

Τμ. Τεχνολόγων Γεωπόνων, Κατ. Ανθοκομίας – Αρχιτεκτονικής Τοπίου

Πτυχιακή εργασία

**Αξιολόγηση εναλλακτικών πηγών νερού ως προς τη δυνατότητα
άρδευσης χλοοτάπητα και άλλων φυτών κηποτεχνίας**



ΣΙΓΑΛΑ ΜΑΡΓΑΡΙΤΑ | ΛΕΚΚΑΣ ΚΙΜΩΝ ΓΙΑΝΝΗΣ | ΑΝΥΦΑΝΤΗ ΚΑΤΕΡΙΝΑ

Άρτα 2014

Εκπαιδευτικό ίδρυμα:	Τ.Ε.Ι. Ηπείρου
Τμήμα:	Τμ. Τεχνολόγων Γεωπόνων, Κατ. Ανθοκομίας – Αρχιτεκτονικής Τοπίου
Τίτλος:	Αξιολόγηση Εναλλακτικών Πηγών Νερού ως προς τη Δυνατότητα Άρδευσης Χλοοτάπητα και Άλλων Φυτών Κηποτεχνίας
Σπουδαστές:	Σιγάλα Μαργαρίτα Λέκκας Κίμων Γιάννης Ανυφαντή Κατερίνα
ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ:	Τσιρογιάννης Ιωάννης Επίκουρος Καθηγητής, Τμ. ΑΑΤ ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ
Τόπος:	ΑΡΤΑ
Έτος:	2014

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε ολόψυχα τον καθηγητή μας κ. Τσιρογιάννη Ιωάννη και τη συνεργάτη του κ. Φωτιά Κωνσταντίνα για την συνεργασία, την πολύτιμη βοήθεια και την υπομονή που έδειξαν κατά την διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Ακόμη, πολλές ευχαριστίες ανήκουν στον υπεύθυνο του εργοστασίου επεξεργασίας υδάτων της ΔΕΥΑΑ, κ. Κωνσταντίνο Καρέλη για τη συνεχή υποστήριξη του κατά τη διάρκεια των δοκιμών.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	7
Σύγχρονα συστήματα άρδευσης και εναλλακτικές πηγές νερού	9
Βασικές παράμετροι σχεδιασμού ενός αρδευτικού συστήματος	9
Συστήματα άρδευσης.....	9
Πρόγραμμα άρδευσης	11
Νερό άρδευσης.....	14
Νερό δικτύου - μεταχείριση αναφοράς.....	14
Επεξεργασμένο νερό.....	14
Γκρίζο νερό.....	14
Αυτοματισμοί	15
Υλικά και μέθοδοι.....	16
Γεωγραφική θέση.....	16
Κλιματικά στοιχεία.....	17
Έδαφος.....	19
Φυτικό υλικό	21
Χλοοτάπητας.....	21
Θάμνοι.....	22
Μεταχειρίσεις.....	23
Νερό δικτύου - μεταχείριση αναφοράς (TW_C)	25
Γκρίζο νερό (GW)	25
Συλλογή γκρίζου νερού	25
Φίλτρο γγκρίζου νερού	25
Επεξεργασμένο νερό (GW)	26
Προμήθεια εξεργασμένου νερού.....	26
Σύστημα άρδευσης.....	27
Σταλακτηφόροι.....	28
Πρόγραμμα άρδευσης πειράματος	28
Προγραμματιστής και αυτοματισμοί.....	30
Λίπανση και φυτοπροστασία	31
Χλοοτάπητας.....	31
Θάμνοι.....	31

Συστήματα μέτρησης παραμέτρων αξιολόγησης	32
Μετεωρολογικός σταθμός θερμοκηπίου ΤΕΙ, Δ. Σάββας.....	32
Μέτρηση υγρασίας εδάφους.....	32
Υδρόμετρα (ρολόγια μέτρησης νερού).....	34
Ποσοτική & ποιοτική αξιολόγηση χλοοτάπητα	34
Αξιολόγηση ανάπτυξης - ξηρό βάρος κοπών	34
Εκτίμηση ποιότητας χλοοτάπητα μέσω μετρήσεων από απόσταση και χρήση αντικειμενικών δεικτών	36
Ανάκλαση ακτινοβολίας από τα φυτά	36
Φορητό πολυφασματικό ραδιόμετρο	39
Ποσοτική & ποιοτική αξιολόγηση θάμνων.....	41
Ανάπτυξη θάμνων	41
Οπτική αξιολόγηση θάμνων	41
Αποτελέσματα.....	42
Κλίμα	42
Κατανάλωση νερού για άρδευση	43
Ποσότητα χλοοτάπητα (κοπές).....	44
Ποιότητα χλοοτάπητα	45
Ανάπτυξη θάμνων	46
Αμπέλια	46
Λιγούστρο.....	47
Φωτίνια.....	48
Βιβούρνο	49
Αγγελική	49
Τούγια	50
Συμπεράσματα.....	51
Χλοοτάπητας	51
Θάμνοι	51
Αναφορές.....	53

Εικόνες

Εικόνα 1 Τυπικό σύστημα μικροάρδευσης έργου πράσινου με σταλακτηφόρους σωλήνες (επάνω) και υπόγειο σύστημα με σταλακτηφόρους σωλήνες για άρδευση χλοοτάπητα (κάτω).....	10
Εικόνα 2 Βασικές έννοιες άρδευσης (πηγή: Τσιρογιάννης, 2007).....	12
Εικόνα 3 Διακύμανση εδαφικής υγρασίας στο πλαίσιο άρδευσης χλοοτάπητα	13
Εικόνα 4 Χάρτης νομού Άρτας (πηγή: www.hellogreece.gr/ipiros/arta_hotels.html)	16
Εικόνα 5 Γενική κατοψη της περιοχής μελέτης (πηγή: GOOGLE EARTH, 2014)	17
Εικόνα 6 Ομβροθερμικό διάγραμμα Άρτας.....	18
Εικόνα 7 Τριγωνικό διάγραμμα για την μηχανική σύσταση του εδάφους (με κύκλο σημειώνεται η θέση που αντιστοιχεί στο έδαφος που χρησιμοποιήθηκε).....	20
Εικόνα 8 Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας για το έδαφος που χρησιμοποιήθηκε.....	20
Εικόνα 9 Εγκατάσταση χλοοτάπητα με την καθοδήγηση του κ. Γ. Ντούντα (Αρχιτεκτονική Τοπίου)....	21
Εικόνα 10 Γενική διάταξη πειράματος	24
Εικόνα 11 Φίλτρο Aqua2use.....	26
Εικόνα 12 Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων Άρτας	26
Εικόνα 13 Προμήθεια επεξεργασμένου νερού	27
Εικόνα 14 Προγραμματιστές και αισθητήρες βροχής	31
Εικόνα 15 Μετεωρολογικός σταθμός.....	32
Εικόνα 16 Αισθητήρας ec5 και η σχετική περιοχή δείγματος	33
Εικόνα 17 Καταγραφικό (data logger) Decagon em50.....	33
Εικόνα 18 Υδρόμετρα	34
Εικόνα 19 Δειγματοληπτική κοπή χλοοτάπητα	35
Εικόνα 20 Εξοπλισμός κοπής χλοοτάπητα.....	35
Εικόνα 21 Φάσμα ανάκλασης από φυτικές επιφάνειες διαφορετικού τύπου καθώς και από φύλλα υπό μάρανση (Smith, 2011)	37
Εικόνα 22 Πειραματικές πληροφορίες στο πλαίσιο ανάπτυξης του pri (gamon, 2014)	38
Εικόνα 23 Τυπικό διάγραμμα ανάκλασης από φυτική επιφάνεια (cropscan, σημειώνονται οι περιοχές μέτρησης του multispectral radiometer 87).....	39
Εικόνα 24 Φορητό πολυφασματικό ραδιόμετρο CropScan.....	40
Εικόνα 25 Ενδεικτικό διάγραμμα μετρήσεων ανάκλασης με το Cropscan κατά την περίοδο αξιολόγησης	40
Εικόνα 26 Θερμοκρασίες και βροχές που επικράτησαν στην περιοχή το καλοκαίρι του 2014	42
Εικόνα 27 Συνολική κατανάλωση νερού (lt) ανα μεταχείριση	43
Εικόνα 28 Καταγραφή ξηρού βάρους χλοοτάπητα (gr).....	44
Εικόνα 29 Εξέλιξη του δείκτη PRI cropscan κατά την περίοδο αξιολόγησης.....	45
Εικόνα 30 Εκτίμηση ανάπτυξης αμπέλιας	46
Εικόνα 31 Εκτίμηση ανάπτυξης λιγούστρου	47
Εικόνα 32 Εκτίμηση ανάπτυξης φωτίνιας	48
Εικόνα 33 Εκτίμηση ανάπτυξης βιβούρνου.....	49
Εικόνα 34 Εκτίμηση ανάπτυξης αγγελικής	49
Εικόνα 35 Εκτίμηση ανάπτυξης τούγιας.....	50

Πίνακες

Πίνακας 1 Θάμνοι που χρησιμοποιήθηκαν	22
Πίνακας 2 Εκτίμηση εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με βάση τη μέθοδο Hargreaves	29
Πίνακας 3 Πρόγραμμα άρδευσης πειράματος	30

Εξισώσεις

Εξίσωση 1 Μέθοδος Hargreaves για την εκτίμηση της ΕΤο	28
Εξίσωση 2 Βασικές μορφές φασματικών φυτικών δεικτών	37
Εξίσωση 3 Δείκτης φασματικής ανάκλασης PRIcropscan	40
Εξίσωση 4 Δείκτης ανάπτυξης G.I.	41

Εισαγωγή

Η ανθρωπότητα σήμερα είναι περισσότερο από ποτέ αντικείμενο αυξημένης πίεσης για χρήση των υδατικών πόρων, λόγω της αύξησης του πληθυσμού και της βιομηχανικής ανάπτυξης. Το νερό έχει αρχίσει να γίνεται ένας φυσικός πόρος σε ανεπάρκεια, ιδιαίτερα στις ξηροθερμικές περιοχές.

Η γεωργία είναι ο κύριος χρήστης νερού, με συμμετοχή που ανέρχεται στο 70% σε παγκόσμιο επίπεδο, πάνω από 80% στις περισσότερες χώρες της Μεσογείου και μεταξύ 75% και 80% στην Ελλάδα. Έχει κατά συνέπεια ιδιαίτερη βαρύτητα η ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης που διαμορφώνει αυτό το επίπεδο ζήτησης και η διερεύνηση δυνατοτήτων εξοικονόμησης νερού μέσα από κατάλληλες ενέργειες και επεμβάσεις.

Η ανάγκη να χρησιμοποιηθεί λιγότερο ποιοτικό νερό, είναι πιθανό να αυξηθεί. Η χρήση εναλλακτικού νερού άρδευσης για την διαφύλαξη του πόσιμου νερού είναι υποχρεωτική λόγω της ανησυχίας για την ανεπάρκεια του νερού αλλά και για το κόστος του, τόσο στις περιοχές με αυξημένες βροχοπτώσεις όσο και σε περιοχές που επικρατεί η ξηρασία.

Η ζήτηση του νερού για άρδευση είναι μεγάλη, ενώ η αποτελεσματικότητα του νερού άρδευσης είναι χαμηλή. Η ανάγκη για πιο αποτελεσματική χρήση του νερού άρδευσης είναι επιτακτική λόγω του ανταγωνισμού με τους άλλους χρήστες (ύδρευση και βιομηχανία) και της αυξανόμενης ανησυχίας για το περιβάλλον, αφού η εφαρμοζόμενη αρδευτική πρακτική, σε πολλές περιπτώσεις διευκολύνει την υποβάθμιση των υπόγειων και επιφανειακών νερών. Για να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα του νερού άρδευσης θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ορθολογική διαχείριση του νερού τόσο σε θέματα καθαρά τεχνικά όσο και σε κοινωνικό-οικονομικά.

Στο πλαίσιο της προτεινόμενης εργασίας θα γίνουν τα ακόλουθα:

- Βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με επιλεγμένες εναλλακτικές πηγές νερού άρδευσης (γκρίζο, ανακυκλωμένο / επεξεργασμένο).
- Πειραματική αξιολόγηση που θα αφορά τις ακόλουθες μεταχειρίσεις:
 - ο Μεταχείριση 1_1 : Στην πρώτη μεταχείριση χρησιμοποιήθηκε χλοοτάπητας που αρδεύτηκε με το νερό μάρτυρας, (TW_C)
 - ο Μεταχείριση 1_2 : Στην δεύτερη μεταχείριση χρησιμοποιήθηκε χλοοτάπητας που αρδεύτηκε με γκρίζο νερό , (GW).
 - ο Μεταχείριση 1_3 : Στην Τρίτη μεταχείριση χρησιμοποιήθηκε χλοοτάπητας που αρδεύτηκε με ανακυκλωμένο νερό , RW
 - ο Μεταχείριση 2_1 : Σε αυτή τη μεταχείριση χρησιμοποιήθηκαν θάμνοι οι οποίοι αρδεύτηκαν με νερό μάρτυρας, TW_C

- ο Μεταχείριση 2_2 : Σε αυτή τη μεταχείριση χρησιμοποιήθηκαν θάμνοι που αρδεύτηκαν με γκρίζο νερό, GW
- ο Μεταχείριση 2_3 : Σε αυτή τη μεταχείριση χρησιμοποιήθηκαν θάμνοι που αρδεύτηκαν με ανακυκλωμένο νερό, RW

Ο υπολογισμός των αναγκών σε νερό και η κατάρτιση του προγράμματος άρδευσης έγινε με βάση τη μεθοδολογία που προτείνεται στο FAO-Paper56 (Allen κ.α., 1998) χρησιμοποιώντας ιστορικά κλιματικά δεδομένα.

Οι μετρήσεις αφορούσαν καταγραφή των κλιματικών συνθηκών, της εδαφικής υγρασίας καθώς και της ποσότητας νερού που εφαρμόζεται σε κάθε πειραματικό τεμάχιο.

Για την αξιολόγηση της επίδρασης των διαφορετικών μεταχειρίσεων στον χλοοτάπητα θα χρησιμοποιηθούν: η εμφάνιση του χλοοτάπητα μέσω μετρήσεων από πολυφασματικό ραδιόμετρο και μετρήσεις που αφορούν την ανάπτυξη του χλοοτάπητα (κοπή πάνω από συγκεκριμένη έκταση ανά διαστήματα και ζύγισμα των κομμένων κορυφών) του ξηρού βάρους βλαστού. Για την αξιολόγηση της επίδρασης των διαφορετικών μεταχειρίσεων των θάμνων που χρησιμοποιήθηκαν: οι μετρήσεις των διαστάσεων των θάμνων με την μέθοδο Growth Index.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και συζητούνται σε ειδικά κεφάλαια.

Σύγχρονα συστήματα άρδευσης και εναλλακτικές πηγές νερού

Άρδευση είναι η τεχνητή παροχή νερού σε έδαφος ή άλλο υπόστρωμα με σκοπό την κάλυψη των σχετικών αναγκών των φυτών. Για να μπορούν τα φυτικά σύνολα να ανταποκριθούν στο ρόλο τον οποίο καλούνται να διαδραματίσουν απαιτείται η διατήρηση στην περιοχή του εδάφους όπου αναπτύσσεται το ριζικό σύστημα, κατάλληλων συνθηκών υγρασίας. Πολλές φορές η ίδια η φύση καλύπτει την απαίτηση αυτή μέσω της βροχής και της φυσικής αποστράγγισης. Ο στόχος της άρδευσης των έργων αστικού πράσινου είναι κυρίως η ανταπόκριση των φυτικών συνόλων σε προκαθορισμένες αισθητικές και λειτουργικές απαιτήσεις για τον κάθε χώρο καθώς και η θετική επίδραση του πράσινου στο μικροκλίμα της περιοχής (μείωση απαιτούμενης ενέργειας για ψύξη κτιρίων, δημιουργία ευχάριστων χώρων και διαδρομών για τους ανθρώπους κοκ). Όμως σε περιόδους ξηρασίας ο στόχος αυτός μπορεί να περιοριστεί στην απαίτηση για επιβίωση των φυτών με την ελάχιστη δυνατή χρήση νερού.

Στη χώρα μας έχει συνταχθεί από τη ΓΓΔΕ μία σειρά κανονισμών σχετικά με την άρδευση πράσινου.

Βασικές παράμετροι σχεδιασμού ενός αρδευτικού συστήματος

Βασικές παράμετροι σχεδιασμού ενός αρδευτικού συστήματος είναι οι:

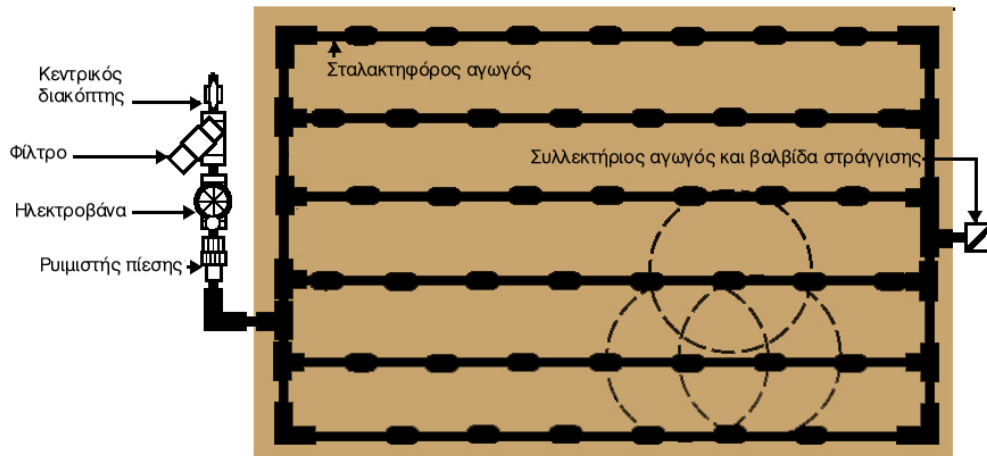
- Σύστημα κατανομής και διανομής νερού
- Πρόγραμμα άρδευσης
- Αυτοματισμοί

Συστήματα άρδευσης

Οι βασικές κατηγορίες συστημάτων άρδευσης είναι οι ακόλουθες:

- Επιφανειακή: Το νερό καλύπτει μεγάλο μέρος της υπό άρδευση έκτασης (λεκάνες, αυλάκια κοκ).
- Με καταιωνισμό: Το νερό διανέμεται με εκτοξευτήρες σε όλη την αρδευόμενη επιφάνεια. Εφαρμόζεται κυρίως για την άρδευση χλοοταπήτων, εδαφοκαλύψεων με μικρά ποώδη φυτά κλπ.
- Μικροάρδευση/Τοπική άρδευση: Η διανομή του νερού γίνεται τοπικά (τοπική άρδευση) σε τμήμα της ριζόσφαιρας του φυτού, με τη χρήση σταλακτών μέσω επιφανειακής ή υπόγειας εγκατάστασης. Εφαρμόζεται για άρδευση δένδρων, θάμνων, ετήσιων φυτών, φυτών εδαφοκάλυψης ή χλοοταπήτων σε ειδικές περιπτώσεις - δεν πρέπει να βρέχονται

γειτονικοί χώροι, υπάρχει έλλειψη νερού ή η ποιότητα αυτού είναι οριακή. Η άρδευση με καταιωνισμό με μικροεκτοξευτήρες αντιμετωπίζεται ως παραλλαγή της τοπικής άρδευσης.



