

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ ΚΑΙ ΥΛΙΚΟΥ



**Αυτόνομο Θερμοκήπιο Εσωτερικού Χώρου βασισμένο σε  
Μικροελεγκτή**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

**ΣΑΡΑΝΤΑΡΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ**

**Επιβλέπων :** Απόστολος Δόλλας  
Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης

Χανιά, Νοέμβριος 2016

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Απόστολο Δόλλα, για την βοήθεια, την υποστήριξη και την ενθάρρυνση που μου πρόσφερε καθ' όλη την διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας, και τους κ. Άγγελο Μπλέτσα και κ. Κωνσταντίνο Καλαϊτζάκη, μέλη της τριμελούς επιτροπής, για την σημαντική βοήθεια και συμβολή τους. Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τους φίλους και τους γονείς μου, για την πολυετή υποστήριξη και αντοχή τους και την αδερφή μου Κατερίνα.

## Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός πλήρως αυτόματου θερμοκηπίου εσωτερικού χώρου. Οι διαστάσεις του είναι (Π)50cm x (Β)25cm x (Υ)30cm, και η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας κυμαίνεται στα 20Watt. Το θερμοκήπιο αξιολογεί και μεταβάλλει τις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως είναι η υγρασία, ο φωτισμός και η θερμοκρασία, με στόχο την μεγιστοποίηση της ανάπτυξης των φυτών. Δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας ενός ασύρματου δικτύου θερμοκηπίων. Το κάθε θερμοκήπιο μπορεί να φιλοξενεί διαφορετικές οικογένειες φυτών. Ο χρήστης παρατηρεί και μεταβάλλει τις συνθήκες στο κάθε θερμοκήπιο μέσω Internet. Επίσης μελλοντικά θα συνδέεται με εφαρμογή για έξυπνα κινητά τηλέφωνα. Γίνεται έρευνα αγοράς για παρόμοια προϊόντα που υπάρχουν στο εμπόριο, καθώς και σύγκριση τους σε σχέση με το προϊόν της παρούσας εργασίας. Ακόμα εξετάζονται ποια ηλεκτρικά, ηλεκτρολογικά και μηχανικά στοιχεία κρίνονται απαραίτητα για την υλοποίηση του συστήματος. Αξίζει να σημειωθεί πως η συσκευή αυτή αναπτύσσεται για εμπορική εκμετάλλευση, και ως στόχος έχει τεθεί η αξιοπιστία, το χαμηλό κόστος, καθώς και η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>9</b>
1.1	ΓΕΝΙΚΑ ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΙ Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΚΟΛΗ ΚΑΛΙΕΡΓΕΙΑ ΦΥΤΩΝ ΣΤΟ ΟΙΚΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ..	9
1.2	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ .....	9
1.3	ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ .....	11
<b>2</b>	<b>ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....</b>	<b>12</b>
2.1	ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΠΟΥ ΣΥΝΤΕΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΥΓΙΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ.....	12
2.1.1	Θερμοκρασία .....	12
2.1.2	Νερό .....	12
2.1.3	Φως .....	13
2.1.4	Θρεπτικά Συστατικά.....	13
2.2	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΦΥΤΩΝ .....	13
2.2.1	Κλασσική.....	13
2.2.2	Υδροπονική .....	14
2.2.3	Αεροπονική.....	14
2.2.4	Ενυδρειοπονική.....	15
2.2.5	Σύγκριση Τεχνικών Καλλιέργειας .....	16
2.2.6	Συμπεράσματα .....	16
2.3	ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ.....	17
2.3.1	Click&Grow.....	17
2.3.2	Plantui .....	18
2.3.3	Συμπεράσματα .....	19
<b>3</b>	<b>ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....</b>	<b>20</b>
3.1	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΦΥΤΩΝ .....	20
3.2	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΧΡΗΣΤΩΝ .....	20
<b>4</b>	<b>ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>22</b>
4.1	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	22
4.2	ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	28
4.3	ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ .....	28
4.4	ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ .....	28
4.5	ΜΕΤΡΗΣΗ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	30
4.6	ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ.....	30
4.7	ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ ΤΟΥΣ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ .....	30
4.8	ΣΥΝΔΕΣΗ & ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΚΕΥΗΣ TCP .....	31
4.9	ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ TCP ΜΕ ΤΟ ΟΙΚΙΑΚΟ ΔΙΚΤΥΟ .....	31
4.10	ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΣΥΣΚΕΥΗΣ TCP ΜΕ ΤΟΝ SERVER.....	31
4.11	ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΜΕ ΤΟΝ SERVER.....	31
4.12	ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ RF & ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΕ ΤΑ ΆΛΛΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ .....	32
4.13	ΓΕΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ .....	32
<b>5</b>	<b>ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....</b>	<b>34</b>
5.1	ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.....	34
5.1.1	Θερμίστορ .....	34
5.1.2	Αισθητήρας με Αντίσταση (RTD) .....	35
5.1.3	Θερμοζεύγη .....	36
5.1.4	Ημιαγωγικοί .....	37
5.1.5	Συμπεράσματα .....	38
5.1.6	Σύγκριση των Δημοφιλέστερων Ημιαγωγικών Αισθητήρων .....	38
5.1.6.1	TMP36.....	38
5.1.6.2	LM35.....	39
5.1.6.3	TCN75A .....	40
5.1.6.4	DS18B20.....	40
5.1.7	Συμπεράσματα .....	42
5.1.8	Χαρακτηριστικά TMP36.....	42
5.1.8.1	Γενικές Πληροφορίες Συσκευής.....	42

5.1.8.2	Σύνδεση με τον Μικροελεγκτή.....	44
5.1.8.3	Επικοινωνία με τον Μικροελεγκτή.....	44
5.1.8.4	Μετατροπή του Σήματος Εξόδου.....	44
5.1.8.5	Δειγματοληψία.....	45
5.2	ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ.....	46
5.2.1	Χωρητικός.....	46
5.2.2	Αισθητήρας με Αντίσταση (Resistive Technique).....	47
5.2.3	Συμπεράσματα.....	49
5.2.4	Χαρακτηριστικά Soil Hydrometer Module.....	49
5.2.4.1	Γενικές Πληροφορίες Συσκευής.....	49
5.2.4.2	Χαρακτηριστικά LM393 comparator chip.....	50
5.2.4.3	Σύνδεση με τον Μικροελεγκτή.....	51
5.2.4.4	Επικοινωνία με τον Μικροελεγκτή.....	51
5.2.4.5	Μετατροπή του Σήματος Εξόδου.....	51
5.2.4.6	Δειγματοληψία.....	52
5.3	ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	53
5.3.1	Φωτοαντιστάτες (LDR).....	54
5.3.2	Φωτοβολταϊκή Δίοδος.....	55
5.3.3	Φωτοδίοδος (Φωτοαγώγιμη Δίοδος).....	56
5.3.4	Φωτοτρανζίστορ.....	57
5.3.5	Συμπεράσματα.....	58
5.3.6	Χαρακτηριστικά Φωτοδίοδου.....	59
5.3.6.1	Γενικές Πληροφορίες Συσκευής.....	59
5.3.6.2	Σύνδεση με τον Μικροελεγκτή.....	59
5.3.6.3	Επικοινωνία με τον Μικροελεγκτή.....	59
5.3.6.4	Μετατροπή του Σήματος Εξόδου.....	60
5.3.6.5	Δειγματοληψία.....	60
5.4	ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΛΙΑΣ ΠΟΤΙΣΜΑΤΟΣ.....	61
5.5	ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ.....	61
5.6	ΕΠΙΛΟΓΗ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ LEDs.....	62
5.7	ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ ΜΕ ΤΟΝ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ.....	62
5.8	ΈΛΕΓΧΟΣ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ.....	63
5.9	ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ.....	63
5.9.1	Γενικά.....	63
5.9.2	Arduino.....	64
5.9.3	Αρχιτεκτονική ATmega328P.....	65
5.9.4	Αναπτυξιακό Arduino Uno – AVR ATmega328p.....	66
5.10	ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ TCP ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ INTERNET.....	66
5.10.1	Πρότυπο IEEE 802.11.....	67
5.10.2	ESP8266-01.....	68
5.10.3	Σύνδεση με τον Μικροελεγκτή.....	68
5.10.4	Επικοινωνία με τον Μικροελεγκτή.....	69
5.10.5	Υλοποίηση σε Περιβάλλον Browser.....	71
5.11	ΕΠΙΛΟΓΗ RF ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ.....	72
5.11.1	XBee.....	73
5.11.2	nRF24L01+.....	73
5.11.3	Συμπεράσματα.....	74
5.11.4	Πρωτόκολλο RF24.....	74
5.11.5	Σύνδεση με τον Μικροελεγκτή.....	75
5.11.6	Επικοινωνία με τον Μικροελεγκτή.....	75
5.11.7	Επικοινωνία μεταξύ των RF Συσκευών.....	76
6	ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	77
6.1	ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΣΕΙΡΙΑΚΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	77
6.2	ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	77
6.3	ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ.....	77
6.4	ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ NRF24L01+.....	78
6.5	ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ESP8266-01.....	78
6.6	ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΟΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	79
6.7	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	79
6.8	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ.....	80

<b>7</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>81</b>
7.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	81
7.2	ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΑ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ .....	81
7.3	ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΦΥΤΩΝ.....	82
7.4	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ.....	82
<b>8</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>83</b>

## **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ**

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ .....	16
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ CLICK&GROW.....	17
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ PLANTUI.....	18
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ.....	35
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ RTD.....	35
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΘΕΡΜΟΖΕΥΓΩΝ .....	36
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΜΙΑΓΩΓΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ .....	37
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-5 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΥΠΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.....	37
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ TMP36 .....	39
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-7 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ LM35.....	39
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-8 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ TCN75A.....	40
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-9 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ DS18B20 .....	41
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-10 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	41
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-11 ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ (1) TMP36.....	42
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-12 ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ (2) TMP36.....	42
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-13 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ TMP36 .....	45
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-14 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ TMP36 ΜΕ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ .....	45
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-15 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΥΟ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΕΣ.....	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-16 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΩΡΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ .....	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-17 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ.....	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-18 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΤΥΠΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-19 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ SOIL HYDROMETER MODULE .....	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-20 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ LM393 COMPARATOR CHIP.....	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-21 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ SOIL HYDROMETER MODULE .....	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-22 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ SOIL HYDROMETER MODULE ΜΕ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ.....	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-23 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΥΟ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΕΣ.....	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-24 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ LDR .....	54
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-25 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΔΙΟΔΟΥ .....	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-26 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΔΙΟΔΟΥ .....	56
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-27 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ .....	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-28 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ .....	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-29 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΔΙΟΔΟΥ.....	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-33 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΤΛΙΑΣ ΠΟΤΙΣΜΑΤΟΣ.....	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-34 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ .....	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-35 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ESP8266-01 .....	68
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-36 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ESP8266-01 ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ .....	69

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 2-1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ [29]	14
ΕΙΚΟΝΑ 2-2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΕΡΟΠΟΝΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ [30]	14
ΕΙΚΟΝΑ 2-3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΝΥΔΡΕΙΟΠΟΝΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ [31]	15
ΕΙΚΟΝΑ 2-4 ΣΥΣΤΗΜΑ CLICK&GROW [8]	17
ΕΙΚΟΝΑ 2-5 ΣΥΣΤΗΜΑ PLANTUI [9]	18
ΕΙΚΟΝΑ 4-1 ΦΑΣΜΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΠΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΝ ΤΑ ΦΥΤΑ - ΠΛΗΡΕΣ ΦΑΣΜΑ [33]	29
ΕΙΚΟΝΑ 5-1 TMP36 [19]	38
ΕΙΚΟΝΑ 5-2 LM35 [20]	39
ΕΙΚΟΝΑ 5-3 TCN75A [21]	40
ΕΙΚΟΝΑ 5-4 DS78B20 [22]	40
ΕΙΚΟΝΑ 5-5 BOTTOM VIEW TMP36 [19]	44
ΕΙΚΟΝΑ 5-6 ΧΩΡΗΤΙΚΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ [34]	46
ΕΙΚΟΝΑ 5-7 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ [34]	47
ΕΙΚΟΝΑ 5-8 SOIL HYDROMETER MODULE [12]	49
ΕΙΚΟΝΑ 5-9 LM393 [22]	50
ΕΙΚΟΝΑ 5-10 ΠΛΑΚΕΤΑ SOIL HYDROMETER MODULE [12]	51
ΕΙΚΟΝΑ 5-11 ΦΩΤΟΑΝΤΙΣΤΑΤΗΣ (LDR) [7]	54
ΕΙΚΟΝΑ 5-12 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΔΙΟΔΟΣ [36]	55
ΕΙΚΟΝΑ 5-13 ΦΩΤΟΔΙΟΔΟΣ [36]	56
ΕΙΚΟΝΑ 5-14 ΦΩΤΟΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ [36]	57
ΕΙΚΟΝΑ 5-15 ΦΩΤΟΔΙΟΔΟΣ [37]	59
ΕΙΚΟΝΑ 5-16 ΑΝΤΛΙΑ ΠΟΤΙΣΜΑΤΟΣ [37]	61
ΕΙΚΟΝΑ 5-17 ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑΣ SUNON [37]	61
ΕΙΚΟΝΑ 5-18 LED [37]	62
ΕΙΚΟΝΑ 5-19 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΕΚΠΕΜΠΟΥΣΑΣ ΔΙΟΔΟΥ (LED)	62
ΕΙΚΟΝΑ 5-20 ΑΤΜΕGA328P PIN MAPPING [25]	66
ΕΙΚΟΝΑ 5-21 ESP8266-01 PINS [11]	68
ΕΙΚΟΝΑ 5-22 GUI ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΤΗΣ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΣ ΦΥΤΩΝ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ	71
ΕΙΚΟΝΑ 5-23 GUI ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΠΟΥ ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΝ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ	72
ΕΙΚΟΝΑ 5-24 NRF24L01+ PINS [26]	75

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 4-1 TOP LEVEL ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΑΓΟΡΑΣ	22
ΣΧΗΜΑ 4-2 TOP LEVEL ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	22
ΣΧΗΜΑ 4-3 TOP LEVEL ΜΟΝΤΕΛΟ FRONT-END ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ	23
ΣΧΗΜΑ 4-4 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ SERVER ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ	23
ΣΧΗΜΑ 4-5 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ SERVER ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΜΕΣΩ MODEM/ROUTER	23
ΣΧΗΜΑ 4-6 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΜΕ ΤΟ MODEM/ROUTER ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΔΙΕΠΑΦΗ TCP	24
ΣΧΗΜΑ 4-7 ΑΠΛΟΥΣΤΕΡΗ ΔΟΜΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ	24
ΣΧΗΜΑ 4-8 ΔΟΜΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΤΥΠΟΥ MASTER - SLAVE	24
ΣΧΗΜΑ 4-9 ΕΝΣΥΡΜΑΤΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ MASTER ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ SLAVES	25
ΣΧΗΜΑ 4-10 ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ MASTER ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ SLAVES	25
ΣΧΗΜΑ 4-11 ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΔΙΕΠΑΦΗ TCP	26
ΣΧΗΜΑ 4-12 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ	26
ΣΧΗΜΑ 4-13 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΜΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ & ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΜΕ ΤΟΝ SERVER	27
ΣΧΗΜΑ 4-14 ΣΧΕΣΗ ΡΥΘΜΟΥ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗΣ – ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ [32]	29
ΣΧΗΜΑ 4-15 ΣΧΕΣΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ – ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ [32]	29
ΣΧΗΜΑ 4-16 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ/ΑΛΛΑΓΗ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ	32
ΣΧΗΜΑ 5-1 ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΓΙΑ ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ ΚΑΙ ΤΩΝ ΔΥΟ ΤΥΠΩΝ [7]	34
ΣΧΗΜΑ 5-2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΜΕΤΑΛΛΑ [7]	35

ΣΧΗΜΑ 5-3 ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ ΑΝΑΛΟΓΩΣ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΘΕΡΜΟΖΕΥΓΩΝ [7] .....	36
ΣΧΗΜΑ 5-4 ΣΧΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ - ΤΑΣΗΣ ΕΞΟΔΟΥ [19] .....	43
ΣΧΗΜΑ 5-5 ΣΧΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ – ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ [19].....	43
ΣΧΗΜΑ 5-6 ΣΧΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ – ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ [19] .....	43
ΣΧΗΜΑ 5-7 ΣΧΕΣΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ - ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ (RH), ΣΤΟΥΣ 25°C [35].....	47
ΣΧΗΜΑ 5-8 ΣΧΕΣΗ ΤΑΣΗΣ ΕΞΟΔΟΥ – ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ [35] .....	48
ΣΧΗΜΑ 5-9 ΣΧΕΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ – ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ [35] .....	48
ΣΧΗΜΑ 5-10 ΣΧΕΣΗ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ – ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΥΣΑΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ [36] .....	54
ΣΧΗΜΑ 5-11 ΣΧΕΣΗ ΤΑΣΕΩΣ – ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΔΙΟΔΟ, ΑΝΑΛΟΓΩΣ ΤΗΝ ΕΝΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΥΣΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ. ΑΞΙΖΕΙ ΝΑ ΣΗΜΕΙΩΘΕΙ ΠΩΣ Η ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΕΙΝΑΙ ΣΧΕΤΙΚΑ ΧΑΜΗΛΗ, ΓΥΡΩ ΣΤΟ 15% - 20%, (ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΟΥ CELL). [36] .....	55
ΣΧΗΜΑ 5-12 ΣΧΕΣΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ – ΑΝΑΣΤΡΟΦΗΣ ΠΟΛΩΣΗΣ [36].....	56
ΣΧΗΜΑ 5-13 ΣΧΕΣΗ ΤΑΣΗΣ ΕΠΑΦΗΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗ – ΕΚΠΟΜΠΟΥ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΟΣ [36] .....	57
ΣΧΗΜΑ 5-14 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ .....	64
ΣΧΗΜΑ 5-15 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΕ ΤΟ INTERNET).....	67
ΣΧΗΜΑ 5-16 ΚΕΝΤΡΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	67
ΣΧΗΜΑ 5-17 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ΑΠΟΣΤΟΛΗ ΤΙΜΩΝ ΜΕΣΩ URL .....	70
ΣΧΗΜΑ 5-18 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ΛΗΨΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΣΩ URL .....	70
ΣΧΗΜΑ 5-19 TOP-LEVEL ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ .....	73
ΣΧΗΜΑ 5-20 ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΕΝΔΡΟΥ .....	74
ΣΧΗΜΑ 5-21 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ RF .....	76



# 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

### 1.1 Γενικά το Πρόβλημα και η Ανάγκη για την Εύκολη Καλλιέργεια Φυτών στο Οικιακό Περιβάλλον

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότεροι άνθρωποι στρέφονται προς τα βιολογικά προϊόντα διατροφής. Η ποιότητα και η γεύση τους είναι σημαντικά ανώτερη από τα συμβατικά γεωργικά προϊόντα. Ακόμα έχει παρατηρηθεί πως αρκετοί καταναλωτές επιθυμούν να έχουν την δική τους καλλιέργεια, είτε για να εισάγουν βιολογικά προϊόντα στην διατροφή τους, είτε για να διακοσμήσουν τον χώρο τους. Λόγω όμως του σύγχρονου τρόπου ζωής το σενάριο αυτό καθίσταται αδύνατο. Αυτό συμβαίνει διότι η καλλιέργεια ενός φυτού απαιτεί καθημερινή ενασχόληση και εμπειρία.

### 1.2 Αντικείμενο και Σκοπός Διπλωματικής

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω η παρούσα εργασία σκοπεύει στην κατασκευή ενός θερμοκηπίου εσωτερικού χώρου. Στοιχείει στον σχεδιασμό ενός προϊόντος το οποίο θα κάνει την καλλιέργεια εσωτερικού χώρου εύκολη υπόθεση για όλους. Δεν απαιτεί σχετικές γνώσεις, εμπειρία και ελαχιστοποιεί τον χρόνο ενασχόλησης για την καλλιέργεια υγείων φυτών. Δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες (υγρασία, φωτισμό, θερμοκρασία) με στόχο την βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών. Ο χρήστης μελλοντικά θα έχει την δυνατότητα να ενημερώνεται για την εξέλιξη των φυτών στο θερμοκήπιο του, μέσα από μια εφαρμογή για έξυπνα κινητά τηλέφωνα. Ακόμα θα μπορεί να ενημερώνει το θερμοκήπιο για το ποιο φυτό εισήγαγε και αυτομάτως θα παραμετροποιούνται οι ρυθμίσεις για την βέλτιστη ανάπτυξη τους. Προς το παρόν είναι το μόνο σύστημα στην αγορά που προσφέρει εξατομίκευση σε κάθε φυτό. Αυτό βασίζεται στο ότι το σύστημα είναι εξοπλισμένο με όλους τους αισθητήρες που απαιτούνται για την παρατήρηση των συνθηκών του μικροκλίματος. Αυτοί είναι ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους, ο αισθητήρας οπτικής ακτινοβολίας και ο αισθητήρας θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Με την χρήση των παραπάνω αισθητήρων επιτυγχάνεται μεγάλη ακρίβεια και πάρα πολύ καλή αντίληψη για τις συνθήκες που επικρατούν. Ελέγχοντας τις τιμές αυτές υπάρχουν οι κατάλληλοι ενεργοποιητές, οι οποίοι αλλάζουν τις συνθήκες στο θερμοκήπιο, όποτε αυτό απαιτηθεί. Το σύστημα θα είναι επεκτάσιμο. Ο χρήστης θα μπορεί να προσθέσει στο ήδη υπάρχον σύστημα και άλλες μονάδες, αλλά με χαμηλότερο κόστος. Το κάθε θερμοκήπιο θα μπορεί να φιλοξενεί διαφορετική οικογένεια φυτών. Ο έλεγχος όλου του συστήματος των θερμοκηπίων θα γίνεται μέσω του αρχικού θερμοκηπίου (master), το οποίο και θα συνδέεται στο Internet. Η επικοινωνία του master θερμοκηπίου με τα υπόλοιπα θα γίνεται μέσω διαφορετικού πρωτοκόλλου επικοινωνίας (RF). Αυτό συμβαίνει για την

μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, αλλά και για την μείωση του κόστους. Η υλοποίηση μιας τέτοιας συσκευής θα ήταν ελκυστική όχι μόνο για την εγχώρια αγορά, αλλά και για την παγκόσμια. Στην παρούσα εργασία θα αναλυθεί πως μπορεί να υλοποιηθεί το σύστημα αυτό, θα γίνει έρευνα αγοράς και ανταγωνιστών καθώς και ανάλυση κόστους. Για τον σχεδιασμό του συστήματος έγινε αρχικά έλεγχος απαιτήσεων τόσο από την πλευρά των χρηστών, όσο και από την μεριά των φυτών. Για την επιλογή των κατάλληλων αισθητήρων και ενεργοποιητών έγινε η έρευνα αγοράς σε συμψηφισμό με τις παραπάνω απαιτήσεις.

Για την περάτωση της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν επιγραμματικά τα παρακάτω εργαλεία, τα οποία θα αναλυθούν εκτενώς στα επόμενα κεφάλαια.

Ο πυρήνας λειτουργίας του συστήματος που αναπτύχθηκε είναι ο ATmega328p της ATMEL, ο οποίος ελέγχει τις τιμές όλων των αισθητήρων μέσω ενός κύκλου ανάδρασης, και διαχειρίζεται αποδοτικά όλους τους πόρους του συστήματος. Οι πόροι αυτοί αξιοποιούνται από τους ενεργοποιητές. Αυτοί είναι η αντλία ποτίσματος, οι λαμπτήρες, καθώς και ο ανεμιστήρας. Ο μικροεπεξεργαστής είναι ενσωματωμένος στην αναπτυξιακή πλακέτα Arduino Uno. Ο προγραμματισμός του έγινε χρησιμοποιώντας το λογισμικό Arduino IDE. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι ο TMP36 της εταιρείας Analog Devices για την μέτρηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, ένας αισθητήρας μέτρησης εδαφικής υγρασίας της εταιρείας NOA LABS καθώς και μια φωτοδίοδος. Οι ενεργοποιητές αποτελούνται από μια αντλία ποτίσματος της εταιρείας SunSun, ένα ανεμιστήρα της εταιρείας Sunon καθώς και 4 LEDs. Οι αισθητήρες επικοινωνούν με την πλακέτα χρησιμοποιώντας UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) πρωτόκολλο. Μεταξύ της τροφοδοσίας τους και της πλακέτας παρεμβάλλονται transistors για την λήψη μετρήσεων μόνο όταν αυτό επιθυμείτε. Θα μπορούσε να είχε υλοποιηθεί και χωρίς αυτά, αλλά θα αυξανόταν αρκετά η κατανάλωση ενέργειας. Στηρίζεται στο γεγονός πως όσο οι αισθητήρες τροφοδοτούνται με ρεύμα δειγματοληπτούν (μείωση κατανάλωσης 300%). Έτσι όταν τα transistors είναι on δειγματοληπτούν οι αισθητήρες, σε αντίθετη περίπτωση όχι. Για την ενεργοποίηση και την απενεργοποίηση των ενεργοποιητών στέλνεται ένα σήμα on/off από την πλακέτα στα transistors. Για την μελλοντική ανάπτυξη του συστήματος, δηλαδή την σύνδεση αυτού με το κινητό τηλέφωνο, απαιτείται να δημιουργηθούν σε αυτό το στάδιο οι κατάλληλες υποδομές. Απαιτείται η χρήση μιας συσκευής TCP για την διασύνδεση του θερμοκηπίου με το κινητό τηλέφωνο μέσω WiFi. Αυτή λαμβάνει/στέλνει μέσω GET requests τα δεδομένα από/προς τον server. Έπειτα ο server επικοινωνεί μέσω Internet με το κινητό τηλέφωνο. Η συσκευή αυτή επιλέχθηκε να είναι το ESP8266-01. Είναι μια συσκευή πολύ αξιόπιστη με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας καθώς και χαμηλό κόστος. Για την επικοινωνία μεταξύ των θερμοκηπίων χρησιμοποιήθηκε η συσκευή nRF24L01+. Υπήρχαν διάφορες άλλες επιλογές ως προς το ποια συσκευή θα χρησιμοποιηθεί που αναλύονται στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Σχεδίαση Συστήματος), αλλά ήταν οικονομικά και ενεργειακά ακριβότερες. Η συγκεκριμένη συσκευή χαρακτηρίζεται από χαμηλό κόστος και από χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Η εμβέλεια της καλύπτει τις ανάγκες του οικιακού δικτύου. Μια άλλη επιλογή ήταν να συνδέονται ενσύρματα και όχι ασύρματα, αλλά αποκλείστηκε λόγω των απαιτήσεων των χρηστών, κι ας ήταν η οικονομικότερη επιλογή. Για τον έλεγχο καλής λειτουργίας του συστήματος συνδέεται το master θερμοκήπιο σε local IP. Από τον browser ο χρήστης παραμετροποιεί και παρατηρεί τις τιμές που επικρατούν στο θερμοκήπιο. Όταν η εφαρμογή υλοποιηθεί η παραμετροποίηση των τιμών, αλλά και η παρατήρηση τους θα γίνονται

μέσω αυτής. Τότε αντί να συνδέεται στην local IP θα συνδέεται στον server. Μέσω της εφαρμογής θα αλλάζουν οι τιμές στον server και από εκεί στο θερμοκήπιο.

## 1.3 Οργάνωση Κεφαλαίων

Στα κεφάλαια που θα ακολουθήσουν, θα αναλυθούν τα τμήματα της παρούσας εργασίας σε θεωρητικό επίπεδο καθώς και σε επίπεδο σχεδίασης και υλοποίησης. Συγκεκριμένα στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Σχετική Έρευνα), θα αναλυθούν οι συνιστώσες που συντελούν στην υγιή ανάπτυξη των φυτών, καθώς και οι απαιτήσεις τους από το σύστημα. Ακόμα θα αναλυθούν ανταγωνιστικά προϊόντα, εμφανίζοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους και την διαφοροποίηση της από το σύστημα που υλοποιείται στην παρούσα εργασία. Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Απαιτήσεις Συστήματος), θα αναλυθούν οι απαιτήσεις που έχουν οι χρήστες από το σύστημα, αλλά και τα φυτά. Μελετώντας τις απαιτήσεις αυτές στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Μοντέλο Συστήματος) θα αναλυθεί το πώς μπορεί να υλοποιηθεί ένα τέτοιο σύστημα. Φαίνονται τα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν, καθώς και οι πιθανές λύσεις. Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Σχεδίαση Συστήματος), γίνεται η επιλογή των ηλεκτρικών, ηλεκτρονικών και ηλεκτρομηχανικών στοιχείων που συνθέτουν το σύστημα. Το 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Αξιοπιστία Συστήματος) περιλαμβάνει τις μεθόδους που ακολουθήθηκαν για την επιβεβαίωση της καλής λειτουργίας των τμημάτων του συστήματος. Στο 7<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Συμπεράσματα) γίνεται ανάλυση κόστους, κάτι που κρίνεται απαραίτητο, αφού το σύστημα προορίζεται για εμπορική χρήση. Τέλος στο τελευταίο Κεφάλαιο (Βιβλιογραφία) αναφέρονται οι πηγές από τις οποίες αντλήθηκαν δεδομένα, χρήσιμα για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση του συστήματος.

