

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΡΗΤΗΣ**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΣΑΙΑΣ
ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΙΚΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗ***

Σπουδαστής : Πούγουνας Σπύρος

Εισηγητής : Ρηγάκης Ηρακλής

Χανιά, 2015

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	7
ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ.....	7
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ	11
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΜΑΙΧ.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	19
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	19
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ.....	19
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΑ	21
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΔΟΧΕΙΟ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΔΟΧΕΙΟ	24
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ (ΜΑΙΧ)	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	37
ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ.....	37
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	37
ΑΛΛΑΓΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ	40
ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ	42
ΠΛΑΚΕΤΕΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΓΙΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ pH , ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ (E.C.) , ΕΝΔΕΙΞΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΔΟΧΕΙΟ.....	57
ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΠΑΘΗΤΙΚΟΥΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ pH.....	57
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟΥ pH	58
ΚΥΚΛΩΜΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟΥ pH	61
ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΠΑΘΗΤΙΚΟΥΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	64
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	65
ΚΥΚΛΩΜΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ	67
ΚΥΚΛΩΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ AC ΤΑΣΗΣ (WIEN BRIDGE OSCILLATOR)	67
ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	69
ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΔΟΧΕΙΟ ΜΙΞΗΣ.....	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	74
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	74
ΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ-ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ	77
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	81
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	83

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το περιεχόμενο της πτυχιακής εργασίας πραγματεύεται την ανάλυση του θεωρητικού υπόβαθρου και τον σχεδιασμό για την κατασκευή ενός αυτόματου υδροπονικού συστήματος μεσαίας κλίμακας. Η έρευνα αυτού έγινε κατά την διάρκεια της πρακτικής άσκησης μου στο Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων και εντάχθηκε στα πλαίσια του προγράμματος **HYDROFLIES: "ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΒΙΟΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΒΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΕ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ ΚΑΙ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ"**.

Στόχος της έρευνας ήταν ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός συστήματος υδρολίπανσης ,σε υδροπονική καλλιέργεια , με χαμηλό κόστος κατασκευής και με χρήση υψηλής τεχνολογίας. Τα βήματα έγιναν σταδιακά με αρχή την μοντελοποίηση του συστήματος και εν συνεχεία με την έρευνα των κατάλληλων μονάδων έως την αγορά ηλεκτρονικών μικροεπεξεργαστών και διαφόρων αισθητήρων μέτρησης pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας, που φαίνονται σημαντικοί παράγοντες σε μια υδροπονική καλλιέργεια όπως θα αναλυθεί παρακάτω. Αμέσως μετά έγινε μελέτη για τη συναρμολόγηση του καθώς και τον προγραμματισμό του. Το αποτέλεσμα της έρευνας δείχνει πως η λειτουργία ενός τέτοιου είδους συστήματος μπορεί να αποβεί σωτήρια για υδροπονικές καλλιέργειες 1 έως 3 στρεμμάτων μετά από πειράματα που έγιναν στα πλαίσια του προγράμματος με διαφορετικό υδροπονικό σύστημα μεγαλύτερης εμβέλειας. Η κατασκευή σταμάτησε λόγω της λήξης του προγράμματος όμως το στάδιο της έρευνας και οι προσπάθειες πάνω σε αυτήν αφήνουν αισιόδοξα αποτελέσματα για μελλοντική ανακατασκευή και χρήση.

ΘΑ ΗΘΕΛΑ ΝΑ ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΣΩ ΤΟΥΣ ΜΠΟΡΕΤΟ ΝΙΚΟΛΑΟ, ΥΠΕΥΘΥΝΟ ΤΗΣ ΠΡΑΚΤΙΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΜΟΥ ΣΤΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΑΓΡΟΝΟΜΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΧΑΝΙΩΝ ΚΑΙ ΡΙΓΑΚΗ ΗΡΑΚΛΗ, ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΕΝΑΣΧΟΛΗΣΗΣ ΜΟΥ ΜΕ ΤΟ ΘΕΜΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΟΛΥΤΙΜΗ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥΣ..

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα λαχανικά αποτελούν τη σημαντικότερη κατηγορία τροφίμων για τον άνθρωπο λόγω της υψηλής διατροφικής και διαιτητικής τους αξίας αλλά και της ευκολίας κατανάλωσης τους είτε ως νωπά είτε ως συστατικό μαγειρευμένων γευμάτων. Η παραγωγή λαχανικών αποτελεί ένα από τους λίγους τομείς της οικονομίας που μπορεί να αποφέρουν συνάλλαγμα υπό το καθεστώς της παρούσας οικονομικής κρίσης. Η θερμοκηπιακή καλλιέργεια λαχανικών χαρακτηρίζεται από την εντατική της φύση και αποτελεί ίσως τον πιο δυναμικό τομέα της γεωργικής παραγωγής, καθώς επιτρέπει την επίτευξη υψηλών αποδόσεων, ποιοτικών προϊόντων, με μικρές ανάγκες σε χώρο και νερό. Η εντατικοποίηση όμως της παραγωγής σε θερμοκήπια συνοδεύεται από την ουσιαστική αύξηση της χρήσης λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών ουσιών. Η μη ορθολογική χρήση λιπασμάτων αυξάνει το κόστος παραγωγής και έχει ως αποτέλεσμα τη ρύπανση των υπογείων και επιφανειακών υδάτων με νιτρικά άλατα. Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων νιτρικών στα τρόφιμα μπορεί να έχει επικίνδυνες επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου (πρόδρομες ουσίες καρκινογένεσεων). Αύξηση του κόστους παραγωγής και προβλήματα υγείας στον άνθρωπο και επιβάρυνση στο περιβάλλον προκαλούν επίσης η συχνή χρήση γεωργικών φαρμάκων, με δυσμενείς επιπτώσεις σε μοναδικά φυτικά και ζωικά είδη.[1]

Στο σημείο αυτό κρίνεται αναγκαίο να διευκρινίσουμε ότι η υδροπονία ΔΕΝ είναι κάποιο πανάκριβο μαγικό σύστημα, που δουλεύει μόνο του, και υπόσχεται εύκολα ασύλληπτο ύψος παραγωγής. Επίσης ΔΕΝ είναι κάτι πολύ περίεργο με παράξενες απαιτήσεις αλλά βασίζεται στην κατανόηση των θρεπτικών αναγκών μιας καλλιέργειας. Η εγκατάσταση ενός υδροπονικού συστήματος είναι οικονομικά προσιτή με πολλαπλά οφέλη για τον παραγωγό, και εξαρτώνται από τις συνθήκες που επικρατούν στο θερμοκήπιο, τις γνώσεις που διαθέτει και την επιμέλεια του στην εκτέλεση των σχετικών εργασιών. Βέβαια, απαιτείται η κατάλληλη καθοδήγηση από εξειδικευμένο προσωπικό, τουλάχιστον στα αρχικά στάδια λειτουργίας ενός υδροπονικού συστήματος.[2]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΥΔΡΟΠΟΝΙΑ

Το παρόν κείμενο είναι ένα καθαρά εισαγωγικό και απλό σχετικά με τις υδροπονικές καλλιέργειες με σκοπό να δώσει κάποιες πρώτες πληροφορίες και διευκρινήσεις για την υδροπονία.



Εικόνα 1- Υδροπονική Καλλιέργεια

Με τον όρο υδροπονία έχει επικρατήσει να αναφέρονται όλες οι τεχνικές της καλλιέργειας φυτών εκτός εδάφους (soiless culture) ως μέσου ανάπτυξης του ριζικού συστήματος. Σε αυτές τις τεχνικές οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται είτε μέσα σε άλλα υλικά (υπόστρωμα), είτε σε νερό. Ως υπόστρωμα υδροπονικών καλλιεργειών μπορεί να θεωρηθεί κάθε φυσικό ή βιομηχανικά επεξεργασμένο πορώδες υλικό ή μείγματα αυτών, που μπορεί να συγκρατεί αέρα και νερό μέσα του (όπως κάνει και το έδαφος άλλωστε). Τα υποστρώματα μπορεί να είναι χημικά αδρανή (δεν αποδίδουν θρεπτικά στοιχεία) ή να είναι οργανικής προέλευσης (αποδίδουν μερικώς θρεπτικά στοιχεία) στο διάλυμα:

- Αδρανή: περλίτης, ελαφρόπετρα, πετροβάμβακας, άμμος, χαλίκι, ζεολίτης
- Οργανικά: τύρφη, κοκοφοίνικας, κόμποστ

Το υπόστρωμα βρίσκεται σε περιορισμένο όγκο σχετικά με το έδαφος, επομένως οι όποιες αλλαγές γίνονται, είναι άμεσες και δραστικές.[2]

Το κοινό πάντως που τις χαρακτηρίζει σε κάθε περίπτωση είναι ότι η θρέψη των φυτών γίνεται αποκλειστικά από θρεπτικό διάλυμα, το οποίο είναι αραιό υδατικό διάλυμα όλων των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων που είναι απαραίτητα για τα φυτά, ειδικά προσαρμοσμένο για κάθε είδος καλλιέργειας και ανάλογα με το στάδιο στο οποίο βρίσκεται.



Εικόνα 2-Υδροπονική Καλλιέργεια

Τα δύο βασικά χαρακτηριστικά των θρεπτικών διαλυμάτων είναι η Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (Electrical Conductivity, E.C.) και το pH (πεχά), τα επίπεδα των οποίων πρέπει να είναι συγκεκριμένα για κάθε φυτό και καλλιέργεια. Μπαίνουμε στη διαδικασία να αναλύσουμε τις έννοιες αυτών των χαρακτηριστικών για να κατανοήσουμε την μεγάλη σημασία τους στην ανάπτυξη των φυτών άρα και την σημασία της ενσωμάτωσης συσκευών μετρήσεων σε ένα υδροπονικό σύστημα.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ένα μέγεθος που εκφράζει την ικανότητα του υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Η ικανότητα του θρεπτικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα οφείλεται στην παρουσία ιόντων. Συνεπώς η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ανάλογη της συνολικής συγκέντρωσης ιόντων στο διάλυμα. Όμως, η EC δεν μας δίνει πληροφορίες για το είδος των ιόντων (K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} κ.λπ.) που περιέχονται στο διάλυμα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μπορεί να μετρηθεί εύκολα και γρήγορα στο θερμοκήπιο με τη χρήση εύχρηστων φορητών οργάνων. Γι' αυτό η μέτρηση της χρησιμοποιείται ευρύτατα για το γρήγορο προσδιορισμό της συγκέντρωσης αλάτων σε θρεπτικά διαλύματα.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) μετριέται σε $dS m^{-1}$, όπου:

$$1 \text{ dS m}^{-1} = 1 \text{ mS cm}^{-1} = 1 \text{ mmho cm}^{-1} [3]$$

Αυτό όμως που γνωρίζουμε συμπερασματικά είναι πως αν η ηλεκτρική αγωγιμότητα μειώνεται με την πάροδο του χρόνου τότε καταναλώνονται θρεπτικά στοιχεία κατά την ομαλή ανάπτυξη της καλλιέργειας (αυτό είναι το φυσιολογικό) ενώ αν αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου τότε υπάρχει συσσώρευση αλάτων/ιόντων (συνήθως μη χρήσιμων π.χ. νατρίου, χλωρίου) & έντονη αφαίρεση νερού (συμπύκνωση του θρεπτικού διαλύματος δηλαδή συνθήκες αλάτωσης).

Οπότε, εάν επιθυμούμε να μειώσουμε την ηλεκτρική αγωγιμότητα για μικρές μεταβολές προσθέτουμε (αν είναι δυνατόν) νερό έτσι πρακτικά αραιώνουμε το τελικό διάλυμα ενώ για μεγάλες μεταβολές που θέλουμε να κάνουμε παρασκευάζουμε νέο διάλυμα. Εάν πάλι επιθυμούμε να αυξήσουμε την ηλεκτρική αγωγιμότητα τότε προσθέτουμε συγκεκριμένο όγκο από τα πυκνά θρεπτικά διαλύματα (πλήρης θρέψη). Αν διατηρηθεί αυξημένη EC τότε η ρίζα δυσκολεύεται να απορροφήσει θρεπτικά (η μικρή αύξηση όμως βελτιώνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά μιας καλλιέργειας) ενώ αν διατηρηθεί χαμηλή EC τότε υπάρχει φτωχή θρέψη άρα μειωμένη ανάπτυξη και απόδοση.[2]

Το pH είναι ένας αριθμός που εκφράζει τη συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (H_3O^+) σε ένα θρεπτικό διάλυμα σε λογαριθμική κλίμακα (1-14). Το pH ενός θρεπτικού διαλύματος είναι πολύ σημαντικό για την θρέψη των φυτών γιατί επηρεάζει τις χημικές ισορροπίες μεταξύ διαφόρων ιόντων και χημικών ενώσεων στο θρεπτικό διάλυμα. Κατά συνέπεια, το pH καθορίζει την διαλυτότητα και επομένως την διαθεσιμότητα πολλών θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά. Οι επιθυμητές τιμές pH στο χώρο των ριζών κυμαίνονται από 5,5-6,5. Αυτές επιτυγχάνονται με την προσθήκη οξέως που αντιδρά με τα ανθρακικά ιόντα HCO_3^- που περιέχονται στο νερό άρδευσης. Συνήθως το pH τείνει να ανεβαίνει στο περιβάλλον των ριζών (η συνολική απορρόφηση θρεπτικών κατιόντων υπερέρχει αυτής των ανιόντων, οπότε αποβάλλονται HCO_3^- ή OH^-) δηλαδή το pH στο θρεπτικό διάλυμα αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου λόγω διαφορετικού ρυθμού απορρόφησης ανιόντων από τα κατιόντα.[3]

Το pH του νερού είναι 7,6- 8,2 περίπου. Στην περίπτωση που επιθυμούμε να μειώσουμε το pH (π.χ. από 7,2 στο 6,0) τότε προσθέτουμε ένα όξινο διάλυμα (νιτρικό οξύ, θειικό οξύ, φωσφορικό οξύ) ενώ αν θέλουμε να αυξήσουμε το pH προσθέτουμε ένα βασικό διάλυμα (καυστικό κάλιο ή

νάτριο).Αν διατηρηθεί αυξημένο το pH τότε έχουμε πιθανή έλλειψη Σιδήρου, Μαγγανίου, Χαλκού, Ψευδαργύρου ενώ αν διατηρηθεί χαμηλό το pH τότε εμφανίζονται τρεις περιπτώσεις, ή πιθανή έλλειψη Ασβεστίου, Μαγνησίου ή πιθανή τοξικότητα Σιδήρου, Μαγγανίου, Χαλκού ,Ψευδαργύρου ή ευαισθησία σε Αμμωνιακά.

Οποιοδήποτε φυτό μπορεί να καλλιεργηθεί υδροπονικά. Το ερώτημα είναι αν η αξία του προϊόντος που παράγεται δικαιολογεί την καλλιέργεια του σε υδροπονία και το υπάρχον υδροπονικό σύστημα που μπορεί να είναι περιοριστικό. Οι καλλιέργειες που συνήθως καλλιεργούνται υδροπονικά είναι τομάτα, πιπεριά, μελιτζάνα, αγγούρι, πεπόνι, καρπούζι, φασόλι, φράουλα, μαρούλι, σπανάκι κ.α. Συστήματα κατάλληλα για φυλλώδη λαχανικά (μαρούλι, σπανάκι κ.α.) δεν είναι κατάλληλα για καλλιέργεια π.χ. τομάτα, πιπεριά, αγγούρια. Για τη φράουλα γίνεται ειδική κατασκευή για τη διευκόλυνση της συγκομιδής.

Το ζήτημα είναι, για να κάνουμε υδροπονία απαιτείται σύγχρονο θερμοκήπιο; Όχι, δεν απαιτείται σύγχρονο θερμοκήπιο για την εγκατάσταση ενός υδροπονικού συστήματος, ωστόσο, σε κάθε περίπτωση είναι επιθυμητό το θερμοκήπιο να μας παρέχει όσο το δυνατόν καλύτερες συνθήκες για την ανάπτυξη της καλλιέργειας και να μπορεί να ηλεκτροδοτηθεί ,παρόλα αυτά η υδροπονία μπορεί να εφαρμοστεί και στην ύπαιθρο, με μειωμένα όμως αποτελέσματα. Έτσι, λόγω όμως μειωμένων αποτελεσμάτων και του υψηλού κόστους η εγκατάσταση υδροπονικών συστημάτων στην ύπαιθρο δεν ενδείκνυται.[2]

Η υδροπονία επιτρέπει τον απόλυτο έλεγχο της θρέψης των φυτών, και όταν εφαρμόζεται σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες, με τον παράλληλο έλεγχο των συνθηκών του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου, καθιστά δυνατή την εντατικοποίηση και τον προγραμματισμό της καλλιέργειας. Επιτρέπει τον απόλυτο έλεγχο της θρέψης των φυτών με αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση του ελέγχου των συνθηκών ανάπτυξης των φυτών αλλά και την αποφυγή προβλημάτων σχετικά με την ποιότητα του νερού και της γονιμότητας και παθογένειας του εδάφους. Πολλαπλασιάζει την παραγωγή και δίνει ποιοτικότερα προϊόντα. Οι μοντέρνες τεχνικές θερμοκηπιακής καλλιέργειας εφαρμόζονται με επιτυχία σε πολλές χώρες της Ευρώπης όπως η Ολλανδία και η Ισπανία. [3]

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΑΣ

Η επιτυχία της υδροπονικής καλλιέργειας σίγουρα θα εμφανίζει κάποια πλεονεκτήματα στη χρήση της τα βασικά των οποίων επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν σε αυτό το κεφάλαιο. Λόγω της τεχνολογικής σημασίας που δίνεται στην πτυχιακή εργασία δεν αναλύονται εις βάθος αλλά αναφέρονται περιληπτικά.

- **Απουσία ζιζανίων**-Η αλήθεια είναι ότι τα ζιζάνια, όπως και κάθε άλλο φυτό, λατρεύουν την υδροπονία. Διάφοροι όμως παράγοντες δεν επιτρέπουν την εμφάνιση τους. Πρώτα από όλα τα υποστρώματα έρχονται απαλλαγμένα από ασθένειες και σπόρους ζιζανίων. Επίσης τα υποστρώματα είναι καλυμμένα, συνεπώς δεν μπορεί να μεταφερθεί σπόρος ζιζανίων σε αυτά. Το μόνο σημείο στο οποίο μπορούν να αναπτυχθούν ζιζάνια είναι σε σημεία όπου λιμνάζει νερό από τις απορροές των υποστρωμάτων. Αν στα κανάλια απορροής δοθεί σωστή κλίση σε όλο το μήκος τους, δεν πρόκειται να παρατηρηθούν ζιζάνια.
- **Απουσία ασθενειών του ριζικού συστήματος** - Όπως αναφέρθηκε τα υποστρώματα έρχονται απαλλαγμένα από ασθένειες. Αυτό αποτελεί μία πολύ καλή αρχή για τη νέα καλλιέργεια. Ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις και υπό συνθήκες, μπορεί να παρατηρηθούν ασθένειες του ριζικού συστήματος και του λαιμού, καθώς είναι δυνατή η μεταφορά μολύσματος μέσω του νερού άρδευσης. Έτσι σε ορισμένες περιπτώσεις πρώιμων ανοιξιάτικων ή όψιμων φθινοπωρινών φυτεύσεων μπορεί να έχουμε εμφάνιση προσβολών σε ένα μικρό ποσοστό των φυτών, κάτι που εύκολα αντιμετωπίζεται, εφόσον δράσουμε προληπτικά εγκαθιστώντας μύκητες ανταγωνιστές.
- **Δυνατότητα ελέγχου των συνθηκών της ρίζας** - Στην υδροπονία ο αγρότης έχει τον πλήρη έλεγχο της θρέψης και της άρδευσης της καλλιέργειας. Μπορεί εύκολα να διατηρεί την υγρασία στα επιθυμητά επίπεδα. Παρέχει διαρκώς ένα πλούσιο θρεπτικό διάλυμα για την καλλιέργεια και συνθήκες pH που να διευκολύνουν την απορρόφηση τους από τα φυτά. Στην περίπτωση που γίνεται χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης είναι εφικτός και ο έλεγχος της θερμοκρασίας του υποστρώματος κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Μόνο πρόβλημα είναι η αδυναμία ελέγχου της

θερμοκρασίας του υποστρώματος όταν η καλλιέργεια δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί επαρκώς ώστε το φύλλωμα της να καλύπτει τα υποστρώματα. Στην περίπτωση αυτή, λόγω και του περιορισμένου όγκου του υποστρώματος, η θερμοκρασία μπορεί να υπερβεί τους 30°C, κυρίως αργά την άνοιξη και κατά το καλοκαίρι. Ωστόσο είναι κάτι το οποίο εύκολα αντιμετωπίζεται.

- **Επίτευξη υψηλότερων αποδόσεων και καλύτερης ποιότητας** - Η υδροπονία εξασφαλίζει τη βέλτιστη θρέψη της καλλιέργειας, με αποτέλεσμα την επίτευξη υψηλότερων αποδόσεων και καλύτερης ποιότητας. Τα αποτελέσματα είναι εντονότερα όταν οι συνθήκες εντός του θερμοκηπίου δεν θέτουν περιορισμούς στην ανάπτυξη της καλλιέργειας (πολύ υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες, συνθήκες που να ευνοούν την ανάπτυξη ασθενειών κτλ).
- **Μεγαλύτερη διάρκεια καλλιέργειας** - Λόγω των καλύτερων συνθηκών ανάπτυξης της ρίζας, της καλύτερης θρέψης του φυτού και της απουσίας ασθενειών του λαιμού και της ρίζας, τα φυτά μπορούν να παραμείνουν παραγωγικά για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ενδεικτικά, η καλλιέργεια της τομάτας μπορεί να φτάσει σε διάρκεια μέχρι και το ένα έτος. Η μεγαλύτερη διάρκεια της καλλιέργειας έχει πολλαπλά οφέλη για τον παραγωγό, με πρώτο το ότι έχει συνεχή παραγωγή, είναι σε παραγωγή για περισσότερο χρόνο και έχει μειωμένα έξοδα αγοράς πολλαπλασιαστικού υλικού. Συγκρίνοντας μία ετήσια καλλιέργεια τομάτας με δύο εξάμηνες, στην πρώτη περίπτωση το θερμοκήπιο θα είναι σε παραγωγή για 9,5-10 μήνες, ενώ στη δεύτερη για 7-8 μήνες. Επίσης στην πρώτη περίπτωση η αγορά φυτάρων θα γίνει μία φορά, ενώ στη δεύτερη δύο. Έχει παρατηρηθεί επίσης ότι η καλύτερη θρεπτική κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα φυτά στην υδροπονία βοηθάει στην αντιμετώπιση χαμηλών θερμοκρασιών. Έτσι σε περιοχές με κρύους χειμώνες και σε μη θερμαινόμενα θερμοκήπια, μπορεί να παραταθεί η διάρκεια της καλλιέργειας (εφόσον δεν έχουμε παγετούς), αν και φυσικά η παραγωγικότητα θα είναι μειωμένη.

Βέβαια δεν μπορούν να εμφανίζονται μόνο πλεονεκτήματα στην υδροπονία αλλά και μειονεκτήματα όπως :

- **Μεγαλύτερη αρχική επένδυση** – Σε σχέση με την καλλιέργεια στο έδαφος η υδροπονία απαιτεί κάποια πρόσθετη επένδυση για την εγκατάσταση του υδροπονικού συστήματος και της κεφαλής υδρολίπανσης. Να σημειωθεί εδώ ότι οι κεφαλές υδρολίπανσης που χρησιμοποιούνται για τις καλλιέργειες στο έδαφος, εφόσον μπορούν να ρυθμίσουν αγωγιμότητα και pH, είναι κατάλληλες και για την υδροπονία. Επίσης, προκειμένου να εκμεταλλευτεί κανείς τις δυνατότητες της υδροπονίας στο σύνολο τους, συχνά οι παραγωγοί που επιλέγουν να εγκαταστήσουν υδροπονικά συστήματα προχωράνε και σε εκσυγχρονισμό των θερμοκηπίων τους, χωρίς όμως κάτι τέτοιο να είναι πάντα απαραίτητο.
- **Απαιτεί διαφορετική τεχνογνωσία σε σχέση με τη καλλιέργεια στο έδαφος και πιο εξειδικευμένες γνώσεις στη διαχείριση της θρέψης και των αρδεύσεων** - Η διαφορά δεν έχει να κάνει με τις καλλιεργητικές φροντίδες (κλάδεμα, ανάρτηση της καλλιέργειας, καθάρισμα κτλ.) αλλά με τον τρόπο που γίνονται τα ποτίσματα. Ο όγκος του υποστρώματος στην υδροπονία είναι περιορισμένος, συνεπώς για να υπάρχει πάντοτε διαθέσιμο νερό για την καλλιέργεια απαιτούνται πολλά ποτίσματα ημερησίως με μικρές ποσότητες νερού ανά πότισμα. Η διαχείριση των ποτισμάτων στην υδροπονία είναι σημαντική καθώς μπορεί να οδηγήσει το φυτό σε βλαστική ή αναπαραγωγική ανάπτυξη και συνεπώς να οδηγήσουμε την καλλιέργεια όπως επιθυμούμε (πρωίμιση ή οψίμιση, μέγεθος καρπού κτλ.).

Επίσης και πάλι λόγω του περιορισμένου όγκου του υποστρώματος, αλλά και της χημικής αδράνειας των υποστρωμάτων, τα όποια λάθη έχουν άμεσο αντίκτυπο στην καλλιέργεια. Όμως το ίδιο γρήγορα μπορούν αν διορθωθούν.