Εικόνα 1 Τυπικό σύστημα μικροάρδευσης έργου πράσινου με σταλακτηφόρους σωλήνες (επάνω) και υπόγειο σύστημα με σταλακτηφόρους σωλήνες για άρδευση χλοοτάπητα (κάτω)

Ειδικότερα ένα τυπικό σύστημα μικροάρδευσης αποτελείται από (Μπαμπίλης, 2004) από:

- πηγή τροφοδοσίας νερού.
- κεφαλή του δικτύου (αντλία, φίλτρα, υδρολιπαντήρας, συστήματα μέτρησης κοκ)
- σωληνώσεις (κύριες, δευτερεύουσες, πλευρικές ή γραμμές άρδευσης) και

- διανεμητές (σταλάκτες, μικροεκτοξευτήρες κ.α.) ή σταλακτοφόροι σωλήνες (πλευρικές ή γραμμές άρδευσης με ενσωματωμένους σταλάκτες).

Το δίκτυο αυτό μπορεί να είναι αυτόνομο, όμως μπορεί να είναι και τμήμα ενός ευρύτερου δικτύου άρδευσης.

Μεταξύ των πλεονεκτημάτων της μικροάρδευσης είναι:

- Οικονομικό σύστημα όσο αφορά την προμήθεια των υλικών και την εγκατάσταση.
- Αποτελεσματικό σύστημα επειδή:
 - ο Το νερό δίνεται κατευθείαν στο ριζόστρωμα των φυτών.
 - ο Μείωση των απωλειών νερού λόγω επιφανειακής απορροής και βαθιάς διήθησης.
 - ο Δεν υπάρχουν σοβαρές απώλειες νερού λόγω εξάτμισης γιατί δεν ρίχνει το νερό στον αέρα.
- Δεν αφήνει να αναπτυχθούν τα ζιζάνια.

Πρόγραμμα άρδευσης

Η κατάρτιση προγράμματος άρδευσης συνίσταται στον υπολογισμό διάρκειας αρδευτικών γεγονότων και συχνότητας αυτών. Για να γίνουν οι σχετικοί υπολογισμοί πρέπει να εκτιμηθούν οι ανάγκες των φυτών σε νερό, οι φυσικές παράμετροι του εδάφους που σχετίζονται με την κίνηση και την αποθήκευση του νερού καθώς και τα χαρακτηριστικά του συστήματος άρδευσης.

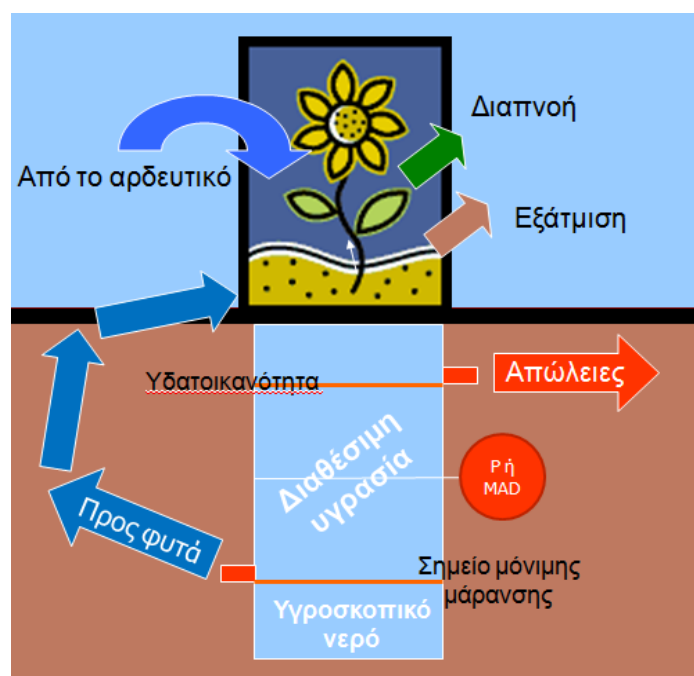
Όσο αφορά την γεωργία, οι ανάγκες των φυτών σε νερό, ο σχετικός προγραμματισμός των αρδεύσεων και η αποτελεσματικότητα των δικτύων άρδευσης έχουν μελετηθεί σε μεγάλη έκταση (τόσο στο εργαστήριο όσο και στον αγρό) για την πλειονότητα των καλλιεργούμενων ειδών. Για το αστικό πράσινο (χώροι πράσινου, νησίδες, πάρκα, γήπεδα κοκ) σχετικές διαδικασίες έχουν ακολουθηθεί κυρίως για τους χλοοτάπητες. Σε κάθε περίπτωση ο συνδυασμός αναγνωρισμένων μεθόδων υπολογισμού εξατμισοδιαπνοής (Allen κ.α., 1998) σε συνδυασμό με φυτικούς συντελεστές για φυτά που χρησιμοποιούνται σε έργα πράσινου (WUCOLS, 2000), μπορούν να δώσουν πολύ καλά αποτελέσματα.

Σύμφωνα με την τυπική προσέγγιση κατάρτισης προγράμματος άρδευσης, η καλλιέργεια θεωρείται ως μία ομοιογενής αρδευτική ζώνη τόσο όσο αφορά τις ανάγκες των φυτών σε νερό όσο και το έδαφος (κλίση, μηχανική κατάσταση). Στο έδαφος μπορούμε να δώσουμε μία μέγιστη δόση σε κάθε άρδευση το μέγεθος της οποίας εξαρτάται από:

την υγρασία του εδάφους,

την καλλιέργεια μέσω του βάθους του ενεργού ριζοστρώματος και το μετά από ποιο ποσοστό εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας πρέπει να γίνει ξανά άρδευση (δεν την εξαντλούμε ποτέ όλη -το ποσοστό έχει βρεθεί από μελέτες που αφορούν την διατήρηση της παραγωγικότητας στο βέλτιστο- γιατί τότε θα φτάναμε και επικίνδυνα κοντά στο σημείο μόνιμης μάρανσης και θα είχαμε μείωση παραγωγής)

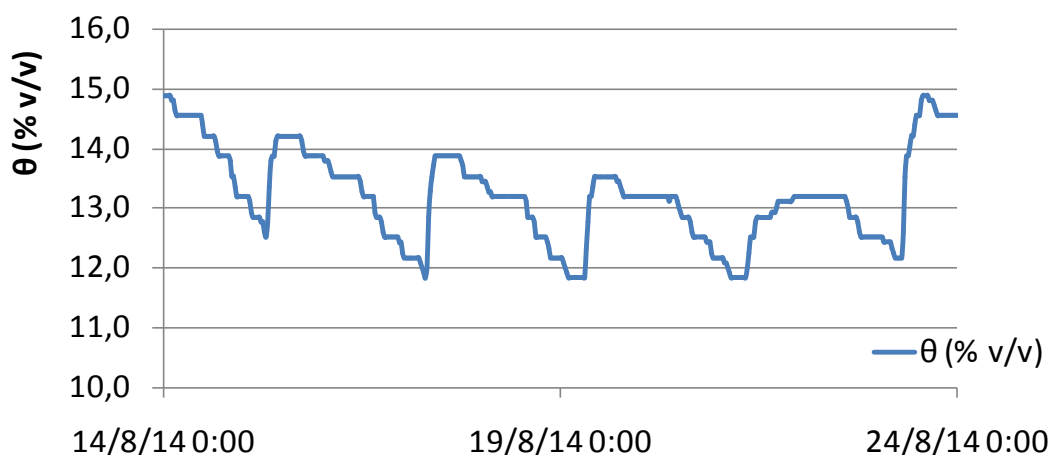
Η δόση αυτή μπορεί να δοθεί με ένα μέγιστο ρυθμό που εξαρτάται από τη διηθητικότητα του εδάφους. Η ποσότητα νερού που χορηγείται στα φυτά σε κάθε άρδευση ονομάζεται δόση άρδευσης. Για να φτάσει στα φυτά η ποσότητα πρέπει συνήθως να ρίξουμε κάτι παραπάνω λόγω του ότι το σύστημα έχει απώλειες (δεν είναι 100% αποτελεσματικό). Από το νερό που είναι διαθέσιμο στα φυτά μετά από κάθε πότισμα ποσότητα ίση με την ημερήσια υδατοκατανάλωση καταναλώνεται κάθε μέρα υπό ιδανικές συνθήκες. Ακόμη θεωρούμε ότι υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή των βροχοπτώσεων, η ενεργός ποσότητα νερού των οποίων αφαιρείται από την ημερήσια υδατοκατανάλωση (δηλαδή κάτι σα να βρέχει το μέσο ημερήσιο όρο κάθε ημέρα, βέβαια αυτό δεν μπορεί να συμβεί στην πραγματικότητα, η υπόθεση αυτή μπορεί να παραληφθεί θεωρώντας μηδενική τη βροχόπτωση κατά τον υπολογισμό του έτσι και αλλιώς θεωρητικού προγράμματος άρδευσης έχοντας κατά νου ότι στην πράξη εάν βρέξει απλά δεν θα γίνει άρδευση –ή χρήση αισθητήρων βροχής-).



Εικόνα 2 Βασικές έννοιες άρδευσης (πηγή: Τσιρογιάννης, 2007)

Επομένως σε χρονικό διάστημα που ονομάζεται εύρος άρδευσης όλο το νερό που δόθηκε θα έχει καταναλωθεί και πρέπει να ποτίσουμε ξανά. Πολλές

φορές το θεωρητικά υπολογισμένο εύρος άρδευσης σε ημέρες δεν είναι πρακτικά εφαρμόσιμο νούμερο π.χ. 2,6 επομένως αποφασίζουμε εμείς κάποιο πρακτικό εύρος (πάντα μικρότερο του θεωρητικού) π.χ. 2. Αν βάζαμε μεγαλύτερο έπρεπε να ρίξουμε μεγαλύτερη δόση εφαρμογής ώστε να καλύπτουν τα φυτά ανάγκες περισσότερων ημερών άρα θα "εκβιάζαμε" το έδαφος να απορροφήσει μεγαλύτερη καθαρή δόση από αυτή που μπορεί ή από την άλλη μπορεί η εδαφική υγρασία να πέσει κάτω από το όριο που θέλουμε, όμως αυτό θα οδηγήσει σε πρόβλημα. Έτσι προκύπτει μία νέα δόση εφαρμογής (που θα είναι μικρότερη από τη θεωρητική).



Εικόνα 3 Διακύμανση εδαφικής υγρασίας στο πλαίσιο άρδευσης χλοοτάπητα

Αν πολλαπλασιάσουμε την δόση αυτή με την επιφάνεια που αντιστοιχεί σε κάθε στάση έχουμε τον όγκο νερού σε κάθε στάση σε κάθε πότισμα.

Όσο αφορά το χρόνο που διαρκεί κάθε άρδευση, θέλουμε να χορηγούμε νερό με ένταση όση η τελική ταχύτητα διήθησης (απλοποίηση που μπορεί να γίνει αποδεκτή για πρακτικούς λόγους) επομένως διαιρώντας την ποσότητα νερού κάθε άρδευσης (da τελική) με την τελική ταχύτητα διήθησης παίρνουμε ως αποτέλεσμα το χρόνο που πρέπει να διαρκέσει η άρδευση. Ο χρόνος αυτός είναι ουσιαστικά κάτω όριο στον χρόνο άρδευσης, αν χρησιμοποιηθεί μικρότερος χρόνος για να χορηγηθεί το νερό η ένταση διαβροχής θα είναι μεγαλύτερη από το ρυθμό με τον οποίο μπορεί να απορροφήσει νερό το έδαφος και θα είχα επιφανειακή συσσώρευση και επιφανειακή απορροή έστω και με την παραμικρή κλίση (απώλεια νερού).

Ανάλογα με τη συνολική παροχή των εξόδων του συστήματος (γιατί δεν μπορούμε να κάνουμε πρόγραμμα με θεωρητική παροχή) προκύπτει η πραγματική διάρκεια άρδευσης που πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη του κάτω ορίου που υπολογίστηκε. Αν δεν είναι, πρέπει να επιλεγούν έξοδοι (εκτοξευτήρες ή σταλάκτες) με μικρότερη παροχή (να δίνουν πιο αργά το νερό).

Αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι οι χρόνοι που προκύπτουν είναι ουσιαστικά όρια, το τι θα επιλεγεί στο τέλος έχει να κάνει με τη στρατηγική της άρδευσης. Π.χ. βρίσκουμε εύρος 5 ημέρες και αποφασίζουμε να ποτίζουμε κάθε μέρα (με μικρότερη τελική δόση προφανώς) αυτό μπορεί να οδηγήσει τα φυτά π.χ. γρασίδι στην ανάπτυξη αβαθούς ριζικού συστήματος και να τα κάνει ευάλωτα σε πιθανή ξηρασία.

Νερό άρδευσης

Νερό δικτύου - μεταχείριση αναφοράς

Είναι χημικώς καθαρό νερό το οποίο εμπλουτίζεται κατά την επαφή του στο περιβάλλον με διάφορες ουσίες οι οποίες διαλύονται σε αυτό.

Το νερό αυτό επιβάλλεται να είναι άοσμο, άγευστο, άχρωμο μη βλαβερό στην υγεία των ανθρώπων αλλά και να μην προκαλεί σοβαρές ζημιές στα έργα ύδρευσης, όπως διαβρώσεις, εμφράξεις σωληνώσεων κ.α.

Τα φυσικά και τα χημικά χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού πρέπει να κυμαίνονται εντός ορίων που αποτελούν το πρότυπο ποιότητας. Τα πρότυπα αυτά καθορίζονται βάση κριτηρίων των οποίων πρωτεύοντα θέση κατέχουν τα υγειονομικά, τα οικονομικά, τα τεχνικά, τα αισθητικά, κ.α. Αυτά καλύπτονται στην χώρα μας νομοθετικώς, με υγειονομικές διατάξεις και νόμους, βάση των προτύπων πόσιμου νερού της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας.

Επεξεργασμένο νερό

Το επεξεργασμένο νερό αποτελείται από οικιακά, αστικά και βιομηχανικά λύματα τα οποία έχουν υποστεί επεξεργασία για την απομάκρυνση στερεών και διάφορων άλλων ρύπων, όπως και για τη διατήρηση επικίνδυνου μικροβιακού φορτίου σε χαμηλά επίπεδα. Είναι ένα βιώσιμο μέσω αντιμετώπισης των ελλείψεων νερού. Το επεξεργασμένο νερό χρησιμοποιείται για την άρδευση γηπέδων, κοιμητηρίων, αθλητικών εγκαταστάσεων, αστικών πάρκων για κήπους και για άλλες εγκαταστάσεις.

Στην Ελλάδα υπάρχει επιτρέπεται η χρήση επεξεργασμένου νερού για σκοπούς άρδευσης (ΦΕΚ Β'354/2011).

Γκρίζο νερό

Η ονομασία του προέρχεται από το χρώμα και την σύσταση του ανάμεσα στο λευκό νερό (πόσιμο) και στο μαύρο νερό (των λυμάτων). Το γκρίζο νερό είναι το ημιακάθαρο νερό που προέρχεται από ντουζιέρες, νιπτήρες γενικά από δουλείες ενός νοικοκυριού ή γραφείου, εξαιρείται όμως το νερό από τις τουαλέτες. Το γκρίζο νερό που καταλήγει στις αποχετεύσεις με την κατάλληλη επεξεργασία μπορεί να ξανά χρησιμοποιηθεί στο πότισμα του κήπου, στο πλύσιμο του αυτοκινήτου κτλ. Δεν είναι όμως πόσιμο.

Τα οφέλη από την ανακύκλωση του νερού είναι πολλά και διάφορα, πρώτα απ' όλα καλύπτονται οι μικρό ανάγκες (πότισμα, πλύσιμο κτλ) μέσω της χρήσης του έτσι δεν επιβαρύνεται το περιβάλλον σε περιόδους ξηρασίας και γίνεται και εξοικονόμηση χρημάτων, επίσης γίνεται ορθολογική χρήση του πόσιμου νερού. Ένα σύστημα ανακύκλωσης μπορεί να εγκατασταθεί και σε καινούριες κατασκευές αλλά και σε υπάρχουσες κατοικίες.

Η χρήση γκρίζου νερού για άρδευση δεν αναφέρεται στην ελληνική νομοθεσία.

Αυτοματισμοί

Γενικά, για ένα αυτοματοποιημένο αρδευτικό δίκτυο χρειάζεται ένας προγραμματιστής που συνδέεται μέσω καλωδίων με μια ηλεκτροβάννα. Ανάλογα με το αποτέλεσμα που επιδιώκουμε μπορούμε να συνδέσουμε αισθητήρες, αντλίες που για να λειτουργήσουν χρειάζονται ένα εξάρτημα που ονομάζεται ρελέ το οποίο είναι ένας ηλεκτρικός διακόπτης που ανοίγει και κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Στο κεφάλαιο "Υλικά και Μέθοδοι " θα γίνει αναλυτικότερη αναφορά.

