλλά και ξηροφυτικά είδη της περιοχής της Μεσογείου (Φιλιππί, 2008).

Το φυτικό υλικό που επιλέχθηκε και χρησιμοποιήθηκε και στις δύο περιόδους λειτουργίας παρουσιάζεται στους πίνακες που ακολουθούν (Πίνακας 14, Πίνακας 15).

Πίνακας 14: Φυτικό υλικό που επιλέχθηκε και για τις δύο περιόδους λειτουργίας της υδροπονικής πέργκολας (2013 και 2014)

A/A	Όνομασία	Λατινική ονομασία	Καταγωγή	ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΥΤΩΝ
1	Γεράνι ζωνωτό	<i>Pelargonium zonale</i>	Νότια Αφρική	12
2	Γεράνι κισσόφυλλο (Μπαμπακούλα)	<i>Pelargonium peltatum</i>	Νότια Αφρική	12
3	Γκαζάνια	<i>Gazania rigens</i>	Νότια Αφρική	12
4	Δενδρολίβανο έρπον	<i>Rosmarinus officinalis "Prostratus"</i>	Μεσόγειος	12
5	Διμορφοθήκη	<i>Dimorphoteca sinuata</i>	Νότια Αφρική	24
6	Λεβάντα	<i>Lavandula angustifolia</i>	Κοσμοπολίτικο, και στη Μεσόγειο πολλά είδη	24
7	Σαντολίνη	<i>Santolina chamaecyparissus</i>	Δυτική και κεντρική Μεσόγειος	24
8	Σερφίνια (Πετούνια κρεμοκλαδής)	<i>Petunia surfinia</i>	Νότια Αμερική	24

Περιγραφή εργασιών αξιολόγησης

Προετοιμασία των φυτών στο θερμοκήπιο

Αρχικά ταξινομήθηκαν οι πάγκοι του θερμοκηπίου (οι οποίοι απολυμάνθηκαν με χλωρίνη για τυχόν προσβολή από μύκητες, όγκους και άλλες παρασιτικές ασθένειες) σε 8 γραμμές φύτευσης -a, b, c, d, e, f, g και h- όπως ακριβώς τοποθετήθηκαν και στην Πέργολα στον αίθριο χώρο του κτηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής τοπίου. Στη συνέχεια γεμίστηκαν οι φυτευτικοί φορείς με περλίτη, ο οποίος ήταν και το αδρανές υπόστρωμα των φυτών (Εικόνα 27, Εικόνα 28). Οι φυτευτικοί φορείς έπρεπε να είναι καλά γεμισμένοι για την ορθή ανάπτυξη αλλά και στήριξη των φυτών.



Εικόνα 25: Ταξινόμηση πάγκων θερμοκηπίου



Εικόνα 26: Σήμανση γραμμών φύτευσης



Εικόνα 27: Γέμισμα φυτευτικών φορέων με περλίτη



Εικόνα 28: Γεμισμένοι φυτευτικοί φορείς

Στη συνέχεια προετοιμάστηκαν τα φυτά έτσι ώστε κατά τη μεταφύτευσή τους από τα φυτοδοχεία του θερμοκηπίου να εγκατασταθούν με επιτυχία στους φυτευτικούς φορείς (Εικόνα 29, Εικόνα 30, Εικόνα 31, Εικόνα 32, Εικόνα 33, Εικόνα 34). Κατά την ολοκλήρωση της μεταφύτευσης οι φυτευτικοί φορείς τοποθετήθηκαν στους πάγκους του θερμοκηπίου ακριβώς με το ίδιο πλάνο φύτευσης της πέργολα και συνδέθηκαν με το σύστημα άρδευσης.

Ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε φυτού τοποθετήθηκαν μία ή δύο λόγχες υδροπονίας (Εικόνα 35).



Εικόνα 29: Φυτό σε γλάστρα



Εικόνα 30: Διαχωρισμός φυτού



Εικόνα 31: Αφαίρεση ρίζας



Εικόνα 32: Φυτά προς φύτευση



Εικόνα 33: Φύτευση φυτών στον φυτευτικό φορέα



Εικόνα 34: Πρόσθεση επιπλέον περλίτη για την καλύτερη στήριξη των φυτών



Εικόνα 35: Τοποθέτηση λογχών άρδευσης στα φυτά



Εικόνα 36: Έλεγχος φυτών στους φυτευτικούς φορείς

Τα φυτά χρειάστηκε να περάσουν ένα στάδιο προσαρμογής στο θερμοκήπιο λόγω της αλλαγής μικροκλίματος, του φυτωρίου και του εξωτερικού χώρου όπου θα γινόταν η τοποθέτηση των φυτευτικών φορέων και λόγω της μικρής ηλικίας των φυτών τα οποία έπρεπε να προσαρμοστούν με τη βοήθεια του θρεπτικού διαλείμματος και των κατάλληλων συνθηκών στο υδροπονικό θερμοκήπιο του ΑΑΤ. Ο χρόνος που χρειάστηκαν τα φυτά για να εγκλιματιστούν ήταν 76 ημέρες (22-4-2013 έως 8-7-2013) για την πρώτη περίοδο αξιολόγησης και 33 ημέρες (2-4-2014 έως 5-5-2014) για την δεύτερη περίοδο αξιολόγησης.



Εικόνα 37: Κατάσταση φυτών κατά την προσαρμογή τους στο θερμοκήπιο

Οι φυτευτικοί φορείς μεταφέρθηκαν στην υδροπονική πέργκολα (στο αίθριο) μετά τη λήξη του χρόνου προσαρμογής τους στο θερμοκήπιο. Για την πρώτη περίοδο αξιολόγησης και για τις πρώτες 10 ημέρες (8-7-2013 έως 19-7-2013) και για την δεύτερη περίοδο αξιολόγησης και για τις πρώτες 30 ημέρες εγκατάστασης των φυτών στην υδροπονική πέργκολα (5-5-2014 έως 3-6-2014) χρησιμοποιήθηκε δίχτυ σκίασης 30%. Η υδροπονική πέργκολα ήταν κατασκευασμένη με προδιαγραφές που επέτρεπαν στους εργαζομένους – τεχνικούς να βρίσκονται πάνω της για ελέγχους, τοποθέτηση αισθητήρων, έλεγχος σταλαχτών και φυτών κλπ.

Εκτίμηση εξέλιξης ανάπτυξης/σκίασης μέσω φωτογράφισης

Ανά τακτά χρονικά διαστήματα γινόταν φωτογράφιση της υδροπονικής πέργκολας από κάτω προς τα πάνω έτσι ώστε να μπορεί να εκτιμηθεί η ανάπτυξη των φυτών και η σκίαση από την πέργκολα.

Χρησιμοποιήθηκε κάμερα Olympus FE-370 με ρύθμιση Scene-Αυτοπορταίτο, χωρίς flash, τοποθέτηση άξονας Α-Δ και κουμπιά ελέγχου προς Β (γραμματαία) από 12 επιλεγμένα σημεία, τα οποία είναι Χ1, Χ2, Χ3, Χ4, Χ5, Χ6 (για το σύστημα Α) Χ7, Χ8, Χ9, Χ10, Χ11, Χ12 (για το σύστημα Β) συν μία γενική άποψη Χ13 από νότο, από τον πρώτο όροφο. Επίσης τοποθετήθηκε κόκκινο νήμα ακριβώς κάτω από τους φυτευτικούς φορείς έτσι ώστε να μπορούμε να μελετήσουμε με ακρίβεια την ανάπτυξη κάθε φυτού εάν το επιθυμούμε.



Εικόνα 38: Τοποθέτηση νήματος για να βρούμε το ακριβές σημείο φωτογράφισης

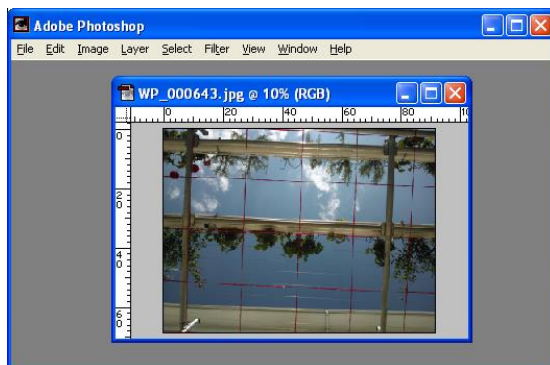


Εικόνα 39: Σημείο φωτογράφισης



Εικόνα 40: Κόκκινο νήμα τοποθετημένο ακριβώς κάτω από τους φυτευτικούς φορείς

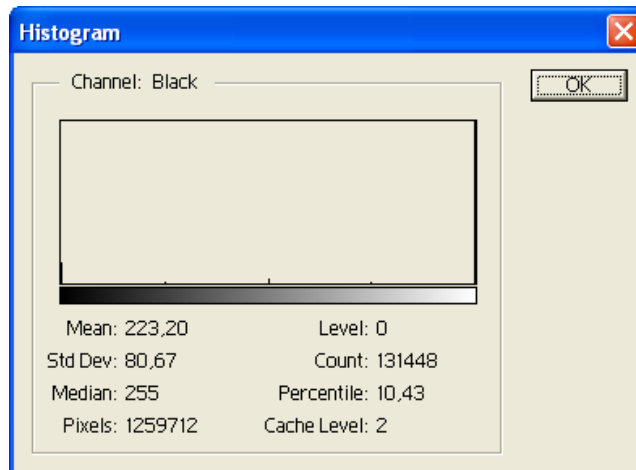
Όσο αφορά την επεξεργασία των φωτογραφιών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό της Adobe, Photoshop 7.0 και έγιναν οι ενέργειες που παρουσιάζονται στις επόμενες εικόνες (Εικόνα 41, Εικόνα 42 και Εικόνα 43).