- **Απαιτεί καλύτερη ποιότητα νερού άρδευσης** - Στην υδροπονία απαιτείται η χρήση καλύτερης ποιότητας νερού. Νερό το οποίο μπορεί να θεωρείται αποδεκτό για καλλιέργεια στο έδαφος μπορεί να είναι ακατάλληλο για καλλιέργεια σε υδροπονία, ενώ νερό που θεωρείται καλής ποιότητας για καλλιέργεια στο έδαφος μπορεί να θεωρείται ως απλά αποδεκτό για καλλιέργεια σε υδροπονία.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έχουν αντληθεί από μελέτες πάνω σε υδροπονικά συστήματα μεγάλης κλίμακας και

με βάση αυτών έγινε η μελέτη για ένα νέο υδροπονικό σύστημα, το οποίο προσπαθεί να λύσει το πρόβλημα της μεγάλης αρχικής επένδυσης που απαιτούν τα παρόντα υδροπονικά συστήματα που βρίσκονται στην αγορά. Παρακάτω θα δοθεί μεγαλύτερη έμφαση σε αυτό το πρόβλημα που χαρακτηρίζει την υδροπονία και τη σημασία επίλυσης του με ένα ιδίου τύπου συστήματος το οποίο θα έχει μια ποιο ευέλικτη χρήση και οικονομική ευχέρεια.[4]

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΜΑΙΧ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ένα μικρός απολογισμός των αποτελεσμάτων από υδροπονική καλλιέργεια στο Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων, στο οποίο έγινε η πρακτική άσκηση μου. Με αυτό τον τρόπο μας δίνεται η δυνατότητα να αναλύσουμε λίγο παραπάνω τα αποτελέσματα μιας υδροπονικής καλλιέργειας με πυρήνα ένα υδροπονικό σύστημα μεγάλης εμβέλειας (3 στρεμμάτων και άνω). Αυτή η ανάλυση μας διευκολύνει να κατανοήσουμε πρώτον πως μπορεί να αποδώσει μια κεφαλή υδροπονικού συστήματος, το οποίο βασίζεται στην τεχνολογία των PLC προγραμματισμένο σε γλώσσα TCL και δεύτερον για να αναδείξουμε μέσα απ' τη λειτουργία του τη σημασία ύπαρξης ενός παρόμοιου συστήματος μικρότερης κλίμακας .

Έτσι παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πειράματος που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΒΙΟΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΒΙΟΤΙΚΩΝ ΣΕ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ ΚΑΙ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ» και έγιναν στην Κρήτη σε μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο ΒΝ προσανατολισμού στο Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων. Το πείραμα διήρκεσε από τα μέσα Οκτωβρίου του 2013 μέχρι και το τέλος Μαρτίου 2014.

Σε αυτό μελετήθηκαν δυο αναλογίες αμμωνιακών προς ολικό άζωτο σε δυο επίπεδα αλατότητας χρησιμοποιώντας περλίτη ως υπόστρωμα.



Εικόνα 3-Θερμοκήπια ΜΑΙΧ

Σχετικά, λοιπόν, με την προετοιμασία δεκαέξι κανάλια τοποθετήθηκαν στο θερμοκήπιο σε διπλή σειρά σε αποστάσεις 0,8 μέτρων μεταξύ των διπλών γραμμών και 1,2 μέτρων μεταξύ τους. Δυο πλαστικοί σάκοι διπλής όψης (άσπρο - μαύρο) χωρητικότητας 50 λίτρων (3 φυτά/σάκο) τοποθετήθηκαν πάνω στα κανάλια. Φυτά τομάτας, τοποθετήθηκαν στους σάκους. Επίσης, τοποθετήθηκαν τέσσερις δεξαμενές χωρητικότητας 300 λίτρων και από την κάθε μια εγκαταστάθηκε αρδευτικό δίκτυο με τέτοιο τρόπο ώστε η κάθε δεξαμενή να αρδεύει τέσσερα κανάλια τυχαιοποιημένα στο χώρο. Σταλακτήρες άρδευσης τοποθετήθηκαν στη βάση κάθε μονοστέλεχου φυτού ενώ οι σάκοι είχαν σχισμές στο κατώτατο σημείο για να επιτρέψουν την στράγγιση. Αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας μέσα στο θερμοκήπιο κατέγραφαν τις συνθήκες του χώρου ανά 1,5 ώρα.



Εικόνα 4- Καλλιέργεια τομάτας σε περλίτη

Για τις θρεπτικές ανάγκες της καλλιέργειας, συνδέθηκαν σε υδροπονική κεφαλή 6 δοχεία χωρητικότητας 40 λίτρων. Κατά τη διάρκεια του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 4 διαφορετικές υδροπονικές συνταγές με τα εξής χαρακτηριστικά:

- 1) NH_4^+ / N ολικό= 0,05 και ηλεκτρική αγωγιμότητα 2,2 dS/m
- 2) NH_4^+ / N ολικό= 0,15 και ηλεκτρική αγωγιμότητα 2,2 dS/m
- 3) NH_4^+ / N ολικό= 0,05 και ηλεκτρική αγωγιμότητα 7,5 dS/m
- 4) NH_4^+ / N ολικό= 0,15 και ηλεκτρική αγωγιμότητα 7,5 dS/m.

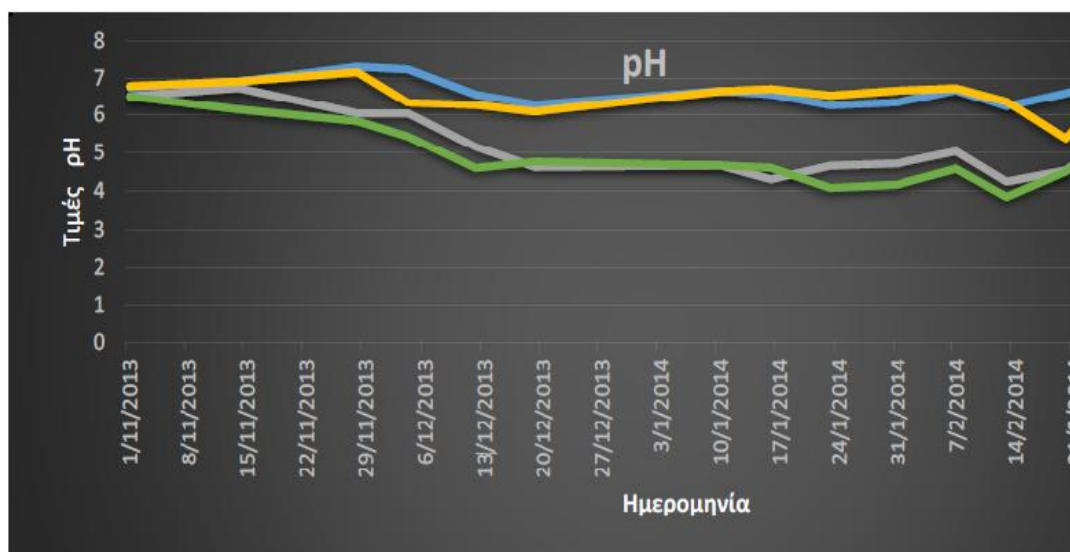
Σε όλες τις παραπάνω συνταγές ο λόγος N/K κρατήθηκε σταθερός και ίσος με 1,8 όπως σταθερός κρατήθηκε και ο λόγος K:Ca:Mg που ήταν 0,46:0,38:0,16. Για την παρασκευή της πρώτης και της δεύτερης συνταγής χρησιμοποιήθηκαν τρία δοχεία. Το δοχείο Α που περιείχε Νιτρικό ασβέστιο, Νιτρικό κάλιο, Νιτρικό αμμώνιο, Χηλικός σίδηρος το δοχείο Β που περιείχε Νιτρικό κάλιο, Θεικό μαγνήσιο, Θεικό κάλιο, Φωσφορικό μονοκάλιο, Θεικό μαγγάνιο, Θεικός ψευδάργυρος, Θεικός χαλκός, Βόρακας, Επταμολυβδαινικό νάτριο. Σε κάθε συνταγή το pH ρυθμίζονταν στο 5,6 με ένα τρίτο δοχείο 40 λίτρων που περιείχε 0,517 λίτρων Νιτρικού οξέος καθαρότητας 68%. Στις δυο συνταγές υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας

προσθέτονταν 6,975 λίτρων διαλύματος χλωριούχου νατρίου 2 Μ πριν από την τελική αραιώση των θρεπτικών διαλυμάτων.

Εβδομαδιαία σε δείγματα του θρεπτικού διαλύματος απορροής γινόταν μετρήσεις pH, E.C και συγκέντρωσης νιτρικών φασματοφωτομετρικά ενώ μια φορά το μήνα μετρήθηκαν με (ICP-OES) οι συγκεντρώσεις K, Ca, Mg, P, Na, Fe, Cu, Mn, Zn, B. Δείγματα καρπών αναλύθηκαν για ολικό άζωτο με συσκευή Kjeldahl. Οκτώ εβδομάδες από τη μεταφύτευση, το ύψος φυτών, αριθμός φύλλων και αριθμός καρπών καταγράφηκε σε μηνιαία βάση. Η περίοδος συγκομιδής διάρκεσε τέσσερις μήνες. Στην δεύτερη ταξικαρπία έγιναν μετρήσεις ποιοτικής ανάλυσης οι οποίες περιλάμβαναν το νωπό βάρος καρπών, αντοχή σάρκας στην πίεση, ολικά διαλυτά στερεά (TSS), ολικές πρωτεΐνες, ολικές φαινόλες, περιεκτικότητα σε βιταμίνη C (τιτλοδότηση με 2,6- Dichloroindophenol) καθώς και περιεκτικότητα σε λυκοπένιο και β-καροτένιο με φασματοσκοπία.

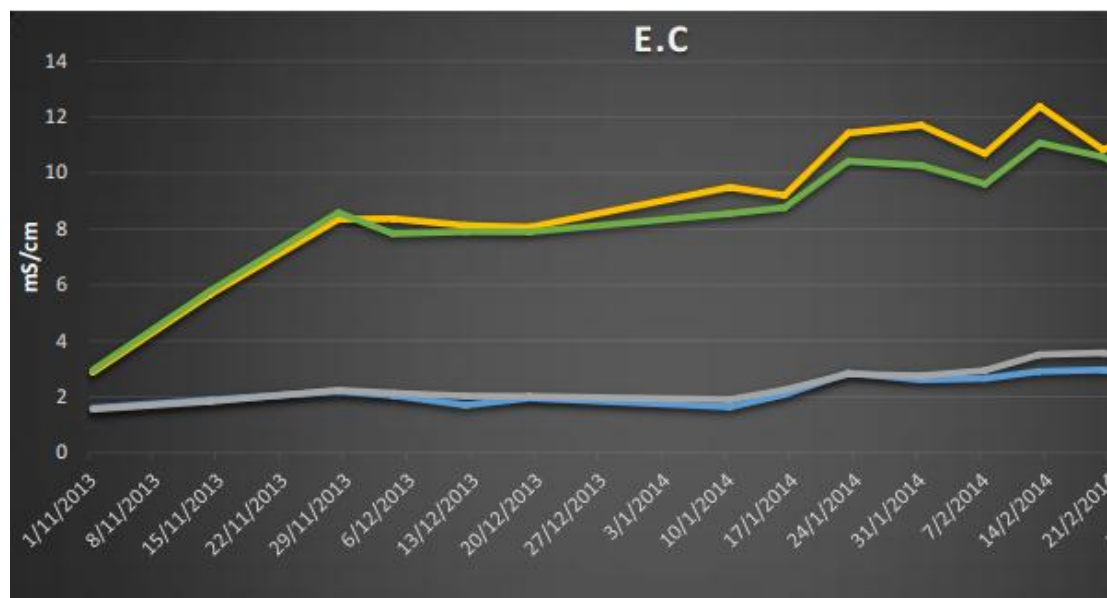
Οι μετρήσεις pH και E.C στα θρεπτικά διαλύματα απορροής έδωσαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

A) Μετά τα μέσα Δεκεμβρίου όπου άρχισε και η πτώση της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο το pH επηρεάστηκε από τη συγκέντρωση αμμωνιακών αλλά όχι και από την υψηλή αλατότητα. Αναλυτικότερα ενώ στην αναλογία NH_4^+ / N ολικό=0.05 οι τιμές pH ήταν μεταξύ 6,5 και 7,8 στην αναλογία NH_4^+ / N ολικό=0.15 έφτασαν μέχρι και 3,8 ενώ δεν ανήλθαν άνω του 5,2 από τα μέσα Δεκεμβρίου και μετά.



Εικόνα 5-4+/ N ολικό= 0,05 NH_4^+/N ολικό= 0,15 NH_4^+/N ολικό= 0,05 +NaCl
 NH_4^+/N ολικό= 0,15 +NaCl

Β) Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στις μεταχειρίσεις χαμηλής αλατότητας δεν επηρεάστηκε σημαντικά από την αναλογία NH_4^+ / N ολικό. Αντίθετα στις μεταχειρίσεις υψηλής αλατότητας η ηλεκτρική αγωγιμότητα ήταν υψηλότερη στην αναλογία NH_4^+ / N ολικό=0,05.



Εικόνα 6-Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας

Συμπερασματικά, μέσω γεωπονικής ανάλυσης από το ΜΑΙΧ φαίνεται πως η αναλογία NH_4^+ / N ολικό στο θρεπτικό διάλυμα δείχνει να έχει πολύ μεγάλη σημασία τόσο για την ανάπτυξη του φυτού όσο και για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών που παράγονται. Η συγκεκριμένη αναλογία φαίνεται να έχει διαφορετική συμπεριφορά σε χαμηλή και σε υψηλή αλατότητα παρά του γεγονότος ότι επηρεάζει τη διακύμανση του pH αντίστοιχα. Επίσης οι επιπτώσεις της συγκεκριμένης αναλογίας φαίνεται να επηρεάζονται τόσο από τις καιρικές συνθήκες όσο και από το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Αντίστοιχα πειράματα θα πρέπει να γίνουν και με διαφορετικά είδη καθώς και σε διαφορετικές συνθήκες ώστε να καταλήξουμε σε ακόμα πιο ασφαλή συμπεράσματα. [5]

Από τεχνολογικής άποψης βλέπουμε την άρτια λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος, γεγονός που μας δείχνει τη σημασία ύπαρξης ενός παρόμοιου μικρότερης κλίμακας με χαμηλότερο κόστος κατασκευής και τεχνικής υποστήριξης αλλά έχοντας και προοπτική επεκτασιμότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Πριν αρχίσουμε την περιγραφή της λειτουργίας των υδροπονικών συστημάτων πρέπει να κατανοήσουμε τον τύπο των συστημάτων και τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει το καθένα. Στο κεφάλαιο αυτό η αρχή γίνεται με την περιγραφή της λειτουργίας των υδροπονικών συστημάτων ανοιχτού και κλειστού τύπου, αμέσως μετά γίνεται μια μικρή περιγραφή στον τρόπο υδροπονίας για διαφορετικά υποστρώματα και τέλος μια μικρή αναφορά στα συστήματα που διαφέρουν στον τρόπο μίξης του θρεπτικού διαλύματος. Είναι σημαντική η αναφορά τους διαφορετικά είναι δύσκολο να κατανοήσουμε το σύνολο των προγραμματισμένων κινήσεων της κάθε μηχανής και ειδικότερα των προγραμματισμένων κινήσεων που πρέπει να υποβληθούν από την κεφαλή του υδροπονικού συστήματος. Το αμέσως επόμενο υποκεφάλαιο παρουσιάζει το υδροπονικό σύστημα του ΜΑΙΧ η λειτουργία του οποίου δεν ξεφεύγει από την θεωρία του πρώτου υποκεφαλαίου και δημιουργεί τη βάση του νέου υδροπονικού συστήματος.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ

Ένα υδροπονικό σύστημα ονομάζεται ανοιχτό, όταν το μέρος του θρεπτικού διαλύματος που απορρέει ως πλεονάζον από τον χώρο των ριζών δεν συλλέγεται αλλά αφήνεται να χαθεί στο περιβάλλον (συνήθως απορροφάται από το έδαφος του θερμοκηπίου). Κλειστό αντίθετα καλείται ένα υδροπονικό σύστημα όταν το πλεονάζον θρεπτικό διάλυμα που απομακρύνεται από το χώρο των ριζών συλλέγεται, ανανεώνεται, συμπληρώνεται και με την βοήθεια μίας αντλίας οδηγείται ξανά στα φυτά προς επαναχρησιμοποίηση. Στα κλειστά συστήματα έχουμε δηλαδή ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος που περισσεύει.

Ένας τρόπος επαναχρησιμοποίησης του διαλύματος απορροής είναι η συνεχής τροφοδοσία και επανακυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος. Ο δεύτερος τρόπος ανακύκλωσης αφορά υδροπονικά συστήματα στα οποία η παροχή θρεπτικού διαλύματος (πότισμα) είναι συχνή αλλά διακοπτόμενη και

μικρής διάρκειας. Σε αυτού του είδους τα κλειστά υδροπονικά συστήματα το διάλυμα απορροής που συλλέγεται μετά από κάθε πότισμα συμπληρώνεται με νερό και θρεπτικά στοιχεία και χρησιμοποιείται ξανά. Οι ποσότητες θρεπτικού διαλύματος που απορρέουν από το ριζόστρωμα και επαναχρησιμοποιούνται αφού πρώτα συμπληρωθούν με νερό και λιπάσματα είναι τελείως διαφορετικές σε κάθε μία από τις προαναφερόμενες τεχνικές ανακύκλωσης του θρεπτικού. Για παράδειγμα, σε μία καλλιέργεια τομάτας, όταν εφαρμόζεται συνεχής επανακυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος ο όγκος του θρεπτικού διαλύματος που επανακυκλοφορεί κυμαίνεται γύρω στα 200 m³ ανά στρέμμα και ημέρα ενώ όταν η άρδευση βασίζεται σε συνεχή, διακοπτόμενα ποτίσματα, το θρεπτικό διάλυμα που συλλέγεται και ανακυκλώνεται δεν υπερβαίνει τα 6-8 m³ ανά στρέμμα και ημέρα. Η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος που περισσεύει και απορρέει από το ριζόστρωμα μετά από κάθε εφαρμογή άρδευσης συμβάλλει τόσο στην εξοικονόμηση νερού και λιπασμάτων όσο και στον περιορισμό της μόλυνσης του περιβάλλοντος με νιτρικά και άλλα λιπάσματα. Πρόκειται δηλαδή για μία κατ' εξοχήν φιλική προς το περιβάλλον μέθοδο καλλιέργειας φυτών. Η εφαρμογή ανακύκλωσης όμως εμπεριέχει κινδύνους γρήγορης εξάπλωσης μολύνσεων στην καλλιέργεια όταν το διάλυμα απορροής δεν απολυμαίνεται πριν επαναχρησιμοποιηθεί. Τα περισσότερα συστήματα λειτουργούν τόσο ως κλειστά όσο και ως ανοιχτά. Για να λειτουργήσει όμως ως κλειστό ένα υδροπονικό σύστημα θα πρέπει να υπάρχουν κατάλληλες εγκαταστάσεις, ώστε να είναι δυνατή η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος. Εκτός από τον επιπλέον εξοπλισμό, η ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος απαιτεί και διαφορετικούς χειρισμούς όσον αφορά την τροφοδοσία των φυτών με θρεπτικό διάλυμα και γενικά την θρέψη της καλλιέργειας. Το πρόβλημα της συμπλήρωσης του διαλύματος απορροής συνίσταται στον καθορισμό των απαραίτητων ποσοτήτων νερού και 12 πυκνών διαλυμάτων που πρέπει να προστεθούν σε αυτό ώστε το διάλυμα που θα προκύψει από αυτή την διαδικασία να έχει την επιθυμητή σύνθεση. Όπως είναι γνωστό, ο ρυθμός απορρόφησης νερού και θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά δεν είναι σταθερός αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος και στάδιο ανάπτυξης του φυτού (έκταση φυλλικής επιφάνειας), τα κλιματικά δεδομένα (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ηλιοφάνεια, κ.λπ.) που επικρατούν σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα, κ.λπ. Επομένως, ο όγκος θρεπτικού διαλύματος που περισσεύει και απομακρύνεται από το ριζόστρωμα μετά την χορήγησή του στα φυτά καθώς και οι συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων που περιέχονται σε αυτό διαφέρουν κάθε φορά. Κατά συνέπεια, οι ποσότητες νερού και

θρεπτικών στοιχείων που πρέπει να προστεθούν στο διάλυμα απορροής δεν είναι σταθερές και γι' αυτό δεν μπορούν να καθορισθούν εκ των προτέρων. Οι στρατηγικές που μπορούν να εφαρμοσθούν για την συμπλήρωση του διαλύματος απορροής με τις αναγκαίες ποσότητες νερού και θρεπτικών στοιχείων εξαρτώνται από τον διατιθέμενο εξοπλισμό και μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής τέσσερις κατηγορίες:

1. Συμπλήρωση με προεπιλεγόμενη αναλογία μείξης διαλύματος απορροής-νερού.
2. Συμπλήρωση με αυτόματα ρυθμιζόμενη αναλογία ανάμειξης απορροής-νερού.
3. Συμπλήρωση με αυτόματα μεταβαλλόμενη αναλογία έγχυσης λιπασμάτων.
4. Τρία μέρη κανονικό θρεπτικό διάλυμα κι ένα μέρος από το διάλυμα απορροής.

Σε κάθε περίπτωση όμως, για να είναι εφικτή από τεχνική και οικονομική άποψη η ανακύκλωση του διαλύματος απορροής, η συμπλήρωσή του με τις κατάλληλες ποσότητες νερού και θρεπτικών στοιχείων θα πρέπει να γίνεται αυτόματα με την βοήθεια κατάλληλου εξοπλισμού. [6]

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΑ

Τα υποστρώματα είναι πορώδη υλικά (αδρανή ή οργανικά) χωρίς φυτοτοξικότητα και χρησιμοποιούνται για να υποκαταστήσουν το έδαφος ως μέσο ανάπτυξης του ριζικού συστήματος. Τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στις υδροπονικές καλλιέργειες είναι τεχνητά (προέρχονται από την επεξεργασία πετρωμάτων) ή φυσικά (πρώτες ύλες με ειδική επεξεργασία). Τα περισσότερα υποστρώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δύο ή και τρεις διαδοχικές καλλιέργειες με την προϋπόθεση ότι μετά από κάθε καλλιέργεια θα ακολουθεί επαρκές ξέπλυμα του υποστρώματος με καθαρό νερό.

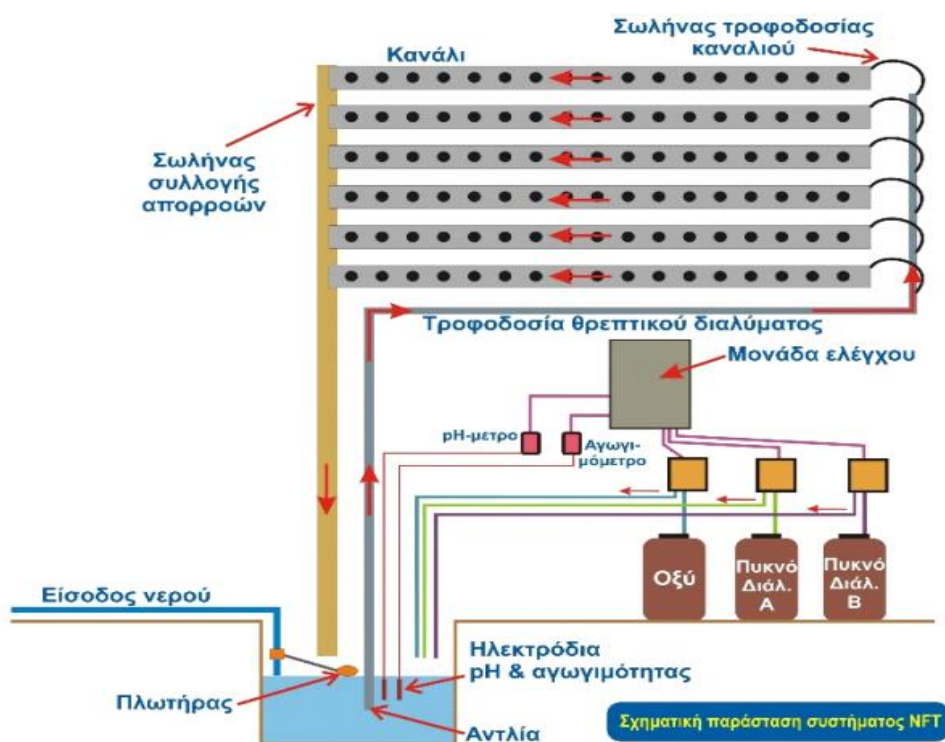
Τα πιο διαδεδομένα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται σήμερα στην υδροπονία είναι τα ακόλουθα:

1. Η ελαφρόπετρα
2. Ο περλίτης
3. Πετροβάμβακας
4. Κοκοφοίνικας

Στα υδατικά συστήματα οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται σε κανάλια συνεχούς ή μη συνεχούς ροής θρεπτικού διαλύματος.

Τα πιο διαδεδομένα συστήματα αυτής της μορφής είναι το NFT, η αεροπονία και η επιπλέουσα υδροπονία.

1. **NFT:** Με τη μέθοδο NFT (Nutrient Film Technique) ή τεχνική λεπτής στοιβάδας θρεπτικού διαλύματος, οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται σε κανάλια με κατάλληλη κλίση πάνω στα οποία υπάρχει ειδικό πλαστικό φύλλο (με άσπρο χρώμα εξωτερικά και μαύρο εσωτερικά) ρέει το θρεπτικό διάλυμα με φυσική ροή με συνεχή ανακύκλωση. Το σύστημα NFT χρησιμοποιείται κυρίως στα χαμηλά λαχανικά (μαρούλι, φράουλα, μαϊντανό, δυόσμο κ.α.) αλλά είναι κατάλληλο και για μεγαλύτερης ανάπτυξης φυτά όπως τομάτα, πεπόνι κ.ά. Το αρχικό κόστος της επένδυσης για την εγκατάσταση του συστήματος είναι σχετικά υψηλό, όμως στη συνέχεια η μακρόχρονη απόσβεσή του το καθιστά ίσως την οικονομικότερη επιλογή για καλλιέργεια (σε σχέση με τα υποστρώματα και το έδαφος).



Εικόνα 7-Σχηματική παράσταση συστήματος NFT

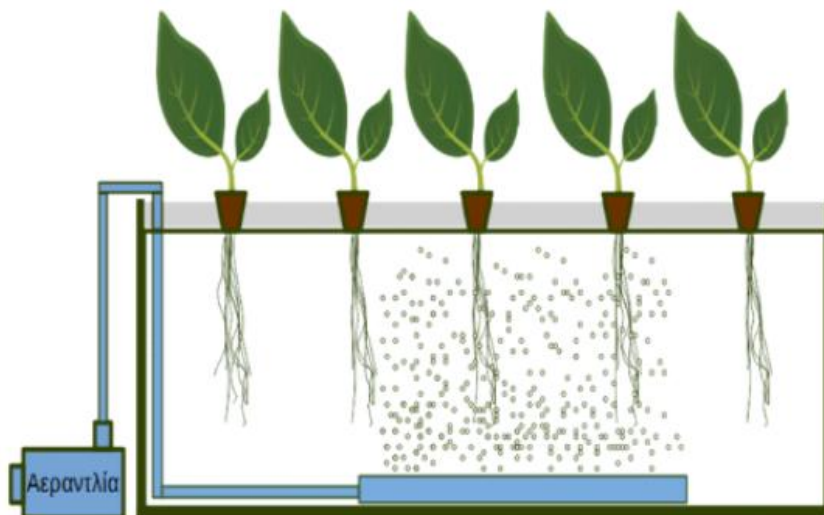
2. **Αεροπονία:** Οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται στον αέρα ενώ το θρεπτικό διάλυμα ψεκάζεται στις ρίζες υπό μορφή λεπτών σταγονιδίων.

