

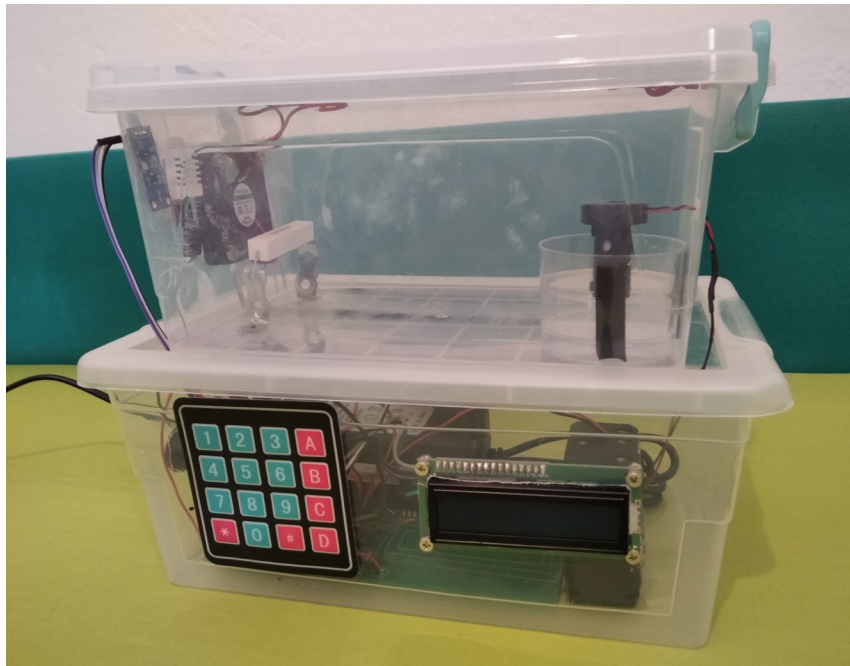


ΔΙΕΘΝΕΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Πειραματικός θάλαμος ανάπτυξης φυτού»



Του φοιτητή  
Ιωάννη Σωτηριάδη  
Αρ. Μητρώου: 518147

Επιβλέπων  
Άγγελος Γιακουμής  
Βαθμίδα: Επ. Καθηγητής

Ημερομηνία 7/9/2024

Τίτλος Δ.Ε. Πειραματικός θάλαμος ανάπτυξης φυτού

Κωδικός Δ.Ε. 24128

Όνοματεπώνυμο φοιτητή Ιωάννης Σωτηριάδης

Όνοματεπώνυμο εισηγητή Άγγελος Γιακουμής

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 22-02-2024

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 07-09-2024

*Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.*

*Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Ιωάννη Σωτηριάδη που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.*

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

## Πρόλογος

Η επιλογή του θέματος της πτυχιακής μου εργασίας, με θέμα «Πειραματικός Θάλαμος Ανάπτυξης Φυτού», προέκυψε από την αγάπη μου για τα ηλεκτρονικά, που καλλιέργησα κατά την διάρκεια των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών συστημάτων. Το ενδιαφέρον μου κέντρισε το μάθημα “Ένσωματωμένα Συστήματα” του προγράμματος σπουδών, αλλά και το ενδιαφέρον μου για την τα φυτά.

Στην εκπόνηση της έρευνάς μου με σκοπό την υλοποίηση της πτυχιακής εργασίας, έγινε μελέτη από ποικίλα άρθρα και επιστημονικές πηγές. Αυτή η διαδικασία όχι μόνο συνέβαλε στην προσωπική μου ανάπτυξη και την επέκταση των γνώσεων μου, με βοήθησε να κατανοήσω σε βάθος καλύτερα τους μικροελεγκτές και γενικότερα τα ηλεκτρονικά.

## Περίληψη

Η πτυχιακή εργασία με θέμα «Πειραματικός θάλαμος ανάπτυξης φυτού» παρουσιάζει την σχεδίαση, κατασκευή και λειτουργία ενός θαλάμου για την ανάπτυξη φυτών σε ελεγχόμενες συνθήκες. Για αρχή γίνεται μια ιστορική αναδρομή για τους θαλάμους φυτών, παρουσιάζοντας τις τεχνολογικές εξελίξεις και την σημασία τους για την πρόοδο της γεωργίας. Η πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στη συνδεσμολογία και τον σχεδιασμό του κυκλώματος. Το κύκλωμα περιλαμβάνει τους αισθητήρες DHT22 και BH1750, που μετρούν τη θερμοκρασία, την υγρασία και τη φωτεινότητα του πειραματικού θαλάμου. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση ενός υγραντήρα, μιας αντίστασης και μιας ταινίας LED με την καθοδήγηση του Atmega328p, προκειμένου να επιτευχθούν οι επιθυμητές συνθήκες μέσα στον θάλαμο. Με την βοήθεια της πλατφόρμας του Ki-Cad μπόρεσε να δημιουργηθεί η πλακέτα στην οποία τοποθετήθηκαν τα απαραίτητα εξαρτήματα. Επιπλέον, περιλαμβάνονται πίνακες που περιγράφουν τις ιδανικές συνθήκες για να ευδοκιμήσουν κάποια φυτά, που διαλέγονται από τον χρήστη μέσω ενός πληκτρολογίου και εμφανίζονται σε μια οθόνη LCD. Τέλος για τον προγραμματισμό του Atmega328p χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή Arduino IDE.

# «Experimental plant growth chamber»

«Ioannis Sotiriadis»

## **Abstract**

The thesis entitled "Experimental plant growth chamber" presents the design, construction and operation of a chamber for the growth of plants under controlled conditions. To begin with, a historical review of plant chambers is given, presenting the technological developments and their importance for the progress of agriculture. The thesis focuses on the circuit wiring and design. The circuit includes DHT22 and BH1750 sensors that measure the temperature, humidity and brightness of the experimental chamber. The data collected from the sensors is used to adjust a humidifier, a resistor and a LED strip under the guidance of the Atmega328p in order to achieve the desired conditions inside the chamber. With the help of the KiCad platform the board was able to be created where the necessary components were mounted. In addition, tables describing the ideal conditions for certain plants to thrive are included, selected by the user through a keyboard and displayed on a LCD screen. Finally, the Arduino IDE application was used to program the Atmega328p.

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές και καθηγήτριες του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε. Ιδιαίτερος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της πτυχιακής μου Άγγελο Γιακουμή, που δίχως τη βοήθεια του δεν θα μπορούσα να πραγματοποιήσω την πτυχιακή μου εργασία. Όπως και την οικογένεια μου που με βοήθησε οικονομικά και πίστεψε σε εμένα όλα αυτά τα χρόνια.



# Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Ευχαριστίες.....	6
Περιεχόμενα.....	8
Κατάλογος Σχημάτων.....	11
Κατάλογος Πινάκων.....	12
Συνομογραφίες.....	13
1 Εισαγωγή.....	15
1.1 Ιστορική Αναδρομή.....	15
1.1.1 Ελεγχόμενο περιβάλλον στα αρχαία χρόνια.....	15
1.1.2 Πρώιμα θερμοκήπια τον 19ο αιώνα.....	16
1.1.3 Η εισαγωγή του ηλεκτρικού φωτισμού στον 20ο αιώνα.....	16
1.1.4 Συνεισφορά της NASA.....	17
1.1.5 Οι πειραματικοί θάλαμοι στην σύγχρονη ιστορία.....	17
2 Υλοποίηση Κατασκευής.....	18
2.1 Εισαγωγή.....	18
2.2 Πλαστικό δοχείο.....	18
2.3 Δοχείο τροφοδοσίας και πλακέτας.....	18
2.4 ATmega328P.....	18
2.5 Input.....	19
2.5.1 Οθόνη LCD.....	19
2.5.2 Μονάδα διασύνδεσης οθόνης LCD I2C.....	20
2.5.3 Πληκτρολόγιο.....	21
2.5.4 BH1750.....	22
2.5.5 DHT22.....	22
2.6 Output.....	23
2.6.1 Υγραντήρας.....	23
2.6.2 Αντίσταση.....	24
2.6.3 Ανεμιστήρας.....	25
2.6.4 Ταινία LED.....	26
2.7 Διακόπτες.....	26
2.7.1 Διακόπτες ON-OFF.....	26

2.7.2	Τρανζίστορ 2N2222.....	27
2.7.3	Ρελέ.....	27
2.7.4	IRLZ44N MOSFET.....	28
2.8	Ρυθμιστής τάσης 7805.....	28
2.9	Τροφοδοσία.....	29
2.10	Άλλα Υλικά.....	29
2.11	Συνδεσμολογία.....	30
2.11.1	Συνδεσμολογία 7805.....	30
2.11.2	Συνδεσμολογία ATmega328p.....	30
2.11.3	Συνδεσμολογία LCD και BH1750.....	30
2.11.4	Συνδεσμολογία DHT22.....	31
2.11.5	Συνδεσμολογία ηλεκτρολογίου.....	31
2.11.6	Συνδεσμολογία υγραντήρα.....	32
2.11.7	Συνδεσμολογία αντίστασης και ανεμιστήρα.....	32
2.11.8	Συνδεσμολογία ταινίας LED.....	33
2.11.9	Συνδεσμολογία διακοπών.....	33
2.12	Καταγραφή τάσης.....	34
2.13	Μπλοκ διάγραμμα συστήματος.....	35
3	KiCad.....	36
3.1	Εισαγωγή.....	36
3.2	Διαχειριστής Έργου.....	36
3.2.1	Επεξεργαστής Σχηματικού.....	36
3.2.2	Επεξεργαστής Συμβόλων.....	39
3.2.3	Επεξεργαστής Αποτυπώματος.....	40
3.2.4	Επεξεργαστής Σχεδίασης PCB.....	42
3.2.5	Πρόγραμμα Προβολής Αρχείων Gerber.....	42
3.3	Επίλογος.....	43
4	Πίνακες.....	44
4.1	Εισαγωγή.....	44
4.2	Τιμές θερμοκρασίας.....	44
4.3	Τιμές υγρασίας.....	44
4.4	Τιμές φωτός.....	44
4.5	Πίνακες φυτών.....	45
4.6	Πίνακας κώδικα φυτών.....	47
5	Arduino IDE.....	48

5.1 Εισαγωγή.....	48
5.2 Περιβάλλον Arduino IDE.....	48
5.2.1 Menu Bar (Γραμμή Μενού).....	48
5.2.2 Toolbar (Γραμμή Εργασιών).....	49
5.2.3 Toolbar (Γραμμή Εργασιών).....	49
5.2.4 Editor Window (Παράθυρο Επεξεργασίας).....	49
5.2.5 Console/Output Panel (Πάνελ Κονσόλας/Εξόδου).....	50
5.3 Duty Cycle.....	50
5.4 Αλληλεπίδραση χρήστη με πειραματικό θάλαμο.....	51
5.5 Διάγραμμα ροής.....	52
6 Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης.....	54
6.1 Προτάσεις βελτίωσης.....	54
6.2 Συμπεράσματα.....	54
6.3 Κόστος κατασκευής.....	54
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	57
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΚΩΔΙΚΑΣ.....	62

## Κατάλογος Σχημάτων

### Κατάλογος Σχημάτων

Εικόνα 1.1 Specularia [34].....	15
Εικόνα 1.2 Wardian case [35].....	16
Εικόνα 2.1 ATmega328P [36].....	18
Εικόνα 2.2 Οθόνη LCD [38].....	20
Εικόνα 2.3 Μονάδα διασύνδεσης οθόνης LCD I2C [40].....	20
Εικόνα 2.4 Πληκτρολόγιο [41].....	21
Εικόνα 2.5 BH1750 [42].....	22
Εικόνα 2.6 DHT22 [43].....	22
Εικόνα 2.7 Υγραντήρας [44].....	23
Εικόνα 2.8 Αντίσταση [40].....	24
Εικόνα 2.9 Ανεμιστήρας [46].....	25
Εικόνα 2.10 Ταινία LED [48].....	26
Εικόνα 2.11 Διακόπτες ON-OFF [50].....	26
Εικόνα 2.12 Τρανζίστορ 2N2222 [51].....	27
Εικόνα 2.13 Ρελέ [52].....	27
Εικόνα 2.14 IRLZ44N MOSFET [55].....	28
Εικόνα 2.15 Ρυθμιστής τάσης 7805 [56].....	29
Εικόνα 2.16 Συνδεσμολογία 7805.....	30
Εικόνα 2.17 Συνδεσμολογία LCD και BH1750.....	31
Εικόνα 2.18 Συνδεσμολογία πληκτρολογίου.....	31
Εικόνα 2.19 Συνδεσμολογία αντίστασης και ανεμιστήρα.....	32
Εικόνα 2.20 Συνδεσμολογία ταινίας LED.....	33
Εικόνα 2.21 Μπλοκ διάγραμμα.....	35
Εικόνα 3.1 Διαχειριστής Έργου.....	36
Εικόνα 3.2 Διαχειριστής Έργου.....	37
Εικόνα 3.3 Ιδιότητες συμβόλου.....	38
Εικόνα 3.4 Τελικό κύκλωμα επεξεργαστή σχηματικού.....	39
Εικόνα 3.5 Ιδιότητες ακροδέκτη.....	40
Εικόνα 3.6 Ιδιότητες έδρας.....	41

Εικόνα 3.7 Τελικό κύκλωμα PCB.....	42
Εικόνα 3.8 Τελικό κύκλωμα Gerber.....	43
Εικόνα 5.1 Tools μικροελεγκτή.....	49
Εικόνα 5.2 Duty Cycle [83].....	50
Εικόνα 5.3 Διάγραμμα Ροής.....	53

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Καταγραφή τάσης.....	34
Πίνακας 2.2 Καταγραφή τάσης σε καταστάσεις ON και OFF.....	34
Πίνακας 3.1 Περιγραφή κύριων λειτουργιών.....	38
Πίνακας 3.2 Περιγραφή κύριων λειτουργιών.....	40
Πίνακας 3.3 Περιγραφή κύριων λειτουργιών.....	41
Πίνακας 3.4 Περιγραφή κύριων λειτουργιών.....	42
Πίνακας 4.1 Επεξήγηση τιμών.....	44
Πίνακας 4.2 Χαμηλή Θερμοκρασία, Μέτρια Υγρασία, Χαμηλό Φως [64],[65],[72].....	45
Πίνακας 4.3 Χαμηλή Θερμοκρασία, Υψηλή Υγρασία, Χαμηλό Φως [73],[74].....	45
Πίνακας 4.4 Μέτριος φωτισμός, μέτρια υγρασία, μέτρια θερμοκρασία [70],[75].....	45
Πίνακας 4.5 Μέτρια Θερμοκρασία, Υψηλή Υγρασία, Μέτριο Φως [76],[77].....	45
Πίνακας 4.6 Μέτρια Θερμοκρασία, Μέτρια Υγρασία, Υψηλό Φως [78],[71].....	46
Πίνακας 4.7 Μέτρια Θερμοκρασία, Υψηλή Υγρασία, Υψηλό Φως [79],[80].....	46
Πίνακας 4.8 Υψηλή Θερμοκρασία, Μέτρια Υγρασία, Χαμηλό Φως [68],[81].....	46
Πίνακας 4.9 Υψηλή Θερμοκρασία, Μέτρια Υγρασία, Μέτριο Φως [82],[80].....	46
Πίνακας 4.10 Υψηλή Θερμοκρασία, Υψηλή Υγρασία, Υψηλό Φως [66],[67].....	46
Πίνακας 4.11 Απλοποιημένος πίνακας τιμών.....	47
Πίνακας 5.1 Duty Cycle ταινίας LED.....	51
Πίνακας 6.1 Κόστος κατασκευής.....	54

## Συντομογραφίες

ΔΠΠΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία
IDE	Integrated Development Environment
LCD	Liquid Crystal Display
NASA	National Aeronautics and Space Administration
CESRF	Civil Emergency Services Radio Frequency
PWM	Pulse Width Modulation
I2C	Inter-Integrated Circuit
SDA	Serial Data
SCL	Serial Clock
SPI	Serial Peripheral Interface
SS	Slave Select
MOSI	Master Out Slave In
MISO	Master In Slave Out
SCLK	Serial Clock
TXD	Transmit Data
RXD	Receive Data
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
ICST	Integrated Circuit Substrate Technology
POW	Power
RX	Receive
TX	Transmit
SMD	Surface-Mount Device
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ADC	Analog-to-Digital Converter
E	Emitter
B	Base
C	Collector
IC	Collector Current (για το 2N2222)
VCE	Collector-Emitter Voltage

hFE	Forward Current Gain
NO	Normally Open
NC	Normally Closed
CO	Common
MOSFET	Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor
G	Gate
D	Drain
S	Source
IC	Integrated Circuit (για το 7805)
ECAD	Electronic Computer-Aided Design
PCB	Printed Circuit Boards
ISP	In-System Programmer

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Ιστορική Αναδρομή

Στο παρόν κεφάλαιο, θα γίνει αναφορά στην εξέλιξη του πειραματικού θαλάμου ανάπτυξης φυτού, εξετάζοντας τα βασικά γεγονότα και τις κοινωνικοπολιτικές συνθήκες που καθόρισαν την πορεία του, καθώς και πώς άλλαζαν οι θάλαμοι φυτών στο διάστημα των αιώνων.



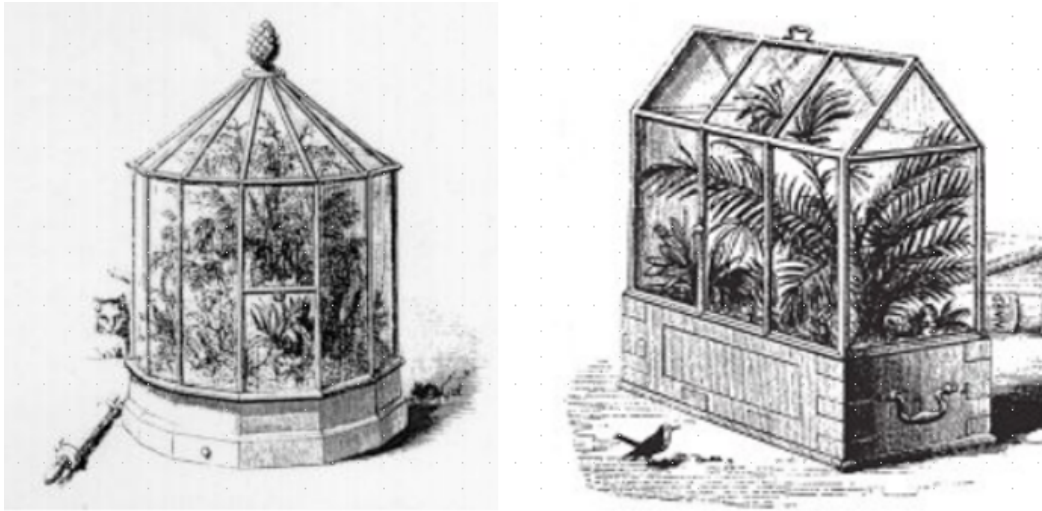
Εικόνα 1.1 *Specularia* [34]

### 1.1.1 Ελεγχόμενο περιβάλλον στα αρχαία χρόνια

Στην Ρωμαϊκή περίοδο, περίπου το 30 μ.Χ. δημιουργήθηκε το “*Specularia*”. Όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1, είναι ένας χώρος που το πάνω μέρος του αποτελείται από μαρμαρυγία σε λεπτές φέτες. Αυτές οι λεπτές φέτες τοποθετούνταν σε ξύλα για την οροφή των πρώτων θερμοκηπίων. Δημιουργήθηκαν την εποχή που αυτοκράτορας ήταν ο Τιβέριος, για την καλλιέργεια διάφορων φυτών, κυρίως, όμως, αγγουριών λόγω της ιδιαίτερης αγάπης του αυτοκράτορα προς αυτά. Η χρήση του μαρμαρυγία επιτρέπει να περάσει το φως του ηλίου και να παγιδέψει την ζέστη στο εσωτερικό. Αυτό ήταν αποτελεσματικό ακόμα και στις πολύ ψυχρές εποχές του χρόνου. Με την χρήση των *specularia* οι Ρωμαίοι είχαν την δυνατότητα να καταναλώσουν εξωτικά φυτά [1].