Υλικά και μέθοδοι

Γεωγραφική θέση

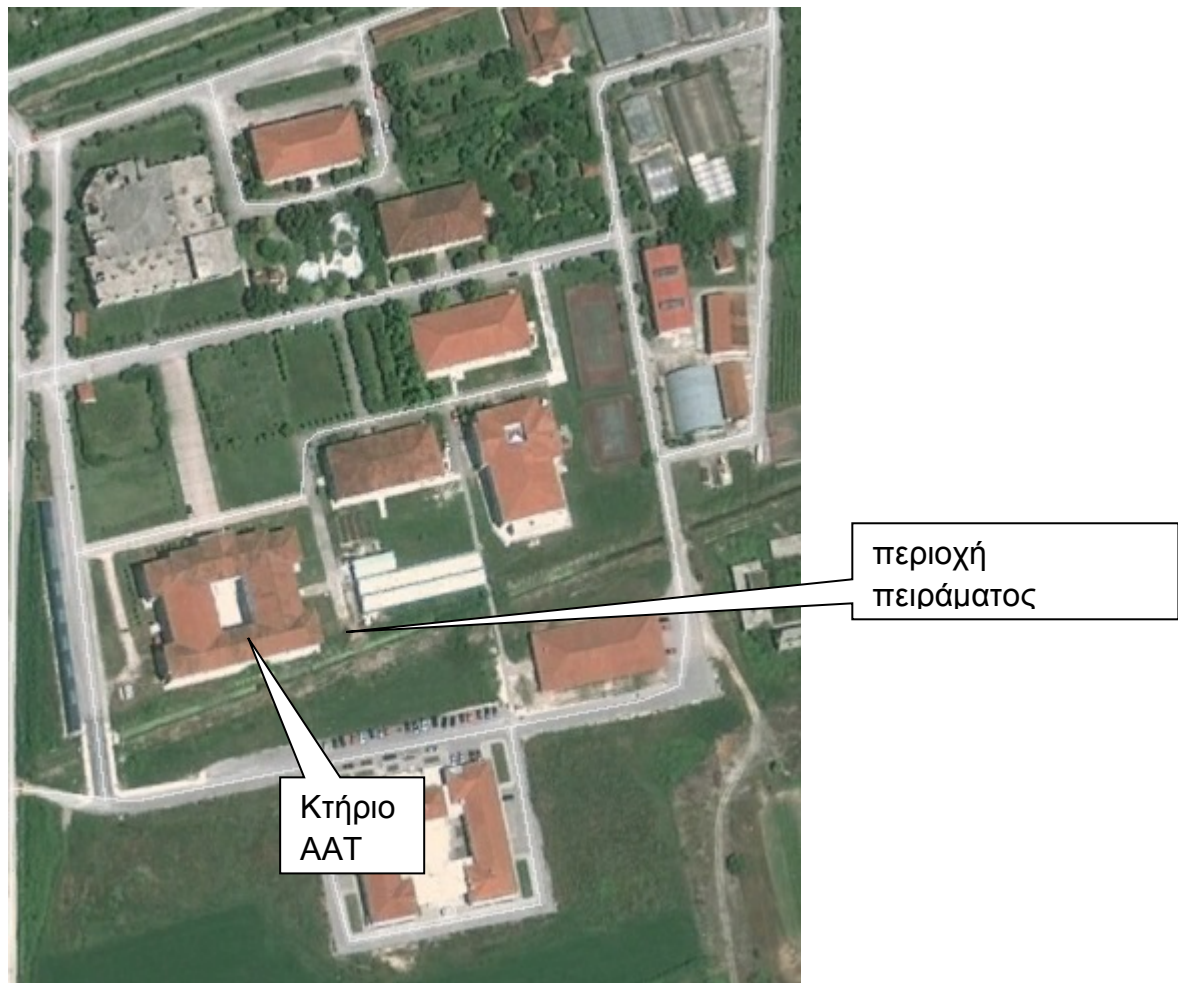
Η πειραματική αξιολόγηση υλοποιήθηκε στον περιβάλλοντα χώρο του κτηρίου του τμήματος Ανθοκομίας – Αρχιτεκτονικής Τοπίου που βρίσκεται στην τεχνόπολη (campus) του ΤΕΙ Ηπείρου, στους Κωστακιούς Άρτας.

Ο νομός Άρτας βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της Ελλάδας και ανήκει γεωγραφικά και διοικητικά στην Ήπειρο, καταλαμβάνει το ΝΑ τμήμα της Ηπείρου (Εικόνα 4).



Εικόνα 4 Χάρτης νομού Άρτας (πηγή: www.hellogreece.gr/ipiros/arta_hotels.html)

Η τεχνόπολη (campus) του ΤΕΙ Ηπείρου, στους Κωστακιούς Άρτας (Εικόνα 5). Η τεχνόπολη 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 5 Γενική κατοψη της περιοχής μελετης (πηγή: GOOGLE EARTH, 2014)

Κλιματικά στοιχεία

Τα μετεωρολογικά 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.

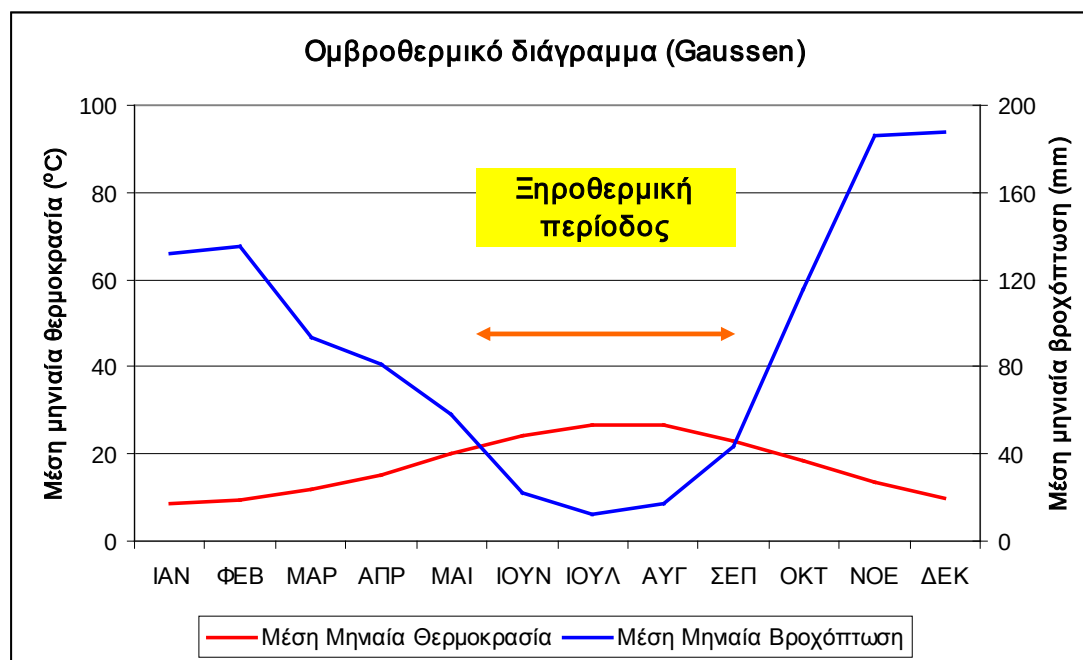
Τα κλιματικά στοιχεία μιας περιοχής παρουσιάζουν πάντοτε διακυμάνσεις μέσα στον χρόνο, κατά τις οποίες φθάνουν σε απόλυτα μέγιστες και απόλυτα ελάχιστες τιμές. Είναι φυσικό όμως ότι, για να πλησιάζουν τις πραγματικές τιμές, μέσα στις οποίες διακυμαίνεται το στοιχείο αυτό, απαιτείται σειρά μακράς χρονικής 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 πολύομβρη από τα μέσα του φθινοπώρου μέχρι τα μέσα της άνοιξης και μια σχεδόν άνομβρη 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.



Εικόνα 6 Ομβροθερμικό διάγραμμα Άρτας

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 ανέχονται σε 12,4 κατά μέσω 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.

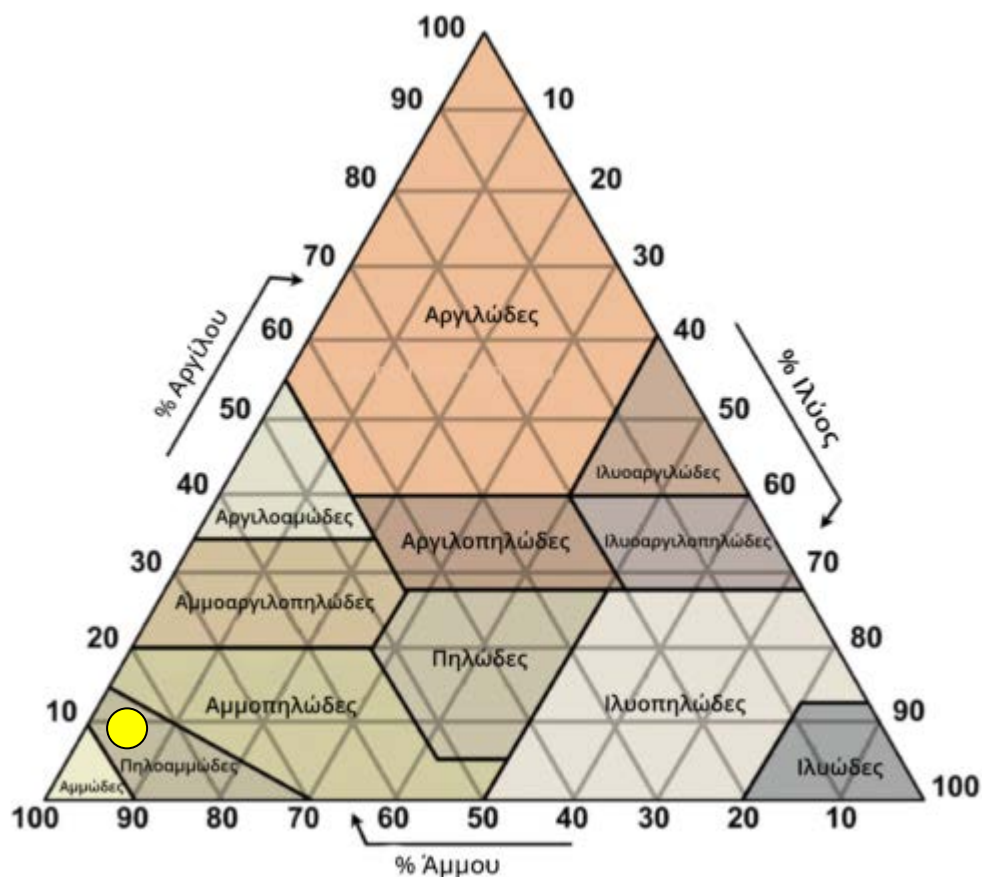
Στην περιοχή επικρατούν βορειοανατολικοί άνεμοι και η ένταση τους κυμαίνεται από 4,6 μέχρι και 6,5 Beaufort (EMY, 2014).

Με βάση τα δεδομένα της EMY μπορούμε να σχεδιάσουμε το ομβροθερμικό διάγραμμα από το οποίο προκύπτει ότι η ξηροθερμική εκτείνεται από Μαίο έως Σεπτέμβριο (Εικόνα 6).

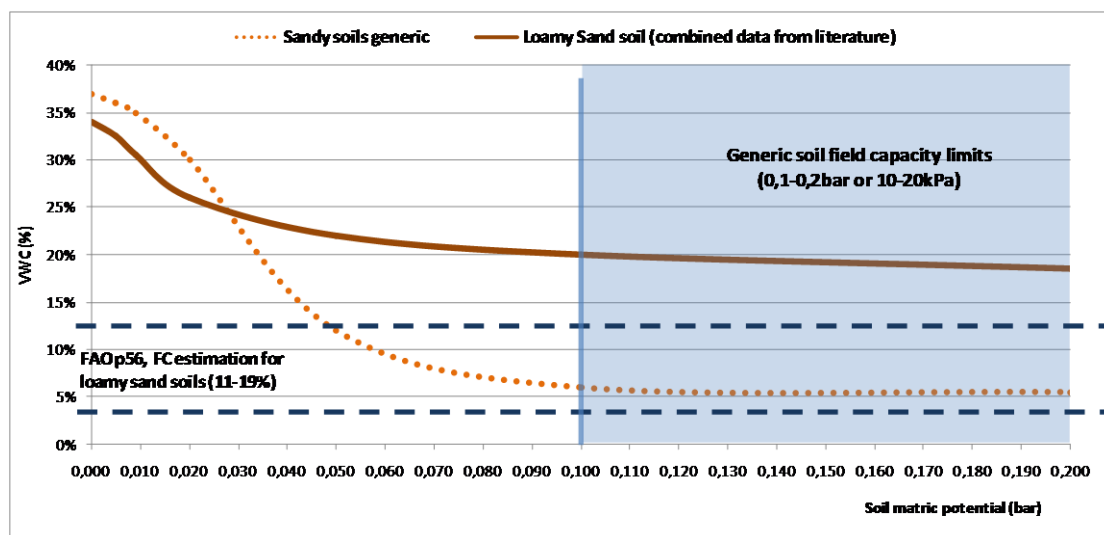
Έδαφος

Η ανάλυση που έγινε στο έδαφος που χρησιμοποιήθηκε έδειξε ότι ανήκει στην κατηγορία πηλοαμμώδες. Για τέτοια εδάφη οι γενικές ιδιότητες που σχετίζονται με το νερό είναι (Allen κ.α., 1998):

- Υδατοικανότητα: 15%
- Σημείο μάρανσης: 6%
- Διαθέσιμη υγρασία εδάφους: 9%
- Τελική ταχύτητα διήθησης: 23 mm h⁻¹



Εικόνα 7 Τριγωνικό διάγραμμα για την μηχανική σύσταση του εδάφους (με κύκλο σημειώνεται η θέση που αντιστοιχεί στο έδαφος που χρησιμοποιήθηκε)



Εικόνα 8 Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας για το έδαφος που χρησιμοποιήθηκε

Φυτικό υλικό

Χλοοτάπητας

Ο χλοοτάπητας Φεστούκα "Ηρακλής" παράγεται από επιλεγμένες ποικιλίες *Festuca Arundinaceae* τελευταίας γενιάς, χλοοτάπητας ψυχρής περιόδου, κατάλληλος για κλιματολογικές συνθήκες με μεγάλες εναλλαγές θερμοκρασίας (Hellasod, 2014). Το χρώμα του είναι έντονο πράσινο με μέτρια έως ελαφρώς μεγάλα φύλλα. Μπορεί να τοποθετηθεί σε σπίτια, πάρκα, ξενοδοχεία, κοινόχρηστους χώρους, δημοτικούς χώρους πρασίνου, παιδικές χαρές, χώρους άθλησης, νησίδες και πρανή δρόμων, παραθαλάσσια μέρη, σε ήπιες ή ημιτροπικές κλιματολογικές συνθήκες. Ιδανικό για όλη την Ελλάδα, από τον Έβρο μέχρι την Κρήτη. Έχει μεγάλη αντοχή σε ξηροθερμικές συνθήκες και πολύ καλή αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες. Έχει διαπιστωθεί μέτρια αντοχή στη σκιά σύμφωνα με την εταιρεία που παράγει τη συγκεκριμένη ποικιλία. Η αντοχή του στην αλατότητα είναι αρκετά ικανοποιητική. Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι μειωμένες λόγω της αντοχής σε μυκητολογικές ασθένειες. Απαιτεί μέτριο έως υψηλό κούρεμα (3-5cm) περίπου κάθε εβδομάδα. Σε σκιερά μέρη κουρεύεται στα 6cm. Εγκαταστάθηκε με καθοδήγηση ενός ειδικού από το φυτώριο που το προμηθευτήκαμε



Εικόνα 9 Εγκατάσταση χλοοτάπητα με την καθοδήγηση του κ. Γ. Ντούντα (Αρχιτεκτονική Τοπίου)

Θάμνοι

Η πρόταση των φυτών έγινε μετά από συνεννόηση με το Τμήμα Πρασίνου του Δήμου Αρταίων (κ. Τζήμα Ελένη, Γεωπόνος Προϊστάμενος). Ο Πίνακας 1μας δίνει την πληροφορία ότι οι παρακάτω θάμνοι είναι οι πιο κοινοί στους δημόσιους χώρους πρασίνου. Η επιλογή έγινε σύμφωνα με το πόσο νερό χρειάζονται στο κλίμα της Άρτας.

Πίνακας 1 Θάμνοι που χρησιμοποιήθηκαν

Είδος	Μέγιστο ύψος (m)*	Μέγιστο πλάτος(m)*	Ανάγκες σε νερό**
Ligustrum japonicum (Com. Greek: Λιγούστρο)	6 2,5-3	4 1-1,5	M
Photinia serrulata (Com. Greek: Φωτίνια)	5 2,5-3	4 2	M
Viburnum (Com. Greek: Βιβούρνο)	3 2-2,5	3 2	M
Pittosporum (Com. Greek: Αγγελική, Πιτόσπορο)	4 2,5-3	3 2,5-3	M
Thuja occidentalis (Com. Greek: Τούγια κωνική)	4 2,5-3	2	M
Abelia chinensis (Com. Greek: Αμπέλια)	2	4	M

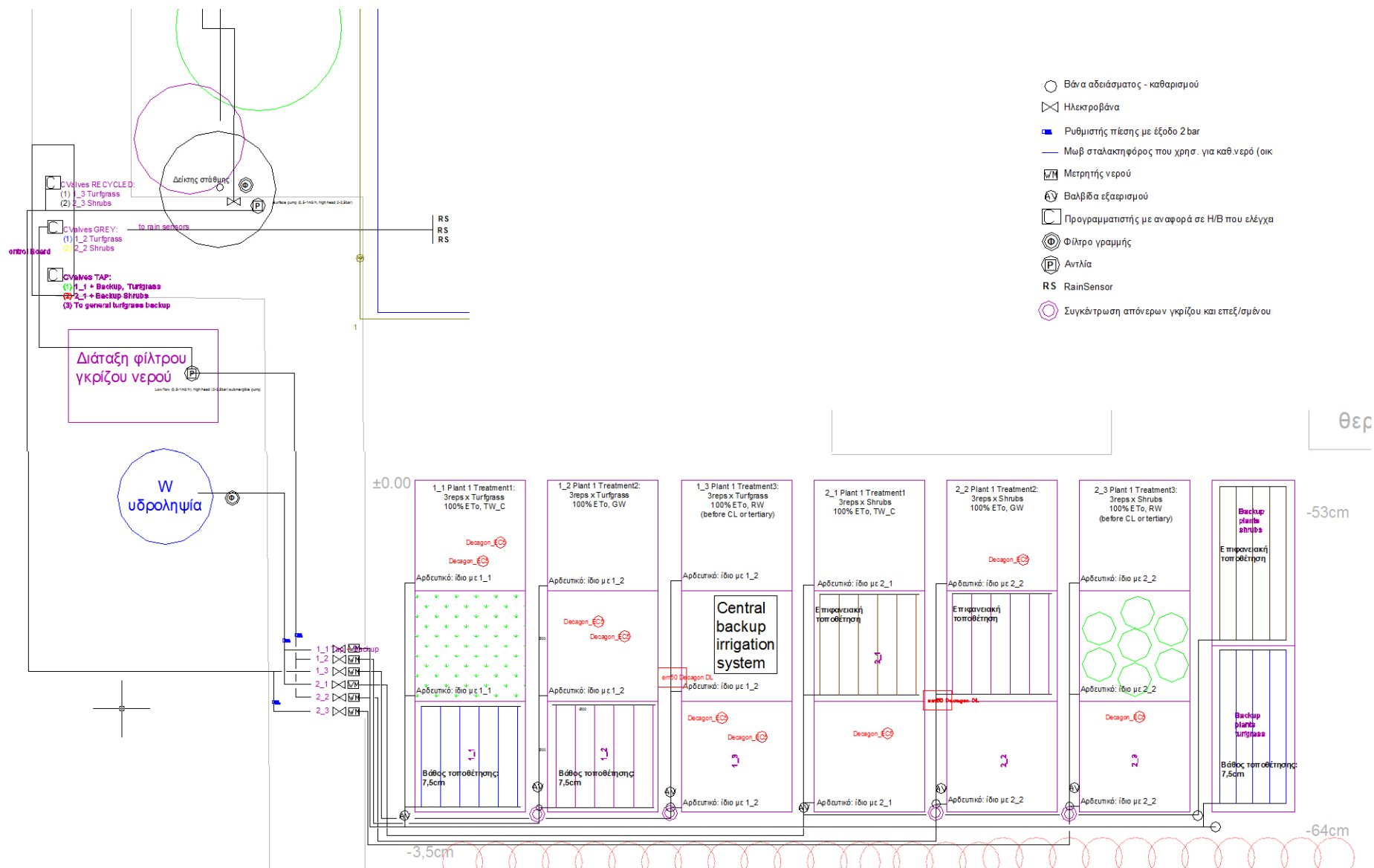
* επάνω Natura Media (2010) και κάτω MillePlante (2000) ** WUCOLS (2000)

Επιλέχτηκαν οι θάμνοι με την μεγαλύτερη ανάγκη σε νερό (M: Medium) .