Ο ψεκασμός πρέπει να γίνεται σε συνθήκες σκοταδιού για την αποφυγή δημιουργίας αλγών.



Εικόνα 8-Ανάπτυξη φυτών με Αεροπονία

3. Επιπλέουσα υδροπονία: Τα φυτά τοποθετούνται σε δίσκους διογκωμένου πολυστυρενίου που επιπλέουν σε θρεπτικό διάλυμα ύψους 20-30 εκ. με τις ρίζες τους να αναπτύσσονται εντός του θρεπτικού διαλύματος το οποίο με κάποιο τρόπο θα πρέπει να οξυγονώνεται. Όπως και η αεροπονία, εφαρμόζεται κυρίως σε χαμηλά λαχανικά που χρησιμοποιούνται για το φυλλώδες μέρος τους. [7]



Εικόνα 9-Σχηματικό Επιπλέουσας Υδροπονίας

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΔΟΧΕΙΟ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΔΟΧΕΙΟ

Τα συστήματα αυτόματης υδρολίπανσης χωρίζονται επίσης σε δύο τύπους με βάση τη μείξη του θρεπτικού διαλύματος, σε συστήματα με χρήση δοχείου για τη μείξη του νερού και των θρεπτικών ουσιών και σε συστήματα χωρίς δοχείο.

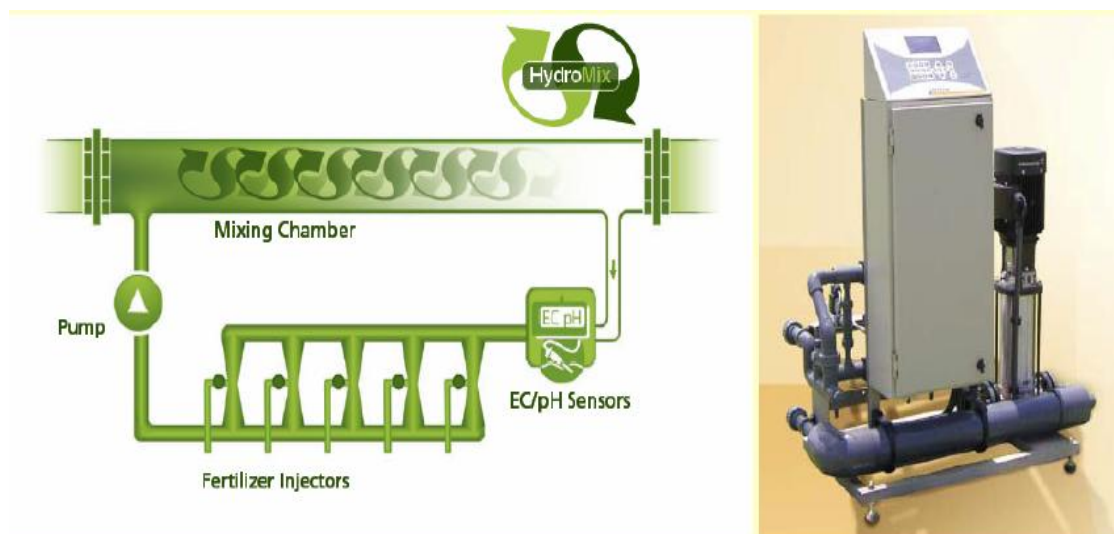
Στα συστήματα με χρήση δοχείου οι θρεπτικές ουσίες και το νερό προστίθενται σε κατάλληλο δοχείο όπου και αναμειγνύονται πριν την άρδευση. Αυτού του τύπου τα συστήματα δίνουν τη δυνατότητα του συνεχούς ελέγχου pH&EC του μείγματος κατά την προετοιμασία του καθώς και την ομογένεια του σε μεγάλο ποσοστό.



Εικόνα 10-Σύστημα με δοχείο προετοιμασίας μείγματος

Τα συστήματα χωρίς δοχείο είναι συστήματα στα οποία η μείξη νερού και θρεπτικών ουσιών γίνεται σε ένα θάλαμο μίξης και αναμειγνύονται μέσω της συνεχούς κίνησης με την βοήθεια αντλίας προς την άρδευση. Οι ενδείξεις του pH και EC παίρνονται πριν την άρδυσή του παρόλο τη ροή του.

Αυτού του είδους τα συστήματα επωφελούνται στην ταχύτητα μίξης του θρεπτικού διαλύματος και της άρδευσης.



Εικόνα 11-Σύστημα χωρίς δοχείο προετοιμασίας

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ (MAIX)

Πριν γίνει η περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του υδροπονικού συστήματος μεγάλης κλίμακας βασισμένο σε PLC είναι ανάγκη να τονίσουμε πως εμφανίζονται οι εξής απαιτήσεις-χαρακτηριστικά που εμφανίζονται στα συστήματα αυτόματης υδρολίπανσης [8] . Έτσι:

- Είναι ανάγκη τέτοιου είδους συστήματα να είναι πλήρως αυτοματοποιημένα και πρακτικά να καλύπτουν όλες τις απαιτήσεις ελέγχου σε μία σύγχρονη θερμοκηπιακή εκμετάλλευση.
- Γίνεται παρακολούθηση και έλεγχος όλων των παραμέτρων λειτουργίας του θερμοκηπίου, είτε σε απόσταση με ενσύρματη ή ασύρματη σύνδεση.
- Υπάρχει τηλεειδοποίηση, ακόμα και σε κινητό τηλέφωνο.
- Έχουν κάποιου είδους έκτακτης ειδοποίηση ή λειτουργία alarm.
- Διαθέτουν συνδυασμένη λειτουργία όλων των συστημάτων του θερμοκηπίου με το PC ως ελεγκτή – δυνατότητα καταγραφής των κλιματικών παραγόντων.

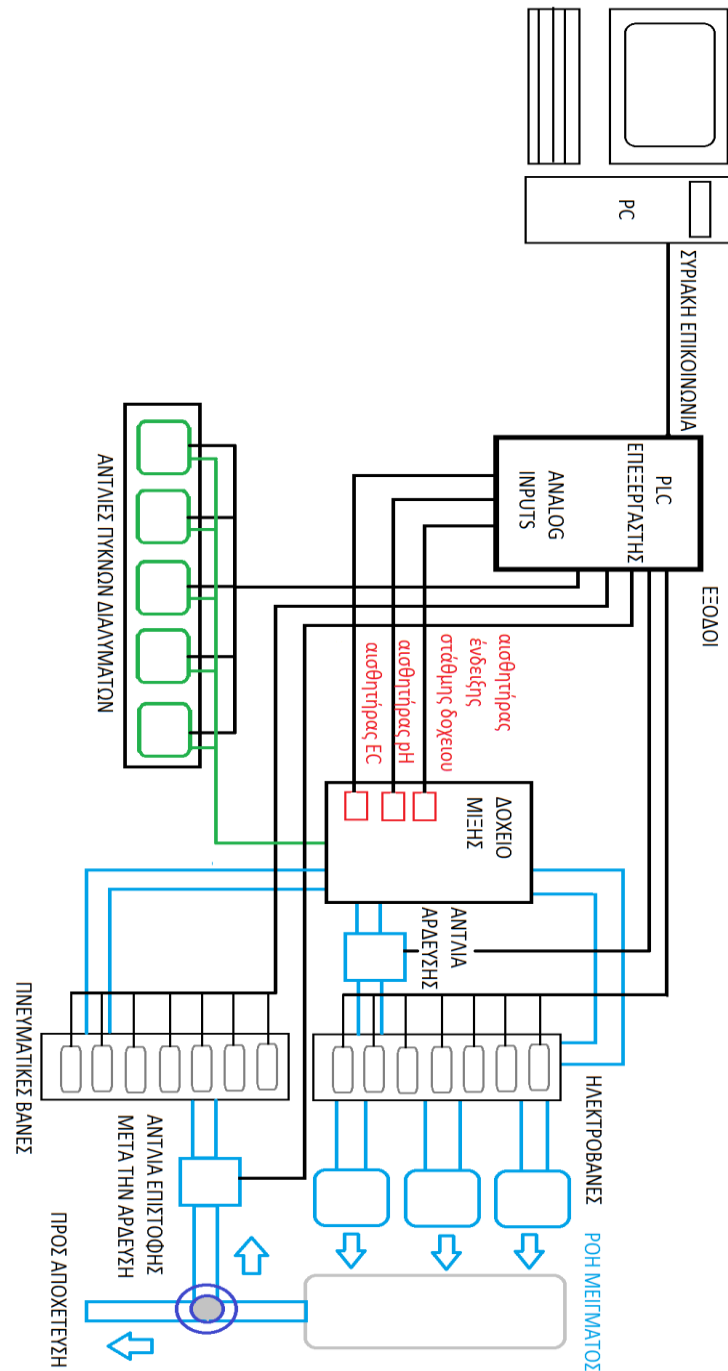
- Το πρόγραμμα ελέγχου είναι δυνατόν να προσαρμοστεί στις ανάγκες της εκάστοτε θερμοκηπιακής μονάδας.
- Εμπεριέχουν λειτουργίες των διαφορετικών συστημάτων του θερμοκηπίου με βάση περισσότερες από μία μεταβλητές (π.χ. ρύθμιση θερμοκρασίας εξαρτώμενη από περιβαλλοντικά μοντέλα).
- Είναι σχετικά πολύπλοκα συστήματα εάν καλύπτουν ιδιαίτερες ανάγκες, με απαιτήσεις για εξειδικευμένους χρήστες.

Τα περισσότερα από τα παραπάνω αναγκαία χαρακτηριστικά ικανοποιούνται στο υδροπονικό σύστημα του ΜΑΙΧ. Ποίο συγκεκριμένα το αυτόματο υδροπονικό σύστημα που χρησιμοποιείται για την άρδευση των θερμοκηπίων του Μεσογειακού Αγρονομικού Ινστιτούτου Χανίων είναι ένα σύστημα με χρήση δοχείου για προετοιμασία του θρεπτικού μίγματος που λειτουργεί ως ανοιχτό και ως κλειστό σύστημα, αφού μέσω αντλίας δίνει την επιλογή της επιστροφής του νερού στο δοχείο. Η κεφαλή είναι βασισμένη σε τεχνολογία PLC και χρησιμοποιήθηκε για την άρδευση των θερμοκηπίων του ΜΑΙΧ σε σύστημα υδροπονίας με υπόστρωμα και συγκεκριμένα με περλίτη. Το σύστημα που περιγράφουμε εμφανίζεται παρακάτω:



Εικόνα 12-Υδροπονικό Σύστημα με PLC (ΜΑΙΧ)

Για να μπορέσουμε να εξηγήσουμε τον τρόπο λειτουργίας του παραθέτουμε ένα σχηματικό διάγραμμα που παρουσιάζει την επικοινωνία των επιμέρους τμημάτων του. Εδώ να τονιστεί ότι δεν εμφανίζεται το τροφοδοτικό που δίνει ενέργεια στον επεξεργαστή, τις βάνες και τις αντλίες.



Εικόνα 13-Σχηματικό Υδροπονικού Συστήματος

Η λειτουργία του είναι απλή καθώς ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει μέσω του γραφικού περιβάλλοντος οποιαδήποτε συνταγή, δηλαδή να

δημιουργήσει ένα επιθυμητό μείγμα στο δοχείο μίξης το οποίο μέσω της ενεργοποίησης της αντλίας άρδευσης ποτίζεται στο θερμοκήπιο.

Πρακτικά το μείγμα δημιουργείται από νερό και από τις επιθυμητές δοσολογίες των πυκνών διαλυμάτων που επέλεξε ο χρήστης και αναμειγνύεται μέσω του κύκλου της ροής που παράγει η αντλία άρδευσης, όπως παρατηρούμε και στο σχηματικό. Αμέσως μετά με το «άνοιγμα» συγκεκριμένων ηλεκτρικών βανών (ηλεκτροβάνες) το μείγμα ρέει με την ορμή που δημιουργεί η αντλία άρδευσης σε διαφορετικά δοχεία στα θερμοκήπια και από εκεί ποτίζεται σε διαφορετικές σειρές φυτών. Αυτό γίνεται γιατί τα φυτά σε ένα θερμοκήπιο μπορεί να ποικίλουν άρα να χρειάζονται διαφορετικά μείγματα για κάθε άρδευση. Στο τέλος κάθε σειράς το νερό συγκεντρώνεται και μεταφέρεται προς την αντλία επιστροφής(λειτουργία κλειστού συστήματος) ή προς την αποχέτευση του θερμοκηπίου (λειτουργία ανοιχτού συστήματος).

Στην πρώτη περίπτωση η αντλία δημιουργεί μια ροή προς τις πνευματικές βάνες η ενεργοποίηση των οποίων επιτρέπουν την επαναφορά του περισσευούμενου διαλύματος στο δοχείο μίξης ενώ στην δεύτερη περίπτωση απορροφούνται από το περιβάλλον. Ας τα πάρουμε απ την αρχή όμως εξηγώντας τον τρόπο σύνδεσης του χρήστη με το σύστημα κοκ.

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε το λογισμικό ελέγχου για τη δημιουργία μείγματος που εμφανίζεται στον Η/Υ. Εδώ εμφανίζονται επιλογές για τη βαθμονόμηση κάθε περισταλτικής αντλίας και τη βαθμονόμηση της αντλίας άρδευσης όπως και πληροφορίες σχετικά με τη χωρητικότητα και την απόδοση κάθε αντλίας στο επίπεδο του χρόνου. Έτσι, ο χρήστης γνωρίζοντας την συνταγή του θρεπτικού διαλύματος μπορεί μέσω του γραφικού περιβάλλοντος να ελέγξει την ποσότητα των διαλυμάτων που χρειάζονται για την συνταγή. Παρακάτω θα εξηγήσουμε και τον τρόπο χρήση της περισταλτικής αντλίας καθώς και τον λόγο βαθμονόμησης.

System Pumps calibration

Nutrient Pump calibration | Water & Acid Pump calibration | Irrigation Pump calibration

Nutrient pumps

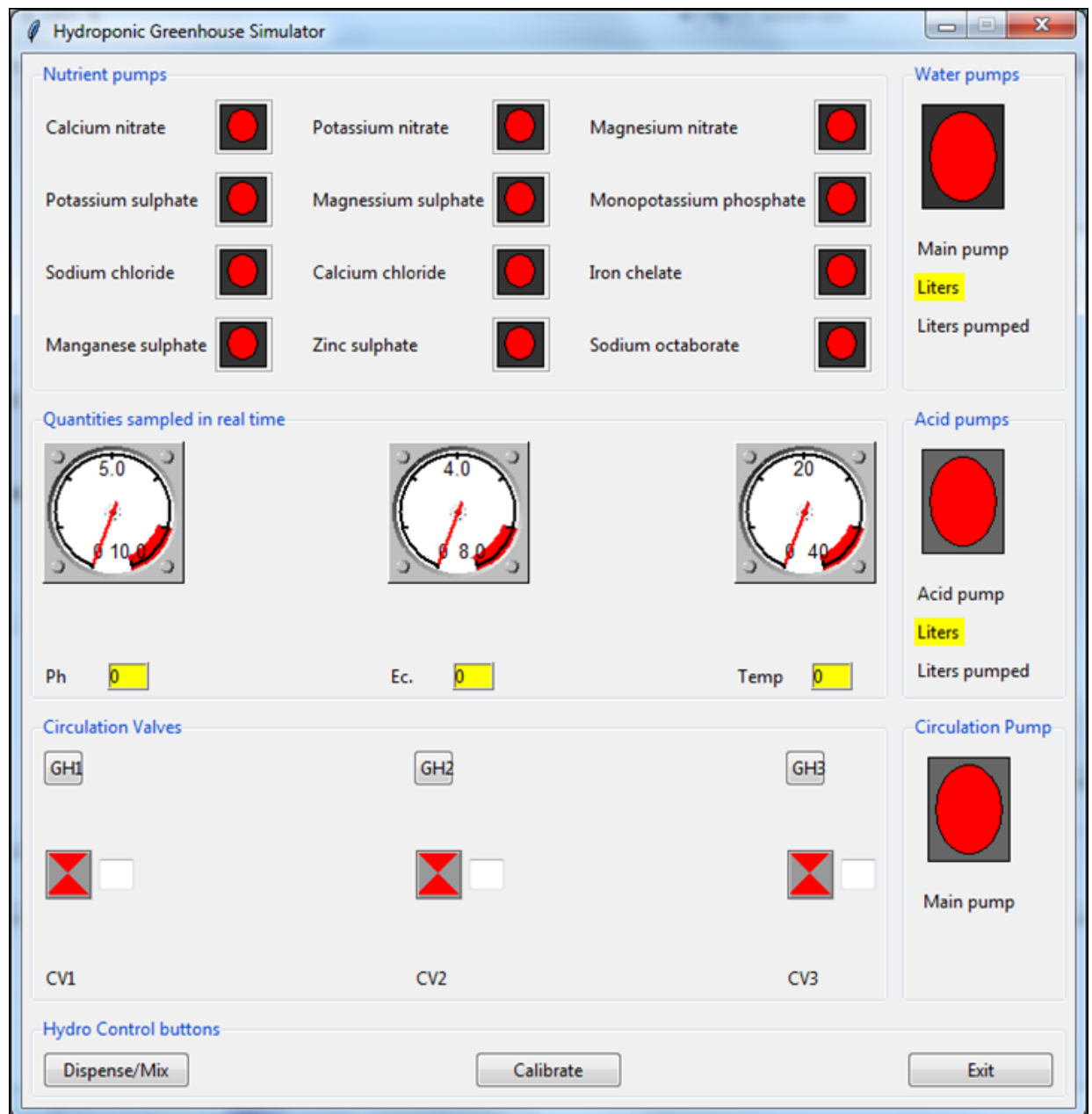
	Capacity (L/m)	Correction (%)	
Calcium nitrate	40.0	1.02	Cal NP1
Potassium nitrate	40.0	1.04	Cal NP2
Magnesium nitrate	40.0	0.97	Cal NP3
Potassium sulphate	30.0	1.01	Cal NP4
Magnesium sulphate	40.0	1.02	Cal NP5
Monopotassium phosphate	40.0	1.02	Cal NP6
Sodium chloride	3.0	1.07	Cal NP7
Calcium chloride	40.0	1.11	Cal NP8
Iron chelate	40.0	1.11	Cal NP9
Manganese sulphate	30.0	1.15	Cal NP10
Zinc sulphate	35.0	0.85	Cal NP11
Sodium octaborate	20.0	0.95	Cal NP12

Save configuration

Save Config | Exit

Εικόνα 14-Επιλογή Συστατικών Μίξης

Ενώ παρακάτω εμφανίζεται το λογισμικό ελέγχου της κεφαλής της υδροπονίας. Σε αυτό το γραφικό περιβάλλον εμφανίζονται οι τιμές pH, EC και επιπέδου μείγματος στο δοχείο και επιλογές άρδευσης όπως και μίξης. Οι εντολές δίνονται με το πάτημα ενός κουμπιού.



Εικόνα 15-Λογισμικό Ελέγχου Κεφαλής

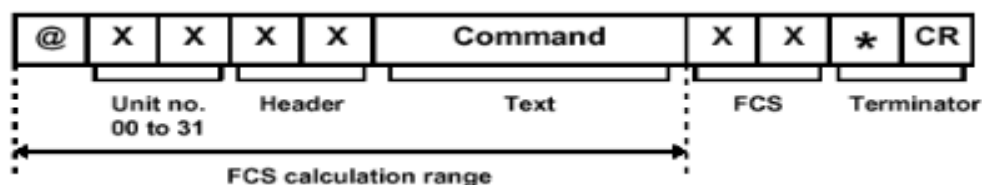
Η καρδιά του συστήματος όμως είναι το PLC της OMRON CQM1H/CQM1. Η φωτογραφία παρακάτω απεικονίζει την κεφαλή υδροπονίας στο εσωτερικό της.



Εικόνα 16-PLCΚεφαλής Συστήματος

Η κάθε ενέργεια που θέλουμε να κάνουμε ή αλλιώς εντολή μεταφράζεται σε μία σειρά από αλλαγή κάποιων bits για την ενεργοποίηση των ηλεκτρονόμων (relays) εξόδου στο PLC και μεταφέρεται από το PC μέσω της συριακής επικοινωνίας. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιήθηκε είναι το OMRON HOSTLINK PROTOCOL το οποίο είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας Η/Υ με το PLC ή των PLC μεταξύ τους, της εταιρίας OMRON. Είναι ένα πρωτόκολλο βασισμένο στον ASCII και χρησιμοποιείται γενικά για την επικοινωνία μέσω RS232 ή RS422. Επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων τμημάτων του εξοπλισμού σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον για τον έλεγχο ή τον προγραμματισμό αυτών. Το μέγιστο επιτρεπόμενο μέγεθος του μηνύματος είναι 30 λέξεις ανά μήνυμα. Μεγαλύτερα μηνύματα μπορούν να σταλούν από την διαδικασία «fragmentation» (κατακερματισμός) , όπου το τμήμα του slave επιστρέφει μια σειρά από μηνύματα για να δημιουργήσει το σύνολο της απάντησης. Τα «host» (κεντρικά) PLC μπορούν να μεταφέρουν τις διαδικασίες, να παρακολουθούν την περιοχή δεδομένων των PLCκαι να έχουν τον έλεγχο των PLC χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο HOSTLINK. [9]

Ποιά συγκεκριμένα ο τύπος της μορφής εντολών επικοινωνίας είναι ο παρακάτω:



Εικόνα 17-Μορφή Εντολών

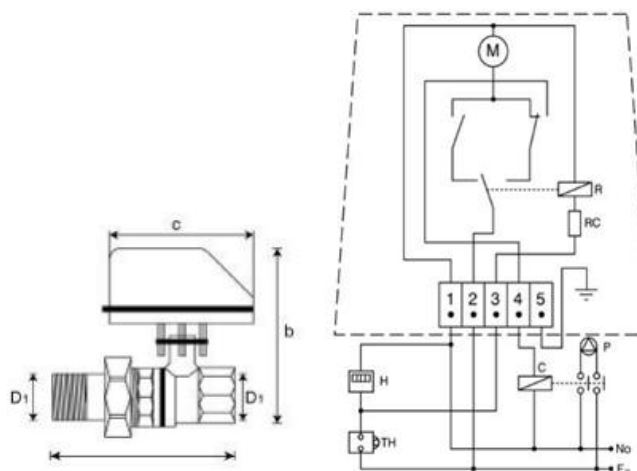
Έτσι, για να ελέγξουμε τα relays στην έξοδο του PLCαλλάζουμε κάποια συγκεκριμένα bits ενώ για να διαβάσουμε τις πληροφορίες από τα analog inputs χρησιμοποιούνται 4 bytes συγκεκριμένα από το string της απάντησης τα οποία αλλάζουν ανάλογα με την τιμή που τους δίνονται.

Στις αναλογικές εισόδους (analog inputs) είναι συνδεδεμένοι οι αισθητήρες pH, EC και ο αισθητήρας ένδειξης στάθμης του δοχείου. Οι αισθητήρες αυτοί κατά την διάρκεια της επαφής τους με το μείγμα παράγουν μία τάση ανάλογη της οποίας είναι η μέτρηση τους. Το σήμα εξόδου των αισθητήρων μετατρέπεται από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα μέσω ενός Analog to Digital Converter (μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό) και εμφανίζεται στο γραφικό περιβάλλον ή την γραμμή εντολών.

Από την πλευρά των εξόδων ελέγχονται πέντε βασικές μονάδες που είναι οι εξής : οι ηλεκτρικές βάνες, οι πνευματικές βάνες, οι αντλίες άρδευσης και επιστροφής νερού μετά το πότισμα και οι περισταλτικές αντλίες (αντλίες πυκνών διαλυμάτων). Τα παραπάνω τμήματα του φυσικού επιπέδου αναλύονται για τη μελλοντική τους χρήση στο σχεδιασμό του νέου υδροπονικού συστήματος.

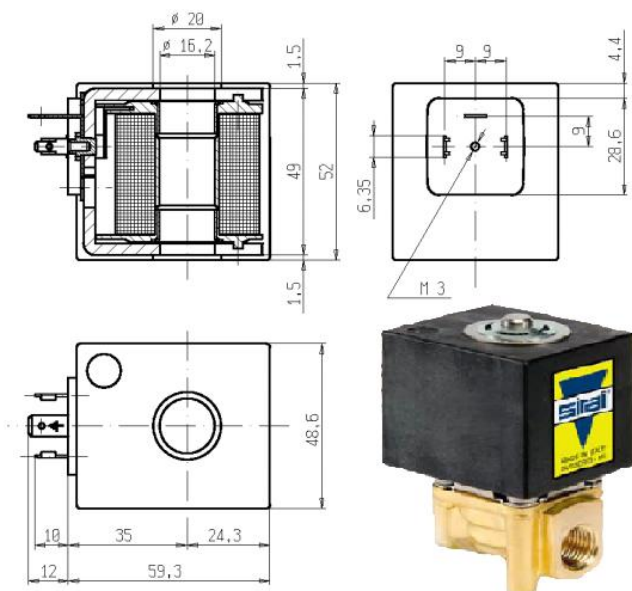
Οι ηλεκτρικές βάνες ή ηλεκτροβάνες αποτελούνται από τον κορμό και τον μηχανισμό στήριξης. Ο κορμός είναι κατασκευασμένος από ορείχαλκο, μέσα στον οποίο περιστρέφεται μία χρωμιωμένη σφαίρα που εφάπτεται σε φλάντζες από τεφλόν. Έτσι, εξασφαλίζονται η απόλυτη στεγανότητα και η απεριόριστη διάρκεια ζωής. Ο μηχανισμός κίνησης αποτελείται από ένα πολύ ισχυρό κινητήρα που είναι έτσι σχεδιασμένος, ώστε να δίνει ορισμένες ανάλογα με τη θέση της βάνας (ανοιχτή ή κλειστή).Βέβαια υπάρχουν δύο διαφορετικά ήδη ηλεκτροβάνας η δίοδος και η τρίοδος. Η δίοδος βάνα είναι δύο θέσεων δηλαδή ανοικτή ή κλειστή, η τρίοδος βάνα είναι δύο θέσεων

τελείως κλειστή προς τη μια έξοδο και τελείως ανοικτή προς την άλλη και αντίστροφα, ανάλογα με την επιλογή θέσης του άξονα της βάνας που θα κάνουμε. Παρατηρούμε στο κύκλωμα παρακάτω πως ο κινητήρας διαθέτει ενσωματωμένο ρελέ RC και εξωτερική ασφάλεια προστασίας (συνήθως 2A). [10]



Εικόνα 18-Σχηματικό & Κύκλωμα Ηλεκτροβάνας

Έτσι, χρησιμοποιούνται 10 διόδες βάνες και μία τρίοδος, όλες του τύπου Sirai Z923G.