## 2

# ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

---

Στις καλλιέργειες υπάρχουν πάρα πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών. Κατανοώντας τον ρόλο καθενός παράγοντα ξεχωριστά, μπορεί να αναγνωριστούν και να αποτραπούν οι μη ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών, πριν αυτές δημιουργήσουν πρόβλημα. Αξίζει να σημειωθεί πως οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες βασίζονται σε πολλούς επιμέρους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, το νερό, το φως και τα θρεπτικά συστατικά. Ωστόσο, γνωρίζοντας την ιδανική τιμή για κάθε έναν από τους παραπάνω παράγοντες και διατηρώντας την στα επιτρεπτά όρια, παράγεται ως αποτέλεσμα η μεγιστοποίηση της ανάπτυξης και της απόδοσης των φυτών.

### 2.1 Συνιστώσες που Συντελούν στην Υγιή Ανάπτυξη των Φυτών

#### 2.1.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία επηρεάζει όλες τις χημικές αντιδράσεις. Σύμφωνα με τον κανόνα του Hoff, η ταχύτητα των χημικών οργανικών αντιδράσεων διπλασιάζεται με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C [1], όμως παραπάνω από μια βέλτιστη τιμή τα ένζυμα απενεργοποιούνται και η ταχύτητα ελαττώνεται. Τα φυτά συνήθως έχουν την ίδια θερμοκρασία με τον περιβάλλον αέρα. Όταν οι θερμοκρασίες είναι ακραία χαμηλές τα ένζυμα απενεργοποιούνται και σχηματίζεται πάγος ανάμεσα στα κύτταρα με αποτέλεσμα την αφυδάτωση του φυτού. Για ένα φυτό, η θερμοκρασία για την οποία η αναπνοή έχει μέγιστο ρυθμό είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία για την οποία ο ρυθμός φωτοσύνθεσης είναι μέγιστος. Έτσι, σε ακραία υψηλές θερμοκρασίες το φυτό ουσιαστικά δε μπορεί να τραφεί με αποτέλεσμα να περιορίζεται η ανάπτυξη και η βλαστικότητα του.

#### 2.1.2 Νερό

Για όλους τους οργανισμούς το νερό είναι ζωτικός φορέας θρεπτικών συστατικών όπως υδρογόνο, το οξυγόνο και μεταλλικά άλατα [2]. Τα φυτά προσλαμβάνουν νερό από τα τριχίδια που βρίσκονται στο ριζικό τους σύστημα κυρίως μέσω της φυσικής διαδικασίας της όσμωσης (μετακίνηση του νερού από αραιό διάλυμα (εδαφικό νερό) προς πυκνό (κυτταρικό διάλυμα τριχιδίων)). Μεγάλο μέρος του νερού που προσλαμβάνεται αποβάλλεται από τα στόματα των

φύλλων υπό μορφή υδρατμών σε μια διαδικασία που ονομάζεται διαπνοή. Η διαπνοή λειτουργεί ως θερμοκρασιακός ρυθμιστής, με κόστος την προσωρινή αφυδάτωση κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ο ρυθμός διαπνοής εξαρτάται από τους εξής παράγοντες: θερμοκρασία, υγρασία, άνεμος, μορφολογία φυτού (μέγεθος φυτού και φύλλων, αριθμός και μέγεθος στομάτων). Με τη σειρά του, ο ρυθμός απορρόφησης νερού εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία, τη διαπνοή και το pH του εδάφους. Σε υδατικά κορεσμένα περιβάλλοντα τα κύτταρα των ριζών δυσκολεύονται να αναπνεύσουν. Σε ξηρά περιβάλλοντα τα στόματα κλείνουν και κατά τη διάρκεια της ημέρας για να μειώσουν την απώλεια νερού (αρχόμενη πλασμόλυση). Έτσι, οι μεταβολικές διαδικασίες επιβραδύνονται, δηλαδή περιορίζεται η ανάπτυξη. Συμπεραίνουμε πως η υγρασία του εδάφους και η ποσότητα του νερού που εισέρχεται στο χώμα συσχετίζονται.

### 2.1.3 Φως

Το φως είναι θεμελιώδης παράγοντας για τη ζωή. Τα φυτά περιέχουν ποικίλα επίπεδα χλωροφύλλης η οποία απορροφά ηλιακό φως στο κόκκινο και το μπλε κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης [1]. Ο ρυθμός φωτοσύνθεσης αυξάνεται όσο αυξάνεται η ένταση του φωτός, μέχρι ένα μέγιστο σημείο πέρα από το οποίο παραμένει σταθερός.

### 2.1.4 Θρεπτικά Συστατικά

Έρευνες έχουν δείξει πως περίπου 25 στοιχεία συμμετέχουν στη σύσταση της ξηρής ουσίας των φυτών [2]. Ανάλογα με την ποσοτική αναλογία τους, τα θρεπτικά στοιχεία που λαμβάνονται από τα φυτά για την ανάπτυξή τους χωρίζονται σε μακροστοιχεία (μακροθρεπτικά) και μικροστοιχεία (μικροθρεπτικά). Τα φυτά απορροφούν τα διάφορα στοιχεία είτε από τον αέρα (άνθρακας και οξυγόνο), είτε από το έδαφος σε ανόργανες ιονικές μορφές διαλυμένες στην υγρασία του εδάφους. Τα οργανικά συστατικά του εδάφους οξειδώνονται χημικά ή βιολογικά και αποδομούνται. Η συντήρηση των αναγκαίων ποσοστών οργανικής ύλης, επιτυγχάνεται με εφαρμογή κοπριάς, ή άλλων ειδών οργανικών υποπροϊόντων που έχουν υποστεί προηγουμένως ζύμωση (λίπασμα). Από τα παραπάνω διαπιστώνουμε πως τα διάφορα στοιχεία του εδάφους αποτελούν πολύ σημαντικό παράγοντα για την ανάπτυξη και συντήρηση των φυτών.

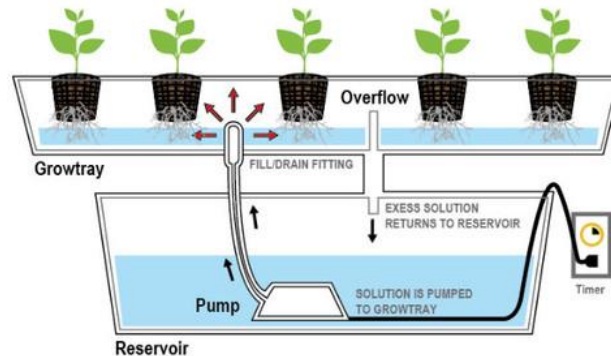
## 2.2 Τεχνικές Καλλιέργειας Φυτών

### 2.2.1 Κλασσική

Η κλασική μέθοδος αφορά την καλλιέργεια φυτών στο χώμα, και αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο. Το υπόστρωμα που απαιτείται είναι το χώμα. Πιο συγκεκριμένα τα στοιχεία που απαιτούνται είναι το χώμα, τα θρεπτικά στοιχεία που χρειάζεται το φυτό (λίπασμα), το νερό και

το φως. Η μέθοδος αυτή δεν παρουσιάζει αρκετή δυσκολία στον καλλιεργητή, και η εφαρμογή της δεν απαιτεί ιδιαίτερες γνώσεις γεωπονίας.

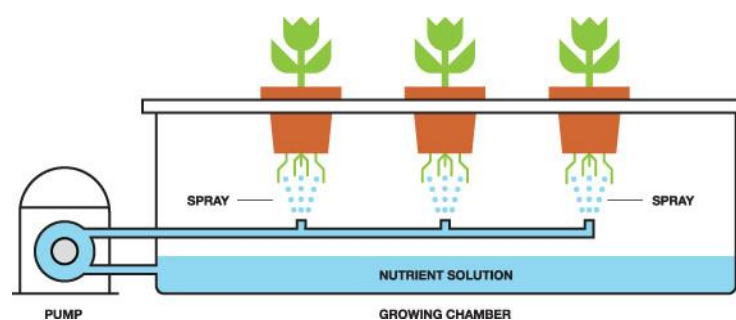
### 2.2.2 Υδροπονική



Εικόνα 2-1 Μοντέλο υδροπονικής καλλιέργειας [29]

Οι υδροπονικές καλλιέργειες, συνήθως αναφέρονται σε καλλιέργειες που δεν πραγματοποιούνται στο έδαφος [3]. Οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται είτε μέσα σε άλλα υλικά (υπόστρωμα), είτε σε νερό στο οποίο έχουν διαλυθεί όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία (θρεπτικό διάλυμα). Τα υδροπονικά συστήματα διαχωρίζονται σε συστήματα με υπόστρωμα και χωρίς υπόστρωμα. Στα υδροπονικά συστήματα με υπόστρωμα η ρίζα αναπτύσσεται μέσα σε κάποιο κατάλληλο υλικό. Τέτοια υλικά είναι ο πετrobάμβακας, ο περλίτης, ο κοκκοφοίνικας, η ελαφρόπετρα κ.α. Τα συστήματα χωρίς υπόστρωμα είναι αυτά στα οποία η ρίζα αναπτύσσεται απευθείας μέσα στο θρεπτικό διάλυμα, χωρίς να υπάρχει κάποιο άλλο υλικό για την ανάπτυξη της ρίζας. Τέτοια είναι το NFT, το NGS, το σύστημα επίπλευσης κ.α. Επίσης διαχωρίζονται σε ανοικτά και κλειστά συστήματα. Στα ανοικτά συστήματα το πλεονάζων θρεπτικό διάλυμα ρέει εκτός του υποστρώματος και είτε απορρίπτεται στο περιβάλλον, είτε χρησιμοποιείται για την λίπανση υπαίθριων καλλιεργειών. Στα κλειστά συστήματα το θρεπτικό διάλυμα ανακυκλώνεται (δηλαδή επαναχρησιμοποιείται) [4].

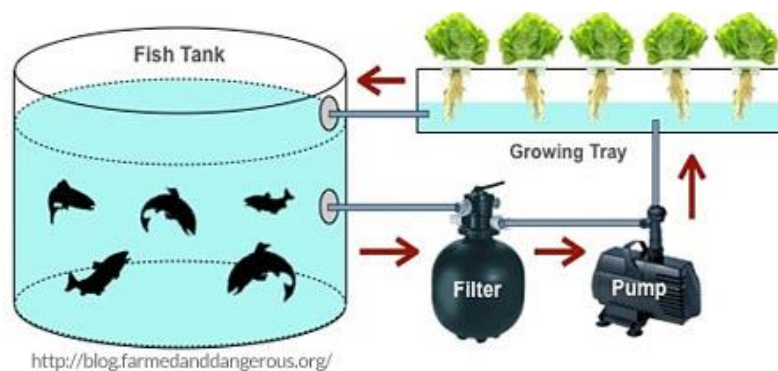
### 2.2.3 Αεροπονική



Εικόνα 2-2 Μοντέλο αεροπονικής καλλιέργειας [30]

Η μέθοδος αυτή παραπέμπει στην υδροπονία. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι οι ρίζες των φυτών δεν βρίσκονται μόνιμως μέσα στο διάλυμα, αλλά ψεκάζονται κατά διαστήματα με αυτό, ώστε να μην χρειάζεται η συνεχής ανακύκλωση του [5]. Η αεροπονία έχει όλα τα οφέλη της υδροπονίας με επιπλέον πλεονέκτημα το γεγονός πως δεν απαιτείται ανακύκλωση του διαλύματος με αποτέλεσμα την καλύτερη οξυγόνωση των ριζών. Μειονέκτημα της αεροπονίας αποτελεί το αυξημένο κόστος της καθώς και η πολυπλοκότητα της υλοποίησής της. Επιπλέον, η μέθοδος αυτή απαιτεί συχνό καθαρισμό των ψεκαστήρων και της αντλίας

## 2.2.4 Ενυδρειοπονική



Εικόνα 2-3 Μοντέλο ενυδρειοπονικής καλλιέργειας [31]

Η ενυδρειοπονία είναι μια βιώσιμη μέθοδος βιολογικής καλλιέργειας φυτών που συνδυάζει την υδατοκαλλιέργεια και την υδροπονία. Αξιοποιεί την υδατοκαλλιέργεια προκειμένου να δημιουργήσει ένα ελεγχόμενο περιβάλλον ανάπτυξης υδρόβιων ζώων. Με την υδροπονία καλλιεργούνται φυτά στο νερό τα οποία τρέφονται από τα απόβλητα των ζώων. Τα απόβλητα αυτά αρχικά είναι τοξικά. [6] Περνούν από μια χημική επεξεργασία βιολογικών φίλτρων κατά την οποία αναπτύσσονται καλλιέργειες ωφέλιμων βακτηριδίων οι οποίες μετατρέπουν τα απόβλητα των ζώων σε θρεπτικά συστατικά για τα φυτά. Το νερό κυκλοφορεί και φιλτράρεται συνεχώς. Πλεονέκτημα της αεροπονίας είναι η ποιότητα των παραγόμενων φυτών λόγω της απουσίας χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι το αυξημένο κόστος της καθώς και η ανάγκη για διαρκή επιτήρηση της καλλιέργειας. Τα νεκρά ψάρια αποβάλλουν τοξίνες καταστρεπτικές για την υγεία των φυτών και πρέπει να αποβάλλονται άμεσα.

## 2.2.5 Σύγκριση Τεχνικών Καλλιέργειας

Πίνακας 2-1 Σύγκριση τεχνικών καλλιέργειας

Μέθοδος	Κλασσική	Υδροπονική	Αεροπονική	Ενυδρειοπονική
Επένδυση	Πολύ χαμηλή	Υψηλή	Υψηλή	Πολύ υψηλή
Συντήρηση	Πολύ φθηνή	Ακριβή	Πολύ Ακριβή	Πολύ Ακριβή
Ενασχόληση	Πολύ χαμηλή	Πολύ υψηλή	Πολύ υψηλή	Πολύ υψηλή
Απόδοση	Μέτρια	Υψηλή	Υψηλή	Πολύ υψηλή
<b>Πλεονεκτήματα</b>	Ελάχιστη ενασχόληση καλλιεργητή, χαμηλό κόστος	Απουσία ασθενειών, μεγαλύτερη περίοδος καλλιέργειας, εξοικονόμηση νερού, υψηλή απόδοση	Πλεονεκτήματα υδροπονίας + ακόμα μεγαλύτερη εξοικονόμηση νερού	Πλεονεκτήματα αεροπονίας + περισσότερα φυτά ανά τ.μ, απουσία λιπασμάτων, εξαιρετική απόδοση
<b>Μειονεκτήματα</b>	Μέτρια απόδοση, κίνδυνος ανάπτυξης ασθενειών, απαιτούνται λιπάσματα	Υψηλό κόστος, μεγάλη αρχική επένδυση & συντήρηση, τακτική μέτρηση ΡΗ, απαιτεί πολύ καλή ποιότητα νερού & λιπάσματα	Μειονεκτήματα Υδροπονίας + ακριβότερη συντήρηση	Μειονεκτήματα αεροπονίας + μεγαλύτερη επένδυση και κόστος συντήρησης, απαιτείται μεγάλη προσοχή

## 2.2.6 Συμπεράσματα

Μελετώντας τις παραπάνω τεχνικές καλλιέργειας φυτών, συμπεραίνεται πως η προτεινόμενη μέθοδος είναι η κλασσική. Πλεονέκτημα της έναντι των άλλων μεθόδων είναι το χαμηλό κόστος αρχικής επένδυσης, αλλά και συντήρησης του συστήματος. Ακόμα δεν απαιτείται ο τακτικός έλεγχος της οξύτητας του εδάφους (pH). Αυτό θα αύξανε την πολυπλοκότητα του συστήματος, καθώς είτε θα ήταν ο χρήστης αναγκασμένος να το παρατηρεί και να το ρυθμίζει καθημερινά (το σύστημα δεν θα ήταν αυτόματο), είτε θα έπρεπε με αυτόματο τρόπο να ρυθμίζεται η οξύτητα, κάτι που είναι αρκετά και χρονοβόρο και κοστοβόρο.



## 2.3 Ανταγωνιστικά Προϊόντα

Υπάρχουν αρκετές εταιρείες που υλοποιούν παρόμοια συστήματα με αυτό της παρούσας εργασίας. Παρακάτω παρουσιάζονται τα δύο δημοφιλέστερα και οικονομικότερα προϊόντα. Αναλύονται οι δυνατότητες, τα χαρακτηριστικά καθώς και το κόστος του κάθε συστήματος.

### 2.3.1 Click&Grow



Εικόνα 2-4 Σύστημα Click&Grow [8]

Το προϊόν του απεικονίζεται παραπάνω κατασκευάζεται από την εταιρεία Click&Grow [8]. Η αρχή λειτουργίας του είναι αρκετά απλή. Ο χρήστης αρχικά γεμίζει με νερό την συσκευή, έπειτα εισάγει τις κάψουλες (χώμα και σπόρος) και τέλος την ενεργοποιεί. Το χώμα αυτό έχει τέτοια σύσταση που απορροφά όσο νερό χρειάζονται οι ρίζες, χωρίς να έχει ανάγκη αισθητήρες για την μέτρηση της υγρασίας εδάφους. Υπάρχει χρονοδιακόπτης που ρυθμίζει τον χρόνο που λειτουργούν οι λαμπτήρες, ώστε τα φυτά να έχουν επαρκή φωτισμό για την φωτοσύνθεση.

Πίνακας 2-2 Χαρακτηριστικά Συστήματος Click&Grow

<b>Τιμή</b>	59.95€
<b>Χωρητικότητα συσκευής</b>	3 φυτά μικρού μεγέθους
<b>Ποικιλία φυτών</b>	Μικρή
<b>Κόστος νέων φυτών</b>	20€/3 φυτά
<b>Περίοδος για την αντικατάσταση τους</b>	2-3 μήνες
<b>Εφαρμογή smartphone</b>	Διατίθεται
<b>Αισθητήρας υγρ./φωτός/θερμοκρασίας</b>	Δεν υπάρχουν

Το πλεονέκτημα αυτού του προϊόντος, είναι η απουσία της ενασχόλησης του χρήστη με την φύτευση, ανάπτυξη και παρατήρηση του φυτού. Απλά εισάγει την ειδική κάψουλα στην συσκευή. Η ποικιλία των φυτών που μπορεί να καλλιεργήσει είναι αρκετά περιορισμένη, και δεν του δίνεται η δυνατότητα φύτευσης φυτού της επιλογής του. Λόγω του μικρού μεγέθους της κάψουλας, τα φυτά έχουν περίοδο ζωής 2-3 μήνες.

### 2.3.2 Plantui



Εικόνα 2-5 Σύστημα Plantui [9]

Το προϊόν αυτό διατίθεται από την εταιρεία Plantui [9]. Έχει όμοιο τρόπο λειτουργίας με το παραπάνω, αλλά το πλεονέκτημα του είναι πως το ύψος των λαμπτήρων είναι μεταβλητό, δηλαδή μπορούν να αναπτυχθούν και υψηλότερα φυτά. Επιπλέον διαθέτει LED λαμπτήρες πλήρους φάσματος για την καλύτερη ανάπτυξη των φυτών.

Πίνακας 2-3 Χαρακτηριστικά συστήματος Plantui

<b>Τιμή</b>	265€
<b>Χωρητικότητα συσκευής</b>	6 φυτά μικρού μεγέθους
<b>Ποικιλία φυτών</b>	Μικρή
<b>Κόστος νέων φυτών</b>	6€/φυτό
<b>Περίοδος για την αντικατάστασή τους</b>	3-4 μήνες
<b>Εφαρμογή smartphone</b>	Διατίθεται
<b>Αισθητήρας υγρ./φωτός/θερμοκρασίας</b>	Δεν υπάρχουν
<b>Επιπλέον κόστος για την ανύψωση των LEDs</b>	25€

### 2.3.3 Συμπεράσματα

Μελετώντας τα παραπάνω προϊόντα της αγοράς, παρατηρείται πως κανένα από αυτά δεν προσφέρει επεκτασιμότητα. Επεκτασιμότητα είναι η δυνατότητα προσθήκης επιπλέον θερμοκηπίων στο ήδη υπάρχων σύστημα. Δηλαδή είναι η δημιουργία ενός δικτύου θερμοκηπίων. Το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα του συστήματος που υλοποιείται στην παρούσα εργασία είναι η παροχή αυτής της δυνατότητας στον χρήστη, προσφέροντας την με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Ακόμα η χαμηλή κατανάλωσης ενέργειας του συστήματος αποτελεί ακόμα έναν στόχο της παρούσας εργασίας. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας αισθητήρες για την μέτρηση των συνθηκών που επικρατούν στο θερμοκήπιο. Παραδείγματος χάριν αν κρίνεται επαρκής ο φωτισμός του δωματίου στο οποίο βρίσκεται το θερμοκήπιο, τότε δεν ενεργοποιούνται οι λαμπτήρες. Στην περίπτωση που το περιβάλλον φως δεν επαρκεί για την φωτοσύνθεση των φυτών, τότε θα ενεργοποιούνται.

# 3

## ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

---

### 3.1 Απαιτήσεις Φυτών

Παρουσιάστηκαν στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Σχετική Έρευνα), οι τέσσερις συνιστώσες που συντελούν στην υγιή ανάπτυξη των φυτών. Τίθενται ορισμένοι περιορισμοί στις τιμές αυτών. Πιο συγκεκριμένα η θερμοκρασία περιβάλλοντος δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 0 °C, αλλά και ούτε ανώτερη από 35 °C. Στο οικιακό περιβάλλον η θερμοκρασία δωματίου δεν είναι χαμηλότερη από 10 °C, ακόμα και κατά την χειμερινή περίοδο. Κατά την θερινή περίοδο μπορεί η θερμοκρασία να ξεπεράσει ακόμα και τους 40 °C. Το σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση να μεταβάλλει την θερμοκρασία στο θερμοκήπιο, ώστε να βρίσκεται πάντα στα επιθυμητά επίπεδα. Ακόμα απαιτείται η ορθή άρδευση των φυτών. Το σύστημα πρέπει να έχει την δυνατότητα να μεταβάλλει την υγρασία του εδάφους και να την διατηρεί στα επιθυμητά επίπεδα, ώστε τα φυτά να έχουν την μέγιστη δυνατή ανάπτυξη. Τέλος το θερμοκήπιο πρέπει να παρέχει στα φυτά την απαιτούμενη ένταση φωτός που χρειάζονται στο μπλε και στο κόκκινο φάσμα. Βεβαίως το κάθε φυτό έχει διαφορετικές ανάγκες, οπότε η μεταβολή των συνιστωσών αυτών θα γίνεται αναλόγως με την οικογένεια στην οποία ανήκει (ομάδα). Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας δεν θα αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο θα γίνεται η λίπανση των φυτών. Γνωρίζοντας το σύστημα ποια οικογένεια φυτών φιλοξενείτε σε κάθε θερμοκήπιο μελλοντικά ο χρήστης θα ειδοποιείται μέσω της εφαρμογής για το ποιο λίπασμα πρέπει να προσθέσει και πότε.

### 3.2 Απαιτήσεις Χρηστών

Λαμβάνοντας υπόψιν τις παραπάνω απαιτήσεις των φυτών, στην παρούσα εργασία υλοποιείται ένα ανταγωνιστικό προϊόν, που ικανοποιεί τις απαιτήσεις αυτές και ακόμα είναι εύχρηστο, αξιόπιστο και συγχρόνως οικονομικό. Παρακάτω συνοψίζονται οι απαιτήσεις των χρηστών από το σύστημα:

- Μικρό μέγεθος
- Χαμηλό κόστος
- Αξιοπιστία
- Ευχρηστία
- Φορητότητα
- Ενεργειακά οικονομικό
- Επεκτασιμότητα (μέχρι 2 επιπλέον μονάδες)
- Σύνδεση με το Internet

Το θερμοκήπιο πρέπει να έχει μικρό μέγεθος αφού προορίζεται για οικιακή χρήση και ο διαθέσιμος χώρος συχνά περιορίζει τον χρήστη. Το κόστος είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας. Κρατώντας το χαμηλό γίνεται ανταγωνιστικό ως προς τα αντίστοιχα προϊόντα άλλων εταιρειών και ταυτοχρόνως πιο προσιτό προς τους μελλοντικούς χρήστες. Δεν αρκεί όμως μόνο το χαμηλό κόστος για να είναι προσιτό σε κάθε χρήστη, θα πρέπει να είναι και αρκετά απλό την ρύθμιση και στην λειτουργία του. Έτσι ακόμα και κάποιος που δεν διαθέτει γνώσεις υπολογιστή να είναι σε θέση να το λειτουργεί ορθά. Η αξιοπιστία είναι απαραίτητη προϋπόθεση, καθώς πρέπει να λειτουργεί αλάνθαστα και αδιάλειπτα, ώστε τα φυτά να είναι πάντα υγιή και να έχουν την μέγιστη ανάπτυξη. Ένα στοιχείο που δεν μπορεί να λείπει από το σύστημα είναι η φορητότητα, καθώς δεν είναι λίγες οι φορές που κάποιος επιθυμεί είτε να το μετακινήσει μέσα στο ίδιο το σπίτι, είτε να το μεταφέρει σε άλλο χώρο, π.χ. στο εξοχικό. Το σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση να υποστηρίξει αυτή την λειτουργικότητα. Ακόμα χρειάζεται να είναι επεκτάσιμο, δηλαδή ο χρήστης να μπορεί να προσθέσει και άλλες μονάδες, με χαμηλότερο κόστος. Για την επικοινωνία με το κινητό τηλέφωνο κρίνεται σκόπιμη η χρήση WiFi, ώστε να έχει ο χρήστης απομακρυσμένη πρόσβαση με σκοπό να ελέγχει και να παρατηρεί την κατάσταση των φυτών. Στόχος της παρούσας εργασίας τίθεται η μελέτη, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός συστήματος, το οποίο θα ικανοποιεί τόσο τις απαιτήσεις από την πλευρά των φυτών, αλλά και από την πλευρά των χρηστών.

## 4

# ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

## 4.1 Ανάπτυξη Μοντέλου Συστήματος

Παρατηρώντας τα προϊόντα της αγοράς παρουσιάζεται παρακάτω το top-level μοντέλο του συστήματος τους.



Σχήμα 4-1 Top Level μοντέλο προϊόντων αγοράς

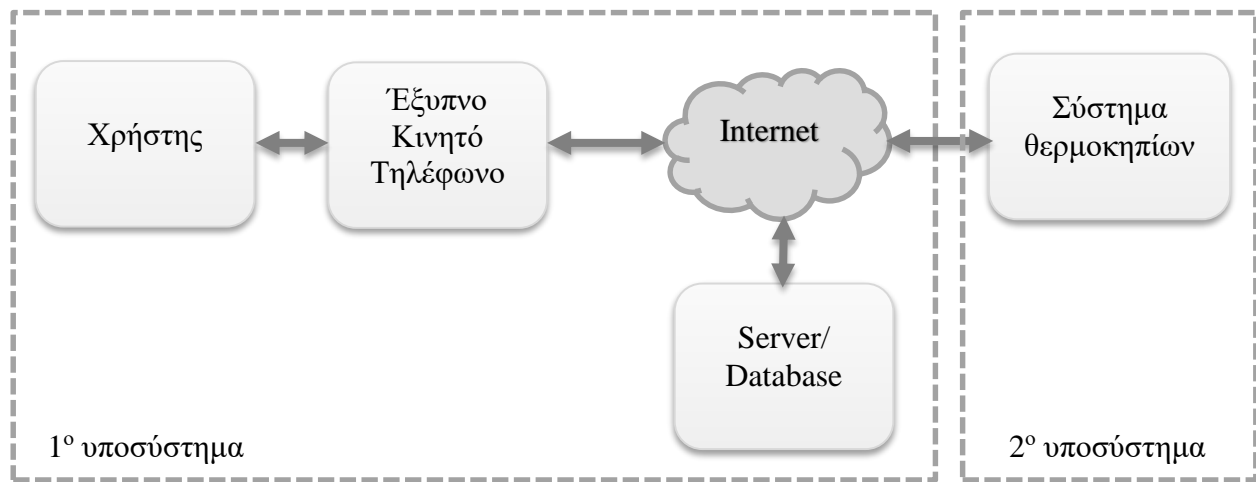
Το top-level μοντέλο για τα άλλα σύστημα αποτελείται από τρία διακριτά κομμάτια. Τον χρήστη, την εφαρμογή στο κινητό τηλέφωνο και το θερμοκήπιο. Ο χρήστης αλληλοεπιδρά μέσω της εφαρμογής με το θερμοκήπιο. Στην εφαρμογή δηλώνει ποιο φυτό τοποθέτησε και τότε και αυτή τον ειδοποιεί πότε είναι η κατάλληλη περίοδος για την συγκομιδή. Ακόμα του προσφέρει τεχνικές για την κλάδευση των φυτών.

Αντίστοιχα ένα αρχικό μοντέλο συστήματος για την παρούσα εργασία θα μπορούσε να είναι το παρακάτω, λαμβάνοντας υπόψιν ότι το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα άλλα συστήματα είναι η δυνατότητα επέκτασης του, αλλά και ο απομακρυσμένος έλεγχος και η παρατήρηση της καλλιέργειας τους. Αποτελείται από τρεις οντότητες. Τον χρήστη, το κινητό τηλέφωνο και τα τρία συστήματα θερμοκηπίου.



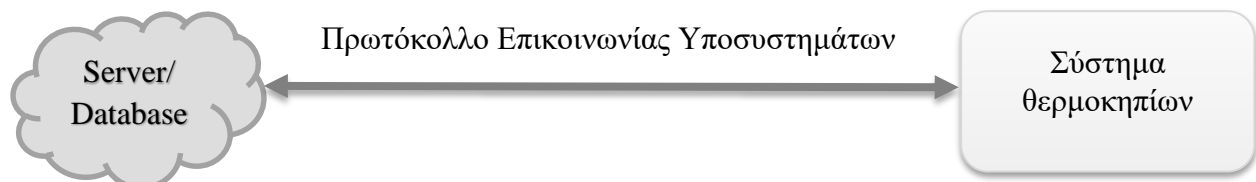
Σχήμα 4-2 Top Level μοντέλο συστήματος

Κατανοώντας τις ανάγκες των χρηστών για απομακρυσμένο έλεγχο της καλλιέργειας τους, απαιτείται η σύνδεση του θερμοκηπίου με το Internet. Οι προτιμήσεις του χρήστη, αλλά και τα όρια των τιμών για κάθε οικογένεια φυτών θα αποθηκεύονται σε μια online βάση δεδομένων.