Μεταχειρίσεις

Στο πλαίσιο του πειράματος χρησιμοποιούνται 2 φυτικά σύνολα (χλοοτάπητας και θάμνοι) και 3 είδη νερού (δίκτυο ύδρευσης, γκρίζο νερό και ανακυκλωμένο νερό). Άρα έχουμε συνολικά 6 διαφορετικές μεταχειρίσεις. Για κάθε μεταχείριση χρησιμοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις.

- Μεταχείριση 1_1: Στην πρώτη μεταχείριση χρησιμοποιήθηκε χλοοτάπητας που αρδεύτηκε με το νερό μάρτυρας, TW_C
- Μεταχείριση 1_2: Στην δεύτερη μεταχείριση χρησιμοποιήθηκε χλοοτάπητας που αρδεύτηκε με γκρίζο νερό , GW
- Μεταχείριση 1_3: Στην Τρίτη μεταχείριση χρησιμοποιήθηκε χλοοτάπητας που αρδεύτηκε με ανακυκλωμένο νερό , RW
- Μεταχείριση 2_1: Σε αυτή τη μεταχείριση χρησιμοποιήθηκαν θάμνοι οι οποίοι αρδεύτηκαν με νερό μάρτυρας, TW_C
- Μεταχείριση 2_2 : Σε αυτή τη μεταχείριση χρησιμοποιήθηκαν θάμνοι που αρδεύτηκαν με γκρίζο νερό, GW
- Μεταχείριση 2_3 : Σε αυτή τη μεταχείριση χρησιμοποιήθηκαν θάμνοι που αρδεύτηκαν με ανακυκλωμένο νερό, RW



Εικόνα 10 Γενική διάταξη πειράματος

Νερό δικτύου - μεταχείριση αναφοράς (TW_C)

Το TW_C, είναι νερό από το δίκτυο ύδρευσης που φθάνει στο Τ.Ε.Ι Ηπείρου, κτίριο Α.Α.Τ. Το pH του είναι 7,63 και η EC είναι 0,58 dS/m.

Γκρίζο νερό (GW)

Συλλογή γκρίζου νερού

Το γκρίζο νερό (gray water) συλλέγεται από νιπτήρες που βρίσκονται στο κτίριο Α.Α.Τ.. Η χρήση αφορά κυρίως πλύσιμο χεριών και άδειασμα νερού από το καθαρίσμα του κτιρίου (τυπικές χρήσεις κτηρίου γραφείων).

Ένας νιπτήρας ήταν συνδεδεμένος απευθείας με ειδικό σύστημα φιλτραρίσματος και αποθήκευσης γκρίζου νερού στο υπόγειο του κτιρίου. Η συλλογή γίνονταν είτε απευθείας από το συγκεκριμένο νιπτήρα είτε με νερό που μεταφέρονταν με δοχεία από άλλους νιπτήρες του κτηρίου.

Φίλτρο γκρίζου νερού

Χρησιμοποιήθηκε το φίλτρο Aqua2use. Είναι ένα κλειστό δοχείο μέσα στο οποίο μπαίνει το νερό που διέρχεται μέσα από μία σειρά προοδευτικών φίλτρων που συγκρατούνται τα υπολείμματα (λίπη, έλαια, σαπούνι κτλ.). Όταν η στάθμη του δοχείου ανέβει, τότε μία αντλία αδειάζει το νερό και το μεταφέρει σε μία δεξαμενή.

Μετά την έξοδο του φίλτρου και πριν πάει το νερό στην δεξαμενή νερού για άρδευση περνάει από ένα σύστημα χλωρίωσης. Το σύστημα χλωρίωσης είναι ένα κλειστό δοχείο στο οποίο περνάει το γκρίζο νερό, μέσα στο οποίο βρίσκεται μία ταμπλέτα χλωρίωσης. Το δοχείο είναι διάφανο και έτσι μπορούν να δουν την ταμπλέτα που λιώνει καθώς περνάει το νερό που μπορεί να θέλει αντικατάσταση. Στο μέσο του ύψους της δεξαμενής είναι τοποθετημένο ένα φλοτέρ που αναπληρώνει νερό, αν η στάθμη πέσει κάτω από αυτό. Η δεξαμενή διαθέτει ένα διάφανο δίχτυ για να φαίνεται η στάθμη του νερού μέσα σε αυτήν και σε περίπτωση υπερχείλισης είναι συνδεδεμένη σε μία δεύτερη δεξαμενή για την συλλογή επιπλέον γκρίζου νερού. Την στιγμή του ποτίσματος το νερό περνάει από μία αντλία που το στέλνει στα τεμάχια του πειράματος που αρδεύεται. Κάθε μέρα γίνεται μέτρηση της ποσότητας χλωρίου στο γκρίζο νερό της δεξαμενής, έτσι ώστε να μην υπερβεί τα επικίνδυνα όρια για το φυτικό υλικό του πειράματος. Ρύθμιση του μπορεί να γίνει με το άνοιγμα και κλείσιμο ενός συστήματος μπαί πάς γύρο από το δοχείο χλωρίωσης.



Εικόνα 11 Φίλτρο Aqua2use

Επεξεργασμένο νερό (GW)

Προμήθεια εξεργασμένου νερού

Ο εφοδιασμός επεξεργασμένου νερού (recycled water) έγινε από την μονάδα επεξεργασίας λυμάτων της Άρτας. Το ανακυκλωμένο νερό μεταφερόταν στο Τ.Ε.Ι. Ηπείρου με βυτιοφόρο φορτηγό της ΔΕΥΑΑ σε τακτά χρονικά διαστήματα. Το ανακυκλωμένο νερό που χρησιμοποιήθηκε ήταν επεξεργασίας τελικού σταδίου αφού δηλαδή είχε υποστεί χλωρίωση.



Εικόνα 12 Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων Άρτας

Η συγκέντρωση του υπολειμματικού χλωρίου ήταν χαμηλή σύμφωνα με τις αναλύσεις που μας παρείχε η υπηρεσία σε κάθε εφοδιασμό και αυτό μαζί με

το γεγονός ότι το νερό παρέμενε για κάποιο χρονικό διάστημα στη δεξαμενή οπότε και το χλώριο εξαμιζόταν μείωνε σημαντικά το κίνδυνο εμφάνισης τοξικότητας στα φυτά από την υπερσυγκέντρωση χλωρίου δεξαμενή που αποθηκεύτηκε το ανακυκλωμένο νερό είναι χωρητικότητας 6 m³ και η διάρκεια παραμονής του νερού σε αυτή δεν ξεπερνούσε τη μια εβδομάδα ώστε να διασφαλιστεί η διατήρηση των μικροοργανισμών σε χαμηλά επίπεδα. Η δεξαμενή έχει και μία βαλβίδα αποστράγγισης που βρίσκεται στο κάτω μέρος της είναι μεγάλη σε μέγεθος ώστε να είναι εύκολο το καθάρισμα του ιζήματος που συσσωρευόταν ενώ η άντληση του νερού γινόταν από ύψος γύρω στα 20 cm από τον πυθμένα της δεξαμενής ώστε να αποφεύγεται η μεταφορά στην αντλία του ιζήματος που τυχόν θα συγκεντρωνόταν στον πυθμένα.

Η δεξαμενή αποθήκευσης του επεξεργασμένου νερού καλύπτεται από ειδικό πλαστικό για την προστασία από διαφόρους ρύπους αλλά και ακτινοβολίας ενώ το σημείο τοποθέτησής της κοντά στο κτίριο ΑΑΤ και κάτω από φυτική κάλυψη με περιορισμένη έκθεση στον ήλιο εξασφάλισε τη διατήρηση του νερού σε συνθήκες όσο το δυνατόν δυσμενής για την επιβίωση και πολλαπλασιασμό των ανεπιθύμητων μικροοργανισμών.



Εικόνα 13 Προμήθεια επεξεργασμένου νερού

Σύστημα άρδευσης

Ακολουθώντας τα οριζόμενα στην ΚΥΑ 145116/8.3.11 εγκαταστάθηκαν δύο συστήματα άρδευσης: ένα με υπέργειο σταλακτηφόρο που βρίσκεται στους θάμνους και ένα υπόγειο σταλακτηφόρο που είναι στον χλοοτάπητα. Για την κατασκευή του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν: ηλεκτροβάνες ¾", βάνες χειρός ¾", γωνίες ¾"<1", μούφες ¾", μαστός ¾"<1", περικόχλια, ταφ ¾", σωλήνες πολυαιθυλενίου, δεξαμενές, φίλτρα, αντλίες, τεφλόν, καλώδια

Επίσης πάνω στο σύστημα άρδευσης υπάρχουν εξαρτήματα εξαερισμού βαλβίδας (air valve) που επιτρέπουν στον αέρα να βγει από τις σωλήνες κατά την διάρκεια του ποτίσματος. Ακόμη υπάρχει βαλβίδα αδειάσματος (flush valve) που αφήνει το νερό να βγει αφού τελειώσει το πότισμα. Το νερό αυτό, τόσο στο επεξεργασμένο όσο και στο γκρίζο νερό συλλέγονταν.

Σταλακτηφόροι

Οι αγωγοί για τη μεταχείριση με το επεξεργασμένο και το γκρίζο νερό έχουν μωβ χρώμα για να ξεχωρίζουν και το απαιτεί η νομοθεσία και είναι επενδυμένο εσωτερικά με αντιβακτηριδιακό στρώμα.

Οι αγωγοί που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα είναι σταλακτηφόροι Ø17 που φέρουν ενσωματωμένους σταλάκτες κάθε 30 εκατοστά, οι οποίοι ποτίζουν 1.6λ/ώρα χαμηλά στην βάση των θάμνων. Επιλέχθηκαν σωλήνες καφέ Ø16 κάθε 33 εκατοστά που ποτίζουν 2,3λ/ώρα. Οι σωλήνες είναι αδιαπέρατοι στο ηλιακό φως για να εμποδίζεται έτσι η ανάπτυξη μικροοργανισμών στο εσωτερικό τους.

Σε ένα ελαφρύ έδαφος, σταλάκτες παροχής περίπου 2lph αναμένεται να έχουν μέγιστη διάμετρο διαβροχής (d) περίπου 30cm. Σε συστήματα στάγδην άρδευσης οι σταλάκτες συνίσταται να τοποθετούνται σε αποστάσεις περίπου 0,8 της μέγιστης διαμέτρου διαβροχής. Επομένως $30\text{cm} \times 80\% = 24\text{cm} = 0,24\text{m}$ και γνωρίζουμε ότι όταν φτάσουμε στη μέγιστη διάμετρο διαβροχής (30cm) το νερό θα έχει φτάσει σε βάθος τα 30cm (στα ελαφρά εδάφη ισχύει η σχέση οριζόντιας προς κατακόρυφη κίνησης $0,5d / d$). Επομένως η σύσταση είναι να τοποθετηθούν οι σταλακτηφόροι σε αποστάσεις μεταξύ 25 και 30cm.

Η αποτελεσματικότητα του συστήματος εκτιμάται σε 90%.

Οι αγωγοί είναι αυτορυθμιζόμενοι για υπόγεια και επιφανειακή τοποθέτηση. Το υπόγειο σύστημα άρδευσης είναι τοποθετημένο σε βάθος 10cm περίπου.

Πρόγραμμα άρδευσης πειράματος

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Hargreaves (Εξίσωση 1, Allen κ.α., 1998) με χρήση των ιστορικών κλιματικών δεδομένων της ΕΜΥ. Η μέθοδος αυτή προτείνεται για χρήση όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με την ηλιακή ακτινοβολία, την σχετική υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου και θα πρέπει αυτά να εκτιμηθούν μέσω υπολογιστικών προσεγγίσεων.

Εξίσωση 1 Μέθοδος Hargreaves για την εκτίμηση της ΕΤο

$$ET_o = 0,0023 \times (T_{\text{mean}} + 17,8) \times (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})^{0.5} \times Ra$$

όπου ΕΤο και Ra σε mm day^{-1} και T σε $^{\circ}\text{C}$

Για να φτάσουμε στην λύση της εξίσωσης χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2).

Πίνακας 2 Εκτίμηση εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με βάση τη μέθοδο Hargreaves

Μήνας	Θερμοκρασίες περιόδου αναφοράς (π.χ. μήνα)			Υπολογισμός ακτινοβολίας για χαρακτηριστική ημέρα της περιόδου αναφοράς		Βροχόπτωση	Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς
	Αριθμός ημέρας	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	T _{mean} (°C)	R _a (mm day ⁻¹)	Rain (mm/month)	ET _o (mm day ⁻¹)
Ιουν	162	17,30	29,10	24,00	41,73	21,80	5,62
Ιουλ	199	19,50	31,80	26,50	40,55	12,60	5,91
Αυγ	229	19,90	32,00	26,50	36,45	17,20	5,27

Για να βρούμε την εξατμισοδιαπνοή του χλοοτάπητα και των θάμνων για κάθε ένα από τους 3 μήνες, πολλαπλασιάζουμε την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (Πίνακας 2) με τον κατάλληλο συντελεστή τοπίου (WUCOLS, 2000). Οι συντελεστές μικροκλίματος (k_{mc}), πυκνότητας (k_d) και φυτού (k_s) εκτιμήθηκε ότι έχουν τιμές 1, 1 και 0,8 αντίστοιχα για το χλοοτάπητα και 1, 1 και 0,5 για τους θάμνους. Επομένως η μέση ημερήσια εξατμισοδιαπνοή χλοοτάπητα εκτιμάται σε 4,50, 4,73 και 4,22 mm d⁻¹ για τον Ιούνιο, τον Ιούλιο και τον Αύγουστο αντίστοιχα ενώ για τους θάμνους για τους ίδιους μήνες εκτιμάται σε 2,81, 2,95 και 2,65 mm d⁻¹ αντίστοιχα.

Η ένταση εφαρμογής των σταλακτηφόρων είναι:

- για τους Ø17: QE=1,6l/h / 0,3m x 0,3m = 18 mm/h
- για τους Ø16: QE=2,3l/h / 0,3m x 0,33m = 23 mm/h

Η διάρκεια άρδευσης για επαναφορά στην υδατοικανότητα είναι ίση με (MAD¹ =50%, Διαθέσιμη υγρασία 9% ή 90mm/m, Βάθος ριζοστρώματος²: 25cm):

- για τους Ø17: R_{tfc} = 60 x 50% x 90mm/m x 0,25m x (0,3m x 0,3m) / 1,6l/h x 90% = 42 min

¹ Επιτρεπόμενη εξάντληση εδαφικής υγρασίας (Εικόνα 2), γενική τιμή

² Γενική τιμή για χλοοτάπητα και θάμνους

- για τους Ø16: $R_{tfc} = 60 \times 50\% \times 90\text{mm/m} \times 0,25\text{m} \times (0,3\text{m} \times 0,33\text{m}) / 2,3\text{l/h} \times 90\% = 33 \text{ min}$

Το εύρος άρδευσης είναι ίσο με:

- για τους Ø17 για χλοοτάπητα: $EA=(18\text{mm/h} \times 42\text{min} / 60) / 4,7 \text{ mm/day}= 2,6 \text{ ημέρες}$ (πρακτική λύση που επιλέχθηκε: ανά 1 ημέρα, 16 min)
- για τους Ø17 για θάμνους: $EA=(18\text{mm/h} \times 42\text{min} / 60) / 2,9 \text{ mm/day}= 4,34 \text{ ημέρες}$ (πρακτική λύση που επιλέχθηκε: ανά 1 ημέρα, 10 min)
- για τους Ø16 για θάμνους μόνο: $EA=(23\text{mm/h} \times 33\text{min} / 60) / 2,9 \text{ mm/day}= 4,36 \text{ ημέρες}$ (πρακτική λύση που επιλέχθηκε: ανά 1 ημέρα, 17 min)

Το πρόγραμμα άρδευσης που εφαρμόστηκε τελικά μετά από δοκιμές - ρυθμίσεις στο πεδίο παρουσιάζεται στη συνέχεια (Πίνακας 3).