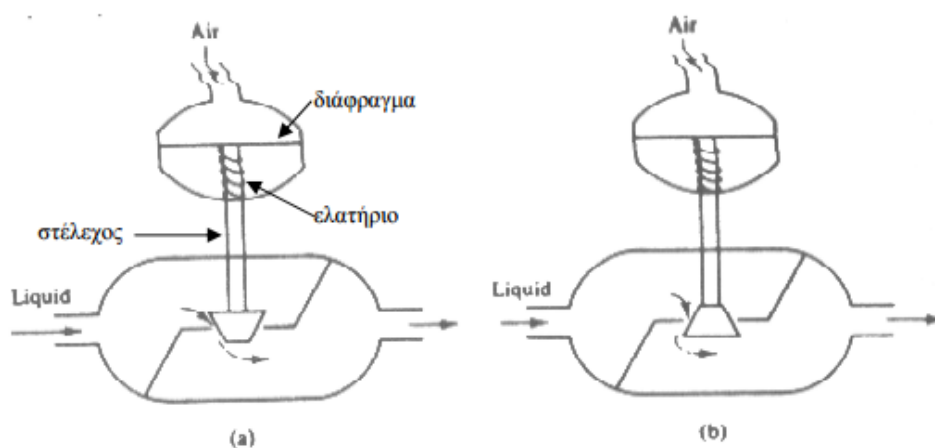


Εικόνα 19- Sirai Z923G

Οι ηλεκτροβάνες αυτές έχουν ουδέτερο και η εντολή λειτουργίας δίνεται από τον PLC επεξεργαστή, επίσης λειτουργούν με τροφοδοσία 24 Volts που παρέχεται από τροφοδοτικό. Η τρίοδος βάνα βρίσκεται πριν από τις υπόλοιπες βάνες. Κατά τη διάρκεια της μίξης είναι ανοικτή προς κατεύθυνση

επιστρεφόμενη στο δοχείο μείγματος, η οποία επιτρέπει την κίνηση του νερού εντός αυτής και τη μίξη του διαλύματος. Αφού γίνει όμως η αντιστροφή της τότε η βάννα ανοίγει προς την κατεύθυνση των άλλων ηλεκτροβανών που βρίσκονται μετά από αυτή. Έτσι, ο χρήστης δίνοντας εντολή σε οποιαδήποτε από τις υπόλοιπες βάννες επιτρέπει στο μείγμα να ρέει μέσα από αυτές κατευθυνόμενο προς τα δοχεία συγκέντρωσης πριν την άρδευσης.

Αντίστοιχα στο σύστημα υπάρχουν και οι πνευματικές βάννες οι οποίες λειτουργούν με αέρα αλλά και ηλεκτρισμό. Πιο συγκεκριμένα η μεταβαλλόμενη παροχή του αέρα στη βάννα έχει ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση ενός μηχανικού εμβόλου που είναι προσαρμοσμένο στο κινητό διάφραγμα της βάννας. Καθώς η πίεση του αέρα στο διάφραγμα αυξάνεται, το στέλεχος μετακινείται προς τα κάτω με αποτέλεσμα η ροή του ρευστού διαμέσου της βάννας να ελαττώνεται (ή να αυξάνεται). Μια τέτοια βάννα είναι γνωστή ως air-to-close ρυθμιστική βάννα. Αν η παροχή του αέρα στο διάφραγμα διακοπεί, η βάννα θα παραμείνει ανοιχτή αφού το ελατήριο θα σπρώξει το στέλεχος και το έμβολο προς τα πάνω. Υπάρχουν πνευματικές βάννες με αντίστροφη δράση (air-to-open). Οι περισσότερες εμπορικές βάννες μετακινούνται από την θέση «τελείως ανοιχτή» μέχρι τη θέση «τελείως κλειστή» καθώς η πίεση του αέρα στο διάφραγμα μεταβάλλεται από 3 σε 15 psig.

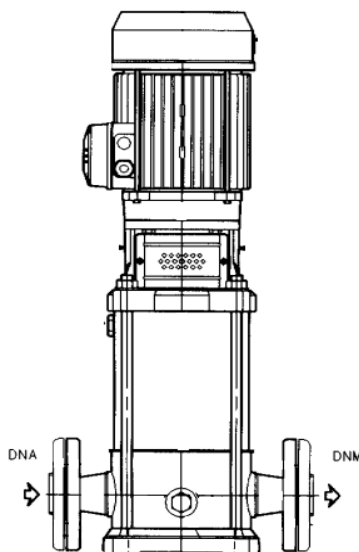


Εικόνα20-Πνευματική Βάννα (a) Air to Close (b) Air to Open

Η μίξη και ροή του μείγματος όμως εξαρτώνται βασικά από τις αντλίες άρδευσης. Ο τύπος της αντλίας που χρησιμοποιείται είναι ο SV803F15 της LOWARA. Τέτοιου είδους αντλίες χρησιμοποιούνται για την μεταφορά νερού και την κυκλοφορία σε αστικούς, βιομηχανικούς και

γεωργικούς τομείς, σε συστήματα αύξησης της πίεσης, συστήματα άρδευσης, συστήματα τροφοδοσίας , επεξεργασίας νερού, σιντριβάνια. Ο συγκεκριμένος τύπος αντλίας έχει τα εξής κατασκευαστικά χαρακτηριστικά :

- Μεταφέρει 8 m³/ h
- Έχει 3 πτερωτές
- Είναι κατασκευασμένη από αλουμίνιο



Εικόνα 21-Αντλία SV803F15

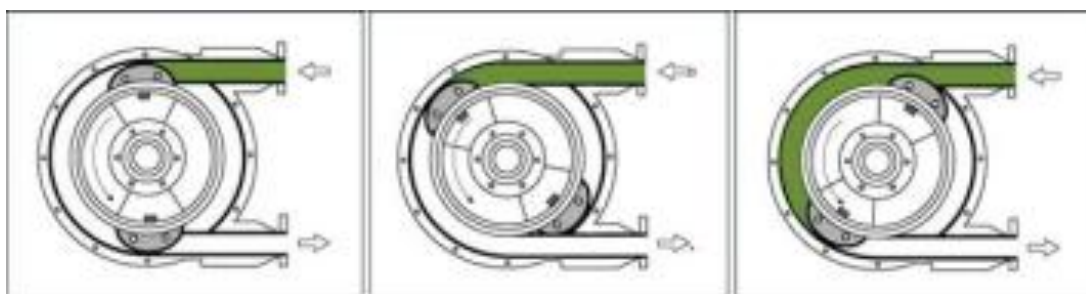
Και τα εξής ηλεκτρικά χαρακτηριστικά :

Τύπος Αντλίας	Ισχύς Κινητήρα			Ρεύμα Εισόδου (A)				Πυκνωτής	
				Μέγεθος*			Τρεις Φάσεις		
	kW	T	M	Δ	Y	Δ	220-240V	uF	V
SV803F15				1,5	90R	90R			

*R= μειωμένο μέγεθος του περιβλήματος του κινητήρα σε σύγκριση με προέκταση άξονα και φλάντζα. [11]

Τέλος, οι αντλίες πυκνών διαλυμάτων ή αλλιώς περισταλτικές αντλίες λειτουργούν χρησιμοποιώντας την αρχή της περισταλτικής κίνησης για να αντλήσουν ρευστά μέσω ενός σωλήνα, με τον ίδιο τρόπο που το αίμα, η

τροφή και το οξυγόνο μεταφέρονται μέσα στο ανθρώπινο σώμα. Ένας ελαστικός σωλήνας εφαρμόζει γύρω από ένα ρότορα με ράουλα, ο οποίος όταν περιστρέφεται, πιέζει ένα τμήμα του ελαστικού σωλήνα. Η πίεση στο συγκεκριμένο τμήμα απελευθερώνεται καθώς ο ρότορας περιστρέφεται και ο ελαστικός σωλήνας ανακτά το αρχικό του σχήμα. Έτσι δημιουργείται στιγμιαία μια υποπίεση η οποία προκαλεί αναπλήρωση του ελαστικού σωλήνα με υγρό. Η συμπίεση που ασκείται στον ελαστικό σωλήνα προκαλεί μία προσωρινή στεγανοποίηση και καθώς ο ρότορας περιστρέφεται, το αντλούμενο υγρό προωθείται και εκτοπίζεται από το στόμιο εξόδου της αντλίας. Από αυτή τη συνδυασμένη λειτουργία στην αναρρόφηση και στην κατάθλιψη προκύπτει μία αντλία θετικής εκτόπισης με ικανότητα αρνητικής αναρρόφησης. [12]



Εικόνα 22-Λειτουργία Περισταλτικής Αντλίας

Στο υδροπονικό σύστημα του MAIX χρησιμοποιούνται 12 περισταλτικές αντλίες SEKOSE 59BT οι οποίες λειτουργούν στα 230 VAC , 50-60 Hz. Οι 11 από αυτές χρησιμοποιούνται για την άντληση των πυκνών διαλυμάτων ενώ η μία χρησιμοποιείται για την άντληση οξέως για την ισορρόπηση του pH σε επιθυμητά επίπεδα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η προσθήκη οξέως στο διάλυμα να γίνεται πολύ πιο «προσεκτικά» και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Για αυτό τον λόγο όλες οι αντλίες των πυκνών διαλυμάτων παρέχουν 20 milliliters/second ενώ η αντλία του οξέως παρέχει 5 milliliters/second. Επίσης, κατά την πάροδο του χρόνου και την εκτεταμένη χρήση τους είναι ανάγκη να γίνεται η ογκομέτρηση τους και η ρύθμιση τους έτσι ώστε η παροχή τους να παραμένει σταθερή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΣΑΙΑΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

Η βασική ιδέα που διέπει την υλοποίηση ενός μικρότερου υδροπονικού συστήματος αφενός έχει σχέση με την ανάγκη της χρήσης της υδροπονίας για παραγωγή προϊόντων σε μικρότερες κλίμακες με ποιοτικά και οικονομικά αποτελέσματα ως προς τους καλλιεργητές, αφετέρου έχει σχέση με την εξέλιξη και τη χρήση προηγμένης τεχνολογίας για την ανάπτυξη ενός πρωτοποριακού συστήματος το οποίο εντάσσεται στην τεχνολογία του πρωτογενή τομέα παραγωγής. Άλλωστε η χρήση μικροεπεξεργαστών τύπου Arduino με την προσθήκη διαφόρων αισθητήρων έχει δείξει ραγδαία ανάπτυξη με θεαματικά αποτελέσματα. Στο κεφάλαιο αυτό αποτυπώνονται τα βασικά στοιχεία για την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος. Πιο συγκεκριμένα για αρχή γίνεται σαφής περιγραφή της λειτουργίας του ενώ ακολουθεί υποκεφάλαιο το οποίο περιγράφει τις νέες μονάδες του αναλυτικά.

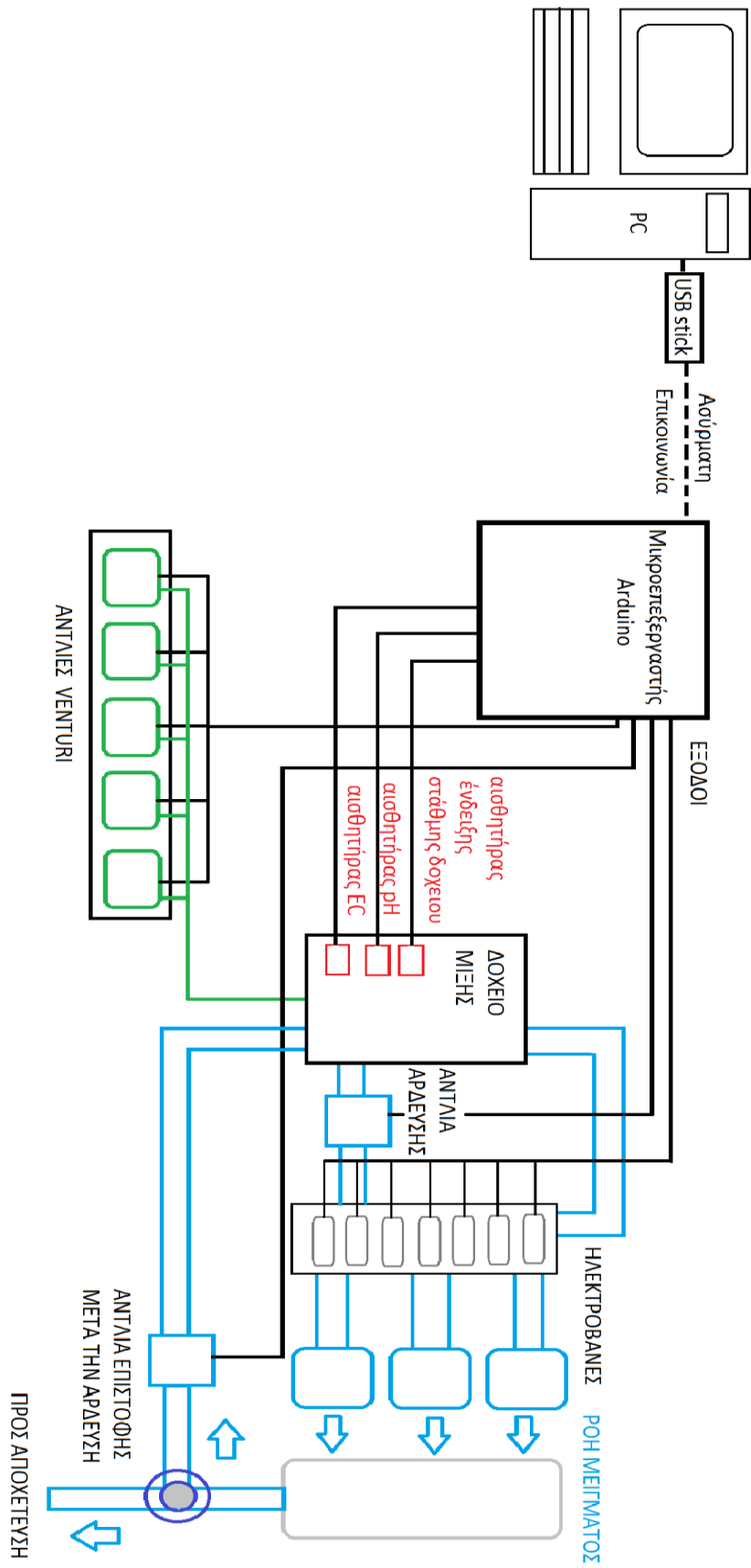
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Όπως ειπώθηκε παραπάνω πρότυπο του νέου υδροπονικού συστήματος μεσαίας κλίμακας ήταν το υδροπονικό σύστημα του MAIX. Έτσι ορίζοντας κάποια βασικά χαρακτηριστικά με βάση τους τύπους των συστημάτων που περιγράφηκαν μπορούμε να πούμε πως το νέο σύστημα λειτουργεί ως ανοιχτού και ως κλειστού τύπου ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Επίσης, σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει υδροπονία με υπόστρωμα και μπορεί να ενταχθεί στα συστήματα με χρήση δοχείου ανάμιξης νερού και θρεπτικών συστατικών.

Το πρώτο μέλημα ήταν η επάρκεια της επεξεργαστικής ικανότητας του συστήματος. Εδώ ένας μικροεπεξεργαστής τύπου Arduino γίνεται η κεφαλή του υδροπονικού συστήματος, παίρνει λοιπόν την αντίστοιχη θέση του επεξεργαστή PLC. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν μιλάμε για ένα κλασσικό Arduino Uno ή ένα προϊόν αυτής της εταιρίας αλλά επιλέχθηκε η χρήση πλακετών και προϊόντων από το JeeLabs, μία μικρή εταιρία του Jean-Claude Wippler που βασίζεται στο συνδυασμό των ηλεκτρονικών και πληροφορικής που ονομάζεται “Physical Computing”. Η χρήση των εξαρτημάτων του μας δίνει πολλές δυνατότητες που έχουν εφαρμοστεί ήδη σε εφαρμογές από τον

ίδιο Jean-Claude Wirppler, όπως η ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των μονάδων επεξεργασίας και του χρήστη, μέτρηση φυσικών μεγεθών και όχι μόνο.

Χρησιμοποιώντας αυτού του είδους την επεξεργαστική ικανότητα και λόγω των χαρακτηριστικών του μικροεπεξεργαστή και των διαφόρων plug-ins δημιουργείται η ανάγκη της χρήσης ανεξάρτητων κυκλωματικών διατάξεων όπως πλακέτες-οδηγοί για την σύζευξη των μονάδων όπως σένσορες pH & ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Πριν φτάσουμε όμως στην κυκλωματική ανάλυση πρέπει να γίνει μια περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του συστήματος. Παρακάτω εμφανίζεται το σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας του.



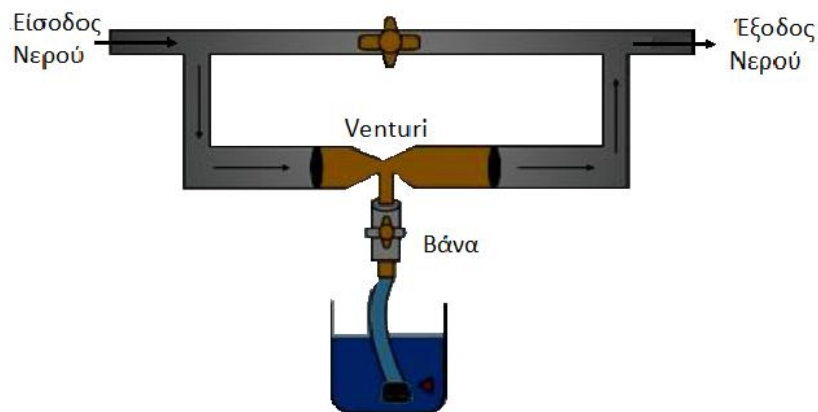
Εικόνα 23- Σχηματικό Υδροπονικού Συστήματος Μεσαίας Κλίμακας

Στο παραπάνω σχηματικό μπορούμε να διακρίνουμε κάποιες μικρές αλλαγές παρόλο που η αρχή της λειτουργίας του παραμένει η ίδια. Ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει μέσω του ίδιου γραφικού περιβάλλοντος οποιαδήποτε συνταγή. Το μίγμα δημιουργείται από νερό και από τις επιθυμητές δοσολογίες των πυκνών διαλυμάτων τα οποία προστίθενται στο δοχείο μίξης μέσω αντλιών Venturi. Η αντλία άρδευσης αναμιγνύει νερό και διαλύματα μέσω του κύκλου ροής που δημιουργείται αφού οι ηλεκτροβάνες είναι ακόμα κλειστές. Μέσω των αισθητήρων γίνεται έλεγχος των επιπέδων της στάθμης του δοχείου, pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Αφού το μείγμα πληροί τις προϋποθέσεις που έθεσε ο χρήστης είναι έτοιμο για άρδευση. Εν συνεχεία το «άνοιγμα» συγκεκριμένων ηλεκτροβανών επιτρέπει τη κυκλοφορία του μείγματος, μια ροή που δημιουργεί η αντλία άρδευσης προς τα δοχεία των θερμοκηπίων. Μετά το πότισμα το νερό συγκεντρώνεται και με βάση τις ανάγκες του χρήστη είτε αφήνεται να χαθεί προς το περιβάλλον είτε με την ενεργοποίηση της αντλίας επιστροφής επαναχρησιμοποιείται και ανανεώνεται. Παρατηρούμε, λοιπόν, πως η φιλοσοφία της λειτουργίας του συστήματος δεν άλλαξε και οι αλλαγές έγιναν σε υπολογιστικό επίπεδο και ελάχιστες σε φυσικό επίπεδο.

ΑΛΛΑΓΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

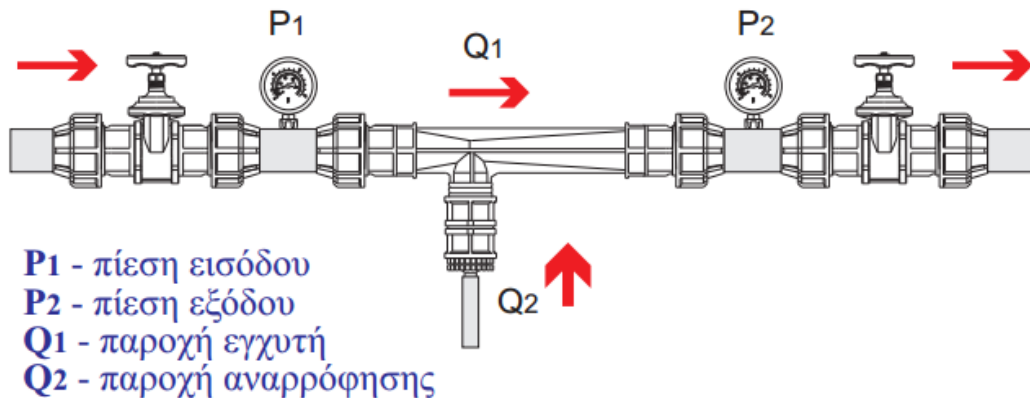
Το σύστημα δεν μπορεί να γνωρίσει μεγάλες αλλαγές στο σχεδιασμό του στο φυσικό επίπεδο. Δύο είναι σημαντικές πρώτον η έλλειψη των πνευματικών βανών στοιχείο που κάνει το σύστημα πιο ευέλικτο και εργονομικό και δεύτερον η χρήση των εγχυτών Venturi.

Ο εγχυτής “Venturi” χρησιμοποιείται κυρίως για υδρολίπανση. Είναι κατασκευασμένος από υλικά τα οποία παρέχουν αντοχή σε όλες τις χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται στη σύγχρονη γεωργία και βιομηχανία. Είναι αξιόπιστος και δεν χρειάζεται συντήρηση αφού δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη.



Εικόνα 24- Εγχυτής Venturi

Η λειτουργία του βασίζεται στην διαφορά πίεσης του “Venturi” χωρίς καμία εξωτερική πηγή ενέργειας : χρησιμοποιώντας μια μικρή ποσότητα διαφοράς πίεσης (ΔP) μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του “Venturi” και ενώ το υγρό διέρχεται μέσα από αυτό, γίνεται η αναρρόφηση η οποία εξαρτάται από το μέγεθος του “Venturi” και την διαφορά πίεσης εισόδου – εξόδου.



Εικόνα 25-Εγχυτής Venturi

Εφαρμόζεται όταν η διαφορά πίεσης $\Delta P > 20\%$ και η παροχή του κεντρικού αγωγού είναι η ελάχιστη απαιτούμενη που μπορεί να περάσει από τον εγχυτή. Το μέγεθος του εγχυτή πρέπει να είναι το ίδιο ή παραπλήσιο του μεγέθους του αγωγού που τοποθετείται. Βάνες και μανόμετρα τοποθετούνται εκατέρωθεν του εγχυτή προκαλώντας την επιθυμητή διαφορά πίεσης. Η παροχή αναρρόφησης του εγχυτή εξαρτάται από τις τιμές των πιέσεων εισόδου και εξόδου καθώς και από το μέγεθός του. [13]

Στην περίπτωση μας η παροχή αναρρόφησης Q2 μπορεί να διακόπτεται από δύοδες βάνες (π.χ.Sirai Z923G) οι οποίες θα ανοίγουν και θα κλείνουν κατ' επιλογή του χρήστη. Όταν η βάνα ανοίγει η διαφορά πίεσης στο σωλήνα που δημιουργείται από την ροή του διαλύματος θα αναγκάσει το πυκνό διάλυμα να αναμιχθεί με το νερό. Βέβαια για τη σωστή λειτουργία του συστήματος χρειάζεται βαθμονόμηση η οποία είναι εύκολο να γίνει αφού ο τύπος κάθε αντλίας έχει ως χαρακτηριστικό την τον όγκο του υγρού που απορροφάται από την Q2 ανά λεπτό (lit/min). Έτσι, γνωρίζοντας πόσος όγκος πυκνού διαλύματος απορροφάται από τον εγχυτή μπορούμε να προγραμματίσουμε πόση ώρα θα είναι ανοιχτή η βάνα μέσω του μικροελεγκτή.

ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

Η βασική ιδέα για το σχεδιασμό του ηλεκτρονικού συστήματος διαχείρισης στέκεται πάνω στους εξής άξονες:

- Στην ανίχνευση και μέτρηση φυσικών μεγεθών (στάθμη δεξαμενής, pH, ηλεκτρικής αγωγιμότητας) μέσω αισθητήρων.
- Στον έλεγχο ηλεκτρονόμων και ηλεκτροβανών.
- Στη χρήση ασύρματης επικοινωνίας, για την αποφυγή των καλωδίων μεταξύ χρήστη - κεφαλής συστήματος.
- Στον ασύρματο έλεγχο των μονάδων του θερμοκηπίου.

Επίσης, στόχος ήταν το ηλεκτρονικό σύστημα να είναι οικονομικό, αποτελεσματικό και εύκολο στη συντήρηση. Ιδανικό σε αυτή την περίπτωση μοιάζει να είναι το ενδεχόμενο της αντικατάστασης κάποιων μονάδων του ηλεκτρονικού συστήματος από τον ίδιο το χρήστη αφού το καθένα θα μπορούσε να είναι ανεξάρτητο. Αυτό δίνει στον χρήστη αμεσότητα και ευκολία στην επαφή του με το σύστημα.

Τέλος, μετά από έρευνα στο χώρο των αυτοματισμών η λύση βρέθηκε από το JeeLabs το οποίο κατέχει μεγάλη γκάμα συστημάτων αυτοματισμών

με μικροεπεξεργαστές. Οι παρακάτω αγορές ήταν το αποτέλεσμα της έρευνας.

Υλικά	Τιμές
Wireless Start Pack	169,50€
Jee Link	32,50€
Analog Plug	13,00€
Expander Plug	6,50€
Mosfet Plug	9,50€
4 x Relay Board(PCB only)	4 x 2,50€
AA Power Board	14,50€
Σύνολο	255,50€

Εικόνα 26-Πίνακας Υλικών Κατασκευής Ηλεκτρονικού Συστήματος

Στο σημείο αυτό είναι ανάγκη να σταθούμε στις ιδιότητες των μονάδων αυτών και να γίνει μια μικρή ανάλυση των χαρακτηριστικών τους.