Σχήμα 4-3 Top Level μοντέλο front-end συστήματος & συστήματος θερμοκηπίων

Στην παρούσα εργασία δεν θα υλοποιηθεί το 1ο υποσύστημα, που αφορά την εφαρμογή κινητού, και την βάση δεδομένων. Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του υποσυστήματος αυτού, αποτελεί την διπλωματική εργασία του κ. Κωνσταντίνου Κωνσταντόπουλου. Στην παρούσα εργασία θα υλοποιηθεί το 2ο υποσύστημα. Θα ορισθεί η διεπαφή μεταξύ των δύο υποσυστημάτων, που απαιτείται για την επικοινωνία τους.



Σχήμα 4-4 Επικοινωνία Server με το σύστημα των θερμοκηπίων

Το σύστημα των θερμοκηπίων θα επικοινωνεί με την βάση δεδομένων μέσω της οικιακής σύνδεσης Internet. Η πλειοψηφία των χρηστών διαθέτει ένα οικιακό δίκτυο, το οποίο είναι είτε ασύρματο είτε ενσύρματο ή και τα δύο. Στην απλούστερη του μορφή αποτελείται από ένα router που συνδέεται στο Internet και διαθέτει θύρες LAN και WiFi. Η ενσύρματη σύνδεση (LAN) δεν είναι ευέλικτη καθώς απαιτείται η χρήση καλωδίων. Έτσι επιλέγεται η ασύρματη επικοινωνία του θερμοκηπίου με το οικιακό δίκτυο.



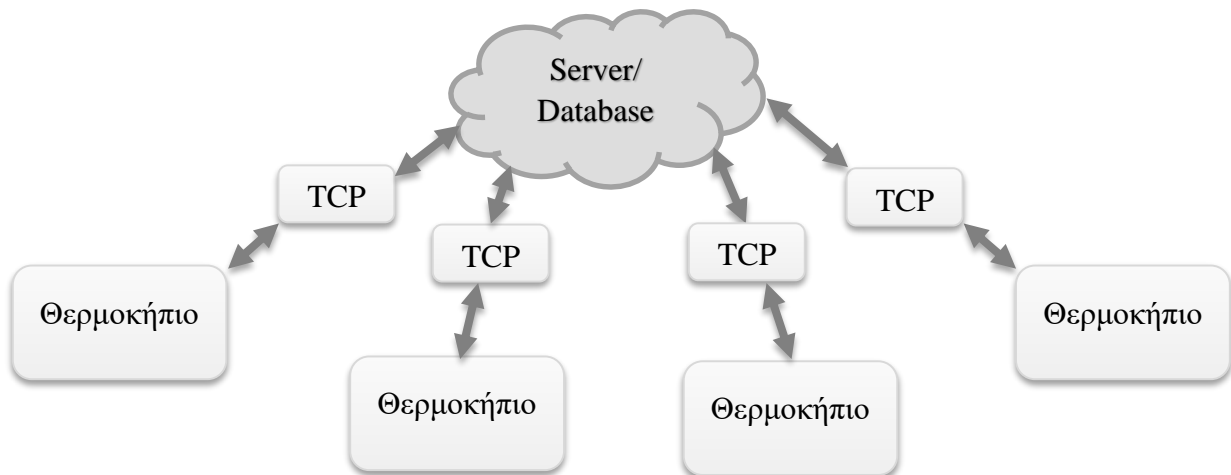
Σχήμα 4-5 Επικοινωνία Server με το σύστημα των θερμοκηπίων μέσω modem/router

Για την διασύνδεση των θερμοκηπίων με το οικιακό modem/router του σπιτιού, απαιτείται τα θερμοκήπια να είναι εξοπλισμένα με μια κάρτα διεπαφής TCP. Η κάρτα αυτή θα συνδέεται με την μονάδα ελέγχου. Έτσι η αυτή θα είναι σε θέση να επικοινωνεί με τον Server.



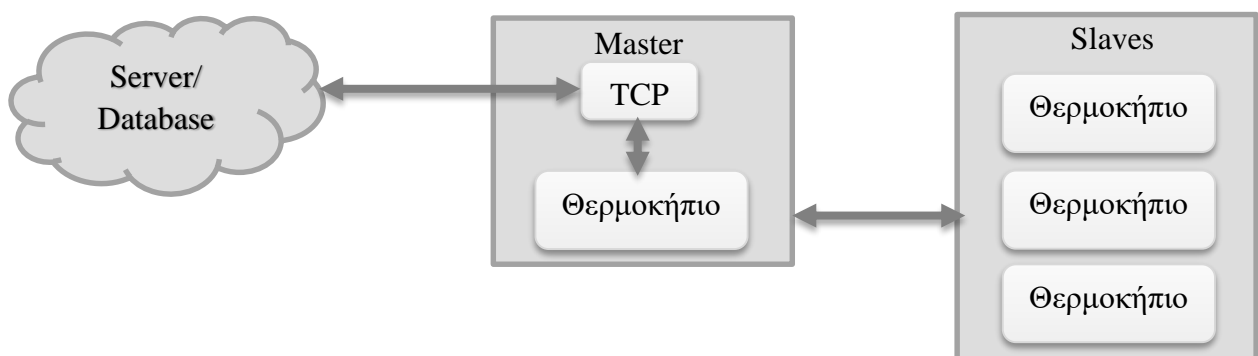
Σχήμα 4-6 Επικοινωνία του συστήματος των θερμοκηπίων με το modem/router χρησιμοποιώντας διεπαφή TCP

Η απλούστερη δομή του δικτύου των θερμοκηπίων είναι η παρακάτω, όπου όλα τα θερμοκήπια είναι εξοπλισμένα με κάρτα διεπαφής TCP.



Σχήμα 4-7 Απλούστερη δομή δικτύου θερμοκηπίων

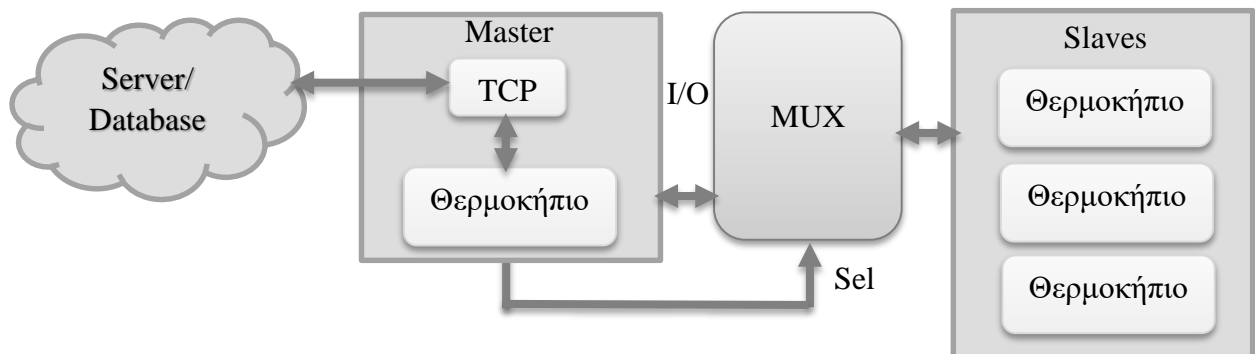
Μια άλλη εναλλακτική θα ήταν μόνο ένα θερμοκήπιο να διαθέτει κάρτα διεπαφής TCP, και τα υπόλοιπα να συνδέονται με την βάση δεδομένων μέσω αυτού.



Σχήμα 4-8 Δομή δικτύου θερμοκηπίων τύπου Master - Slave



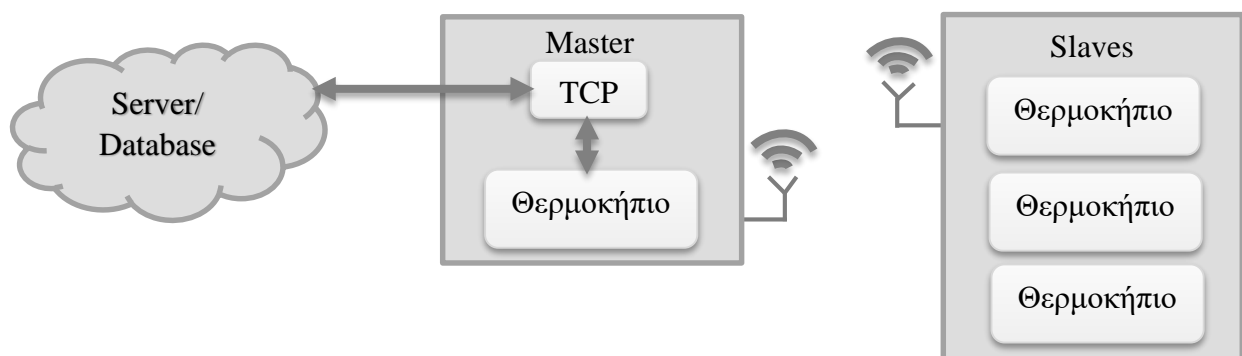
Για την παραπάνω υλοποίηση υπάρχουν δύο πιθανές λύσεις. Στην πρώτη τα θερμοκήπια συνδέονται ενσύρματα. Στην δεύτερη ασύρματα.



Σχήμα 4-9 Ενσύρματη επικοινωνία Master θερμοκηπίου με Slaves

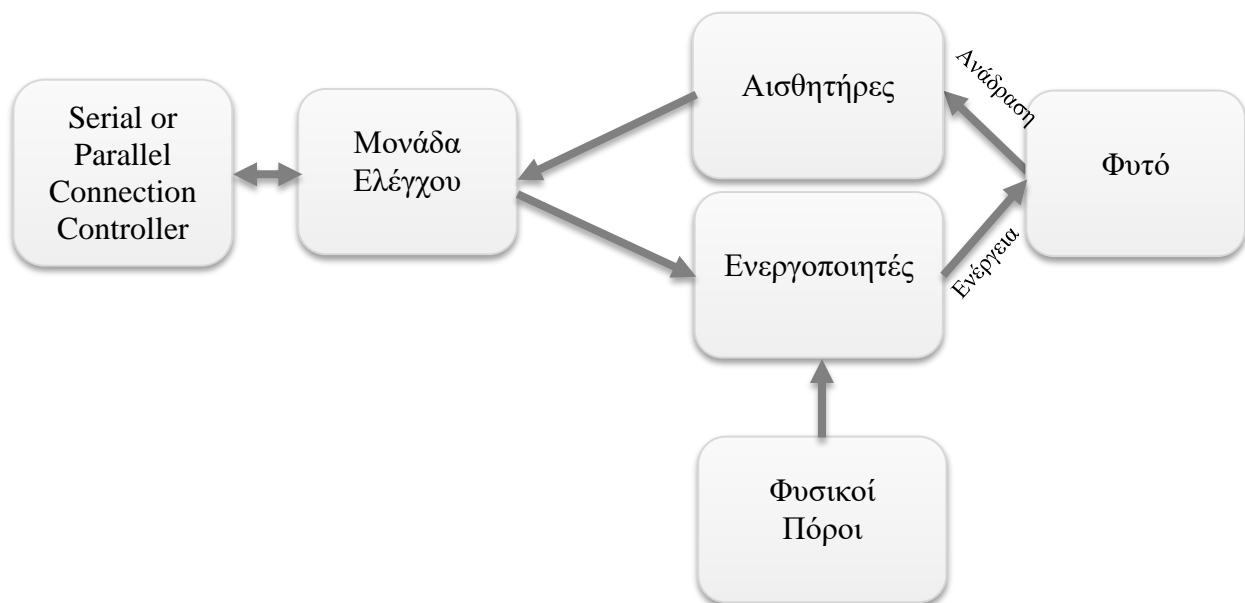
Στην ενσύρματη σύνδεση χρησιμοποιείται ένας πολυπλέκτης, ώστε να συνδέονται όλα τα θερμοκήπια με το κεντρικό, καταλαμβάνοντας όσα λιγότερα pins γίνεται από την πλακέτα. Η λύση αυτή μοιάζει ελκυστική από οικονομικής άποψης, αλλά περιορίζει αρκετά τον χρήστη, αφού δεν του επιτρέπει την τοποθέτηση των θερμοκηπίων σε διαφορετικούς χώρους μέσα στο σπίτι. Αυξάνεται ακόμα η πολυπλοκότητα, λόγω της χρήσης αρκετών καλωδίων.

Η δεύτερη λύση αναφέρεται στην ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των θερμοκηπίων. Απαίτηση του συστήματος είναι το εύρος του δικτύου να κυμαίνεται στα 30 μέτρα. Δεν υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερο εύρος, αφού το δίκτυο θα εγκαθίσταται σε οικιακό περιβάλλον. Αυτή η υλοποίηση είναι η καταλληλότερη, αφού παρέχει ευκολία και ευελιξία στον χρήστη.



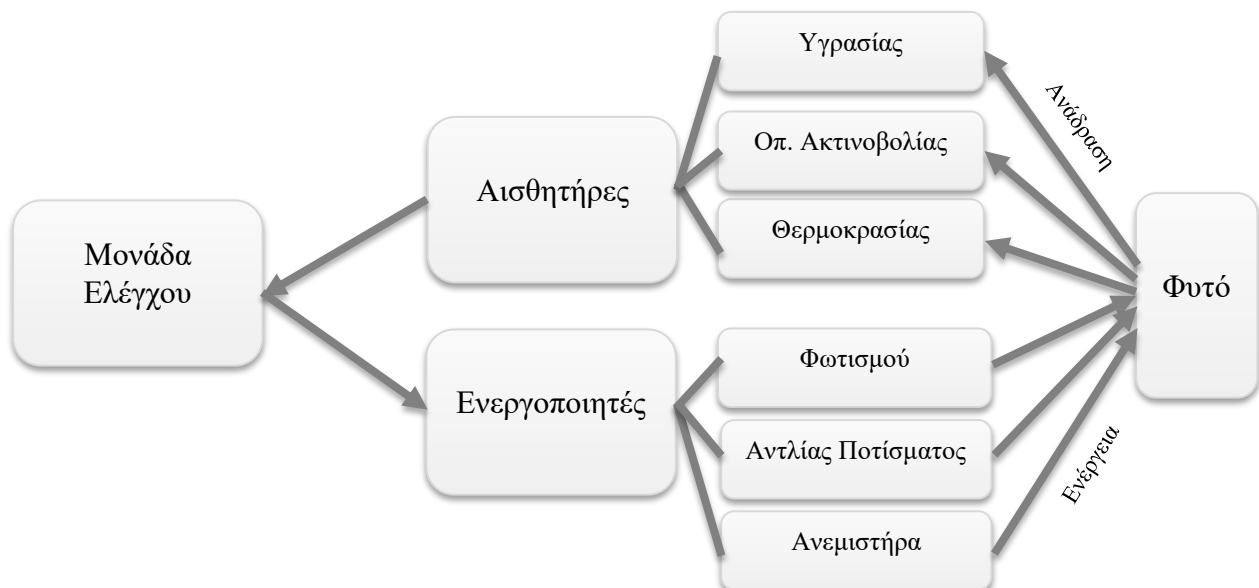
Σχήμα 4-10 Ασύρματη επικοινωνία Master θερμοκηπίου με Slaves

Η κάρτα διεπαφής TCP θα συνδέεται με την μονάδα ελέγχου χρησιμοποιώντας σειριακή ή παράλληλη σύνδεση. Η μονάδα ελέγχου έτσι θα είναι σε θέση να επικοινωνεί με την βάση.



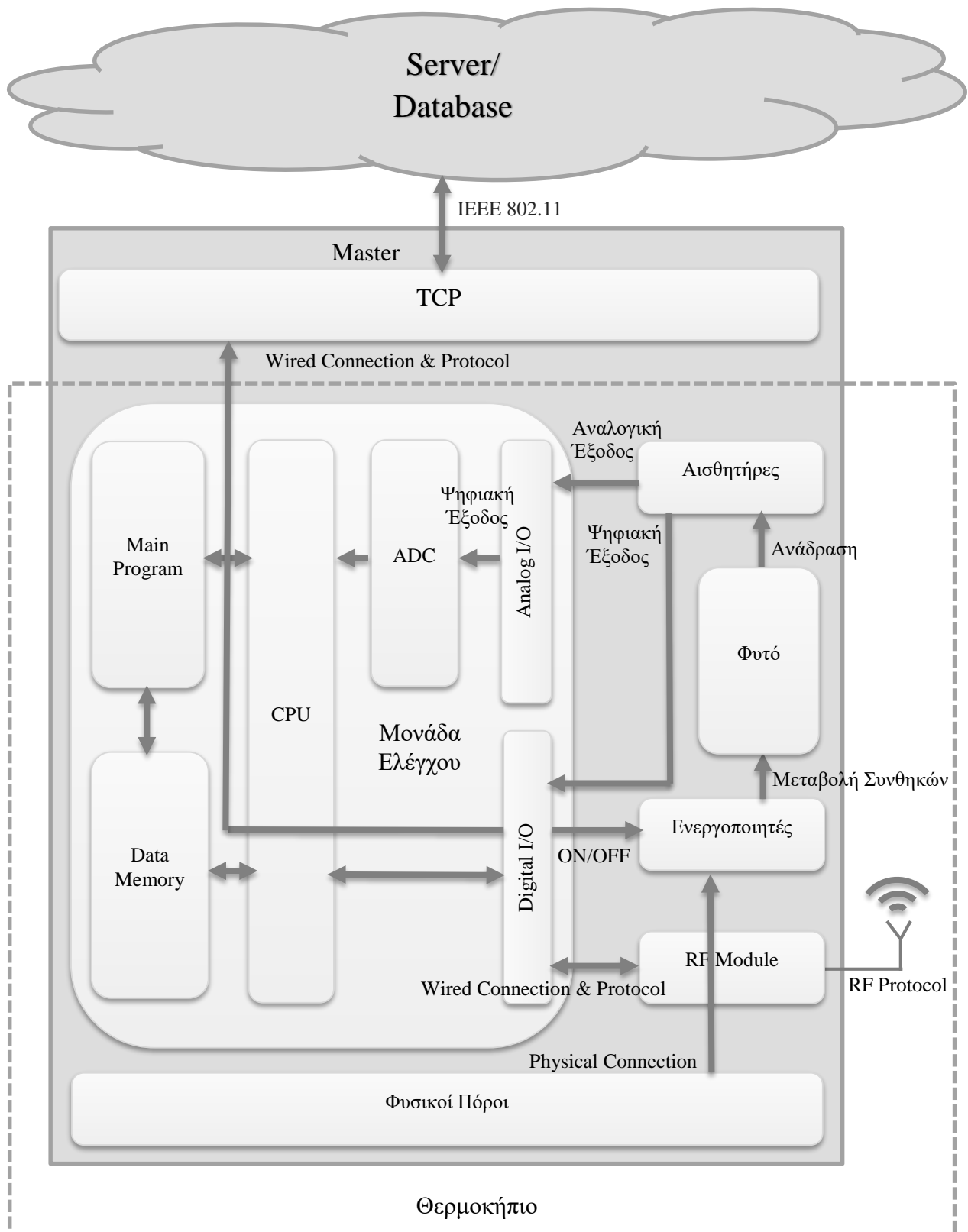
Σχήμα 4-11 Θερμοκήπιο και σύνδεση με την διεπαφή TCP

Η μονάδα ελέγχου μέσω των ενεργοποιητών και της ανάδρασης των αισθητήρων θα διαχειρίζεται αποτελεσματικά τους φυσικούς πόρους. Μετρώντας τις τιμές των αισθητήρων, αντιλαμβάνεται τις θερμοκηπιακές συνθήκες που επικρατούν. Τις αναλύει και στέλνει τα κατάλληλα σήματα στους ενεργοποιητές. Στην συνέχεια αυτοί μεταβάλλουν τις θερμοκηπιακές συνθήκες. Έτσι σχηματίζεται ένας κύκλος ανάδρασης, όπου η συνεχής αλληλεπίδραση μεταξύ ενεργοποιητών, αισθητήρων και μονάδας ελέγχου δημιουργεί κατάλληλο περιβάλλον για την βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών.



Σχήμα 4-12 Στοιχεία που αποτελούν το θερμοκήπιο

Το μοντέλο του συστήματος στην περίπτωση που μόνο ένα θερμοκήπιο διαθέτει κάρτα διεπαφής TCP, φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4-13 Αναλυτική περιγραφή δομής συστήματος θερμοκηπίου & επικοινωνίας με τον Server

Από την πλευρά των φυτών απαιτείται ο έλεγχος, η ρύθμιση και η παρατήρηση όλων των παραγόντων που συντελούν στην ανάπτυξη τους. Από την πλευρά των χρηστών απαιτείται ένα σύστημα κυρίως εύχρηστο, αξιόπιστο και συγχρόνως οικονομικό. Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Σχετική Έρευνα), παρουσιάστηκε η ανάγκη για την μέτρηση των τριών συνιστωσών που απαιτούνται για την υγιή ανάπτυξη των φυτών. Αυτές είναι ο φωτισμός, η υγρασία εδάφους και η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Παρακάτω θα αναλυθούν τα επιμέρους στοιχεία που απαιτούνται για την υλοποίηση των παραπάνω δύο μοντέλων.

## 4.2 Μέτρηση Υγρασίας Εδάφους

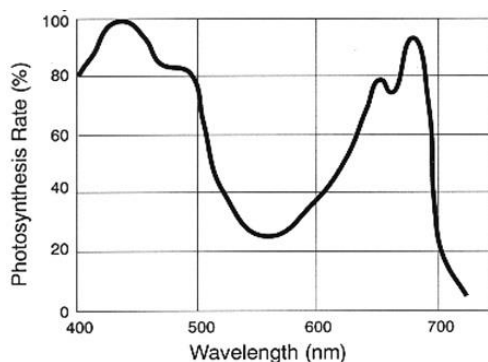
Το κάθε φυτό έχει τις δικές του ανάγκες σε νερό, παραδείγματος χάριν άλλες ανάγκες έχουν τα κακτοειδή και άλλες τα λαχανικά. Για τον λόγο αυτό πρέπει να μετριέται διαρκώς η υγρασία του εδάφους γύρω από τις ρίζες των φυτών, ώστε πάντα η τιμή της να κυμαίνεται στα επιθυμητά επίπεδα. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις, καθώς ο αισθητήρας θα λειτουργεί κυρίως ως detector. Έχουμε θέσει, σύμφωνα με τις συμβουλές του κύριου Οικονομάκη, ανοχή σε λάθη  $\pm 10\%$ . Ο αισθητήρας θα πρέπει να αντιλαμβάνεται 100 διακριτές τιμές. Οι τιμές αυτές αναπαρίστανται σε 7 bits πληροφορίας, αφού  $2^7=128$ .

## 4.3 Μέτρηση Θερμοκρασίας Περιβάλλοντος

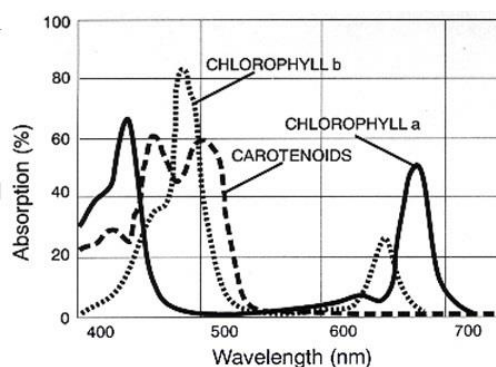
Η θερμοκρασία ενός εσωτερικού χώρου δεν είναι ποτέ χαμηλότερη από 10°C στο οικιακό περιβάλλον, αλλά ούτε και ανώτερη των 60°C [13]. Απαιτείται ένας αισθητήρας θερμοκρασίας, ο οποίος να αντιλαμβάνεται τιμές μέσα σε αυτά τα πλαίσια. Δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στην μέτρηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος για την ανάπτυξη των φυτών, και μπορεί ο αισθητήρας να έχει ανοχή λάθους έως  $\pm 2$  βαθμούς Κελσίου. Απαιτείται η λήψη μετρήσεων στο διάστημα από 10 έως 60 βαθμούς Κελσίου, με ανοχή έως  $\pm 2$  βαθμούς Κελσίου. Υπάρχουν 50 ακέριες τιμές συν 50 δεκαδικές. Έτσι ο αισθητήρας θα πρέπει να αντιλαμβάνεται συνολικά 100 διακριτές τιμές. Οι τιμές αυτές αναπαριστώνται σε 7 bits πληροφορίας, αφού  $2^7=128$ .

## 4.4 Προδιαγραφές Λαμπτήρων

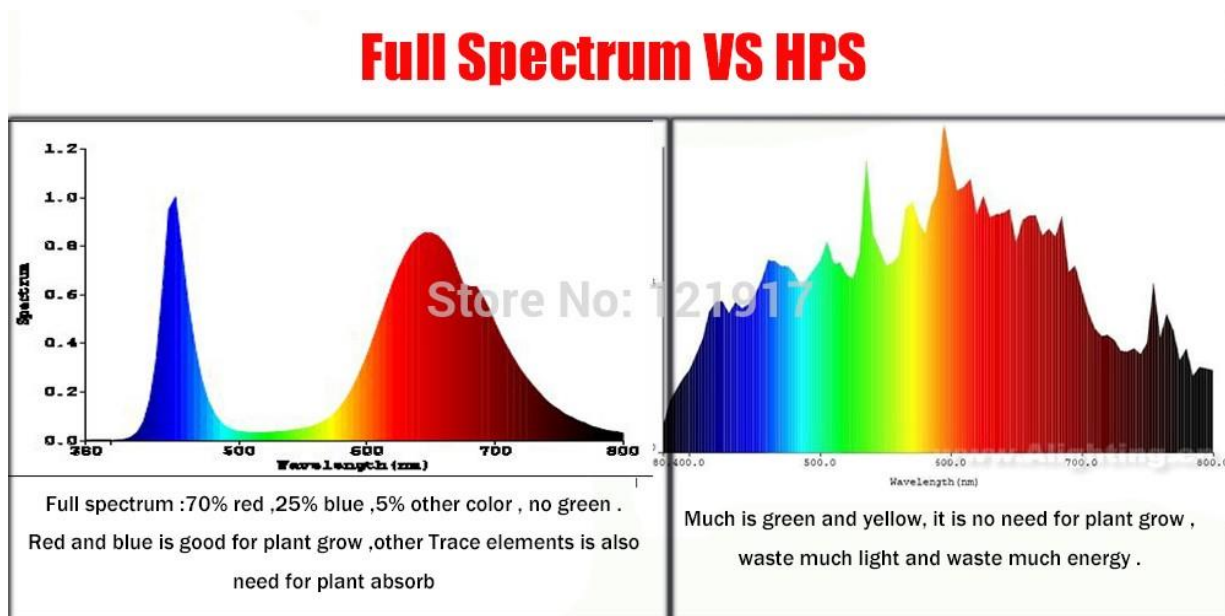
Το φως, όπως περιεγράφηκε στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Σχετική Έρευνα), αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την ανάπτυξη των φυτών. Στις δύο παρακάτω εικόνες, φαίνεται το μήκος κύματος στο οποίο τα φυτά απορροφούν την χλωροφύλλη (από 390 – 770nm (ορατή ακτινοβολία)), αλλά και ο ρυθμός φωτοσύνθεσης συναρτήσει του μήκους κύματος.



Σχήμα 4-14 Σχέση ρυθμού φωτοσύνθεσης – μήκους κύματος [32]



Σχήμα 4-15 Σχέση απορρόφησης συστατικών – μήκους κύματος [32]



Εικόνα 4-1 Φάσμα ακτινοβολίας που απορροφούν τα φυτά - πλήρες φάσμα [33]

Μελετώντας την παραπάνω εικόνα, συμπεραίνεται πως η μπλε και η κόκκινη ακτινοβολία ευνοούν την ανάπτυξη των φυτών. Στα υπόλοιπα μήκη κύματος η ακτινοβολία δεν συνεισφέρει στην ανάπτυξη τους. Το κόκκινο επιταχύνει την ανάπτυξη των φύλλων, ενώ το μπλε βοηθά στην ανάπτυξη των ανθών. Απαιτείται το σύστημα να είναι εξοπλισμένο με κόκκινους και μπλε λαμπτήρες. Η κάθε οικογένεια φυτών έχει διαφορετικές ανάγκες σε μπλε και σε κόκκινη ακτινοβολία. Θα υπάρχουν transistors τα οποία θα ελέγχουν ποια ακτινοβολία θα εκπέμπεται σε ποιο φυτό με στόχο την βέλτιστη ανάπτυξη του φυτού, αλλά και την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, αφού δεν θα δαπανάται ενέργεια σε ακτινοβολία που δεν είναι χρήσιμη για τα φυτά.

## 4.5 Μέτρηση Οπτικής Ακτινοβολίας

Ο αισθητήρας οπτικής ακτινοβολίας θα πρέπει να είναι σε θέση να αντιλαμβάνεται αν το φως του δωματίου στο οποίο βρίσκεται το θερμοκήπιο εμπεριέχει μπλε ή/και κόκκινη ακτινοβολία. Κρίνεται απαραίτητη η χρήση δύο αισθητήρων οπτικής ακτινοβολίας. Ένας για να αντιλαμβάνεται την μπλε και ένας για να αντιλαμβάνεται την κόκκινη ακτινοβολία.