Στην Κίνα αναπτύχθηκε μια άλλη τεχνική στην διάρκεια της δυναστείας Τανγκ (618-907 μ.Χ). Στα παράθυρα τους χρησιμοποιούσαν μονοτικά υλικά, όπως λαδωμένο χαρτί και πολύ λεπτό μετάξι. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να περνάνε οι θερμές ακτίνες του ήλιου και ο χώρος να κρατάει μια θερμοκρασία που επέτρεπε να μεγαλώσει το φυτό σε όλες τις καιρικές συνθήκες. Με αυτόν τον τρόπο μπόρεσαν να καλλιεργούνται φαρμακευτικά βότανα και εξωτερικά φυτά, τα οποία βελτίωσαν την καθημερινότητα των Κινέζων[2].

### 1.1.2 Πρώιμα θερμοκήπια τον 19ο αιώνα



Εικόνα 1.2 Wardian case [35]

Ο Άγγλος Nathaniel Bagshaw Ward το 1829 εφηύρε το “Wardian case”. Το “Wardian case”, παραδείγματα του οποίου αποτυπώνονται στην εικόνα 1.2, είναι ένα κλειστό γυάλινο δοχείο που απαιτούσε λιγότερο νερό, ταυτόχρονα παγίδευε την υγρασία, αλλά και προστάτευε το φυτό από πιθανές μολύνσεις. Αυτό βοήθησε στη μεταφορά εξωτικών φυτών σε περιοχές που προηγουμένως η εισαγωγή τους ήταν δύσκολη, καθώς η μεταφορά γινόταν μέσω μακρινών ταξιδιών στον ωκεανό. Στα τέλη του 19ου αιώνα χρησιμοποιήθηκαν μεγαλύτερα γυάλινα θερμοκήπια με καλύτερα υλικά. Αυτό οδήγησε στον πιο ακριβή έλεγχο των περιβαλλοντικών συνθηκών[3],[4].

### 1.1.3 Η εισαγωγή του ηλεκτρικού φωτισμού στον 20ο αιώνα

Η εισαγωγή του ηλεκτρικού φωτισμού στις αρχές του 1900 βοήθησε στην πιο ολοκληρωμένη έρευνα των φυτών. Αυτό είχε σαν συνέπεια ο πειραματισμός στα φυτά να γίνεται όλη τη διάρκεια του χρόνου, δίχως τη συνεχόμενη παρουσία του ηλιακού φωτός. Με τη χρήση του τεχνητού φωτός, οι επιστήμονες μπόρεσαν να μελετήσουν τις επιδράσεις του φωτός στα φυτά σε διαφορετικές εντάσεις και φάσματα. Με την χρήση αυτής της τεχνολογίας προσομοίωσαν διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες, που έφερε σαν αποτέλεσμα να βελτιώσουν τις ιδεατές ανάγκες των φυτών. Το 1949, ο Frederick G. Gregory δημιούργησε έναν από τους πρώτους σύγχρονους πειραματικούς θαλάμους ανάπτυξης φυτών. Με την ενσωμάτωση συστημάτων, όπως αυτή ενός θερμοστάτη, που συνεργάζεται με συσκευές θέρμανσης και ψύξης, ρυθμίζεται η θερμοκρασία. Παράλληλα με τη βοήθεια του υγρομέτρου που ήταν ενσωματωμένο με υγραντήρα και αφυγραντήρα, μπορούσε να ρυθμιστεί και η υγρασία ενώ η ύπαρξη ενός διαφορετικού συστήματος επέτρεπε τη ροή του αέρα, ώστε να αλλάξουν οι συνθήκες σε όλο τον θάλαμο ομοιόμορφα. Με την βοήθεια του Frederick G. Gregory μπόρεσαν να αναπτυχθούν οι γεωργικές πρακτικές και η καλύτερη κατανόηση των φυτών[85],[5],[6].

#### **1.1.4 Συνεισφορά της NASA**

Η NASA τη δεκαετία του 1960, με αφορμή τα διαστημικά ταξίδια, άρχισε να μελετά την πιθανότητα της καλλιέργειας φυτών σε ελεγχόμενο περιβάλλον. Τα πειράματα που έγιναν ήταν πολύ σημαντικά για την υποστήριξη της ανθρώπινης ζωής κατά τη διάρκεια των αποστολών που εκτελούσαν οι αστροναύτες. Οι δοκιμές αφορούσαν τη λύση στο πρόβλημα της μικροβαρύτητας και του ελάχιστου φυσικού φωτισμού. Οι ειδικά συσκευασμένοι θάλαμοι επέλυαν τη δυσκολία με τον χειρισμό και τον προσεγμένο έλεγχο της θερμοκρασίας, της υγρασίας και την παροχή θρεπτικών στοιχείων για το φυτό. Μετά από πολλές δοκιμές συμπέραναν ότι τα φυτά μπορούν να ολοκληρώσουν όλο τον κύκλο της ζωής τους έξω από την γη. Λίγα χρόνια αργότερα, τη δεκαετία του 1980, η Ερευνητική Μονάδα Σύστηματων Ελεγχόμενου Περιβάλλοντος (CESRF) ιδρύθηκε από το πανεπιστήμιο του Guelph για την βελτίωση των συνθηκών του περιβάλλοντος για να ευνοηθεί η ανάπτυξη των φυτών, τόσο στα διαστημικά ταξίδια όσο και στη γη. Οι έρευνές τους βοήθησαν τη NASA προσφέροντας καινοτόμες ιδέες και την καλλιέργεια φυτών έξω από την πλανήτη μας [86], [7].

#### **1.1.5 Οι πειραματικοί θάλαμοι στην σύγχρονη ιστορία**

Στη νεότερη ιστορία, από το 2000 έως και σήμερα, οι πειραματικοί θάλαμοι φυτών έχουν αναβαθμιστεί με τη βοήθεια μικροελεγκτών που λειτουργούν σαν “εγκέφαλος”, με βάση τις πληροφορίες που πηγάζουν από αισθητήρες. Αυτοί οι αισθητήρες συλλέγουν συνεχόμενα τιμές με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Οι πληροφορίες αυτές εισάγονται στον μικροελεγκτή σε πραγματικό χρόνο [8].

## 2 Υλοποίηση Κατασκευής

### 2.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται τα κύρια στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του πειραματικού θαλάμου ανάπτυξης φυτού, καθώς και η συνδεσμολογία του.

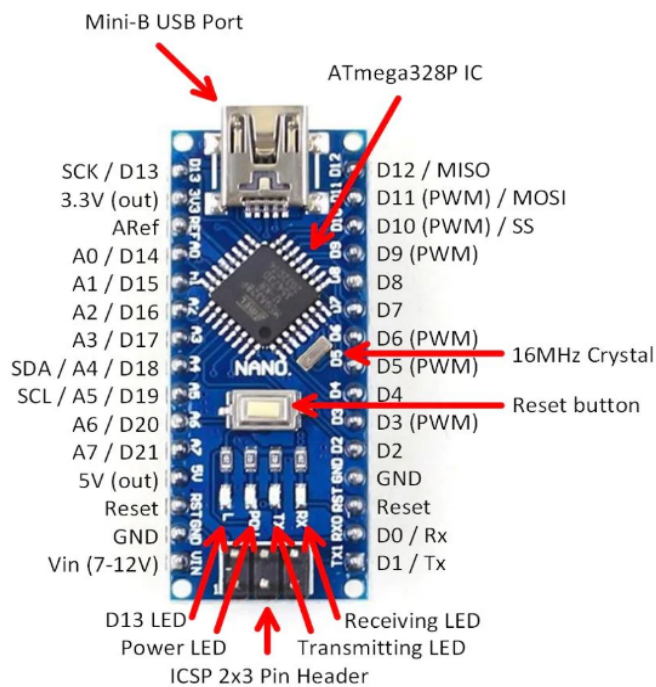
### 2.2 Πλαστικό δοχείο

Ως βάση για τον πειραματικό θάλαμο ανάπτυξης φυτού χρησιμοποιήθηκε ένα διάφανο πλαστικό δοχείο. Το δοχείο έχει χωρητικότητα 3L και διαστάσεις 26cm σε μήκος, 17cm σε πλάτος και 11cm σε ύψος. Στο δοχείο ανοίχτηκαν μικρές οπές για την τοποθέτηση καλωδίων.

### 2.3 Δοχείο τροφοδοσίας και πλακέτας

Για την τοποθέτηση της πλακέτας και του τροφοδοτικού χρησιμοποιήθηκε πάλι ένα πλαστικό διάφανο κουτί με διαστάσεις 27cm σε μήκος, 18,5cm σε πλάτος και 11cm ύψος και χωρητικότητα 4L. Στο συγκεκριμένο δοχείο έγινε μια οπή για την τοποθέτηση της οθόνης, των δύο διακοπών και μια ακόμα για την εγκατάσταση του καλωδίου ρεύματος για την εξασφάλιση της λειτουργίας του τροφοδοτικού. Στο εξωτερικό μέρος του δοχείου εφαρμόστηκε το πληκτρολόγιο.

### 2.4 ATmega328P



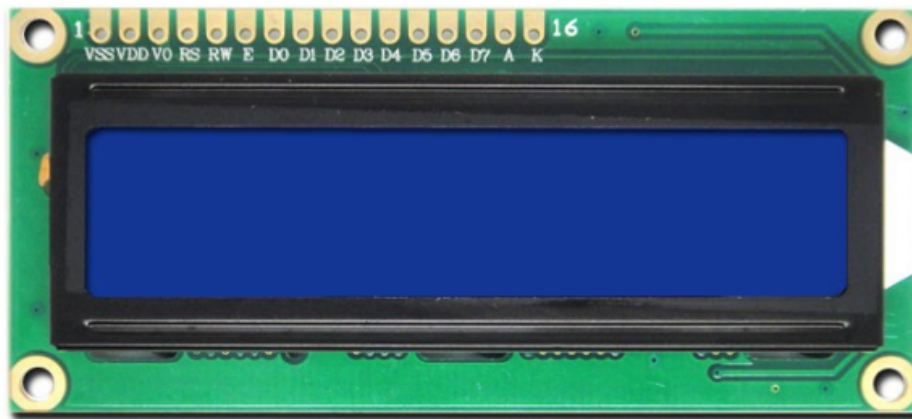
Εικόνα 2.1 ATmega328P [36]

Το Arduino Nano είναι μια συμπαγής πλακέτα, η οποία είναι βασισμένη στο τσιπ ATmega328P (εικόνα 2.1). Ο Atmega328P έχει συνολικά 36 κεφαλές, από τις οποίες οι 14 είναι ψηφιακές εισοδοί/εξοδοί. Οι 6 από αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εξοδοί PWM και οι 8 ως αναλογικές εισόδους. Πιο συγκεκριμένα, οι κεφαλές από D2 έως D13 έχουν τον ρόλο των ψηφιακών εισόδων/εξόδων ενώ από αυτές οι D3, D5, D6, D9, D10 και D11 μπορούν να παράγουν ένα PWM σήμα. Οι αναλογικές εισοδοί είναι οι A0 έως A7, από αυτές οι κεφαλές A4 (SDA) - Serial Dataline (γραμμή δεδομένων) και A5 (SCL) - Serial Clockline (γραμμή ρολογιού) λειτουργούν ως διασύνδεση για την επικοινωνία μέσω του πρωτοκόλλου I2C. Το I2C, επιτρέπει πολλές συσκευές να συνδέονται και να επικοινωνούν η μια με την άλλη σε δύο μόνο γραμμές σε αντίθεση με τις άλλες κεφαλές που μπορούν να συνδεθούν μόνο με μια. Οι επαφές SPI (Serial Peripheral Interface) είναι οι D10 (SS - Slave Select), D11 (MOSI - Master Out Slave In), D12 (MISO - Master In Slave Out), D13 (SCK - Serial Clock), χρησιμοποιούνται για την αποδοτική μεταφορά σειριακών δεδομένων μεταξύ του μικροελεγκτή και των περιφερειακών συσκευών. Οι κεφαλές D0 (TXD), που χρησιμοποιείται για την μεταφορά δεδομένων και D1 (RXD), που χρησιμοποιείται για την λήψη δεδομένων, αποτελούν τις επαφές UART και σκοπός τους είναι η ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία. Στην δεξιά πλευρά της πλακέτας υπάρχουν 6 επαφές που χαρακτηρίζονται ως ICSP (In Circuit Serial Programming). Οι επαφές αυτές είναι οι GND, 5V, MOSI, RESET, SCK, MISO και δίνουν την δυνατότητα να πραγματοποιηθεί ο προγραμματισμός χωρίς να αποσυνδεθεί η πλακέτα από το κύκλωμα. Στα αριστερά από τις 6 επαφές είναι διαθέσιμες 4 λυχνίες LED. Η POW, ανάβει όταν τροφοδοτείται από USB ή εξωτερική πηγή, δείχνει ότι η πλακέτα βρίσκεται σε λειτουργία. Η L είναι συνδεδεμένη με την επαφή D13 και ανάβει όταν το D13 ορίζεται σαν HIGH, σβήνει όταν είναι LOW. Η RX ανάβει όταν ο μικροελεγκτής λαμβάνει δεδομένα. Τέλος η TX ανάβει όταν στέλνει δεδομένα σε άλλη συσκευή. Διαθέτει ακόμα 2 κεφαλές GND για την γείωση, μια για την τροφοδοσία του μικροελεγκτή στα 5V και μια που παράγει ο ίδιος 3.3V όταν τροφοδοτείται, όπως και 2 κεφαλές RESET και ένα κουμπί RESET. Πάνω του είναι ενσωματωμένος ο κρύσταλλος SMD στα 16MHz, ένα mini-B USB για την σύνδεση του μικροελεγκτή με τον υπολογιστή. Το μήκος του είναι 45mm και το πλάτος του 18mm [37], [25], [9], [87], [88].

## 2.5 Input

Ο όρος “input” αναφέρεται στα σήματα ή δεδομένα που συλλέγει ένα ηλεκτρονικό σύστημα ή μια ηλεκτρονική συσκευή. Μπορεί να είναι τάση, ρεύμα ή ψηφιακά σήματα που συνήθως στέλνονται από αισθητήρες [10], [11].

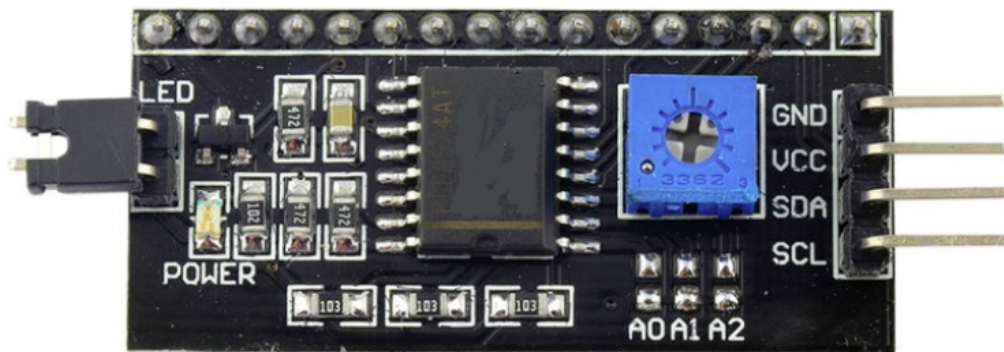
### 2.5.1 Οθόνη LCD



Εικόνα 2.2 Οθόνη LCD [38]

Στον σχεδιασμό του πειραματικού θαλάμου ανάπτυξης φυτών, η LCD οθόνη, όπως απεικονίζεται παραπάνω (εικόνα 2.2), διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο για την απεικόνιση των μηνυμάτων. Η οθόνη που χρησιμοποιήθηκε είναι 16 x 2, δηλαδή περιλαμβάνει δύο σειρές από τις οποίες η κάθε σειρά μπορεί να εμφανίσει 16 χαρακτήρες. Η οθόνη αποτελείται από 16 κεφαλές και χρησιμοποιεί τον ελεγκτή HD44780. Ο HD44780 διαθέτει ένα σύνολο χαρακτήρων που περιέχει τους χαρακτήρες ASCII. Υποστηρίζει λειτουργία 4-bit και 8-bit (μπορεί να ανταλλάξει δεδομένα με τόσα bit) και ρυθμίζει την θέση του δρομέα (η επιλογή του σημείου που θα εμφανιστεί ο χαρακτήρας), την εμφάνιση ή διαγραφή χαρακτήρων και την δημιουργία προσαρμοσμένων χαρακτήρων. Στην προκειμένη περίπτωση, η οθόνη λειτουργεί τόσο ως είσοδος όσο και ως έξοδος [26],[39].

## 2.5.2 Μονάδα διασύνδεσης οθόνης LCD I2C



Εικόνα 2.3 Μονάδα διασύνδεσης οθόνης LCD I2C [40]

Με την ενσωμάτωση της μονάδας διασύνδεσης οθόνης LCD I2C (εικόνα 2.3) στην οθόνη απλοποιήθηκε η σύνδεση της οθόνης με τον ATmega328P, μειώνοντας τον αριθμό που δέσμευαν τα pins της οθόνης από 16 σε μόλις 4. Με την ενσωμάτωση της διεπαφής I2C χρειάζονται μόνο τα SDA και SCL για τη μεταφορά των δεδομένων, αλλά και τα pins της τροφοδοσίας και της γείωσης. Η μονάδα I2C LCD έχει ενσωματωμένη πάνω της τον προσαρμογέα PCF8574, που επιτρέπει τη μεταφορά των δεδομένων και τον ορθό έλεγχο της οθόνης. Επίσης περιλαμβάνεται ένα ποτενσιόμετρο που ελέγχει την αντίθεση της οθόνης [26],[39].

### 2.5.3 Πληκτρολόγιο



Εικόνα 2.4 Πληκτρολόγιο [41]

Για την αλληλεπίδραση του χρήστη με τον μικροελεγκτή απαραίτητη είναι η τοποθέτηση ενός πληκτρολογίου (εικόνα 2.4). Το συγκεκριμένο πληκτρολόγιο αποτελείται από 16 κουμπιά που είναι χωρισμένα σε 4 γραμμές και 4 στήλες. Τα κουμπιά αυτά είναι οι αριθμοί από το 0 έως το 9, τα γράμματα A, B, C, D και οι χαρακτήρες "#" και "\*". Με το πάτημα ενός κουμπιού συνδέεται μια συγκεκριμένη στήλη και μια συγκεκριμένη γραμμή. Αν για παράδειγμα πατηθεί το πλήκτρο "1" τότε θα συνδεθεί η πρώτη γραμμή με την πρώτη στήλη. Αυτήν τη διαδικασία δεν μπορεί να την κάνει μόνο του το πληκτρολόγιο, θα χρειαστεί τη βοήθεια κάποιου μικροελεγκτή. Ο μικροελεγκτής στέλνει μια τάση σε κάθε γραμμή, μια-μια, ενώ παράλληλα ελέγχει αν επιστρέφεται σήμα από κάποια στήλη. Αν το σήμα έχει περάσει από κάποια στήλη υποδεικνύεται το πάτημα του κουμπιού. Αυτό επαναλαμβάνεται για όλες τις γραμμές. Ένα πρόβλημα που θα μπορούσε να δημιουργηθεί λόγω της ιδιαιτερότητας του διακόπτη, θα ήταν να στέλνονται πολλά λανθασμένα σήματα, όμως το πρόβλημα αυτό λύνεται χρησιμοποιώντας κάποιες τεχνικές λογισμικού. Μια από αυτές, είναι, με το πάτημα ενός κουμπιού, ο μικροελεγκτής να μην δέχεται άλλα σήματα για ένα μικρό χρονικό διάστημα (συνήθως λίγα χιλιοστά του δευτερολέπτου) και όταν περάσει αυτό το διάστημα γίνεται ξανά ο έλεγχος της κατάστασης του κουμπιού [12], [13].

## 2.5.4 BH1750



Εικόνα 2.5 BH1750 [42]

Ο αισθητήρας φωτός GY-30, με άλλη ονομασία BH1750 (εικόνα 2.5) μετράει την ένταση του φωτός σε lux με τιμές από 1 έως 65.535 lux. Με αυτήν τη μεγάλη γκάμα στις τιμές, ο αισθητήρας αυτός μπορεί να εντοπίσει πολύ μικρές, όπως και πολύ μεγάλες τιμές. Έχει ακρίβεια  $\pm 20\%$ , που το καθιστά επαρκές για τον πειραματικό θάλαμο. Όπως και η οθόνη LCD, έτσι και ο GY-30 χρησιμοποιεί πρωτόκολλο επικοινωνίας I2C, συνδέοντας τα 2 pins στον μικροελεγκτή, με την διεύθυνση του I2C να είναι το 0x23. Τροφοδοτείται με τάση 3,3V, ενώ παράλληλα έχει πολύ μικρή κατανάλωση, περίπου στα 0,12mA. Τέλος παρέχει δεδομένα σε πολύ μικρό χρόνο μέτρησης, σε τιμές στα λίγα ms [27].