Πίνακας 3 Πρόγραμμα άρδευσης πειράματος

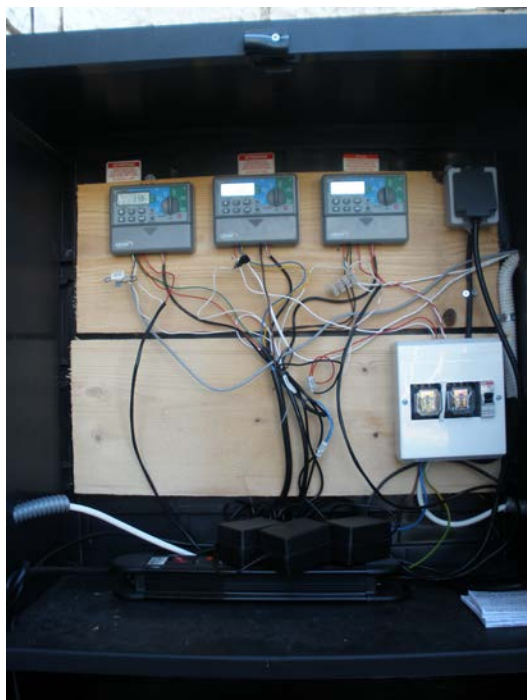
	1_1	2_1	1_2 και 2_2	1_3 και 2_3
Ώρα έναρξης	8:30		8:30	9:00
Συχνότητα	1	1	1	1
Διάρκεια	24min	17min	24min	24min

Προγραμματιστής και αυτοματισμοί

Στο πείραμα εγκαταστάθηκαν τρεις προγραμματιστές, ένας για την κάθε μεταχείριση νερού (Εικόνα 14). Ο πρώτος είναι για το Νερό δικτύου, δηλαδή ποτίζει τα τεμάχια 1_1 και 2_1, ο δεύτερος προγραμματιστής είναι υπεύθυνος για την άρδευση των τεμαχίων Γκρίζου νερού 1_2 και 2_2, και ο τρίτος προγραμματιστής είναι για την άρδευση Επεξεργασμένου Νερού δηλαδή για τα τεμάχια 1_3 και 2_3 του πειράματος.

Οι αισθητήρες βροχής είναι 3 (ένας για κάθε προγραμματιστή) και είναι ρυθμισμένοι στα 13mm βροχής (Εικόνα 14).

Επίσης οι προγραμματιστές για το γκρίζο νερό και το επεξεργασμένο νερό είναι συνδεδεμένοι σε αντλίες για την παροχή νερού από τις αντίστοιχες δεξαμενές.



Εικόνα 14 Προγραμματιστές και αισθητήρες βροχής

Λίπανση και φυτοπροστασία

Χλοοτάπητας

Το πρόγραμμα λίπανσης αφορούσε την εφαρμογή σύνθετων λιπασμάτων στο χλοοτάπητα περιοδικά ανά δεκαπέντε ημέρες. Έτσι για τον χλοοτάπητα χρησιμοποιήθηκαν τα εξής λιπάσματα: Nitrophoska perfect 15-5-20 25gr/m², 24-8-7 και 12-12-17 και ιχνοστοιχεία, ποσότητα 25gr/m²

Για την αντιμετώπιση διαφόρων μυκητολογικών προσβολών που εμφανίστηκαν σποραδικά χρησιμοποιήθηκαν τα φυτοφάρμακα aliette (fosetyl-Al 80%) 37 gr/15lt και neotopsin (Thiophanate methyl 70% B.B) 10gr/15lt decis 10cc/15lt (deftamethrine 2,5%) 5gr neotopsin (thiophanate methyl) και 0,7 gr flint (trifloxystrobin) σε 5lt .

Θάμνοι

Το πρόγραμμα λίπανσης των θάμνων αφορούσε την εφαρμογή σύνθετων λιπασμάτων περιοδικά ανά τριάντα ημέρες. Πρόσθετη εφαρμογή μικροστοιχείων πραγματοποιήθηκε εξειδικευμένα ανάλογα με τις ανάγκες των φυτών. Επομένως για τους θάμνους χρησιμοποιήθηκαν τα εξής λιπάσματα: 1,3ml/5lt (διαφυλλικό λίπασμα Fe), 12-12-17 και ιχνοστοιχεία 15-20gr/θάμνο.

Για την φυτοπροστασία έγιναν εφαρμογές με τα εξής φυτοφάρμακα: για τις τούγιες για την αντιμετώπιση μυκητολογικών προσβολών έγινε επέμβαση με aliette 80WG 2,5 gr/lt, aliette (fosetyl-Al 80%) 37 gr/15lt και neotopsin

(Thiophanate methyl 70% B.B) ενώ για τον έλεγχο εντόμων όπως αφίδες και αλευρώδεις έγινε εφαρμογή με 10gr/15lt decis 10cc/15lt (deftamethrine 2,5%)

Συστήματα μέτρησης παραμέτρων αξιολόγησης

Μετεωρολογικός σταθμός θερμοκηπίου ΤΕΙ, Δ. Σάββας

Ο μετεωρολογικός αυτός σταθμός βρίσκεται δίπλα στο χώρο όπου έγιναν οι αξιολογήσεις και διαθέτει πυρανόμετρο, θερμόμετρο, υγρασιόμετρο, ανεμόμετρο και βροχόμετρο (Εικόνα 15). Οι παράμετροι καταγράφονται ανά 30min.

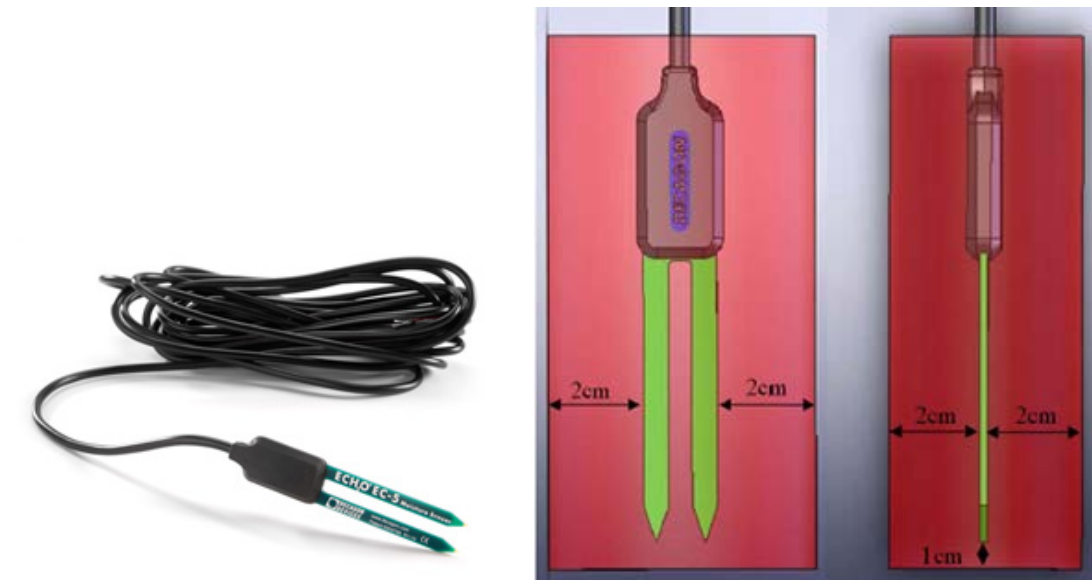


Εικόνα 15 Μετεωρολογικός σταθμός

Μέτρηση υγρασίας εδάφους

Χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας EC5 (Decagon devices, USA, Εικόνα 16). Είναι ένα όργανο μέτρησης διηλεκτρικής μέτρησης (τεχνολογίας Frequency Domain (FD) και ειδικότερα Frequency Domain Reflectometry (FDR)) το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως για την μέτρηση της περιεχομένου υγρασίας σε εδάφη. Ο όγκος μέτρησης του οργάνου είναι αρκετά μεγάλος, της τάξης των 181 cm³. Σύμφωνα με την Decagon η χρήση των γενικών μοντέλων για ανόργανα και οργανικά εδάφη με τα οποία είναι εξ' αρχής εφοδιασμένο το σύστημα μέτρησης (πολυώνυμα 2^{ου} βαθμού) δίνει ακρίβεια της τάξης του $\pm 0,03$ με $\pm 0,03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ για εδάφη. Η βαθμονόμηση για το κάθε συγκεκριμένο υπόστρωμα μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια έως και τα επίπεδα του $\pm 0,01$ με $\pm 0,02 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Η ανάλυση των μετρήσεων είναι 0,1 VWC% για ανόργανα εδάφη το δε εύρος μέτρησης είναι από 0-100% VWC.

Οι αισθητήρες ήταν συνδεδεμένοι σε καταγραφικό Decagon Em50. Ο Em50 μπορεί να δεχθεί έως και 5 αισθητήρες. Λειτουργεί με απλές αλκαλικές μπαταρίες, οι οποίες διαρκούν έως και 6 – 10 μήνες. Συνοδεύεται από λογισμικό προγραμματισμού και μεταφοράς των μετρήσεων VP-3 (Εικόνα 17).



Εικόνα 16 Αισθητήρας ec5 και η σχετική περιοχή δείγματος



Εικόνα 17 Καταγραφικό (data logger) Decagon em50

Υδρόμετρα (ρολόγια μέτρησης νερού)

Χρησιμοποιήθηκαν υδρόμετρα ριπής 1" (ρολόγια μέτρησης νερού, Εικόνα 18) για την μέτρηση της συνολικής κατανάλωσης του καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.



Εικόνα 18 Υδρόμετρα

Ποσοτική & ποιοτική αξιολόγηση χλοοτάπητα

Αξιολόγηση ανάπτυξης - ξηρό βάρος κοπών

Για την αξιολόγηση της ανάπτυξης του χλοοτάπητα μετρήθηκε το ξηρό βάρος του χλοοτάπητα έπειτα από κοπές σε συγκεκριμένο ύψος σε τακτά χρονικά διαστήματα καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε σε κάθε πειραματικό τεμάχιο περιοδικά, ανά δέκα ημέρες, δειγματοληψία του χλοοτάπητα σε ύψος 4,5 cm από την επιφάνεια του εδάφους, και συνολικής επιφάνειας 900cm² (0,9m²) με τη βοήθεια πλαισίου – οδηγού (30cm x 30cm). Έπειτα από την παραμονή του σε θάλαμο ξήρανσης στους 70°C για 24-48 ώρες το δείγμα ζυγιζόταν για τον υπολογισμό του ξηρού βάρους.

Ακόμη προβλέπονται μετρήσεις που αφορούν την ανάπτυξη του χλοοτάπητα (κοπή πάνω από συγκεκριμένη έκταση ανά διαστήματα και ζύγισμα των κομμένων κορυφών) του ξηρού βάρους βλαστού.

Για να δουν την ανάπτυξη του χλοοτάπητα πήραν δείγμα με την παρακάτω μέθοδο. Πήραν ένα μεταλλικό πλαίσιο των 4,5 cm που το τοποθετούσαν στο κέντρο του κάθε plot για να είναι όσο πιο ακριβής το δείγμα. Μετά κόβουν το χλοοτάπητα που περισσεύει από το πλαίσιο στη συνέχεια ζυγίζουν το νωπό βάρος για να δουν πόση υγρασία κρατάει και τοποθετούν τα κεσεδάκια στο φούρνο στου 75°C για 48ώρες μετά ζυγίζουν το ξηρό βάρος και βλέπουν την ανάπτυξη του χλοοτάπητα στην συνέχεια κόβουν το χλοοτάπητα στα 4,5cm μέχρι την επόμενη δειγματοληψία για να είναι όσο πιο ομοιόμορφο το δείγμα.



Εικόνα 19 Δειγματοληπτική κοπή χλοοτάπητα

Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος έγιναν κοπές και μετρήσεις ξηρού βάρους του χλοοτάπητα για την αξιολόγηση της ανάπτυξης του. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται ο εξοπλισμός με τον οποίο γίνονταν η κοπή του χλοοτάπητα (Εικόνα 20).



Εικόνα 20 Εξοπλισμός κοπής χλοοτάπητα

Εκτίμηση ποιότητας χλοοτάπητα μέσω μετρήσεων από απόσταση και χρήση αντικειμενικών δεικτών

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη προσέγγιση εκτίμησης της ποιότητας του χλοοτάπητα που συναντάμε στη βιβλιογραφία είναι η οπτική αξιολόγηση από ειδικούς. Μέσω αυτής εκτιμάται η πυκνότητα, η υφή και το χρώμα και βαθμολογούνται σε κλίμακα από 1 έως 9 (τέλειο). Η αξιολόγηση αυτή γίνεται με βάση το πρωτόκολλο που έχει αναπτυχθεί από το National Turfgrass Evaluation Program (NTEP³) (Morris και Shearman, 2008). Σύμφωνα με πολλούς ερευνητές η αξιολόγηση περιέχει μεγάλη δόση υποκειμενικότητας και για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η ανάπτυξη αντικειμενικών μεθόδων. Στο πλαίσιο αυτό αναπτύχθηκε μία σειρά από μεθόδους που σχετίζονται με την ακτινοβολία που εκπέμπεται ή ανακλάται από την φυτική επιφάνεια. Η τελευταία κατηγορία είναι ευκολότερη στην εφαρμογή και για το λόγο αυτό έχει βρει μεγαλύτερη απήχηση. Σε αυτή ανήκουν τεχνικές που ξεκινούν από την χρήση ανάκλασης σε ορισμένα μήκη κύματος έως τεχνικές που χρησιμοποιούν κοινές ψηφιακές φωτογραφίες.

Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά σε τεχνικές με χρήση ανάκλασης σε δύο ορισμένα μήκη κύματος μια και είναι η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο του συγκεκριμένου πειράματος.

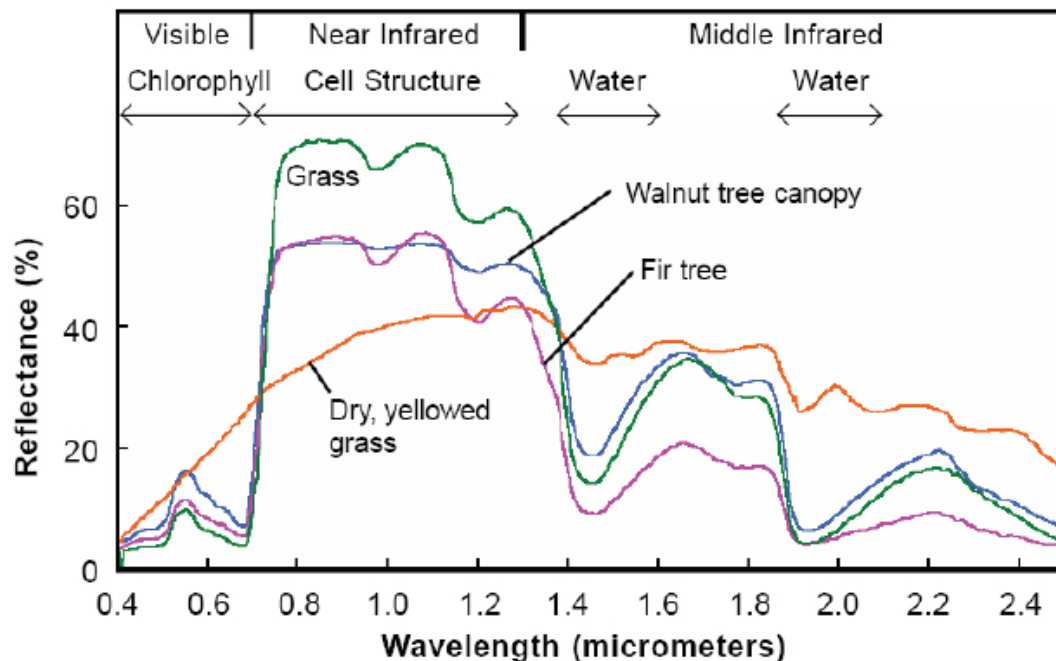
Ανάκλαση ακτινοβολίας από τα φυτά

Όταν το ηλιακό φως προσπίπτει σε μία φυλλική επιφάνεια, ένα μέρος του ανακλάται (reflected), ένα άλλο μέρος διαπερνά (transmitted) τα φύλλα και ένα τρίτο μέρος απορροφάται (absorbed) από τα φύλλα. Η καταγραφή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που ανακλάται ή εκπέμπεται από μία εκτεταμένη επιφάνεια μέσω εναέριων αισθητήρων περιγράφεται με τον γενικό όρο τηλεπισκόπηση (remote sensing).

Η ανάκλαση από μία φυτική επιφάνεια επηρεάζεται από το σύνολο των φυσικών, βιολογικών, υδρολογικών και λοιπών ιδιοτήτων της. Σύμφωνα με τους Thenkabail κ.α. (2000), η ανάκλαση στην περιοχή του φάσματος μεταξύ 300 και 1050nm παρέχει σημαντικούς δείκτες για την καταγραφή φυσιολογικών ιδιοτήτων των φυτών και κυρίως του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, του ποσοστού κάλυψης του εδάφους, της βιομάζας και του νωπού και ξηρού βάρους.

Οι αισθητήρες μέτρησης της ανάκλασης που τοποθετούνται πάνω από μία φυλλική επιφάνεια λαμβάνουν προφανώς το σύνολο της ακτινοβολίας που ανακλάται και εκπέμπεται υπό όλες αυτές τις επιδράσεις και κάθε συνδυασμός

φυτού – καλλιεργητικής τεχνικής μπορεί να έχει μία χαρακτηριστική υπογραφή που επιτρέπει την αναγνώρισή του (Εικόνα 21).