## 4.6 Επικοινωνία Θερμοκηπίου με τους Αισθητήρες

Η λειτουργία του θερμοκηπίου στηρίζεται στον κύκλο ανάδρασης που έχει περιγραφεί παραπάνω. Η ανάγνωση των τιμών των αισθητήρων από την μονάδα ελέγχου. Η σύνδεση μεταξύ των δύο αυτών μονάδων είναι ενσύρματη. Οι αισθητήρες μπορεί να είναι είτε αναλογικοί, είτε ψηφιακοί. Αν είναι αναλογικοί, η τάση που αναπτύσσεται μετατρέπεται σε ψηφιακό σήμα μέσω ενός ADC (Analog to Digital Converter) και έπειτα μεταφράζεται από την μονάδα ελέγχου στο μέγεθος το οποίο μετριέται. Αν είναι ψηφιακοί η έξοδος συνδέεται απευθείας στην μονάδα ελέγχου.

## 4.7 Επικοινωνία Θερμοκηπίου με τους Ενεργοποιητές

Η μονάδα ελέγχου ενεργοποιεί και απενεργοποιεί τους ενεργοποιητές όποτε αυτό είναι απαραίτητο. Από μια ψηφιακή έξοδο θα ενεργοποιείται ένα transistor, και τότε θα λειτουργεί ο ενεργοποιητής. Στην αντίθετη περίπτωση το σήμα προς το transistor θα είναι μηδενικό, ώστε να απενεργοποιείται. Σύμφωνα με τα όρια τιμών που έχει λάβει η μονάδα ελέγχου από τον server, θα άγει το ρεύμα στο transistor όση ώρα απαιτείται μέχρι η ανάδραση από τους αισθητήρες να εξισώσει τα όρια αυτά.

## 4.8 Σύνδεση & Λειτουργία Συσκευής TCP

Η διασύνδεση μεταξύ της συσκευής TCP και της μονάδας ελέγχου γίνεται μέσω των ψηφιακών εισόδων-εξόδων (GPIOs) της μονάδας ελέγχου. Το πρωτόκολλο με το οποίο συνδέεται η συσκευή θα στέλνει και θα λαμβάνει τα δεδομένα είτε σειριακά είτε παράλληλα. Το είδος του πρωτοκόλλου που θα χρησιμοποιηθεί θα εξαρτηθεί από το ποια συσκευή θα χρησιμοποιηθεί.

## 4.9 Σύνδεση Συσκευής TCP με το Οικιακό Δίκτυο

Η συσκευή TCP θα λειτουργεί ως access point. Αρχικά ο χρήστης θα εισάγει το SSID και το password που απαιτείται για την σύνδεση της με το οικιακό δίκτυο. Η παραπάνω διαδικασία θα εκτελείται μόνο μια φορά. Η συσκευή θα είναι σε θέση να απομνημονεύει τα στοιχεία για την σύνδεση στο συγκεκριμένο δίκτυο WiFi. Η σύνδεση αυτή θα γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου IEEE 802.11.

## 4.10 Επικοινωνία Συσκευής TCP με τον Server

Όταν εγκατασταθεί ασφαλής σύνδεση μεταξύ της συσκευής TCP και του ασύρματου οικιακού δικτύου WiFi, η συσκευή θα είναι έτοιμη να διαβάσει ή να μεταδώσει δεδομένα από/προς τον server. Οι πληροφορίες που θα ανταλλάσσονται μεταξύ τους θα μεταδίδονται μέσω http GET requests χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο IEEE 802.11[14]. Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται ευρέως για την επικοινωνία συσκευών με το Internet. Μόνο το master θερμοκήπιο θα μπορεί να επικοινωνεί με τον server, καθώς μόνο αυτό θα είναι εξοπλισμένο με την συσκευή TCP.

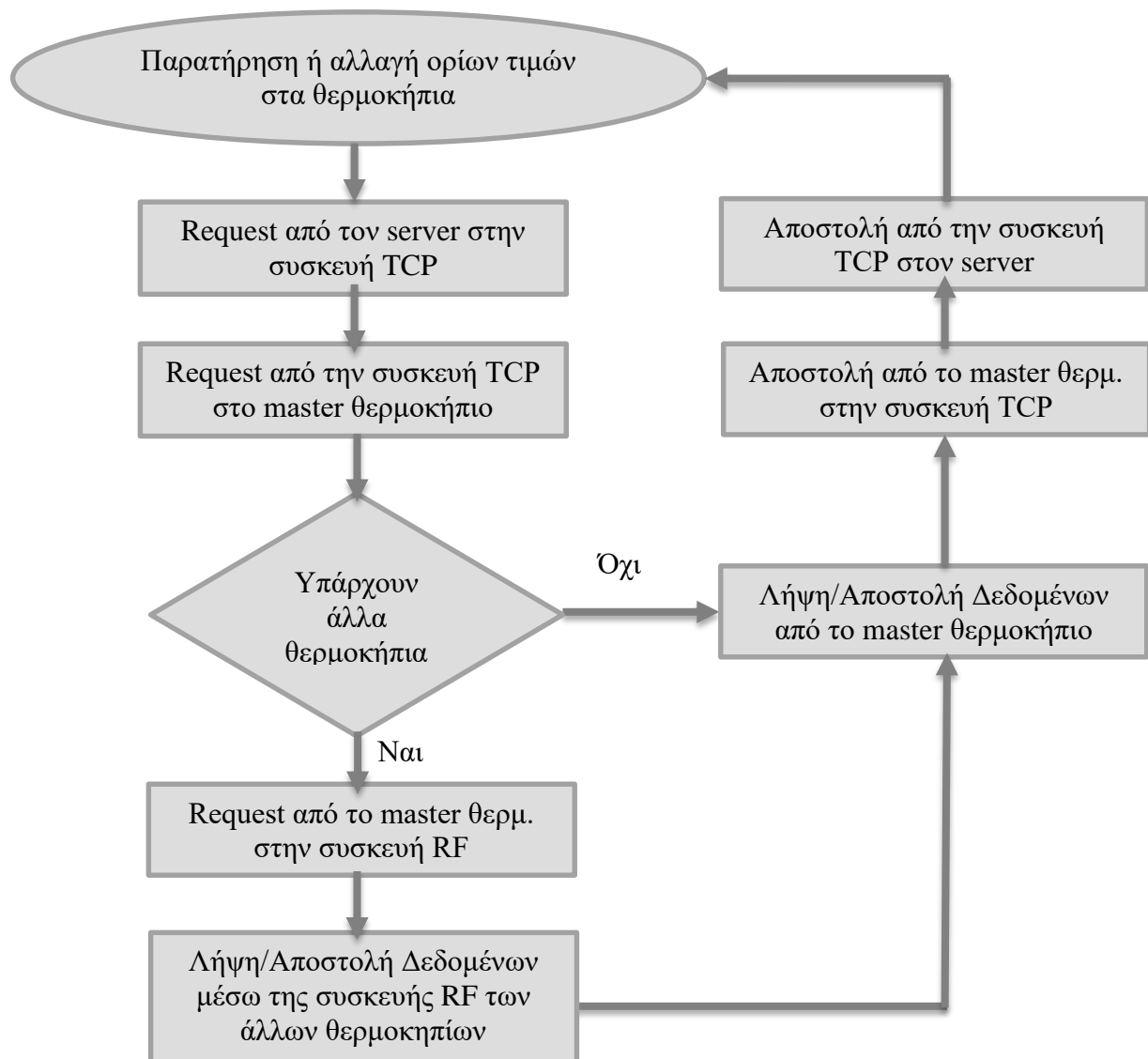
## 4.11 Επικοινωνία Θερμοκηπίων με τον Server

Αφού εγκατασταθεί η σύνδεση μεταξύ της συσκευής TCP και του server, θα μπορεί το master θερμοκήπιο να επικοινωνεί με αυτόν. Το master θερμοκήπιο θα επικοινωνεί με τα άλλα θερμοκήπια μέσω του RF δικτύου που θα εγκατασταθεί. Όποτε απαιτηθεί από τον server η συλλογή των τιμών των αισθητήρων όλων των θερμοκηπίων, το master θερμοκήπιο αρχικά θα τις συλλέγει, θα τις κωδικοποιεί και θα τις στέλνει πίσω στον server. Στην περίπτωση που ο server απαιτήσει να αλλάξουν τα όρια τιμών στα θερμοκήπια, θα σταλεί αίτημα από αυτόν στο master θερμοκήπιο και αυτό θα στείλει τις νέες τιμές στα άλλα μέσω της RF συσκευής. Η επικοινωνία μεταξύ του master θερμοκηπίου και του server γίνεται μέσω HTTP requests. Τα requests αυτά θα χρησιμοποιούν GET method. Θα πρέπει ακόμα να είναι σε θέση το master θερμοκήπιο να αντιληφθεί αν εισήγαγε ο χρήστης ένα επιπλέον θερμοκήπιο ή αν αφαιρέθηκε κάποιο. Ενημερώνει τον server για την κατάσταση του δικτύου και αυτός με την σειρά του τον χρήστη.

## 4.12 Σύνδεση Συσκευής RF & Επικοινωνία με τα άλλα Θερμοκήπια

Το ασύρματο δίκτυο αυτό χρησιμοποιεί διαφορετικό πρωτόκολλο από την συσκευή TCP, με στόχο την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας αλλά και του κόστους. Το πρωτόκολλο αυτό θα στέλνει και θα λαμβάνει τα δεδομένα είτε σειριακά είτε παράλληλα. Ανήκει στην οικογένεια πρωτοκόλλων επικοινωνίας RF (Radio Frequency). Τα πρωτόκολλα αυτά χαρακτηρίζονται από μειωμένη κατανάλωση ενέργειας, και οι συσκευές που τα χρησιμοποιούν λειτουργούν σε χαμηλή τάση. Το πρωτόκολλο αυτό θα οριστεί βάσει ποιας συσκευής θα χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία τους. Το δίκτυο αυτό θα πρέπει να έχει εμβέλεια τουλάχιστον 30 μέτρα, ώστε να έχει την δυνατότητα ο χρήστης να τοποθετήσει τα θερμοκήπια σε όποιον χώρο επιθυμεί.

## 4.13 Γενικό Διάγραμμα Ενεργειών



Σχήμα 4-16 Διάγραμμα ενεργειών για την παρατήρηση/αλλαγή των ορίων τιμών στα θερμοκήπια



Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται ο κύκλος ενεργειών που θα εκτελεί το σύστημα για την αποστολή τιμών από τον χρήστη στα θερμοκήπια, καθώς και για την λήψη τιμών από τα θερμοκήπια στον χρήστη. Αρχικά ο χρήστης θα επιλέγει από την σελίδα στον browser, ή από την εφαρμογή, αν θέλει να παρατηρήσει τις συνθήκες που επικρατούν στα θερμοκήπια, ή αν επιθυμεί να αλλάξει την οικογένεια των φυτών σε αυτά (τα όρια τιμών). Η ιστοσελίδα επικοινωνεί με τον server και μεταφέρει το request του χρήστη. Έπειτα ο server δρομολογεί ένα request για την συσκευή TCP. Η συσκευή αυτή λαμβάνει το request και το μεταφέρει στον μικροελεγκτή του master θερμοκηπίου. Εκεί ελέγχει ο μικροεπεξεργαστής αν υπάρχουν άλλα συνδεδεμένα θερμοκήπια στο δίκτυο RF. Αν υπάρχουν στέλνει ένα request σε αυτά μέσω της RF συσκευής και αυτά του επιστρέφουν είτε μια επαλήθευση ότι λήφθηκαν σωστά τα δεδομένα (οι νέες τιμές), είτε τις τιμές που κατέγραψαν οι αισθητήρες τους. Ο μικροεπεξεργαστής όταν λάβει τις πληροφορίες, εφόσον υπάρχουν άλλα θερμοκήπια, στέλνει αυτές μαζί με τις τιμές των δικών του αισθητήρων πίσω στην συσκευή TCP. Με την σειρά της αυτή στέλνει την πληροφορία στον server και από εκεί ο server στην ιστοσελίδα, όπου και εμφανίζεται στον χρήστη.

## 5

## ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Μοντέλο Συστήματος), παρουσιάστηκαν οι απαιτήσεις του συστήματος από τα εξαρτήματα που το υλοποιούν. Με γνώμονα τις απαιτήσεις αυτές, αλλά και το χαμηλό κόστος παρουσιάζονται παρακάτω τα εμπορικά διαθέσιμα προϊόντα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Γίνεται ανάλυση και σύγκριση μεταξύ αυτών.

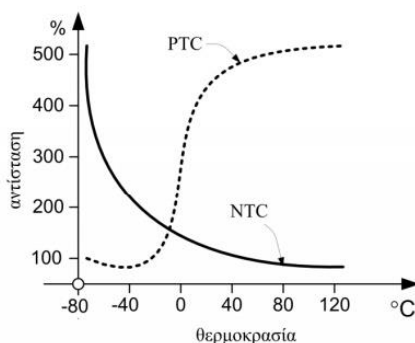
## 5.1 Επιλογή Αισθητήρα Μέτρησης Θερμοκρασίας

Υπάρχουν τέσσερα κύρια είδη αισθητήρων θερμοκρασίας.

- Θερμίστορ
- Αισθητήρας με αντίσταση (RTD)
- Θερμοζεύγη
- Ημιαγωγικοί

### 5.1.1 Θερμίστορ

Ο τρόπος λειτουργίας βασίζεται στο ότι μεταβάλλεται η ειδική αντίσταση, όσο μεταβάλλεται η θερμοκρασία. Η μεταβολή αυτή της ειδικής αντίστασης είναι μεγάλη και έντονα μη-γραμμική, για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως για ανιχνευτές θερμοκρασίας, και όχι για την ακριβή μέτρηση της. Υπάρχουν δύο είδη θερμίστορ, το NTC (Negative Temperature Coefficient) και το PTC (Positive Temperature Coefficient). Η διαφορά τους έγκειται στο ότι στο πρώτο αυξάνεται η ειδική αντίσταση όσο χαμηλώνει η θερμοκρασία, ενώ στο δεύτερο αυξάνεται όσο αυξάνεται και η θερμοκρασία. Κυρίως χρησιμοποιείται τύπου NTC για τους αισθητήρες θερμοκρασίας. [7]



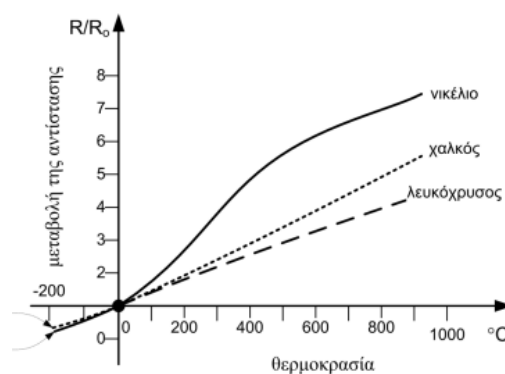
Σχήμα 5-1 Ποσοστιαία μεταβολή της ονομαστικής αντίστασης σε σχέση με την θερμοκρασία για θερμίστορ και των δύο τύπων [7]

Πίνακας 5-1 Χαρακτηριστικά θερμίστορ

Γραμμικότητα	Μικρή
Εύρος τιμών	Μικρό
Ακρίβεια	Πολύ μεγάλη
Κόστος	Χαμηλό

### 5.1.2 Αισθητήρας με Αντίσταση (RTD)

Οι λειτουργία των αισθητήρων αυτών βασίζεται στο φαινόμενο της μεταβολής της ειδικής αντίστασης ενός αγωγού με την μεταβολή της θερμοκρασίας. Έχουν μεγάλο εύρος τιμών και χαρακτηρίζονται από μεγάλη ακρίβεια. Οι αντιστάτες αυτοί κατασκευάζονται από μέταλλα ή από κράματα μετάλλων. Τα συνηθέστερα μέταλλα που χρησιμοποιούνται είναι ο χαλκός, ο λευκόχρυσος και το νικέλιο. [7]



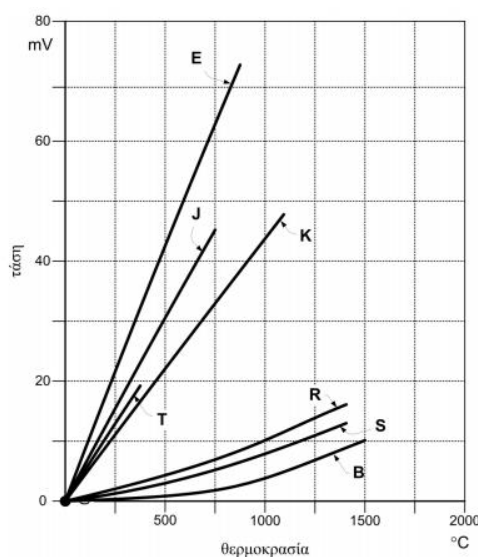
Σχήμα 5-2 Μεταβολή της αντίστασης σε σχέση με την θερμοκρασία για τα παραπάνω μέταλλα [7]

Πίνακας 5-2 Χαρακτηριστικά αισθητήρων RTD

Γραμμικότητα	Μεγάλη
Εύρος τιμών	Μεγάλο
Ακρίβεια	Μεγάλη
Κόστος	Υψηλό

### 5.1.3 Θερμοζεύγη

Αποτελούνται από δύο διαφορετικά μέταλλα ή κράματα μετάλλων ενωμένα στο ένα άκρο τους. Σύμφωνα με το φαινόμενο Seebeck, σε έναν αγωγό με διαφορετική θερμοκρασία στα δύο άκρα του, οι ελεύθεροι φορείς διαχέονται από την κρύα περιοχή δημιουργώντας ηλεκτρική τάση. Αυτή είναι και η αρχή λειτουργίας αυτού του τύπου αισθητήρα. Οι αισθητήρες αυτοί παρουσιάζουν αρκετά μεγάλη γραμμικότητα, παρόλο που ο συντελεστής Seebeck μεταβάλλεται μη-γραμμικά με την θερμοκρασία. [7]



Σχήμα 5-3 Τάση εξόδου αναλόγως την θερμοκρασία για διάφορους τύπους θερμοζευγών [7]

Πίνακας 5-3 Χαρακτηριστικά θερμοζευγών

Γραμμικότητα	Μεγάλη
Εύρος τιμών	Πολύ Μεγάλο
Ακρίβεια	Μεγάλη
Κόστος	Υψηλό

### 5.1.4 Ημιαγωγικοί

Οι αισθητήρες αυτοί λειτουργούν με την λογική, πως όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, αυξάνεται και η τάση στη δίοδο με έναν γνωστό ρυθμό (ουσιαστικά μετρούν την πτώση τάσης ανάμεσα στην βάση και στον εκπομπό του transistor). Χαρακτηρίζονται από μεγάλη ακρίβεια, υψηλή γραμμικότητα, αλλά μικρό εύρος τιμών. [7]

Πίνακας 5-4 Χαρακτηριστικά ημιαγωγικών αισθητήρων

<b>Γραμμικότητα</b>	Πολύ μεγάλη
<b>Εύρος τιμών</b>	Μικρό
<b>Ακρίβεια</b>	Μεγάλη
<b>Κόστος</b>	Πολύ χαμηλό

Πίνακας 5-5 Συγκριτικός πίνακας τύπων αισθητήρων θερμοκρασίας

Ιδιότητες\Τύπος	Θερμοζεύγη	RTD	Θερμίστορ	Ημιαγωγικοί
<b>Ευαισθησία</b>	Δεκάδες $\mu V/^{\circ}C$	0.00300 έως $0.00672 \frac{\Omega}{^{\circ}C}$	Εκατοντάδες $\Omega/^{\circ}C$	Δεκάδες $mV/^{\circ}C$
<b>Περιοχή μέτρησης</b>	-250°C- +1700°C	-260°C - +850°C	-60°C - +300°C	-25°C - 105°C
<b>Ελάχιστη διάμετρος</b>	0.0625mm	2mm	0.25mm	2.5mm
<b>Πλεονεκτήματα</b>	Δεν απαιτείται τάση τροφοδοσίας, μεγάλη περιοχή μέτρησης	Καλύτερη γραμμικότητα από τα θερμοζεύγη, μεγάλη ακρίβεια	Υψηλή ευαισθησία	Πολύ καλή γραμμικότητα, χαμηλό κόστος
<b>Μειονεκτήματα</b>	Απαιτείται αντιστάθμιση ψυχρής περιοχής, χαμηλή τάση εξόδου	Απαιτείται τάση τροφοδοσίας, απαιτούνται 3 ή 4 αγωγοί για μέτρηση με ακρίβεια	Μη-γραμμικό, απαιτείται τάση τροφοδοσίας	Απαιτείται τάση τροφοδοσίας, μικρό εύρος μέτρησης

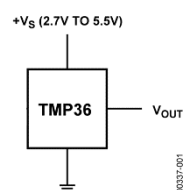
### 5.1.5 Συμπεράσματα

Τα θερμοζεύγη παράγουν πάρα πολύ μικρή τάση εξόδου ( $50\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ,  $1\text{ uV} = 10^{-6}\text{V}$ ) και έτσι απαιτείται ή εξωτερική τροφοδοσία ή πολλά θερμοζεύγη συνδεδεμένα σε σειρά (θερμοστήλη). Ακόμα πρέπει να αντισταθμιστεί η ψυχρή περιοχή, δηλαδή να γνωρίζουμε την ακριβή θερμοκρασία στον έναν ακροδέκτη, κάτι το οποίο δεν είναι εύκολα υλοποιήσιμο. Οι αισθητήρες τύπου RTD έχουν χαμηλότερη ευαισθησία, αλλά μεγαλύτερη ακρίβεια (επιτυγχάνεται με χρήση τεσσάρων αγωγών) σε σχέση με τα θερμίστορ. Όμως το κόστος τους είναι και αρκετά ανώτερο (+70%). Στην πολυπλοκότητα και στο κόστος των θερμίστορ και των RTD αισθητήρων προστίθεται και η ανάγκη ενός κυκλώματος για την μετατροπή από  $\Omega$  σε τάση (V), ώστε να “διαβάζεται” από την είσοδο του μικροελεγκτή. Λόγω των παραπάνω κρίνεται πιο κατάλληλο ένας ημιαγωγικός αισθητήρας, αφού παρέχει αρκετή ακρίβεια για την συγκεκριμένη εφαρμογή ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ), το εύρος λειτουργίας επαρκεί, το κόστος είναι αρκετά χαμηλότερο σε σχέση με των άλλων τύπων αισθητήρων και η πολυπλοκότητα είναι πολύ μικρή.

### 5.1.6 Σύγκριση των Δημοφιλέστερων Ημιαγωγικών Αισθητήρων

Με τον όρο δημοφιλέστεροι εννοούνται οι αισθητήρες, που είναι εύκολα εμπορικά διαθέσιμοι αλλά και οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε παρόμοια projects χαμηλού κόστους και με ανάλογες απαιτήσεις. Αυτοί οι αισθητήρες είναι ο TMP36 της εταιρείας ANALOG DEVICES, ο LM35 της TEXAS INSTRUMENTS, ο TCN75A της MICROCHIP και ο DS18B20 της MAXIM INTEGRATED.

#### 5.1.6.1 TMP36



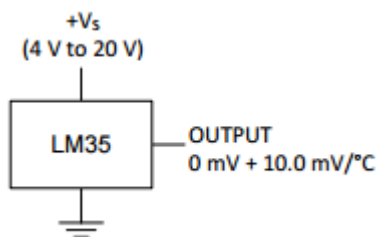
Εικόνα 5-1 TMP36 [19]

Ο TMP36 είναι ένας αισθητήρας χαμηλής τάσης, με αναλογική έξοδο [19]. Η τάση αυτή είναι ανάλογη της θερμοκρασίας, με scale factor  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ . Για τον λόγο αυτό δεν χρειάζεται επιπλέον βαθμονόμηση. Έτσι απλοποιείται αρκετά ο κώδικας που απαιτείται για την ανάγνωση των τιμών του αισθητήρα.

Πίνακας 5-6 Χαρακτηριστικά TMP36

Τάση τροφοδοσίας	2.7V – 5.5V
Εύρος λειτουργίας	-40°C - +125°C
Απόκλιση στους 25°C	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
Μέση απόκλιση	$\pm 2^{\circ}\text{C}$
Ρεύμα λειτουργίας	50μΑ
Έξοδος	Αναλογική
Πρωτόκολλο επικοινωνίας	one wire
Κόστος	1.60 ευρώ

#### 5.1.6.2 LM35



Εικόνα 5-2 LM35 [20]

Λειτουργεί ακριβώς με τον ίδιο τρόπο, όπως ο παραπάνω, όμως χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερο εύρος λειτουργίας, αλλά η τάση τροφοδοσίας είναι αυξημένη [20].

Πίνακας 5-7 Χαρακτηριστικά LM35

Τάση τροφοδοσίας	4V – 20V
Εύρος λειτουργίας	-55°C - +150°C
Απόκλιση στους 25°C	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
Μέση απόκλιση	$\pm 0.75^{\circ}\text{C}$
Ρεύμα λειτουργίας	60μΑ
Έξοδος	Αναλογική
Πρωτόκολλο επικοινωνίας	one wire
Κόστος	1.60 ευρώ

### 5.1.6.3 TCN75A



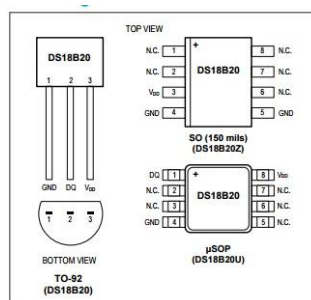
Εικόνα 5-3 TCN75A [21]

Το πλεονέκτημα αυτού του αισθητήρα είναι πως είναι ολοκληρωμένος [21]. Δηλαδή παράγει ψηφιακή έξοδο, αλλά και για αυτόν τον λόγο καταναλώνει περισσότερο ρεύμα. Διαθέτει σύστημα ελέγχου για τον αν η θερμοκρασία ξεπεράσει μια ορισμένη τιμή, και στέλνει σήμα alarm στον μικροελεγκτή.

Πίνακας 5-8 Χαρακτηριστικά TCN75A

Τάση τροφοδοσίας	2.7V – 5.5V
Εύρος λειτουργίας	-40°C - +125°C
Απόκλιση στους 25°C	±1°C
Μέση απόκλιση	±2°C
Ρεύμα λειτουργίας	200μΑ
Έξοδος	Ψηφιακή
Πρωτόκολλο επικοινωνίας	I <sup>2</sup> C
Κόστος	6 ευρώ

### 5.1.6.4 DS18B20



Εικόνα 5-4 DS78B20 [22]

Ο DS18B20 έχει όμοιο τρόπο λειτουργίας με τον παραπάνω [22]. Η επικοινωνία με τον μικροελεγκτή γίνεται χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο OneWire®, το οποίο επιτρέπει την ένωση πολλών τέτοιων αισθητήρων, δεσμεύοντας στην αναπτυξιακή πλακέτα μία μόνο είσοδο. Η πολυπλοκότητα μειώνεται και απλουστεύεται η διασύνδεση.



Πίνακας 5-9 Χαρακτηριστικά DS18B20

Τάση τροφοδοσίας	3V – 5.5V
Εύρος λειτουργίας	-55°C - +125°C
Απόκλιση στο εύρος -10°C - +85°C	±0.5°C
Μέση απόκλιση	±2°C
Ρεύμα λειτουργίας	1mA
Έξοδος	Ψηφιακή
Πρωτόκολλο επικοινωνίας	OneWire® protocol
Κόστος	5.5 ευρώ

Πίνακας 5-10 Συγκριτικός πίνακας των παραπάνω αισθητήρων

Ιδιότητες/Αισθητήρες	TMP36	LM35	TCN75A	DS18B20
Τάση τροφοδοσίας	2.7V – 5.5V	4V – 20V	2.7V – 5.5V	3V – 5.5V
Εύρος λειτουργίας	-40°C - +125°C	-55°C - +150°C	-40°C - +125°C	-55°C - +125°C
Απόκλιση στους +25°C	±1°C	±0.5°C	±1°C	±0.5°C
Μέση απόκλιση	±2°C	±0.75°C	±2°C	±2°C
Ρεύμα λειτουργίας	50μΑ	60μΑ	200μΑ	1mA
Έξοδος	Αναλογική	Αναλογική	Ψηφιακή	Ψηφιακή
Πρωτόκολλο επικοινωνίας	One wire	One wire	I <sup>2</sup> C	OneWire® protocol
Κόστος	1.60 ευρώ	1.60 ευρώ	6 ευρώ	5.5 ευρώ
Μέση Κατανάλωση Ενέργειας @ 3.3V	165μW	-	660μW	3.3mW
Μέση Κατανάλωση Ενέργειας @ 5V	250μW	300μW	1mW	5mW

### 5.1.7 Συμπεράσματα

Το μήκος του καλωδίου που θα συνδέει την αναπτυξιακή πλακέτα και τον αισθητήρα θερμοκρασίας δεν θα υπερβαίνει τα 20cm. Η τάση τροφοδοσίας του αισθητήρα είναι σταθερή και δεν υπάρχουν πηγές ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών. Για τους παραπάνω λόγους δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί ψηφιακός αισθητήρας. Υπολογίζοντας και το κόστος, κρίνεται πως η επιλογή ενός αναλογικού αισθητήρα είναι κατάλληλη για την εφαρμογή. Κριτήριο επιλογής ανάμεσα στον TMP36 και στον LM35 τέθηκε η κατανάλωση ενέργειας, αφού και οι δύο πληρούν τις απαιτήσεις αναφορικά με το εύρος λειτουργίας και την μέση απόκλιση θερμοκρασίας.