## 2.5.5 DHT22



Εικόνα 2.6 DHT22 [43]

Για τη μέτρηση της υγρασίας και της θερμοκρασίας υπεύθυνος είναι ο αισθητήρας DHT22 (εικόνα 2.6). Ο DHT22 είναι ψηφιακός αισθητήρας και παρέχει ακριβείς τιμές, στο εύρος 0% έως 100% για την υγρασία και  $-40^{\circ}\text{C}$  έως  $80^{\circ}\text{C}$  για την θερμοκρασία, δίνοντας δεδομένα κάθε 2 δευτερόλεπτα (0,5Hz). Στον αισθητήρα υπάρχει ενσωματωμένο ένα θερμίστορ, στο οποίο η αντίσταση του θερμί-

στον κυμαίνεται ανάλογα με τη θερμοκρασία, με αποτέλεσμα αυτή η αλλαγή να μεταφράζεται σε σήμα τάσης. Επίσης ενσωματωμένος είναι ένας χωρητικός αισθητήρας υγρασίας που μετράει τις αλλαγές στα επίπεδα υγρασίας μετρώντας τις αλλαγές στη χωρητικότητα, που επίσης μεταφράζονται σε σήμα τάσης. Τα σήματα αυτά που συλλέγει ο αισθητήρας από αναλογικά μετατρέπονται σε ψηφιακά μέσω ενός ενσωματωμένου ADC. Η ψηφιακή έξοδος συνδέεται με τον μικροελεγκτή δίνοντας του πληροφορία σε πραγματικό χρόνο, το άλλο pin συνδέεται με την τροφοδοσία στα 5V και το pin GND στη γείωση [28].

## 2.6 Output

Ο όρος “output” αναφέρεται στα σήματα ή δεδομένα που παράγει ένα ηλεκτρονικό σύστημα ή μια ηλεκτρονική συσκευή μετά την επεξεργασία της εισόδου. Η έξοδος μπορεί να έχει την μορφή τάσης, ρεύματος ή ψηφιακού σήματος, είναι σημαντικοί γιατί απεικονίζουν την τελική έκβαση [10], [11].

### 2.6.1 Υγραντήρας



Εικόνα 2.7 Υγραντήρας [44]

Ο υγραντήρας (εικόνα 2.7) αποτελείται από την πλακέτα του, έναν δίσκο ψεκασμού υπέρηχων που λειτουργεί στην συχνότητα των 108KHz και ένα βαμβάκι σε σχήμα κυλίνδρου. Το νερό μαζεύεται στο βαμβάκι (έχει τοποθετηθεί σε ένα δοχείο με νερό εντός του πειραματικού θαλάμου) και οδηγείται στον δίσκο, στη συνέχεια ο δίσκος διασπά το νερό σε πολύ λεπτά σωματίδια ομίχλης, με αποτέλεσμα να μπορεί να αυξηθεί η υγρασία του χώρου γρήγορα και ομοιόμορφα, δίχως να βραχεί κάτι. Το φύλλο ψεκασμού αποτελείται από ένα στρώμα αργύρου που το καθιστά ανθεκτικό στην οξείδωση. Είναι ιδανικό γιατί καταναλώνει λίγη ενέργεια καθώς απαιτούνται 5V και 300mA για να λειτουργήσει [89], [90].

## 2.6.2 Αντίσταση



Εικόνα 2.8 Αντίσταση [40]

Η αντίσταση από τσιμέντο (εικόνα 2.8) είναι μια αντίσταση που περικλείεται σε κεραμικό περίβλημα και μπορεί να αντέξει μεγάλη ισχύ. Είναι πολύ ανθεκτική και την καθιστά ιδανική για κυκλώματα που απαιτούν πολύ ισχύ. Περιλαμβάνεται από ένα σύρμα αντίστασης, συχνά κατασκευασμένο από κράμα, όπως είναι το νιχρώμιο (Nichrome). Αυτή η αντίσταση λόγω του κεραμικού περιβλήματος παρέχει θερμική μόνωση και προστατεύεται από την υγρασία. Η τιμή της αντίστασης είναι τα  $10\Omega$  που σημαίνει ότι περιορίζει το ρεύμα σε έναν συγκεκριμένο βαθμό και η τιμή  $10W$  δηλώνει ότι μπορεί να διαχύσει ισχύει έως  $10\text{ watt}$  χωρίς κάποια βλάβη [10], [14].

Παρακάτω γίνεται διερεύνηση της μεθοδολογίας για τον προσδιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας με στόχο τους  $40^\circ\text{C}$ , μια θερμοκρασία υπέρ αρκετή για την ανάπτυξη των φυτών. Συγκεκριμένα, εξετάζεται ένα δοχείο με όγκο  $3L$  που θερμαίνεται από μια αντίσταση  $10\Omega$   $10W$  με τροφοδοσία στα  $5.5V$  (είναι η τάση που δέχεται η αντίσταση όταν λειτουργούν όλα στο κύκλωμα) και στα  $9V$  (η τάση αν τοποθετηθεί η αντίσταση μόνη της στην πηγή).

Χρησιμοποιώντας την πυκνότητα του αέρα σε θερμοκρασία δωματίου ( $\rho$ ) με προσεγγιστική τιμή  $1.225\text{kg}/\text{m}^3$  και τον χώρο (volume) των  $3L$  ή  $0.003\text{m}^3$ , μπορεί να υπολογιστεί η μάζα ( $m$ )

$$m = \rho \times \text{Volume} = m = 1.225 \times 0.003 \text{ m}^3 = 0.003675 \text{ kg}$$

Για να βρεθεί η ενέργεια  $Q$  σε Joules (J), χρειάζεται να πολλαπλασιαστεί η μάζα ( $m$ ) που βρέθηκε πάνω, με την ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα ( $C$ )  $1005\text{ J} / \text{kg} \cdot \text{K}$  και τη διαφορά θερμοκρασίας που βγαίνει από τον τύπο  $\Delta T = T_{\text{Τελικό}} - T_{\text{Δωματίου}}$ ,  $T_{\text{Τελικό}}$  είναι η μέγιστη θερμοκρασία των  $40^\circ\text{C}$  που έχει σκοπό να φτάνει η αντίσταση και  $T_{\text{Δωματίου}}$  είναι η τυπική θερμοκρασία των  $20^\circ\text{C}$  που έχει ένας χώρος,

με αντικατάσταση:  $Q = m \times C \times \Delta T = Q = 0.003675 \text{ kg} \times 1005 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \times 20 \text{ K} = 73.89 \text{ J}$

Ο τύπος της ισχύος είναι:  $P = \frac{V^2}{R}$ , που  $P$  είναι ισχύς (W),  $V$  είναι τάση (V) και  $R$  αντίσταση ( $\Omega$ )

Η αντίσταση με την χρήση πολυμέτρου καταναλώνει  $5.5V$  όταν όλα είναι σε λειτουργία.

Με αντικατάσταση του τύπου με τις τιμές:  $P = \frac{5.5^2}{10} = P = \frac{30.25}{10} = 3.025 \text{ W}$

Εφόσον το 3.025W είναι μικρότερο από τα 10W της αντίστασης, τότε η αντίσταση δεν θα πάθει κάποια ζημιά.

Η αντίσταση κατευθείαν συνδεδεμένη στα 9V.

Με αντικατάσταση του τύπου με τις τιμές:  $P = \frac{9^2}{10} = P = \frac{81}{10} = 8.1W$

Εφόσον το 8.1W είναι μικρότερο από τα 10W της αντίστασης τότε η αντίσταση δεν θα πάθει κάποια ζημιά.

Με την σχέση  $t = \frac{Q}{P}$  μπορεί να βρεθεί σε πόση ώρα θα φτάσει η θερμοκρασία των 40°C

Με αντίσταση που τροφοδοτείται με 5.5V:  $t = \frac{73.89 J}{3.025 W} \approx 24.43 \text{ seconds}$

Με αντίσταση που τροφοδοτείται με 9V:  $t = \frac{73.89 J}{8.1 W} \approx 9.12 \text{ seconds}$

Οι τιμές που βρέθηκαν είναι για ένα ιδανικό σενάριο σε περίπτωση που δεν χαθεί θερμότητα από το περιβάλλον. Στην πραγματικότητα θα διαρκέσει περισσότερο χρονικό διάστημα για την επιτυχία αυτού του στόχου [10], [15-17].

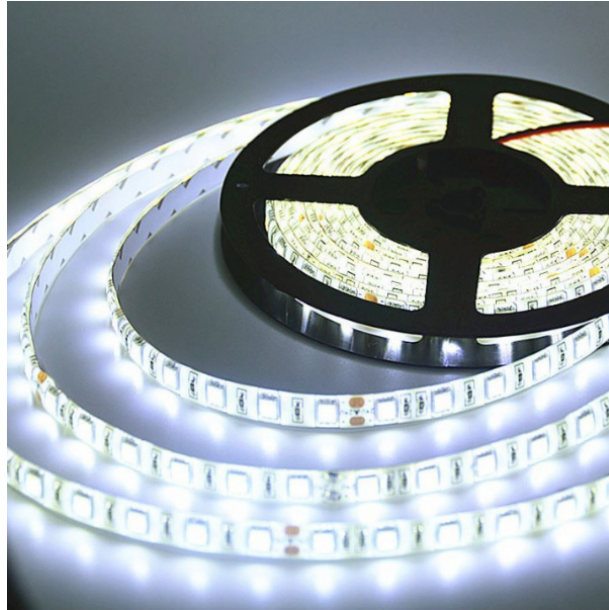
### 2.6.3 Ανεμιστήρας



Εικόνα 2.9 Ανεμιστήρας [46]

Ο ανεμιστήρας (εικόνα 2.9) βοηθά στην ομαλή και πιο γρήγορη κατανομή της θερμοκρασίας σε όλο τον χώρο του πειραματικού θαλάμου. Λειτουργεί στα 5V με 0,47W, με πολύ χαμηλό επίπεδο θορύβου. Οι διαστάσεις του είναι 50mm ύψος και 50mm πλάτος [47].

## 2.6.4 Ταινία LED



Εικόνα 2.10 Ταινία LED [48]

Η συγκεκριμένη ταινία LED που παρουσιάζεται στην εικόνα 2.9, λειτουργεί με τροφοδοσία 12V, με φωτεινή ροή στα 1700 lumens ανά μέτρο και κατανάλωση ισχύος στα 17W ανά και εκπέμπει λευκό χρώμα [49].

## 2.7 Διακόπτες

Οι διακόπτες αποτελούν σημαντικά στοιχεία στα ηλεκτρονικά κυκλώματα, επιτρέποντας τον έλεγχο της ροής του ρεύματος μέσω του ανοίγματος ή του κλεισίματος ενός κυκλώματος. Υπάρχουν πολλοί τύποι διακοπών, όπως οι μηχανικοί διακόπτες (π.χ. on-off), οι ηλεκτρονικοί διακόπτες (π.χ., τρανζίστορ και MOSFET) και ηλεκτρομηχανικοί διακόπτες (π.χ. ρελέ) [10].

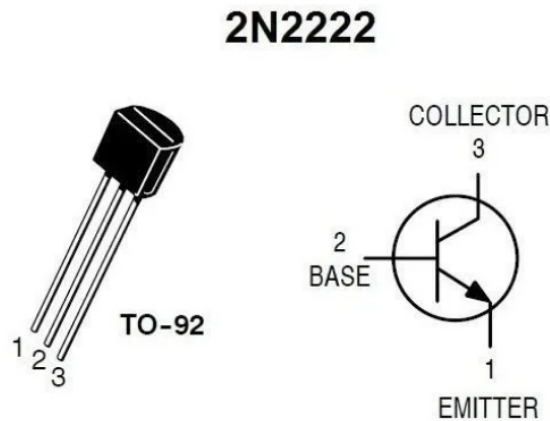
### 2.7.1 Διακόπτες ON-OFF



Εικόνα 2.11 Διακόπτες ON-OFF [50]

Οι διακόπτες ON-OFF (εικόνα 2.11) χρησιμοποιούνται για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση της κατασκευής, αλλά και για την λειτουργία του RESTART του ATmega328P. Οι διακόπτες λειτουργούν με βάση τον μηχανισμό δυαδικής κατάστασης, όπου όταν ο διακόπτης βρίσκεται στην κατάσταση "ON", τότε επιτρέπεται η ροή του ρεύματος, ενώ όταν ο διακόπτης βρίσκεται στην θέση "OFF" σταματάει η ροή του ρεύματος. Η ένδειξη "O" υποδηλώνει το "OFF" και η "I" το "ON" [18], [19].

### 2.7.2 Τρανζίστορ 2N2222



Εικόνα 2.12 Τρανζίστορ 2N2222 [51]

Το 2N2222 (εικόνα 2.12) είναι ένα τρανζίστορ διπολικής σύνδεσης NPN (BJT) και αποτελείται από τρεις ακροδέκτες, τον εκπομπό (E), τη βάση (B) και τον συλλέκτη (C). Η κύρια λειτουργία του είναι η ενίσχυση και αυτή του διακόπτη ενώ ταυτόχρονα έχει τη δυνατότητα να διαχειριστεί σχετικά μεγάλο ρεύμα συλλέκτη (IC) έως και 800mA και τάση στον συλλέκτη-εκπομπό (VCE) 40V. Επειδή ο 2N2222 έχει χαμηλή χωρητικότητα, μπορεί και έχει υψηλή ταχύτητα. Ένα άλλο χαρακτηριστικό του είναι ο συντελεστής κέρδους ρεύματος (hFE) που βρίσκεται ανάμεσα στα 100 με 300, με βάση την περιοχή λειτουργίας και το ρεύμα βάσης. Με αυτή του την ιδιότητα είναι ικανός να ενισχύσει μικρά σήματα σε υψηλότερα. Η χρήση του σε αυτό το κύκλωμα θα είναι αυτή του διακόπτη για το ρελέ και τον ανεμιστήρα [28], [29].

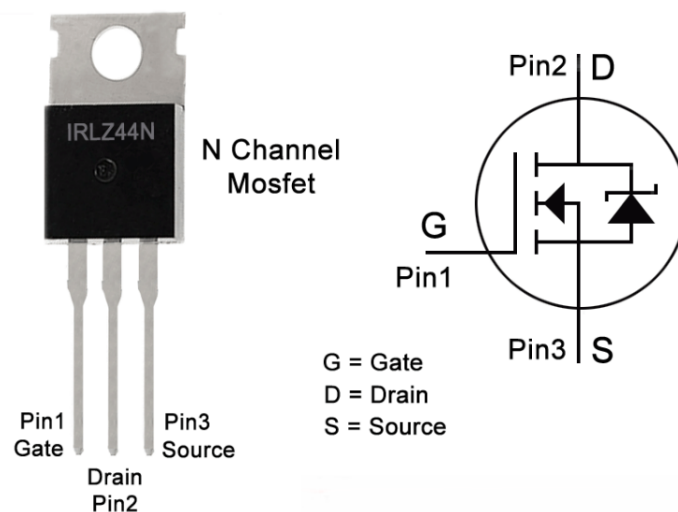
### 2.7.3 Ρελέ



Εικόνα 2.13 Ρελέ [52]

Η βασική λειτουργία του ρελέ (εικόνα 2.13) είναι αυτή του διακόπτη και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο κυκλωμάτων που έχουν διαφορετικές ανάγκες ισχύος. Αρχικά το ρελέ αποτελείται από 5 επαφές, οι δύο επαφές είναι αυτές του πηνίου, που όταν μια τάση στα 5V εφαρμόζεται στο πηνίο του ρελέ, τότε θα δημιουργηθεί ένα μαγνητικό πεδίο. Στη συνέχεια το μαγνητικό πεδίο έλκει ένα κινητό εξάρτημα που ονομάζεται ηλεκτρονόμος, το οποίο μετακινείται λόγω της δράσης του μαγνητικού πεδίου. Με τη βοήθεια του πηνίου θα μπει σε λειτουργία ο διακόπτης που έχει το ρελέ. Το ρελέ έχει άλλες 3 επαφές, την κανονικά ανοικτή (NO), κανονικά κλειστή (NC) και την επαφή εναλλαγής (CO). Χωρίς αλλαγή του πηνίου ο διακόπτης ενώνει τις επαφές NO με CO, ενώ με το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται ο διακόπτης αλλάζει και ενώνει τις επαφές NC με CO. Όταν σταματά η τροφοδότηση των δύο επαφών του πηνίου, τότε σταματά να υπάρχει το μαγνητικό πεδίο και ο διακόπτης θα πάει στην αρχική του θέση, δηλαδή στην NO με CO [53], [54].

#### 2.7.4 IRLZ44N MOSFET

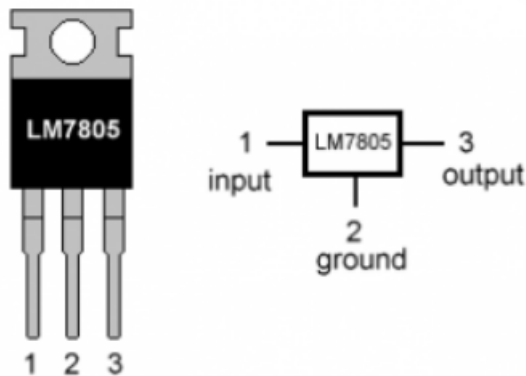


Εικόνα 2.14 IRLZ44N MOSFET [55]

Το IRLZ44N (εικόνα 2.14) είναι ένα MOSFET N-καναλιού αποτελεσματικό στη διαχείριση ισχύος και τις δυνατότητες μεταγωγής υψηλής ταχύτητας. Αποτελείται από τρεις ακροδέκτες την Gate (G), την Drain (D) και την Source (S). Λειτουργεί ελέγχοντας τη ροή ρεύματος μεταξύ των ακροδεκτών Drain και Source, με τη χρήση μιας τάσης που εφαρμόζεται στον ακροδέκτη Gate. Όταν η τάση Gate-Source υπερβαίνει το επίπεδο κατωφλίου, (1V-2V περίπου), σχηματίζεται ένα αγωγίμο κανάλι, επιτρέποντας τη ροή ρεύματος με ελάχιστη αντίσταση περίπου στα 0,03Ω. Πριν δεχτεί αυτή την τάση η αντίσταση ήταν τεράστια, αποτρέποντας τη ροή ρεύματος. Το MOSFET, μπορεί να οδηγηθεί απευθείας από ένα λογικό σήμα 5V, καθιστώντας το ιδανικό για χρήσεις με μικροελεγκτές [30].

## 2.8 Ρυθμιστής τάσης 7805

LM7805 PINOUT DIAGRAM



Εικόνα 2.15 Ρυθμιστής τάσης 7805 [56]

Ο ρυθμιστής τάσης 7805 (εικόνα 2.15) είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC) ρυθμιστή τάσης και παράγει σταθερά 5V, που το καθιστά πολύ σημαντικό για την τροφοδοσία του ATmega328P και πολλών εξαρτημάτων του πειραματικού θαλάμου. Αποτελεί μέρος της οικογένειας 78xx, που το "xx" αντιστοιχεί στην τάση εξόδου. Αποτελείται από τρεις ακροδέκτες, ο πρώτος είναι αυτός της εισόδου όπου μετατρέπει μια ψηλή τάση, συνήθως από 7V έως 35V, τον ακροδέκτη της γείωσης και τον ακροδέκτη της εξόδου που μετατρέπει αυτή την ψηλή τάση σε 5V και αποδίδει ρεύμα έως και 1,5A. Για να είναι ακόμα πιο αποδοτικός γίνεται χρήση δύο πυκνωτών 0,1μF, ένας στην είσοδο και ένας στην έξοδο με σκοπό να φιλτράρει τις υψηλές συχνότητες θορύβου. Με τη χρήση αυτών των πυκνωτών μπορεί να ενισχυθεί η σταθερά και μεταβατική απόκριση. Επιπλέον χαρακτηριστικά του 7805 είναι η εσωτερική θερμική προστασία υπερφόρτωσης, η προστασία από βραχυκύκλωμα και η προστασία ασφαλούς περιοχής [20], [21], [31].