Εικόνα 21 Φάσμα ανάκλασης από φυτικές επιφάνειες διαφορετικού τύπου καθώς και από φύλλα υπό μάρανση (Smith, 2011)

Επειδή η ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλεται με το χρόνο και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, η ανάκλαση σε ένα μήκος κύματος είναι χρήσιμη μόνο για τον εντοπισμό περιοχών του φάσματος που σχετίζονται με την υδατική κατάσταση και όχι για το χαρακτηρισμό μίας φυτικής επιφάνειας. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με το συνδυασμό δεδομένων από δύο ή περισσότερα μήκη κύματος σχηματίζοντας με τον τρόπο αυτό φυτικούς φασματικούς δείκτες. Οι Zalaluk και Sri Ranjan (2008) κατηγοριοποίησαν τις βασικές μορφές φασματικών δεικτών που χρησιμοποιούνται και για την εκτίμηση της υδατικής καταπόνησης:

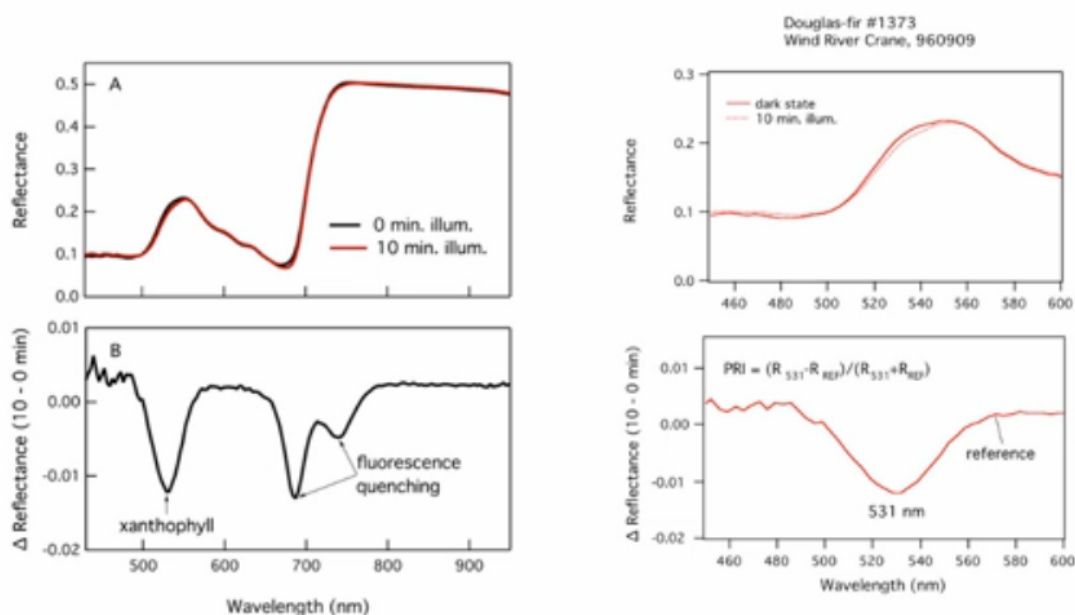
οι απλοί λόγοι (simple ratios) είναι το πηλίκο της ανάκλασης σε δύο μήκη κύματος,

οι κανονικοποιημένες διαφορές (normalized difference vegetation indices) υπολογίζονται διαιρώντας την διαφορά στην ανάκλαση σε δύο μήκη κύματος με το άθροισμα αυτών.

$$\frac{R_{\text{###nm}}}{R_{\text{$$$nm}}} \quad \frac{R_{\text{###nm}} - R_{\text{$$$nm}}}{R_{\text{###nm}} + R_{\text{$$$nm}}}$$

Εξίσωση 2 Βασικές μορφές φασματικών φυτικών δεικτών

Οι Gamon κ.α. (1992) ανέπτυξαν ένα δείκτη ο οποίος 20 σχεδόν έτη μετά έχει φθάσει να αξιοποιείται σε πραγματικές συνθήκες Gamon (2014). Ο δείκτης αυτός ονομάζεται PRI (Photochemical Reflectance Index⁴) και αποτελεί ένα μέσο για την καταγραφή της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και της φυτό υγειονομικής κατάστασης αειθαλών φυτικών επιφανειών. Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιεί μετρήσεις του ποσοστού ανάκλασης του ηλιακού φωτός στα μήκη κύματος 531 και 570nm (και τα δύο εντός του ορατού και μάλιστα στην περιοχή του πράσινου) από τα οποία το πρώτο είναι πολύ ευαίσθητο στη φωτοσυνθετική δραστηριότητα ενώ το δεύτερο χαρακτηρίζει το τέλος της περιοχής επίδρασης και για αυτό χρησιμοποιείται ως αναφορά, $PRI = (R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$. Η επιλογή των συγκεκριμένων έγινε μετά από θεωρητική ανάλυση της φυσιολογίας των φυτών και μακροχρόνιες πειραματικές δοκιμές (Εικόνα 22). Πολλοί ερευνητές χρησιμοποιούν το δείκτη με $R_{570} - R_{531}$ στον αριθμητή ώστε να μην λαμβάνει αρνητικές τιμές (Gamon, 2014).



Εικόνα 22 Πειραματικές πληροφορίες στο πλαίσιο ανάπτυξης του pri (gamon, 2014)

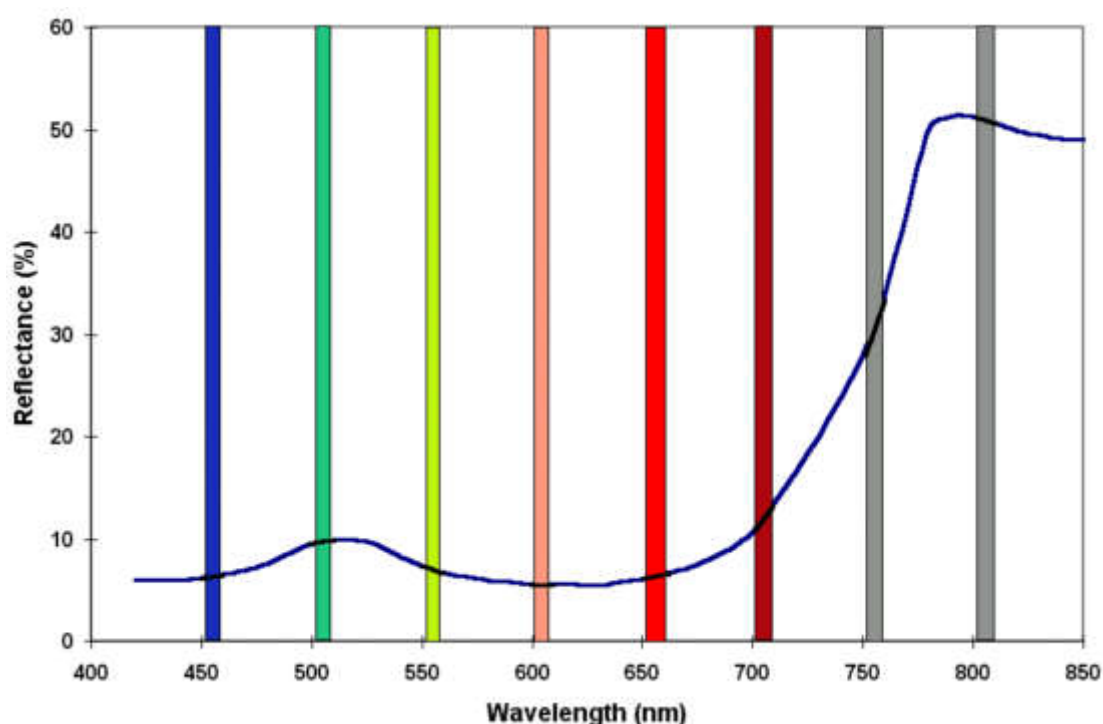
Άλλοι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει για τον ίδιο σκοπό άλλα μήκη κύματος εντός της ίδιας περιοχής με την ίδια λογική, π.χ. οι Penñelas κ.α. (1994) χρησιμοποίησαν το ποσοστό ανάκλασης στα μήκη κύματος 530 και 550nm.

⁴ Το ακρωνύμιο PRI χρησιμοποιείται από άλλους ερευνητές για τους όρους Physiological Reflectance Index

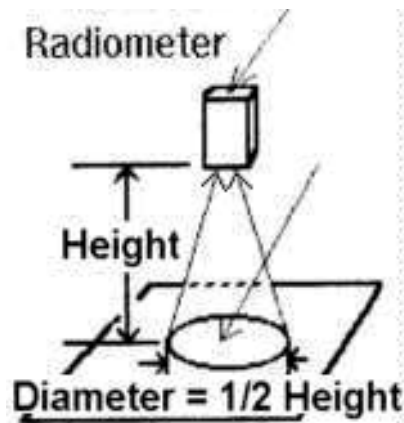
Φορητό πολυφασματικό ραδιόμετρο

Για την μέτρηση της ανακλώμενης ακτινοβολίας από την επιφάνεια του χλοοτάπητα χρησιμοποιήθηκε ένα φορητό πολυφασματικό ραδιόμετρο (MSR87, CropScan Inc., Rochester, USA) το οποίο μετρά σε 8 στενές (10nm) φασματικές λωρίδες κεντραρισμένες στα ακόλουθα μήκη κύματος (σε nm): 460, 510, 560, 610, 660, 710, 760 και 810 (Εικόνα 23).

Το όργανο αποτελείται από τον αισθητήρα, τη ράβδο προσάρτησης του αισθητήρα, το πληκτρολόγιο ελέγχου και τον υπολογιστή – καταγραφικό. Χαρακτηριστικό του οργάνου είναι ότι η διάμετρος της περιοχής αποτύπωσης είναι ίση με το μισό του ύψους του οργάνου πάνω από την επιφάνεια από την οποία καταγράφεται η ανάκλαση (Εικόνα 24).



Εικόνα 23 Τυπικό διάγραμμα ανάκλασης από φυτική επιφάνεια (cropscan, σημειώνονται οι περιοχές μέτρησης του multispectral radiometer 87)

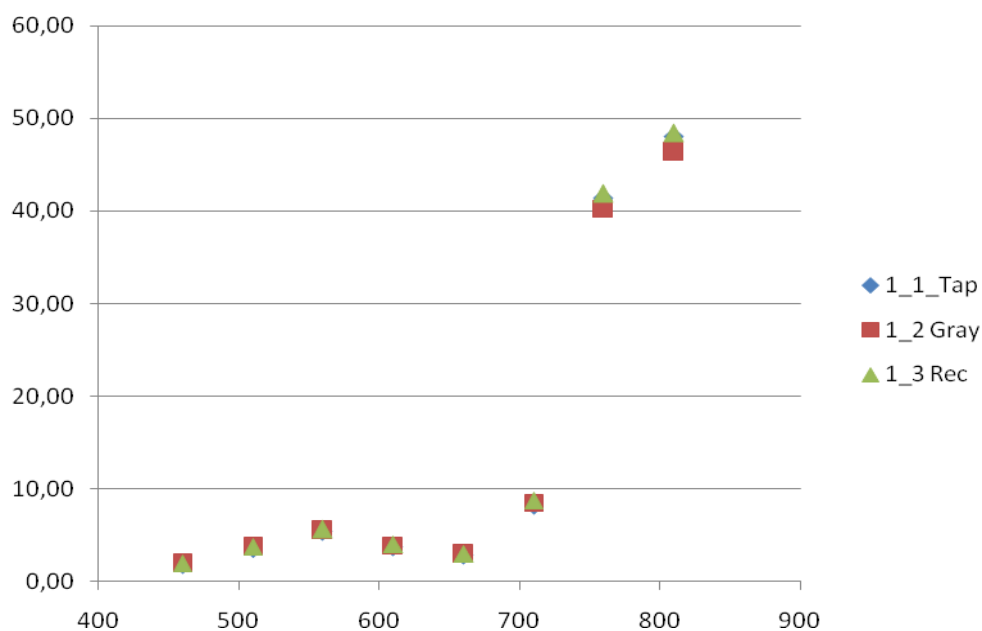


Εικόνα 24 Φορητό πολυφασματικό ραδιόμετρο CropScan

Λόγω των περιορισμών του οργάνου που χρησιμοποιήθηκε, για την αξιολόγηση της διαφοράς της ποιότητας χρησιμοποιήσαμε το ποσοστό ανάκλασης στα μήκη κύματος 510 και 560nm για να ορίσουμε ένα δείκτη παρόμοιο με τον PRI:

$$PRI_{cropscan} = (R560 - R510) / (R560 + R510)$$

Εξίσωση 3 Δείκτης φασματικής ανάκλασης $PRI_{cropscan}$



Εικόνα 25 Ενδεικτικό διάγραμμα μετρήσεων ανάκλασης με το Cropscan κατά την περίοδο αξιολόγησης

Ποσοτική & ποιοτική αξιολόγηση θάμνων

Ανάπτυξη θάμνων

Για την αξιολόγηση της ανάπτυξης των θάμνων εκτιμήθηκαν διαφορετικοί παράμετροι εξειδικευμένοι στο είδος του φυτού. Έτσι για τα είδη: αμπέλια, βιβούρνο, αγγελική, τούγια και ιβίσκος υπολογίστηκε ο Δείκτης Ανάπτυξης (Growth Index, G.I.).

$$G.I.=H \times W_1 \times W_2$$

όπου H: ύψος από έδαφος, W₁: πλάτος της μεγαλύτερης πλευράς και W₂: πλάτος κάθετο στο W₁.

Εξίσωση 4 Δείκτης ανάπτυξης G.I.

Για τα είδη: λιγούστρο και φωτίνια μετρήθηκε το ύψος. Για τα είδη: λιγούστρο, φωτίνια και βιβούρνο μετρήθηκε και η διάμετρος του βλαστού, ενώ για τα είδη: αμπέλια και βιβούρνο μετρήθηκαν και τα άνθη/ταξιανθίες (Scheiber, 2008, Shober κ.α., 2010, Broschat κ.α.. 2010) Όλα τα φυτά κλαδεύτηκαν σε ένα σχηματισμό κοινό για κάθε διαφορετικό είδος ώστε να εξασφαλιστεί η αρχική ομοιομορφία των φυτών που θα παρείχε το μέγεθος και σχήμα αναφοράς για τις επικείμενες μετρήσεις (Smiley κ.α., 2009).

Οπτική αξιολόγηση θάμνων

Η φωτογράφιση των φυτών αποτελεί μία προσπάθεια της ομάδας για την αξιολόγηση και την βαθμολόγηση τους μέσω διαδικτύου από ένα πάνελ ειδικών από διάφορα πανεπιστημιακά ιδρύματα της χώρας.

Η φωτογράφιση των ειδών: Αμπέλια, βιβούρνο, αγγελική έγινε με χρήση ενός σκοτεινού θαλάμου που έχει φώτα led για να υπάρχουν οι ίδιες συνθήκες φωτισμού. Στη βάση του θάμνου τοποθετήθηκε ένα νάιλον άσπρου χρώματος για να μην φαίνεται το έδαφος και το αρδευτικό.

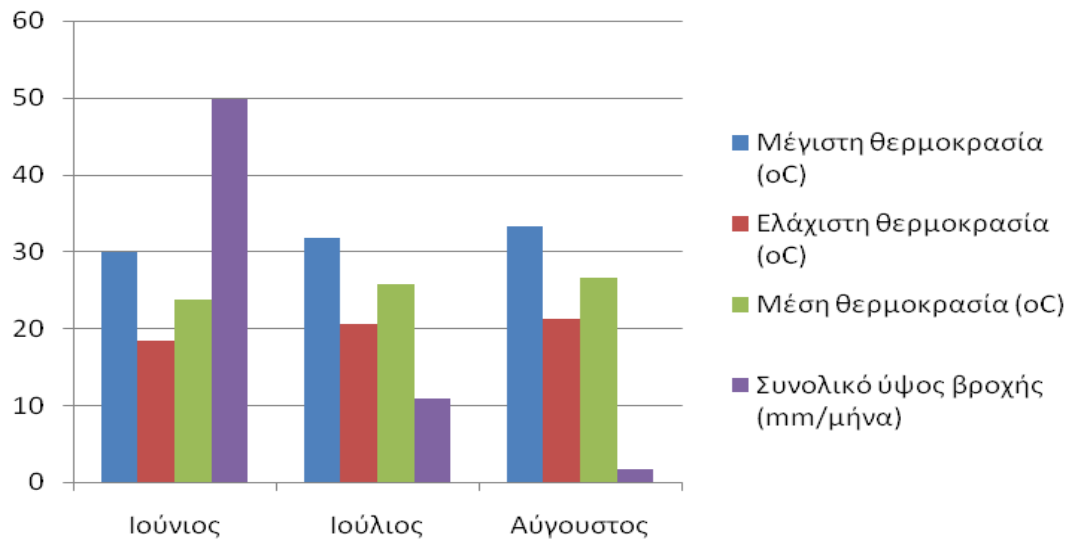
Στα υπόλοιπα φυτά (λιγούστρο, φωτίνια και τούγια) η φωτογράφιση τους γινόταν με την χρήση ενός άσπρου –καμβά —από νάιλον που τοποθετήθηκε πίσω από το φυτό και ενός δεύτερου στην βάση του βλαστού του θάμνου.

Η διαδικασία αξιολόγησης βρίσκεται σε εξέλιξη.

Αποτελέσματα

Κλίμα

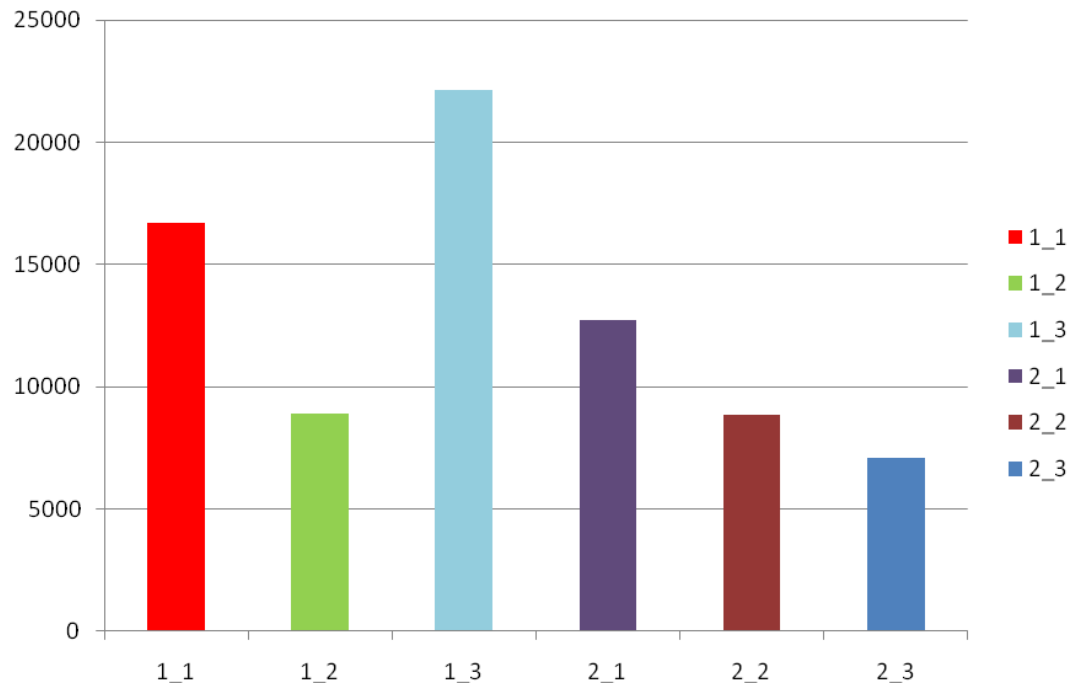
Στην Εικόνα 26 παρουσιάζονται ορισμένα βασικά κλιματικά μεγέθη που καταγράφηκαν κατά το καλοκαίρι του 2014. Το καλοκαίρι του 2014 ήταν γενικά δροσερό σε σχέση με το τυπικό κλίμα της περιοχής.