### 5.1.8 Χαρακτηριστικά TMP36

#### 5.1.8.1 Γενικές Πληροφορίες Συσκευής

Ο αναλογικός αισθητήρας TMP36, ανήκει στην οικογένεια TMP3x της εταιρείας ANALOG DEVICES. Είναι χαμηλής τάσης (2.7V – 5V) με γραμμική έξοδο, και είναι βαθμονομημένος απευθείας σε βαθμούς κελσίου (°C). Έχει εύρος λειτουργίας από -40°C έως +125°C και μέσο σφάλμα  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Το ρεύμα που διαρρέεται κατά την λειτουργίας της συσκευής είναι 50μΑ.

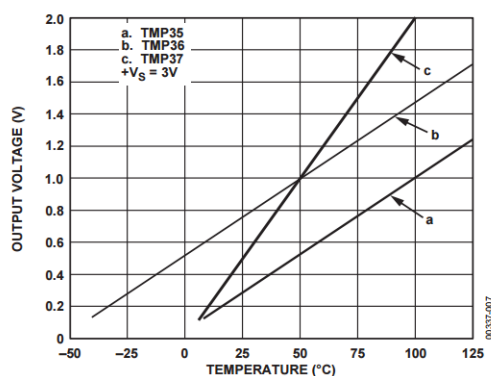
Πίνακας 5-11 Αναλυτικά χαρακτηριστικά (1) TMP36

Χαρακτηριστικά	Τιμές
Τάση τροφοδοσίας	2.7V – 5.5V
Εύρος λειτουργίας	-40°C - +125°C
Ρεύμα λειτουργίας	50μΑ
Έξοδος	Αναλογική
Πρωτόκολλο επικοινωνίας	One wire

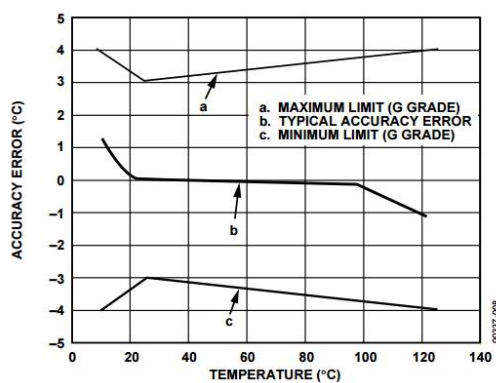
Πίνακας 5-12 Αναλυτικά χαρακτηριστικά (2) TMP36

Παράμετρος	Μέση	Max
Σφάλμα	$\pm 1^\circ\text{C}$	$\pm 2^\circ\text{C}$
Scale factor	10mV/°C	10mV/°C
Γραμμικότητα	0.5	-

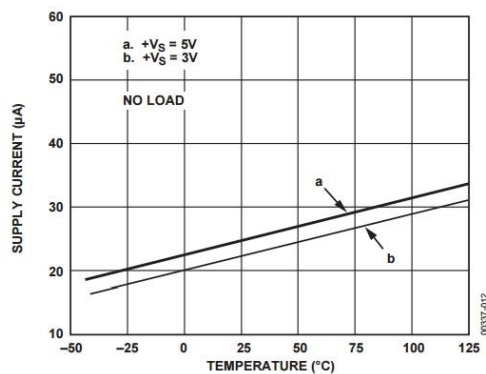
Μακροχρόνια απόκλιση @150 °C για 1000h λειτουργίας	0.4°C	-
Τάση εξόδου @25°C	750mV	-
Απόκριση	0.5ms	1ms



Σχήμα 5-4 Σχέση θερμοκρασίας - τάσης εξόδου [19]

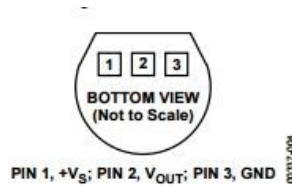


Σχήμα 5-5 Σχέση θερμοκρασίας – σφάλματος [19]



Σχήμα 5-6 Σχέση θερμοκρασίας – ρεύματος τροφοδοσίας [19]

### 5.1.8.2 Σύνδεση με τον Μικροελεγκτή



Εικόνα 5-5 Bottom view TMP36 [19]

Η σύνδεση του αισθητήρα στην πλακέτα είναι αρκετά απλή και δεν χρειάζεται κάποιο άλλο ηλεκτρικό/ηλεκτρονικό στοιχείο. Συνδέεται το pin 1 στην τάση τροφοδοσίας, και το pin 3 στην γείωση. Το pin 2 που μεταφέρει τα δεδομένα συνδέεται σε μια αναλογική είσοδο της πλακέτας.

### 5.1.8.3 Επικοινωνία με τον Μικροελεγκτή

Η επικοινωνία του αισθητήρα με τον μικροελεγκτή γίνεται χρησιμοποιώντας ένα μόνο καλώδιο. Η αναπτυξιακή πλακέτα μετατρέπει το αναλογικό σήμα της εξόδου του αισθητήρα σε ψηφιακό, μέσω ενός analog to digital converter (ADC). Έπειτα για την μετατροπή του σήματος αυτού σε μονάδες Κελσίου γίνονται οι παρακάτω υπολογισμοί αναλόγως την τάση εισόδου του αισθητήρα.

#### 5.1.8.4 Μετατροπή του Σήματος Εξόδου

Για τάση τροφοδοσίας αισθητήρα = 5V

**Τάση εξόδου αισθητήρα = (ανάγνωση από τον Analog to Digital Converter (ADC) του μικροελεγκτή) \* (5000/1024).**

Για τάση τροφοδοσίας αισθητήρα = 3.3V

**Τάση εξόδου αισθητήρα = (ανάγνωση από τον Analog to Digital Converter (ADC) του μικροελεγκτή) \* (3300/1024).**

Οι παραπάνω δύο τύποι μετατρέπουν την έξοδο του ADC (παίρνει τιμές από 0-1023) σε 0-5000mV ή σε 0-3300mV αντίστοιχα.

**Βαθμοί Κελσίου = [(Τάση εξόδου αισθητήρα σε mV) - 500] / 10.**

### 5.1.8.5 Δειγματοληψία

Δεν απαιτείται μεγάλη συχνότητα δειγματοληψίας για την συγκεκριμένη εφαρμογή, καθώς οι θερμοκρασιακές συνθήκες ενός δωματίου δεν μεταβάλλονται με μεγάλο ρυθμό, όπως φάνηκε στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Μοντέλο Συστήματος). Κρίνεται κατάλληλη συχνότητα δειγματοληψίας ένα δείγμα ανά μία ώρα. Ο αισθητήρας λαμβάνει συνέχεια μετρήσεις. Διαρρέεται μονίμως από ρεύμα, κι αν μην δειγματοληπτεί ο μικροελεγκτής. Η κατανάλωση του υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο, με τάση λειτουργίας 3.3V.

$$P=24h*(\text{ρεύμα που διαρρέει τον αισθητήρα (A)} * \text{τάση τροφοδοσίας αισθητήρα (V)})$$

$$P=24h*((50*10^{-6})A * 3.3V)=0.00396Wh/\text{ημέρα}.$$

Πίνακας 5-13 Κατανάλωση ενέργειας TMP36

Κατανάλωση/ημέρα	Κατανάλωση/μήνα	Κατανάλωση/χρόνο
0.00396Wh	0.12Wh	1.473Wh

Μπορεί να παρεμβληθεί μεταξύ του αισθητήρα και της τροφοδοσίας του ένα transistor, το οποίο θα άγει το ρεύμα μόνο για 1ms (maximum χρόνος που απαιτείται για την μέτρηση) ανά 1 ώρα. Έτσι επιτυγχάνεται μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, και ο αισθητήρας τροφοδοτείται μόνο όταν πρέπει να δειγματοληπτήσει. Υπάρχουν κάποιες επιπλέον απώλειες ενέργειας ακόμα και όταν το transistor είναι OFF, λόγω του ότι διαρρέεται πολύ μικρό ρεύμα στο transistor, αλλά και στον αισθητήρα. Οι απώλειες αυτές θεωρούνται αμελητέες, αφού το ρεύμα που τα διαρρέει είναι της τάξεως των μερικών δεκάδων nA. Ο τύπος υπολογισμού της κατανάλωσης ενέργειας μεταβάλλεται, όπως φαίνεται παρακάτω.

$$P=24h*((50*10^{-6})A * 3.3V)*\frac{10^{-3}}{3600})=0.0000000011=0.0011*10^{-6}Wh/\text{ημέρα}.$$

Πίνακας 5-14 Κατανάλωση ενέργειας TMP36 με παρεμβολή τρανζίστορ

Κατανάλωση/ημέρα	Κατανάλωση/μήνα	Κατανάλωση/χρόνο
$0.0011*10^{-6}Wh$	$0.0341*10^{-6}Wh$	$0.4092*10^{-6}Wh$

Χρησιμοποιώντας μια 9V μπαταρία, με μέση αποθηκευμένη ενέργεια 3.5592Wh, συγκρίνεται στον παρακάτω πίνακα η διάρκεια ζωής της, χρησιμοποιώντας τις δύο παραπάνω μεθόδους σύνδεσης του αισθητήρα.

Πίνακας 5-15 Συγκριτικός πίνακας κατανάλωσης ενέργειας για τις δύο συνδεσμολογίες

Καταναλώσεις/σύνδεση	Χωρίς transistor	Με transistor
Κατανάλωση/ημέρα	0.00396Wh	$0.011 \cdot 10^{-6} \text{Wh}$
Κατανάλωση/μήνα	0.12Wh	$0.341 \cdot 10^{-6} \text{Wh}$
Κατανάλωση/χρόνο	1.473Wh	$4.092 \cdot 10^{-6} \text{Wh}$
Χρόνος ζωής μπαταρίας 9V	2.4 χρόνια	$\gg 5$ χρόνια

## 5.2 Επιλογή Αισθητήρα Μέτρησης Εδαφικής Υγρασίας

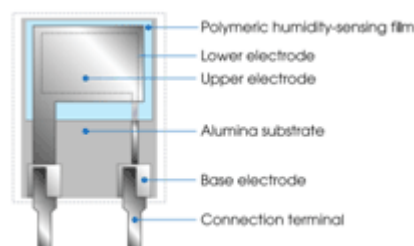
Όπως περιεγράφηκε και στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Μοντέλο Συστήματος), απαιτείται η χρήση ενός αισθητήρα υγρασίας εδάφους με μέγιστη ανοχή σε λάθη  $\pm 10\%$ . Σχετική υγρασία (relative humidity, RH) είναι ο λόγος της ποσότητας ή της μάζας των υδρατμών, που περιέχει το χώμα, προς εκείνη την ποσότητα ή το βάρος των υδρατμών τους οποίους μπορεί να συμπεριλάβει (υπό την αυτή θερμοκρασία και πίεση) μέχρις ότου αυτό κορεσθεί.

Υπάρχουν δύο κύριοι μέθοδοι για τον υπολογισμό της υγρασίας εδάφους.

- Χωρητικός
- Αισθητήρας με αντίσταση

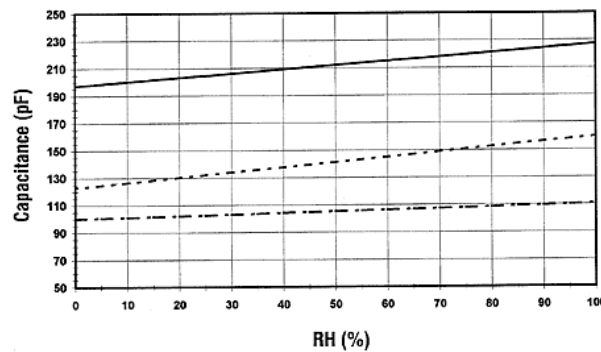
### 5.2.1 Χωρητικός

Οι αισθητήρες αυτοί αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια, που ανάμεσα τους υπάρχει κάποιο υγροσκοπικό διηλεκτρικό υλικό. Έτσι σχηματίζεται ένας πυκνωτής. Το διηλεκτρικό υλικό είναι συνήθως πλαστικό ή κάποιο πολυμερές, με γνωστή τη διηλεκτρική σταθερά, που κυμαίνεται από 2 έως 15. Όσο μεγαλύτερα είναι τα ποσοστά υγρασίας τόσο μεγαλύτερη είναι και η τιμή της χωρητικότητας. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι πως το κόστος τέτοιων αισθητήρων είναι σχετικά χαμηλό. Το μειονέκτημα της είναι πως η διάρκεια ζωής τους επηρεάζεται από το είδος του εδάφους, καθώς και από τα οργανικά του συστατικά.



Εικόνα 5-6 Χωρητικός αισθητήρας [34]

Σε αυτήν την εικόνα, φαίνεται πως είναι η δομή ενός τέτοιου αισθητήρα (της εταιρείας TDK). Σε υπόστρωμα οξειδίου του αλουμινίου, σχηματίζεται το κάτω ηλεκτρόδιο που συνήθως κατασκευάζεται από χρυσό, πλατίνα ή από κάποιο άλλο μέταλλο. Ένα στρώμα (layer) πολυμερούς τοποθετείται πάνω στο ηλεκτρόδιο. Αυτό είναι και το διηλεκτρικό υλικό του πυκνωτή. Πάνω από αυτό τοποθετείται το πάνω ηλεκτρόδιο. Οι ατμοί εισέρχονται και εξέρχονται από το υγροσκοπικό στρώμα, ως ότου η περιεκτικότητα των ατμών έρθει σε ισορροπία με τον ατμοσφαιρικό αέρα. [7]



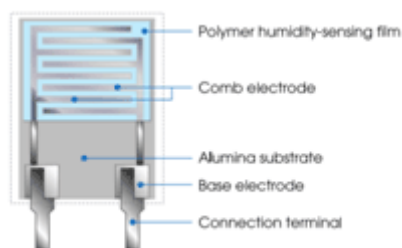
Σχήμα 5-7 Σχέση χωρητικότητας - σχετικής υγρασίας (RH), στους 25°C [35]

Πίνακας 5-16 Χαρακτηριστικά χωρικών αισθητήρων

Γραμμικότητα	Μεγάλη
Ακρίβεια	Μεγάλη
Κόστος	Υψηλό

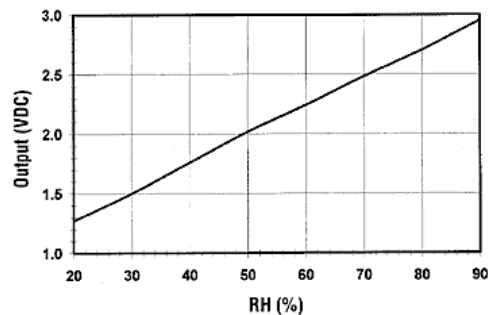
### 5.2.2 Αισθητήρας με Αντίσταση (Resistive Technique)

Σε αυτό το είδος αισθητήρων η τιμή της αντίστασης τους μεταβάλλεται, όσο μεταβάλλεται και η υγρασία. Οι αισθητήρες αυτοί είναι πολύ χαμηλού κόστους, αλλά η διάρκεια ζωής τους περιορίζεται, αφού τα ηλεκτρόδια οξειδώνονται, όταν παραμένουν διαρκώς στο χώμα. Ο μέσος χρόνος ζωής του αισθητήρα είναι 5 έτη, αφού φθείρεται από την είσοδο χημικών στο έδαφος (λίπασμα).

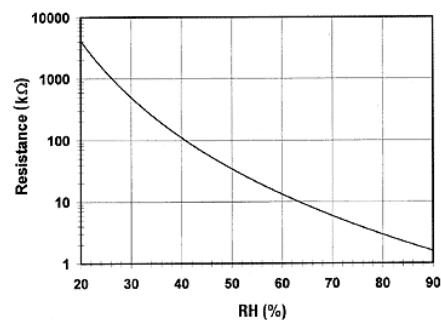


Εικόνα 5-7 Αισθητήρας με αντίσταση [34]

Σε αυτήν την εικόνα, παρουσιάζεται η δομή ενός τέτοιου αισθητήρα (της εταιρείας TDK). Λεπτά φιλμ από πολύτιμα μέταλλα, όπως είναι ο χρυσός και το οξείδιο του ρουθηνίου τυπώνονται σε σχήμα χτένας (comb), για τον σχηματισμό του ηλεκτροδίου. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται πάνω στο ηλεκτρόδιο ένα στρώμα (layer) πολυμερούς. Το στρώμα αυτό λειτουργεί ως μεμβράνη ανίχνευσης υγρασίας λόγω της ύπαρξης κινητών ιόντων. Μεταβολή της τιμής της αντίστασης συμβαίνει λόγω της αλλαγής του αριθμού των κινούμενων ιόντων.[7]



Σχήμα 5-8 Σχέση τάσης εξόδου – σχετικής υγρασίας [35]



Σχήμα 5-9 Σχέση αντίστασης – σχετικής υγρασίας [35]

Πίνακας 5-17 Χαρακτηριστικά αισθητήρων με αντίσταση

Γραμμικότητα	Πολύ χαμηλή
Ακρίβεια	Μεγάλη
Κόστος	Πολύ χαμηλό

Πίνακας 5-18 Συγκεντρωτικός πίνακας των παραπάνω τύπων αισθητήρων

Ιδιότητες/Είδος αισθητήρα	Χωρητικός	Με αντίσταση
Υπόστρωμα	Πολυμερές, πλαστικό	Πολυμερές
Εύρος λειτουργίας	0 – 100%	20 – 100%
Μέγιστη απόκλιση	±3% – ±5%	±3% – ±10%



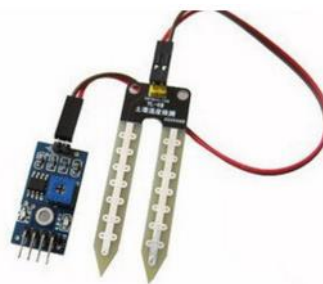
<b>Υστέρηση</b>	2% – 5% RH	3% – 6% RH
<b>Γραμμικότητα</b>	$\pm 1\%$ RH	Πολύ χαμηλή
<b>Απόκριση</b>	15 – 90 sec	2 – 5 min
<b>Εύρος λειτουργίας (°C)</b>	-30°C - +190°C	-10°C - +75°C
<b>Κόστος</b>	Υψηλό	Πολύ χαμηλό
<b>Πλεονεκτήματα</b>	Γραμμικότητα, Μικρή απόκλιση	Χαμηλό κόστος
<b>Μειονεκτήματα</b>	Υψηλό κόστος	Μη-γραμμικότητα, μικρό εύρος

### 5.2.3 Συμπεράσματα

Και οι δύο τύποι αισθητήρων κρίνονται κατάλληλοι για τις ανάγκες της εφαρμογής. Κριτήριο για την επιλογή τέθηκε το κόστος. Έτσι επιλέγεται ένας αισθητήρας με αντίσταση, όπου το κόστος του κυμαίνεται στα 3 ευρώ, έναντι ενός χωρικού αισθητήρα που το κόστος του οικονομικότερου υπερβαίνει τα 15. [12]

### 5.2.4 Χαρακτηριστικά Soil Hydrometer Module

#### 5.2.4.1 Γενικές Πληροφορίες Συσσκευής



Εικόνα 5-8 Soil Hydrometer Module [12]

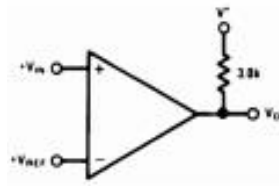
Ο παραπάνω αισθητήρας κατασκευάζεται από την εταιρεία Noa-labs, και χρησιμοποιεί voltage comparator (LM393 της Texas Instruments [24]), για την παραγωγή ψηφιακής εξόδου. Παράγει μια αναλογική και μια ψηφιακή έξοδο. Η αναλογική παρέχει περισσότερη ακρίβεια, όσον αφορά την μέτρηση. Η ψηφιακή έξοδος χρησιμοποιείται, όταν ο αισθητήρας λειτουργεί ως detector. Πρέπει να ρυθμιστεί το ποτενσιόμετρο, ώστε να οριστεί το threshold, για την παραγωγή του ψηφιακού σήματος.

Πίνακας 5-19 Χαρακτηριστικά Soil Hydrometer Module

Τάση τροφοδοσίας	3.3V – 5V
Εύρος λειτουργίας	-40°C - +125°C
Μέση απόκλιση	$\pm 5\%RH$
Ρεύμα λειτουργίας	0.4mA
Έξοδος	Αναλογική & Ψηφιακή
Πρωτόκολλο επικοινωνίας	1 wire
Κόστος	3 ευρώ
Μέση κατανάλωση ενέργειας @ 25°C	0.0132W ( $V_{SS}=3.3V$ ) – 0.02W ( $V_{SS}=5V$ )

#### 5.2.4.2 Χαρακτηριστικά LM393 comparator chip

Ανήκει στην οικογένεια LMx93-N της εταιρείας Texas Instruments. Αποτελείται από δύο ξεχωριστούς συγκριτές τάσης, οι οποίοι τροφοδοτούνται από μια μόνο είσοδο.



Εικόνα 5-9 LM393 [22]

Στην εικόνα φαίνεται το top-level διάγραμμα του comparator. Η λειτουργία έγκειται στο να αντιλαμβάνεται αν ένα αναλογικό σήμα έχει ξεπεράσει κάποια προκαθορισμένη τιμή. Πιο συγκεκριμένα όταν η υγρασία του εδάφους πέσει κάτω από την προκαθορισμένη τιμή, τότε η έξοδος παράγει “1”, ενώ όταν η υγρασία είναι πάνω από το ελάχιστο επίπεδο παράγει “0”.

Πίνακας 5-20 Χαρακτηριστικά LM393 comparator chip

Χαρακτηριστικά	Min	Max
Τάση τροφοδοσίας (V+)	2V	36V
Ρεύμα τροφοδοσίας	0.4mA	1mA
Τάση εξόδου	-	250mV @ 4mA
Τάση εισόδου (VIN pin)	0V	-1.5V
Περιοχή λειτουργίας	0°C	70°C

### 5.2.4.3 Σύνδεση με τον Μικροελεγκτή

Ο αισθητήρας απαιτεί για την διασύνδεση του στην αναπτυξιακή πλακέτα 4 pins. Δύο για την τροφοδοσία και την γείωση και δύο για την αναλογική και την ψηφιακή έξοδο. Η ψηφιακή έξοδος παράγει μόνο λογικό “0” και “1”, και όχι το ποσοστό της υγρασίας σε σειρά από bits. Παράγει “1” όταν η τιμή της υγρασίας πέσει κάτω από το όριο που έχουμε θέσει και “0” όταν βρίσκεται πάνω από το όριο. Απαιτείται από τον χρήστη να ρυθμίσει το ποτενσιόμετρο, ώστε να ορισθεί αυτό το όριο. Το σενάριο αυτό δεν είναι υλοποιήσιμο, αφού το σύστημα θα θέτει τα όρια αυτά, ανάλογα με την οικογένεια στην οποία ανήκει το φυτό. Έτσι δεν θα συνδεθεί το pin της ψηφιακής εξόδου (D0) στην πλακέτα.



Εικόνα 5-10 Πλακέτα Soil Hydrometer Module [12]

Η διασύνδεση είναι αρκετά απλή, καθώς το pin A0 σε μια αναλογική είσοδο της αναπτυξιακής πλακέτας. Το Gnd στην γείωση και το Vcc στην τάση τροφοδοσίας.

### 5.2.4.4 Επικοινωνία με τον Μικροελεγκτή

Η επικοινωνία του αισθητήρα με τον μικροελεγκτή γίνεται χρησιμοποιώντας ένα μόνο καλώδιο. Η αναπτυξιακή πλακέτα μετατρέπει το αναλογικό σήμα της εξόδου του αισθητήρα σε ψηφιακό, μέσω ενός analog to digital converter (ADC). Έπειτα για την μετατροπή του σήματος αυτού σε ποσοστό σχετικής υγρασίας γίνεται όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

### 5.2.4.5 Μετατροπή του Σήματος Εξόδου

Ο αισθητήρας παράγει 5V τάση εξόδου αν η σχετική υγρασία είναι 100%, ενώ 0V αν είναι 0%.

Για τάση τροφοδοσίας αισθητήρα = 5V

**Τάση εξόδου αισθητήρα = (ανάγνωση από τον Analog to Digital Converter (ADC) του μικροελεγκτή) \* (5000/1024).**

Για τάση τροφοδοσίας αισθητήρα = 3.3V

**Τάση εξόδου αισθητήρα = (ανάγνωση από τον Analog to Digital Converter (ADC) του μικροελεγκτή) \* (3300/1024).**

Οι παραπάνω δύο τύποι μετατρέπουν την έξοδο του ADC (παίρνει τιμές από 0-1023) σε 0-5000mV ή σε 0-3300mV αντίστοιχα.

$$\text{Σχετική υγρασία} = (\text{Τάση εξόδου αισθητήρα σε mV}) * \frac{2}{10^3}.$$

#### 5.2.4.6 Δειγματοληψία

Δεν απαιτείται μεγάλη συχνότητα δειγματοληψίας για την συγκεκριμένη εφαρμογή, καθώς η υγρασία του χώματος δεν μεταβάλλεται με μεγάλο ρυθμό, ειδικά όταν οι θερμοκρασίες δεν είναι υψηλές ( $>35^{\circ}\text{C}$ ). Κρίνεται κατάλληλη συχνότητα δειγματοληψίας ένα δείγμα ανά 2 ημέρες. Η κατανάλωση του υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο, με τάση λειτουργίας 3.3V.

$$P = 24h * (\text{κατανάλωση αισθητήρα στα 3.3V})$$

$$P = 24h * 1.3 * 10^{-3} W = 0.3168 \text{Wh/ημέρα}.$$

Πίνακας 5-21 Κατανάλωση ενέργειας Soil Hydrometer Module

Κατανάλωση/ημέρα	Κατανάλωση/μήνα	Κατανάλωση/χρόνο
0.3168Wh	9.504Wh	114.048Wh

Με την ίδια λογική που χρησιμοποιήθηκε και στον αισθητήρα θερμοκρασίας. Παρεμβάλλεται μεταξύ του αισθητήρα και της τροφοδοσίας του ένα transistor, το οποίο θα άγει το ρεύμα μόνο για 5 λεπτά (maximum χρόνος που απαιτείται για την μέτρηση) ανά 2 ημέρες, με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας.

$$P = 24h * (0.3168W * \frac{5*60}{3600*48}) = 0.0123 \text{Wh/ημέρα}.$$

Πίνακας 5-22 Κατανάλωση ενέργειας Soil Hydrometer Module με παρεμβολή τρανζίστορ

Κατανάλωση/ημέρα	Κατανάλωση/μήνα	Κατανάλωση/χρόνο
0.01231Wh	0.396Wh	4.752Wh

Χρησιμοποιώντας μια 9V μπαταρία, με μέση αποθηκευμένη ενέργεια 3.5592Wh. Στον παρακάτω πίνακα συγκρίνεται η διάρκεια ζωής της, χρησιμοποιώντας τις δύο παραπάνω μεθόδους σύνδεσης του αισθητήρα.

Πίνακας 5-23 Συγκριτικός πίνακας κατανάλωσης ενέργειας για τις δύο συνδεσμολογίες

Καταναλώσεις/σύνδεση	Χωρίς transistor	Με transistor
Κατανάλωση/ημέρα	0.3168Wh	0.01231Wh
Κατανάλωση/μήνα	9.504Wh	0.396Wh
Κατανάλωση/χρόνο	114.048Wh	4.752Wh
Χρόνος ζωής μπαταρίας 9V	11 ημέρες	$\cong$ 9 μήνες

## 5.3 Επιλογή Αισθητήρα Μέτρησης Οπτικής Ακτινοβολίας

Σύμφωνα με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, με την επίδραση οπτικής ακτινοβολίας σε μια ημιαγώγιμη επαφή P-N, δημιουργούνται ηλεκτρικά φορτία μέσα στον ημιαγωγό, οπότε δημιουργούνται ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών.[7] Η διαδικασία εκδήλωσης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου είναι αντιστρέψιμη. Δηλαδή με την διέλευση ρεύματος μέσα από την κατάλληλη επαφή P-N προκαλείται εκπομπή οπτικής ακτινοβολίας. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο αποτελεί την βάση λειτουργίας της επαφή P-N εναλλακτικά ως φωτοανιχνευτής/φωτοβολταϊκό στοιχείο ή ως φωτοεκπέμπουσα διάδος. [20]

- Όταν η διάδος είναι ανάστροφα πολωμένη και όταν το εξωτερικό κύκλωμα χαρακτηρίζεται από μικρή ένταση, λειτουργεί ως ανιχνευτής. Το κύκλωμα διαρρέεται από φωτο-ρεύμα, του οποίου η ένταση εξαρτάται από την ροή των προσπιπτόντων φωτονίων. Απαιτείται η ενίσχυση του ρεύματος, καθώς είναι αρκετά ασθενές. Όταν το εξωτερικό κύκλωμα είναι ανοικτό ή συνδέεται με μεγάλη αντίσταση λειτουργεί ως φωτοβολταϊκό στοιχείο (πηγή τάσης). Στα άκρα της διάδου αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού.
- Όταν η διάδος είναι ορθά πολωμένη και διαρρέεται από ρεύμα προκαλείται εκπομπή οπτικής ακτινοβολίας. Στο φαινόμενο αυτό στηρίζεται η λειτουργία των φωτοεκπεμπουσών διάδων (LEDs).

Υπάρχουν δύο κύρια είδη για την μέτρηση της οπτικής ακτινοβολίας.