## 2.9 Τροφοδοσία

Για την παροχή του ρεύματος για όλα τα ηλεκτρονικά εκτός της ταινίας LED έγινε η χρήση 6 μπαταριών AA του 1,5V σε σειρά, άρα το κύκλωμα τροφοδοτείται με τάση 9V (1,5V x 6). Δεδομένο της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας του ATmega328P και των άλλων συσκευών οι μπαταρίες είναι μια ιδανική λύση για την τροφοδοσία του κυκλώματος, παρέχοντας θεμιτή ενέργεια για την ορθή λειτουργία του κυκλώματος. Ωστόσο σημαντικό είναι ο έλεγχος της τάσης της μπαταρίας, σε περίπτωση πτώσης τάσης το κύκλωμα μπορεί να υπολειτουργεί [32], [33].

Για την τροφοδοσία της ταινίας LED χρησιμοποιήθηκε ένα τροφοδοτικό των 12V/5A. Το τροφοδοτικό είναι μια ηλεκτρική συσκευή που μετατρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα από κάποια πηγή στη σωστή τάση και ρεύμα, δηλαδή αυτή των 12V/5A [22].

## 2.10 Άλλα Υλικά

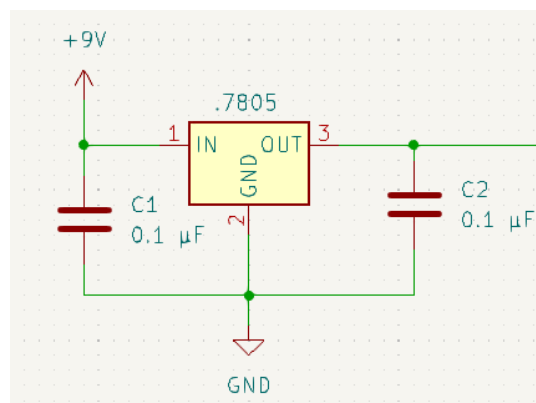
Άλλα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι η θήκη για τις έξι μπαταρίες AA, βραχυκυκλωτήρες μια μικρή πλακέτα, αντιστάσεις και πυκνωτές.

## 2.11 Συνδεσμολογία

Σε αυτήν την ενότητα αναλύεται η συνδεσμολογία των εξαρτημάτων που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες ενότητες με τη βοήθεια της εφαρμογής KiCad, η ανάλυση της οποίας θα γίνει στο 3ο Κεφάλαιο. Για αρχή υπάρχουν δύο τροφοδοσίες σε αυτό το κύκλωμα, μια τροφοδοσία των 9V με μπαταρίες AA και μια των 12V μέσω τροφοδοτικού.

### 2.11.1 Συνδεσμολογία 7805

Το 7805 από την είσοδο του παίρνει τα 9V από τις μπαταρίες και από την έξοδο του βγάζει 5V για να τροφοδοτήσει πολλά κομμάτια του κυκλώματος. Ταυτόχρονα στην είσοδο τοποθετείται ένας πυκνωτής 0,1μF με την γείωση, το ίδιο συμβαίνει και στην έξοδο. Το GND συνδέεται στην γείωση (εικόνα 2.16).



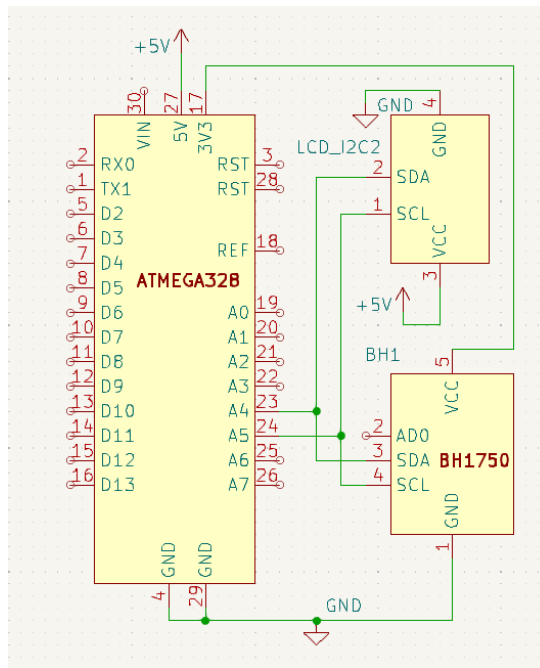
Εικόνα 2.16 Συνδεσμολογία 7805

### 2.11.2 Συνδεσμολογία ATmega328p

Ο ATmega328p, που λειτουργεί και σαν εγκέφαλος, συνδέει το  $V_{in}$  στα 5V για να τροφοδοτηθεί και τα δυο GND που έχει στην γείωση.

### 2.11.3 Συνδεσμολογία LCD και BH1750

Η συνδεσμολογία της οθόνης LCD και του BH1750 είναι παρόμοια εφόσον και τα δύο εξαρτήματα λειτουργούν με το πρωτόκολλο I2C. Το SDA συνδέεται με το A4 και το SCL με το A5, το GND και των δύο εξαρτημάτων συνδέεται στην γείωση. Η μόνη τους διαφορά βρίσκεται στην τροφοδοσία, που η LCD οθόνη συνδέεται στα 5V και ο αισθητήρας στην επαφή 3V3 του ATmega328p. Αυτό γίνεται γιατί ο BH1750 δεν δίνει σωστές τιμές στα 5V (εικόνα 2.17).



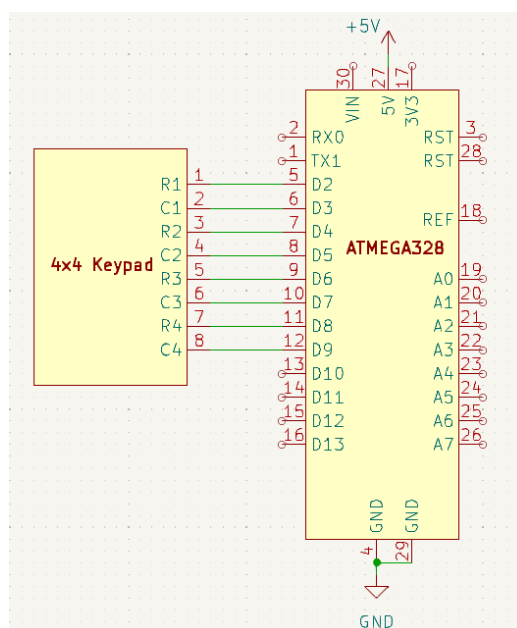
Εικόνα 2.17 Συνδεσμολογία LCD και BH1750

#### 2.11.4 Συνδεσμολογία DHT22

Ο άλλος αισθητήρας, DHT22 συνδέει το DATA με το D10 του μικροελεγκτή, το GND με την γείωση και το VDD με την τροφοδοσία των 5V.

#### 2.11.5 Συνδεσμολογία πληκτρολογίου

Για τη συνδεσμολογία του πληκτρολογίου δεν χρειάζεται κάποια τροφοδοσία, το μόνο που χρειάζεται είναι να ενσωματωθεί με τον μικροελεγκτή όπως φαίνεται στην εικόνα 2.18.



Εικόνα 2.18 Συνδεσμολογία πληκτρολογίου

### 2.11.6 Συνδεσμολογία υγραντήρα

Ο υγραντήρας συνδέει το VCC του με το D13 και το GND με την γείωση. Το σήμα δίνεται από το DHT22 στον μικροελεγκτή και όταν χρειάζεται ενεργοποιείται.

### 2.11.7 Συνδεσμολογία αντίστασης και ανεμιστήρα

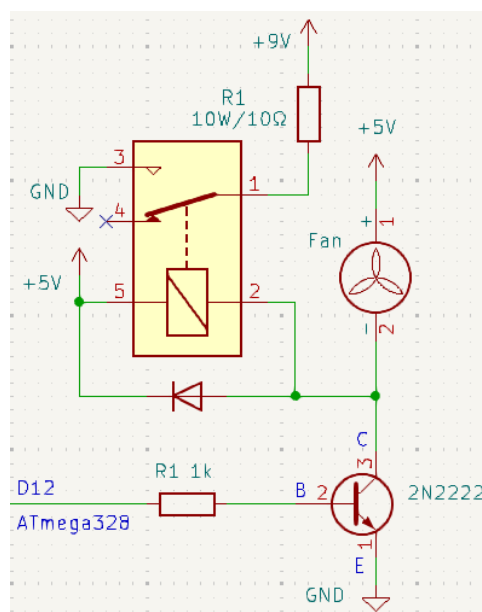
Για την αύξηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιείται μια αντίσταση  $10\Omega$  με ισχύ  $10W$ , ενώ για την βελτίωση της κυκλοφορίας του θερμού αέρα έχει τοποθετηθεί ένας μικρός ανεμιστήρας. Δεδομένου του περιορισμού του ρεύματος που μπορεί να παρέχει η έξοδος του ATmega328p, τοποθετήθηκε το τρανζίστορ 2N2222.

Ο μικροελεγκτής, δίνει από την έξοδο D12 ένα σήμα HIGH στη βάση του τρανζίστορ. Έτσι το τρανζίστορ ενεργοποιείται, επιτρέποντας τη ροή του ρεύματος από τον συλλέκτη στον οποίο είναι συνδεδεμένα ο ανεμιστήρας και το ρελέ, προς τον εκπομπό που είναι συνδεδεμένος στην γείωση. Με αυτό τον τρόπο ο ανεμιστήρας και το ρελέ που έχουν ήδη συνδεδεμένο το ένα άκρο τους στην τροφοδοσία, συνδέουν το άλλο τους άκρο στην γείωση.

Έτσι ο ανεμιστήρας ενεργοποιείται, ενώ το ρελέ δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο λόγω της ροής του ρεύματος μέσω του πηνίου του. Το μαγνητικό πεδίο ενεργοποιεί την αντίσταση που έχει συνδεδεμένο ήδη το ένα της άκρο στην τροφοδοσία των  $9V$  και συνδέει το άλλο στην γείωση, ολοκληρώνοντας έτσι τη λειτουργία του συστήματος

Στο 2N2222, επειδή χρησιμοποιείται ως διακόπτης, θα τοποθετηθεί στη βάση του μια αντίσταση  $1k\Omega$ . Η αντίσταση περιορίζει το ρεύμα που θα περνούσε από τη βάση στον εκπομπό, δημιουργώντας ζημιά [57].

Η διόδος που χρησιμοποιείται στο ρελέ, γνωστή ως “δίοδος flyback” ή “δίοδος ελεύθερης κίνησης” προστατεύει από αιχμές τάσης που δημιουργούνται από το πηνίο του ρελέ κατά την απενεργοποίηση [58] (εικόνα 2.19).



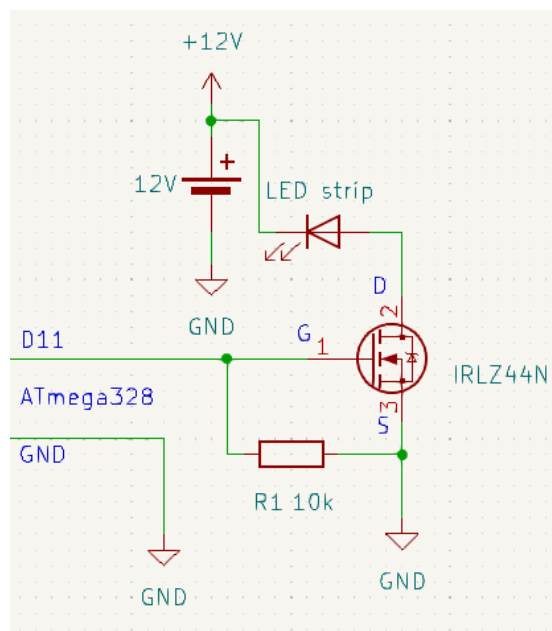
Εικόνα 2.19 Συνδεσμολογία αντίστασης και ανεμιστήρα

### 2.11.8 Συνδεσμολογία ταινίας LED

Η ταινία LED έχει συνδεδεμένο το θετικό άκρο της στα 12V και το άλλο στο Drain. Όταν στον ακροδέκτη του Gate σταλθεί εντολή από τον ακροδέκτη D11 του μικροελεγκτή, τότε η αντίσταση μεταξύ του Drain και Source γίνεται πολύ μικρή επιτρέποντας να περάσει το ρεύμα μέσα από την ταινία LED.

Η αντίσταση των 10kΩ ανάμεσα στο Gate και Source του IRLZ44N τοποθετήθηκε για την αποφυγή ασταθών καταστάσεων, την προστασία από υπερβολικά ρεύματα και τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας του MOSFET στο κύκλωμα. Μια ψύκτρα έχει τοποθετηθεί στο MOSFET για να αποτρέψει την υπερθέρμανση της και να μειώσει τον κίνδυνο βλάβης.

Η κοπή της εν λόγω ταινίας LED, έγινε σε 10 τμήματα των 20cm (2 μέτρα συνολικά). Η καλωδίωση του κάθε κομματιού της ταινίας LED έγινε με παράλληλη συνδεσμολογία. Η παράλληλη συνδεσμολογία βοηθάει στην αποφυγή της πτώσης τάσης, που μπορεί να προκαλέσει εξασθένηση σε μεγάλες διαδρομές, με αυτόν τον τρόπο όλα τα τμήματα παράγουν σταθερή φωτεινότητα. Η αποτελεσματική κατανομή ισχύος είναι εφικτή λόγω της παραλληλότητας της ταινίας, αποφεύγοντας την υπερφόρτωση κάποιου μεμονωμένου κομματιού. Τέλος βοήθησε πολύ στην εγκατάσταση η κοπή της ταινίας LED [59-61] (εικόνα 2.20).



Εικόνα 2.20 Συνδεσμολογία ταινίας LED

### 2.11.9 Συνδεσμολογία διακοπών

Ένας διακόπτης τοποθετείται ανάμεσα στην τροφοδοσία των 9V και στο κύκλωμα για την ενεργοποίηση και την απενεργοποίησή του και ένας διακόπτης ανάμεσα στην επαφή RST του ATmega328 και τη γείωση, ώστε να μπορεί να γίνει επανεκκίνηση του μικροελεγκτή.

## 2.12 Καταγραφή τάσης

Στον παρακάτω πίνακα καταγράφεται η τάση που λαμβάνει ο Atmega328P, η οθόνη και οι αισθητήρες με την χρήση πολύμετρου:

Πίνακας 2.1 Καταγραφή τάσης

Atmega328p	4,8V
LCD I2C	4,8V
GY-30	3,25V
DHT22	4,8V

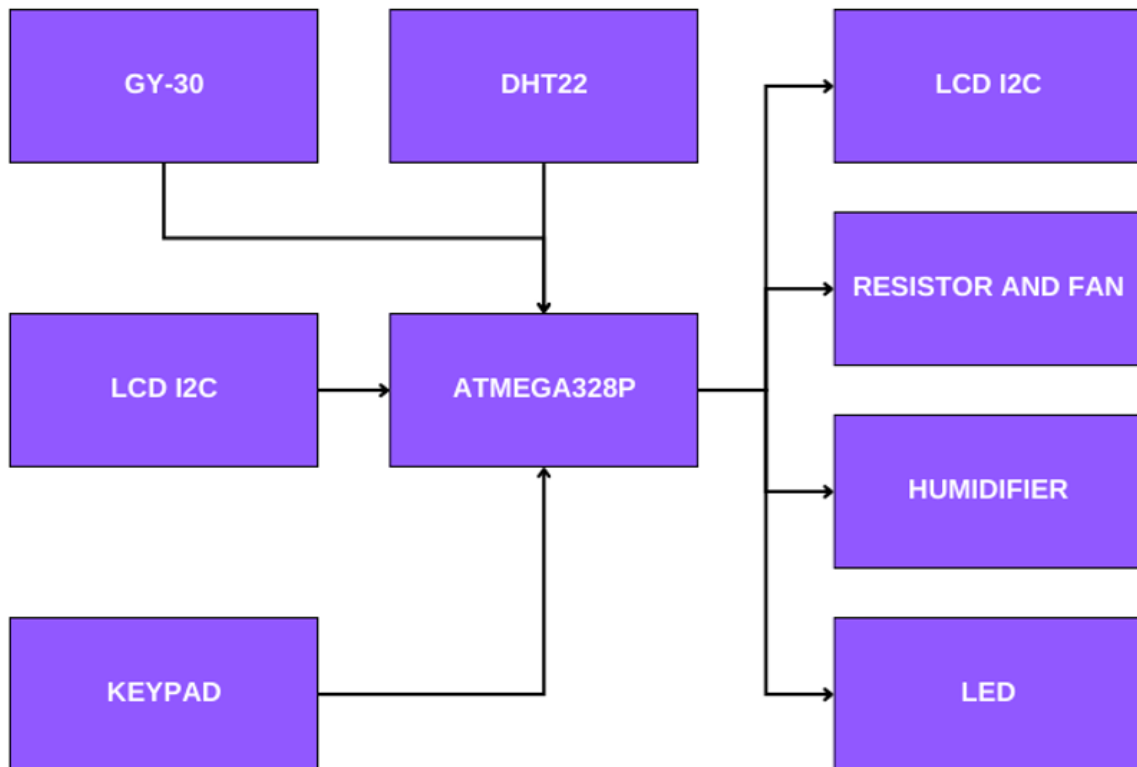
Στον παρακάτω πίνακα καταγράφεται η τάση που λαμβάνουν τα αναφερόμενα εξαρτήματα που αναγράφονται σε κατάσταση ON και σε κατάσταση OFF με την χρήση πολύμετρου. Η ταινία LED, ανεξαρτήτως της έντασης του φωτός που παράγει θα λειτουργεί πάντα με τάση 12V.

Πίνακας 2.2 Καταγραφή τάσης σε καταστάσεις ON και OFF

	ON	OFF
Αντίσταση	5,5V	0V
Ανεμιστήρας	4,57V	0V
Υγραντήρας	4,1V	0V
Ταινία LED	12V	

### 2.13 Μπλοκ διάγραμμα συστήματος

Παρακάτω ακολουθεί το μπλοκ διάγραμμα του συστήματος:



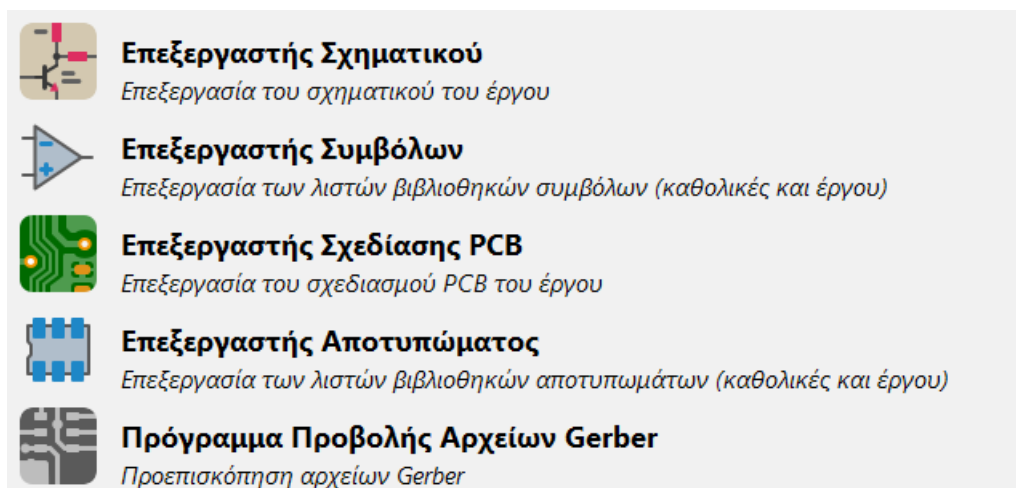
Εικόνα 2.21 Μπλοκ διάγραμμα

## 3 KiCad

### 3.1 Εισαγωγή

Για την δημιουργία της πλακέτας για τον πειραματικό θάλαμο, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή KiCad [62]. Το KiCad αναπτύχθηκε το 1992 από τον Jean-Pierre Charras, είναι μια εφαρμογή που προσφέρει τη σχεδίαση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων (ECAD), παρέχει επίσης ένα περιβάλλον άψογο για τον σχεδιασμό, την προσομοίωση και τέλος τη δημιουργία του PCB (Printed Circuit Boards) [63], [23].