Wireless Start Pack: Αυτό το πακέτο έχει όλα όσα χρειαζόμαστε για να δημιουργήσουμε ένα ασύρματο δίκτυο τριών κόμβων. Είναι ένα πακέτο που εμπεριέχει 3 ασύρματους κόμβους επικοινωνίας μονάδων, σένσορες, πρωτότυπα εργαλεία και άλλα διάφορα. Πιο συγκεκριμένα :

3 Ασύρματοι κόμβοι, συμβατοί με το Arduino IDE:

- **1 x JeeNode (V6):** Το JeeNode είναι πλακέτα με μικροελεγκτή της Atmel 8-bit, που λειτουργεί ως πομποδέκτης σε ασύρματη επικοινωνία, σχεδιασμένη για ποικιλία υπολογιστικών θεμάτων. Από τη μέτρηση και την αναφορά της θερμοκρασίας, της υγρασίας και άλλων περιβαλλοντικών δεδομένων έως την παρακολούθηση και τον έλεγχο της κατανάλωσης ενέργειας γύρω απ' το σπίτι. Είναι συμβατά με την πλατφόρμα Arduino μιας και είναι εμπνευσμένη από τις πλακέτες Arduino Duemilanove και Uno και απ' την "Real Bare Bones Board" (RBBB) της Modern Device. Μπορεί να προγραμματιστεί σε Windows, Mac και Linux με την εφαρμογή Arduino IDE.



Εικόνα 27- JeeNode V6

Με μια ματιά μπορούμε να δούμε από αριστερά προς τα δεξιά :

- 6 pins FTDI συμβατά με τη σειριακή θύρα για I/O, τροφοδοσία, επαναπρογραμματισμό και επικοινωνία.
- Σταθεροποιητή τάσης στα 3,3V που δέχεται από 3-15V στην είσοδο.
- 8 pins που συνδυάζουν τροφοδοσία, σειριακή επικοινωνία, I2C, PSIX σύνδεσμο.
- Τον ATmega328P μικροελεγκτή της Atmel , με 16MHz κεραμικό ταλαντωτή.
- 2 x 4 pin πού συνδυάζουν SPI/ISP υποδοχή, με 2 γραμμές I/O γενικής χρήσης.
- RFM12B ασύρματη μονάδα ραδιοσυχνοτήτων για τη 433, 868, ή 915 MHz ζώνη ISM
- Ένα κοντό καλώδιο που λειτουργεί ως κεραία (78, 82, μήκους 165 mm για 915, 868, 433 MHz αντίστοιχα)

Και στις μακριές πλευρές της πλακέτας βρίσκονται δύο θύρες I/O η κάθε μία, με μία αναλογική/ψηφιακή I/O, με ψηφιακή I/O των +3,3 V, γείωση, Vcc και Interrupt. Όλες οι θύρες έχουν ταυτόσημες εξόδους για χρήση βυσμάτων.

Συμβατότητα με το Arduino:

Ομοιότητες:

- Λειτουργούν με τον ίδιο OptiBoot κωδικό εκκίνησης, και ως εκ τούτου μπορεί να τρέξει προγράμματα του Arduino IDE.
- Ίδιοι επεξεργαστές της ATmega328P

Διαφορές:

- Υπάρχει ασύρματη μονάδα ραδιοσυχνότητας στα 433,868,915 MHz
- Εντελώς διαφορετική φυσική διάταξη.
- Το JeeNode λειτουργεί εσωτερικά με 3.3V, όχι με 5V στοιχείο που επηρεάζει επίσης όλες τις θύρες εισόδου και εξόδου καθώς και τα pins.
- Κάποια pins του Arduino έχουν συγκεκριμένους ρόλους και δεν είναι για όλες τις χρήσεις.
- Ο σύνδεσμος ISP έχει δύο επιπλέον pins, για να επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση του ως SPI για 1 ή 2 συσκευές.
- Το καλώδιο TWI είναι μόνιμα συνδεδεμένο στο δικό του σύνδεσμο.
- Λειτουργώντας στα 16MHz, χρησιμοποιώντας όμως ελαφρώς μικρότερη ακρίβεια αντί κρυστάλλου.
- Δεν υπάρχουν LEDs, για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας όταν εξαντλείται η μπαταρία.

Ο σχεδιασμός έχει επιλεγεί για διάφορους λόγους. Ο κύριος λόγος για τη δημιουργία του JeeNode ήταν ότι τα Arduino δεν ήταν συμβατά για συσκευές που λειτουργούν με 3,3V όπως η RFM12B μονάδα. Συμπεριλαμβάνοντας τον σταθεροποιητή τάσης στα 3,3V ,το JeeNode μπορεί να τροφοδοτηθεί από USB με μία FTDI πλακέτα, με ένα DC προσαρμογέα συνεχούς ρεύματος, ή διάφορους τύπους μπαταρίας των 3,6 - 12V.Ένας δεύτερος λόγος ήταν να υπάρξει μια μονάδα η οποία περιλαμβάνει ασύρματη συνδεσιμότητα σαν προεπιλογή. Ο τρίτος λόγος είναι ότι είναι πολύ συνηθισμένο να ξεμένεις από συνδέσμους τροφοδοσίας και γείωσης αφού συνδέσεις μερικούς αισθητήρες στο Arduino. Ενώ υπάρχουν πολλές πλακέτες του τύπου "proto shield" (διάτρητες πλακέτες συμβατές με Arduino) για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, επιλέχθηκε να καταλήξει σε ένα διαφορετικό σχήμα συνδέσμων για την κοινή περίπτωση των μόλις λίγων αισθητήρων. Επιπλέον, και οι τέσσερις θύρες είναι εντελώς ίδιες έχοντας τα ίδια χαρακτηριστικά και συνδέσεις, επιτρέποντας την επαναχρησιμοποίηση και τον εκ νέου συνδυασμό αργότερα.

Η μονάδα RFM12B είναι μια επιλογή χαμηλού κόστους με επαρκή ισχύ και εμβέλεια ώστε να παρέχει αξιόπιστη επικοινωνία γύρω από το σπίτι-

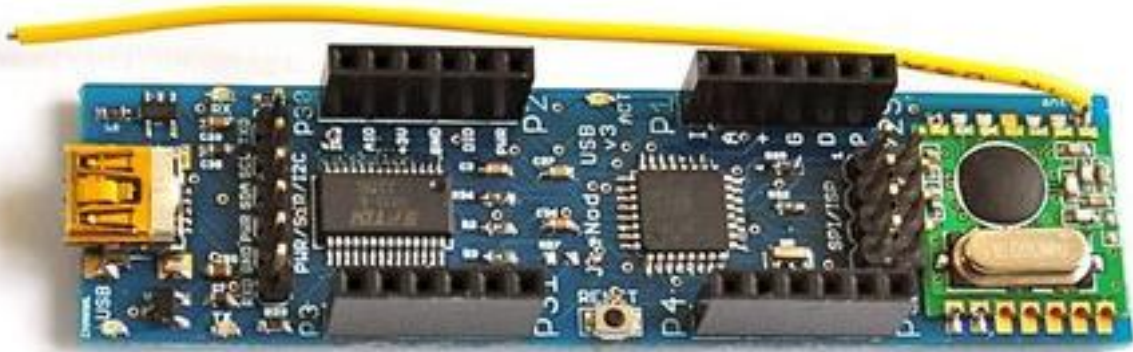
ένα βασικό πρωτόκολλο πακέτων μπορεί να υλοποιηθεί σε λιγότερο από 3Kb του κώδικα C.

Τέλος, το JeeNode έχει σχεδιαστεί από το μηδέν για να υποστηρίξει τη χρήση πολύ χαμηλής ισχύος με μπαταρίες.

Εν τέλει το JeeNode πληροί τις παρακάτω προδιαγραφές :

Επεξεργαστής	ATmega328P
Μέγιστη Συχνότητα	16 MHz (κάτω των 3.3V)
Κατανάλωση Ενέργειας	4 μ A .. 35 mA
Τάση Τροφοδοσίας	3.3V .. 13.0V
Διαστάσεις	85.9 x 21.1 x 9.9 mm
Βάρος	12 gr

- **1 x JeeNode USB** : Το JeeNode USB είναι εξοπλισμένο με ενσωματωμένη διασύνδεση USB. Η απόδειξη έρχεται γρήγορα, αν συνδέσουμε ένα JeeNode USB - ας πούμε σε ένα φορητό υπολογιστή, και ένα άλλο JeeNode USB ή JeeLink σε έναν άλλο υπολογιστή έχουμε μια άμεση, συμβατή με Arduino με ασύρματη ζεύξη. Περιέχει μικροεπεξεργαστή ATmega328p AVR της Atmel, την αποδεδειγμένη RFM12B ασύρματη μονάδα πομποδέκτη της HopeRF και ένα τσιπ διασύνδεσης FT232R USB. Ο επεξεργαστής είναι προγραμματισμένος με το OptiBoot loader (συμβατό με το Arduino Uno) και έχει εγκατασταθεί σε αυτόν το πρόγραμμα RF12demo (πρόγραμμα ασύρματης επικοινωνίας). Η ασύρματη μονάδα των πρότυπα JeeNode USB είναι ήδη ρυθμισμένη στα 868MHz, στην ISM ζώνη που είναι η προτιμώμενη για την Ευρώπη. Επιλέγουμε τη ζώνη των 434MHz όταν χρειαζόμαστε αυτή τη μπάντα για συμβατότητα με άλλες συσκευές, όπως ορισμένες μετεωρολογικούς σταθμούς. Το JeeNode USB έχουν ενσωματωμένο το βύσμα USB και όλα τα συστατικά SMD συγκολλημένα πάνω του. Οι τέσσερις 6-pin θηλυκές κεφαλίδες που περιλαμβάνονται δίνουν πρόσβαση σε κάθε μία από τις 4 θύρες.



Εικόνα 28-JeeNode USB

Παρόλα αυτά βλέπουμε κάποιες διαφορές από το JeeNode V6 όπως :

- Ο FTDI σύνδεσμος έχει αντικατασταθεί από ένα USB βύσμα και ένα FTDI chip στην πλακέτα
 - Δύο led για να σηματοδοτούν τις TX και RX δραστηριότητες
 - Ένα μπλε led για την ένδειξη της ενεργής κατάστασης
 - Ένα μικρό κουμπί επανεκκίνησης μεταξύ θυρών 3 και 4
 - Ένα ενσωματωμένο φορτιστή μπαταρίας πολυμερούς λιθίου με ένα led ένδειξης φόρτισης (δίπλα στη θύρα USB)
 - Το pin του Vcc λειτουργεί με 4,2V ,όταν συνδεθεί σε USB
 - Η κατανάλωση ρεύματος περιορίζεται στα 280 mA
 - Όλα τα εξαρτήματα είναι επιφανειακά τοποθετημένα SMD αντί της διαμπερούς οπής.
-
- **1 x JeeLink** : Το JeeLink είναι ένα πλήρως συναρμολογημένο και έτοιμο προς χρήση USB τύπου "stick", το οποίο συνδέεται απευθείας σε ένα PC, Mac ή διανομέα USB. Περιέχει μικροεπεξεργαστή ATmega328p AVR της Atmel, RFM69CW ασύρματη μονάδα πομποδέκτη της HopeRF και ένα τσιπ διασύνδεσης FT232R USB. Ο επεξεργαστής είναι προγραμματισμένος με το OptiBoot loader (συμβατό με το Arduino Uno) και έχει εγκατασταθεί σε αυτόν το πρόγραμμα RF12demo, που είναι συμβατό με τον πομποδέκτη RFM12B του οποίου το εύρος σήματος κυμαίνεται στις ζώνες 433/868/915MHZ. Το JeeLink έρχεται σε μια διαφανή πλαστική θήκη και προορίζεται ως μια ασύρματη διασύνδεση μεταξύ άλλων JeeNode και ενός PC ή Mac που συνδέονται

μέσω USB. Η V3c JeeLink διαθέτει επίσης 16Mbit μνήμη flash, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συλλογή δεδομένων.

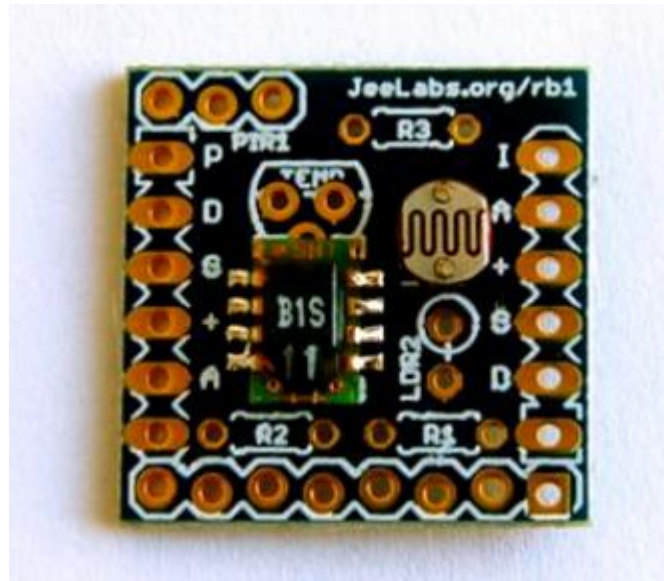


Εικόνα 29- Jee Link

Ένας ακριβής (10 ppm) κρύσταλλος βοηθά να παρακολουθείτε τον χρόνο, ακόμα και όταν ο υπολογιστής είναι κατάσταση αδρανοποίησης. Η ενσωματωμένη μονάδα ασύρματου δικτύου μπορεί να λειτουργήσει σε συνεργασία με άλλα JeeNode εξοπλισμένα είτε με RFM12B ή RFM69CW μονάδες δικτύου. Το πρότυπο JeeLink868 έρχεται με τον πομποδέκτη RFM69CW στη ζώνη ISM των 868MHz (ζώνη που χρησιμοποιείται σε ολόκληρη την Ευρώπη). Για παρόμοιες ρυθμίσεις ισχύος, αυτή η ζώνη έχει μεγαλύτερο εύρος από την RFM12B. Μπορούμε να επιλέξουμε την παραλλαγή αυτή εάν έχουμε ειδική απαίτηση συμβατότητας με εξοπλισμό που χρησιμοποιεί διαφορετική ζώνη ISM.

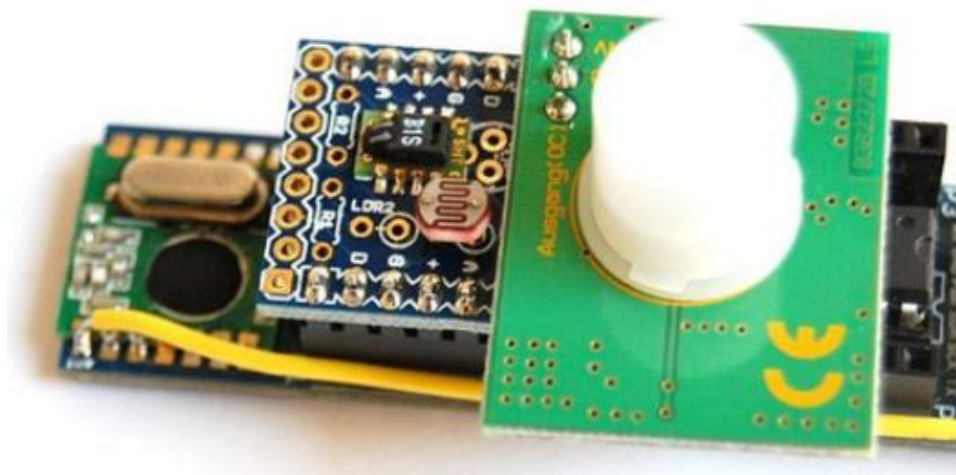
Σένσορες που περιλαμβάνονταν στο Wireless Starter Pack:

- **Room Board:** Το Room Board είναι μία μικρή πλακέτα με σένσορες που σχεδιάστηκε για την εσωτερική παρακολούθηση διαφόρων περιβαλλοντικών παραμέτρων.
 - Θερμοκρασία – με τον αισθητήρα HYT131
 - Υγρασία - ξανά με τον αισθητήρα HYT131
 - Κίνηση - με μία μονάδα PIR (δεν συμπεριλήφθηκε στο πακέτο που αγοράστηκε για το σύστημα)
 - Φώς – με τον αισθητήρα LDR



Εικόνα 30-To Room Board χωρίς αισθητήρα κίνησης

Τοποθετείται πάνω στο JeeNode σε θύρες οι οποίες είναι η μια απέναντι απ την άλλη (1+4 ή 2+3) όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω στην οποία συμπεριλαμβάνεται και ο αισθητήρας PIR.



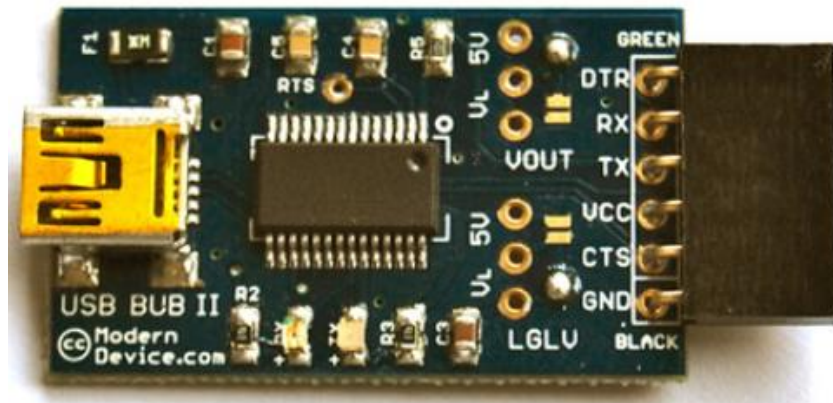
Εικόνα 31-To Room Board συνδεδεμένο στο JeeNode

Άλλα πρωτότυπα εργαλεία που εμπεριέχονται στο πακέτο είναι :

- 1 μίνι breadboard
- 1 πακέτο καλωδίων κατάλληλα για χρήση στο breadboard
- 1 σετ με 6 Καλώδια προέκτασης κολλημένα για εύκολη σύνδεση με τις θύρες
- 1 σετ με 10 x 6-pin θηλυκά βύσματα και 10 x 6-pin αρσενικά βύσματα

Και άλλα διάφορα όπως :

- **1x USB-BUB:** Η πλακέτα USBBUB-II είναι ένας ευέλικτος ενεργός σύνδεσμος USB με πολλές εφαρμογές.



Εικόνα 32-USB-BUB

Χρησιμοποιεί ένα επώνυμο FT232R, το ίδιο όπως σε κάποιες πλακέτες Arduino. Αυτή η πλακέτα έχει χαρακτηριστικά που δεν βρίσκονται σε άλλες πλακέτες USB.

- Ασφάλεια για να προστατέψει το USB από βραχυκυκλώματα
- Δύο LED που δείχνουν την κατάσταση της συριακής επικοινωνίας στις TX / RX γραμμές.
- Διαμορφώσιμη διακλάδωση για να αλλάξουμε τα επίπεδα από 3.3 έως 5V. Αυτή η διακλάδωση είναι ανεξάρτητη από την διακλάδωση της τάσης εξόδου. Η προεπιλογή παραμένει στα 3,3V , κατάλληλα για JeeNode.
- Χώρος για να προστεθεί ένας SMD ρυθμιστής τάσης στα 3,3V για υψηλότερα ρεύματα εξόδου.
- Μία κεφαλή, συνδεδεμένη με τη σειρά ακίδων του καλωδίου RS232 (συμβατό για JeeNode / BBB / RBBB / LilyPad /Arduino Pro).Η DTR γραμμή είναι παρούσα για τη δημιουργία του "Reset"- πιο αξιόπιστο από τη χρήση της ιδιόμορφης γραμμής RTS.
- Το USB BUB έχει βασικά μέρη που έχουν ήδη τοποθετηθεί και δοκιμαστεί
- Αν το χρησιμοποιήσουμε απλά για να «ανεβάσουμε» κάποιο πρόγραμμα και ο κόμβος μας έχει δική του τροφοδοσία, τότε μπορούμε να το αποσυνδέσουμε και να το χρησιμοποιήσουμε σε άλλους κόμβους.

- **1 x Θήκη Μπαταρίας** :Μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε μπαταρίες για τα JeeNode. Ανάλογα με το αν- και πόσο καλά- η λειτουργία της αδρανοποίησης υλοποιείται απ' τον κώδικα που εκτελείται στα JeeNode, οι μπαταρίες μπορεί να διαρκέσουν από μία ημέρα έως πάνω από ένα χρόνο.



Εικόνα 33-Θήκη Μπαταρίας

Ένας διακόπτης έχει ενσωματωθεί στο περίβλημα. Για πιο μόνιμη, μακροχρόνια εγκατάσταση, ο διακόπτης δεν είναι απαραίτητος (και είναι πιθανό σημείο αποτυχίας αν η υψηλή υγρασία επηρεάζει τις εσωτερικές επαφές). Βέβαια μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την επιλογή να μην υπάρχει διακόπτης.

Η τυπική θέση μπαταρίας είναι για 3xAA, είτε αλκαλικές είτε NiMH, υπάρχει όμως και μια έκδοση με 4 xAA αν χρειάζεστε μια υψηλότερη τάση ή ταχύτητα , π.χ. 5Vή παραπάνω με NiMH (επαναφορτιζόμενες) ή έως 6Vμε αλκαλικές.

- **1 x Blink Plug Kit** : Είναι μία μικρή πλακέτα με χώρο για δυο LED και δύο κουμπιά. Ένα απλό τέχνασμα λογισμικού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διασύνδεση των δύο διακοπών και των LED χρησιμοποιώντας μόνο δύο I / O pins.



Εικόνα 34- Blink Plug

Μαζί με όλα τα παραπάνω έφτασα έξτρα και διάφορα άλλα εξαρτήματα όπως:

- **1 LCD Οθόνη** (2x16) - με οπίσθιο φωτισμό που μπορεί να συνδεθεί σε οποιαδήποτε θύρα JeeNode
- **1 Jee Plug Kit**- μια σειρά από 5 διάτρητες πλακέτες και κεφαλές (αρσενικά & θηλυκά) για να κολλήσουμε μικρά εξαρτήματα, προσαρμογείς κ.λπ.
- **1 Proto Board** - μια μικρή πλακέτα για τη δημιουργία προτύπων κυκλωματικών διατάξεων, η οποία ταιριάζει στην κορυφή ενός JeeNode.

Όπως είδαμε το Wireless Starter Pack είναι μια λύση για το πρόβλημα της ασύρματης επικοινωνίας με Arduino ενισχυμένο με μια μεγάλη γκάμα βοηθητικών εξαρτημάτων. Παρόλα αυτά ο πίνακας- Εικ. 26 εμπεριέχει και άλλες μονάδες του hardware. [14]

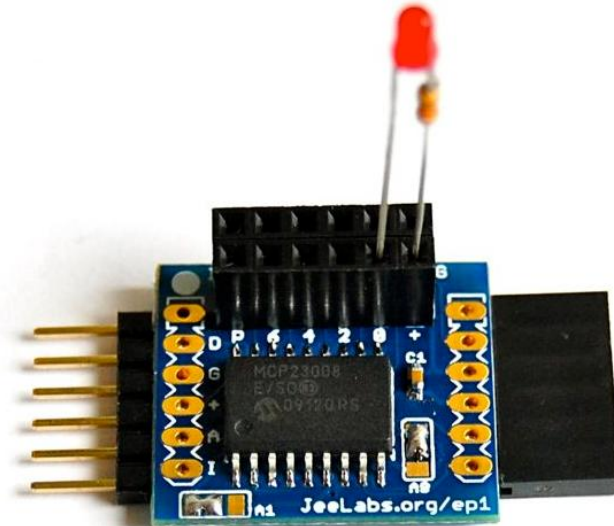
- **Analog Plug:** Το Analog Plug είναι μια μικρή πλακέτα που περιέχει τον MCP3424 μετατροπέα αναλογικού σήματος (ADC) σε ψηφιακό με I2C διεπαφή διαύλου. Η ADC μπορεί να πάρει από 4 έως 240 δείγματα το δευτερόλεπτο, ανάλογα με την ανάλυση (12-18 bits).



Εικόνα 35-Analog Plug

Διαθέτει 4 κανάλια διαφορικής εισόδου και υποστηρίζει ένα φάσμα διαφορικής τάσης από -2.048V έως + 2.048V, πλήρους κλίμακας. Η I2C διασύνδεση τρέχει στα 3,3V οδηγώντας όλες τις γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος και σήματος και στις δύο πλευρές της πλακέτας, έτσι ώστε να επιτρέπεται η «αλυσιδωτή» σύνδεση της πλακέτας με άλλες I2C πλακέτες. [15]

- **Expander Plug:** Το Expander Plug είναι μια μικρή πλακέτα με 8 γενικής χρήσης ψηφιακές γραμμές I/O. Κάθε μια από αυτές τις γραμμές μπορεί να ρυθμιστεί ξεχωριστά ως είσοδος (με μια προαιρετική αντίσταση pull-up 100 k Ω) ή ως έξοδος. Η 2 x 6 pin σύνδεση φέρει 8 σήματα I/O , +3,3V και γείωσης, καθώς και την τάση Vcc και τη IRQ γραμμή.

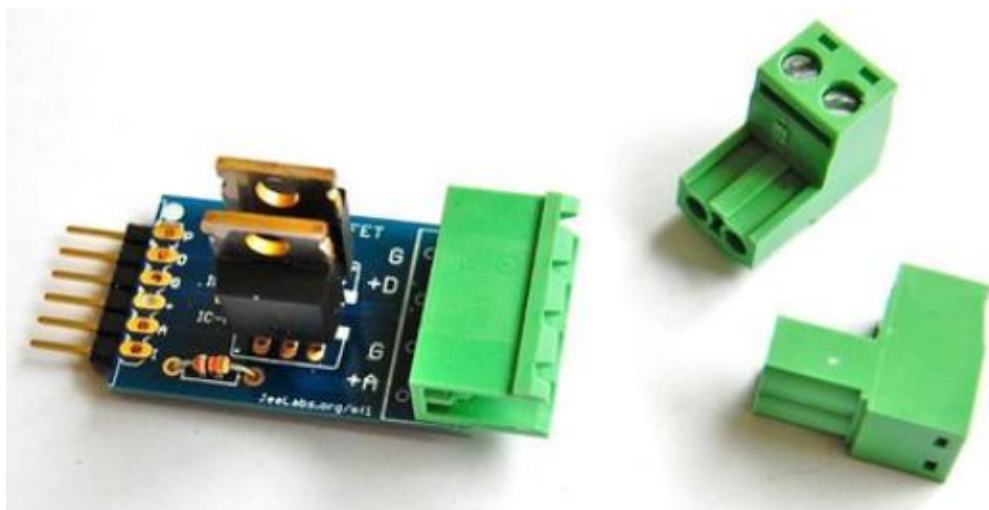


Εικόνα 36- Expander Plug

Η I2C διασύνδεση τρέχει στα 3,3V οδηγώντας όλες τις γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος και σήματος και στις δύο πλευρές της πλακέτας, έτσι ώστε να επιτρέπεται η «αλυσιδωτή» σύνδεση της πλακέτας με άλλες I2C πλακέτες.