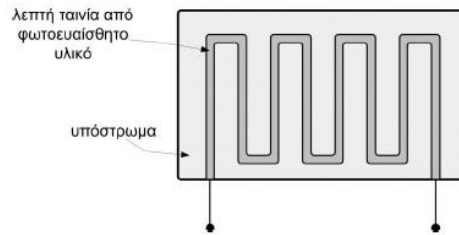
- Φωτοηλεκτρικοί αισθητήρες
- Θερμικοί αισθητήρες

Η διαφορά τους είναι ότι οι πρώτοι στηρίζουν την λειτουργία τους στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Η οπτική ακτινοβολία ανιχνεύεται με την απευθείας επίδραση των φωτονίων της προσπίπτουσας οπτικής ακτινοβολίας στα ηλεκτρόνια της ύλης. Οι θερμικοί αισθητήρες στηρίζουν την μέτρηση τους στην μεταβολή της θερμοκρασίας μίας επιφάνειας λόγω απορρόφησης από αυτήν της προσπίπτουσας οπτικής ακτινοβολίας. Οι κυριότεροι τύποι θερμικών αισθητήρων είναι οι θερμοηλεκτρικοί αισθητήρες, τα μπολόμετρα και οι πυροηλεκτρικοί. Στην παρούσα εργασία θα μελετηθούν οι φωτοηλεκτρικοί αισθητήρες, καθώς είναι πολύ οικονομικότεροι σε σχέση με τους θερμικούς, των οποίων το κόστος ξεπερνά τα 30 ευρώ.

Είδη φωτοηλεκτρικών αισθητήρων

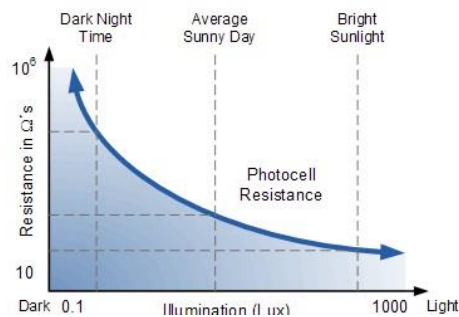
- Φωτοαντιστάτες (LDR)
- Φωτοβολταϊκή διάδος
- Φωτοδιάδος (φωτοαγώγιμη διάδος)
- Φωτοτρανζίστορ

### 5.3.1 Φωτοαντιστάτες (LDR)



Εικόνα 5-11 Φωτοαντιστάτης (LDR) [7]

Οι φωτοαντιστάτες (ή φωτοκύτταρα ή φωτοαγωγοί) κατασκευάζονται από ημιαγωγούς. Κατά την πρόσπτωση οπτικής ακτινοβολίας, μεταβάλλεται η ειδική τους αντίσταση, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η αγωγιμότητα του ημιαγωγού. Η ειδική αυτή αντίσταση μεταβάλλεται μη γραμμικά με την πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας οπτικής ακτινοβολίας. Το πλεονέκτημα τους είναι πως έχουν γρήγορα απόκριση, αλλά η ειδική αντίσταση τους μεταβάλλεται και από την θερμοκρασία. [7]

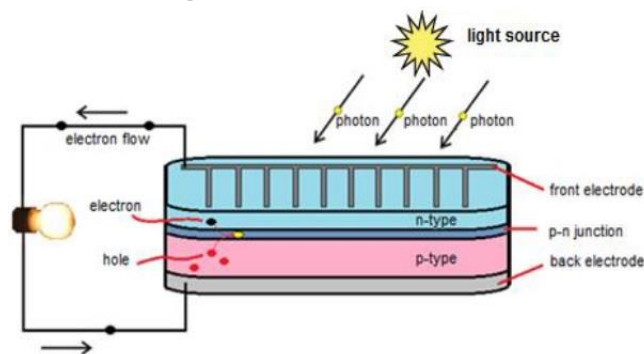


Σχήμα 5-10 Σχέση οπτικής ακτινοβολίας – προσπίπτουσας οπτικής ακτινοβολίας [36]

Πίνακας 5-24 Χαρακτηριστικά LDR

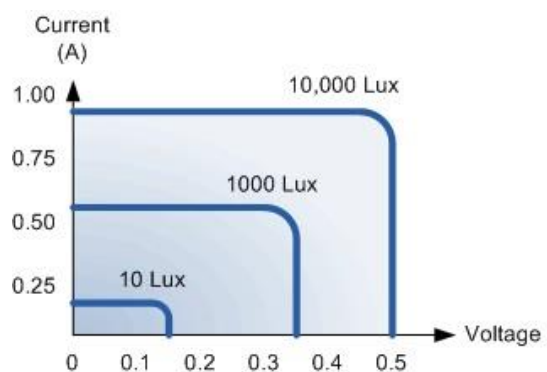
Γραμμικότητα	Μικρή
Εύρος τιμών	1 – 100lux
Ακρίβεια	Χαμηλή
Εύρος λειτουργίας	320 – 1150nm
Κόστος	Πολύ Χαμηλό

### 5.3.2 Φωτοβολταϊκή Δίοδος



Εικόνα 5-12 Φωτοβολταϊκή δίοδος [36]

Η φωτοβολταϊκή δίοδος στηρίζει την λειτουργία της στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Αποτελείται από μια επαφή P-N. Δεν απαιτείται εξωτερική τάση πόλωσης. Λειτουργεί ως πηγή τάσης, όταν προσπίπτει σε αυτή οπτική ακτινοβολία. [7]

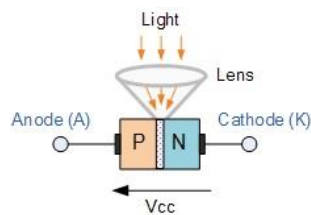


Σχήμα 5-11 Σχέση τάσεως – ρεύματος που παράγεται από την φωτοβολταϊκή δίοδο, αναλόγως την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Αξίζει να σημειωθεί πως η απόδοση της είναι σχετικά χαμηλή, γύρω στο 15% - 20%, (εξαρτάται από το μέγεθος του cell). [36]

Πίνακας 5-25 Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκής διόδου

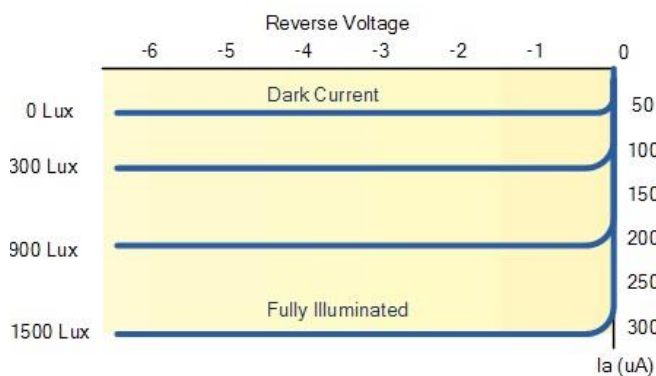
Γραμμικότητα	Μεγάλη
Εύρος τιμών	1 Klux – 100 Klux
Ακρίβεια	Μεγάλη
Εύρος λειτουργίας	400 – 1150nm
Κόστος	Υψηλό

### 5.3.3 Φωτοδίοδος (Φωτοαγώγιμη Δίοδος)



Εικόνα 5-13 Φωτοδίοδος [36]

Η φωτοδίοδος είναι μια ημιαγώγιμη επαφή P-N (όπως έχει περιγραφεί στην φωτοβολταϊκή δίοδο), η οποία όμως βρίσκεται υπό την επίδραση εξωτερικής ανάστροφης τάσης πόλωσης. Η φωτοδίοδος παράγει γραμμική έξοδο. [7]



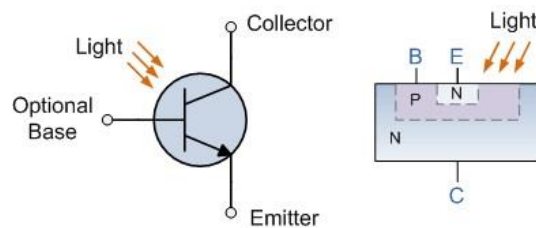
Σχήμα 5-12 Σχέση παραγόμενου ρεύματος – ανάστροφης πόλωσης [36]

Πίνακας 5-26 Χαρακτηριστικά φωτοδίοδου

<b>Γραμμικότητα</b>	Μεγάλη
<b>Εύρος τιμών</b>	7 – 50Klux
<b>Ακρίβεια</b>	Μεγάλη
<b>Εύρος λειτουργίας</b>	190 – 1100nm
<b>Κόστος</b>	Χαμηλό

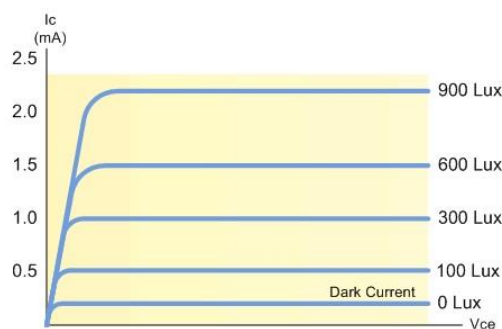


### 5.3.4 Φωτοτρανζίστορ



Εικόνα 5-14 Φωτοτρανζίστορ [36]

Κατασκευάζονται με βάση τις δομές NPN-PNP των διπολικών τρανζίστορ. Κατά την πρόσπτωση οπτικής ακτινοβολίας στην επαφή βάσης-συλλέκτη, η οποία πολώνεται ανάστροφα, δημιουργούνται ζεύγη οπών-ηλεκτρονίων και αναπτύσσεται ρεύμα στη βάση. Όπως και στα συμβατικά διπολικά τρανζίστορ, το ρεύμα ενισχύεται, με αποτέλεσμα τη ροή του αυτού στον συλλέκτη του φωτοτρανζίστορ. Τα φωτοτρανζίστορ έχουν μεγαλύτερη αποκκρισιμότητα από τους φωτοдиодους, αλλά διαθέτουν πιο αργή απόκριση. [7]



Σχήμα 5-13 Σχέση τάσης επαφής συλλέκτη – εκπομπού και ρεύματος [36]

Πίνακας 5-27 Χαρακτηριστικά φωτοτρανζίστορ

Γραμμικότητα	Μεγάλη
Εύρος τιμών	1K – 100Klux
Ακρίβεια	Πολύ μεγάλη
Εύρος λειτουργίας	190 – 1100nm
Κόστος	Χαμηλό

Πίνακας 5-28 Συγκεντρωτικός πίνακας των παραπάνω φωτοηλεκτρικών αισθητήρων

Ιδιότητες/Τύπος	Φωτοαντιστάτες (LDR)	Φωτοβολταϊκή δίοδος	Φωτοδίοδος	Φωτοτρανζίστορ
Εύρος λειτουργίας	1 – 100 lux	1 Klux – 100 Klux	7 – 50 Klux	1 Klux – 100 Klux
Εύρος λειτ. (μήκος κύματος)	320 – 1150nm	400 – 1150nm	190 – 1100nm	190 – 1100nm
Απόκριση	55ms	10ms	6ns	15μs
Τάση λειτουργίας	2.7 – 5V	-	3.3 - 5V	3 – 5V
Ρεύμα λειτουργίας	0.25mA	N/A	3μA	2.6mA
Κόστος	Πολύ χαμηλό	Υψηλό	Χαμηλό	Χαμηλό
Πλεονεκτήματα	Πολύ χαμηλό κόστος,	Δεν απαιτείται τάση τροφοδοσίας	Χαμηλό κόστος, πολύ υψηλή απόκριση	Χαμηλό κόστος, μεγάλη αποκρίσιμότητα
Μειονεκτήματα	Μικρό εύρος λειτουργίας, επηρεάζεται από θερμοκρασιακές μεταβολές	Υψηλό κόστος	Πολύ χαμηλό ρεύμα εξόδου, απαιτείται ενίσχυση για μέγιστη ακρίβεια	-

### 5.3.5 Συμπεράσματα

Όπως αναλύθηκε στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Μοντέλο Συστήματος) κρίνεται απαραίτητη η χρήση φίλτρων για τον εντοπισμό του μήκους κύματος της ακτινοβολίας που προσπίπτει στα φυτά. Το μήκος κύματος για την μπλε ακτινοβολία είναι από 400 - 500 nm και για την κόκκινη από 610 – 760 nm. Επιλέγεται η χρήση δύο φωτοδίοδων. Μια για την ανίχνευση της μπλε ακτινοβολίας και μια για την ανίχνευση της κόκκινης. Το εύρος λειτουργίας τους επαρκεί για τις απαιτήσεις του συστήματος, και το κόστος τους είναι αρκετά χαμηλό. Ένα ακόμα πλεονέκτημα σε σύγκριση με τις άλλες επιλογές, είναι η υψηλή απόκριση τους.

### 5.3.6 Χαρακτηριστικά Φωτοδιόδου

#### 5.3.6.1 Γενικές Πληροφορίες Συσκευής



Εικόνα 5-15 Φωτοδίοδος [37]

Πίνακας 5-29 Χαρακτηριστικά Φωτοδιόδου

Τάση λειτουργίας	-3.3V - -5V
Έξοδος	0V – 3.3V
Εύρος λειτουργίας	7 – 50 Klux
Εύρος λειτ. (μήκος κύματος)	190 – 1100nm

#### 5.3.6.2 Σύνδεση με τον Μικροελεγκτή

Ο αισθητήρας απαιτεί για την διασύνδεση του στην αναπτυξιακή πλακέτα την δέσμευση 2 pins. Συνολικά θα δεσμεύονται 4 pins, αφού το σύστημα θα διαθέτει δύο τέτοιους ίδιους αισθητήρες. Όπως έχει περιγραφεί στο παραπάνω Κεφάλαιο έναν μπλε και έναν κόκκινο. Το ένα pin χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του και το άλλο για την ανάγνωση των τιμών εξόδου. Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα η τάση στην έξοδο κυμαίνεται από 0 έως 3.3V. Η τάση αυτή έχει την τιμή 3.3V, όταν ο αισθητήρας λαμβάνει κόκκινη ακτινοβολία στα 50 Klux, ενώ έχει την τιμή 0, όταν δεν λαμβάνει καθόλου ακτινοβολία.

#### 5.3.6.3 Επικοινωνία με τον Μικροελεγκτή

Η επικοινωνία του αισθητήρα με τον μικροελεγκτή γίνεται χρησιμοποιώντας ένα μόνο καλώδιο. Η αναπτυξιακή πλακέτα μετατρέπει το αναλογικό σήμα της εξόδου του αισθητήρα σε ψηφιακό, μέσω ενός analog to digital converter (ADC). Η μετατροπή της τάσης αυτής σε ποσοστό οπτικής ακτινοβολίας γίνεται με την διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω.

#### 5.3.6.4 Μετατροπή του Σήματος Εξόδου

Ο αισθητήρας παράγει 3.3V τάση εξόδου αν η φωτεινότητα του δωματίου είναι στα 50Klux, ενώ 0V αν είναι μηδενική.

Για τάση τροφοδοσίας αισθητήρα = -3.3V

**Τάση εξόδου αισθητήρα = (ανάγνωση από τον *Analog to Digital Converter (ADC)* του μικροελεγκτή) \* (3300/1024).**

Οι παραπάνω δύο τύποι μετατρέπουν την έξοδο του ADC (παίρνει τιμές από 0-1023) σε 0-5000mV ή σε 0-3300mV αντίστοιχα.

**Φωτεινότητα = (-Τάση εξόδου αισθητήρα σε mV) \*  $\frac{2}{10^3}$ .**

#### 5.3.6.5 Δειγματοληψία

Απαιτείται μικρή περίοδος δειγματοληψίας, αφού ο φωτισμός του δωματίου μπορεί να μεταβάλλεται συνεχώς. Για τον παραπάνω λόγο κρίνεται απαραίτητη συχνότητα δειγματοληψίας μία μέτρηση ανά λεπτό κάθε 12 ώρες. Και σε αυτόν τον αισθητήρα θα χρησιμοποιηθεί transistor, ώστε να μην διαρρέεται από ρεύμα τις ώρες που δεν πρέπει να λαμβάνουν φωτεινότητα τα φυτά (το βράδυ). Η λειτουργία της φωτοδιόδου έγκειται στο ότι μετατρέπει την οπτική ακτινοβολία σε ρεύμα στην έξοδο της. Το ρεύμα παράγεται όταν τα φωτόνια απορροφώνται στην φωτοδίοδο. Αφού η φωτοδίοδος δεν τροφοδοτείται από την αναπτυξιακή πλακέτα η κατανάλωση ενέργειας της είναι μηδενική.

## 5.4 Επιλογή Αντλίας Ποτίσματος



Εικόνα 5-16 Αντλία ποτίσματος [37]

Η αντλία που απεικονίζεται παραπάνω στην εικόνα, παράγεται από την εταιρεία SunSun και το κόστος της κυμαίνεται στα 5 ευρώ. Είναι από τις οικονομικότερες της αγοράς.

Πίνακας 5-30 Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλίας ποτίσματος

Τάση λειτουργίας	5V
Ρεύμα λειτουργίας	2A
Ισχύς	10W
Μανομετρικό	0.40m
Έξοδος	200ml/min
Βάρος	0.05Kg

## 5.5 Επιλογή Ανεμιστήρα

Ο ανεμιστήρας αυτός κατασκευάζεται από την εταιρεία Sunon και το κόστος του κυμαίνεται στα 3 ευρώ. Μπορεί να συνδεθεί απευθείας στην παροχή του board, αφού η τάση λειτουργίας του είναι στα 5V.



Εικόνα 5-17 Ανεμιστήρας Sunon [37]

Πίνακας 5-31 Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμιστήρα

Τάση λειτουργίας	5V
Διαστάσεις	50x50x25

Ισχύς	1W
Θόρυβος	27 dB
Στροφές	5800RPM $\pm$ 15%.
Μέγιστη ροή αέρα	11.9m <sup>3</sup> /h

## 5.6 Επιλογή Λαμπτήρων LEDs

Χρειάζεται να δέχονται τα φυτά ακτινοβολία στο κόκκινο και στο μπλε φάσμα. Έτσι απαιτείται η χρήση μπλε και κόκκινων λαμπτήρων LED για την εκπομπή φωτός στα συγκεκριμένα μήκη κύματος. Το σύστημα θα βρίσκεται σε θέση να καθορίσει ποια LEDs θα ανάψουν (μπλε ή/και κόκκινα). Απαιτούνται 4 LEDs των 10mm, εκ των οποίων τα δύο θα είναι κόκκινα και τα άλλα δύο μπλε.



Εικόνα 5-18 LED [37]

Η φωτοεκπέμπουσα δίοδος (LED) που απεικονίζεται παραπάνω, κατασκευάζεται από την εταιρεία OptoSupply, και είναι διαμέτρου 10mm.

Εικόνα 5-19 Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοεκπέμπουσας διόδου (LED)

Τάση λειτουργίας	4.5V – 6V
Ισχύς	0.1W
Ρεύμα λειτουργίας	20mA

Το μέγιστο διαθέσιμο ρεύμα από το κάθε pin του Arduino είναι 20mA στα 5V. Τα LEDs θα συνδεθούν σε σειρά, ώστε να διαρρέονται και τα δύο από το ίδιο ρεύμα. Για την τροφοδότηση τους χρειάζονται επίσης 20mA στα 5V. Έτσι είναι δυνατό να συνδεθούν απευθείας στις εξόδους του μικροελεγκτή.

## 5.7 Σύνδεση Ενεργοποιητών με τον Μικροελεγκτή

Το ένα άκρο των ενεργοποιητών συνδέεται στην πηγή τάσης και το άλλο στην γείωση. Παρεμβάλλονται transistors ανάμεσα στην γείωσής τους και στην γείωση της τροφοδοσίας, ώστε να ενεργοποιούνται μόνο όταν αυτό είναι επιθυμητό. Έτσι όταν άγει το transistor κλείνει το

κύκλωμα της συσκευής και λειτουργεί. Χρησιμοποιούνται NPN transistors που άγουν ρεύμα μέχρι 0.8A. Το ρεύμα που το διαρρέει δεν είναι μεγαλύτερο από την τιμή αυτή. Λόγω των απαιτήσεων των ενεργοποιητών, προτιμάται η σύνδεση τους σε εξωτερική πηγή τάσης. Αυτό γίνεται διότι αν λειτουργήσουν και οι τρεις μαζί και ταυτοχρόνως δειγματοληπτούν οι αισθητήρες θα υπάρξει πτώση τάσης. Το φαινόμενο αυτό έχει σαν επίπτωση να υπολειτουργούν οι ενεργοποιητές και να λάβουν λανθασμένες μετρήσεις οι αισθητήρες. Προτιμάται εξωτερική πηγή τάσης των 15W, ώστε να μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του συστήματος.

## 5.8 Έλεγχος Ενεργοποιητών από τον Μικροελεγκτή

Οι ενεργοποιητές ενεργοποιούνται/απενεργοποιούνται από τις ψηφιακές εξόδους του μικροελεγκτή. Η έξοδος από την πλακέτα συνδέεται με την βάση του transistor. Όταν αυτή παράγει έξοδο λογικό 1 ενεργοποιείται ο εκάστοτε ενεργοποιητής, ενώ όταν παράγει λογικό 0 απενεργοποιείται.

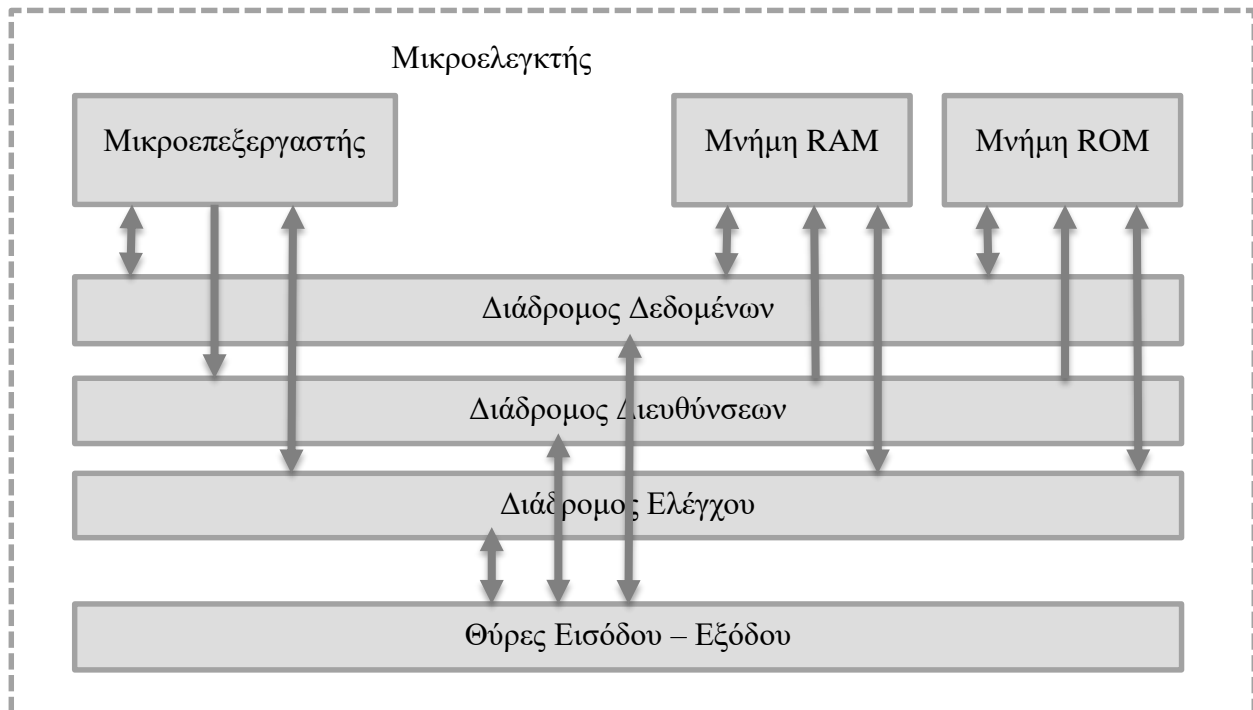
## 5.9 Επιλογή Μικροελεγκτή

Θα μπορούσε να υλοποιηθεί το θερμοκήπιο χρησιμοποιώντας ρελέ, και όχι μικροελεγκτή, αλλά θα αυξανόταν η πολυπλοκότητα του κυκλώματος και δεν θα δινόταν η δυνατότητα μελλοντικής αναβάθμισης του, έτσι κρίνεται πως αυτή η λύση δεν ταιριάζει στις απαιτήσεις του συστήματος. Εκτός αυτού το κάθε φυτό έχει τις δικές του παραμέτρους (υγρασία, θερμοκρασία, φωτισμός), οι οποίες πρέπει να ενημερώνονται για το κάθε ένα ξεχωριστά. Λόγω όλων των παραπάνω απαιτήσεων κρίνεται σκόπιμη η χρήση ενός μικροελεγκτή. Έτσι οι υπολογισμοί γίνονται πολύ πιο εύκολα, απλοποιείται το κύκλωμα και απλοποιείται επίσης η διαδικασία εξατομίκευσης για κάθε φυτό. Δεν χρειάζεται μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις, αφού οι τιμές των μετρήσεων των αισθητήρων δεν αναπαριστώνται σε πολλά bits πληροφορίας, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας επεξεργαστής 8bit. Το Arduino είναι μια open-source (ανοικτού κώδικα) πλατφόρμα ηλεκτρονικών [15]. Το κόστος των πλακετών αυτών είναι αρκετά χαμηλό, και κατασκευάζεται παγκοσμίως από αρκετές εταιρείες ηλεκτρονικών. Υπάρχουν πολλά μοντέλα, τα οποία διαφοροποιούνται μεταξύ τους ως προς την υπολογιστική ισχύ, τα περιφερειακά, και το μέγεθος. Έχουν όμως κάποια κοινά χαρακτηριστικά. Όλες διαθέτουν ADC (Analog to Digital Converter) και serial & parallel connection controller. Συνεπώς η οικογένεια αυτών των ηλεκτρονικών καλύπτουν τις απαιτήσεις του συστήματος και για την υλοποίηση θα επιλεγεί μια τέτοια. Θα αναλυθεί παρακάτω ποια ακριβώς πλακέτα κρίνεται η καταλληλότερη.

### 5.9.1 Γενικά

Ο μικροελεγκτής είναι ένα προγραμματιζόμενο ολοκληρωμένο κύκλωμα, το οποίο διαθέτει μικροεπεξεργαστή, μνήμη, θύρες εισόδου – εξόδου για την επικοινωνία με εξωτερικές συσκευές,

καθώς και διάφορα περιφερειακά κυκλώματα. Αξίζει να σημειωθεί πως το πρόγραμμα που εκτελεί ο μικροελεγκτής αποθηκεύεται μόνιμα στην μνήμη προγράμματος, και σε περίπτωση που διακοπεί η τροφοδοσία του, δεν σβήνεται. Όταν επανέλθει η τροφοδοσία το πρόγραμμα εκτελείται κανονικά [16].



Σχήμα 5-14 Διάγραμμα μικροελεγκτή

Οι περισσότεροι μικροελεγκτές βασίζονται στην αρχιτεκτονική Van Neumann [16]. Η αρχιτεκτονική αυτή καθόρισε τα τέσσερα βασικά συστατικά που συνθέτουν ένα ψηφιακό σύστημα. Αυτό αποτελείται από έναν επεξεργαστή (CPU), τη μνήμη (RAM), τον χώρο μόνιμης αποθήκευσης (FLASH) καθώς και τις θύρες εισόδου – εξόδου για την επικοινωνία με τις εξωτερικές περιφερειακές συσκευές.

### 5.9.2 Arduino

Η πλατφόρμα στην οποία βασίζεται το σύστημα ονομάζεται Arduino και πρόκειται για ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που βασίζεται στο μικροελεγκτή της οικογένειας ATmega της Atmel. Όλα τα σχέδια, καθώς και το software που χρειάζεται για τη λειτουργία του, διανέμονται ελεύθερα και δωρεάν (open source). Πολλές εταιρείες κατασκευάζουν αναπτυξιακές πλακέτες όμοιες με το Arduino σε πολύ χαμηλό κόστος. Αφού κατασκευαστεί, μπορεί να συμπεριφερθεί σαν ένας μικροσκοπικός υπολογιστής, αφού ο χρήστης μπορεί να συνδέσει πολλαπλές μονάδες εισόδου/εξόδου και να προγραμματίσει το μικροελεγκτή να δέχεται δεδομένα από τις μονάδες εισόδου, να τα επεξεργάζεται και να στέλνει κατάλληλες εντολές στις μονάδες εξόδου. Το Arduino μπορεί να “αισθανθεί” το περιβάλλον προσλαμβάνοντας δεδομένα από τους τρεις παραπάνω αισθητήρες και μπορεί να επηρεάσει το χώρο με τον έλεγχο των φώτων, της



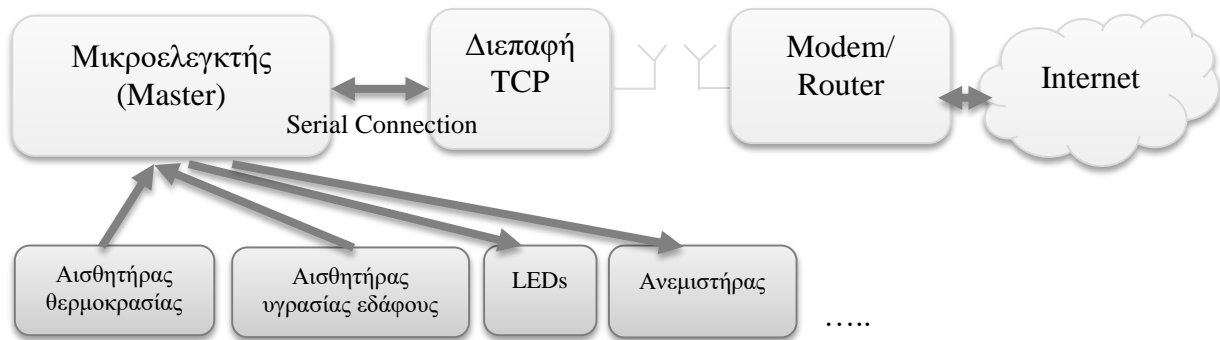
θερμοκρασίας κτλ. Ο μικροεπεξεργαστής στον πίνακα της πλατφόρμας είναι προγραμματισμένος στη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού του Arduino και στο περιβάλλον ανάπτυξης Arduino. Τα σχέδια Arduino μπορούν να είναι αυτόνομα ή μπορούν να επικοινωνήσουν με οποιοδήποτε λογισμικό ενός υπολογιστή. Στην αγορά υπάρχουν πολλά μοντέλα Arduino (Arduino Uno, Arduino Nano, Arduino Mini), και η διαφορά τους έγκειται κυρίως στον αριθμό των I/O pins, καθώς και στον μικροελεγκτή που χρησιμοποιούν.