### 3.2 Διαχειριστής Έργου

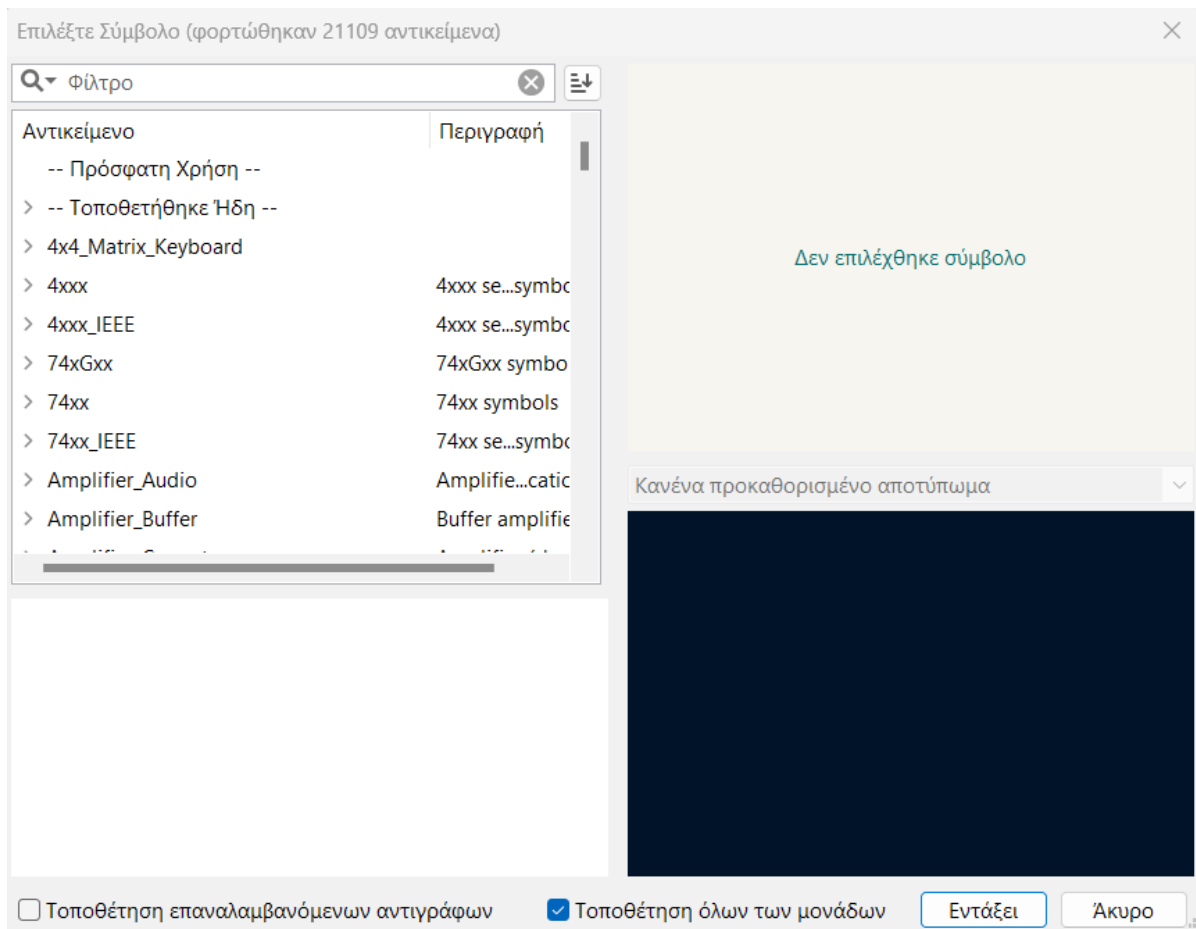


Εικόνα 3.1 Διαχειριστής Έργου

Στον πυρήνα του KiCad βρίσκεται ο Διαχειριστής Έργου (εικόνα 3.1), που παρέχει στον χρήστη μια πλατφόρμα σε διάφορα εργαλεία. Ο χρήστης μπορεί να ανοίξει τον Επεξεργαστή Σχηματικού, τον Επεξεργαστή Συμβόλων, τον Επεξεργαστή Σχεδίασης PCB, τον Επεξεργαστή Αποτυπωμάτων και το Πρόγραμμα Προβολής Αρχείων Gerber.

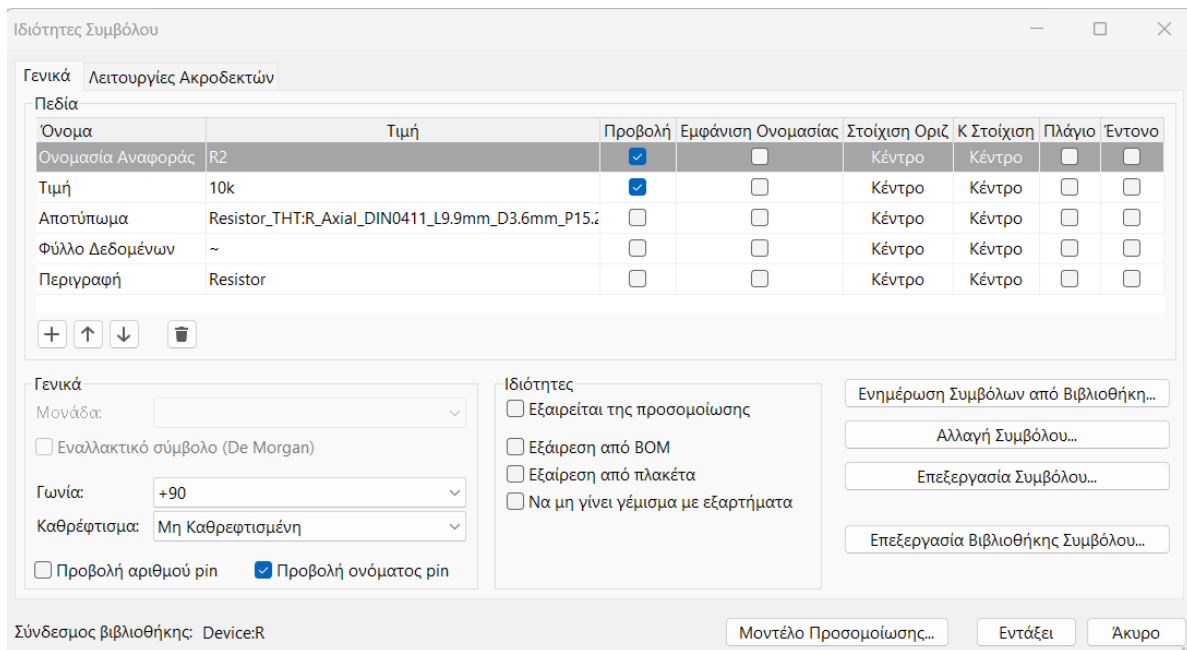
#### 3.2.1 Επεξεργαστής Σχηματικού

Σε αυτό το περιβάλλον ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί το σχηματικό του έργου. Για αρχή επιλέγεται το εικονίδιο “Προσθήκη Συμβόλου” και γίνεται η τοποθέτηση των συμβόλων του κυκλώματος από την τεράστια βιβλιοθήκη που παρέχει το KiCad (εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2 Διαχειριστής Έργου




Στη συνέχεια, όταν τοποθετηθούν όλα τα εξαρτήματα που είναι αναγκαία για το κύκλωμα, γίνεται η επεξεργασία του κάθε εξαρτήματος ξεχωριστά κάνοντας κλικ πάνω στο εξάρτημα. Εκεί μπορεί να γίνει η αλλαγή του ονόματος, αλλαγή της τιμής και η τοποθέτηση του σωστού αποτυπώματος. Η σημαντικότητα του αποτυπώματος θα εξηγηθεί στη συνέχεια (εικόνα 3.3).



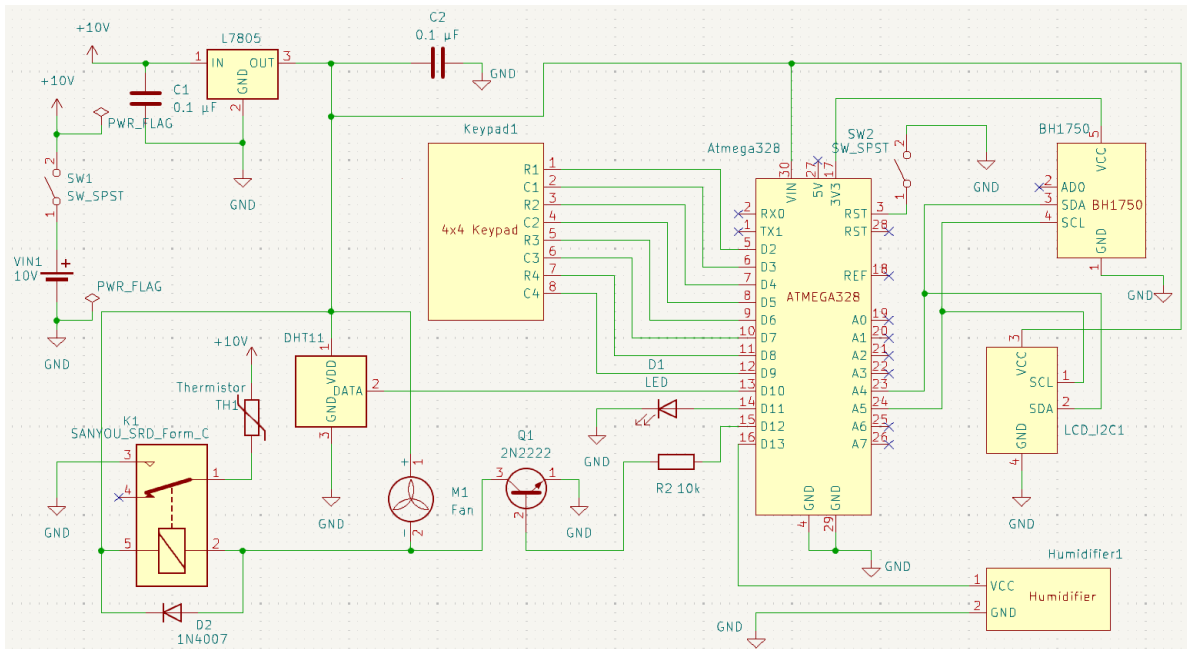
Εικόνα 3.3 Ιδιότητες συμβόλου

Στη συνέχεια ακολουθεί η “Προσθήκη Ισχύος”, όπου με αυτήν την επιλογή γίνεται η τοποθέτηση της τροφοδοσίας και της γείωσης του κυκλώματος. Λειτουργεί όπως και η “Προσθήκη Συμβόλου” (εικόνα 3.2). Τέλος όταν τοποθετηθούν όλα, γίνεται η επιλογή του εικονιδίου “Προσθήκη Σύρματος” με την οποία γίνεται η ένωση των εξαρτημάτων μεταξύ τους (πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1 Περιγραφή κύριων λειτουργιών

	Προσθήκη Συμβόλου	Προσθήκη συμβόλων στο κύκλωμα
	Προσθήκη Ισχύος	Προσθήκη πηγών και γείωσης
	Προσθήκη Σύρματος	Σύνδεση των συμβόλων με σύρμα

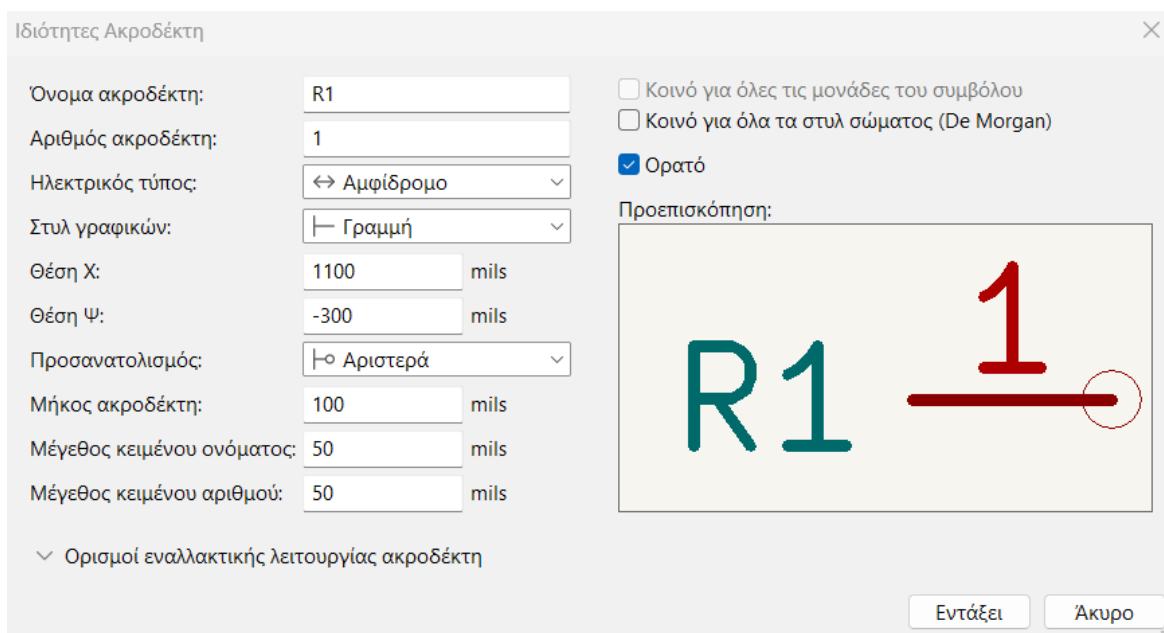
Στην εικόνα 3.4 που ακολουθεί, παρουσιάζεται το τελικό σχέδιο του επεξεργαστή σχηματικού, με όλα τα εξαρτήματα που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2 της ενότητας συνδεσμολογίας. Η μόνη διαφορά είναι ότι το D11 και το LED έχει αντικατασταθεί από μια άλλη πλακέτα (εικόνα 2.20).



Εικόνα 3.4 Τελικό κύκλωμα επεξεργαστή σχηματικού

### 3.2.2 Επεξεργαστής Συμβόλων




Σε αυτό το περιβάλλον ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επεξεργαστεί τις βιβλιοθήκες των συμβόλων, αλλά και να δημιουργήσει δικές του. Πολύ σημαντική είναι η επιλογή “Προσθήκη Ακροδέκτη”, με αυτή την επιλογή ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει όσους ακροδέκτες θέλει για το καινούργιο σύμβολο που θα προσθέσει στη βιβλιοθήκη. Κατά την τοποθέτησή του ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να διαλέξει το όνομα του ακροδέκτη, τον αριθμό του ακροδέκτη που θα του δώσει καθώς και τον ηλεκτρικό του τύπο (εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.5 Ιδιότητες ακροδέκτη

Στην συνέχεια μπορεί να ονομάσει το καινούριο σύμβολο με την επιλογή του εικονιδίου “Προσθήκη Κειμένου”. Τέλος με την επιλογή “Προσθήκη Ορθογωνίου” προστίθεται το περίβλημα του συμβόλου (πίνακας 3.2).

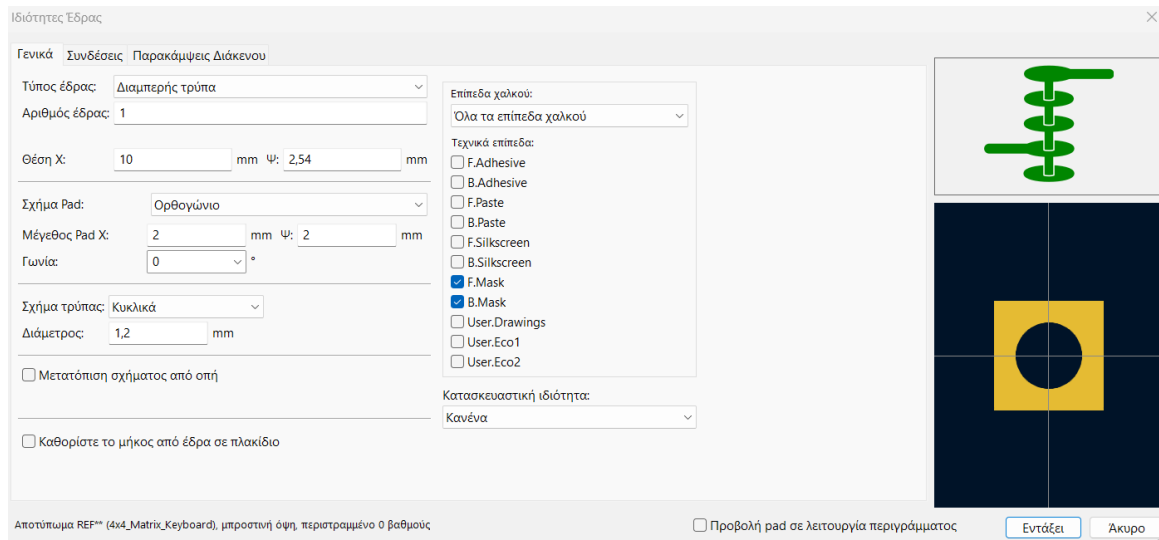
Πίνακας 3.2 Περιγραφή κύριων λειτουργιών

	Προσθήκη Ακροδέκτη	Προσθήκη ακροδέκτη στο καινούριο σύμβολο
	Προσθήκη Κειμένου	Προσθήκη κάποιας σημείωσης/ονόματος
	Προσθήκη Ορθογωνίου	Προσθήκη του περιβλήματος του συμβόλου

### 3.2.3 Επεξεργαστής Αποτυπώματος

Σε αυτό το περιβάλλον ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επεξεργαστεί τα αποτυπώματα των συμβόλων. Τα αποτυπώματα αποτελούν πολύ σημαντικό κομμάτι για τη δημιουργία του PCB και πρέπει να σχεδιαστούν με ακρίβεια. Το αποτύπωμα ενός εξαρτήματος αναπαριστά την φυσική διάταξη των ακροδεκτών του πάνω στο PCB, συμπεριλαμβάνονται οι διαστάσεις και τα χαρακτηριστικά. Πρέπει να γίνει με ακρίβεια ώστε να μην υπάρχει κάποιο λάθος κατά την τοποθέτηση και συγκόλληση του εξαρτήματος. Στον πίνακα 3.3 το πρώτο εικονίδιο και από τα πιο σημαντικά είναι η “Προσθήκη Έδρας”. Σε αυτό γίνεται η επιλογή του τύπου της έδρας (στην πλακέτα που δημιουργήθηκε για την ΠΕ επιλέχθηκε μόνο η “Διαμπερής Τρύπα”), ανάλογα με τις προτιμήσεις που χρειάζονται για την συ-






γκόλληση, στην συνέχεια είναι ο αριθμός της έδρας που πρέπει να συμπίπτει με τον αριθμό του ακροδέκτη από τον “Επεξεργαστή Συμβόλων” (εικόνα 3.5). Επίσης δίνεται η επιλογή να τοποθετηθεί η έδρα στην θέση X και Ψ, αλλάζοντας τους αριθμούς. Ανάλογα με το σχήμα του Pad που θα επιλεγεί, αλλάζουν και οι επιλογές που δίνονται για το μέγεθος. Τέλος γίνεται η επιλογή της τρύπας και η μετατροπή των διαμέτρων της (εικόνα 3.6).



Εικόνα 3.6 Ιδιότητες έδρας

Στη συνέχεια με την επιλογή “Σχεδίαση Ορθογωνίου” ή “Σχεδίαση Κύκλου” ο χρήστης δημιουργεί την περίμετρο του συμβόλου. Με την επιλογή του εικονιδίου “Προσθήκη Κειμένου” γίνεται η ονομασία του συμβόλου ή προστίθεται κάποια σημείωση. Πολύ χρήσιμο και βοηθητικό εργαλείο είναι το “Προσθήκη ευθυγραμμισμένης γραμμικής διάστασης”, όταν επιλέγεται δίνεται η δυνατότητα της ακριβούς μέτρησης των αποστάσεων σε πολύ μικρές κλίμακες. (πίνακας 3.3).