Εικόνα 41: Αρχική εικόνα > άνοιγμα με Adobe Photoshop 7.0



Εικόνα 42: Image > Mode > Grayscale και Image > Adjust > Brightness/Contrast: Brightness=+50, Contrast=+100



Εικόνα 43: Image > Histogram: Μετακίνηση δείκτη (σταυρού) προς τα αριστερά έως το μαύρο (Level=0) και διαβάζω ποσοστό (π.χ. 10,43: σημαίνει 10,43% μαύρο)

Κατά την ολοκλήρωση επεξεργασίας των φωτογραφιών βγαίνει ο μέσος όρος κάλυψης εβδομαδιαίως. Τα δεδομένα καταγράφονται σε αρχείο MS Excel και εκτιμάται ο μέσος όρος κάλυψης, εβδομαδιαία ανάπτυξη των φυτών και μηνιαία ανάπτυξη των φυτών.

Την πρώτη εβδομάδα υπήρχε δίχτυ σκίασης για να προσαρμοστούν τα φυτά οπότε στις μετρήσεις κάλυψης υπήρχε ελάχιστα παραπάνω ποσοστό κάλυψης σε σχέση με το πραγματικό. Την δεύτερη βδομάδα το δίχτυ σκίασης αφαιρέθηκε αλλά επειδή τα φυτά ήταν ακόμη σε περίοδο προσαρμογής παρατηρήθηκε έντονη πτώση φύλλων και ξερών ανθέων οπότε και γενικά χαμηλή κάλυψη.

Μετρητικός εξοπλισμός

Η πτυχιακή αυτή εργασία παρουσιάζει αποτελέσματα επίδρασης μίας φυτικής επιφάνειας και συγκεκριμένα μίας υδροπονικής πέργκολας και ενός κάθετου κήπου στο μικροκλίμα ενός έντονα δομημένου χώρου.

Στην πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκε μετρητικός εξοπλισμός όπως:

- μετεωρολογικός σταθμός γυάλινου θερμοκηπίου AAT (θερμοκρασία και σχετική υγρασία αέρα, ηλιακή ακτινοβολία, ύψος βροχής)
- αισθητήρες για μέτρηση θερμοκρασίας (T, °C) και σχετικής υγρασίας αέρα (RH, %), HD9008TR (DeltaOhm, Padua, Italy) στο κέντρο, πάνω και κάτω από το επίπεδο της πέργκολας
- αισθητήρες μέτρησης ηλιακής ενέργειας (πυρανόμετρα, SKS1100 350-1100nm, Skye Instruments, UK) (Εικόνα 45)
- Πεχάμετρο και Αγωγιμόμετρο και τις καθημερινές χειροκίνητες μετρήσεις pH και EC (Εικόνα 47, Εικόνα 48).

Οι μετρήσεις γίνονταν ανά 30s και καταγράφονταν ο μέσο όρος 10 λεπτών σε καταγραφικό DL2 (ΔT Devices, UK, Εικόνα 46).



Εικόνα 44: Αισθητήρες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αέρα σε προστατευτικό κλωβό



Εικόνα 45: Πυρανόμετρο



Εικόνα 46: Datalogger



Εικόνα 47: Πεχάμετρο



Εικόνα 48: Αγωγιμόμετρο

Αποτελέσματα

Στατιστική ανάλυση

Ο πειραματικός σχεδιασμός ήταν απόλυτα τυχαίοποιημένος με 3 επαναλήψεις ανά μεταχείριση (Σύστημα Α και Β) και 6 φυτά ανά πειραματική μονάδα. Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση Excel (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA). Όποτε παρουσιάζεται ο μέσος όρος των τιμών συνοδεύεται και από το τυπικό τους σφάλμα όπου αυτό έχει εφαρμοστεί.

Καιρικές συνθήκες

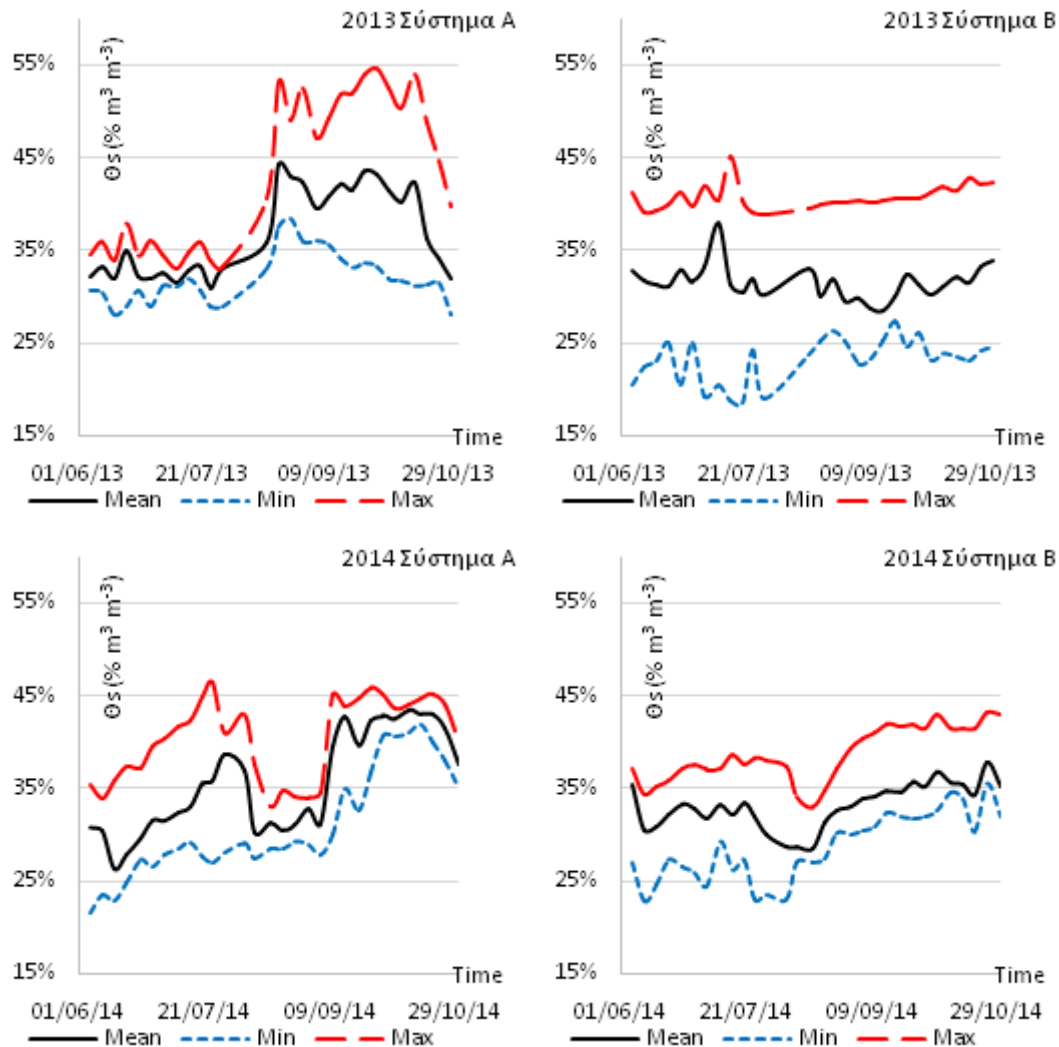
Η μέση μηνιαία εξωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2013 και του 2014 σε σύγκριση με το καλοκαίρι 2012 δεν παρατηρήθηκε στατιστικά καμία στατιστική διαφορά. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία κατά τη διάρκεια των πειραματικών περιόδων κυμαίνονταν από 20.7 έως 28.9 °C για το 2012, 18.9 έως 29.7 °C για το 2013 και 18.7 έως 26.6 °C για το 2014 (Πίνακας 17).

Πίνακας 15: Εναέριοι παράμετροι περιβάλλοντος (T, T_{min}, T_{max}: μέση, μέση ελάχιστη και μέση μέγιστη θερμοκρασία σε οC, RH: μέση σχετική υγρασία σε % και ET_o μέση εξατμισοδιαπνοή σε mm day⁻¹) με βάση τις μετρήσεις από τον μετεωρολογικό σταθμό του θερμοκηπίου. Οι τιμές συνοδεύονται από το τυπικό σφάλμα (±).

		Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος
2012	T	26.3 (±0.10)	28.9 (±0.12)	27.8 (±0.11)	24.0 (±0.13)	20.7 (±0.12)
	T _{min}	13.7 (±0.08)	20.5 (±0.14)	18.2 (±0.10)	13.4 (±0.11)	10.2 (±0.09)
	T _{max}	39.4 (±0.11)	40.6 (±0.07)	39.5 (±0.07)	36.6 (±0.09)	34.8 (±0.11)
	RH	66.5 (±0.53)	69.0 (±0.58)	63.7 (±0.58)	73.3 (±0.57)	81.0 (±0.50)
	ET _o	5.2 (±0.12)	5.9 (±0.14)	4.5 (±0.12)	4.8 (±0.22)	3.8 (±0.19)
2013	T	23.9 (±0.09)	27.0 (±0.09)	29.7 (±0.11)	23.9 (±0.10)	18.9 (±0.10)
	T _{min}	12.2 (±0.10)	16.2 (±0.12)	21.8 (±0.08)	14.2 (±0.14)	8.5 (±0.11)
	T _{max}	38.8 (±0.09)	37.8 (±0.08)	38.3 (±0.09)	34.5 (±0.10)	30.2 (±0.12)
	RH	77.5 (±0.31)	67.9 (±0.33)	64.3 (±0.42)	67.8 (±0.39)	78.9 (±0.33)
	ET _o	5.0 (±0.21)	5.9 (±0.11)	4.1 (±0.17)	4.5 (±0.16)	3.4 (±0.19)
2014	T	25.3 (±0.11)	26.0 (±0.09)	26.6 (±0.13)	22.6 (±0.12)	18.7 (±0.10)
	T _{min}	15.4 (±0.04)	16.2 (±0.16)	18.0 (±0.08)	11.7 (±0.11)	9.4 (±0.12)
	T _{max}	34.3 (±0.10)	35.1 (±0.09)	37.4 (±0.10)	31.4 (±0.14)	29.7 (±0.07)
	RH	73.5 (±0.39)	72.3 (±0.34)	72.0 (±0.48)	83.2 (±0.21)	81.8 (±0.28)
	ET _o	5.0 (±0.14)	5.9 (±0.19)	4.1 (±0.17)	4.5 (±0.28)	3.4 (±0.34)

Παράμετροι ανάπτυξης φυτών, ανάγκες σε νερό, ανάγκες φροντίδας

Ο στόχος της άρδευσης είναι να διατηρεί την υγρασία του υποστρώματος εντός των επιπέδων του εύκολα διαθέσιμου νερού. Ο στόχος αυτός επετεύχθη βάση του προγράμματος άρδευσης που εφαρμόστηκε όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 1.