### 5.9.3 Αρχιτεκτονική ATmega328P

Ο ATmega328P είναι ένας 8 bit AVR μικροελεγκτής, βασισμένος στην αρχιτεκτονική RISC [25]. Ο πυρήνας του AVR συνδυάζει ένα πλούσιο instruction set με 32 καταχωρητές γενικής χρήσης. Έχει την δυνατότητα να εκτελεί 131 εντολές, οι οποίες εκτελούνται σε έναν κύκλο ρολογιού. Τα βασικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου μικροελεγκτή είναι τα παρακάτω:

- Ταχύτητα έως 16MHz
- Αναβαθμισμένη RISC αρχιτεκτονική
  - 131 εντολές, οι οποίες εκτελούνται σε έναν κύκλο ρολογιού.
  - 32 καταχωρητές μεγέθους 8bit γενικής χρήσης
  - Μέχρι 20 MIPS στα 16MHz
  - On chip πολλαπλασιαστής 2 κύκλων
- Μνήμη προγράμματος και δεδομένων
  - 32KB αυτοπρογραμματιζόμενη μνήμη flash
  - 1KB EEPROM μνήμη
  - 2KB εσωτερική SRAM
- Περιφερειακά
  - 2 timers 8bit με ξεχωριστά ρολόγια
  - 1 timer 16bit με ξεχωριστό ρολόι
  - Μετρητής πραγματικού χρόνου σε εξωτερικό κρύσταλλο
  - 14 pins για ψηφιακή είσοδο/έξοδο (6 εκ των οποίων υποστηρίζουν PWM)
  - 6 pins για αναλογική είσοδο (με 10bit ADC (Analog to Digital Converter))
  - Master/Slave SPI λειτουργία
  - Σειριακή θύρα με δυνατότητες σύγχρονης και ασύγχρονης λειτουργίας (UART)
  - Watchdog timer με ξεχωριστό κρύσταλλο
  - On chip αναλογικός συγκριτής
- Ειδικά χαρακτηριστικά
  - Reset αυτόματα μετά την τροφοδότηση
  - Εσωτερικό ρολόι
  - Εσωτερικές και εξωτερικές διακοπές

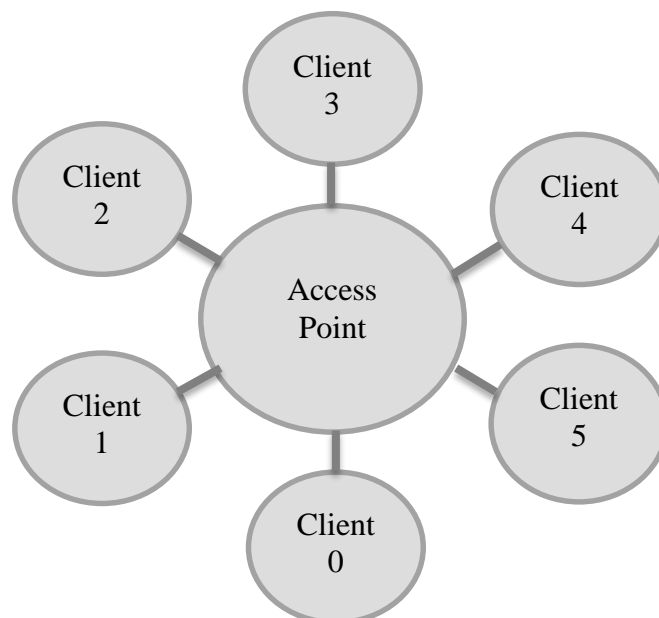




Σχήμα 5-15 Διάγραμμα συστήματος (επικοινωνία με το Internet)

### 5.10.1 Πρότυπο IEEE 802.11

Η οικογένεια ασύρματων προτύπων IEEE 802.11 έχει γνωρίσει χαρακτηριστική αποδοχή και ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια. Συνήθως αποκαλείται WiFi [14]. Τα πλεονεκτήματα της είναι αρκετά. Τα πιο πρόσφατα πρότυπα της οικογένειας IEEE 802.11 παρέχουν αρκετά μεγάλες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, και λειτουργούν στο μη αδειοδοτημένο φάσμα ISM (Industrial Scientific Medical) στη συχνότητα των 2.4GHz.. Το πρότυπο IEEE 802.11n μπορεί να επιτύχει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων πάνω από 500Mbps. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι το χαμηλό κόστος των προϊόντων που είναι συμβατά με αυτό το πρότυπο. Τέτοια είναι παραδείγματος χάριν τα σημεία πρόσβασης (Access Points).



Σχήμα 5-16 Κεντροποιημένη τοπολογία δικτύου

Η τοπολογία δικτύου που χρησιμοποιείται είναι “κεντροποιημένη”. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι όλοι οι πελάτες ενός δικτύου συνδέονται σε μία κεντρική οντότητα, που συχνά αναφέρεται ως σημείο πρόσβασης (Access Point). Η οντότητα αυτή λαμβάνει δεδομένα από τους πελάτες και έπειτα τα δρομολογεί.

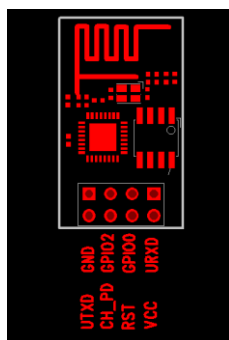
### 5.10.2 ESP8266-01

Η συσκευή που επιλέχθηκε είναι το ESP8266-01. Είναι μια πολύ χαμηλού κόστους συσκευή (περίπου 4 ευρώ), η οποία επικοινωνεί με το Arduino μέσω των σειριακών θυρών (TX,RX) [11].

Πίνακας 5-32 Χαρακτηριστικά ESP8266-01

Τάση τροφοδοσίας	3.3V
Μέγιστο ρεύμα	215mA
Μέσο ρεύμα	80mA
Ταχύτητα μετάδοσης (Baud rate)	115200 symbols/sec

### 5.10.3 Σύνδεση με τον Μικροελεγκτή



Εικόνα 5-21 ESP8266-01 pins [11]

Στην παραπάνω εικόνα φαίνονται τα pins της συσκευής. Το VCC συνδέεται με την τάση τροφοδοσίας στα 3.3V, και GND στην γείωση. Το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να καταναλώσει το ESP8266-01, όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, είναι 215mA στα 3.3V. Η πηγή τάσης των 3.3V του Arduino δεν επαρκεί για την τροφοδότηση του chip, καθώς το ρεύμα εξόδου από το συγκεκριμένο pin δεν μπορεί να ξεπεράσει τα 100mA. Έτσι απαιτείται η τροφοδότηση του από

το pin των 5V και η χρήση ενός ρυθμιστή τάσης. Χρησιμοποιείται ο LD1117V33. Αυτός ο ρυθμιστής άγει μέχρι 800mA ρεύματος και παρέχει σταθερή τάση στο κύκλωμα στα 3.3V. Το UTXD pin της συσκευής για την αποστολή δεδομένων στον μικροελεγκτή συνδέεται στην σειριακή του θύρα RX και το URXD pin για την ανάγνωση των δεδομένων συνδέεται στην σειριακή θύρα TX του Arduino. Το pin RST, χρησιμοποιείται μόνο όταν χρειάζεται να γίνει reset στο chip. Όταν είναι συνδεδεμένο στην πηγή τάσης των 3.3V το chip λειτουργεί κανονικά, ενώ όταν είναι στα 0V, γίνεται reset. Το chip CH\_PD (chip enabLED) καθορίζει το boot mode. Είναι συνδεδεμένο στα 3.3V για κανονική λειτουργία. Τέλος τα pins GPIO0, GPIO2 δεν χρησιμοποιούνται στην συγκεκριμένη εφαρμογή σαν είσοδοι/έξοδοι. Συνδέεται μόνο το GPIO0 στην γείωση κατά τον προγραμματισμό του chip, αφού χρησιμοποιείται και σαν module mode pin. Όταν είναι συνδεδεμένο στην γείωση επιτρέπει τον επαναπρογραμματισμό του chip, ενώ όταν είναι στην τροφοδοσία το chip λειτουργεί σε normal mode.

#### 5.10.4 Επικοινωνία με τον Μικροελεγκτή

Απαιτείται ο ορισμός κωδικοποίησης ώστε να λαμβάνει τον κωδικό από την ιστοσελίδα η συσκευή, να το μεταφέρει στον μικροελεγκτή, και έπειτα αυτός να τα αποκωδικοποιεί και να το εντάσσει στην λειτουργία του. Το ESP8266-01 λαμβάνει το url από την ιστοσελίδα που βρίσκεται ο χρήστης μέσω ενός html GET request. Στο url αυτό εμπεριέχονται πληροφορίες χρησιμοποιώντας την παρακάτω κωδικοποίηση. Μετά την παύλα, ο πρώτος κωδικός αριθμός αντιστοιχεί στο master θερμοκήπιο, ο δεύτερος στο δεύτερο θερμοκήπιο και ο τρίτος στο τρίτο αντίστοιχα. Σε περίπτωση που ο χρήστης δεν το έχει ρυθμίσει ποτέ π.χ. το πρώτο θερμοκήπιο, και επιλέξει το προεπιλεγμένο, τότε θα φορτωθούν οι ρυθμίσεις για τα ζαρζαβατικά, αλλιώς ότι είχε επιλέξει τις προηγούμενες φορές. Λαμβάνοντας τους κωδικούς αυτούς γνωρίζει ο μικροελεγκτής τι όρια τιμών πρέπει να θέσει σε κάθε θερμοκήπιο, καθώς και πότε να στείλει τις τιμές που επικρατούν σε κάθε ένα από αυτά.

Πίνακας 5-33 Κωδικοποίηση για την επικοινωνία μεταξύ ESP8266-01 και μικροελεγκτή

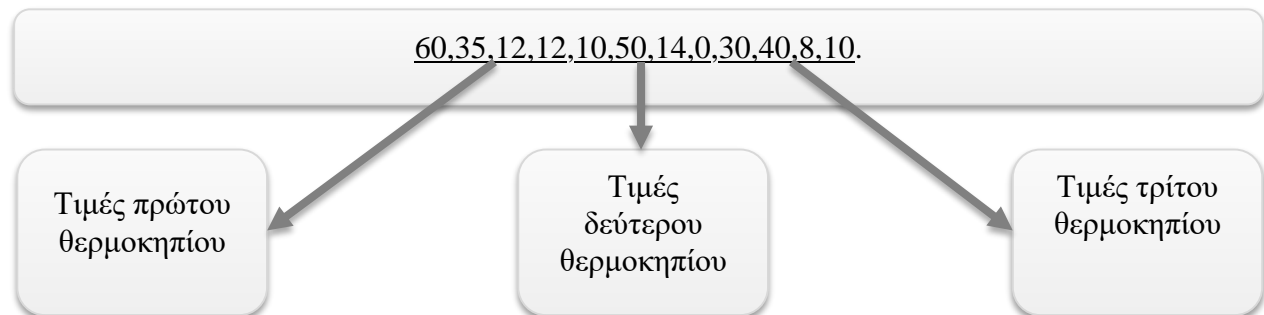
Κωδικός	Σημασία	Υγρασία (%)	Θερμοκρασία (°C)	Κόκκινη Ακτινοβολία (ώρες/ημέρα)	Μπλε Ακτινοβολία (ώρες/ημέρα)
0	Προεπιλεγμένο	60	35	12	12
1	Ζαρζαβατικά	60	35	12	12
2	Παχύφυτα	10	50	14	0
3	Καλλωπιστικά	30	40	8	10
-	Αποστολή μετρήσεων	-	-	-	-

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα παράδειγμα της κωδικοποίησης, όταν ο χρήστης επιθυμεί να αλλάξει την ομάδα στο δεύτερο και στο τρίτο θερμοκήπιο.



Σχήμα 5-17 Παράδειγμα κωδικοποίησης για αποστολή τιμών μέσω url

Μόλις ο μικροελεγκτής λάβει αυτές τις τιμές από το ESP8266-01, θα θέσει τα νέα όρια τιμών στους αισθητήρες. Στο master θερμοκήπιο θα θέσει κάτω όριο για την υγρασία εδάφους στο 60%, το άνω όριο για την θερμοκρασία αέρος στους 35°C και θα θέσει ημερησίως τα φυτά να δέχονται 12 ώρες κόκκινη ακτινοβολία και 12 μπλε. Στο παρακάτω σχήμα, φαίνεται η μορφή του μηνύματος που λαμβάνει το ESP8266-01, όταν αναμένει τις τιμές των αισθητήρων, για τον προσδιορισμό των συνθηκών που επικρατούν στα τρία θερμοκήπια.



Σχήμα 5-18 Παράδειγμα κωδικοποίησης για λήψη δεδομένων μέσω url  
την κόκκινη και μια για την μπλε ακτινοβολία) για το master θερμοκήπιο, οι επόμενες τεσσέρις τιμές για το δεύτερο θερμοκήπιο και οι τέσσερις τελευταίες για το τρίτο θερμοκήπιο. Στο τέλος προστίθεται μια τελεία για να γνωρίζει το σύστημα μέχρι που πρέπει να διαβάσει. Αυτό γίνεται διότι στην περίπτωση που είναι συνδεδεμένα δύο θερμοκήπια στο δίκτυο και ξαφνικά αποσυνδεθεί το ένα να μην εκτυπώσει τις προηγούμενες τιμές και να αντιληφθεί πως είναι εκτός δικτύου. Ακόμα για να μην στείλει request σε ένα θερμοκήπιο το οποίο δεν έχει συνδεθεί ποτέ.

### 5.10.5 Υλοποίηση σε Περιβάλλον Browser

← → ↻ 192.168.2.5/000

## Αλλαγή Οικογένειας φυτών

### Master θερμοκήπιο

Προεπιλεγμένο ▼

### 2ο θερμοκήπιο

Ζαρζαβατικά ▼

### 3ο θερμοκήπιο

Παχύφυτα ▼

Επιβεβαίωση

Παρατήρηση Συνθηκών

Εικόνα 5-22 GUI για την αλλαγή της οικογένειας φυτών των θερμοκηπίων

Η παραπάνω εικόνα εμφανίζεται στον χρήστη στον browser. Του δίνει την δυνατότητα να αλλάξει την οικογένεια φυτών στα θερμοκήπια. Οι επιλογές του είναι τέσσερις. Προεπιλεγμένο, ζαρζαβατικά, παχύφυτα και καλλωπιστικά. Αν επιλέξει το προεπιλεγμένο και είναι η πρώτη φορά που ρυθμίζει το θερμοκήπιο, τότε θα σταλούν τα όρια τιμών για τα ζαρζαβατικά. Αν έχει επιλέξει παλαιότερα κάποια οικογένεια και έπειτα επιλέξει προεπιλεγμένο θα παραμείνουν οι ρυθμίσεις για την οικογένεια που είχε επιλέξει αρχικά. Αυτό γίνεται ώστε όταν θέλει να αλλάξει ένα μόνο θερμοκήπιο να μην είναι αναγκασμένος να τα ρυθμίσει ξανά όλα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ο χρήστης επιλέγει να διατηρήσει στο master θερμοκήπιο την οικογένεια φυτών, ενώ να την αλλάξει στο δεύτερο και στο τρίτο. Αφού κάνει τις τροποποιήσεις έπειτα επιλέγει το κουμπί “Επιβεβαίωση” και αποστέλλονται οι πληροφορίες στην συσκευή TCP, στο master θερμοκήπιο με την κωδικοποίηση που παρουσιάστηκε στον πίνακα 5-36 και από εκεί μέσω της συσκευής RF στα άλλα θερμοκήπια. Αν επιθυμεί ο χρήστης να παρατηρήσει τις συνθήκες που επικρατούν σε όλα τα θερμοκήπια επιλέγει το κουμπί “Παρατήρηση Συνθηκών”. Τότε εμφανίζεται στον browser η παρακάτω εικόνα. Σε περίπτωση που ο χρήστης επιλέξει να αλλάξει ή να παρατηρήσει τις τιμές για ένα θερμοκήπιο το οποίο δεν έχει συνδεθεί, εμφανίζεται ένα ενημερωτικό μήνυμα, και αποστέλλει ή λαμβάνει τιμές η συσκευή μόνο για όποια θερμοκήπια είναι εγκατεστημένα στα δίκτυο RF.

← → ↺

192.168.2.5/123

## Παρατήρηση Συνθηκών

### Master Θερμοκήπιο

Οικογένεια	Ζαρζαβατικά
Υγρασία	60%
Θερμοκρασία	35oC
Κ. Φωτισμός	12h
Μ. Φωτισμός	12h

### 2ο Θερμοκήπιο

Οικογένεια	Παχύφυτα
Υγρασία	10%
Θερμοκρασία	50oC
Κ. Φωτισμός	14h
Μ. Φωτισμός	0h

### 3ο Θερμοκήπιο

Οικογένεια	Καλλωπιστικά
Υγρασία	30%
Θερμοκρασία	40oC
Κ. Φωτισμός	8h
Μ. Φωτισμός	10h

Αλλαγή οικογένειας φυτών

Εικόνα 5-23 GUI για την παρατήρηση των συνθηκών που επικρατούν στα θερμοκήπια

Σε αυτό το παράδειγμα έχει ολοκληρωθεί το σύστημα, αφού έχουν συνδεθεί και τα τρία θερμοκήπια. Εμφανίζονται στον χρήστη οι μετρήσεις από το κάθε θερμοκήπιο. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, το πρώτο έχει ρυθμιστεί για ζαρζαβατικά και εμφανίζει τις παρούσες συνθήκες που επικρατούν. Ο χρήστης πατώντας το κουμπί “Αλλαγή Οικογένειας Φυτών”, μεταβαίνει στο menu που παρουσιάστηκε στην παραπάνω εικόνα.

## 5.11 Επιλογή RF Συσσκευής για την Σύνδεση Μεταξύ των Θερμοκηπίων

Ένα από τα πλεονεκτήματα του LEKO σε σύγκριση με τους ανταγωνιστές είναι πως η δημιουργία ενός μικρού δικτύου θερμοκηπίων θα είναι τόσο εύκολη όσο η σύνδεση στην πρίζα μιας συνηθισμένης ηλεκτρικής συσκευής. Έχοντας στην κατοχή του, ο πελάτης, ένα πλήρες μοντέλο του συστήματος, θα του δίνεται η δυνατότητα να συνδέσει στο αρχικό και άλλα θερμοκήπια. Στο 4ο Κεφάλαιο (Μοντέλο Συστήματος), αποκλείστηκε η ενσύρματη επικοινωνία μεταξύ των θερμοκηπίων, και ορίστηκε ο τρόπος επικοινωνίας να είναι ασύρματος. Το όφελος γι’ αυτόν; άμεσο, καθώς μόνο ένα θερμοκήπιο (το αρχικό) θα πρέπει να είναι εξοπλισμένο με την κάρτα διεπαφής Internet (ESP8266-01), ενώ τα υπόλοιπα, εξοπλισμένα μόνο με τους απαραίτητους αισθητήρες και ενεργοποιητές, κάτι που τα καθιστά οικονομικότερα.





Σχήμα 5-19 Top-level διάγραμμα της σύνδεσης των θερμοκηπίων

Το κάθε θερμοκήπιο θα μπορεί να προγραμματιστεί ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα. Έτσι η επεκτασιμότητα συμβαδίζει με την ευκολία, την ευελιξία και το μικρότερο δυνατό κόστος. Παραδείγματος χάριν θα μπορεί ο χρήστης στο πρώτο θερμοκήπιο να καλλιεργεί καλλωπιστικά, ενώ στο δεύτερο ζαρζαβατικά. Το αρχικό θα λαμβάνει/παραμετροποιεί τις τιμές/ρυθμίσεις των αισθητήρων και θα ελέγχει το πότισμα, τον φωτισμό και τον αερισμό και των άλλων δύο θερμοκηπίων, πέραν του δικού του. Δηλαδή οι τιμές για κάθε θερμοκήπιο θα ρυθμίζονται μέσω του “αρχικού θερμοκηπίου” (master). Παρακάτω παρουσιάζονται οι πιθανές λύσεις για ασύρματη επικοινωνία.

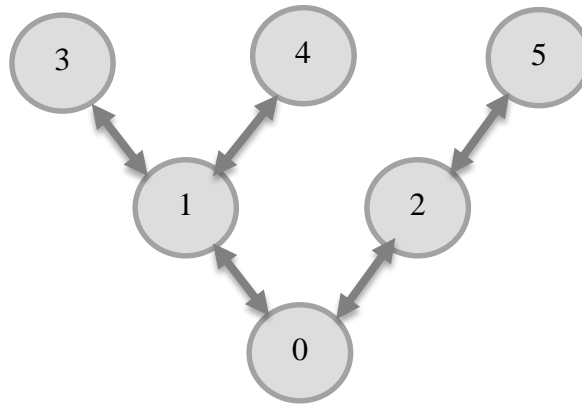
### 5.11.1 XBee

Μια πολύ αξιόπιστη λύση είναι η χρήση του XBee της εταιρείας DIGI χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο ZigBee [17]. Το πρωτόκολλο αυτό αποτελεί πολύ καλή επιλογή για μικρά δίκτυα στα οποία απαιτείται αξιοπιστία, χαμηλή κατανάλωση ισχύος αλλά και ταχύτητα. Το μειονέκτημα είναι πως το κόστος είναι αρκετά υψηλό, της τάξης των 22 ευρώ. Το πρωτόκολλο Zigbee είναι βασισμένο στο πρότυπο IEEE 802.15.4 και όπως και το WiFi λειτουργεί στο φάσμα ISM των 2.4GHz. Έχει εμβέλεια μετάδοσης μέχρι και 100 μέτρα, με μέγιστο ρυθμό μετάδοσης τα 250 Kbps. Το ZigBee μπορεί να λειτουργήσει και στις συχνότητες 868MHz, καθώς και στα 915MHz. Ο στόχος αυτού του προτύπου είναι να παρέχει δυνατότητες επικοινωνίας σε συσκευές ελέγχου και αισθητήρες που δεν χρειάζονται μεγάλο εύρος ζώνης, αλλά απαιτούν μεγάλους χρόνους αυτόνομης λειτουργίας, καθώς και ευέλικτες τοπολογίες δικτύου.

### 5.11.2 nRF24L01+

Μια άλλη επιλογή είναι η χρήση του nRF24L01+. Είναι ένα transceiver στα 2.4GHz, χαμηλού κόστους (η τιμή του κυμαίνεται στο 1 ευρώ) το οποίο κατασκευάζεται από την εταιρεία Nordic Semiconductor [18]. Αποτελεί πολύ καλή και αξιόπιστη λύση για την δημιουργία μικρών ασύρματων δικτύων. Κύριο πλεονέκτημά του είναι η χαμηλή κατανάλωση ισχύος και ο απλός

τρόπος τροφοδοσίας ακόμα και με μπαταρίες AAA. Το εύρος της build-in κεραίας είναι τρία μέτρα, αλλά με την προσθήκη εξωτερικής κεραίας φτάνει μέχρι και τα 100. Το κόστος μιας τέτοιας κεραίας κυμαίνεται στα 3 ευρώ. Η επικοινωνία μεταξύ των θερμοκηπίων γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου RF24. Το δίκτυο θα έχει τοπολογία δένδρου, δηλαδή το κάθε θερμοκήπιο θα μπορεί να επικοινωνήσει άμεσα μόνο με τον γονέα ή με το παιδί του. Η λογική ενός τέτοιου δικτύου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5-20 Τοπολογία δένδρου

Ο κεντρικός κόμβος 0 (αρχικό θερμοκήπιο) μπορεί να επικοινωνήσει άμεσα μόνο με το 1 και με το 2. Αν θέλει να επικοινωνήσει το 3 με το 4 θα επικοινωνήσουν μέσω του 1.

### 5.11.3 Συμπεράσματα

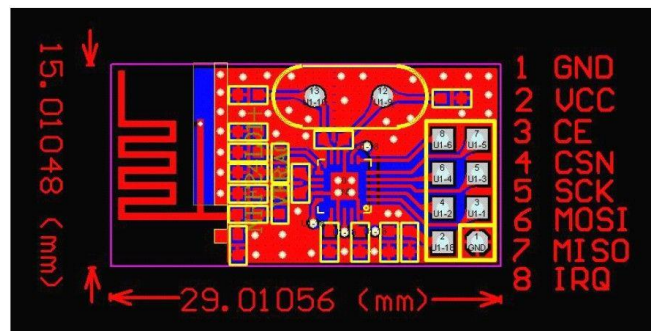
Συγκρίνοντας τις δύο παραπάνω επιλογές κρίνεται κατάλληλη για την συγκεκριμένη εφαρμογή η χρήση της συσκευής nRF24L01+. Το κόστος της είναι αρκετά χαμηλότερο από αυτό της XBee, και οι δυνατότητες της επαρκούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις που παρουσιάστηκαν στο 4ο Κεφάλαιο (Μοντέλο Συστήματος). Απαιτείται η προσθήκη σε όλα τα θερμοκήπια εξωτερικής κεραίας, με στόχο η εμβέλεια του δικτύου να μην περιορίζεται στα τρία μέτρα, αλλά να ξεπεράσει τα τριάντα, όπως έχει οριστεί στο 4ο Κεφάλαιο (Μοντέλο Συστήματος).

### 5.11.4 Πρωτόκολλο RF24

Το πρωτόκολλο αυτό παρέχει αναβαθμισμένες λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένων της αυτόματης διευθυνσιοδότησης και της δυναμικής διαμόρφωσης των κόμβων. Βάσει ενός μοναδικού κωδικού για τον κάθε κόμβο, το πρωτόκολλο αναλαμβάνει αυτόματα την διευθυνσιοδότηση του και την δημιουργία της τοπολογίας του δικτύου. Γνωρίζει ποιο μονοπάτι πρέπει να επιλέξει η κάθε αποστολή πακέτου για την μεταφορά του από τον έναν κόμβο στον άλλον. Ο μοναδικός αυτός κωδικός, το nodeID, χρησιμοποιείται ώστε να γνωρίζει ο “γονέας” ποια είναι τα “παιδιά” του. Στην περίπτωση που παραπάνω από ένα θερμοκήπια έχουν το ίδιο nodeID, θα ανάβει ένα LED για την ενημέρωση του χρήστη. Το πρωτόκολλο RF24 παρέχει ACKs για την

διασφάλιση της σωστής επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων. Σε περίπτωση που δεν ληφθεί κάποιο ACK, τότε το πρωτόκολλο επιχειρεί να ξαναστείλει το πακέτο άλλες 15 φορές. Αν αποτύχει ανάβει ένα κόκκινο LED ενημερώνοντας τον χρήστη ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα στην σύνδεση. Κάτι τέτοιο θα συνέβαινε αν απομακρυνόταν ένα θερμοκήπιο από την εμβέλεια του δικτύου. Το πρωτόκολλο αυτό παρέχει την δυνατότητα επανένταξης του θερμοκηπίου αυτού στο δίκτυο, όταν βρεθεί εντός της εμβέλειάς του, χωρίς να απαιτεί από τον χρήστη κάποια επιπλέον ενέργεια.