Πίνακας 3.3 Περιγραφή κύριων λειτουργιών

	Προσθήκη Έδρας	Προσθήκη των εδρών του συμβόλου για την συγκόλληση
	Σχεδίαση Ορθογωνίου	Σχεδίαση του περιβλήματος του συμβόλου
	Σχεδίαση Κύκλου	Σχεδίαση του περιβλήματος του συμβόλου (κύκλος)
	Προσθήκη Κειμένου	Προσθήκη κάποιας σημείωσης/ονόματος
	Προσθήκη ευθυγραμμισμένης γραμμικής διάστασης	Λειτουργεί σαν χάρακας

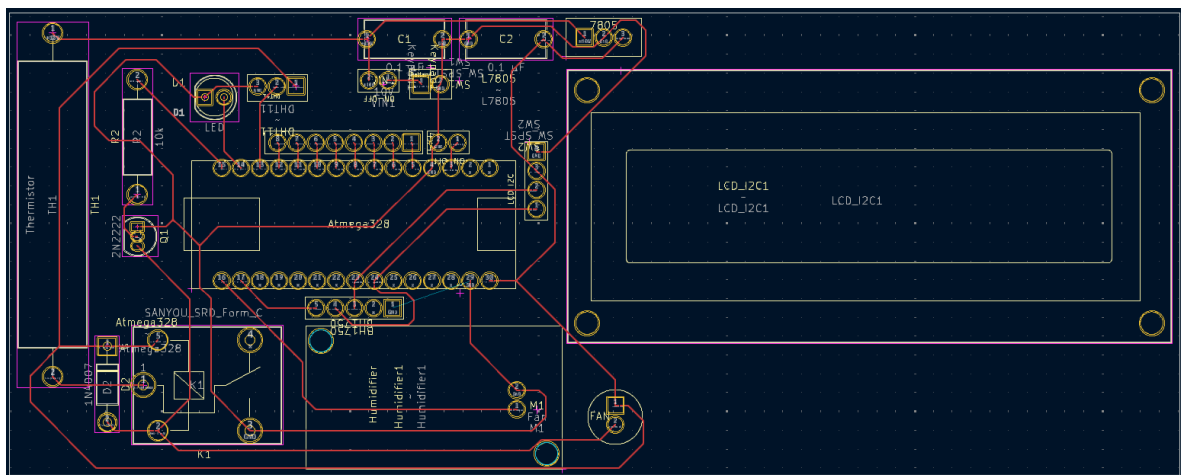
### 3.2.4 Επεξεργαστής Σχεδίασης PCB

Με βάση όλα τα προηγούμενα βήματα και το τελικό σχήμα που έχει δοθεί στο στάδιο “Επεξεργαστής Σχηματικού”, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει το PCB του. Στο στάδιο “Επεξεργαστή Σχεδίασης PCB” υπάρχουν όλα τα αποτυπώματα που έχει δώσει στο κάθε εξάρτημα του κυκλώματός του. Το πρόγραμμα αυτόματα δείχνει τη διαδρομή που πρέπει να ακολουθήσει το κάθε εξάρτημα με βάση το σχηματικό που έχει δοθεί. Για τη διευκόλυνση του χρήστη τα αποτυπώματα μπορούν να μετακινηθούν από τον ίδιο όπου θεωρεί πως είναι καλύτερα. Τέλος με την “Σχεδίαση Ορθογωνίου” επιλέγοντας στα “επίπεδα” το “Edge.Cuts” δίνονται τα όρια του PCB (πίνακας 3.4).

Πίνακας 3.4 Περιγραφή κύριων λειτουργιών

	Δρομολόγηση Διαδρομών	Σύνδεση των συμβόλων μεταξύ τους
	Σχεδίαση Ορθογωνίου	Σχεδίαση του περιβλήματος του συμβόλου

Στην εικόνα 3.7 παρουσιάζεται το τελικό κύκλωμα του PCB.



Εικόνα 3.7 Τελικό κύκλωμα PCB

### 3.2.5 Πρόγραμμα Προβολής Αρχείων Gerber

Στο τελευταίο στάδιο χρησιμοποιείται το “Πρόγραμμα Προβολής Αρχείων Gerber”, όπου ανοίγοντας το αρχείο που έχει γίνει αποθήκευση το PCB, ο χρήστης μπορεί να δει πως θα είναι η πλακέτα του όταν την παραγγείλει (εικόνα 3.8).



## 4 Πίνακες

### 4.1 Εισαγωγή

Στο παρακάτω κεφάλαιο γίνεται ανάλυση των ιδανικών συνθηκών που χρειάζονται κάποια φυτά για να αναπτυχθούν. Με την βοήθεια πινάκων παρουσιάζονται οι ιδανικές τιμές, που προέρχονται από γενικές οδηγίες της κηπουρικής. Στους πίνακες αυτούς αναγράφονται οι βαθμοί Κελσίου, το ποσοστό της υγρασίας και η ένταση της φωτεινότητας που χρειάζονται τα συγκεκριμένα φυτά για να ευδοκιμήσουν. Ενώ τα εύρη των αριθμών που έχουν δοθεί για αυτές τις τρεις παραμέτρους δεν αναφέρονται συχνά ρητά στις πηγές, οι τιμές δόθηκαν με βάση το φυσικό περιβάλλον που αναπτύσσονται τα φυτά και τις τυπικές απαιτήσεις φροντίδας σε εσωτερικούς χώρους. Τα φυτά από την φύση τους είναι προσαρμοστικά και τα εύρη που παρουσιάζονται προορίζονται για τις ιδανικές συνθήκες και όχι τις απαραίτητες για να επιβιώσουν [64], [65].

Πίνακας 4.1 *Επεξήγηση τιμών*

	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή
Θερμοκρασία (°C)	15-20	18-25	20-30
Υγρασία (%)		30-50	50-70
Φωτεινότητα (Lumens)	500-2.500	2.500-5.000	5.000-10.000

### 4.2 Τιμές θερμοκρασίας

Η «χαμηλή θερμοκρασία» (15-20°C) συνηθίζεται στα σπίτια κατά την διάρκεια του χειμώνα ή σε σκιερούς χώρους. Αυτό το εύρος θερμοκρασίας είναι κατάλληλο για φυτά που προέρχονται από εύκρατα ή υποτροπικά περιβάλλοντα. Η «μέτρια θερμοκρασία» (18-25°C) αντιστοιχεί στην μέση θερμοκρασία δωματίου και θεωρείται ιδανική για τα περισσότερα φυτά εσωτερικού χώρου. Σε αυτό το εύρος αναπτύσσονται φυτά με μέτριο κλίμα. Η «υψηλή θερμοκρασία» (20-30°C) αντιπροσωπεύει θερμότερες συνθήκες που επικρατούν κατά την περίοδο του καλοκαιριού, είναι ιδανική για φυτά που προέρχονται από τροπικό ή υποτροπικό περιβάλλον (πίνακας 4.1) [66], [67].

### 4.3 Τιμές υγρασίας

Η «μέτρια υγρασία» (30-50%) είναι ένα εύρος που ταιριάζει σε ένα μεγάλο ποσοστό φυτών, αντικατοπτρίζει τις σταθερές εσωτερικές συνθήκες που βρίσκονται σε πολλά σπίτια. Η «υψηλή υγρασία» (50-70%) συναντάται σε περιοχές με αυξημένη υγρασία, όπως τα μπάνια, είναι ιδανική για φυτά από τροπικές περιοχές που επικρατεί μόνιμα υψηλή υγρασία (πίνακας 4.1) [68], [69].

### 4.4 Τιμές φωτός

Ο «χαμηλός φωτισμός» (500-2.500 lumens) αντιστοιχεί τους σκιερούς εσωτερικούς χώρους, με ολίγο άμεσο φως του ήλιου. Τα φυτά που ευδοκιμούν σε αυτές τις συνθήκες προέρχονται από δασικά υπόγεια ή περιβάλλοντα με ελάχιστη έκθεση στο ηλιακό φως. Ο «μέτριος φωτισμός» (2.500-5.000 lumens) αντιπροσωπεύει τον έντονο έμμεσο φωτισμό. Αυτό το εύρος είναι κατάλληλο για τα περισσότερα φυτά εσωτερικού χώρου, τέτοιες συνθήκες υπάρχουν κάτω από στέγαστρα δέντρων ή σε ανοιχτούς αλλά όχι πλήρως εκτεθειμένους χώρους από το φως του ήλιου. Ο «υψηλός φωτισμός» (5.000-

10.000 lumens) συναντάται σε περιοχές με έντονο ηλιακό φως. Ορισμένα φυτά εξωτερικού χώρου μπορούν να ανεχθούν πιο υψηλά επίπεδα φωτισμού, τα φυτά εσωτερικού χώρου δεν μπορούν να αντέξουν τιμές φωτός άνω των 10.000 lumens (πίνακας 4.1) [70], [71].

#### 4.5 Πίνακες φυτών

Σε αυτήν την ενότητα, τα φυτά παρουσιάζονται σε πίνακες, τοποθετημένα ανάλογα με τις παρόμοιες ανάγκες. Τα φυτά είναι ταξινομημένα από το χαμηλότερο προς το υψηλότερο χαρακτηριστικό που χρειάζεται το φυτό, αρχίζοντας με την θερμοκρασία συνεχίζοντας με την υγρασία και τελειώνοντας με την φωτεινότητα (πίνακας 4.2-4.10).

Πίνακας 4.2 Χαμηλή Θερμοκρασία, Μέτρια Υγρασία, Χαμηλό Φως [64],[65],[72]

Όνομα φυτού	Θερμοκρασία (°C)	Υγρασία (%)	Φως (Lumens)
Ασπιδίστρα	15-20	30-50	500-2.500
Σανσιβέρια	15-20	30-50	500-2.500
Ζάμια (ZZ Plant)	15-20	30-50	500-2.500

Πίνακας 4.3 Χαμηλή Θερμοκρασία, Υψηλή Υγρασία, Χαμηλό Φως [73],[74]

Όνομα φυτού	Θερμοκρασία (°C)	Υγρασία (%)	Φως (Lumens)
Κρότωνα	15-20	50-70	500-2.500
Σπαθίφυλλο	15-20	50-70	500-2.500

Πίνακας 4.4 Μέτριος φωτισμός, μέτρια υγρασία, μέτρια θερμοκρασία [70],[75]

Όνομα φυτού	Θερμοκρασία (°C)	Υγρασία (%)	Φως (Lumens)
Πόθος	18-25	30-50	2.500-5.000
Χλωρόφυτο	18-25	30-50	2.500-5.000

Πίνακας 4.5 Μέτρια Θερμοκρασία, Υψηλή Υγρασία, Μέτριο Φως [76],[77]

Όνομα φυτού	Θερμοκρασία (°C)	Υγρασία (%)	Φως (Lumens)
Φιλοδένδρο	18-25	50-70	2.500-5.000
Φτέρη Βοστώνης	18-25	50-70	2.500-5.000

Πίνακας 4.6 Μέτρια Θερμοκρασία, Μέτρια Υγρασία, Υψηλό Φως [78],[71]

Όνομα φυτού	Θερμοκρασία (°C)	Υγρασία (%)	Φως (Lumens)
Κάκτος ( <i>Cactaceae</i> )	18-25	30-50	5.000-10.000
Ελιά Μποζάι	18-25	30-50	5.000-10.000

Πίνακας 4.7 Μέτρια Θερμοκρασία, Υψηλή Υγρασία, Υψηλό Φως [79],[80]

Όνομα φυτού	Θερμοκρασία (°C)	Υγρασία (%)	Φως (Lumens)
Φίκους Ελάστικα	18-25	50-70	5.000-10.000
Κορμός Δράκαινας	18-25	50-70	5.000-10.000

Πίνακας 4.8 Υψηλή Θερμοκρασία, Μέτρια Υγρασία, Χαμηλό Φως [68],[81]

Όνομα φυτού	Θερμοκρασία (°C)	Υγρασία (%)	Φως (Lumens)
Γιούκα	20-30	30-50	500-2.500
Καλαθέα	20-30	30-50	500-2.500

Πίνακας 4.9 Υψηλή Θερμοκρασία, Μέτρια Υγρασία, Μέτριο Φως [82],[80]

Όνομα φυτού	Θερμοκρασία (°C)	Υγρασία (%)	Φως (Lumens)
Ανθούριο	20-30	30-50	2.500-5.000
Δράκαινα	20-30	30-50	2.500-5.000

Πίνακας 4.10 Υψηλή Θερμοκρασία, Υψηλή Υγρασία, Υψηλό Φως [66],[67]

Όνομα φυτού	Θερμοκρασία (°C)	Υγρασία (%)	Φως (Lumens)
Ορχιδέα ( <i>Orchidaceae</i> )	20-30	50-70	5.000-10.000
Φίκος Μπέντζαμιν	20-30	50-70	5.000-10.000

#### 4.6 Πίνακας κώδικα φυτών

Για την απλούστευση του κώδικα που θα χρησιμοποιηθεί στο 5ο κεφάλαιο, οι παραπάνω 9 πίνακες έχουν συμπυκνωθεί σε έναν και οι τιμές που δόθηκαν για το καθένα ξεχωριστά βγαίνουν με την μέση τιμή. Εξάιρεση αποτελούν οι τιμές του φωτός από 2.500 έως 5.000, για αυτές δόθηκε η τιμή 3.000. Στο Case 0, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τις ενδιάμεσες τιμές που αναφέρονται.

Πίνακας 4.11 Απλοποιημένος πίνακας τιμών

Case	Θερμοκρασία (°C)	Υγρασία (%)	Φως (Lumens)
1	17	40	1.500
2	17	60	1.500
3	22	40	1.500
4	22	60	3.000
5	22	40	7.500
6	22	60	7.500
7	25	40	1.500
8	25	40	3.000
9	25	60	7.500
0	0-50	20-90	1-3400

## 5 Arduino IDE

### 5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται το περιβάλλον του Arduino IDE (Integrated Development Environment) [84], το διάγραμμα ροής του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για το ATmega328p, καθώς και το Duty Cycle για την σωστή λειτουργία της ταινίας LED.

### 5.2 Περιβάλλον Arduino IDE

Το Arduino IDE είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα που σχεδιάστηκε για τη δημιουργία και ανάπτυξη εφαρμογών. Παρέχει ένα εύχρηστο περιβάλλον για τον προγραμματισμό μικροελεγκτών, με κύρια γλώσσα προγραμματισμού μια απλουστευμένη έκδοση της C++. Το Arduino IDE έχει μια μεγάλη ενεργή κοινότητα χρηστών, αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν πολλές επιλογές βιβλιοθηκών και πολλά παραδείγματα κώδικα, που είναι πολύ βοηθητικά για την υλοποίηση κάποιου έργου. Αποτελείται από τη γραμμή μενού, τη γραμμή εργαλείων, την πλευρική μπάρα, το παράθυρο επεξεργασίας και το πάνελ κονσόλας/εξόδου.

#### 5.2.1 Menu Bar (Γραμμή Μενού)

Βρίσκεται στο πάνω μέρος της εφαρμογής.

- **File:** Περιέχει επιλογές όπως αυτή της δημιουργία, το άνοιγμα, την αποθήκευση και την διαχείριση του έργου.
- **Edit:** Περιέχει επιλογές που επιτρέπουν την επεξεργασία του κώδικα, κάποιες από αυτές είναι η αντιγραφή, η επικόλληση, η αναίρεση και η αναζήτηση.
- **Sketch:** Παρέχει επιλογές για τη διαχείριση του κώδικα που είναι γραμμένος εκείνη τη στιγμή, όπως η επαλήθευση (κάνει έλεγχο του κώδικα για σφάλματα), ανέβασμα του κώδικα στον μικροελεγκτή και την εισαγωγή βιβλιοθηκών. (εικονα1)
- **Tools:** Παρέχει την επιλογή πλακέτας, θύρας και προγραμματιστή. Επίσης δίνεται η επιλογή της ενεργοποίησης Serial Monitor ή Serial Plotter. Η χρήση του Serial Monitor εστιάζεται στην εμφάνιση απλών δεδομένων κειμένου και το Serial Plotter προσφέρει σύνθετη οπτική αναπαράσταση των δεδομένων.
- **Help:** Δίνει βοήθεια στους αρχάριους χρήστες.

Στην εικόνα 5.1 φαίνονται τα δεδομένα που έχουν επιλεγεί για τη μεταφορά του κώδικα στον μικροελεγκτή. Στο Board επιλέχθηκε το “Arduino Nano”, στο Port το “COM3”, που μπορεί να διαφέρει από υπολογιστή σε υπολογιστή. Στο Processor έχει ρυθμιστεί το “ATmega328P” και τέλος στο Programmer το “Arduino as ISP”. Αυτό γίνεται για να χρησιμοποιηθεί ένα Arduino board ως ISP (In-System Programmer). Με αυτή τη ρύθμιση μπορούν να προγραμματιστούν άλλοι μικροελεγκτές ή να γίνει φόρτωση του κώδικα σε μικροελεγκτές που δεν διαθέτουν τη δυνατότητα να “ανέβει” απευθείας μέσω USB.

Auto Format	Ctrl+T
Archive Sketch	
Manage Libraries...	Ctrl+Shift+I
Serial Monitor	Ctrl+Shift+M
Serial Plotter	
Firmware Updater	
Upload SSL Root Certificates	
Board: "Arduino Nano"	▶
Port: "COM3"	▶
Get Board Info	
Processor: "ATmega328P"	▶
Programmer: "Arduino as ISP"	▶
Burn Bootloader	

Εικόνα 5.1 *Tools* μικροελεγκτή

## 5.2.2 Toolbar (Γραμμή Εργασιών)

Βρίσκεται ακριβώς πιο κάτω από την “Γραμμή Μενού” και αποτελείται από τα παρακάτω:

- **Verify:** Ελέγχει τον τρέχοντα κώδικα για σφάλματα
- **Upload:** Ανεβάζει τον κώδικα στον μικροελεγκτή
- **Debug:** Ενεργοποιεί τη λειτουργία εντοπισμού σφαλμάτων. Είναι διαθέσιμο σε συγκεκριμένους μικροελεγκτές.

## 5.2.3 Toolbar (Γραμμή Εργασιών)

Βρίσκεται στο αριστερό μέρος της:

- **Sketchbook:** Περιέχει τα αποθηκευμένα sketches.
- **Board Manager:** Με αυτήν την επιλογή επιτρέπεται η εγκατάσταση και διαχείριση πλακετών.
- **Library Manager:** Με αυτήν την επιλογή ο χρήστης μπορεί να αναζητήσει και να κατεβάσει τις βιβλιοθήκες που χρειάζεται για το πρόγραμμά του.
- **Debug:** Ενεργοποιεί τη λειτουργία εντοπισμού σφαλμάτων. Είναι διαθέσιμο σε συγκεκριμένους μικροελεγκτές.
- **Search:** Μπορεί να γίνει εύκολα αναζήτηση της λέξης που αναζητά ο χρήστης μέσα στα αρχεία του project.

## 5.2.4 Editor Window (Παράθυρο Επεξεργασίας)

Το παράθυρο επεξεργασίας είναι το κύριο παράθυρο που ο χρήστης γράφει και επεξεργάζεται τον κώδικα. Έχει κάποια χαρακτηριστικά που μπορούν να βοηθήσουν τον χρήστη, όπως τον χρωματισμό σύνταξης, την αυτόματη συμπλήρωση του κώδικα και την εμφάνιση αριθμών σε κάθε γραμμή.

### 5.2.5 Console/Output Panel (Πάνελ Κονσόλας/Εξόδου)

Βρίσκεται ακριβώς κάτω από το “Παράθυρο Επεξεργασίας” και εκεί εμφανίζονται μηνύματα, όπως αποτελέσματα για τον κώδικα, αν υπάρχει κάποιο σφάλμα ή όχι και μηνύματα αν έχει ανεβεί ο κώδικας στον μικροελεγκτή.