Διάγραμμα 1: Διακύμανση υγρασίας υποστρώματος για τα συστήματα A και B κατά την περίοδο αξιολόγησης, 2013 (πάνω) και 2014 (κάτω). Οι πάνω (κόκκινη) και οι κάτω (μπλέ) διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζουν την μέγιστη και την ελάχιστη υγρασία του υποστρώματος αντίστοιχα.

Στον Πίνακα 18 παρουσιάζεται ο αριθμός των παρεμβάσεων που απαιτήθηκαν για τη ρύθμιση του pH και της EC του θρεπτικού διαλύματος κατά τη διάρκεια των δύο περιόδων αξιολόγησης (2013, 2014)

Πίνακας 16: Αριθμός εμφάνισης παρεμβάσεων για τη ρύθμιση του θρεπτικού διαλύματος στα συστήματα Α και Β κατά τη διάρκεια της περιόδου αξιολόγησης.

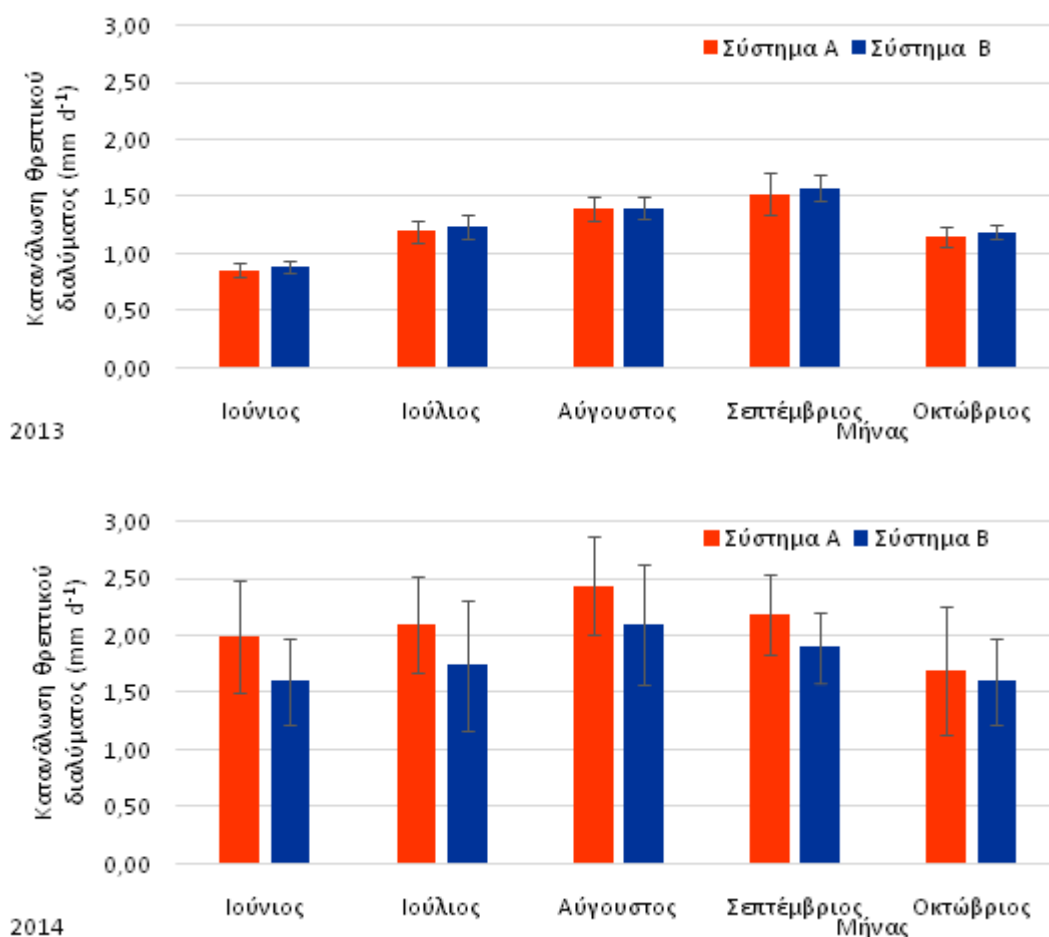
Σύστημα	Χειροκίνητη ρύθμιση pH	Χειροκίνητη ρύθμιση EC	Ανανέωση θρεπτικού διαλύματος	Χειροκίνητη ρύθμιση pH	Χειροκίνητη ρύθμιση EC	Ανανέωση θρεπτικού διαλύματος
	2013			2014		
A	2	2	1	12	4	3
B	5	-	4	18	-	6

Στον Πίνακα 19 παρουσιάζονται οι εργασίες που χρειάστηκαν (ανθρωποώρες: mh) για την περιποίηση των φυτών (κλάδεμα, αφαίρεση ξερών φύλλων και απανθισμένων λουλουδιών, έλεγχος των παρασίτων κ.λπ.), ώστε τα φυτά της πέργκολας να εμφανίζουν μια καλή και αισθητικά ωραία όψη, κατά τη διάρκεια των δύο περιόδων αξιολόγησης. Η *Petunia "Surfinia"* αποδείχθηκε ότι είναι ένα απαιτητικό φυτό με μεγάλες ανάγκες φροντίδας και περιποίησης, παρ' όλα αυτά όμως είναι από τα καλύτερα φυτά για χρήση σε υδροπονικές κατασκευές από άποψη αισθητικής. Το δεύτερο πιο απαιτητικό φυτό ήταν η *Gazania rigens*.

Πίνακας 17: Απαιτήσεις σε ανθρωποώρες για την περιποίηση των φυτών κατά τη διάρκεια της περιόδου αξιολόγησης -μέσες τιμές για όλα τα φυτά του κάθε είδους- (3 φυτευτικοί φορείς x 2 φυτά ο καθένας). Οι τιμές συνοδεύονται από το τυπικό σφάλμα (\pm).