Εικόνα 26 Θερμοκρασίες και βροχές που επικράτησαν στην περιοχή το καλοκαίρι του 2014

Κατανάλωση νερού για άρδευση

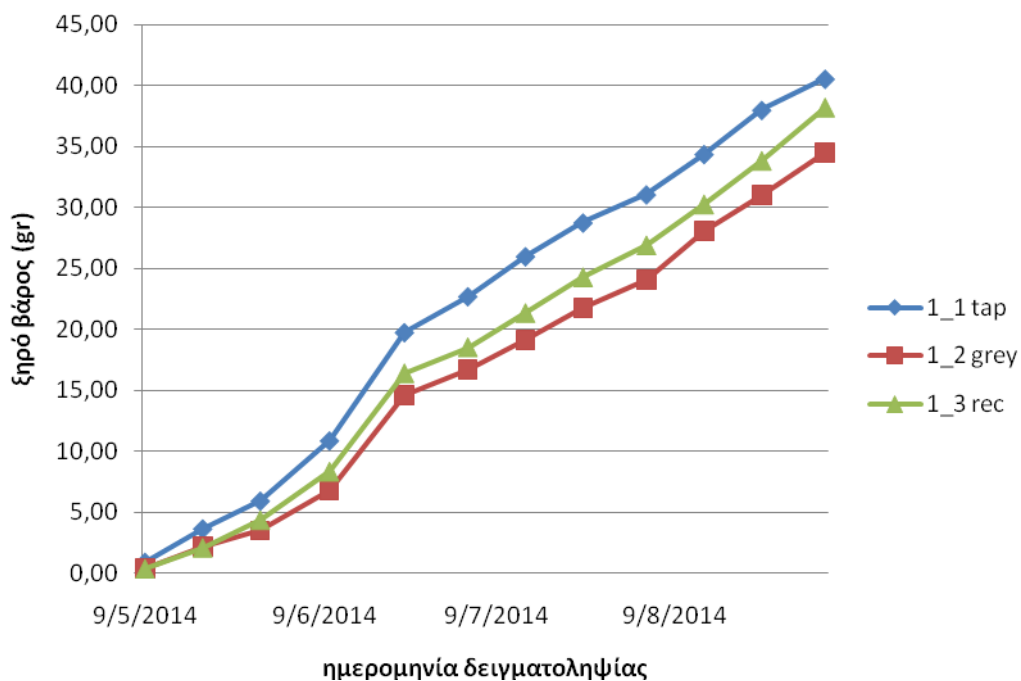
Η Εικόνα 27 παρουσιάζει την αθροιστική κατανάλωση νερού για κάθε μεταχείριση όπως μετρήθηκε από τα υδρόμετρα. Οι διαφοροποιήσεις οφείλονται σε χρόνους λειτουργίας που σχετίζονταν με δοκιμές του κάθε συστήματος, διαρροές κοκ.



Εικόνα 27 Συνολική κατανάλωση νερού (lt) ανα μεταχείριση

Ποσότητα χλοοτάπητα (κοπές)

Η Εικόνα 28 παρουσιάζει την αθροιστική καταγραφή του βάρους των κοπών (αφορά μόνο την μικρή περιοχή των κοπών, δεν έχει γίνει αναγωγή στο σύνολο της έκτασης ή στη μονάδα επιφάνειας). Η γενική εικόνα είναι ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων με διαφορετικό τύπο νερού.

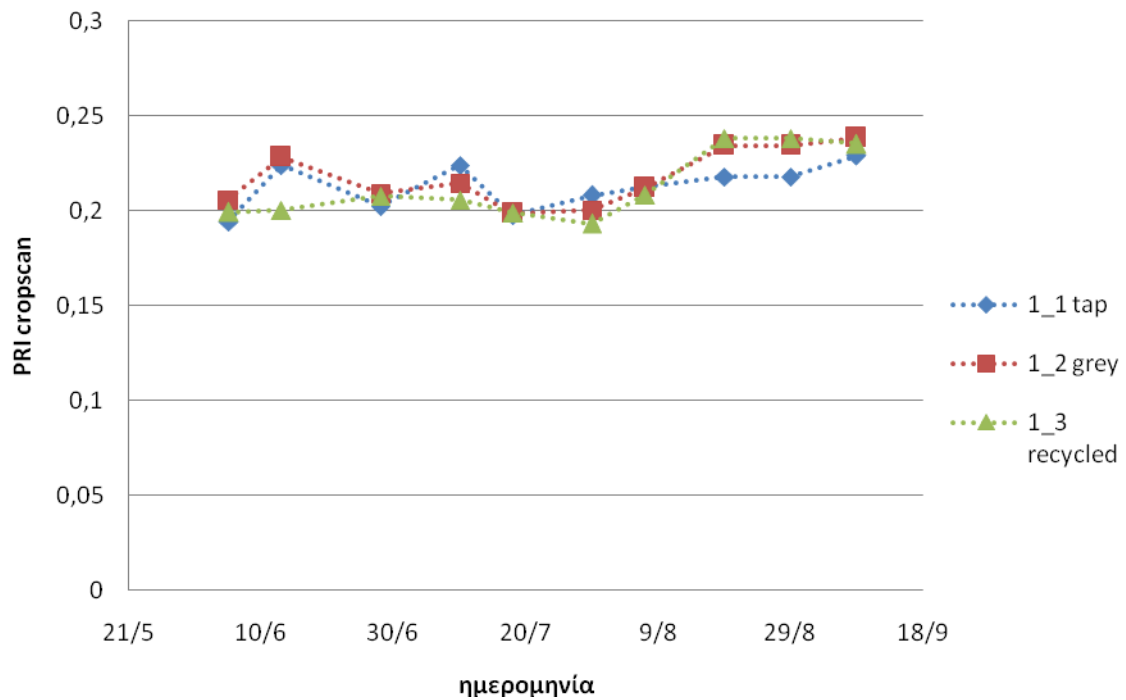


Εικόνα 28 Καταγραφή ξηρού βάρους χλοοτάπητα (gr)

Ποιότητα χλοοτάπητα

Στην Εικόνα 29 παρουσιάζεται η αντανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας από τη φυλλική επιφάνεια του χλοοτάπητα σε διάφορα μήκη κύματος, σε κάθε μεταχείριση.

Η γενική εικόνα είναι ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων με διαφορετικό τύπο νερού.

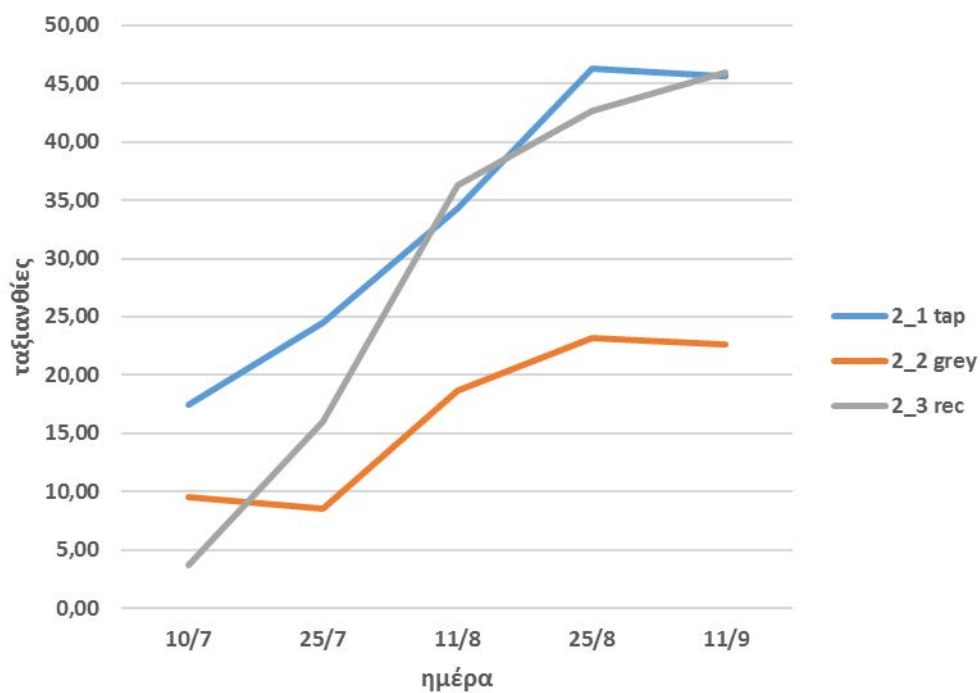
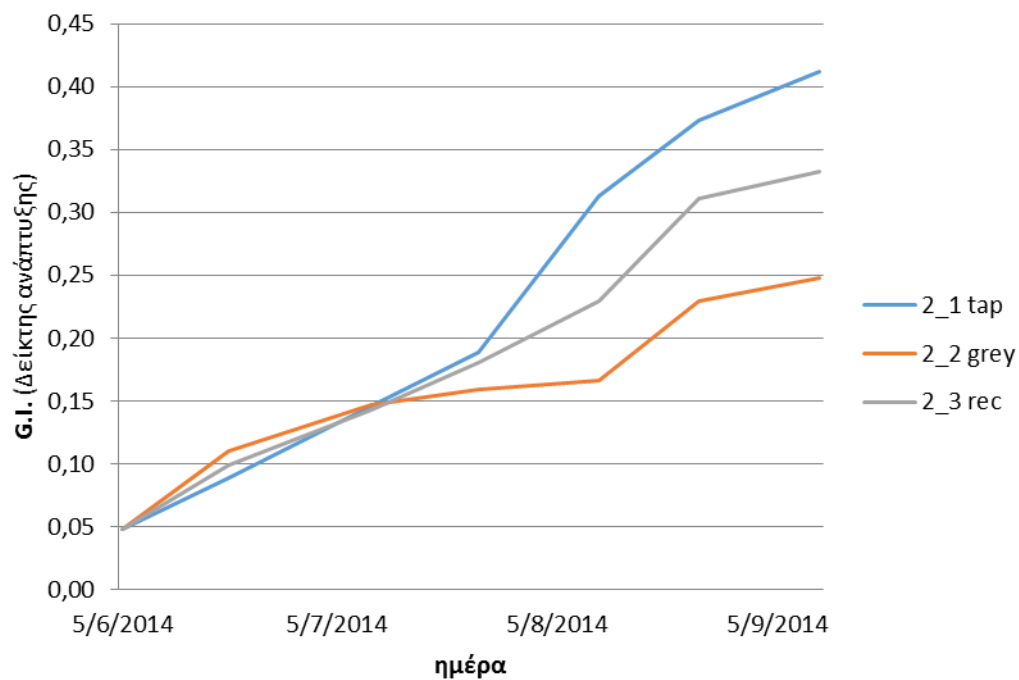


Εικόνα 29 Εξέλιξη του δείκτη PRI cropscan κατά την περίοδο αξιολόγησης

Ανάπτυξη θάμνων

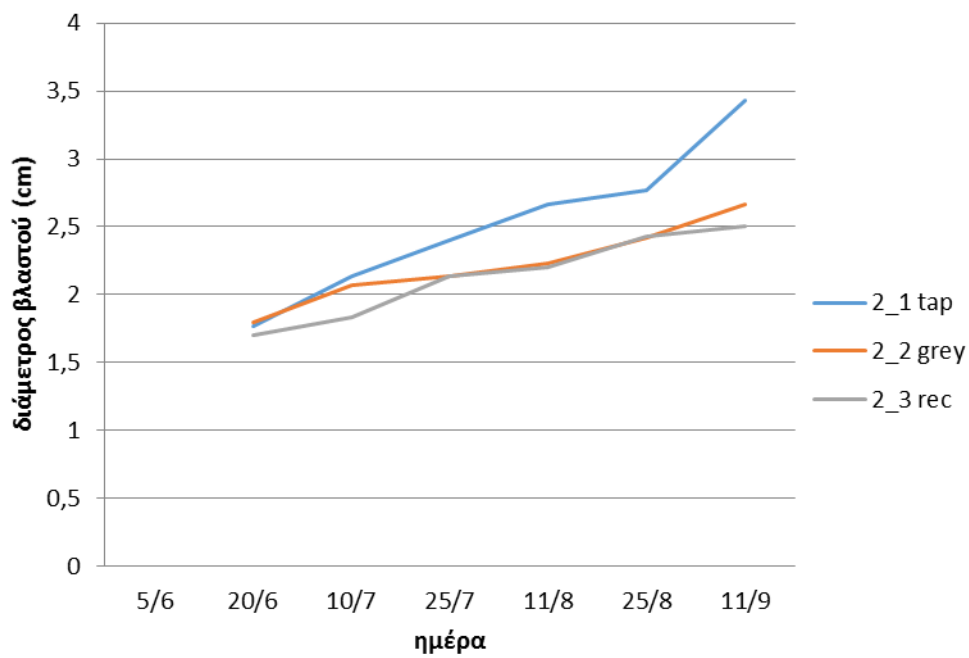
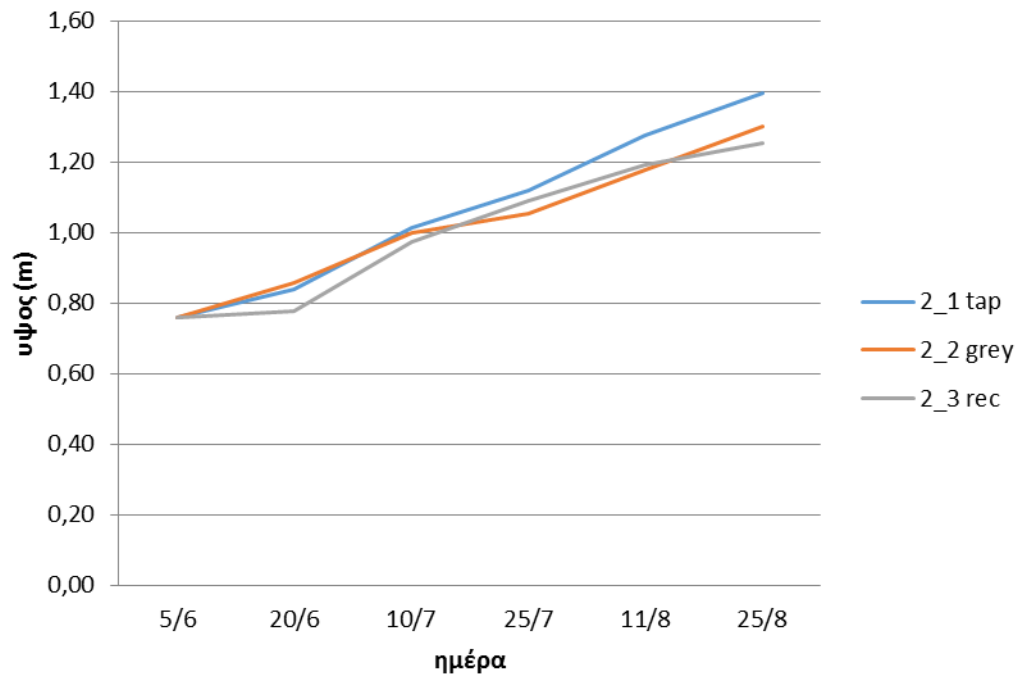
Στην συνέχεια παρουσιάζεται η καταγραφή στοιχείων ανάπτυξης των θάμνων που αξιολογήθηκαν.