Οι δύο γέφυρες διεύθυνσης (solder jumpers) συγκολλημένες στην πλακέτα επιτρέπουν να χρησιμοποιηθούν τέσσερις Expander Plug στον ίδιο δίαυλο επικοινωνίας I2C. Η προσυναρμολογημένη πλακέτα περιέχει το SMD chip MCP23008 και τον πυκνωτή απόζευξης. [16]

- **Mosfet Plug:** Το Mosfet Plug είναι μια μικρή πλακέτα που περιέχει δύο Mosfet ισχυρής ισχύος που λειτουργούν σαν διακόπτες φορτίων μέχρι 5A @ 50V (με χρήση επιπλέον ψήκτρας).

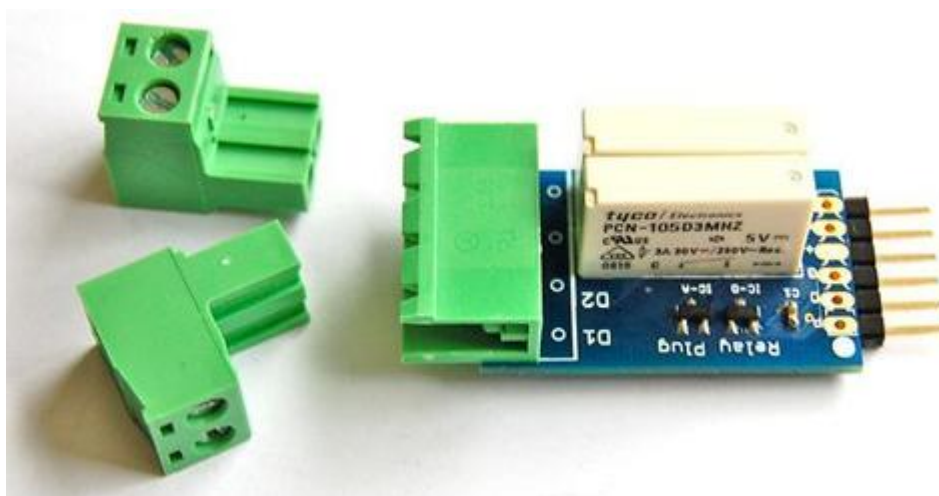


Εικόνα 37- Mosfet Plug

Για χρήση χωρίς ψήκτρα, το μέγιστο ρεύμα που θα μπορούσε να λειτουργήσει είναι στο όριο των 1-3 A. Απλώς πρέπει να έχουμε κατά νου ότι τα Mosfet μπορεί να δημιουργήσουν μερικά Watts της θερμότητας όταν χρησιμοποιούνται συνεχώς στα 2A ή περισσότερο. Μπορούμε να συνδέσουμε τα Mosfet παράλληλα για μεγαλύτερα ρεύματα.

Αυτό το βύσμα σχεδιάστηκε για να οδηγεί ταινίες LED καθώς και άλλα φορτία που μπορούν να κινηθούν. Με 2 Mosfet Plug, υπάρχουν 4 αυτόνομοι ελεγχόμενοι διακόπτες για να οδηγήσουν μια λωρίδα RGB και μια λευκή για παράδειγμα. Το kit περιέχει όλα τα εξαρτήματα που απαιτούνται συμπεριλαμβανομένου ενός μπλοκ ακροδεκτών υψηλής ισχύος με μεμονωμένα αποσπώμενα βύσματα. [17]

- **Relay Plug:** Το Relay Plug είναι μια μικρή πλακέτα που περιέχει δύο mini ρελέ, που λειτουργούν με όριο τα 3A @ 250V (σε AC και DC).



Εικόνα 38-Relay Board

Αυτό το βύσμα σχεδιάστηκε σαν διακόπτης χαμηλών τάσεων, φώτα χαμηλής ισχύος, κινητήρες, ανεμιστήρες κ.λπ. Οι επαφές είναι απομονωμένες, δηλαδή δεν υπάρχει καμία ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ των ακίδων μεταγωγής του συνδέσμου και του υπόλοιπου κυκλώματος. Στη θεωρία, αυτό το βύσμα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν διακόπτης της τάσης δικτύου (φορτία έως και 650W @ 220V και 300W @ 110V). Βέβαια, στην πράξη θα πρέπει να το εξετάσουμε αυτό και να έχουμε λάβει όλες τις απαραίτητες προφυλάξεις. [18]

- **AA Power Board:** Το AA Power Board είναι μια τακτοποιημένη πλακέτα για τη δημιουργία των 3.3V από μια απλή μπαταρία AA (αλκαλικές ή NiMh), αρκετή για να τροφοδοτήσει ένα JeeNode, για παράδειγμα. Η πλακέτα χρησιμοποιεί ένα LTC3525 σταθεροποιητή τάσης με ευρύ φάσμα εισόδου που αντλεί μόνο 7-30μΑ του ρεύματος σε κατάσταση αναμονής (ανάλογα με την τάση εισόδου). Η είσοδος μπορεί να είναι από 1.0 έως 5,5V, έτσι αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πακέτα των 2 ή 3 πακέτων μπαταρίας AA (ακόμη και 4, αν είναι NiMh). Θα λειτουργήσει όταν συνδεθεί με μια παροχή τάσης περίπου των 5V (αν και πρέπει να προσέχουμε η παροχή να μένει κάτω των 5,5 V). Ο σταθεροποιητής θα συνεχίζει να δουλεύει κάτω των 0,9 V και μπορεί να αποσπάσει σχεδόν τα απομεινάρια της μπαταρίας.



Εικόνα 39- AA Power Board

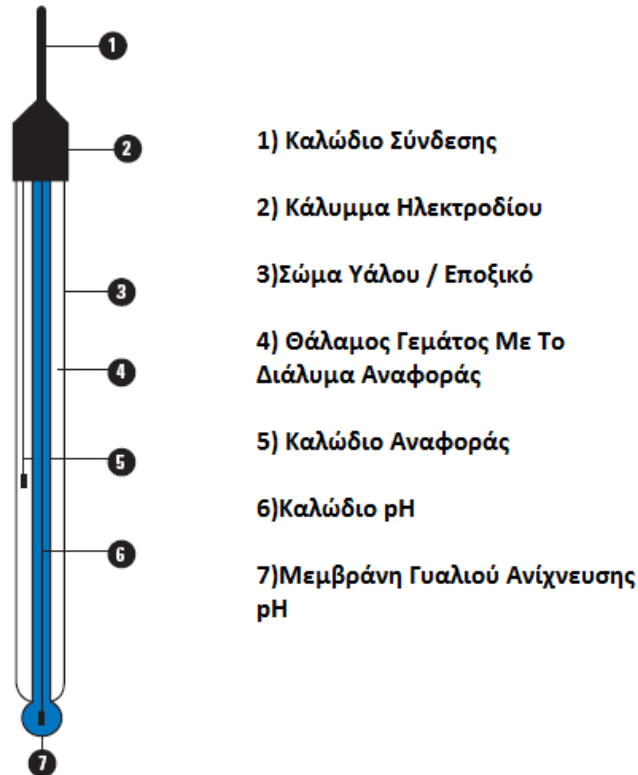
Η πλακέτα έχει ειδικά για χρήση με ένα JeeNode με πολλές διαφορετικές επιλογές τοποθέτησης, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί με κάτι που χρειάζεται 3,3 V. Μία θήκη AA ή AAA μπορεί να τοποθετηθεί απευθείας επάνω στην πλακέτα. Το μέγιστο ρεύμα εξόδου είναι 60-150 mA, ανάλογα με την τάση εισόδου. [19]

ΠΛΑΚΕΤΕΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΓΙΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ pH , ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ (E.C.) , ΕΝΔΕΙΞΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΔΟΧΕΙΟ

ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΠΑΘΗΤΙΚΟΥΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ pH

Ένας αισθητήρας pH μετρά την δραστηριότητα των ιόντων υδρογόνου (H^+) και παράγει ένα ηλεκτρικό δυναμικό ή τάση. Η λειτουργία ενός ηλεκτροδίου pH βασίζεται στην αρχή της διαφοράς δυναμικού που αναπτύσσεται όταν δύο υγρά με διαφορετικό pH έρχονται σε επαφή στις αντίθετες πλευρές μιας λεπτής μεμβράνης γυαλιού. Αυτό ανακαλύφθηκε αρχικά το 1906 από τον Max Cremer. Η ανακάλυψή του έθεσε τα θεμέλια για τον Fritz Haber και Zygmunt Klemensiewicz, οι οποίοι δημοσίευσαν τα ευρήματά τους το 1909, για τη δημιουργία του πρώτου ηλεκτροδίου υάλου το οποίο μετρούσε τη δραστηριότητα του υδρογόνου. Σήμερα, σύγχρονα ηλεκτρόδια pH χρησιμοποιούν τις ίδιες αρχές για τη μέτρηση του pH σε μια ποικιλία εφαρμογών συμπεριλαμβανομένου την επεξεργασία νερού, χημικές διεργασίες, ιατρικά όργανα και συστήματα περιβαλλοντικής δοκιμής.

Το σύγχρονο ηλεκτρόδιο pH είναι ένας συνδυασμός ηλεκτροδίου αποτελούμενο από δύο κύρια μέρη, ένα γυάλινο ηλεκτρόδιο και ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς όπως φαίνεται στο Σχήμα. Το pH προσδιορίζεται ουσιαστικά με τη μέτρηση της διαφοράς τάσης μεταξύ αυτών των δύο ηλεκτροδίων. Στο άκρο του ηλεκτροδίου είναι η λεπτή μεμβράνη που είναι ένας ειδικός τύπος γυαλιού, ικανό για ανταλλαγή ιόντων. Είναι αυτό το στοιχείο που ανιχνεύει τη συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου του διαλύματος δοκιμής. Το δυναμικό του ηλεκτροδίου αναφοράς είναι σταθερό και παράγεται από το εσωτερικό στοιχείο του ηλεκτροδίου αναφοράς σε επαφή με το διάλυμα αναφοράς-γεμίσματος του ηλεκτροδίου το οποίο διατηρείται στην κλίμακα 7 του pH.



Εικόνα 40-Τυπικός Αισθητήρας pH

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟΥ pH

Κατά το σχεδιασμό ενός ηλεκτροδίου pH, όπως συμβαίνει με κάθε αισθητήρα, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα και το πώς επηρεάζουν μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Αυτά τα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν το αν ο αισθητήρας είναι ενεργός ή παθητικός, μονοπολικός ή διπολικός, και αν έχει έξοδο τάση ή ρεύμα. Θα πρέπει επίσης να εξεταστεί η ευαισθησία του αισθητήρα, η γραμμικότητα, το εύρος της πλήρους κλίμακας, και η σύνθετη αντίσταση της πηγής. Το ηλεκτρόδιο του pH είναι ένας παθητικός αισθητήρας που σημαίνει ότι δεν είναι απαραίτητη η πηγή διέγερσης (τάση ή ρεύμα). Επειδή η έξοδος του ηλεκτροδίου μπορεί να ταλαντεύεται πάνω και κάτω από το σημείο αναφοράς, ταξινομείται ως διπολικός αισθητήρας. Παράγει μια τάση εξόδου η οποία εξαρτάται γραμμικά από το pH του διαλύματος που μετρείται. Η σύνθετη αντίσταση του ηλεκτροδίου είναι πολύ υψηλή, επειδή ο βολβός του λεπτού υάλου έχει μια μεγάλη αντίσταση που κυμαίνεται στην περιοχή από 10MΩ έως 1000MΩ. Αυτό σημαίνει ότι το ηλεκτρόδιο μπορεί να

παρακολουθείται μόνο από μια συσκευή μέτρησης με υψηλή σύνθετη αντίσταση εισόδου.

Η συνάρτηση μεταφοράς του pH ηλεκτροδίου είναι :

$$pH(X) = pH(S) + \frac{(E_s + E_x)F}{RT \ln(10)}$$

Όπου:

$pH(X)$: pH αγνώστου διαλύματος (X)

$pH(S)$: pH πρότυπου διαλύματος (S)

E_s : Ηλεκτρικό δυναμικό αναφοράς ή πρότυπο ηλεκτρόδιο

E_x : Ηλεκτρικό δυναμικό στο ηλεκτρόδιο μέτρησης

F : Σταθερά Faraday = $9.6485309 \cdot 10^4 \text{ C mol}^{-1}$

R : Παγκόσμια σταθερά αερίων = $8.314510 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

T : Θερμοκρασία σε Kelvin

Η συνάρτηση μεταφοράς στις εικόνες 2 και 3 δείχνει ότι καθώς το pH του διαλύματος αυξάνεται, η τάση που παράγεται από το ηλεκτρόδιο pH μειώνεται.

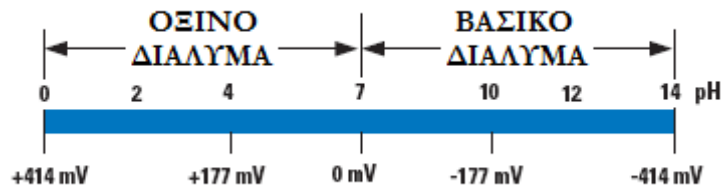
Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η ευαισθησία ενός ηλεκτροδίου pH κυμαίνεται ανάλογα με τη θερμοκρασία. Κοιτάζοντας τις συναρτήσεις μεταφοράς του pH ηλεκτροδίου δείχνει ότι η ευαισθησία μειώνεται γραμμικά με τη θερμοκρασία σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση :

$$\frac{RT \ln(10)}{F} \text{ ή } 0,0001980 \text{ V/ pH}$$

Αυτό οδηγεί σε ένα σήμα εξόδου πλήρους κλίμακας το οποίο εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Για παράδειγμα, στους 25° C , η ευαισθησία του ηλεκτροδίου είναι $59,16 \text{ mV/ pH}$ και η έξοδος του ηλεκτροδίου θα ταλαντεύεται από

$-7 \text{ pH} \times 59,16 \text{ mV/ pH} = -414,12 \text{ mV}$ ($0 \text{ pH} = \text{ισχυρό οξύ}$) έως

$+7 \text{ pH} \times 59,16 \text{ mV/ pH} = +414,12 \text{ mV}$ ($14 \text{ pH} = \text{ισχυρή βάση}$)



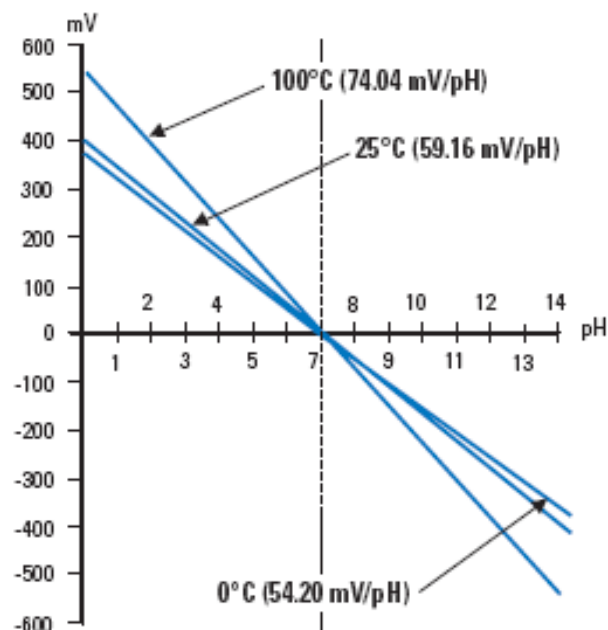
Εικόνα 41-Κλίμακα pH

Ωστόσο, εάν η θερμοκρασία του μετρούμενου διαλύματος αυξάνεται στους 100 ° C, η έξοδος θα ταλαντεύεται από

-7pHx -74,04mV/ pH=518,29mVμέχρι

+7pHx-74,04mV/ pH=-518,29mV

Εξαιτίας αυτής της συμπεριφοράς, είναι κρίσιμο να γνωρίζουμε τη θερμοκρασία του διαλύματος που μετριέται και να αντισταθμίζουμε τη μέτρηση αναλόγως.



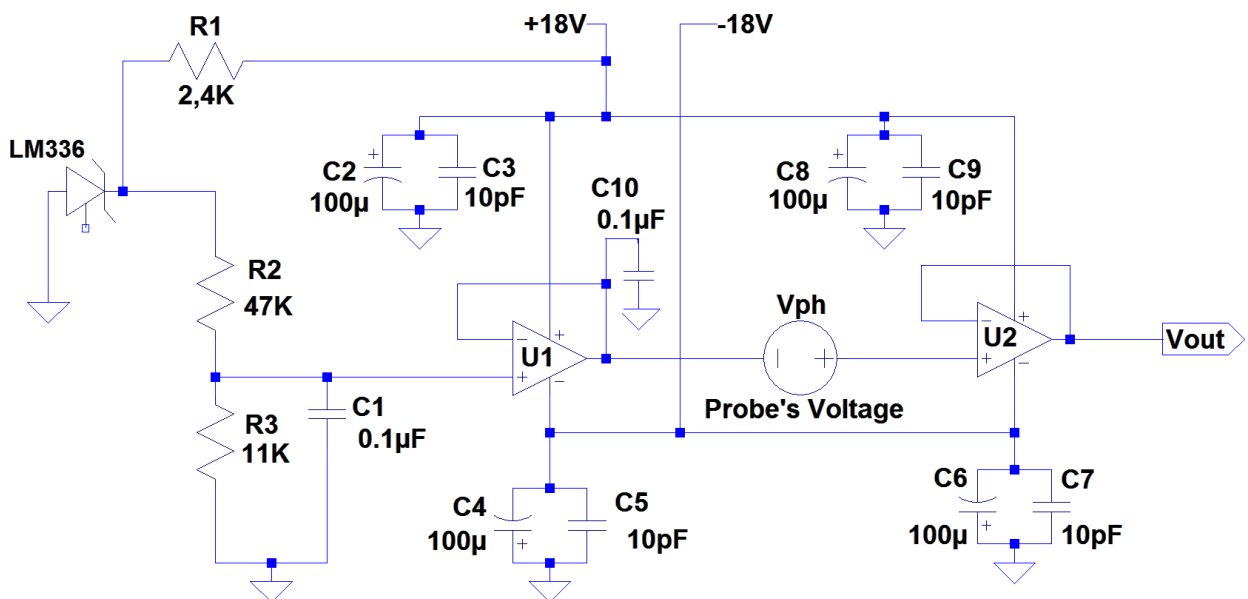
Εικόνα 42-Συνάρτηση Μεταφοράς pHΗλεκτροδίου

Ένα ιδανικό ηλεκτρόδιο στους 25° C θα παράγει 0 mVόταν τοποθετείται σε ένα διάλυμα με pHίσο με 7. Φυσικά ένα πραγματικό ηλεκτρόδιο δεν είναι ιδανικό και θα έχει μια ένδειξη η οποία κυμαίνεται στα

0 mV. Αυτή η απόκλιση καλείται σφάλμα απόκλισης (offset error) του ηλεκτροδίου. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ευαισθησία ενός ιδανικού ηλεκτροδίου στους 25° C είναι 59,16Vγια κάθε μονάδα pH. Οποιαδήποτε απόκλιση από αυτή την ιδανική τιμή προσδιορίζεται ως σφάλμα διαρκείας. Αυτά τα σφάλματα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην βαθμονόμηση αν απαιτείται υψηλή ακρίβεια στο σύστημα. [20]

ΚΥΚΛΩΜΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟΥ pH

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του αισθητήρα που περιγράφηκαν είναι ανάγκη να ληφθούν υπόψη για το σχεδιασμό ενός κυκλώματος που θα καθορίζει το σήμα του αισθητήρα, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί πιστά από άλλα εξαρτήματα (όπως ADC, μικροελεγκτές κ.λπ.) κατά μήκος της διαδρομής του σήματος. Πρώτον, επειδή το ηλεκτρόδιο του pH παράγει ένα διπολικό σήμα και οι περισσότερες εφαρμογές λειτουργούν με ενιαία παροχή, το σήμα θα πρέπει να μετατοπισθεί σε κάποιο επίπεδο. Δεύτερον, λόγω της υψηλής σύνθετης αντίστασης του ηλεκτροδίου, θα απαιτηθεί ένας ακόλουθος τάσης (buffer) με υψηλή αντίσταση εισόδου. Τελικώς, η θερμοκρασία του μετρούμενου διαλύματος πρέπει να είναι γνωστή με σκοπό την αντιστάθμιση της μεταβολής της ευαισθησίας του ηλεκτροδίου με βάση τη θερμοκρασία όμως κατά την ερευνητική διαδικασία η θερμοκρασία παρέμενε σταθερή σε θερμοκρασία δωματίου.



Εικόνα 43-Κύκλωμα Οδήγησης Ηλεκτροδίου pH

Το κύκλωμα στην Εικόνα 43 λύνει και τις τρεις προκλήσεις σχεδιασμού. Ο ενισχυτής U1 αντισταθμίζει το ηλεκτρόδιο pH στα 474mV. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τον LM336 ,σταθεροποιητή τάσης στα 2,5V. Αυτή η τάση χωρίζεται στα 474mV με τον διαιρέτη τάσης που δημιουργούν οι αντιστάσεις R2=47kΩ & R3=11kΩ . Η έξοδος του ενισχυτή U1, μοναδιαίου κέρδους τάσης, πολώνει το ηλεκτρόδιο αναφοράς του pH ηλεκτροδίου με την ίδια τάση των 474mV, με χαμηλή αντίσταση εξόδου. Το ηλεκτρόδιο μέτρησης pH θα παράγει μια τάση η οποία φτάνει κοντά στην τάση πόλωσης των 474mV. Στην πραγματικότητα, το κύκλωμα μετατοπίζει το διπολικό σήμα του ηλεκτροδίου σε ένα μονοπολικό σήμα για χρήση σε ένα σύστημα μονής τροφοδοσίας. Οι πυκνωτές του κυκλώματος λειτουργούν ως πυκνωτές απόζευξης.

Ο ενισχυτής U2 με μοναδιαίο κέρδος τάσης λειτουργεί ως ακόλουθος τάσης της εξόδου του pH ηλεκτροδίου. Πάλι, ένα ακόλουθος τάσης με υψηλή αντίσταση εισόδου μεταξύ του ηλεκτροδίου pH και του οργάνου μέτρησης επιτρέπει την διασύνδεση του κυκλώματος με μια μεγαλύτερη ποικιλία οργάνων μέτρησης, συμπεριλαμβανομένων των οργάνων μέτρησης με χαμηλή σύνθετη αντίσταση εισόδου. Στις περισσότερες εφαρμογές, η τάση εξόδου του ηλεκτροδίου pH είναι αρκετά υψηλή για να χρησιμοποιηθεί χωρίς πρόσθετη ενίσχυση. Εάν απαιτείται ενίσχυση ,αυτό το κύκλωμα μπορεί εύκολα να τροποποιηθεί με προσθήκη αντιστάσεων κέρδους στον ενισχυτή U2.

Το αποτέλεσμα του κυκλώματος έχει ως συνάρτηση μεταφοράς :

$$V_{out} = V_{ph} + 474mV$$

Επομένως, η έξοδος V_{out} μετά τη χρήση της πλακέτας οδήγησης θα ταλαντώνεται μεταξύ των παρακάτω ορίων τα οποία αναδιαμορφώνουν και την κλίμακα pH που ορίσαμε, πάντα θεωρώντας πως λειτουργούμε σε συνθήκες δωματίου.

Στο 0 pH(ισχυρό όξινο διάλυμα):

$$V_{out} = 414mV + 474mV = 888mV$$

Στο 7 pH:

$$V_{out} = 0mV + 474mV = 474mV$$

Στο 14pH (ισχυρό βασικό διάλυμα):

$$V_{out} = -414mV + 474mV = 60mV$$

Οι ειδικές προκλήσεις σχεδιασμού επιβάλλουν την ανάγκη επιλογής ενισχυτών οι οποίοι δεν υποβαθμίζουν τη συνολική απόδοση του συστήματος. Είναι καλύτερο να ξεκινήσουμε με την κατανόηση των παραμέτρων του ενισχυτή που συμβάλουν περισσότερο στο σφάλμα τάσης ενός ηλεκτροδίου pH. Η πιο σημαντική παράμετρος που εξετάζεται είναι το ρεύμα εισόδου-πόλωσης του ενισχυτή. Αυτό συμβαίνει επειδή ακόμη και ένα μικρό ρεύμα εισόδου-πόλωσης μπορεί να παράγει ένα μεγάλο σφάλμα τάσης όταν εγγέεται στην πολύ υψηλή αντίσταση εισόδου του pH ηλεκτροδίου. Επομένως σημαντική κρίνεται και η τιμή της σύνθετης αντίστασης εισόδου.

Αυτό κάνει τους TL081CN(U1) και TL071AC(U2) ικανούς για την χρήση τους στο κύκλωμα αφού έχουν ρεύμα εισόδου-πόλωσης 400nA και 200pA αντίστοιχα. Στον πίνακα φαίνονται τα χαρακτηριστικά των ενισχυτών που κρίθηκαν αναγκαία για τη χρήση τους. [21]

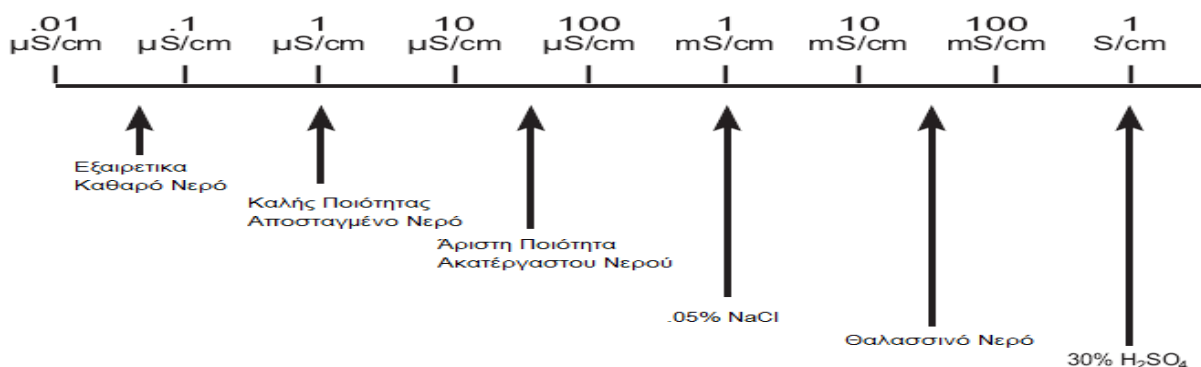
Ενισχυτής	TL081CN	TL071AC
R_{in}	10^{12} Ohm	10^{12} Ohm
I_{ib}	400nA	200pA
V_{cc}	± 18 V	± 18 V
V_{input}	± 15 V	± 15 V

Πλέον, η σύνδεση του παθητικού αισθητήρα pH στο σύστημα μας είναι εφικτή αφού η αντίσταση εξόδου της πλακέτας είναι αρκετά μικρή με αποτέλεσμα η τιμή μέτρησης να λαμβάνεται μετά την σύνδεση της με τον ADC converter.

ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΠΑΘΗΤΙΚΟΥΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Η αγωγιμότητα είναι ένα μέτρο του πόσο καλά ένα διάλυμα άγει τον ηλεκτρισμό. Για να μεταφέρει ρεύμα ένα διάλυμα πρέπει να περιέχει φορτισμένα σωματίδια ή ιόντα. Οι περισσότερες μετρήσεις αγωγιμότητας γίνονται σε υδατικά διαλύματα, και τα ιόντα ευθύνονται για την αγωγιμότητα που προέρχεται από ηλεκτρολύτες διαλυμένους στο νερό. Άλατα (όπως χλωριούχο νάτριο και θειικό μαγνήσιο), οξέα (όπως το υδροχλωρικό οξύ και το οξικό οξύ) και βάσεις (όπως υδροξείδιο του νατρίου και αμμωνία) είναι όλα ηλεκτρολύτες. Αν και το νερό δεν είναι ένας ηλεκτρολύτης, έχει μια πολύ μικρή αγωγιμότητα, υπονοώντας ότι τουλάχιστον μερικά ιόντα υπάρχουν. Τα ιόντα είναι υδρογόνο και υδροξείδιο, και προέρχονται από την διάσπαση των μορίων του νερού. Βέβαια, η αγωγιμότητα δεν είναι ειδική. Μετρά την συνολική συγκέντρωση των ιόντων στο διάλυμα. Δεν μπορεί να διακρίνει έναν ηλεκτρολύτη ή ένα ιόν και εννοείται πως δεν είναι έχουν όλα τα υδατικά διαλύματα αγωγιμότητα. Διαλύματα χωρίς ηλεκτρολύτες, για παράδειγμα ζάχαρη ή αλκοόλη, δεν έχουν αγωγιμότητα διότι ούτε η ζάχαρη ούτε η αλκοόλη περιέχει ιόντα ούτε παράγουν ιόντα όταν διαλύονται στο νερό.

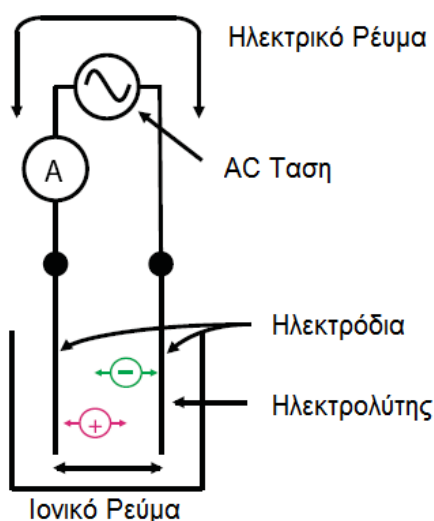
Οι μονάδες της αγωγιμότητας είναι τα Siemens ανά εκατοστό (S/cm). Παράγωγες μονάδες είναι $\mu S/cm$ (ένα εκατομμυριοστό του S/cm) και mS/cm (ένα χιλιοστό του S/cm). Τα S/cm είναι η ίδια με την παλαιότερη μονάδα mho/cm . Ορισμένες βιομηχανίες νερού υψηλής καθαρότητας, κυρίως ημιαγωγών και φαρμακευτικής, χρησιμοποιούν την ειδική αντίσταση αντί της αγωγιμότητας. Η αντίσταση είναι το αντίστροφο της αγωγιμότητας με μονάδες $M\Omega/cm$. Η εικόνα δείχνει την αγωγιμότητα κατά προσέγγιση μερικών τυπικών διαλυμάτων ηλεκτρολυτών.



Εικόνα 44-Αγωγιμότητες Μερικών Τυπικών Διαλυμάτων

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Οι τύποι των αισθητήρων διαχωρίζονται ανάλογα με τον αριθμό ηλεκτροδίων που έχει ο αισθητήρας, υπάρχουν αισθητήρες με δύο, τρεις και τέσσερις πόλους. Ο τύπος του αισθητήρα που επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθεί στην έρευνά μας είναι δύο-πόλων. Αποτελείται από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια, συνήθως από ανοξείδωτο χάλυβα ή τιτάνιο, σε επαφή με το διάλυμα ηλεκτρολύτη. Ένα εναλλασσόμενο ρεύμα εφαρμόζεται μεταξύ των 2 πόλων. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, τα κατιόντα μεταναστεύουν στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, τα ανιόντα στο θετικό ηλεκτρόδιο και το διάλυμα δρα ως ηλεκτρικό αγωγός. Επειδή οι φορείς του φορτίου είναι τα ιόντα, το ρεύμα ονομάζεται ρεύμα ιόντων.



Εικόνα 45- Αισθητήρας 2 Πόλων

Η διασύνδεση μπορεί να θεωρηθεί και ως πυκνωτής με το μεταλλικό ηλεκτρόδιο ως μια πλάκα του πυκνωτή και ο παρακείμενος ηλεκτρολύτης η άλλη. Η εναλλασσόμενη τάση προκαλεί τον πυκνωτή να φορτίζει και να αποφορτίζει, επιτρέποντας στο ρεύμα να διασχίσει το περιβάλλον.

Ο αναλυτής μετρά το ρεύμα και χρησιμοποιείτο νόμο του Ohm για να υπολογίσει την αντίσταση του διαλύματος ($R=V/I$). Η αγωγιμότητα του διαλύματος είναι το αντίστροφο της αντίστασης. Το ιονικό ρεύμα εξαρτάται από την συνολική συγκέντρωση των ιόντων στο διάλυμα και από το μήκος και την περιοχή του διαλύματος του οποίου είναι τρέχουσες οι ροές. Η τρέχουσα διαδρομή ορίζεται από την γεωμετρία του αισθητήρα, αλλιώς σταθερά K, η

οποία έχει μονάδες $1/\text{cm}$ (μήκος/περιοχή). Πολλαπλασιάζοντας την αγωγιμότητα με τη σταθερά K διορθώνεται η επίδραση της γεωμετρίας του αισθητήρα στην μέτρηση. Το αποτέλεσμα είναι η αγωγιμότητα, η οποία εξαρτάται μόνο από τη συγκέντρωση των ιόντων.

Τυπικά, η σταθερά K μετριέται στο εργοστάσιο, και ο χρήστης εισάγει την τιμή του αναλυτή όταν ο αισθητήρας τίθεται για πρώτη φορά σε λειτουργία. Οι σταθερές αλλάζουν πολύ λίγο κατά τη διάρκεια ζωής του αισθητήρα, ωστόσο, πρέπει να ελέγχονται περιοδικά, και ο αισθητήρας να βαθμονομείται εκ νέου, εάν χρειάζεται.

Εδώ χρειάζεται να επισημάνουμε πως δεν έχουν όλοι οι αισθητήρες ηλεκτρικής αγωγιμότητας μία συγκεκριμένη κλίμακα μέτρησης mV που να αντιστοιχούν σε τιμές αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$ ή mS/cm) με αποτέλεσμα σχεδόν κάθε αισθητήρας να χρειάζεται βαθμονόμηση. Υπάρχουν δύο τρόποι για τη βαθμονόμηση των αισθητήρων αγωγιμότητας. Ο αισθητήρας μπορεί να βαθμονομηθεί δια συγκρίσεως μετά διαλύματος γνωστής αγωγιμότητας ή μπορεί να βαθμονομηθεί έναντι ενός προηγουμένως βαθμονομημένο αισθητήρα και αναλυτή. Κανονικά, ο αισθητήρας θα πρέπει να βαθμονομηθεί σε ένα σημείο κοντά στο μέσο του εύρους λειτουργίας βαθμονόμησης καθώς αλλάζει η σταθερά K .

Η βαθμονόμηση με πρότυπο διάλυμα είναι απλή και είναι ευκολότερη αν υπάρχουν πρότυπα διαλύματα. Κατά τη διαδικασία, τοποθετούμε τον αισθητήρα στο πρότυπο διάλυμα και ρυθμίζουμε τον αναλυτή να ταιριάζει την ακόλουθη τιμή με την αγωγιμότητα του πρότυπου διαλύματος στη θερμοκρασία μέτρησης. Τα περισσότερα πρότυπα διαλύματα αγωγιμότητας είναι διαλύματα χλωριούχου καλίου, έτσι ώστε ακόμη και αν τα δεδομένα της θερμοκρασίας και της αγωγιμότητας δεν είναι στην ετικέτα, είναι άμεσα διαθέσιμα σε βιβλία αναφοράς. Τα πρότυπα αγωγιμότητας είναι ευαίσθητα σε μόλυνση από το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα διαλύεται στο νερό σχηματίζοντας ανθρακικό οξύ και αυξάνοντας την αγωγιμότητα με $1,5 \mu\text{S}/\text{cm}$. Για να ελαχιστοποιηθούν τα λάθη της μόλυνσης, πρέπει να αποφύγουμε τη χρήση προτύπων με αγωγιμότητα μικρότερη από περίπου $150 \mu\text{S}/\text{cm}$. [22]

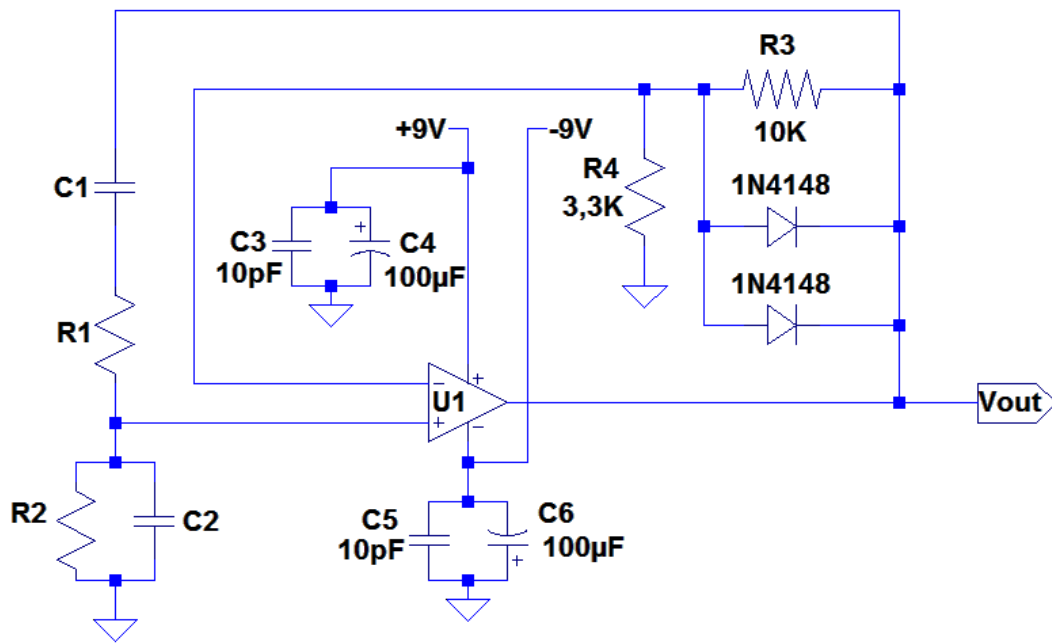
ΚΥΚΛΩΜΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Για την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι ανάγκη να δημιουργηθούν δύο κυκλώματα. Το πρώτο έχει να κάνει με την τροφοδοσία του αισθητήρα E.C. με εναλλασσόμενη τάση και το δεύτερο έχει να κάνει με τη μέτρηση της μεταβολής του ρεύματος, που θα συνδεθεί με τον αναλυτή.

ΚΥΚΛΩΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ AC ΤΑΣΗΣ (WIEN BRIDGE OSCILLATOR)

Για την παραγωγή της AC τάσης που χρειάζεται για την φόρτιση των δύο μεταλλικών ηλεκτροδίων χρησιμοποιείται ο ταλαντωτής Wien Bridge, ο οποίος είναι ένας πρακτικός τρόπος εφαρμογής ενός ταλαντωτή ημιτονοειδούς σήματος. Ο ταλαντωτής Wien Bridge επιλέχθηκε επειδή έχει το πλεονέκτημα της χρήσης ενός μόνο τελεστικού ενισχυτή, πλεονέκτημα που είναι σημαντικό για την χρήση του σε εφαρμογές που έχουν σαν πηγή τάσης μπαταρίες. Η φιλοσοφία του κυκλώματος είναι η εξής. Ένας τελεστικός ενισχυτής μπορεί να γίνει ένας ταλαντωτής με τροφοδοσία ενός τμήματος της εξόδου του στην την είσοδο μέσω ενός δικτύου επιλεκτικής συχνότητας, και έχοντας τον έλεγχο του συνολικού κέρδους τάσης του. Για τη βέλτιστη παραγωγή ημιτονοειδούς κύματος, το δίκτυο που ορίζει την επιλεκτική συχνότητα πρέπει να ανατροφοδοτεί το δίκτυο με μια συνολική μετατόπιση φάσης ίση με 0° , ενώ το δίκτυο που ορίζει το κέρδος πρέπει να παρέχει ενίσχυση μοναδιαίου κέρδους στην επιθυμητή συχνότητα ταλάντωσης. Το δίκτυο επιλεκτικής συχνότητας συχνά έχει αρνητικό κέρδος, το οποίο πρέπει να αντισταθμιστεί με πρόσθετη ενίσχυση από το δίκτυο κέρδους τάσης έτσι ώστε το συνολικό κέρδος τάσης να είναι η μονάδα. Αν το συνολικό κέρδος είναι μικρότερο από τη μονάδα, το κύκλωμα δεν θα δημιουργεί ταλάντωση στο σήμα ενώ αν είναι μεγαλύτερο από τη μονάδα, η κυματομορφή εξόδου θα παραμορφώνεται.

Το σήμα που θα παράγει πρέπει να είναι έχει συχνότητα μεταξύ 50-1000Hz και πλάτος $1 V_{p-p}$. Το παρακάτω κύκλωμα είναι ικανό για την παραγωγή μιας σταθερής εναλλασσόμενης τάσης με συχνότητα 995Hz και πλάτος ίσο με $1 V_{p-p}$.



Εικόνα 46-Wien Bridge Oscillator

Η επιλεκτική συχνότητα κατασκευάζεται από το δίκτυο των R_1 - C_1 και R_2 - C_2 . Κανονικά ο ταλαντωτής πρέπει να είναι συμμετρικός έτσι ώστε $R_1=R_2=R$ και $C_1=C_2=C$. Όταν πληρούνται αυτές οι προϋποθέσεις, η σχέση φάσεως μεταξύ των σημάτων εξόδου και εισόδου κυμαίνονται από 90° έως $+90^\circ$ και είναι ακριβώς 0° σε μία συχνότητα κέντρου, f_0 , η οποία μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον τύπο :

$$f_0 = 1/(2 \pi R C)$$

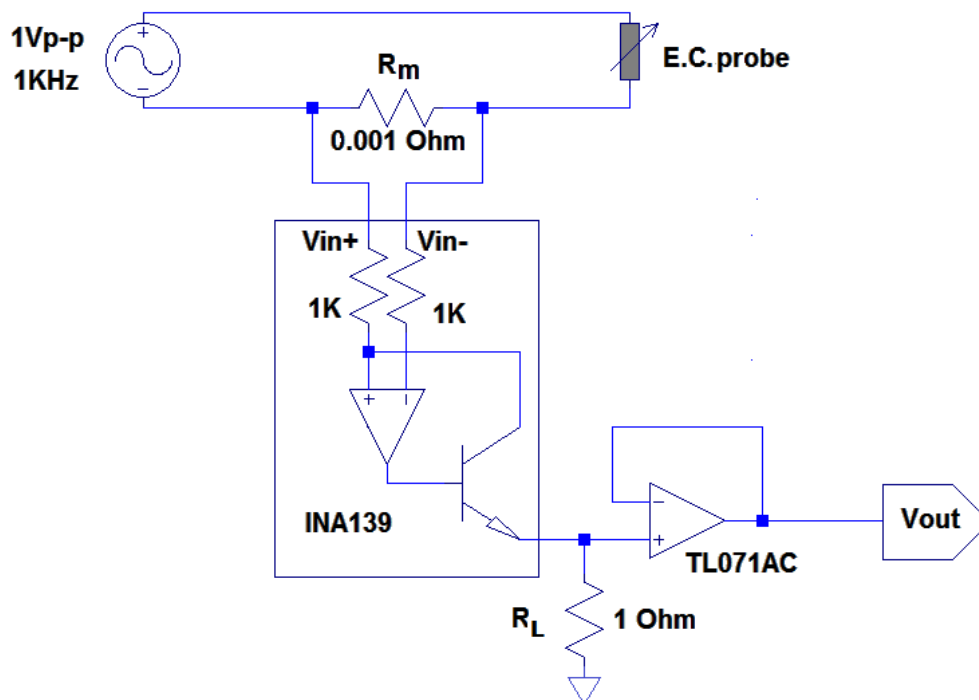
Για τη συχνότητα των 994,7 Hz υπολογίσαμε τις τιμές των $R=1,6 \text{ k}\Omega$ και $C=0,1\mu\text{F}$.

Το δίκτυο της επιλεκτικής συχνότητας ή δίκτυο Wien είναι συνδεδεμένο μεταξύ της εξόδου και τη μη αναστρέφουσα είσοδο του τελεστικού ενισχυτή έτσι ώστε το κύκλωμα να παρέχει μηδενική συνολική μετατόπιση φάσης στην συχνότητα f_0 , όπου το κέρδος τάσης είναι 0,33. Ως εκ τούτου, πρέπει να δοθεί ένα κέρδος τάσης ίσο με 3 μέσω του δικτύου ανάδρασης $R_3 - R_4$, το οποίο δίνει μια συνολικό μοναδιαίο κέρδος. Αυτό πληροί τις βασικές προϋποθέσεις για την παραγωγή ημιτονοειδούς σήματος. Πρακτικά, ωστόσο, η αναλογία των R_3/R_4 πρέπει να ρυθμιστεί προσεκτικά για να δώσει συνολική απολαβή

τάσης ίση με τη μονάδα, η οποία είναι απαραίτητη για την χαμηλή παραμόρφωση του σήματος. Για να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα των αποκλίσεων στα κυκλώματα μεταβλητής συχνότητας μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διόδους για να έχουμε αυτόματο έλεγχο του κέρδους τάσης. Στην ουσία, η R_3 είναι λίγο μεγαλύτερη για την διατήρηση του μοναδιαίου κέρδους όταν η έξοδος είναι κοντά στο μηδέν, προκαλώντας το κύκλωμα να δημιουργεί ταλάντωση. Καθώς σε κάθε μισό κύκλο πλησιάζεται η μέγιστη τιμή, μία από τις διόδους αρχίζει να άγει, μειώνοντας έτσι το κέρδος του κυκλώματος και σταθεροποιώντας αυτόματα το πλάτος της κορυφής του σήματος εξόδου. Έτσι, οι διόδους αρχίζουν να άγουν στα 500mV, οπότε το κύκλωμα έχει έξοδο σχεδόν 1 Volt peak-to-peak. [23]

ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Όπως προαναφέρθηκε η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος είναι άμεσα συνυφασμένη με τη μεταβολή του ρεύματος στο ηλεκτρόδιο. Αφού τροφοδοτήσουμε τον αισθητήρα με την κατάλληλη εναλλασσόμενη τάση, σειρά έχει η μέτρηση του ρεύματος. Το παρακάτω κύκλωμα δείχνει την απαραίτητη κυκλωματική διάταξη για αυτό το σκοπό :



Εικόνα 47- Μέτρηση Ρεύματος

Για να μετρήσουμε το ρεύμα σε ένα κύκλωμα είναι ανάγκη να δημιουργηθεί μια πτώση τάσης ανάμεσα στα δυο μετρούμενα σημεία. Γι' αυτό χρησιμοποιούμε μια πολύ μικρή αντίσταση R_m που δημιουργεί μια ελάχιστη πτώση τάσης στα άκρα της, η οποία είναι ανάγκη να μετρηθεί για την εύρεση της τιμής του ρεύματος.

Από τη θεωρία γνωρίζουμε πως η αγωγιμότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη της αντίστασης R , οπότε :

$$G = 1/R$$

Και με τη βοήθεια του νόμου του Ohm:

$$G = \frac{1}{\frac{V_{source}}{I_m}} = \frac{I_m}{V_{source}}$$

Όπου I_m το μετρούμενο ρεύμα στην αντίσταση R_m το οποίο ισούται με:

$$I_m = \frac{V_m}{R_m}$$

Την βοήθεια για την παραπάνω μετατροπή μας την δίνει το INA139. Αυτό το chip μας λειτουργεί ως αμπερόμετρο στη διακλάδωση (current shunt), δηλαδή μετατρέπει τη διαφορική τάση εισόδου σε ένα ρεύμα εξόδου. Το ρεύμα αυτό μετατρέπεται ξανά σε μια τάση με μία εξωτερική αντίσταση φορτίου που θέτει κάθε κέρδος από το 1 έως το 100. Στην περίπτωση μας το κέρδος πρέπει να είναι 1 γι αυτό επιλέγεται αντίσταση 1 Ohm. Η έξοδος του κυκλώματος συνδέεται με τον ακόλουθο τάσης TL071AC, ο ίδιος χρησιμοποιήθηκε στην περίπτωση του pH ηλεκτροδίου λόγω χαμηλού ρεύματος εισόδου και μικρή αντίσταση εξόδου. Έπειτα, το V_{out} μπορεί να διαβαστεί από τον μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. [24]

Η έξοδος V_{out} ικανοποιείται από την εξής σχέση:

$$V_{out} = I_m R_m R_L / 1K\Omega$$

Η τάση που λαμβάνει όμως ο αναλυτής από το παραπάνω κύκλωμα δεν είναι η RMS τιμή του σήματος, έτσι είναι απαραίτητο να προγραμματιστεί το σύστημα, έτσι ώστε να βρίσκουμε κατά τη μέτρηση την V_{rms} του σήματος. Αυτό γίνεται κάνοντας δειγματοληψία της τάσης εξόδου

(V_{out}) κάθε 300ms, περίπου και έπειτα χρησιμοποιώντας τον μαθηματικό τύπο:

$$V_{rms} = \frac{(V_1)^2 + (V_2)^2 + (V_3)^2 + \dots + (V_{100})^2}{100}$$

Πλέον, μετά από αυτή τη διαδικασία ο χρήστης γνωρίζει ακριβώς την μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος και σε αρκετά μικρό χρονικό διάστημα.

ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΔΟΧΕΙΟ ΜΙΞΗΣ

Η χρήση ενός αισθητήρα ένδειξης του επιπέδου νερού στο δοχείο γίνεται για να μην υπάρχει πιθανότητα υπερχείλισης σε αυτό. Έτσι, χρειάζεται να ένας αισθητήρα ο οποίος μπορεί να παρουσιάζει ποίο είναι το μέγιστο σημείο του δοχείου μίξης που μπορεί να φτάσει το διάλυμα κατά τη διάρκεια της μίξης του. Για την περίπτωση αυτή υπάρχουν πολλές λύσεις όμως μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί ο αισθητήρας της Vegetronix, AquaPlumb.