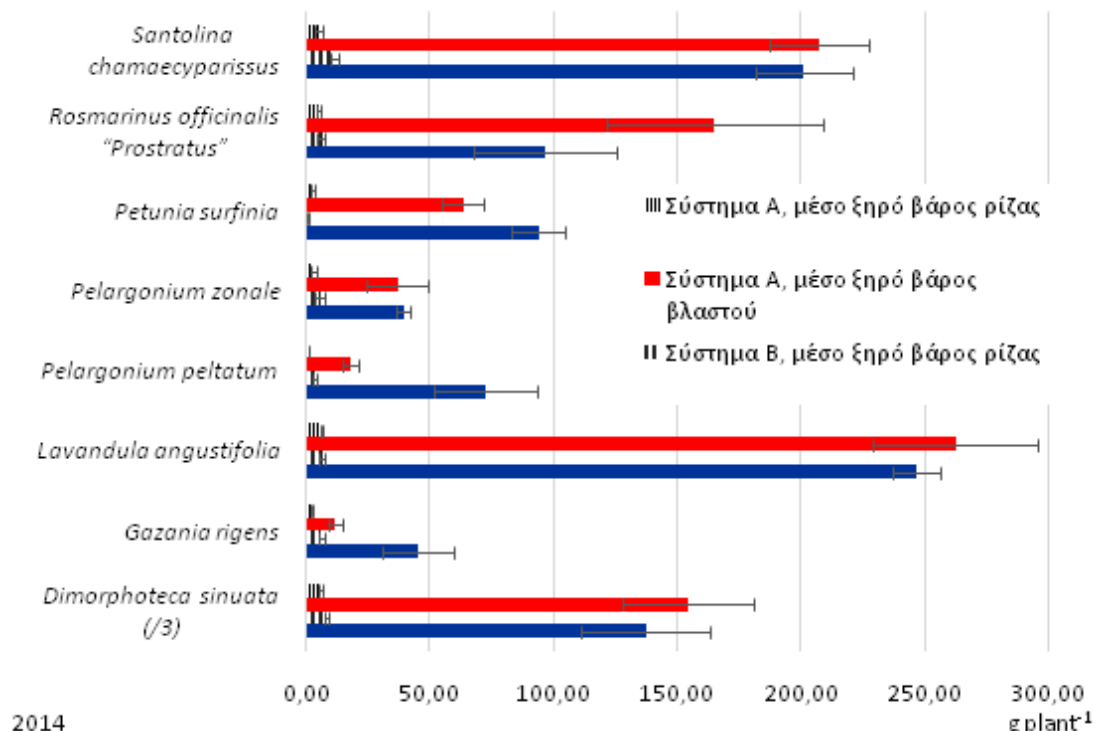
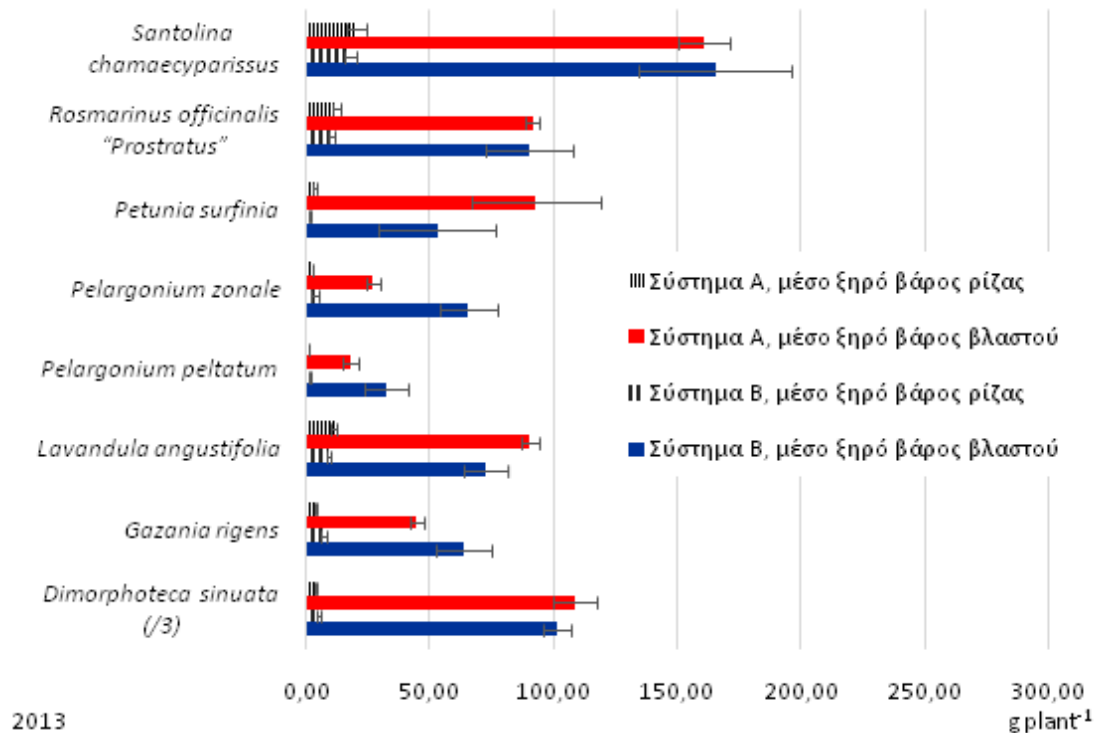
Φυτά	Τυπικές φροντίδες (mh)		Φυτοπροστασία (mh)		Προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν με παράσιτα
	Σύστημα A	Σύστημα B	Σύστημα A	Σύστημα B	
<i>Dimorphoteca sinuata</i>	4.1 (± 0.2)	4.5 (± 0.1)			<i>Trialeurodes sp.</i>
<i>Gazania rigens</i>	33.0 (± 1.8)	36.4 (± 3.2)			<i>Oidium sp.</i> <i>Tetranychus sp.</i>
<i>Lavandula angustifolia</i>	2.1 (± 0.1)	2.2 (± 0.4)			-
<i>Pelargonium peltatum</i>	10.1 (± 0.2)	11.3 (± 0.8)			-
<i>Pelargonium zonale</i>	9.5 (± 0.7)	10.3 (± 0.6)		11.3 (± 0.4)	<i>Erwinia sp.</i>
<i>Petunia "Surfinia"</i>	35.8 (± 2.4)	37.2 (± 3.1)			<i>Icerya purchasi</i>
<i>Rosmarinus officinalis "Prostratus"</i>	4.2 (± 0.2)	3.9 (± 0.2)			<i>Verticillium sp.</i>
<i>Santolina chamaecyparissus</i>	2.2 (± 0.1)	2.4 (± 0.1)			-

Η μέση ημερήσια κατανάλωση θρεπτικού διαλύματος κατά την περίοδο αξιολόγησης παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2. Οι τιμές για τα συστήματα A και B δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές και η κατανάλωση από 0.8 mm d⁻¹ τον Ιούνιο αυξήθηκε στα 1.5 mm d⁻¹ τον Σεπτέμβριο. Κατά τη πειραματική περίοδο του 2014 η κατανάλωση θρεπτικού διαλύματος από 1.2-1.5 mm d⁻¹ τον Ιούνιο αυξήθηκε στα 1.8-2.2 mm d⁻¹ τον Σεπτέμβριο. Αυτό πιθανώς συνέβη λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους των φυτών το 2014.



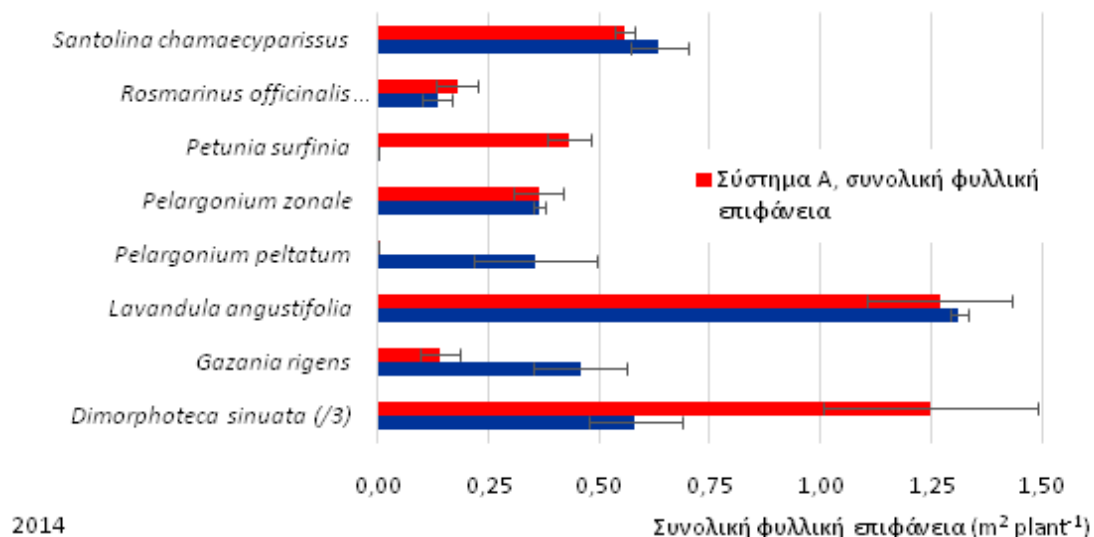
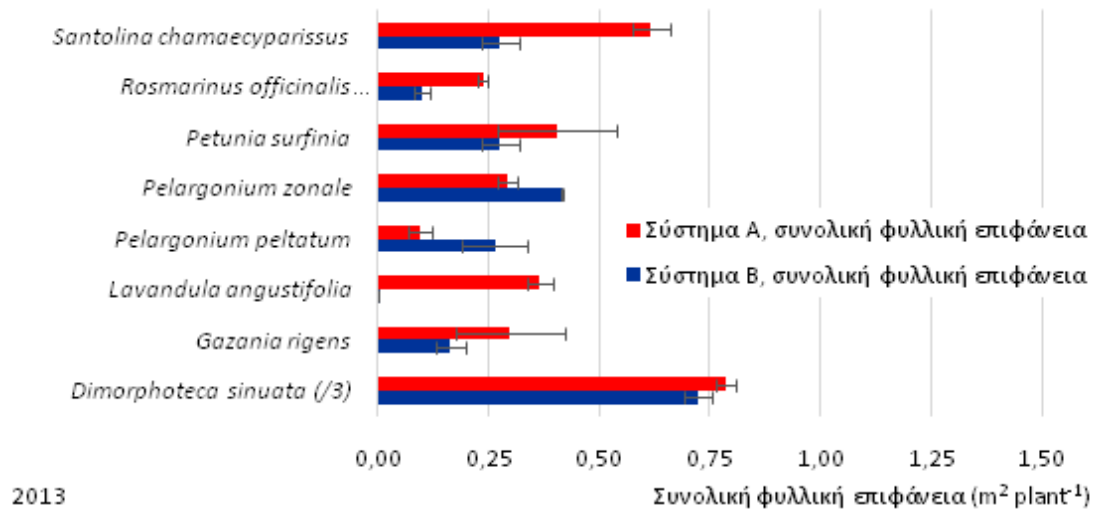
Διάγραμμα 2: Μέση ημερήσια κατανάλωση θρεπτικού διαλύματος για τα συστήματα A και B κατά τη διάρκεια της περιόδου αξιολόγησης, 2013 (πάνω) και 2014 (κάτω). Οι τιμές συνοδεύονται από το τυπικό σφάλμα (±).

Στο Διάγραμμα 3 παρουσιάζεται το μέσο ξηρό βάρος (gr plant⁻¹) του βλαστού και της ρίζας του κάθε φυτού, όπως μετρήθηκε στο τέλος από τις δύο πειραματικές περιόδους (2013, 2014). Οι τιμές της *Dimorphoteca sinuata* διαιρέθηκαν με το 3 καθώς ήταν πολύ μεγαλύτερες από εκείνες των άλλων φυτών. Το μέσο ξηρό βάρος των φυτών που αξιολογήθηκαν στο Σύστημα B δεν παρουσίασε καμία στατιστικά σημαντική διαφορά σε σύγκριση με τα αποτελέσματα από το Σύστημα A. Η *Dimorphoteca sinuata* ήταν το φυτό που παρουσίασε την μεγαλύτερη ανάπτυξη κατά τη διάρκεια των δύο περιόδων με μεγάλη διαφορά από τα υπόλοιπα φυτά. Η *Santolina chamaecyparissus* είχε πολύ καλή συμπεριφορά στη διάρκεια των δυο περιόδων ενώ η *Lavandula angustifolia* είχε μεγαλύτερη ανάπτυξη κατά την δεύτερη περίοδο αξιολόγησης (2014).