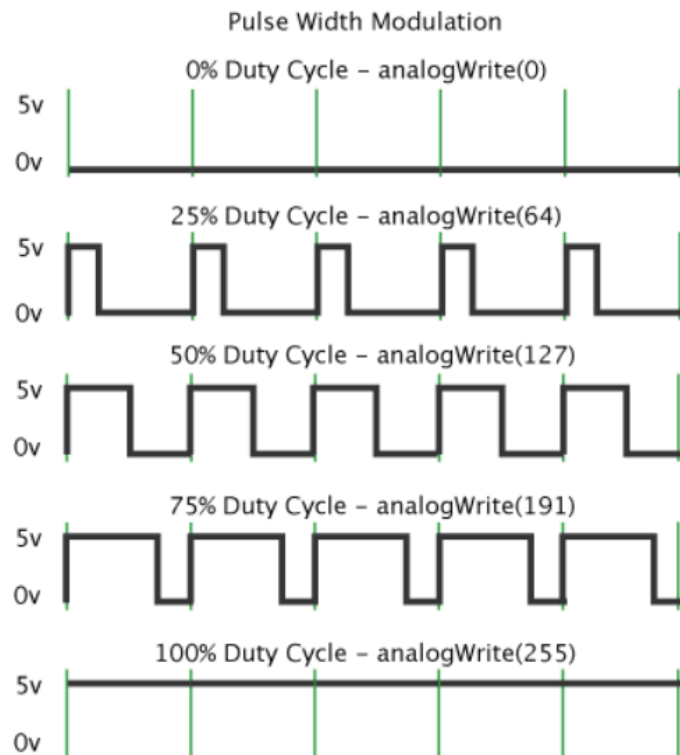
### 5.3 Duty Cycle

Το Duty Cycle αναφέρεται στο ποσοστό του χρόνου λειτουργίας ενός συστήματος σε μια δεδομένη χρονική περίοδο για ένα περιοδικό σήμα, το Duty Cycle είναι το ποσοστό μιας περιόδου στην οποία ένα σήμα είναι ενεργό. Το ποσοστό του Duty Cycle μπορεί να υπολογιστεί με τον τύπο:

$$Duty\ Cycle(\%) = \frac{\text{Χρόνος Ενεργοποίησης}}{\text{Συνολική Περίοδος}} \times 100$$

όπου ο “Χρόνος Ενεργοποίησης” είναι η διάρκεια μιας περιόδου στην οποία το σύστημα είναι ενεργό και η “Συνολική Περίοδος” είναι ο συνολικός χρόνος ενός πλήρους κύκλου, είτε το σύστημα είναι ενεργό, είτε ανενεργό.

Η τεχνική PWM (Pulse Width Modulation), μια τεχνική που χρησιμοποιείται στα συστήματα ελέγχου, καθορίζει τη μέση ισχύ που παρέχεται σε ένα φορτίο με την βοήθεια του Duty Cycle. Με αυτόν τον τρόπο το Duty Cycle είναι ιδανικό για να επηρεάσει τη φωτεινότητα ενός LED, όπως αυτό που θα χρησιμοποιηθεί στην ΠΕ (εικόνα 5.2) [10], [11], [24].



Εικόνα 5.2 Duty Cycle [83]

Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 5.1) αναγράφεται στην αριστερή στήλη το ποσοστό του Duty Cycle όταν ενεργοποιείται η ταινία LED, ενώ στο δεξί μέρος αναγράφονται οι τιμές σε Lumens, ανάλογα με το ποσοστό του Duty Cycle.

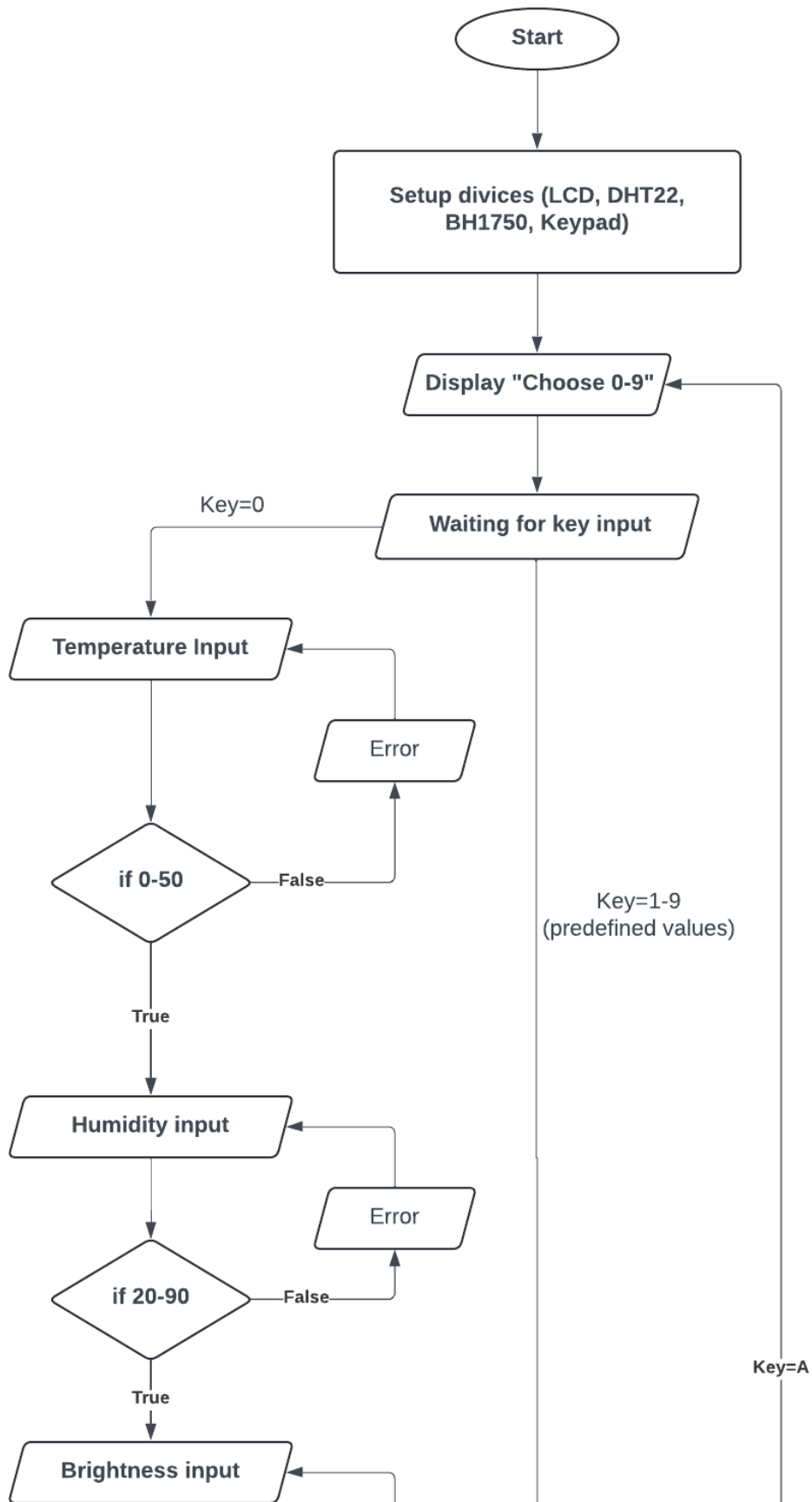
Πίνακας 5.1 *Duty Cycle ταινίας LED*

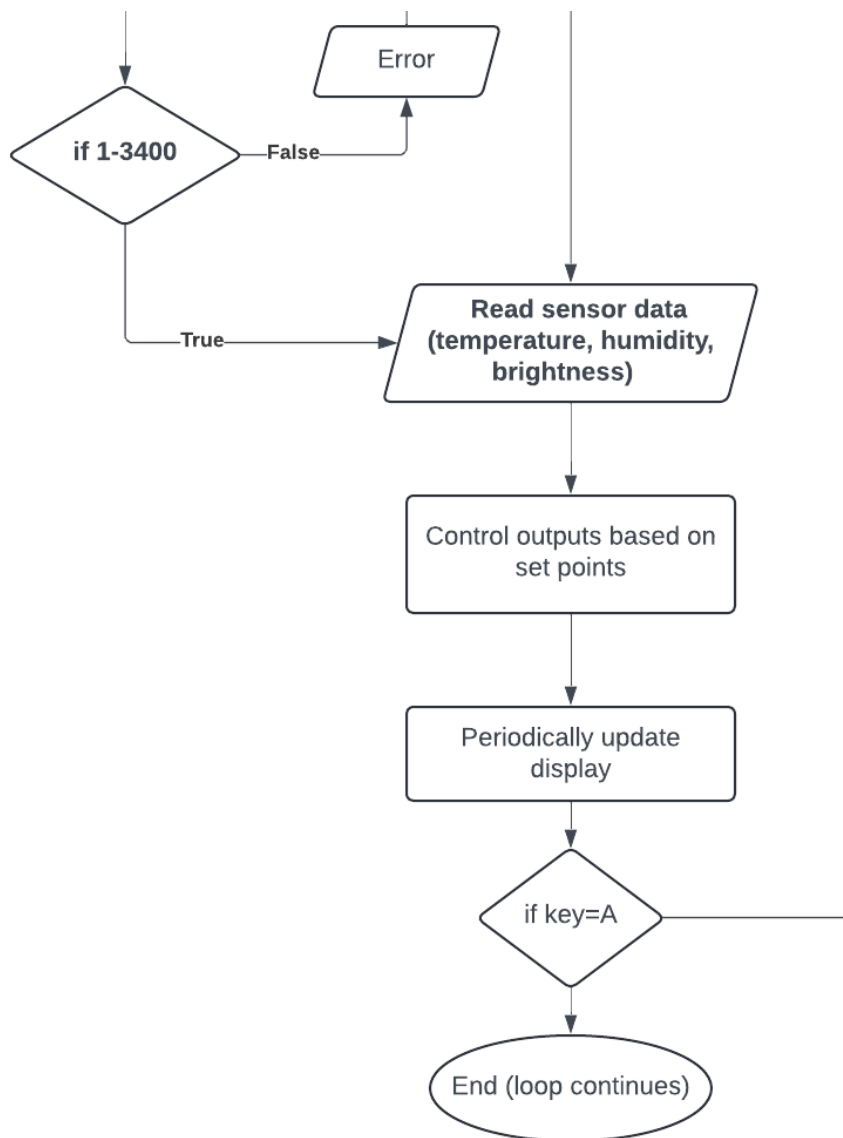
Duty Cycle	Lumens
0%	0
10%	340
20%	680
30%	1020
40%	1360
50%	1700
60%	2040
70%	2380
80%	2720
90%	3060
100%	3400

#### **5.4 Αλληλεπίδραση χρήστη με πειραματικό θάλαμο.**

Όταν ο χρήστης ενεργοποιήσει τον πειραματικό θάλαμο ανάπτυξης στην LCD οθόνη θα εμφανίζεται το μήνυμα "Choose 0-9". Ο χρήστης με την χρήση του πληκτρολογίου έχει να επιλέξει έναν αριθμό από το 0 έως το 9 με βάση τον πίνακα 4.11. Στην συνέχεια θα εμφανιστεί ένα μήνυμα που δείχνει τις τιμές που επέλεξε για θερμοκρασία, υγρασία και φωτεινότητα. Τέλος εμφανίζονται οι τιμές αυτές σε πραγματικό χρόνο. Αν ο χρήστης επιλέξει το "0" θα υπάρχει ένα επιπλέον βήμα που θα πρέπει να εισαγάγει τις τιμές που αυτός θέλει, στα καθορισμένα όρια που του δίνονται. Σε διαφορετική περίπτωση θα εμφανίζεται ένα μήνυμα σφάλματος που θα εμφανίζει τις επιτρεπόμενες τιμές και θα του ζητηθεί να δώσει τη σωστή τιμή για να προχωρήσει. Ο χρήστης είναι ελεύθερος να πατήσει το πλήκτρο "A" και να επιστρέψει στο πρώτο μήνυμα μήνυμα.

## 5.5 Διάγραμμα ροής





Εικόνα 5.3 Διάγραμμα Ροής

## 6 Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης

### 6.1 Προτάσεις βελτίωσης

Αρχικά η πλακέτα που χρησιμοποιήθηκε για αυτήν την εργασία έχει δύο λάθη. Το πρώτο λάθος είναι πως το GND του BH1750 συνδέθηκε με βραχυκυκλωτήρα με το GND, το ιδανικό θα ήταν να μπει στο δεύτερο επίπεδο της πλακέτας. Το δεύτερο λάθος βρίσκεται στο D11 του ATmega328p, όπου σκοπός ήταν να τοποθετηθεί μια άλλη ταινία LED που λειτουργούσε στα 5V. Η ταινία LED όμως δεν μπορούσε να δώσει μεγάλη φωτεινότητα, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιηθεί μια άλλη ταινία LED. Για να λειτουργήσει αυτή η ταινία LED ήθελε μεγαλύτερη τροφοδοσία, όπως και μια αντίσταση και ένα MOSFET για τη σωστή λειτουργία. Μια ακόμα αλλαγή που θα γινόταν, θα ήταν αυτή της τροφοδοσίας του κυκλώματος, το ιδεατό θα ήταν να γίνει η χρήση ενός άλλου τροφοδοτικού με λίγο περισσότερη τάση για την πιο γρήγορη αύξηση θερμοκρασίας του χώρου, με μια άλλη αντίσταση με περισσότερα Watt. Οι αλλαγές αυτές δεν έγιναν διότι η παραγγελία της πλακέτας ήταν από την Κίνα και θα έκανε έναν μήνα να έρθει η καινούρια. Ο αισθητήρας φωτός είναι ελαττωματικός και δεν δίνει αξιόπιστες μετρήσεις. Ο αρχικός στόχος ήταν η φωτεινότητα του θαλάμου να αλλάζει αυτόματα ανάλογα με το περιβάλλον, για παράδειγμα αν ο θάλαμος βρισκόταν σε περιβάλλον με έντονο φωτισμό, η ταινία LED να φώτιζε ελάχιστα, ή και καθόλου. Τώρα η φωτεινότητα ρυθμίζεται χειροκίνητα από τον χρήστη, βάσει της τιμής που εισάγει. Το κύκλωμα ωστόσο και χωρίς αυτές τις αλλαγές λειτουργεί κανονικά. Τα τελευταία μειονεκτήματα αφορούν τη δυσκολία στη μείωση της θερμοκρασίας και της υγρασίας, καθώς και την αδυναμία της ταινίας LED να φτάσει τις πολύ υψηλές τιμές.

### 6.2 Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας με θέμα “Πειραματικός Θάλαμος Ανάπτυξης Φυτού”, διαπιστώθηκε ότι το σύστημα που σχεδιάστηκε με τον μικροελεγκτή ATmega328 σε συνδυασμό με τους αισθητήρες BH1750 και DHT22 μπόρεσε να φέρει εις πέρας τον αρχικό στόχο σε μεγάλο βαθμό. Κατάφερε να παρακολουθεί τις συνθήκες που είχε ο θάλαμος με την βοήθεια των αισθητήρων και να τις προσαρμόσει με τη βοήθεια εξαρτημάτων ανάλογα με τις ανάγκες του φυτού που επέλεγε ο χρήστης. Τα εξαρτήματα λειτουργούσαν όποτε χρειαζόταν ώστε να κρατήσουν το περιβάλλον στον θάλαμο σταθερό, αποδεικνύοντας την αξιοπιστία του συστήματος.

### 6.3 Κόστος κατασκευής

Για την ολοκλήρωση της κατασκευής δαπανήθηκαν συνολικά περίπου 90 ευρώ. Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή στον πίνακα 6.1:

Πίνακας 6.1 Κόστος κατασκευής

Υλικά	Κόστος
Πλαστικό δοχείο (3L)	2.00€
Πλαστικό δοχείο (4L)	1.50€
Πλακέτα	7.70€

Πλακέτα 20x80mm	0.70€
Τροφοδοτικό 12V/5A	11.00€
Μπαταρίες AA	5.00€
BH1750	2.50€
LCD οθόνη	4.50€
I2C adapter LCD	3.00€
Πληκτρολόγιο	2.30€
DHT22	6.00€
ATmega328p	8.10€
Υγραντήρας	7.25€
Αντίσταση 10Ω	0.60€
Ανεμιστήρας	5.00€
Ταινία LED (x2)	10.00€
Διακόπτης ON/OFF (x2)	2.40€
Relay	0.65€
IRLZ44N	1.00€
2N2222	0.05€
7805	0.45€
Θήκη μπαταριών AA	0.55€
Αντάπτορας τροφοδοτικού	1.60€
Καλάι	1.90€
Πυκνωτές 0.1μF (x2)	0.05€
Αντιστάσεις 1kΩ+10kΩ	0.05€
Καλώδια male-female	1.20€

Καλώδια male-male	5.00€
Ψύκτρα	0.80€
Βίδες/παξιμάδια	1.00€

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## Βιβλία

- [1] E. Taverne, *The History of Greenhouses: From the Romans to Modern Times*. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2001.
- [2] J. Needham and L. Wang, *Science and Civilisation in China: Volume 6, Biology and Biological Technology, Part 1: Botany*. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 1954.
- [3] R. Desmond, *The History of the Kew Herbarium*. Kew, U.K.: Royal Botanic Gardens, 1995.
- [4] L. H. Brockway, *Science and Colonial Expansion: The Role of the British Royal Botanic Gardens*. New York, NY: Academic Press, 1979.
- [5] R. W. Langhans and T. W. Tibbitts, *Plant Growth Chamber Handbook*. Ames, IA: Iowa State Univ. Press, 1997.
- [6] J. E. Preece and E. G. Sutter, *Plant Tissue Culture: A Biotechnology Approach*. New York, NY: Wiley-Interscience, 1991.
- [7] E. Jensen and W. Collins, *Controlled Environment Systems Research Facility: A History of Innovation*. Guelph, ON: Univ. of Guelph Press, 1985.
- [8] T. W. Tibbitts and D. K. Alford, *Controlled Environment Guidelines for Plant Research: Growth Chambers, Greenhouses, and Growth Rooms*. Ames, IA: Iowa State Univ. Press, 2008.
- [9] M. Banzi and M. Shiloh, *Getting Started with Arduino: The Open Source Electronics Prototyping Platform*, 3rd ed. Maker Media, Inc., 2014.
- [10] P. Horowitz and W. Hill, *The Art of Electronics*, 3rd ed. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2015.
- [11] A. S. Sedra and K. C. Smith, *Microelectronic Circuits*, 7th ed. Oxford, U.K.: Oxford Univ. Press, 2015.
- [12] R. Barnett, S. Cox, and L. O'Cull, *Embedded C Programming and the Atmel AVR*. Clifton Park, NY: Delmar Cengage Learning, 2012.
- [13] N. Morris, *Arduino Workshop: A Hands-On Introduction with 65 Projects*. San Francisco, CA: No Starch Press, 2015.
- [14] R. L. Boylestad and L. Nashelsky, *Electronic Devices and Circuit Theory*. 11th ed. Boston, MA: Pearson, 2015.
- [15] Y. A. Cengel and A. J. Ghajar, *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*, 5th ed. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2015.
- [16] M. J. Moran, H. N. Shapiro, D. D. Boettner, and M. B. Bailey, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 7th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2010.
- [17] M. N. Horenstein, *Design Concepts for Engineers*, 5th ed. Boston, MA: Pearson, 2010.

- [18]H. K. Geyer, *Basic Electrical Engineering: Principles and Applications*. New York, NY: McGraw-Hill, 2020, pp. 45-50.
- [19]M. Smith, *Digital Electronics: Principles and Applications*. Cham, Switzerland: Springer, 2019, pp. 78-82.
- [20]M. A. Mazidi, J. G. Mazidi, and R. D. McKinlay, *The 8051 Microcontroller and Embedded Systems Using Assembly and C*, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2008.
- [21]J. Kennedy, *Electronic Devices and Circuits*, 2nd ed. New Delhi, India: Tata McGraw-Hill Education, 2009.
- [22]J. Smith, *Introduction to Power Supplies and Their Applications*. TechPower Press, 2019.
- [23]B. Chen, *The Essentials of PCB Design with KiCad*. Birmingham, U.K.: Packt Publishing, 2020.
- [24]K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 5th ed. Prentice Hall, 2010.

## Data Sheet

- [25]Atmel Corporation, *ATmega328/P Datasheet*. Microchip Technology Inc., 2024. Διαθέσιμο: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328p>. [Πρόσβαση: 10-Αυγ-2024].
- [26] Hitachi, Ltd., "HD44780U (LCD-II)," 1998.
- [27]TME (Transfer Multisort Elektronik), "BH1750 Light Sensor Datasheet." [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.tme.eu/Document/18f7475b91a0c07c9810f035f5967cf6/BH1750.pdf>. [Πρόσβαση: 12-Αυγ-2024].
- [28]Alldatasheet.com. (n.d.). Διαθέσιμο: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=2N2222> [Πρόσβαση: 15-Αυγ-2024].
- [29]ON Semiconductor, *2N2222 General Purpose NPN Transistor*. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.onsemi.com>. [Πρόσβαση: 21-Αυγ-2024].
- [30]Alldatasheet, "IRLZ44N Datasheet," [Online]. Διαθέσιμο στο: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Irlz44n>. [Πρόσβαση: 21 Αυγ., 2024].
- [31]Texas Instruments, *LM7805 5-V, 1.5-A Positive Voltage Regulator Datasheet*. 2016. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.ti.com>. [Πρόσβαση: 21-Αυγ-2024].
- [32]Microchip Technology Inc., *ATmega328P Microcontroller Datasheet*. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328>. [Πρόσβαση: 21-Αυγ-2024].
- [33]Energizer Holdings, Inc., *Energizer AA Battery Technical Data Sheet*. [Online]. Διαθέσιμο: <https://data.energizer.com/pdfs/e91.pdf>. [Πρόσβαση: 21-Αυγ-2024].