Εικόνα 48- Αισθητήρας AquaPlumb

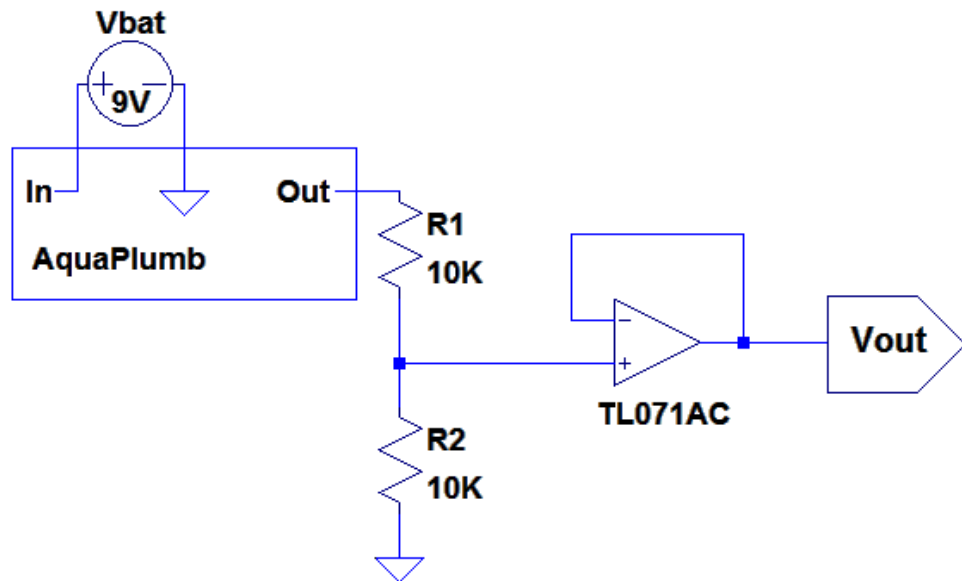
Η σειρά των αισθητήρων AquaPlumb μετρούν τα επίπεδα των υγρών σε δεξαμενές, στο περιβάλλον χωρίς κινούμενα μέρη. Υπάρχουν αρκετοί

λόγω της διαφοράς μήκους του καλωδίου-ηλεκτροδίου. Στην περίπτωση μας ένα ηλεκτρόδιο 1m είναι ικανοποιητικό. Το στοιχείο ανίχνευσης του αισθητήρα αποτελείται από ένα ειδικό καλώδιο-σύρμα το οποίο είναι ικανό να ανιχνεύει με ακρίβεια το επίπεδο της επιφάνειας σχεδόν σε οποιοδήποτε ρευστό συμπεριλαμβανομένου του νερού (και αλμυρού) καθώς και έλαια. Το ηλεκτρόδιο είναι μονωμένο και απομονώνεται από το υγρό μέσα στο οποίο εισάγεται, και δεν διαβρώνεται με την πάροδο του χρόνου αντίθετα με άλλους αισθητήρες. Στον πίνακα εμφανίζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του:

Κατανάλωση ρεύματος (Κανονική Κατάσταση)	1,2 mA
Κατανάλωση ρεύματος (Κατάσταση Βαθμονόμησης)	20 mA
Τάση τροφοδοσίας	3.5 V έως 20 V
Χρόνος σταθερής εξόδου	400 ms
Αντίσταση εξόδου	10K ohms
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40°C έως 85°C
Ακρίβεια στους 25°C	2%
Τάση εξόδου	0 έως 3V γραμμικά με το επίπεδο υγρού

Όπως βλέπουμε απ' τον πίνακα ο αισθητήρας μπορεί να τροφοδοτηθεί με μία μπαταρία των 9V ενώ η έξοδος του αναφέρεται σε αναλογική τάση κυμαινόμενη από 0V έως 3V ,όπου τα 0V δείχνουν πως ο αισθητήρας δεν είναι βυθισμένος και τα 3V τη μέγιστη στάθμη νερού. Ο αισθητήρας στάθμης νερού AquaPlumb μπορεί εύκολα να βαθμονομηθεί σε σχεδόν οποιοδήποτε εύρος και οποιοδήποτε ρευστό στο πεδίο με τη χρήση δύο κουμπιά. Ένα κουμπί καταγράφει την ελάχιστη στάθμη του υγρού (επίπεδο 0V), και η άλλη το κουμπί καταγράφει τη μέγιστη στάθμη του υγρού (επίπεδο 3V). Αφού βαθμονομηθεί, ο αισθητήρας θα επιστρέψει μία τιμή από 0 έως 3 Volts γραμμικά με τη στάθμη του υγρού που ανιχνεύει. Σε κανονική κατάσταση λειτουργίας καταναλώνει ρεύμα 1,2 mA αλλά σε κατάσταση βαθμονόμησης καταναλώνει έως 20mA. [25]

Βέβαια, το σήμα πρέπει να υποστεί εξεργασία πριν συνδεθεί με τον ADC converter και αυτή επιτυγχάνεται με το παρακάτω κύκλωμα της Εικόνας 49 :



Εικόνα 49- Κύκλωμα Οδήγησης Αισθητήρα

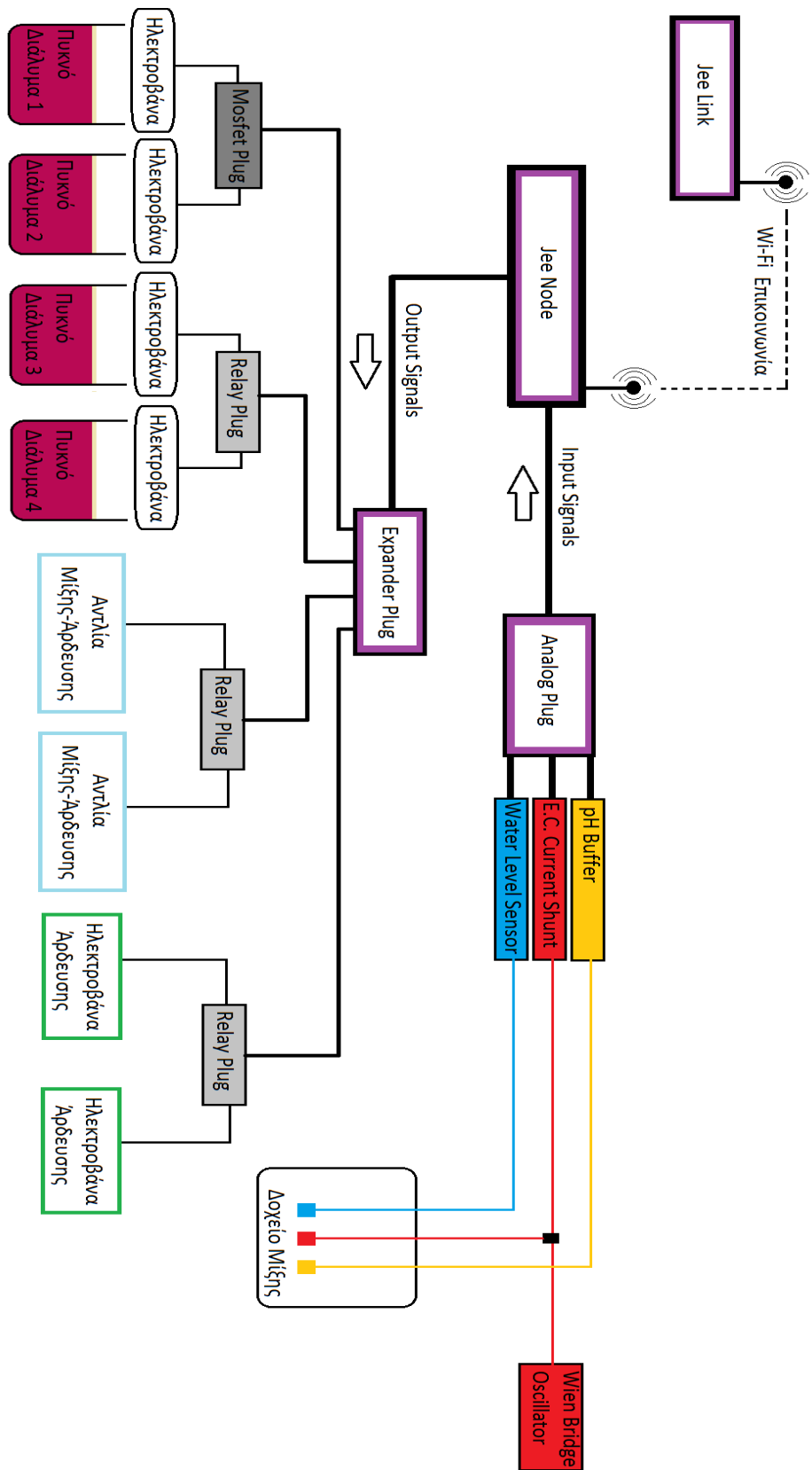
Στην περίπτωση μας όμως ο ADC converter μπορεί να δεχθεί σήματα από - 2,048V έως + 2,048V. Γι αυτό χρησιμοποιούμε ένα διαιρέτη τάσης έτσι ώστε το μέγιστο σήμα να μειωθεί στο μισό ώστε να είναι αναγνώσιμο προς τον ADC και τον συνηθισμένο πλέον ακόλουθο τάσης TL071AC .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Στο κεφάλαιο αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η συνδεσμολογία των μονάδων του ηλεκτρονικού κυκλώματος ,οι οποίες περιγράφηκαν αναλυτικά παραπάνω. Η σύζευξη κάθε μονάδας με μία άλλη προϋποθέτει κάποια χαρακτηριστικά έτσι ώστε να είναι επιτυχής όπως τροφοδοσία, ρεύμα εισόδου, σύνθετη αντίσταση εξόδου κ.λπ. Τέλος γίνεται η περιγραφή της λογικής προγραμματισμού του συστήματος με διάγραμμα ροής, βασισμένο στις ανάγκες του χρήστη που χρησιμοποιεί ένα νέο υδροπονικό σύστημα.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Παραπάνω αναλύθηκε τα τμήματα του hardware που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στο νέο υδροπονικό σύστημα μεσαίας κλίμακας. Πλέον είμαστε έτοιμοι να εξηγήσουμε τη συνδεσμολογία των τμημάτων αυτών όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω.



Εικόνα 50- Ηλεκτρονικό Σύστημα

Ως επεξεργαστής και κόμβος ασύρματης επικοινωνίας χρησιμοποιείται το JeeNode(V6) ή το JeeNode USB. Στην πρώτη περίπτωση η τροφοδοσία μπορεί να γίνεται απλώς μέσω μπαταριών (χρήση της Θήκης Μπαταρίας) ενώ στην δεύτερη περίπτωση είναι ανάγκη να χρησιμοποιείται ενδιάμεσα το USB-BUB για να γίνει σύνδεση των μπαταριών με το JeeNode USB.

Σε δύο από τις εισόδους / εξόδους των JeeNode συνδέονται οι πλακέτες Analog Plug και Expander Plug οι οποίες τροφοδοτούνται από το ίδιο το JeeNode. Η Analog Plug είναι η πλακέτα του μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (ADC converter) στον οποίο συνδέονται οι ακόλουθοι τάσης των αισθητήρων pH , E.C και επιπέδου στάθμης δοχείου, τα δεδομένα των οποίων μεταφέρονται πλέον σε μορφή bits στον χρήστη. Ο buffer του ηλεκτροδίου τροφοδοτείται από τέσσερις μπαταρίες των 9V, η πλακέτα του Wien Bridge και του Current Shunt μπορούν να τροφοδοτούνται από 2 μπαταρίες των 9V αντίστοιχα. Στην Expander Plug που έχει 8 εισόδους / εξόδους γενικής χρήσης συνδέονται τρία Relay Board και το Mosfet Plug για την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση των βανών που ελέγχουν την ροή των Venturi και την ενεργοποίηση / απενεργοποίηση των αντλιών άρδευσης και επιστροφής.

Πιο συγκεκριμένα ένα Relay Board που έχει δύο ηλεκτρονόμους θα ελέγχει τις δύο αντλίες (οι οποίες πρέπει να τροφοδοτούνται με 220V) , το δεύτερο ελέγχει δύο ηλεκτροβάνες (του τύπου Sirai που πρέπει να τροφοδοτούνται με $\pm 24V$) για τον έλεγχο ροής των Venturi και το τρίτο ελέγχει τις δύο τελικές βάνες που επιτρέπουν τη ροή προς της καλλιέργεια. Τέλος το Mosfet Plug έχοντας 2 Mosfet ισχύος μπορεί να ελέγχει δύο ηλεκτροβάνες πυκνών διαλυμάτων.

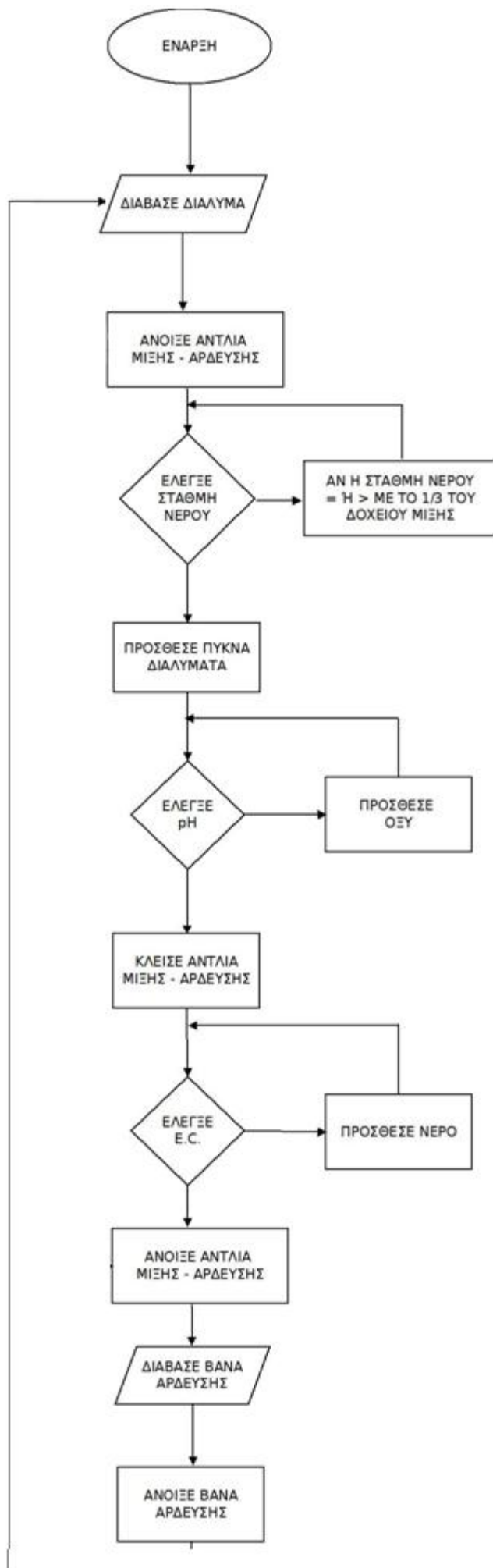
Έτσι, σε μια πλήρη λειτουργία του συστήματος ο χρήστης :

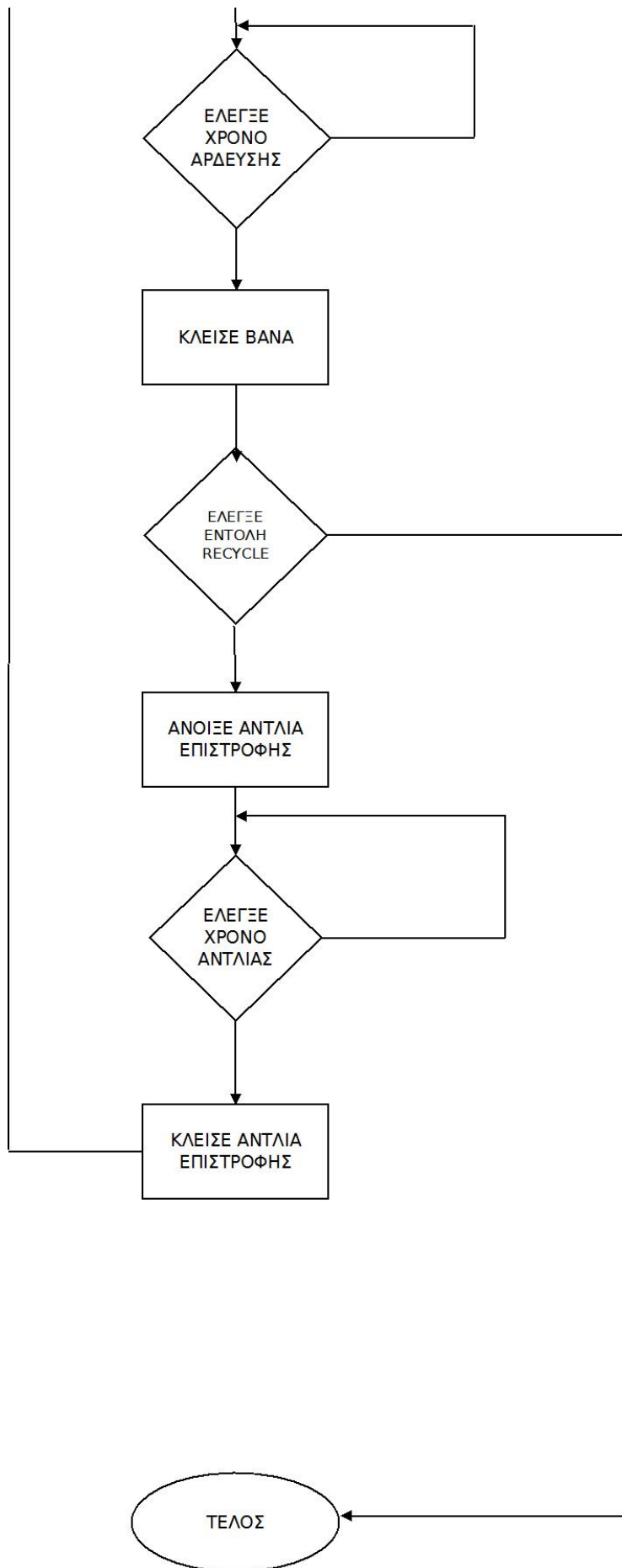
- Επικοινωνεί ασύρματα μέσω Wi-Fi με την κεφαλή υδροπονίας.
- Ενεργοποιεί/απενεργοποιεί την αντλία άρδευσης-μίξης.
- Παράγει μια συνταγή διαλύματος ενεργοποιώντας/ απενεργοποιώντας τις κατάλληλες ηλεκτροβάνες πυκνών διαλυμάτων έχοντας έτσι τον έλεγχο των επιπέδων pH , ηλεκτρικής αγωγιμότητάς και στάθμης νερού του δοχείου.
- Ενεργοποιεί/απενεργοποιεί τις κατάλληλες ηλεκτροβάνες που επιτρέπουν τη ροή του διαλύματος προς άρδευση.

- Ενεργοποιεί / απενεργοποιεί την αντλία επιστροφής του νερού προς το δοχείο μίξης (λειτουργία συστήματος κλειστού τύπου).

ΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ-ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ

Οι παρακάτω εικόνες εμφανίζουν το διάγραμμα ροής του συστήματος το οποίο βασίζεται στη λογική προγραμματισμού του συστήματος μεγάλης κλίμακας του ΜΑΙΧ. Βέβαια ,όμως, η σχεδίαση του απορρέει από τις ανάγκες που έχει ο χρήστης απ' το σύστημα και τον τρόπο ικανοποίησης των βασικών συνθηκών που προκαλούν αυτές.





Η λογική προγραμματισμού απλή , ιδού και τα βήματα της. Καταρχάς διαβάζετε απ' το σύστημα η συνταγή του διαλύματος που θέλουμε να παράγουμε. Στο διάγραμμα δεν τονίζεται η παρουσία της παροχή νερού στο δοχείο μίξης ,εννοείτε δηλαδή ότι για την παροχή νερού είναι υπεύθυνος ο χρήστης χειροκίνητα ή όχι, έτσι λειτουργούμε θεωρώντας ότι ανοίγει τη παροχή νερού πριν το άνοιγμα της αντλίας μίξης- άρδευσης. Η αντλία ,λοιπόν, ανοίγει και παραμένει ανοιχτή. Όταν η στάθμη του νερού φτάσει στο 1/3 της χωρητικότητας του δοχείου μίξης τότε το προστίθενται σε αυτό τα πυκνά διαλύματα που είναι απαραίτητα για την παραγωγή της συνταγής. Το νερό συνεχίζει να ρέει στο σύστημα και πλέον στο νεοσυσταθέν μείγμα ελέγχετε το pH. Σε περίπτωση που βρίσκεται εκτός του επιπέδου που δηλώθηκε , προστίθεται οξύ. Αμέσως μετά η μίξη σταματάει για να μετρηθεί η ηλεκτρική αγωγιμότητα η οποία διορθώνεται με την προσθήκη νερού στο διάλυμα. Αφού διορθωθεί ο χρήστης δηλώνει πια βάνα θα επιτρέψει το πότισμα του διαλύματος στην καλλιέργεια και τον χρόνο που θέλει να ποτίσει. Έπειτα, η βάνα ανοίγει και ξεκινάει το πότισμα ενώ ταυτόχρονα ελέγχετε ο χρόνος άρδευσης και μέχρι να ικανοποιηθεί η τιμή που δόθηκε απ τον χρήστη η βάνα παραμένει ανοιχτή. Αφού η βάνα κλείσει σημαίνει ότι έγινε το πότισμα και πλέον το απομένον νερό οδηγείται σε άλλο δοχείο. Το σύστημα στο σημείο αυτό περιμένει εντολή για επαναχρησιμοποίηση του μείγματος.

Σε περίπτωση που ο χρήστης δεν θέλει τότε το πρόγραμμα τελειώνει, σε περίπτωση όμως που θέλει επαναχρησιμοποίηση τότε δηλώνει τον χρόνο που η θέλει η αντλία επιστροφής να είναι ανοιχτή. Έπειτα ενεργοποιείται η αντλία επιστροφής του μείγματος στο δοχείο μίξης και ελέγχεται ο χρόνος λειτουργίας της. Αφού ικανοποιηθεί ο χρόνος λειτουργίας που δηλώθηκε η αντλία κλείνει και το πρόγραμμα επιστρέφει στην αρχή. Έτσι, κλείνει ο κύκλος του προγράμματος.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το αυτόματο υδροπονικό σύστημα μεσαίας κλίμακας που αναλύθηκε θεωρητικά παραπάνω αποτελεί τη βάση μιας νέας ιδέας για ένα τρόπο καλλιέργειας που είναι ευρέως διαδεδομένος ανά τον κόσμο και ειδικότερα πλήρως εκμεταλλεύσιμος επί το πλείστον σε χώρες χωρίς μεσογειακό κλίμα. Από γεωπονικής άποψης είναι ένα σύστημα το οποίο παρακολουθεί την θρέψη του φυτού και μπορεί να παρασκευάσει ένα διάλυμα ανάλογο με το είδος, το στάδιο και τις συνθήκες της καλλιέργειας. Έτσι, εγγυάται αποδεδειγμένα, από πειράματα σε μεγαλύτερες καλλιέργειές, την μεγιστοποίηση της παραγωγής και των ποιοτικών χαρακτηριστικών της καλλιέργειας.

Στόχος και τμήμα της βασικής ιδέας για την έρευνα κατασκευής του ήταν ο τρόπος επεξεργασίας πληροφοριών και η χρήση του να μην είναι περίπλοκα και προσεγγίσιμα παρά μόνο σε ειδικούς της καλλιέργειας αλλά να είναι ένα σύστημα προσιτό και πρακτικό για τον καθένα που θέλει να επενδύσει στην υδροπονία. Και ενώ η παρούσα οικονομική κρίση έχει πλήξει κάθε οικογένεια το σύστημα αυτό μπορεί να βοηθήσει όχι μόνο ένα επαγγελματία παραγωγό αλλά και ένα καταναλωτή, αφού είναι ικανό να εφαρμοστεί σε μικρές καλλιέργειες εντός μια μεγαλούπολης - μια αυλή ή ταράτσα – έως και σε απλά παρτέρια, κήπους και τυχόν ανεκμετάλλετους εξωτερικούς χώρους δαπανώντας ελάχιστο κόστος.

Επίσης, έγινε μια προσπάθεια σύνδεσης της τεχνολογικής εξέλιξης που συμβαίνει το τελευταίο διάστημα στο τμήμα αυτοματισμών και ελέγχου με χρήση μικροεπεξεργαστών, με το χώρο του πρωτογενή τομέα παραγωγής. Άλλωστε τα συστήματα με χρήση Arduino ανθούν και οι εφαρμογές του αναπτύσσονται ολοένα. Μια ιδέα με ηλεκτρονικά και τεχνολογικά χαρίσματα αφού δίνει εύκολα τη δυνατότητα επαναπρογραμματισμού του συστήματος λειτουργώντας με ανοιχτό λογισμικό, λειτουργία πολλών μονάδων απλά με μπαταρίες έως και 9V, χαμηλή κατανάλωση ισχύος και ασύρματη επικοινωνία μονάδων χρήστη-επεξεργαστή. Τέλος, συμπεραίνοντας από την έρευνα το τελικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος υπολογίζεται μεταξύ των 1500€ - 2000€.

Αν και το θεωρητικό κομμάτι της λειτουργία του μπορεί να μην παρουσιάζει αρκετά κενά δεν παύει να υπάρχει το ενδεχόμενο

επανασχεδιασμού και μετατροπής του κατά την πράξη. Βέβαια δίνει και τη δυνατότητα επεκτασιμότητας και βελτιστοποίησης του στο ηλεκτρονικό αλλά και στο φυσικό κομμάτι. Μια ιδέα σχετικά με την ηλεκτρονική του ανάπτυξη ήταν η δημιουργία συστήματος διαχείρισης του μέσω Tablet ή ιστότοπου ενώ στο φυσικό κομμάτι μπορούν να προστεθούν και να μειωθούν Venturi, είσοδοι και έξοδοι.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1]. Έργο Hydroflies – Εισαγωγή -

http://web.cut.ac.cy/hydroflies/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=34

[2]. Εκπαιδευτικό υλικό χρηστών στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΒΙΟΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΒΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΕ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ ΚΑΙ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ»

[3]. ΤΙΤΛΟΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ: 3.2.3-3.2.4 Σημειωματάριο Υδροπονίας ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΒΙΟΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΒΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΕ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ ΚΑΙ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ – HYDROFLIES -

<http://web.cut.ac.cy/hydroflies/images/stories/hydroflies/documents/simiomatarioelgo.pdf>

[4]. Κωνσταντίνος Πεπονάκης (Γεωπόνος, Msc.) – Εισαγωγή στην υδροπονία

<http://www.kreponakis.gr/arhra-1/eisagoge-sten-ydroponia>

[5]. Οδηγός καλλιέργειας τομάτας και μαρουλιού σε υδροπονία στην Κύπρο στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΒΙΟΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΒΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΕ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΜΑΤΑΣ ΚΑΙ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ»

[6]. Νικόλαος Μηνάς – Η Τεχνική Της Υδροπονίας Και Η Εφαρμογή Της Μέσα Από Διάφορα Συστήματα

<http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/steg/fp/2008/NikoletakisMinas/attached-document/Nikoletakis.2008.pdf>

[7]. Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου - Φυλλάδιο

<http://web.cut.ac.cy/hydroflies/images/stories/hydroflies/documents/brochure.pdf>

[8]. Γ.Χ. Καραπάνος – Αυτόματος Έλεγχος Κλίματος Και Υδρολίπανση

<http://www.ekk.aua.gr/seminar/seminar06.pdf>

[9]. Wikipedia - Hostlink Protocol

https://en.wikipedia.org/wiki/HostLink_Protocol

[10]. Δημήτριος Καβαλιέρος- Msc. Ηλεκτρολόγος Μηχ/κος - Εργαστήριο Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων

http://www.jimkava.com/wp-content/uploads/2011/10/Ergasthrio_hlektrikwn_egatastasewn_181-194.pdf

[11]. http://www.wdapompen.nl/Lowara_SV_brochure.pdf

[12]. Περισταλτικές Αντλίες
http://www.michos.gr/index.php?lang=gr&option=contents&task=view_tag&category=168&id=31&tag=221

[13]. Palaplast A.E – **Εγχυτής Venturi – Injector**
<http://www.palaplast.gr/files/Venturi.pdf>

[14]. The JeeLabs Shop - **Wireless Starter Pack**
<http://www.digitalsmarties.net/products/wireless-starter-pack>

[15]. The JeeLabs Shop - **Analog Plug**
<http://www.digitalsmarties.net/products/analog-plug>

[16]. The JeeLabs Shop - **Expander Plug**
<http://www.digitalsmarties.net/products/expander-plug>

[17]. The JeeLabs Shop – **MOSFET Plug**
<http://www.digitalsmarties.net/products/mosfet-plug>

[18]. The JeeLabs Shop - **Relay Plug**
<http://www.digitalsmarties.net/products/relay-plug>

[19]. The JeeLabs Shop - **AA Power Board**
<http://www.digitalsmarties.net/products/aa-power-board>

[20]. Jason Seitz – Analog Edge – **Designing With pH Electrodes**

[21]. <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000491.pdf> (TL081CN datasheet) &
http://www.tp.physique.usherbrooke.ca/Appareils/Amplificateurs%20op%C3%A9rationnels/Amplificateur%20op%C3%A9rationnel_TL072.pdf (TL071AC datasheet)

[22]. Emerson Process Management – **Theory And Applications Of Conductivity**

[23]. Mountain Man Electronic Circuits – **Sine Wave Oscillator/ Diode-Regulated Wien Bridge Oscillator**

<http://www.onegentleman.biz/Hardware%20Design/Op-Amp%20Oscillators/2013-Op-Amp%20Oscillators.php>

[24]. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina139.pdf> (INA139 datasheet)

[25]. AquaPlumb – Water Level Sensors

<http://vegetronix.com/Products/AquaPlumb/>