Διάγραμμα 3: Ξηρό βάρος βλαστού και ρίζας των φυτών για τα συστήματα A και B κατά τη διάρκεια της περιόδου αξιολόγησης, 2013 (πάνω) και 2014 (κάτω). Οι τιμές για την *Dimorphoteca sinuata* έχουν διαιρεθεί δια 3. Οι τιμές συνοδεύονται από το τυπικό σφάλμα (\pm).

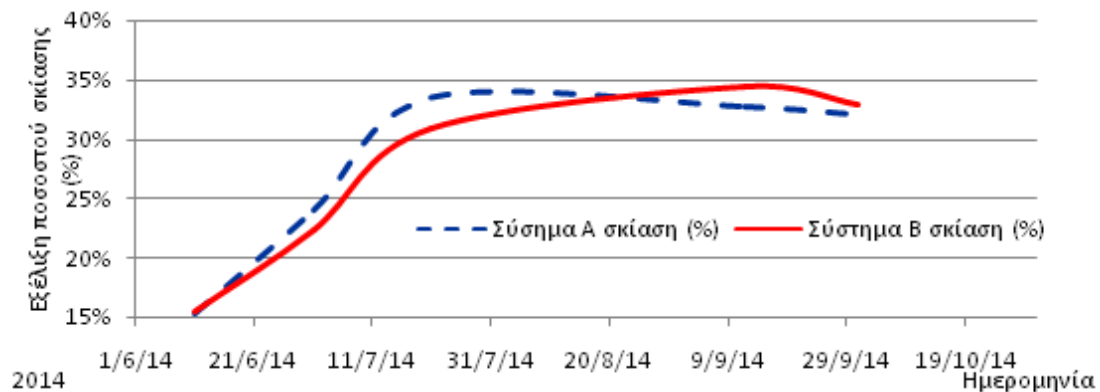
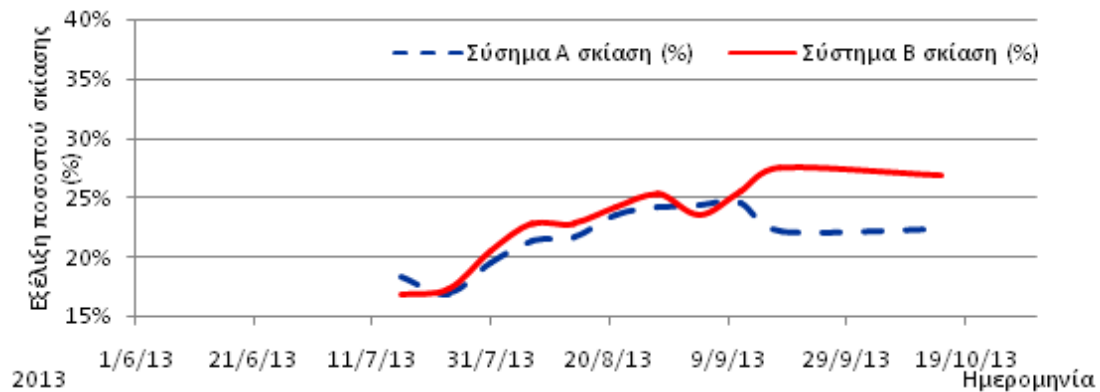
Στο Διάγραμμα 4 παρουσιάζεται η φυλλική επιφάνεια των φυτών για τα Συστήματα Α και Β ($m^2 plant^{-1}$) στο τέλος των περιόδων αξιολόγησης. Οι τιμές της *Dimorphoteca sinuata* διαιρέθηκαν με το 3 καθώς ήταν πολύ μεγαλύτερες από εκείνες των άλλων φυτών.



Διάγραμμα 4: Φυλλική επιφάνεια των φυτών για τα συστήματα Α και Β κατά τη διάρκεια της περιόδου αξιολόγησης, 2013 (πάνω) και 2014 (κάτω). Οι τιμές για την *Dimorphoteca sinuata* έχουν διαιρεθεί δια 3. Οι τιμές συνοδεύονται από το τυπικό σφάλμα (\pm).

Επιδράσεις στο μικροκλίμα

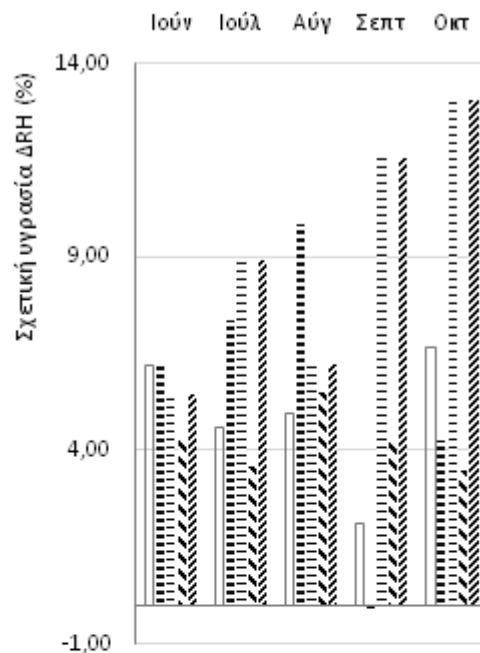
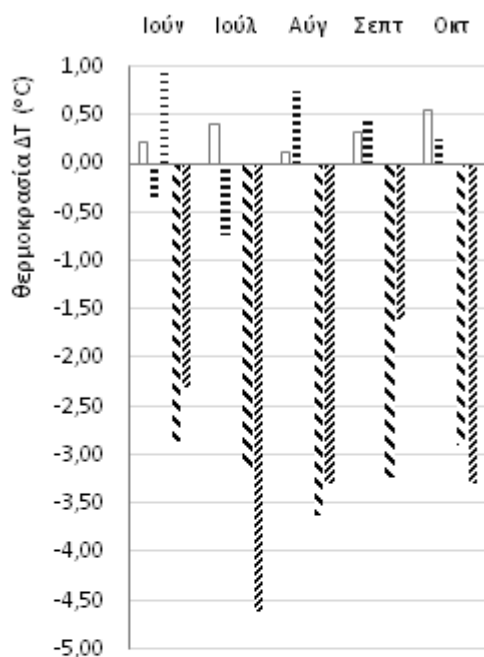
Η εξέλιξη του ποσοστού της σκίασης κατά τη διάρκεια των περιόδων αξιολόγησης παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 5. Ένα 8% της σκίασης οφείλεται στα δομικά στοιχεία του συστήματος (υδρορροές, σωλήνες, καλώδια κλπ). Στο τέλος της πειραματικής περιόδου του 2013 η σκίαση ήταν πιο εκτεταμένη κάτω από το τμήμα του Συστήματος Β (27% αντί 22% για το Σύστημα Α), αλλά κατά τη διάρκεια όλης της περιόδου τα δύο συστήματα δεν έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.



Διάγραμμα 5: Εξέλιξη ποσοστού σκίασης από την πέργκολα για τα συστήματα Α και Β κατά τη διάρκεια των περιόδων αξιολόγησης, 2013 (πάνω) και 2014 (κάτω).

Στο Διάγραμμα 6 παρουσιάζονται οι διαφορές στις μέσες τιμές θερμοκρασίας (ΔT σε $^{\circ}\text{C}$) και σχετικής υγρασίας (ΔRH σε $\%$) για το έτος 2012, όταν δεν υπήρχε η πέργκολα στο αίθριο, και για τις περιόδους αξιολόγησης του 2013 και 2014 όταν εγκαταστάθηκε η πέργκολα στο αίθριο. Οι μετρήσεις από τον μετεωρολογικό σταθμό του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκαν ως αναφορά. Οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας υπολογίστηκαν από το σύνολο των μετρήσεων που γίνονταν στη διάρκεια μιας μέρας. Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι μεταξύ των δύο περιόδων δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές. Από την άλλη πλευρά όμως οι τιμές της μέσης θερμοκρασίας πάνω και κάτω από την πέργκολα που συγκρίθηκαν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές, η θερμοκρασία πάνω από την πέργκολα (στα 3,5m) ήταν 1.5 έως 4.5 $^{\circ}\text{C}$ υψηλότερη σε σχέση με τη θερμοκρασία κάτω από τα φυτά που δημιουργούσαν σκίαση. Η σχετική υγρασία ήταν 4-13% υψηλότερη κάτω από την πέργκολα.