## Internet Site

- [34]Climapod, "The History of Greenhouses," Climapod.com. <https://climapod.com/the-history-of-greenhouses/> (Πρόσβαση: 15-Αυγ-2024).
- [35]"Wardian case", *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, Διαθέσιμο: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wardian\\_case](https://en.wikipedia.org/wiki/Wardian_case) [Πρόσβαση: 21-Αυγ-2024].

- [36]PT Solutions. "Nano Microcontroller." *PT Solutions*. [Online]. Διαθέσιμο: <https://ptsolns.com/products/nano-microcontroller>. [Πρόσβαση: 14-Αυγ-2024].
- [37]Arduino, *Arduino Nano*. Arduino.cc, 2024. Διαθέσιμο: <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoNano>. [Πρόσβαση: 10-Αυγ-2024].
- [38]Zeppelin Computers. "LCD Display Module 16x2 with Blue Backlight." Διαθέσιμο στο: <https://zeppelincomputers.com/product/lcd-display-module-16x2-with-blue-backlight/> [Πρόσβαση: 10-Αυγ-2024].
- [39]Γ. Πλευριτάκης, "Διασύνδεση του I2C LCD με το Arduino," 2021. Διαθέσιμο: <https://learnelectronics.gr/διασύνδεση-του-i2c-lcd-με-το-arduino/>. [Πρόσβαση: 16-Αυγ-2024].
- [40] Grobotronics. "LCD Display I2C Interface Module." *Grobotronics*. [Online]. Διαθέσιμο: <https://grobotronics.com/lcd-display-i2c-interface-module.html>. [Πρόσβαση: 14-Αυγ-2024].
- [41]Circuit Basics. "How to Set Up a Keypad on an Arduino." *Circuit Basics*. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.circuitbasics.com/how-to-set-up-a-keypad-on-an-arduino>. [Πρόσβαση: 10-Αυγ-2024].
- [42]Botnroll. "Light Intensity Sensor BH1750 GY-30." Botnroll. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.botnroll.com/en/luz-imagem/3924-light-intensity-sensor-bh1750-gy-30.html>. [Πρόσβαση: 10-Αυγ-2024].
- [43]Robu. "DHT22 Digital Temperature Humidity Sensor." Robu. [Online]. Διαθέσιμο: <https://robu.in/product/dht22-digital-temperature-humidity-sensor-temperature-humidity-module-am2302/>. [Πρόσβαση: 10-Αυγ-2024].
- [44]eBay. "385332654897." eBay. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.ebay.com/itm/385332654897>. [Πρόσβαση: 10-Αυγ-2024].
- [45]Grobotronics. "Power Resistor 10W 10Ω." Grobotronics. [Online]. Διαθέσιμο: <https://grobotronics.com/power-resistor-10w-10ohm.html?srsltid=AfmBOordubTO27ghXSI5-pKBrTPao2qw2Zvp36lWuG4vnhhQrfW5LiTu>. [Πρόσβαση: 10-Αυγ-2024].
- [46]Electronio. "Ανεμιστήρας 5V DC 50x50x10 0.47W." Electronio. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.electronio.gr/anemistiras-5v-dc-50x50x10-0.47w.html>. [Πρόσβαση: 10-Αυγ-2024].
- [47]Delta Electronics, "DC Brushless Fans Technical Specifications," *Delta Fan and Thermal Management Solutions*, 2022. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.delta-fan.com>.
- [48]Electric City. "Λενοταινία LED Strip Cool White 14,4W 12V." Electric City. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.electric-city.gr/%CE%BB%CE%B5%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CE%B9%CE%B1-led-strip-coolwhite-14,4w-12v>. [Πρόσβαση: 10-Αυγ-2024].
- [49]Waveform Lighting, "Understanding LED Strip Power Consumption and Lumens." [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.waveformlighting.com>. [Πρόσβαση: 10-Αυγ-2024].
- [50]Studio Mao. "Διακόπτης On-Off Κούνιας Στρογγυλός." Studio Mao. [Online]. Διαθέσιμο: <https://studiomao.gr/product/diakoptis-on-off-kounias-strongylos/>. [Πρόσβαση: 10-Αυγ-2024].
- [51]RS Components. "Basics of 2N2222." RS Components. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.rs-online.com/designspark/basics-of-2n2222>. [Πρόσβαση: 10-Αυγ-2024].
- [52]AliExpress. "Switch Button." AliExpress. [Online]. Διαθέσιμο: [https://www.aliexpress.com/item/1005003832493084.html?src=google&aff\\_fcid=f9c5cb264cf2474799131a3785c027e1-1723732393336-02062-UneMJZVf&aff\\_fsk=UneMJZVf&aff\\_platform=aaf&sk=UneMJZVf&aff\\_trace\\_key=f9c5cb264cf2474799131a3785c027e1-1723732393336-02062-UneMJZVf&terminal\\_id=4fc-cae842d674669b8a01fc5a3aaf1ab&afSmartRedirect=n](https://www.aliexpress.com/item/1005003832493084.html?src=google&aff_fcid=f9c5cb264cf2474799131a3785c027e1-1723732393336-02062-UneMJZVf&aff_fsk=UneMJZVf&aff_platform=aaf&sk=UneMJZVf&aff_trace_key=f9c5cb264cf2474799131a3785c027e1-1723732393336-02062-UneMJZVf&terminal_id=4fc-cae842d674669b8a01fc5a3aaf1ab&afSmartRedirect=n). [Πρόσβαση: 10-Αυγ-2024].
- [53]Omron, "How Relays Work," *Omron*. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.omron.com/ecb/products/relay/index.html>. [Πρόσβαση: 21-Αυγ-2024].

- [54]Mouser Electronics, "Understanding Relay Specifications," *Mouser Electronics*. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.mouser.com/applications/relay-specifications/>. [Πρόσβαση: 21-Αυγ-2024].
- [55]ComponentsInfo. "IRLZ44N N-Channel MOSFET." *ComponentsInfo*. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.componentsinfo.com/irlz44n/>. [Πρόσβαση: 13-Αυγ-2024].
- [56]Electronics For You. "7805 IC Voltage Regulator: How It Works & How To Use It." *Electronics For You*. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.electronicforu.com/technology-trends/learn-electronics/7805-ic-voltage-regulator>. [Πρόσβαση: 13-Αυγ-2024].
- [57]Electronics Tutorials, "Transistor Basics - 2N2222." [Online]. Διαθέσιμο: [https://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran\\_1.html](https://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran_1.html). [Πρόσβαση: 21-Αυγ-2024].
- [58]SparkFun Electronics, "Why Use a Flyback Diode?" [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.sparkfun.com/news/1705>. [Πρόσβαση: 21-Αυγ-2024].
- [59]LEDSupply, "Voltage Drop and Parallel Wiring Considerations for LED Strips." [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.ledsupply.com>. [Πρόσβαση: 21-Αυγ-2024].
- [60]Waveform Lighting, "Understanding LED Strip Power Consumption and Lumens." [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.waveformlighting.com>. [Πρόσβαση: 21-Αυγ-2024].
- [61]LED Technologies UK, "Advantages of Parallel Wiring in LED Installations." [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.ledtechnologies.co.uk>. [Πρόσβαση: 21-Αυγ-2024].
- [62]KiCad, "KiCad EDA Software Suite." [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.kicad.org/>. [Πρόσβαση: 21-Αυγ-2024].
- [63]*KiCad*, Wikipedia. [Online]. Διαθέσιμο: <https://en.wikipedia.org/wiki/KiCad>. [Πρόσβαση: 15-Αυγ-2024].
- [64]University of Florida IFAS Extension, *Aspidistra elatior* (Cast Iron Plant). [Online]. Διαθέσιμο: <https://sfyl.ifas.ufl.edu/>. [Πρόσβαση: 15-Αυγ-2024].
- [65]North Carolina State University Extension, *Sansevieria trifasciata* (Snake Plant). [Online]. Διαθέσιμο: <https://plants.ces.ncsu.edu/plants/sansevieria-trifasciata/>. [Πρόσβαση: 15-Αυγ-2024].
- [66]American Orchid Society, *Orchidaceae*. [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.aos.org/orchids/orchids-a-to-z.aspx>. [Πρόσβαση: 15-Αυγ-2024].
- [67]University of Florida IFAS Extension, *Ficus benjamina* (Weeping Fig). [Online]. Διαθέσιμο: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/FP/FP22100.pdf> [Πρόσβαση: 15-Αυγ-2024].
- [68]Missouri Botanical Garden, *Yucca spp.* [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.missouribotanicalgarden.org/>. [Πρόσβαση: 15-Αυγ-2024].
- [69]North Carolina State University Extension, *Calathea spp.* [Online]. Διαθέσιμο: <https://plants.ces.ncsu.edu/>. [Πρόσβαση: 16-Αυγ-2024].
- [70]Clemson Cooperative Extension, *Epipremnum aureum* (Pothos). [Online]. Διαθέσιμο: <https://hgic.clemson.edu/>. [Πρόσβαση: 16-Αυγ-2024].
- [71]University of California Agriculture and Natural Resources, *Crassula ovata* (Jade Plant). [Online]. Διαθέσιμο: <https://ipm.ucanr.edu/>. [Πρόσβαση: 16-Αυγ-2024].
- [72]University of Wisconsin-Madison Extension, *Zamioculcas zamiifolia* (ZZ Plant). [Online]. Διαθέσιμο: <https://hort.extension.wisc.edu/>. [Πρόσβαση: 16-Αυγ-2024].
- [73]Missouri Botanical Garden, *Codiaeum variegatum* (Croton). [Online]. Διαθέσιμο: <https://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/PlantFinderDetails.aspx?kempercode=c227>. [Πρόσβαση: 16-Αυγ-2024].
- [74]University of Florida IFAS Extension, *Spathiphyllum* (Peace Lily). [Online]. Διαθέσιμο: <https://gardeningolutions.ifas.ufl.edu/>. [Πρόσβαση: 16-Αυγ-2024].

- [75]North Carolina State University Extension, *Chlorophytum comosum* (Spider Plant). [Online]. Διαθέσιμο: <https://plants.ces.ncsu.edu/plants/chlorophytum-comosum/>. [Πρόσβαση: 16-Αυγ-2024].
- [76]University of Florida IFAS Extension, *Philodendron spp.* [Online]. Διαθέσιμο:<https://sfyl.ifas.ufl.edu/>. [Πρόσβαση: 16-Αυγ-2024].
- [77]Clemson Cooperative Extension, *Nephrolepis exaltata* (Boston Fern). [Online]. Διαθέσιμο: <https://hgic.clemson.edu/>. [Πρόσβαση: 16-Αυγ-2024].
- [78]University of Arizona Cooperative Extension, *Cacti and Succulents*. [Online]. Διαθέσιμο: <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1399.pdf>. [Πρόσβαση: 16-Αυγ-2024].
- [79]North Carolina State University Extension, *Ficus elastica* (Rubber Plant). [Online]. Διαθέσιμο: <https://plants.ces.ncsu.edu/plants/ficus-elastica/>. [Πρόσβαση: 16-Αυγ-2024].
- [80]University of Florida IFAS Extension, *Dracaena marginata* (Dragon Tree). [Online]. Διαθέσιμο: <https://gardeningolutions.ifas.ufl.edu/plants/houseplants/dracaena-marginata.html>. [Πρόσβαση: 16-Αυγ-2024].
- [81]University of Florida IFAS Extension, *Calathea spp.* [Online]. Διαθέσιμο: <https://gardeningolutions.ifas.ufl.edu/>. [Πρόσβαση: 16-Αυγ-2024].
- [82]North Carolina State University Extension, *Anthurium spp.* [Online]. Διαθέσιμο: <https://plants.ces.ncsu.edu/plants/anthurium/>. [Πρόσβαση: 16-Αυγ-2024].
- [83]Arduino, *Analog Output*. [Online]. Διαθέσιμο: <https://docs.arduino.cc/learn/microcontrollers/analog-output/>. [Πρόσβαση: 18-Αυγ-2024].
- [84]Arduino, "Arduino Software," Arduino.cc. <https://www.arduino.cc/en/software> [Πρόσβαση: 15-Αυγ-2024].

### Journal Articles

- [85]G. Krotkov and T. T. Hsieh, "The role of artificial lighting in plant growth studies," *Plant Physiology*, vol. 37, no. 4, pp. 564-577, 1962.
- [86]G. D. Massa, R. M. Wheeler, and C. R. Hinkle, "Plant growth in space: A NASA history and current status," *Gravitational and Space Research*, vol. 4, no. 1, pp. 1-12, 2016.
- [87]A. C. Gheorghe and C. I. Stoica, "Wireless Weather Station Using Arduino Mega and Nano," *SBE Journal*, vol. 20, no. 1, pp. 1-10, 2021, doi: 10.2478/sbeef-2021-0008.
- [88]A. Rehman and S. S. Ashraf, "Efficient Arduino Nano based Dustbin Management System," *International Journal of Advanced Engineering and Computer Science*, vol. 11, no. 2, pp. 22-30, 2020, doi: 10.7492/IJAEC.2020.015.
- [89]A. Z. Alkar and U. Buhur, "An internet-based wireless home automation system for multifunctional devices," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 51, no. 4, pp. 1169-1174, Nov. 2005.
- [90]X. Chen, J. Li, Z. Wang, and Y. Xie, "Ultrasonic atomization in plant growth chambers: Principles and applications," *J. Agric. Eng.*, vol. 37, no. 2, pp. 78-85, 2021.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΚΩΔΙΚΑΣ

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Keypad.h>
#include <DHT.h>
#include <BH1750.h>

// DHT22 setup
#define DHTPIN 10 // Pin which is connected to the DHT22 sensor
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

// LCD setup
LiquidCrystal_I2C lcd(0x26, 16, 2);

// Keypad setup
const byte ROWS = 4; // four rows
const byte COLS = 4; // four columns
char keys[ROWS][COLS] = {
  {'1','2','3','A'},
  {'4','5','6','B'},
  {'7','8','9','C'},
  {'*','0','#','D'}
};
byte rowPins[ROWS] = {9, 8, 7, 6}; // connect to the row pinouts of the keypad
byte colPins[COLS] = {5, 4, 3, 2}; // connect to the column pinouts of the keypad

Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS);

// GY-30 (BH1750) light sensor setup
BH1750 lightMeter(0x23); // Initialize with address 0x23
```

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  dht.begin();
  if (lightMeter.begin(BH1750::CONTINUOUS_HIGH_RES_MODE)) {
    Serial.println("BH1750 initialized");
  } else {
    Serial.println("Error initializing BH1750");
  }
  pinMode(13, OUTPUT); // Humidity control
  pinMode(12, OUTPUT); // Temperature control
  pinMode(11, OUTPUT); // Brightness control
  digitalWrite(13, LOW);
  digitalWrite(12, LOW);
  digitalWrite(11, LOW);
  displayMessage("Choose 0-9");
}

void loop() {
  static int state = 0;
  static int temperature = 0, humidity = 0, brightness = 0;
  static String input = "";
  static unsigned long lastMillis = 0;
  static int displayState = 0;

  char key = keypad.getKey();

  switch (state) {
    case 0: // Initial state, (input mode)
      if (key == '0') {
        state = 1;
        displayMessage("Enter Temperature:");
      }
    }
  }

```

```

} else if (key >= '1' && key <= '9') {
    // Set defaults based on the key pressed
    switch (key) {
        case '1': temperature = 17; humidity = 40; brightness = 1500; break;
        case '2': temperature = 17; humidity = 60; brightness = 1500; break;
        case '3': temperature = 22; humidity = 40; brightness = 1500; break;
        case '4': temperature = 22; humidity = 60; brightness = 3000; break;
        case '5': temperature = 22; humidity = 40; brightness = 7500; break;
        case '6': temperature = 22; humidity = 60; brightness = 7500; break;
        case '7': temperature = 25; humidity = 40; brightness = 1500; break;
        case '8': temperature = 25; humidity = 40; brightness = 3000; break;
        case '9': temperature = 25; humidity = 60; brightness = 7500; break;
    }
    state = 4;
    displayMessage("Temp: " + String(temperature) + " C");
    delay(2000);
    displayMessage("Humi: " + String(humidity) + " %");
    delay(2000);
    displayMessage("Brig: " + String(brightness) + " lx");
    delay(2000);
    displayMessage("Control mode...");
}
break;

case 1: // Temperature input
    if (handleKeyInput(key, input)) {
        temperature = input.toInt();
        if (temperature >= 0 && temperature <= 50) {
            state = 2;
            input = "";
            displayMessage("Enter Humidity:");
        } else {
            displayMessage("Error: 0-50 C");
        }
    }
}

```

```
    delay(2000);
    displayMessage("Enter Temperature:");
    input = "";
}
}
break;
```

case 2: // Humidity input

```
if (handleKeyInput(key, input)) {
    humidity = input.toInt();
    if (humidity >= 20 && humidity <= 90) {
        state = 3;
        input = "";
        displayMessage("Enter Brightness:");
    } else {
        displayMessage("Error: 20-90 %");
        delay(2000);
        displayMessage("Enter humidity:");
        input = "";
    }
}
break;
```

case 3: // Brightness input

```
if (handleKeyInput(key, input)) {
    brightness = input.toInt();
    if (brightness >= 1 && brightness <= 3400) {
        state = 4;
        input = "";
        displayMessage("Thank you!");
        delay(2000);
        displayMessage("Temp: " + String(temperature) + " C");
    }
}
```

```

    delay(2000);
    displayMessage("Humi: " + String(humidity) + " %");
    delay(2000);
    displayMessage("Brig: " + String(brightness) + " lx");
    delay(2000);
    displayMessage("Control mode...");
} else {
    displayMessage("Error: 1-3400");
    delay(2000);
    displayMessage("Enter brightness:");
    input = "";
}
}
break;

```

case 4: // Control humidity, temperature, and brightness

```

float currentHumidity = dht.readHumidity();
float currentTemperature = dht.readTemperature();
uint16_t currentBrightness = lightMeter.readLightLevel();

```

// Debugging: Print sensor values to the serial monitor

```

Serial.print("Current Temperature: ");
Serial.println(currentTemperature);
Serial.print("Current Humidity: ");
Serial.println(currentHumidity);
Serial.print("Current Brightness: ");
Serial.println(currentBrightness);

```

// Control humidity

```

if (currentHumidity < humidity) {
    digitalWrite(13, HIGH); // Turn on the humidity device
} else {
    digitalWrite(13, LOW); // Turn off the humidity device

```

```

}

// Control temperature
if (currentTemperature < temperature) {
  digitalWrite(12, HIGH); // Turn on the relay (heater)
} else {
  digitalWrite(12, LOW); // Turn off the relay (heater)
}

// Control brightness
int pwmValue = map(brightness, 1, 3400, 1, 255);
pwmValue = constrain(pwmValue, 0, 255);
analogWrite(11, pwmValue);

// Display values on the LCD
if (millis() - lastMillis >= 3000) { // Update every 3 seconds
  lastMillis = millis();
  switch (displayState) {
    case 0:
      displayMessage("Temp: " + String(currentTemperature) + " C");
      displayState = 1;
      break;
    case 1:
      displayMessage("Humi: " + String(currentHumidity) + " %");
      displayState = 2;
      break;
    case 2:
      displayMessage("Brig: " + String(currentBrightness) + " lx");
      displayState = 0;
      break;
  }
}
}

```

```

    if (key == 'A') {
        state = 0;
        displayMessage("Choose 0-9");
        digitalWrite(13, LOW);
        digitalWrite(12, LOW);
        digitalWrite(11, LOW);
    }
    break;
}
}

void displayMessage(String message) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(message);
}

bool handleKeyInput(char key, String &input) {
    if (key) {
        if (key >= '0' && key <= '9') {
            input += key;
            lcd.setCursor(input.length(), 1);
            lcd.print(key);
        } else if (key == '#') {
            if (input.length() > 0) {
                return true;
            }
        }
    }
    return false;
}

```