### 5.11.5 Σύνδεση με τον Μικροελεγκτή



Εικόνα 5-24 nRF24L01+ pins [26]

Το VCC pin συνδέεται με την τάση τροφοδοσίας στα 3.3V, και το GND pin στην γείωση [26]. Το CE pin (chip enable), συνδέεται στην τάση τροφοδοσίας. Όταν είναι στα 3.3V, επιτρέπει στο chip να λάβει/μεταδώσει δεδομένα. Το CSN pin αποτελεί το select του SPI bus που χρησιμοποιεί το chip για τα αν θα λάβει ή θα μεταδώσει δεδομένα, αφού δεν γίνεται και να αποστέλλει και να λαμβάνει δεδομένα ταυτόχρονα. Το SCK αποτελεί το clock του SPI bus [27]. Το MOSI pin συνδέεται με ένα pin του μικροελεγκτή και χρησιμοποιείται για την λήψη δεδομένων, ενώ το MISO pin συνδέεται με ένα άλλο pin του μικροελεγκτή για την αποστολή δεδομένων. Τέλος το IRQ pin είναι πάντα συνδεδεμένο στην γείωση, ώστε να αντιλαμβάνεται το chip τα interrupts, κάτι που δεν καλύπτεται από το SPI standard. [28]

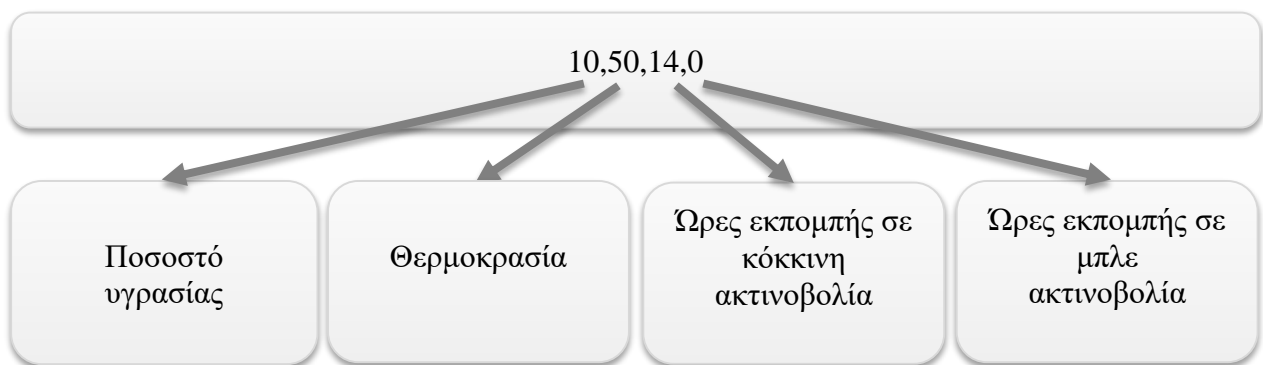
### 5.11.6 Επικοινωνία με τον Μικροελεγκτή

Αρχικά πρέπει να ορισθεί σε κάθε θερμοκήπιο ένα μοναδικό nodeID, ώστε το master θερμοκήπιο να γνωρίζει από ποιο θερμοκήπιο έλαβε τις μετρήσεις, αλλά και σε ποιο θα στείλει τις νέες τιμές. Για τον λόγο τέθηκε το master θερμοκήπιο να έχει nodeID ίσο με το 0, και τα υπόλοιπα δύο να έχουν είτε 1 είτε 2. Για τον καθορισμού του σε αυτά τα δύο slave θερμοκήπια τοποθετείται ένας διακόπτης δύο θέσεων. Στην μία θέση θα δέχεται το συγκεκριμένο θερμοκήπιο nodeID 1, ενώ στην άλλη nodeID 2. Ο χρήστης θα επιλέγει στο κάθε θερμοκήπιο διαφορετική θέση ώστε να λειτουργεί το σύστημα ορθά. Το κάθε θερμοκήπιο θα συλλέγει τις τιμές από όλους τους αισθητήρες που διαθέτει και θα τους στέλνει μέσω της RF συσκευής στο master όποτε αυτό του

ζητηθεί. Ομοίως θα λαμβάνει τις ανάλογες τιμές από το master και θα αντικαθιστά τα όρια για την κάθε παράμετρο (υγρασία, θερμοκρασία, φωτισμός).

### 5.11.7 Επικοινωνία μεταξύ των RF Συσκευών

Όλα τα θερμοκήπια έχουν ένα μοναδικό nodeID. Ο master έχει το 0, το δεύτερο το 1 και το τρίτο το 2. Μέσω του nodeID είναι σε θέση το κάθε θερμοκήπιο να γνωρίσει από ποιο λαμβάνει και σε ποιο στέλνει δεδομένα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5-20, το master θερμοκήπιο είναι ο γονέας και στέλνει και λαμβάνει δεδομένα στα άλλα δύο θερμοκήπια. Τα slave θερμοκήπια δεν επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους. Δέχονται και στέλνουν τιμές μόνο στο master. Το master θερμοκήπιο μέσω της RF συσκευής στέλνει στα υπόλοιπα θερμοκήπια τις κατάλληλες ρυθμίσεις με την παρακάτω κωδικοποίηση. Με την ίδια κωδικοποίηση λαμβάνει και τις απαιτούμενες τιμές. Παρακάτω εμφανίζεται ένα παράδειγμα λήψης/ αποστολής τιμών από/σε ένα slave θερμοκήπιο.



Σχήμα 5-21 Κωδικοποίηση σήματος RF

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ο χρήστης θέλει να εισάγει στο δεύτερο θερμοκήπιο παχύφυτα, δλδ. έλαβε το master θερμοκήπιο την τιμή 2 για το δεύτερο θερμοκήπιο από το ESP8266-01. Θα στείλει στο δεύτερο θερμοκήπιο τις τιμές που αντιστοιχούν για τα παχύφυτα στην παραπάνω μορφή, και έπειτα θα λάβει ACK αν ληφθούν επιτυχώς από αυτό τα δεδομένα. Αν ζητηθούν από το master θερμοκήπιο οι τιμές όλων των θερμοκηπίων, τότε θα στείλει το master στα άλλα θερμοκήπια τον χαρακτήρα “-”, και θα του επιστραφούν οι αναμενόμενες τιμές. Πρώτα από το θερμοκήπιο με nodeID 1 και μετά από το θερμοκήπιο με nodeID 2. Τα θερμοκήπια θα στείλουν τις τιμές των αισθητήρων του με την παραπάνω μορφή.

## 6

# ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

---

Για την επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας του συστήματος, αναλύθηκαν και μελετήθηκαν όλα τα τμήματα που το απαρτίζουν ξεχωριστά.

### 6.1 Επιβεβαίωση Σειριακής Επικοινωνίας

Για την επιβεβαίωση της σειριακής επικοινωνίας (UART) μεταξύ του μικροελεγκτή και του υπολογιστή, χρησιμοποιήθηκε το terminal, που διαθέτει το εργαλείο προγραμματισμού για την πλατφόρμα Arduino, το Arduino IDE. Προσφέρει την λειτουργία μίας σειριακής οθόνης. Υλοποιήθηκε μια εφαρμογή επικοινωνίας μεταξύ των δύο αυτών μονάδων για την επαλήθευση της λειτουργίας. Ο χρήστης στέλνει μια συμβολοσειρά και ο μικροελεγκτής αποστέλλει πίσω την ίδια. Με αυτό το πρόγραμμα έγινε η επαλήθευση.

### 6.2 Επιβεβαίωση Λειτουργίας Αισθητήρων

Ξεκινώντας από το απλούστερο υποσύστημα, συνδέθηκαν ένας ένας οι αισθητήρες στην αναπτυξιακή πλακέτα. Μελετώντας τον τρόπο λειτουργίας τους, εμφανίστηκαν οι τιμές των μετρήσεων στο terminal του Arduino IDE. Για την βαθμονόμηση του αισθητήρα υγρασίας εδάφους, βυθίστηκε ο αισθητήρας σε υδάτινο περιβάλλον. Με αυτό τον τρόπο έγινε γνωστή η τάση που εμφανίζει όταν η υγρασία βρίσκεται στο 100%. Γνωρίζοντας πως είναι γραμμικός έγινε και η βαθμονόμηση για τα άλλα ποσοστά υγρασίας. Για την βαθμονόμηση του αισθητήρα θερμοκρασίας, βρέθηκε ο αισθητήρας σε περιβάλλον με γνωστή την θερμοκρασία του. Τέλος για την βαθμονόμηση του αισθητήρα οπτικής ακτινοβολίας εκτέμφθηκε σε κόκκινη ακτινοβολία και μπλε αντίστοιχα με γνωστή την ένταση του φωτός.

### 6.3 Επιβεβαίωση Λειτουργίας Ενεργοποιητών

Αρχικά συνδέθηκε ο ανεμιστήρας στα 5V και στα 3.3V. Κρίθηκε κατάλληλη τάση λειτουργίας τα 5V, αφού στα 3.3V η περιστροφή του ήταν αρκετά χαμηλή. Η αντλία ποτίσματος συνδέθηκε στα 5V και τα LEDs σε σειρά επίσης στα 5V. Η σύνδεση του είναι σε σειρά, ώστε από όλα τα LEDs να διέρχεται το ίδιο ρεύμα, και όχι να διαιρείται σε πολλά επι μέρους, κάτι που θα είχε ως αποτέλεσμα την χαμηλότερη εκπομπή ακτινοβολίας.

## 6.4 Επιβεβαίωση Λειτουργίας Συσκευής nRF24L01+

Για την επιβεβαίωση της λειτουργίας της συσκευής, αφού συνδέθηκε μια τέτοια στο master θερμοκήπιο και μια στο slave, στάλθηκε μια συμβολοσειρά από το master στο slave. Όταν έλαβε ο slave την συμβολοσειρά και επέστρεψε το ACK (Acknowledgment) στο master, τότε κατάλαβε ο χρήστης πως εγκαταστάθηκε και λειτουργεί ορθά η επικοινωνία μεταξύ τους. Τα μηνύματα επαλήθευσης εμφανίζονταν στο terminal του Arduino IDE. Το master θερμοκήπιο έχει ένα μοναδικό nodeID, ώστε να αναγνωρίζεται από το σύστημα. Τα δύο άλλα θερμοκήπια (slaves) εξοπλίστηκαν με έναν διακόπτη ο οποίος ρυθμίζει ποιο από αυτά είναι το πρώτο που εισήχθει μετά το master και ποιο το δεύτερο. Με τον τρόπο αυτό ορίζεται και για αυτά ένα μοναδικό nodeID, διαφορετικό από αυτό του master. Απαιτείται το κάθε θερμοκήπιο να έχει ορισμένο το nodeID, ώστε να γνωρίζει το master, από/προς ποιο θερμοκήπιο λαμβάνει/στέλνει τιμές.

## 6.5 Επιβεβαίωση Λειτουργίας Συσκευής ESP8266-01

Αρχικά συνδέθηκε η συσκευή στην πλακέτα και έπειτα στο οικιακό δίκτυο. Για την εισαγωγή του κωδικού του δικτύου χρησιμοποιήθηκε το terminal του Arduino IDE. Για τον προγραμματισμό της συσκευής απαιτήθηκε η χρήση μιας συσκευής USB to Serial Converter, ώστε να συνδεθεί με την θύρα USB του υπολογιστή. Το ESP8266-01 είναι σε θέση να κρατά στην μνήμη του τους κωδικούς για τα ασύρματα δίκτυα στα οποία έχει συνδεθεί. Όταν εμφανίστηκε στον χρήστη στο terminal η διεύθυνση IP που του παραχώρησε το router, τότε συμπέρανε πως η συσκευή λειτουργεί ορθά. Έπειτα προγραμματίστηκε καταλλήλως ώστε να εμφανίζει στην local IP μια ιστοσελίδα με φανταστικά δεδομένα. Ο χρήστης συνδεδεμένος σε αυτήν θα βλέπει στον browser το menu. Δηλαδή τις επιλογές που του δίνονται για τις διαθέσιμες οικογένειες φυτών που μπορεί να θέσει στα θερμοκήπια, καθώς και να παρατηρήσει τις συνθήκες που επικρατούν στο κάθε ένα από αυτά. Η συσκευή στέλνει ένα html GET request και διαβάζει από το url τις απαιτούμενες πληροφορίες, στην περίπτωση που ο χρήστης αλλάξει τις οικογένειες φυτών στα θερμοκήπια. Στην περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί να παρατηρήσει τις συνθήκες που επικρατούν σε όλα τα θερμοκήπια στέλνεται πάλι μέσω ενός html GET request ένας κωδικός, ώστε να αντιληφθεί η συσκευή τι απαιτείται και να του στείλει πίσω τις ζητούμενες τιμές. Τέλος συνδέθηκε με το Arduino και μέσα από αυτό στελνόταν μια συμβολοσειρά και εμφανιζόταν στην ιστοσελίδα. Με την παραπάνω μέθοδο επαληθεύτηκε η ορθή λειτουργία και η σωστή σύνδεση του Arduino με την συσκευή. Παρατηρήθηκε πως κατά την εκκίνηση της συσκευής υπήρχε πτώση τάσης από τα 3.3V στα 3.11V. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα μερικές φορές να επανεκκινείται συνεχώς. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού προστέθηκε μεταξύ της πηγής τάσης και της γείωσης ένας πυκνωτής των 10μF.

## 6.6 Επιβεβαίωση Λειτουργίας Ολικού Συστήματος

Αφού πραγματοποιήθηκαν οι παραπάνω έλεγχοι, δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα που λάμβανε τιμές από την ιστοσελίδα και έστελνε τα δεδομένα στα άλλα δύο θερμοκήπια. Αν στέλνονταν αυτά τα δεδομένα επιτυχώς, τότε εμφανιζόταν στην ιστοσελίδα το ίδιο μήνυμα αλλά και από ποιο θερμοκήπιο εστάλη. Με τον τρόπο αυτό ο χρήστης γνώριζε ότι το κάθε θερμοκήπιο λαμβάνει το σωστό μήνυμα. Έπειτα προγραμματίστηκαν κατάλληλα οι μικροελεγκτές ώστε αν για οποιοδήποτε λόγο αποσυνδεθεί από το RF δίκτυο (π.χ. μεγάλη απόσταση) κάποιο θερμοκήπιο και αργότερα επανέλθει, τότε να συνεχιστεί κανονικά η λειτουργία του συστήματος. Για την ενημέρωση του χρήστη είναι όλα τα θερμοκήπια εξοπλισμένα με ένα LED, το οποίο ανάβει στην περίπτωση που το θερμοκήπιο αποσυνδεθεί. Ακόμα ανάβει αυτό το LED και στην περίπτωση που τα δύο slave θερμοκήπια έχουν το ίδιο nodeID, δηλ. ο διακόπτης είναι στην ίδια θέση και στους δύο. Αργότερα συνδέθηκαν σε όλα τα θερμοκήπια οι αισθητήρες. Παρατηρήθηκε πως όταν δειγματοληπτούσαν όλοι μαζί και ταυτοχρόνως εξέπεμπε η RF κεραία, υπήρχε πτώση τάσης, με αποτέλεσμα την λανθασμένη αποστολή δεδομένων, αλλά και λάθη στις μετρήσεις. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος τοποθετήθηκε στην πηγή τάσης ένας πυκνωτής συνδεδεμένος σε σειρά με μια αντίσταση με στόχο την εξισορρόπηση της τάσης (RC φίλτρο). Ακόμα προγραμματίστηκαν κατάλληλα οι μικροελεγκτές, ώστε να μην δειγματοληπτούν και οι τρεις αισθητήρες ταυτοχρόνως. Το ίδιο έγινε και για τους ενεργοποιητές. Για την σύνδεση της αντλίας ποτίσματος απαιτήθηκε εξωτερική πηγή τάσης, διότι οι απαιτήσεις της ήταν αρκετά υψηλές με αποτέλεσμα να υπάρχει πτώση τάσης και μην λειτουργούν ορθά οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές. Με την χρήση εξωτερικής πηγής τάσης μπορεί να λειτουργεί η αντλία ποτίσματος και ταυτοχρόνως να είναι αναμμένα και τα LEDs και ο ανεμιστήρας.

## 6.7 Κατανάλωση Ενέργειας

Όπως φάνηκε στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Σχεδίαση Συστήματος), αθροίζοντας τις ενεργειακές απαιτήσεις όλων των αισθητήρων, αλλά και των ενεργοποιητών, το σύστημα δεν θα λειτουργούσε παραπάνω από 24 ώρες με την χρήση μπαταρίας 9V με μέση αποθηκευμένη ενέργεια 3.5592Wh. Ακόμα σε περίπτωση που σε μια οικία διακοπεί το ρεύμα δεν θα λειτουργεί ούτε το modem-router, οπότε το σύστημα της παρούσας εργασίας και να είχε ενεργειακή αυτονομία θα έχανε σημαντικό μέγεθος των δυνατοτήτων του. Για τον παραπάνω λόγο, αλλά και υπολογίζοντας πως το ηλεκτρικό δίκτυο έχει σχεδόν μηδενικές διακοπές, κρίνεται άσκοπη η χρήση μπαταρίας. Προορίζεται για οικιακό περιβάλλον και η παροχή ρεύματος θεωρείται δεδομένη. Η μέση κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται στα 20W ημερησίως. Έχει επιτευχθεί μείωση 60% σε σχέση με το μοντέλο που είχε αναπτυχθεί παλαιότερα. αυτό συμβαίνει διότι οι αισθητήρες δεν δειγματοληπτούν συνέχεια (όπως περιγράφηκε στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο), αλλά και επειδή οι συσκευές για την ασύρματη επικοινωνία (ESP8266-01 & nRF24L01+) είναι low power. Θα μπορούσε η παρούσα εργασία να είχε υλοποιηθεί με την χρήση Ethernet Shield, αντί για ESP8266-01, αλλά η κατανάλωση ενέργειας θα ήταν αυξημένη. Ακόμα θα ήταν αυξημένη αν το σύστημα για την ασύρματη επικοινωνία με τα άλλα θερμοκήπια χρησιμοποιούσε Bluetooth συσκευή ή Xbee.

## 6.8 Συντήρηση

Το παρών σύστημα δεν απαιτεί συντήρηση, παρά μόνο στην περίπτωση που πάθει βλάβη κάποια συσκευή. Ο έλεγχος για την καλή λειτουργία των εξαρτημάτων όλων των θερμοκηπίων γίνεται στον μικροελεγκτή του master θερμοκηπίου. Αν παραδείγματος χάριν η αντλία νερού λειτουργεί, αλλά το ποσοστό υγρασίας δεν μεταβάλλεται, τότε σημαίνει πως είτε έχει βλάβη η αντλία, είτε το δοχείο νερού είναι άδειο, είτε ότι ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους έχει καταστραφεί. Για τους αισθητήρες φωτισμού ο μόνος τρόπος για τον εντοπισμό βλάβης είναι αν δεν στέλνουν καμία μέτρηση στον μικροελεγκτή. Το ίδιο ισχύει και για θερμοκρασία. Για την διασφάλιση της καλής λειτουργίας των αισθητήρες θα υπάρχει LED, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για την ενημέρωση του χρήστη. Όλοι οι αισθητήρες μπορούν να αντικατασταθούν είτε με τους ίδιους, είτε με άλλους αλλά με ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά. Αυτό διότι έχουν βαθμονομηθεί, και αν π.χ αντικατασταθεί ο αισθητήρας θερμοκρασίας περιβάλλοντος από διαφορετικό με άλλη σχέση θερμοκρασίας – τάση εξόδου, το σύστημα δεν θα λειτουργεί ορθά. Το ίδιο ισχύει και για τους υπόλοιπους αισθητήρες. Για την σωστή λειτουργία των ενεργοποιητών ισχύει η προτεινόμενη μέθοδος που περιεγράφηκε παραπάνω για την αντλία ποτίσματος. Για την διασφάλιση της σωστής λειτουργίας του RF δικτύου θα υπάρχει LED για την ενημέρωση του χρήστη. Θα ενεργοποιείται όταν απομακρυνθεί από το δίκτυο κάποιο από τα θερμοκήπια. Το LED αυτό θα ανάβει και όταν χαθεί η σύνδεση μεταξύ του οικιακού δικτύου και του ESP8266-01.



# 7

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

### 7.1 Ανάλυση Κόστους

Το σύστημα προορίζεται για εμπορική εκμετάλλευση. Απαιτείται να γίνει ανάλυση κόστους και σύγκριση αυτού με τους ανταγωνιστές, που παρουσιάστηκαν στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (Σχετική Έρευνα). Το συνολικό κόστος κυμαίνεται στα 28 ευρώ και 64 λεπτά. Βέβαια για ένα τελικό προϊόν πρέπει να υπολογιστεί και το κόστος για την κατασκευή, την συσκευασία, την παράδοση και την προώθηση του.

### 7.2 Καινοτομία και Σύγκριση με τα Ανταγωνιστικά Προϊόντα

Σε σύγκριση με τα ανταγωνιστικά προϊόντα το σύστημα που υλοποιείται στην παρούσα εργασία καινοτομεί και χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω λειτουργίες:

- Δημιουργία ασύρματου δικτύου θερμοκηπίων
- Ακριβής αντίληψη των θερμοκηπιακών συνθηκών
- Εξατομικευμένες λύσεις για κάθε θερμοκήπιο (ομάδα φυτών)
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και πόρων
- Παροχή ευελιξίας στον χρήστη

Το σύστημα που υλοποιείται είναι το μοναδικό που επιτρέπει στον χρήστη την δημιουργία ενός ασύρματου οικιακού δικτύου θερμοκηπίων. Ο έλεγχος και η παρατήρηση όλων των θερμοκηπίων γίνεται μέσα από την ίδια διεπαφή. Με την χρήση αισθητήρων το σύστημα έχει πολύ καλή αντίληψη για τις συνθήκες που επικρατούν και έχει ως αποτέλεσμα την μέγιστη ανάπτυξη των φυτών, αλλά και την απουσία ασθενειών. Γνωρίζει επακριβώς πόσο πρέπει να μεταβάλλει τις συνιστώσες που τα επηρεάζουν (υγρασία, φωτισμός, θερμοκρασία). Η τιμές των συνιστωσών αυτών διαφέρουν μεταξύ τους αναλόγως με την οικογένεια στην οποία ανήκει το κάθε φυτό. Π.χ. άλλες ανάγκες έχουν τα ζαρζαβατικά σε νερό και άλλες τα παχύφυτα. Το σύστημα παρέχει εξατομίκευση ως προς την οικογένεια φυτών. Αυτό έχει και σαν αποτέλεσμα την σωστή διαχείριση των πόρων του συστήματος. Δεν καταναλώνεται άσκοπα νερό ή ενέργεια. Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας επιτυγχάνεται αφού δεν ενεργοποιούνται οι λαμπτήρες για την φωτοσύνθεση των φυτών, όποτε ο φωτισμός του δωματίου επαρκεί. Ακόμα οι λαμπτήρες εκπέμπουν μόνο την ακτινοβολία (μπλε και κόκκινη) που είναι ωφέλιμη για την ανάπτυξη των φυτών. Τα άλλα προϊόντα χρησιμοποιούν χρονοδιακόπτη, με αποτέλεσμα να καταναλώνεται ενέργεια και ας επαρκεί το φως του δωματίου. Ακόμα οι λαμπτήρες που χρησιμοποιούν εκπέμπουν λευκό φως με αποτέλεσμα να δαπανάται ακόμα μεγαλύτερο ποσό ενέργειας, αφού τα

φυτά δεν απορροφούν το φως σε όλα τα μήκη κύματος. Όλα τα παραπάνω παρέχουν την ευελιξία στον χρήστη να καλλιεργεί όποια φυτά επιθυμεί εγγυώντας του την σωστή ανάπτυξη τους. Του δίνεται η δυνατότητα να έχει διαφορετικές οικογένειες φυτών σε κάθε θερμοκήπιο και να τα ελέγχει/παρατηρεί όλα αυτά από μια διεπαφή. Τέλος μπορεί να τα διαρρυθμίσει όπως επιθυμεί εκείνος στον χώρο του, αφού επικοινωνούν μεταξύ τους ασύρματα.

## 7.3 Βέλτιστη Ανάπτυξη Φυτών

Κατά την διάρκεια του σχεδιασμού και της υλοποίησης της παρούσας εργασίας έγιναν διάφορα πειράματα. Τους μήνες από Μάρτιο μέχρι Μάιο τέσσερα παχύφυτα επιλέχθηκαν για το πείραμα. Το ένα βρισκόταν σε μια γλάστρα δίπλα στο παράθυρο εκτεθειμένο στην πρωινή και στην μεσημεριανή ηλιακή ακτινοβολία και ποτιζόταν ανά δύο ημέρες. Το δεύτερο βρισκόταν στην ίδια θέση αλλά ποτιζόταν κάθε επτά ημέρες. Το τρίτο βρισκόταν σε μια θέση κοντά στο παράθυρο, αλλά δεχόταν μόνο τις απογευματινές ακτίνες του ηλίου και ποτιζόταν μία φορά εβδομαδιαίως. Το τελευταίο τοποθετήθηκε στο θερμοκήπιο με τις κατάλληλες ρυθμίσεις για τα παχύφυτα στην ίδια θέση. Τον Μάιο παρατηρήθηκε πως αυτό που βρισκόταν στο θερμοκήπιο είχε καλύτερη ανάπτυξη με ζωηρό πράσινο χρώμα στα φύλλα του, ενώ στα άλλοι οι άκρες των φύλλων του ήταν πεσμένες ή ξεραμένες. Αυτό πιθανώς οφείλεται στο ότι ποτιζόνταν αρκετά συχνά και στο ότι δεν δεχόταν την απαιτούμενη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας. Συμπεραίνεται πως υπάρχει η βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών στο θερμοκηπιακό περιβάλλον και πως το σύστημα λειτουργεί ορθά.

## 7.4 Μελλοντική Εργασία

Όπως έχει αναφερθεί και στα παραπάνω κεφάλαια, μελλοντικά θα συνδεθεί το σύστημα με εφαρμογή έξυπνου κινητού τηλεφώνου για την περαιτέρω διευκόλυνση του χρήστη, δίνοντας του την δυνατότητα για απομακρυσμένο έλεγχο και παρατήρηση της καλλιέργειας του. Εκτός αυτού θα του δίνεται η δυνατότητα να εισάγει παραπάνω από δύο επιπλέον θερμοκήπια. Θα μπορεί να παραμετροποιεί ο ίδιος τις τιμές της υγρασίας, της θερμοκρασίας και του φωτισμού, και θα έχει να επιλέξει ανάμεσα σε περισσότερες οικογένειες φυτών. Γνωρίζοντας τις συνθήκες που θα επικρατούν και το ποια οικογένεια φιλοξενείται στο κάθε θερμοκήπιο θα ειδοποιείται ο χρήστης μέσω της εφαρμογής για το πότε και ποιο λίπασμα πρέπει να εισάγει, πότε να συλλέξει τους καρπούς καθώς και πότε να το κλαδέψει. Ακόμα για να είναι ενεργειακά αυτόνομο θα μπορούσαν να τοποθετηθούν ηλιακά πάνελ για την συλλογή ηλεκτρικής ενέργειας, όταν το θερμοκήπιο θα βρίσκεται υπό τις ακτίνες του ηλίου. Με τον τρόπο αυτό θα μπορεί να εξοπλιστεί με ένα σύστημα αποθήκευσης και διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας, με στόχο την μείωση της κατανάλωσης. Επίσης θα ήταν δυνατό ολόκληρα δωμάτια να μετατρέπονται σε θερμοκήπια, αλλά πρέπει να γίνει εκ νέου ανάλυση απαιτήσεων, καθώς και μελέτη για τον εξαερισμό του δωματίου λόγω των μεγάλων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τα φυτά. Οι εκπομπές αυτές των φυτών από το προϊόν που υλοποιείται στην παρούσα εργασία δεν ξεπερνούν τα μέγιστα επιτρεπτά όρια στο οικιακό περιβάλλον για την ανθρώπινη υγεία.

# 8

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- [1] [https://el.wikipedia.org/wiki/Περιβαλλοντικός\\_παράγοντας](https://el.wikipedia.org/wiki/Περιβαλλοντικός_παράγοντας)
- [2] Ν. Α. Χουλιάρης, Η λίπανση στην βιολογική γεωργία, 1996
- [3] Μ. Χρυσουλάκης, Αξιολόγηση υποστρωμάτων με μίγματα ανόργανων υλικών και πριονίδι σε υδροπονική καλλιέργεια μαρουλιού, 2010
- [4] Μ. Νικολετάκης, Η τεχνική της υδροπονίας και η εφαρμογή της μέσα από διάφορα συστήματα, 2008
- [5] African Journal of Biotechnology Vol. 11(17), pp. 3993-3999, 28 February, 2012
- [6] FAO, Small-scale aquaponics food production, 2014
- [7] Κ. Καλαϊτζάκης Ε. Κουτρούλης, Ηλεκτρικές μετρήσεις και αισθητήρες, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2013
- [8] [www.clickandgrow.com](http://www.clickandgrow.com)
- [9] <https://plantui.com>
- [10] [www.tdk.com](http://www.tdk.com)
- [11] Optimus Digital ESP8266 Serial Esp-01 WIFI Wireless datasheet
- [12] [www.tindie.com/products/miceuz/i2c-soil-moisture-sensor/](http://www.tindie.com/products/miceuz/i2c-soil-moisture-sensor/)
- [13] [en.wikipedia.org/wiki/Room\\_temperature](http://en.wikipedia.org/wiki/Room_temperature)
- [14] <http://postscales.com/internet-of-things-protocols/>
- [15] Arduino Uno user guide
- [16] <https://en.wikipedia.org/wiki/Μικροελεγκτής>
- [17] XBee ZigBee Cloud Kit Getting Started Guide Rev.90001503
- [18] [www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01P](http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01P)
- [19] Analog Devices Low Voltage Temperature Sensors TMP35/TMP36/TMP37 datasheet Rev.H
- [20] LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors datasheet Rev.August 2016
- [21] Microchip 2-Wire Serial Temperature Sensor TCN75A datasheet Rev.2010
- [22] Maxim integrated DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer datasheet Rev.1/15
- [23] Texas Instruments LMx93-N, LM2903-N Low-Power, Low-Offset Voltage, Dual Comparators datasheet Rev. December 2014
- [24] Jasjit Singh, 1998: Οπτοηλεκτρονική. Εκδόσεις Τζιόλα
- [25] Atmel ATmega328/P Datasheet Complete Rev.06/2016
- [26] Nordic Semiconductor nRF24L01 Product Specification Rev.2.0
- [27] [https://en.wikipedia.org/wiki/Chip\\_select](https://en.wikipedia.org/wiki/Chip_select)
- [28] [https://en.wikipedia.org/wiki/Serial\\_Peripheral\\_Interface\\_Bus#Interrupts](https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus#Interrupts)
- [29] <http://hydroponicsgrower.org/introduction-to-different-types-of-hydroponics-systems/>
- [30] <http://howtogrowmarijuana.com/aeroponics/>

- [31] <http://blog.farmedaddangerous.org>
- [32] <http://www.myledlightingguide.com/why-we-need-to-consider-indoor-gardening>
- [33] <http://www.ebay.com/itm/50pcs-lot-Full-Spectrum-Led-Chip-for-Plants-Growing-High-Quality-High-PPFD-/291234250536>
- [34] <http://www.engineersgarage.com/articles/humidity-sensor>
- [35] [www.sensorsmag.com](http://www.sensorsmag.com)
- [36] [http://www.electronics-tutorials.ws/io/io\\_4.html](http://www.electronics-tutorials.ws/io/io_4.html)
- [37] <http://grobotronics.com>