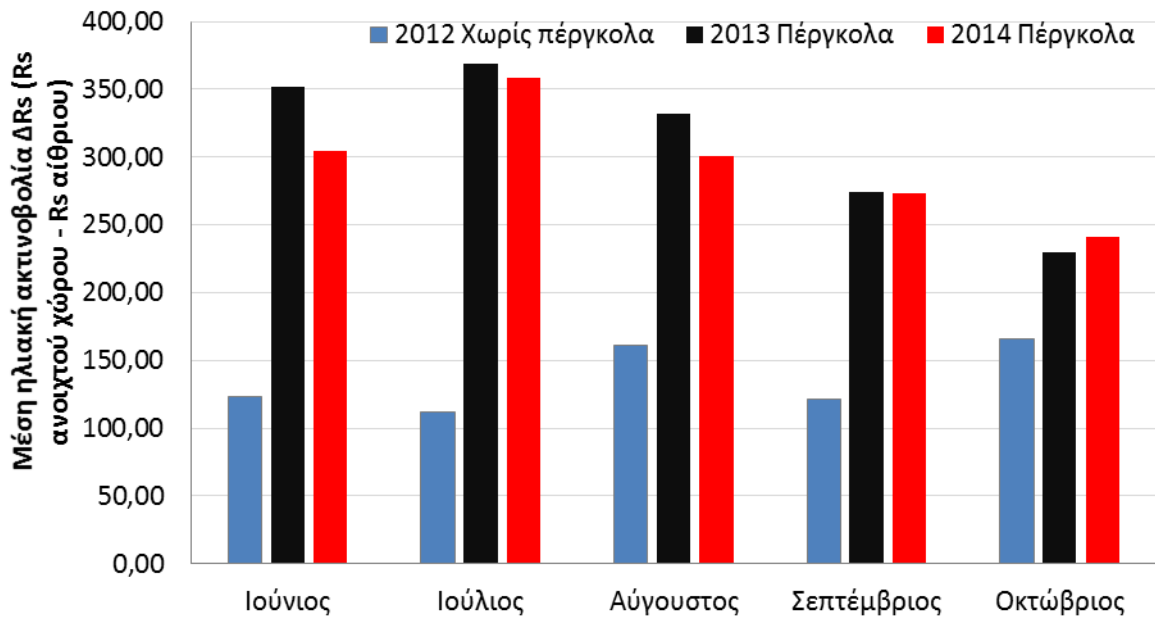
Στο Διάγραμμα 7 παρουσιάζονται οι διαφορές στις μέσες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας (R_s σε W m^{-2}) για το έτος 2012, όταν δεν υπήρχε η πέργκολα στο αίθριο και για τις περιόδους αξιολόγησης του 2013 και 2014, όταν εγκαταστάθηκε η πέργκολα στο αίθριο. Οι μετρήσεις από τον μετεωρολογικό σταθμό του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκαν ως αναφορά. Από μία περίοδο της ημέρας, ειδικά από τις 9:00 έως στις 17:00, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές για τον υπολογισμό της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας. Ήταν αναμενόμενο και προφανές και το οποίο αποδείχθηκε από τα στοιχεία και τη στατιστική ανάλυση, ότι η εγκατάσταση της πέργκολας μείωσε την ηλιακή ακτινοβολία κάτω από το επίπεδο των φυτών.



- 2012, ΔT (T ανοιχτού χώρου - T αίθριου χωρίς πέργκολα)
- = 2013, ΔT (T ανοιχτού χώρου - T αίθριου κάτω από πέργκολα)
- = 2014, ΔT (T αίθριου κάτω από πέργκολα - T αίθριου πάνω από πέργκολα)
- 2013, ΔT (T αίθριου κάτω από πέργκολα - T αίθριου πάνω από πέργκολα)
- // 2014, ΔT (T αίθριου κάτω από πέργκολα - T αίθριου πάνω από πέργκολα)

- 2012, ΔRH (RH ανοιχτού χώρου - RH αίθριου χωρίς πέργκολα)
- = 2013, ΔRH (RH ανοιχτού χώρου - RH αίθριου κάτω από πέργκολα)
- = 2014, ΔRH (RH αίθριου κάτω από πέργκολα - RH αίθριου πάνω από πέργκολα)
- 2013, ΔRH (RH αίθριου κάτω από πέργκολα - RH αίθριου πάνω από πέργκολα)
- // 2014, ΔRH (RH αίθριου κάτω από πέργκολα - RH αίθριου πάνω από πέργκολα)

Διάγραμμα 6: Διαφορές μέσης θερμοκρασίας (ΔT σε °C, αριστερά) και μέσης σχετικής υγρασίας (ΔRH σε %, δεξιά) για το έτος 2012 όταν δεν υπήρχε η πέργκολα στο αίθριο και για το 2013 και 2014 όταν εγκαταστάθηκε η πέργκολα στο αίθριο.



Διάγραμμα 7: Διαφορές μέσης ηλιακής ακτινοβολίας (R_s σε $W m^{-2}$) για το έτος 2012 όταν δεν υπήρχε η πέργκολα στο αίθριο και για το 2013 και 2014 όταν εγκαταστάθηκε η πέργκολα στο αίθριο.

Συζήτηση

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ακόμη και το απλούστερο σε διάταξη Σύστημα Β παρείχε πολύ ελπιδοφόρα αποτελέσματα σε όλα τα επίπεδα (ανάπτυξη φυτών: Διάγραμμα 3, ανάγκες φροντίδας: Πίνακας 2, Πίνακας 3 και σκίαση: Διάγραμμα 5). Κάποιοι παράμετροι θα μπορούσε να προσαρμοστούν καλύτερα με τη χρήση αυτοματισμών. Για παράδειγμα, η υγρασία του υποστρώματος θα ήταν πιο σταθερή (Διάγραμμα 1) αν η άρδευση εφαρμόζονταν περιοδικά (οι περισσότεροι σύγχρονοι προγραμματιστές άρδευσης διαθέτουν χειροκίνητη λειτουργία υπολογισμού του νερού) ή με τη χρήση αισθητήρων ή αισθητήρες υγρασίας υποστρώματος (van Iersel et al., 2013) ή αισθητήρες απορροής (Rodríguez et al., 2015) έναντι της εφαρμογής ενός συμβατού προγράμματος άρδευσης. Εξοικονόμηση νερού σημειώθηκε όταν στο Σύστημα Α χρησιμοποιήθηκε λιγότερο νερό για τις ανάγκες ανανέωσης του θρεπτικού διαλύματος (Πίνακας 2). Και στις δύο περιπτώσεις λόγω του κλειστού συστήματος λειτουργίας υπήρξε μεγάλη εξοικονόμηση νερού. Η εξοικονόμηση του νερού θα ήταν ακόμη μεγαλύτερη αν χρησιμοποιούνταν εναλλακτικές πηγές νερού (συλλογή βρόχινου νερού ή γκρίζου νερού που θα ήταν μια πολύ ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση). Η μέση ημερήσια κατανάλωση νερού ήταν χαμηλή (Διάγραμμα 2), αν και το 2014 τα φυτά ήταν μεγαλύτερου μεγέθους. Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό γιατί χρησιμοποιήθηκαν φυτά με χαμηλές ανάγκες σε νερό, με στόχο τη δημιουργία μιας πέργκολας με φυτά που βρίσκονται σε κάθε κήπο της Μεσογείου, ώστε να είναι οπτικά συμβατή με την κοινή εικόνα για αυτούς τους τύπους κήπων.

Όσο αφορά την ανάπτυξη των φυτών (Διάγραμμα 3, Διάγραμμα 4), η *Dimorphoteca sinuata* παρείχε την καλύτερη κάλυψη και στις δύο περιόδους αξιολόγησης. Η *Santolina chamaecyparissus* είχε πολύ καλή συμπεριφορά και στις δύο περιόδους, ενώ η *Lavandula angustifolia* έδειξε καλύτερα αποτελέσματα κατά τη δεύτερη περίοδο αξιολόγησης (2014). Προτείνεται η χρήση της *Dimorphoteca sinuata* λόγω της ζωηρής ανάπτυξής της. Τα δεδομένα της φυλλικής επιφάνειας των φύλλων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμηθεί ο δείκτης της φυλλικής επιφάνειας (LAI m² φύλλων m⁻² επιφάνεια του εδάφους) για οποιοδήποτε εναλλακτικό σχεδιασμό βασισμένο στα φυτά που αξιολογήθηκαν.

Τόσο η θερμοκρασία του αέρα όσο και η σχετική υγρασία κάτω από την πέργκολα (2013 και 2014) είχαν τις ίδιες μικρές διαφορές σε σύγκριση με τις τιμές από τον μετεωρολογικό σταθμό του θερμοκηπίου, όπως όταν δεν υπήρχε η πέργκολα στο αίθριο (2012) (Διάγραμμα 6). Καθώς η σκίαση θεωρείται το πιο αποτελεσματικό μέσο για τον περιορισμό της θερμικής καταπόνησης (Steeners et al., 1998; Matzarakis et al., 2007; Ali-Toudert and Mayer, 2007; Andreou, 2013; Watanabe et al., 2014) η εγκατάσταση της πέργκολας θεωρήθηκε μια πολύ καλή λύση για την βελτίωση της κατάστασης στο αίθριο μειώνοντας σημαντικά την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (Διάγραμμα 5, Διάγραμμα 7). Πέργκολες θα μπορούσαν να τοποθετηθούν σε διάφορες κατάλληλες θέσεις έτσι ώστε να είναι ορατές από τα μπαλκόνια και από το εσωτερικό των γύρω κτιρίων. Αυτό έχει θετικές επιπτώσεις στη διάθεση της πλειοψηφίας του αστικού πληθυσμού. Αυτό θα μπορούσε να συνδυαστεί και με την δυνατότητα της υδροπονικής πέργκολας να δέχεται ανεξάρτητους φυτευτικούς φορείς επιτρέποντας την δημιουργία σχημάτων και γραμμάτων. Αυτό το χαρακτηριστικό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία απλών διαφημιστικών μηνυμάτων που θα μπορούσαν να καλύψουν μέρος της συντήρησης του συστήματος.

Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία έγινε στο πλαίσιο της προσπάθειας να υιοθετηθεί η τεχνολογία της υδροπονίας για έργα πράσινου σε αστικά περιβάλλοντα. Η υδροπονική πέργκολα έχει το πλεονέκτημα ότι καταλαμβάνει ένα πολύ περιορισμένο χώρο στο έδαφος, ενώ έχει τη δυνατότητα να συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην αύξηση του αστικού πρασίνου ανά κάτοικο. Τα κλειστού τύπου υδροπονικά συστήματα έχουν την δυνατότητα εξοικονόμησης νερού και θρεπτικών στοιχείων. Επιπλέον η χρήση κλειστών δοχείων (φυτευτικοί φορείς) για την ανάπτυξη των φυτών εμποδίζει την απώλεια νερού λόγω της περιορισμένης ή και καθόλου εξάτμισης του νερού. Η ανάπτυξη των φυτών σε υδροπονικά συστήματα απαιτεί ακριβή έλεγχο του θρεπτικού διαλύματος. Τα αποτελέσματα έδειξαν επίσης ότι το Σύστημα Β τα πήγε τόσο καλά ώστε να έχει δυνατότητες πρακτικής αξιοποίησης. Οι επιδράσεις στο μικροκλίμα κάτω από το επίπεδο των φυτών ήταν θετική όσον αφορά τη σκίαση. Μία σειρά από φυτά αξιολογήθηκαν και μεταξύ αυτών ξεχώρισαν η *Dimorphoteca sinuate*, η *Santolina chamaecyparissus* και η *Lavandula angustifolia*. Η χρήση της *Dimorphoteca sinuata* μάλιστα συστήνεται μια και ήταν το φυτό που κάλυπτε την μεγαλύτερη επιφάνεια συμβάλλοντας σημαντικά στην σκίαση.

Βιβλιογραφία

Alexandri, E & Jones, P, 2008. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43 (4): 480-493

Ali-Toudert, F., Mayer, H., 2007. Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy* 81, 742–754. doi:10.1016/j.solener.2006.10.007

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and Drainage Paper No 56. FAO, Rome. Retrieved December 1st, 2011 from: <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm>.

Bass, B. and B. Baskaran, 2003: Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaption Strategy for Urban Areas: Impacts and Evaluations Progress Report. April 1, 1999 – March 3, 2001.

Benvenuti S., 2009. Germination ecology of Mediterranean species from natural “living walls”. ISHS 2nd International Conference on Landscape and Urban Horticulture Bologna, Italy 9-13 June 2009

Blanc P., 2009. Mur Vegetal – Main Works (διαθέσιμο στο: <http://www.verticalgardenpatrickblanc.com>)

Cantor S. L., 2008. Green roofs in sustainable landscape design. W.W. Norton & Company Ltd, New York.

Dalley Stephanie, 2015. Article: «What Happened to the Hanging Garden of Babylon?». Wonders and Marvels. Available at the: <http://www.wondersandmarvels.com/2015/06/the-mystery-of-the-hanging-garden-of-babylon.html>. Accessed: 05/09/2016.

Decagon Devices, 2011. Calibration Equations for the ECH2O EC-5, ECH2O-TE and 5TE Sensors. Application Note 13392-03. Retrieved November 10th, 2015 from: http://manuals.decagon.com/Application%20Notes/13392_Calibration%20Equations%20for%20EC-5%20TE%20and%205TE_Print.pdf.

Elazzarin, M. R., Castellotti, F., Busato, F. 2005. Experimental measurements and numerical modeling of a green roof. *Energy and Buildings*, 37:1260-1267.

Eumorfopoulou E., D. Aravantinos. 1998. The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece. *Energy and Buildings*. 27(1):29-36.

Fang Fang C (2008). Evaluating the thermal reduction of plant layers on rooftops. *Energy and Buildings*, 40 (6): 1048-1052

Hassaan, A., Mahmoud, A., 2011. Analysis of the microclimatic and human comfort conditions in an urban park in hot and arid regions. *Building and Environment* 46, 2641-2656. doi:10.1016/j.buildenv.2011.06.025

Hoffman L. and W. McDonough, 2004. Green Roofs: Ecological Design And Construction. Earth Pledge Foundation, Schiffer Publishing.

Holm, D., 1989: Thermal improvement by means of leaf cover on external walls - a simulation model. *Energy and Buildings*, 14:19-30.

Hoyano, A., 1988: Climatological uses of plants for solar control and the effects on the thermal environment of a building. *Energy Buildings*, 11:181-199.

Kabisch, N., Haase, D., 2013. Green spaces of European cities revisited for 1990–2006. *Landscape and Urban Planning* 110, 113– 122. doi:10.1016/j.landurbplan.2012.10.017

Keys David. 2013. Article: «The biggest wonder about the Hanging Gardens of Babylon? They weren't in Babylon». *The Independent*. Available at the: <http://www.independent.co.uk/news/science/archaeology/features/the-biggest-wonder-about-the-hanging-gardens-of-babylon-they-weren-t-in-babylon-8604649.html>. Accessed: 05/09/2016.

Luvall, J.C., and H. R. Holbo, 1989: Measurements of short-term thermal responses of coniferous forest canopies using thermal scanner data. *Remote Sensing of Environment*, 27:1-10.

Monteith, J L & Unsworth A M, 2008. *Principles of environmental Physics*, 3rd Edition. Academic Press, Elsevier.

Montero, J.L., Salas, M.C., 2009. Hydroponic pergola as an example of living furniture in urban landscape. ISHS 2nd International Conference on Landscape and Urban Horticulture Bologna, Italy 9-13 June 2009

Sailor D J (2008). A green roof model for building energy simulation programs. *Energy and Buildings*, 40 (8): 1466-1478

Salas, M.C., Montero, J.L., 2009. Hydroponic system for growing ground cover plants on vertical surface. ISHS 2nd International Conference on Landscape and Urban Horticulture Bologna, Italy 9-13 June 2009

Santamouris M., Georgakis C., 2003. Energy and indoor climate in urban environments: recent trends. *Building Services Engineering Research and Technology*, Vol. 24, No. 2, 69-81

Santamouris. M., Pavlou, C., Doukas, P., Mihalakakou, G., Synnefa, A., Hatzibiros, A., Patargias, P., 2007. Investigating and analyzing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece. *Energy*, 32: 1781-1788.

Takebayashi H & Moriyama M (2007). Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment*, 2 (8): 2971-2979

Tan et al., 2007: Heat wave impacts on mortality in Shanghai, 1998 and 2003, *Int. J. Biometeorology*, 51, 193–200

Wilmers, F., 1988: Green for amelioration of urban climate. *Energy and Buildings*, 11:288-299.

Yang J; Yu Q; Gong P, 2008. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. Atmospheric Environment, 42 (31): 7266-7273.

Αλάγκρο, 2016. Άρθρο: «Κλειστά και ανοικτά συστήματα υδροπονίας». Διαθέσιμο στο: <http://www.alagro.gr/kleista-kai-anoikta-systhmata-ydroponias/>. Προσπελάστηκε: 17/08/2016.

Βαρθακούρη Α., 2010. Πτυχιακή εργασία. «Η βιολογική καταπολέμηση των εχθρών των καλλωπιστικών φυτών σε κοινόχρηστους χώρους του Δήμου Ηρακλείου». ΑΤΕΙ Κρήτης, Ηράκλειο.

Γιακουμέλου Π., 2010. Πτυχιακή εργασία: «Κάθετες και οριζόντιες φυτεύσεις δωματίων στο αστικό περιβάλλον - Τεχνολογία, οφέλη , παραδείγματα». ΑΤΕΙ Καλαμάτας, Καλαμάτα.

Δαμιανός Ν., 2014. Εγχειρίδιο Υδροπονίας - Εκπαιδευτικό Κέντρο Υδροπονίας ΙΓΕ. Εκδόσεις Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών, Λευκωσία.

ΕΜΥ, Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2014. Κλιματολογικά στοιχεία Άρτας (ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ: 1976-1997), Διαθέσιμο στο: http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/climatology_region_diagrams_html?dr_city=Arta&dr_region=ClimEpirus. Προσπελάστηκε: 20/1/2014

Έργο "hydroflies", Ελλάδα - Κύπρος 2007 – 2013. Ορθολογική διαχείριση βιοτικών και αβιοτικών παραμέτρων σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας και μαρουλιού. Διαθέσιμο στο: <http://web.cut.ac.cy/hydroflies/images/stories/hydroflies/documents/simiomatarioelgo.pdf>. Προσπελάστηκε: 10/09/2016.

Καψάλη Θ. Ε., 2013. Μεταπτυχιακή μελέτη: «Διερεύνηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων υποστρωμάτων με βάση των ελαφρόπετρα και προσδιορισμός της ανάπτυξης αυτοφυών φυτών τα οποία αναπτύσσονται σε συνθήκες φυτοδώματος». Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Κώτσιρας Α., 2016. Άρθρο: «Υδροπονικές καλλιέργειες λαχανικών». Διαθέσιμο στο: <http://www.hydroponics.teikal.gr/index.php/plhroforiako-yliko/2-uncategorised/15-ydroponikes-kalliergeies-laxanikwn>. Προσπελάστηκε: 17/08/2016.

Μαρίνου Ε., 2011. Πτυχιακή εργασία: «Επίδραση υποστρώματος και υποδοχέων σε υδροπονική καλλιέργεια φράουλας». ΑΤΕΙ Κρήτης, Ηράκλειο.

Νεκτάριος Π., 2007. Φυτοκάλυψη δομημένων χώρων στα αστικά κέντρα, δυνατότητες και προοπτικές της Ελληνικής πραγματικότητας. 1ο συνέδριο "Πράσινες Οροφές για μια Βιώσιμη Αττική", Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Ολιβιέ Φιλίππι, 2008. Για έναν άνυδρο κήπο. Εκδόσεις Καστανιώτη Αθήνα.

Παγκάλου Ε., 2005 Σύγχρονη Τεχνολογία Κατασκευής Πράσινων Στεγών – Εγκατάσταση Πράσινης Στέγης σε Κτήρια της ΔΕΗ. ΕΕΕΕ ΕΠΕ, Αθήνα

Παπαϊωάννου Γ., 2007 , Πράσινες στέγες (διαθέσιμο στο: <http://www.ecpcrete.gr>)

Πατεράκης Π., 2013. Μεταπτυχιακή μελέτη: «Συγκριτική αξιολόγηση εγχώριων υποστρωμάτων καλλιέργειας εκτός εδάφους για παραγωγή τομάτας σε θερμοκήπιο». Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Πετρόπουλος Ν., 2000. Οροφόκηποι. Διδακτικές Σημειώσεις. ΤΕΙ Ηπείρου Τμ. ΑΑΤ, Άρτα.

Σάββας Δ., 2012. Καλλιέργειες εκτός εδάφους - Υδροπονία, Υποστρώματα. Εκδόσεις Αγροτύπος. Αθήνα.

Σάββας Δ., 2008. Χαρακτηριστικά φυσικών πορωδών υλικών για χρήση τους ως υποστρώματα στις καλλιέργειες εκτός εδάφους. Παρουσίαση σε ημερίδα PoPruRa, Πρέβεζα 9-2008

Σιάνου Α., 2015. Άρθρο: «Υδροπονικά συστήματα - Καλλιέργεια εκτός εδάφους». Διαθέσιμο στο: <http://www.cropscience.gr/el/articles/ydroponika-systimata-kalliergeia-ektos-edafous>. Προσπελάστηκε: 08/09/2016.

Τσαγδής Χ., 2014. Διπλωματική εργασία: «Ενεργειακή αξιολόγηση τεχνικών ανάπλασης εξωτερικών δημόσιων χώρων». Πολυτεχνείο Κρήτης - τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά.

Τσιρογιάννης Ι.Λ., Βάρρας Γρ., 2009. Αξιολόγηση επιδράσεων σχετικά με εγκατάσταση πράσινου σε κτήρια και ανάπτυξη καινοτόμων υδροπονικών κατασκευών για φυτεύσεις. Πρόταση που υποβλήθηκε στο πλαίσιο του ΕΣΠΑ 2007-2013, «ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ ΙΙΙ: ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΑ ΤΕΙ»

Φέτση Θ., 2012. Εργασία Μαθήματος - Περιβαλλοντικές συνιστώσες του σχεδιασμού και της οικιστικής ανάπτυξης: «Ο επαναπροσδιορισμός του αστικού πρασίνου στον αστικό ιστό. Η περίπτωση των φυτεμένων δωματίων και κάθετων φυτεύσεων». ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, Αθήνα.

Πηγές Internet

www.wondersandmarvels.com

www.tovima.gr

www.pigesartas.gr

Παράρτημα Ι: Διάφορα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια και των δύο περιόδων αξιολόγησης

Κατά τη διάρκεια της 1^{ης} και της 2^{ης} περιόδου αξιολόγησης (2013 και 2014) παρουσιάστηκαν τα εξής προβλήματα:

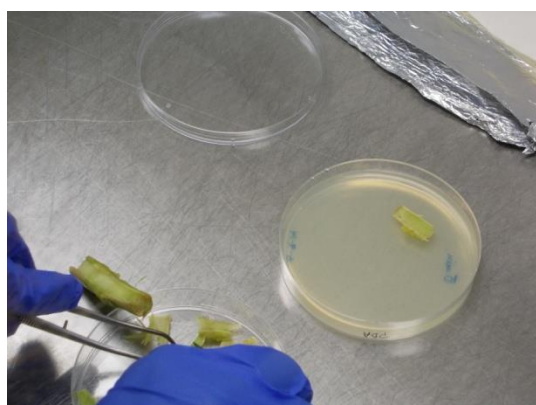
Μετά από τις εργαστηριακές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο ΤΕΙ Ηπείρου και από την κα Δήμου Δήμητρα -Γεωπόνο-, εξακριβώθηκε πως πρόκειται για ένα είδος φυτοπαθογόνου βακτηρίου του γένους *Erwinia* όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 49: Προσβολή σε βλαστό Γερανιού (*Pelargonium zonale*) από το φυτοπαθογόνο βακτήριο *Erwinia* sp.



Εικόνα 50: Δείγματα βλαστού προς καλλιέργεια



Εικόνα 51: Καλλιέργεια δειγμάτων βλαστού σε άγαρ



Εικόνα 52: Χαρακτηριστική εξάπλωση του βακτηρίου *Erwinia* sp.



Εικόνα 53: Προσβολή Σερφίνιας (*Petunia surfinia*) από το Κοκκοειδές έντομο *Icerya purchasi*



Εικόνα 54: Προσβολή Γκαζάνιας (*Gazania rigens*) από Ωίδιο (*Oidium* sp) με αποτέλεσμα την ξήρανση της



Εικόνα 55: Ξήρανση Δενδρολίβανου έρπον (*Rosmarinus officinalis* "Prostratus") λόγω αυξημένης υγρασίας του υποστρώματος

Παράσημα II: Εναλλακτικές μορφές υδροπονικής πέργκολας

Οι εναλλακτικές μορφές της υδροπονικής πέργκολας θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορους δημόσιους χώρους όπως π.χ. πλατειές, πεζοδρόμια, λιμάνια, αεροδρόμια κ.α. είτε στην είσοδο εκθεσιακών χώρων καθώς επίσης και σε ιδιωτικούς χώρους όπως π.χ. ξενοδοχεία, ταβέρνες, κήπους κ.α. Στη συνέχεια παρουσιάζονται μερικές ιδέες για δημόσιους και ιδιωτικούς χώρους.



**Εικόνα 56: Πέργκολα στο λιμάνι της Μάλαγας στην Ανδαλουσία της Ισπανίας
σχεδιασμένη από τον Αρχιτέκτονα Jeronimo Junquera
(πηγή: www.ianthearchitect.org/making-waves-with-the-new-cruise-terminal-in-malaga/)**



Εικόνα 57: Πέργκολα στον τερματικό σταθμό του αεροδρομίου της πολιτείας Γκόα της Ινδίας (πηγή: ssmb.in/goa-airport/)



Εικόνα 58: Πέργκολα στο αεροδρόμιο της Φρανκφούρτης στον τερματικό σταθμό 1 (πηγή: www.e-architect.co.uk/frankfurt-architecture)



Εικόνα 59:Μελέτη για κατασκευή πέργκολας στο AIDS Memorial Park στην Νέα Υόρκη προς υπενθύμιση για τα πολυάριθμα θύματα του AIDS (πηγή:inhabitat.com/nyc/studio-ai-reimagines-aids-memorial-park-design-as-a-fresh-green-triangular-canopy/)



Εικόνα 60:Τοποθετημένη πέργκολα στο κέντρο του Central Park της Νέας Υόρκης σχεδιασμένη από τον Φρέντερικ Λόου Όλμστεντ -Αρχιτέκτονας τοπίου- ο οποίος είναι και ο σχεδιαστής όλου του πάρκου (πηγή:www.olmstedparks.org/our-parks/central-park/)



**Εικόνα 61: Πέργκολα στο South Bank Parklands στο Brisbane της Αυστραλίας
(πηγή: www.ronstantensilearch.com/southbank-arbour-greening-system/)**



**Εικόνα 62: Πέργκολα σε εστιατόριο στο Λονδίνο στην οροφή ενός κτιρίου
(πηγή: blondeacrossthepond.com/pergola-on-the-roof/)**



**Εικόνα 63: Πέργκολα σε Ελληνική παραδοσιακή ταβέρνα
(πηγή: www.topzante.com/food-nightlife/tavern-to-ladofanaro-tou-farandou)**

Παράρτημα III: Η υδροπονική πέργκολα ως καινοτομία

Η ιδέα της υδροπονικής πέργκολας πήρε μέρος στον 1^ο Πανελλήνιο Διαγωνισμό Καινοτομίας και Νεανικής Επιχειρηματικότητας που πραγματοποιήθηκε στο "Innovathns - Κόμβος Καινοτομίας και Επιχειρηματικότητας της Τεχνόπολης του Δήμου Αθηναίων" στο Γκάζι, έναν πολύ μοντέρνο και ιδιαίτερα όμορφο χώρο. Τον διαγωνισμό διοργάνωσε το Ίδρυμα Νεολαίας και Δια Βίου Μάθησης (ΙΝΕΔΙΒΙΜ) με σκοπό την ανάδειξη και προώθηση της επιχειρηματικότητας, της καινοτομίας και της εξωστρέφειας στο νεανικό ανθρώπινο δυναμικό της Ελλάδας. Η εκδήλωση πραγματοποιήθηκε υπό την αιγίδα του υπουργείου Παιδείας και Θρησκευμάτων και με την υποστήριξη του Γραφείου Ενημέρωσης του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου στην Ελλάδα καθώς και της Αντιπροσωπείας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στην χώρα μας. Κατάφερε και πήρε το 8^ο βραβείο ανάμεσα σε ερευνητικά project Πανεπιστημίων και Διαδικτυακές Πλατφόρμες μέχρι ελληνικές παιδικές τροφές και μουσικές πλατφόρμες βασισμένες στην τοπικότητα.



Εικόνα 64: Παρουσίαση της υδροπονικής πέργκολας, αριστερά φαίνεται ο φυτευτικός φορέας που είναι ένα από τα πολλά αποσπώμενα μέρη που φέρει τα φυτά



Εικόνα 65: Παρουσίαση της υδροπονικής πέργκολας στους κριτές του ideatree και στους υπόλοιπους διαγωνιζόμενους