Αμπέλια



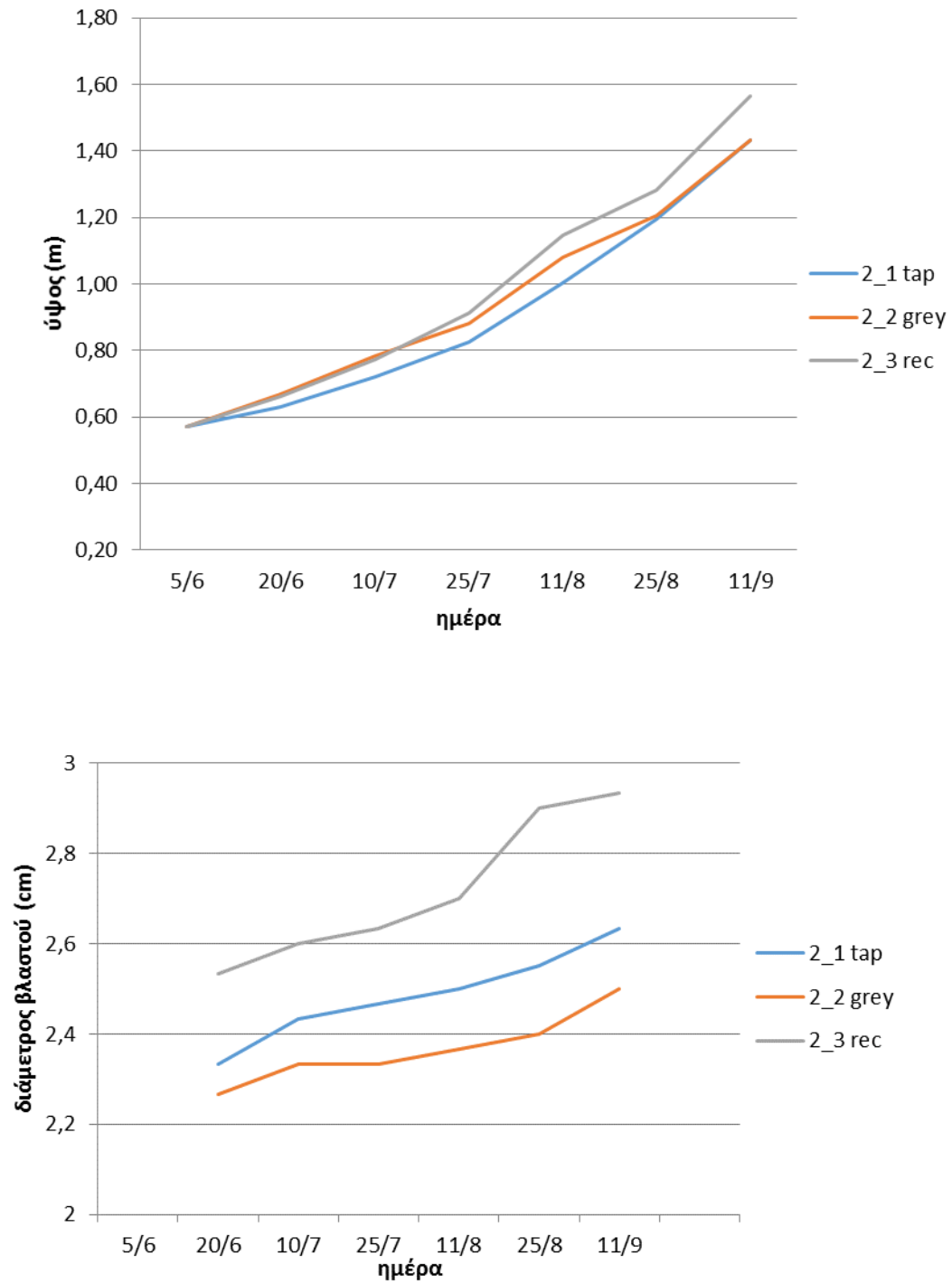
Εικόνα 30 Εκτίμηση ανάπτυξης αμπέλιας

Λιγούστρο



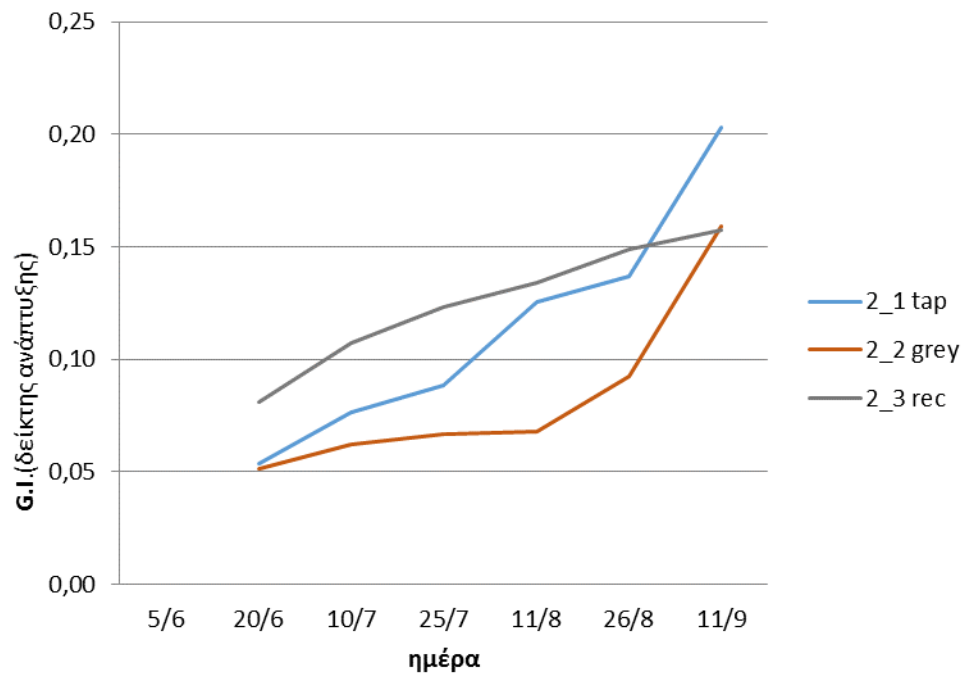
Εικόνα 31 Εκτίμηση ανάπτυξης λιγούστρου

Φωτίνια



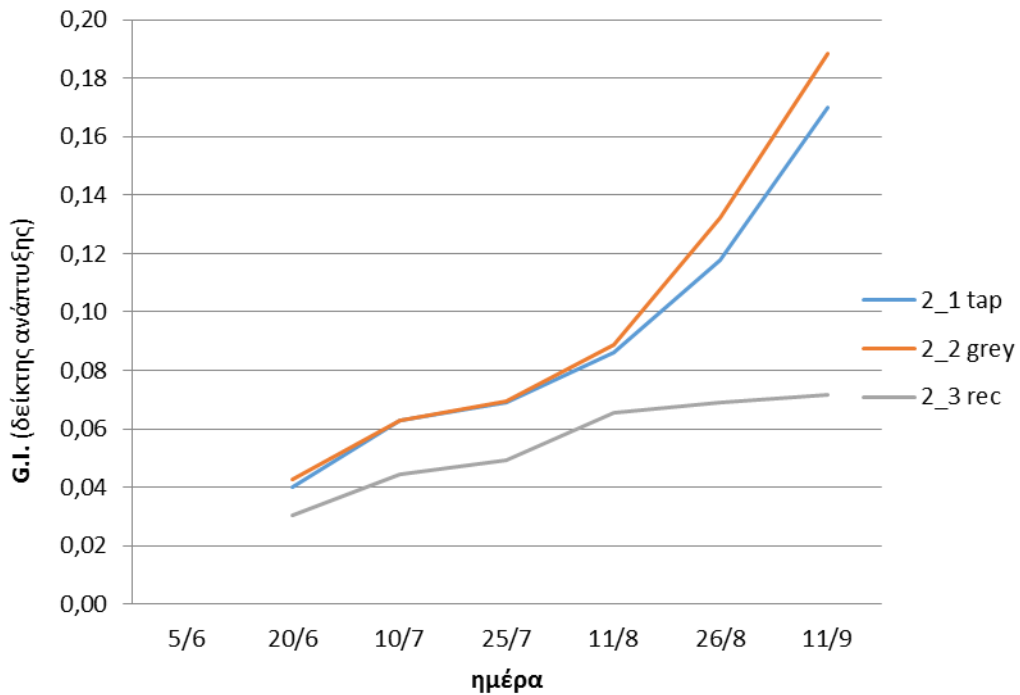
Εικόνα 32 Εκτίμηση ανάπτυξης φωτίνιας

Βιβούρνο



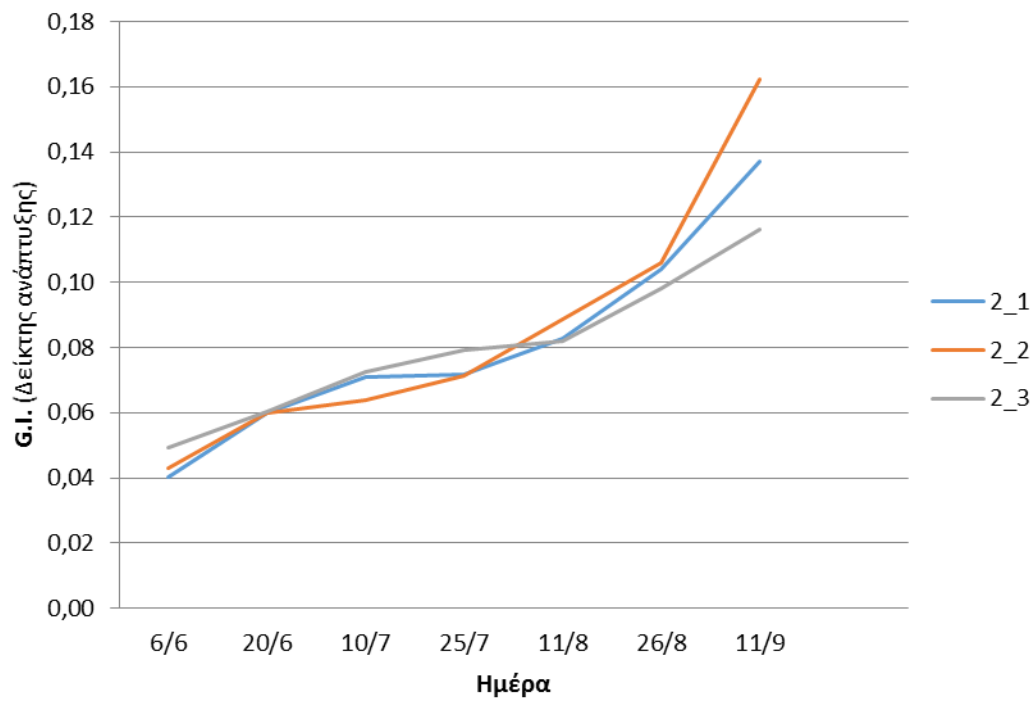
Εικόνα 33 Εκτίμηση ανάπτυξης βιβούρνου

Αγγελική



Εικόνα 34 Εκτίμηση ανάπτυξης αγγελικής

Τούγια



Εικόνα 35 Εκτίμηση ανάπτυξης τούγιας

Συμπεράσματα

Χλοοτάπητας

Το βασικό συμπέρασμα είναι ότι παρά το ότι η μεταχείριση με άρδευση με νερό δικτύου (TW_C) είχε μεγαλύτερη απόδοση σε επίπεδο ξηρού βάρους από τις άλλες δύο (γκρίζο, GW και ανακυκλωμένο, RW) δεν υπήρχε μεγάλη διαφοροποίηση σε επίπεδο ποιότητας χλοοτάπητα (όπως εκτιμήθηκε με τη χρήση του δείκτη PRI). Αυτό αποτελεί μία πολύ καλή ένδειξη ότι τόσο το επεξεργασμένο όσο και το γκρίζο νερό θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία για την άρδευση χλοοτάπητα. Σε κάθε περίπτωση όμως θα πρέπει να τηρείται η σχετική νομοθεσία.

Θάμνοι

Τα αποτελέσματα για τους θάμνους μας οδηγούν στα ακόλουθα αρχικά συμπεράσματα:

- Αμπέλια: παρατηρείται μια διαφοροποίηση στην ανάπτυξη αλλά και στην ανθοφορία των φυτών με τα φυτά των μεταχειρίσεων με το μάρτυρα να υπερτερούν έναντι των φυτών των υπολοίπων μεταχειρίσεων. Στην περίπτωση της ανάπτυξης των φυτών, όπως αυτή εκφράζεται μέσω του Δείκτη Ανάπτυξης (G.I.) που υπολογίστηκε, φαίνεται ότι μεταξύ των μεταχειρίσεων με εναλλακτικές πηγές άρδευσης, μεγαλύτερη ανάπτυξη δείχνουν τα φυτά τις μεταχείρισης με επεξεργασμένο νερό. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση της μελέτης της ανθοφορίας των φυτών ότι ενώ σημειώνεται μεγαλύτερη ανθοφορία στα φυτά του μάρτυρα, τα φυτά της μεταχείρισης με επεξεργασμένο νερό δε σημείωσαν σημαντική διαφορά καθόλη την περίοδο ανθοφορίας σε αντίθεση με τα φυτά της μεταχείρισης με γκρίζο νερό όπου εκεί φαίνεται η ανθοφορία να είναι μικρότερη.
- Λιγούστρο: στην περίπτωση του λιγούστρου δε σημειώθηκε ιδιαίτερη διαφορά στην παράμετρο του ύψους που μελετήθηκε μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων, έδειξαν όμως μικρή διαφορά στην ανάπτυξη της διαμέτρου του βλαστού των φυτών. Πάλι εδώ η μεταχείριση με το μάρτυρα σημείωσε καλύτερα αποτελέσματα. Το ύψος των φυτών κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα και στις τρεις μεταχειρίσεις, με τα φυτά του μάρτυρα να σημειώνουν καλύτερη απόδοση και να ακολουθούν τα φυτά της μεταχείρισης με γκρίζο νερό ενώ το μικρότερο ύψος σημείωσαν τα φυτά που δέχτηκαν τη μεταχείριση με επεξεργασμένο νερό. Αντίστοιχη είναι και η κατάταξη που αφορά τη διάμετρο του βλαστού των φυτών, με τα φυτά του μάρτυρα φαίνεται να έχουν μεγαλύτερη διάμετρο βλαστού, ακολουθούν τα φυτά της μεταχείρισης

με γκρίζο νερό ενώ μικρότερη διάμετρο βλαστού είχαν τελικά τα φυτά της μεταχείρισης με επεξεργασμένο νερό.

- Φωτίνια: η περίπτωση της φωτίνιας δίνει μια ανάλογη εικόνα με το λιγούστρο, εδώ όμως φαίνεται να προηγούνται σε ανάπτυξη τα φυτά της μεταχείρισης με επεξεργασμένο νερό. Το ύψος των φυτών δεν διαφοροποιήθηκε ιδιαίτερα μεταξύ των μεταχειρίσεων, τα φυτά όμως που δέχτηκαν επεξεργασμένο νερό σημείωναν την καλύτερη απόδοση, ακολουθούσαν τα φυτά της μεταχείρισης με γκρίζο νερό τα οποία στο τέλος της πειραματικής περιόδου σημείωσαν ύψος που ταυτίζεται με αυτό των φυτών του μάρτυρα. Μεγαλύτερη διάμετρο βλαστού σημείωσαν και εδώ τα φυτά της μεταχείρισης με επεξεργασμένο νερό, ακολουθούν τα φυτά του μάρτυρα και τέλος τα φυτά της μεταχείρισης με γκρίζο νερό.
- Βιβούρνο: η ανάπτυξη των φυτών φαινόταν αρχικά να διαφέρει αρκετά μεταξύ των φυτών των μεταχειρίσεων των εναλλακτικών πηγών άρδευσης με τα φυτά της μεταχείρισης με επεξεργασμένο νερό να σημειώνουν μεγαλύτερο δείκτη ανάπτυξης, κατέληξε όμως να ταυτίζεται στο τέλος της πειραματικής περιόδου. Τα φυτά του μάρτυρα ενώ σε όλη την πειραματική περίοδο είχαν μια ανάπτυξη που τα τοποθετούσε στη μέση της κατάταξης στο τέλος έδειξαν να έχουν σημαντικά μεγαλύτερη ανάπτυξη από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.
- Αγγελική: τα φυτά της μεταχείρισης με γκρίζο νερό σημείωσαν σε όλη την πειραματική περίοδο το μεγαλύτερο δείκτη ανάπτυξης ο οποίος σχεδόν ταυτίζεται με αυτό των φυτών του μάρτυρα. Σημαντικά μικρότερη όμως ανάπτυξη επέδειξαν τα φυτά της μεταχείρισης με επεξεργασμένο νερό.
- Τούγια: τα φυτά της τούγιας έδειχναν μια ομοιομορφία στην ανάπτυξη καθ' όλη την πειραματική περίοδο η οποία διατηρήθηκε σχεδόν μέχρι το τέλος οπότε και ο δείκτης ανάπτυξης φαίνεται μεγαλύτερος για τα φυτά της μεταχείρισης με γκρίζο νερό και ίσως σημαντικά διαφορετικός από αυτό των φυτών του μάρτυρα που ακολουθούν αλλά και της μεταχείρισης με επεξεργασμένο νερό.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι υπάρχει πλούσια βιβλιογραφία σχετικά με φυτά που έχουν σημαντικές αντοχές σε γκρίζο και επεξεργασμένο νερό ενώ στη συγκεκριμένη περίπτωση αξιολογήθηκαν φυτά που επιλέχθηκαν με βασικό κριτήριο την παρουσία τους σε δημόσια έργα πράσινου του Δήμου Αρταίων.

Αναφορές

Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome.

Broschat T.K. et al. 2010 Effects of Fertilization on the Growth and Quality of Container-grown Areca Palm and Chinese Hibiscus during Establishment in the Landscape HortTechnology 20(2): 389-394

Cárdenas-Lailhacar B., Dukes M.D., Soil moisture sensor landscape irrigation controllers: a review of multi-study results and future implications. Transactions of the ASABE 55(2): 581-590

Costello, L. R., N. P. Matheny, and J. R. Clark. 2000. Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California, the Landscape Coefficient Method and WULCOLS III

Davis S.L., Dukes M.D., 2010. Irrigation scheduling performance by evapotranspiration-based controllers. Agricultural Water Management 98(1):19–28

Emekli Y., Bastug R., Buyuktas D., Emekli N.Y., 2007. Evaluation of a crop water stress index for irrigation scheduling of bermudagrass. Agricultural Water Management, 90: 205-212

Haley, M. and Dukes, M., 2012. Validation of Landscape Irrigation Reduction with Soil Moisture Sensor Irrigation Controllers."J. Irrig. Drain Eng., 138(2), 135-144.

Hellasod, 2014. Χλοοτάπητας ΗΠΑΚΛΗΣ. Διαθέσιμο στο: http://www.hellasod.gr/poikilies_xlootapita/82/Iraklis.htm. Προσπελάστηκε: 1/9/2014.

Irrigation Association (USA), 2013 (accessed) "Smart" Water Application Technologies (<http://www.irrigation.org/swat/>)

McCready M.S., Dukes M.D., 2011. Landscape irrigation scheduling efficiency and adequacy by various control technologies. Agricultural Water Management, 98(4): 697–704

McCready M.S., M.D. Dukes., 2011 Landscape irrigation scheduling efficiency and adequacy by various control technologies. Agricultural Water Management 98(4): 697–704

Melby P., 1995. Simplified Irrigation Design, Van Nostrand Reinhold

MILLEPIANTE, 2000. Φυτολογικός φωτογραφικός οδηγός Χίλιες ιδέες.

Morris K.N., Shearman R.C. 2008. NTEP Turfgrass Evaluation Guidelines. Διαθέσιμο στο: <http://www.ntep.org/contents2.shtml> Προσπελάστηκε: 24/09/2014

Natura Media, 2010. Gardens and Plants PRO / ηλεκτρονικός φυτολογικός οδηγός. Διαθέσιμο στο: <http://www.gardensandplants.com/shopping/shopexd.asp?id=104>

Scheiber S.M., 2008, Postestablishment Landscape Performance of Florida Native and Exotic Shrubs Under Irrigated and Non irrigated Conditions HortTechnology 18(1): 59-67

Smiley E. T. et al., 2009, Paclobutrazol Foliar Sprays to Suppress Growth On Landscape Shrubs. Arboriculture & Urban Forestry 35(6): 300–304

Smith R.B., 2001, Introduction to hyperspectral imaging. Διαθέσιμο στο: www.microimages.com. Προσπελάστηκε: 10/04/2014

Shober A. L. et al., 2010, Plant Performance and Nutrient Losses during Containerized Bedding Plant Production Using Composted Dairy Manure Solids as a Peat Substitute in Substrate. Hortscience 45(10):1516–1521. 2010.

University of California Cooperative Extension California Department of Water Resources, A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California - The Landscape Coefficient Method and WUCOLS III (WUCOLS is the acronym for Water Use Classifications of Landscape Species), 2000.

ΓΓΔΕ, Προσωρινές Προδιαγραφές Τεχνικών Έργων: 10-06-02-01 Άρδευση φυτών

ΓΓΔΕ, Προσωρινές Προδιαγραφές Τεχνικών Έργων: 10-06-02-02 Άρδευση χλοοτάπητα - Φυτών εδαφοκάλυψης - Χλοοτάπητα πρανών

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

Μπαμπίλης Δ., 2004. Αρδευτικά Δίκτυα Πρασίνου. Εκδόσεις ΣΤΑΜΟΥΛΗ Α.Ε., Αθήνα

Τσιρογιάννης Γ., «Σημειώσεις εργαστηριακών ασκήσεων άρδευσης έργων πράσινου», ΤΕΙ Ηπείρου Τμήμα Ανθοκομίας – Αρχιτεκτονικής Τοπίου, Άρτα 2009 (140 σελ, α έκδοση 2007)

ΦΕΚ Β'354/2011 (ΚΥΑ 145116/02-02-2011) «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις»